

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การเพิ่มรายได้ธุรกิจปลาสวยงามร่วมกับการผลิตพรรณไม้น้ำ
แบบไร้ดินในระบบปิดระยะที่ 2 : เปรียบเทียบการผลิตปลา
สวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำในระบบ sand culture,
nutrient film technique และ deep flow technique
Aquaponics for Ornamental Fish and Aquatic Macrophytes in
Close System: comparison of three aquaponics systems

โดย

นางนงนุช เลาหะวิสุทธิ

รศ.ดร. อธิติสุนทร นันทกิจ

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

นางมณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ

สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง

ได้รับทุนโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุดมศึกษาและแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ ประจำปี 2545

จากสำนักงานปลัดทบวงมหาวิทยาลัย

เลขที่ RCH SF 458-6b 11395

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

เลขทะเบียน 67377

วันที่ 29 พ.ย. 2549

วัน,เดือน,ปี.....

4128944
b.....
i.....

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	6
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	6
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	11
สรุปผลการทดลอง	26
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	33



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลาพร้อมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน	4
2	คุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์น้ำ	10
3	การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาทองที่เลี้ยงในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	12
4	การเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	13
5	การเจริญเติบโตของพื้ดวีที่ปลูกในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	14
6	ปริมาณธาตุอาหารของใบของใบพวยศรีลังกาหลังการทดลอง 10 สัปดาห์	16
7	ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพวยศรีลังกาหลังการทดลอง 10 สัปดาห์	17
8	ปริมาณธาตุอาหารของใบของพื้ดวีหลังการทดลอง 2 สัปดาห์	19
9	ปริมาณธาตุอาหารของรากของพื้ดวีหลังการทดลอง 2 สัปดาห์	20
10	ช่วงและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาทอง (Fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองพร้อมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพื้ดวีในระบบ Sand culture (Sand-fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองพร้อมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพื้ดวีในระบบ Deep flow technique (DFT-fish) ระบบการเลี้ยง ปลาทองพร้อมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพื้ดวีในระบบ Nutrient film technique (NFT-fish)	24
11	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของใบพวยศรีลังกา และพื้ดวี	25
12	ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	26

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Nutrient Film Technique	8
2	ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Deep Flow Technique	8
3	ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Sand Culture	9
4	การเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish, และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	12
5	การเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	13
6	การเจริญเติบโตของพื้ดวีในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์	14

การเพิ่มรายได้ธุรกิจปลาสวยงามร่วมกับการผลิตพรรณไม้น้ำแบบไร้อินในระบบปิด ระยะที่ 2 : เปรียบเทียบการผลิตปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำใน 3 ระบบ

นางนุช เลหาหะวิสุทธิ มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ อธิธิสุนทร นันทกิจ

บทคัดย่อ

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด คือ *Cryptocoryne wendtii* และ *Aglaonema* sp. เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำและบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา โดยวางแผนการทดลองแบบ split plot in RCBD มี 3 กรรมวิธี คือ การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชแบบ Nutrient Film Technique (NFT-Fish) การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชแบบ Deep Flow Technique (DFT-Fish) และการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชแบบ Sand Culture (Sand-Fish) โดยมีการเลี้ยงปลาทองอย่างเดียว (Fish) เป็นกลุ่มควบคุม โดยทั้ง 3 กรรมวิธีไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่จะมีการเติมน้ำเพื่อชดเชยการใช้น้ำของพืชและการระเหยของน้ำ ส่วนตัวควบคุมมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำให้แก่ปลาทองทุกสัปดาห์ จากผลการทดลอง พบว่าการปลูกพรรณไม้น้ำทั้ง 3 แบบร่วมกับการเลี้ยงปลาทองไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ แต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยปลาในระบบ NFT มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดโดยน้ำหนักเฉลี่ยของปลาเพิ่มขึ้น 10.48 กรัมต่อตัว ความสามารถในการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำไม่ใช้ดินทั้ง 3 ระบบ พบว่า ระบบ Sand-Fish มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยสามารถลดการสะสมของธาตุอาหารต่างๆ ได้มากที่สุด โดยลดปริมาณแอมโมเนียได้มากที่สุด การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำทั้ง 3 ระบบสามารถประหยัดน้ำในระบบได้ถึง 4 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปลาทอง

คำสำคัญ : พรรณไม้น้ำ ปลาทอง ระบบปลูกพืชแบบไร้อิน ไบพายศรีลังกา พัดวี

Aquaponics for Ornamental Fish and Aquatic Macrophytes in Close System: comparison of three aquaponics systems

Nongnuch Laohavisuti, Maneerat Wangwibulkit and Ithisuntorn Nuntagij

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 used water and wasting water generated in the systems. 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 10.43 grams per fish when compared with the other). However, 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 culturing goldfish alone.

Keywords : goldfish, aquatic plants, *Cryptocoryne wendtii*, *Aglaonema simplex*, *Carassius auratus*

คำนำ

ในปัจจุบันธุรกิจปลาสวยงามมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเลี้ยงปลาสวยงามได้รับความนิยมแพร่หลายทั่วโลก ปลาสวยงามมากกว่า 50% มีแหล่งผลิตจากประเทศในแถบเอเชีย โดยชนิดของปลาที่นิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงามน้ำจืด 90% และปลาทะเล 10% ปลาสวยงามส่วนใหญ่มาจากการเพาะเลี้ยงถึง 80% และอีก 20% ได้จากการรวบรวมมาจากธรรมชาติ (Bassler, 1994) แหล่งผลิตปลาสวยงามของประเทศไทยอยู่แถบภาคกลางของประเทศ เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบลุ่มมีแหล่งน้ำที่อุดมสมบูรณ์ ได้แก่ ราชบุรี สุพรรณบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา และกรุงเทพฯ (วิทยา, 2538) จากสถิติในปี 2535 ประเทศที่นำเข้าปลาสวยงามมากที่สุด ได้แก่ สหรัฐอเมริกา รองลงมาคือ ประเทศในประชาคมยุโรป และญี่ปุ่น ซึ่งประเทศที่ส่งออกปลาสวยงามเป็นอันดับแรกของโลก คือ สิงคโปร์ รองลงมาคือ ฮอลแลนด์ และไทย โดยมีมูลค่าการส่งออก 60.2, 19.5 และ 18.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (Bassler, 1994)

พรรณไม้น้ำที่เหมาะสมในการนำมาใช้ร่วมกับระบบเลี้ยงปลาสวยงาม ได้แก่ พรรณไม้ใต้น้ำ (submerged plant) และกลุ่มพรรณไม้เหนือน้ำ (emerged plant) เนื่องจากพรรณไม้น้ำในกลุ่มดังกล่าวมีมูลค่าในตลาดพรรณไม้น้ำสวยงามค่อนข้างสูง ส่วนพรรณไม้น้ำประเภทลอยน้ำ (floating) นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (นนุช, 2544) หน้าที่หลักของพรรณไม้น้ำในระบบควาโปนิค ซึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ 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 ส่วนใหญ่พรรณไม้น้ำต้องการความเข้มแสง ประมาณ 3,000–7,500 ลักซ์ ดังนั้นในการปลูกพรรณไม้น้ำจึงควรจะให้แสงด้วยผ้าคลุมตาข่ายด้วย อุณหภูมิ (temperature) ประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) ประมาณร้อยละ 80-90 และปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเค็มของน้ำ สารพิษที่ละลายอยู่ในน้ำ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และวัสดุปลูก ฯลฯ (นนุช, 2544)

ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรือ ระบบควาโปนิค (aquaponic system) คือ ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไร้ดิน โดยของเสียจากปลาจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ซึ่งสามารถออกซิไดส์แอมโมเนีย ให้เป็นไนไตรท์ และจากไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ซึ่งพืชสามารถดูดซับไนเตรทที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยระบบควาโปนิค นี้กำลังเป็นที่นิยม เป็นการเพิ่มผลผลิตทางพาณิชย์ ปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบ คือ ปลานิล (*Oreochromis nitoticus*) นอกจากนี้ยังมีปลา rainbow trout, ปลาคาร์ป และปลาดุก ส่วนพืชที่นิยมปลูกในระบบนี้ คือ ผักกาดหอม ผักสลัด รวมทั้งพืชเศรษฐกิจด้วย เช่น มะเขือเทศ แตงกวา พริกไทย และพืชจำพวกแตง (Anon, 2001) ระบบการ

เลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดิน ประกอบด้วย บ่อเลี้ยงปลา บ่อตกตะกอน ระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) ระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน (hydroponic system) และ บ่อเก็บน้ำ ส่วนระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิดนั้น ส่วนประกอบของระบบ บางส่วนอาจจะรวมกันหรือไม่ก็มีก็ได้ เช่น ระบบกรองชีวภาพร่วมกับระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน โดย อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกพืชต่อปริมาตรน้ำในบ่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปลาที่เลี้ยง การเลี้ยงใน บ่อที่นิยมจะอยู่ในช่วง 0.6-2.4 ตารางเมตร /ลูกบาศก์เมตร (Rakocy *et al.* 1993) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

บ่อเลี้ยงปลา (m ³)	ปริมาตรของ ระบบ (m ³)	พื้นที่ของระบบ ปลูกแบบไม่ใช้ดิน (m ²)	อัตราส่วน (m ² /m ³)	เอกสารอ้างอิง
0.25	2.0	0.74	0.37	Neagel, 1977
0.87	3.85	8.8	2.29	Lewis <i>et al.</i> , 1978
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 <i>et al.</i> , 1989
11.2	15.1	13.8	0.91	Rakocy <i>et al.</i> , 1993

Ratio = Hydroponic Area/System volume (m²/m³)

ที่มา : Rakocy *et al.* (1993)

การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาแคร์ป (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอมและมะเขือเทศ พบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลใน 3 เดือนแรก มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาแคร์ป แต่เมื่ออายุประมาณ 4 เดือน น้ำหนักปลาแคร์ปเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลานิล ซึ่งในระบบ recirculating system ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปลาแคร์ป 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 ส่วน 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) และ Xiangfu et al. (2000) ได้ทดลองเลี้ยงปลาแคร์ปร่วมกับการปลูกข้าวแบบไม่ใช้ดินในระบบปิดโดยใช้พื้นที่ของระบบปลูกข้าวร้อยละ 15 พบว่า ได้ผลผลิตปลาแคร์ป 1,680 กิโลกรัม / เฮกตาร์ และปลาอีตราการตายเท่ากับร้อยละ 9.6 ได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 8.46 ตัน/ เฮกตาร์ (น้ำหนักสด) และมวลชีวภาพเท่ากับ 16.78 ตัน / เฮกตาร์ (น้ำหนักสด)

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช Rakocy and Allison (1981) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*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) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 2 สายพันธุ์ในระบบ sand culture โดยสายพันธุ์ laura ปลูกในช่วงฤดูร้อนและพันธุ์ kewalo ปลูกในช่วงฤดูใบไม้ผลิ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในต้นมะเขือเทศพันธุ์ laura จะมากกว่ามะเขือเทศพันธุ์ kewalo Rakocy et al. (1993) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis* spp) ร่วมกับการปลูกผักใบเขียว, มะเขือเทศ และผักกาดแบบไม่ใช้ดิน พบว่า ผักกาดสามารถดูดซับไนเตรท (NO_3^-) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำได้มากกว่ามะเขือเทศและผักใบเขียว และ Takeda et al. (1997) ได้ทดลองเปรียบเทียบการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินบนระบบ NFT ร่วมกับการเลี้ยงปลา rainbow trout โดยใช้อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกันในปี 1994 และปี 1995 พบว่า การลดอัตราการไหลของน้ำลงทำให้สตรอเบอร์รี่สามารถดูดซับธาตุฟอสฟอรัสในน้ำได้มากขึ้น และในใบสตรอเบอร์รี่มีการสะสมธาตุไนโตรเจนและธาตุฟอสฟอรัส (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ได้เท่ากับ 3.9 และ 0.9 ตามลำดับ และ Seawright et al. (1998) ทำการ

ทดลองเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักกาดหอม พบว่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 7.5 ทำให้เกิดขบวนการ nitrification และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส และเหล็กมากขึ้น

ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบ Sand culture และ Deep flow technique (DFT) กับ Nutrient film technique (NFT) เพื่อเป็นแนวทางในการเลี้ยงพรรณไม้น้ำในระบบที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาสวยงาม

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบ Sand culture และ Deep flow technique (DFT) กับ Nutrient film technique (NFT)
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำในระบบปลูกแบบต่างๆ
3. เพื่อเป็นแนวทางเลือกของเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำของประเทศ

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) in split-plot design ประกอบด้วย

1.1 main – plot factor คือ ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ 4 ระบบ เป็น ได้แก่ ระบบการเลี้ยงปลาของอย่างเดียว (Fish) ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบ Nutrient film technique (NFT-Fish) ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบ Deep flow technique (DFT-Fish) และระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบ Sand culture (Sand-Fish)

1.2 sub – plot factor คือ ชนิดของพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ไบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และพืดวี (*Aglaonema simplex*)

โดยกำหนดการทดลอง 3 ช่วงเวลา (block) ได้แก่ ช่วงที่ 1 ระหว่าง เดือนธันวาคม 2544 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2545 ช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนมิถุนายน 2545 ถึงเดือนสิงหาคม 2545 ช่วงที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน 2545 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2545

2. การเตรียมการทดลอง

2.1 จัดตั้งระบบการปลูกพืชไร่น้ำ ซึ่งระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ประกอบด้วย บ่อเลี้ยงปลา บ่อตกตะกอน และระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร่น้ำ ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบแต่ละส่วน ดังนี้

2.1.1 ถังเลี้ยงปลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.45 เมตร สูง 50 เซนติเมตร โดยเติมน้ำสูง 32 เซนติเมตร ปริมาตรของน้ำ 528 ลิตร

2.1.2 ถังตกตะกอน ขนาด 35x54.5x40 เซนติเมตร ที่ใส่แผ่นกรองแบบหยาบ

2.1.3 ถังตกตะกอน ขนาด 35x54.5x40 เซนติเมตร ที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียด

2.1.4 ระบบปลูกพรรณไม้น้ำ ประกอบด้วย 3 ระบบ ดังนี้

(1) Nutrient film technique (NFT) ประกอบด้วยรางปลูก ขนาดฐานกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร รางแต่ละรางยาว 6 เมตร นำมาเชื่อมติดกัน 2 ราง และเจาะรูเป็นรูวงกลม รัศมี 2.5 เซนติเมตร เพื่อปลูกพืช ระยะระหว่างช่องปลูกพืช 25 เซนติเมตร ใน 1 เมตรจะมีช่องปลูกพืช 4 ช่อง ด้านฐานรางเขาเป็นร่องเล็กๆ เพื่อช่วยกระจายให้สารละลายไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) อัตราไหล 1-2 ลิตร/นาที่ราง จำนวน 10 ราง โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายจากบ่อตกตะกอนที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียดให้ไหลผ่านรางและรากพืช และไหลลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (ภาพที่ 1)

(2) Deep flow technique (DFT) ประกอบด้วยรางปลูกเป็นท่อพีวีซีทำด้วยสีขาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ราง แต่ละรางยาว 4 เมตร นำมาเชื่อมติดกัน 2 ราง และเจาะรูเป็นรูวงกลม รัศมี 2.5 เซนติเมตร เพื่อปลูกพืช สารละลายที่อยู่ในรางจะสูงประมาณ 3.5 เซนติเมตรจำนวน 10 ราง โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายจากบ่อตกตะกอนที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียดให้ไหลผ่านรางและรากพืช และเวียนกลับลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (ภาพที่ 2)

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

2.2 จัดเตรียมสารละลายแร่ธาตุอาหารสำหรับพรรณไม้น้ำ

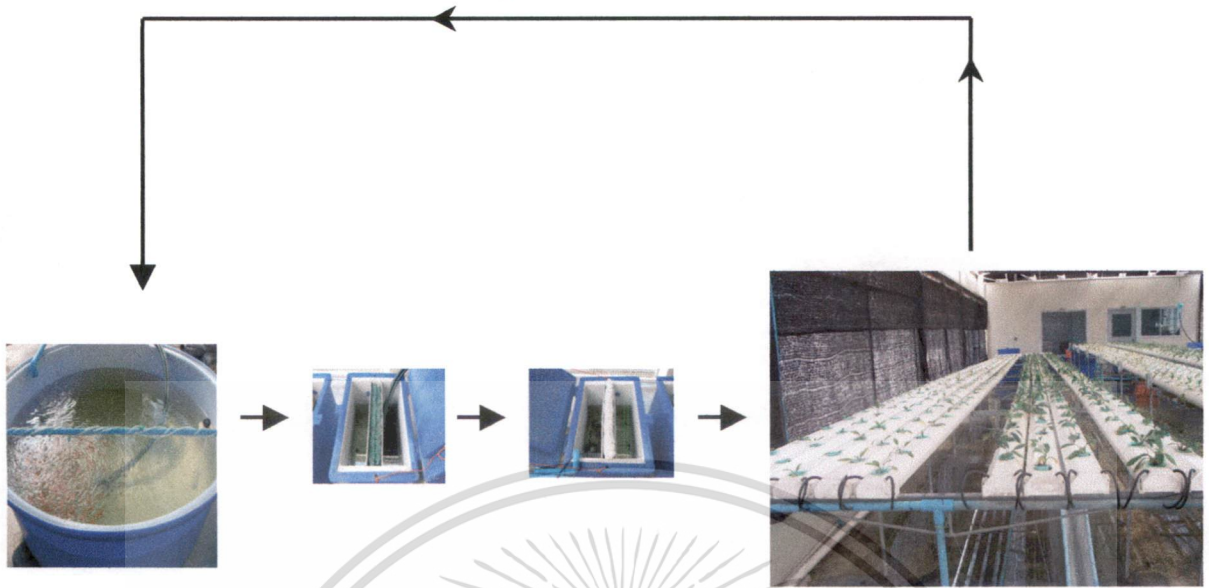
2.3 สุ่มปลาทองพันธุ้อเรนดา อายุประมาณ 1 เดือน ใส่ในบ่อทดลองขนาด 800 ลิตร โดยใช้น้ำ 528 ลิตร อัตราความหนาแน่น 90 ตัวต่อตารางเมตร จำนวน 150 ตัวต่อบ่อ

2.4 สุ่มพรรณไม้น้ำ คือ ไบพายศรีลังกา และพัควี ที่นำมาจากฟาร์มพรรณไม้น้ำ ซึ่งตัดรากและไบออกบางส่วน เพื่อเร่งให้รากใหม่งอกเร็วขึ้นและช่วยลดการคายน้ำ นำมาปลูกด้วยใยหิน (rock wool) ใส่ในรางปลูก โดยแต่ละชนิดใช้ 240 ต้นต่อระบบ

2.5 เริ่มเก็บน้ำตัวอย่างเริ่มต้น หลังจากใส่ปลาทองและปลูกพรรณไม้น้ำ 1 วัน และใส่สารละลายธาตุอาหาร โดยปรับเป็น 0.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.5-7.0

2.6 ให้อาหารปลาร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาต่อวัน โดยให้วันละ 2 ครั้ง คือ เวลาเช้าและเย็น และปรับอาหารที่ให้ตามน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นทุก 2 สัปดาห์

2.7 สเปรย์น้ำให้พรรณไม้น้ำทุกชั่วโมง ครั้งละ 1 นาที เพื่อช่วยเพิ่มความชื้นในโรงเรือน



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาบ ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ NFT

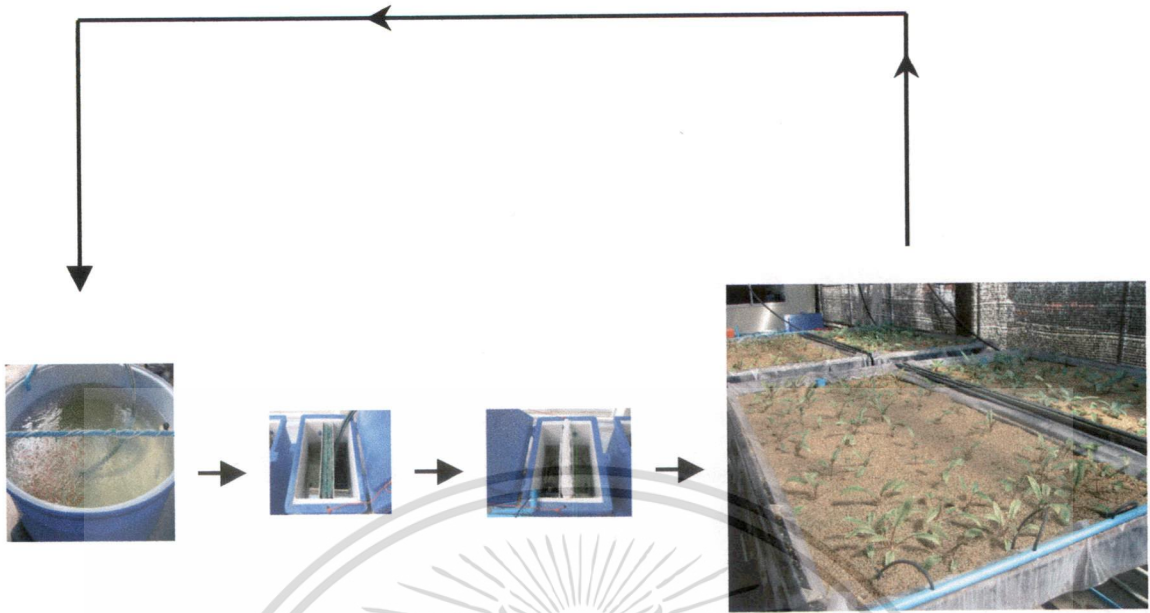
ภาพที่ 1 ระบบการเลี้ยงปลาของรวมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Nutrient Film Technique



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาบ ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

ภาพที่ 2 ระบบการเลี้ยงปลาของรวมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Deep Flow Technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 8 องค์กรอึ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาด ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร่นาแบบ Sand

ภาพที่ 3 ระบบการเลี้ยงปลาที่รวมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Sand Culture

3. วิธีการทดลอง

3.1 การวัดการเจริญเติบโตของปลาทองและพรรณไม้น้ำ

3.1.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทองด้วยการชั่งน้ำหนักของปลาทองก่อนการทดลอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างปลาทองบ่อละ 20 ตัวนำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 2 สัปดาห์จนครบ 10 สัปดาห์

3.1.2 วัดการเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกา และพัตวี ด้วยการชั่งน้ำหนักเปียกของใบพวยศรีลังกา และพัตวี ก่อนการทดลอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างใบพวยศรีลังกา 20 ต้น และพัตวี 20 ต้นต่อระบบ นำมาชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์จนครบ 10 สัปดาห์

3.2 ทุกๆ สัปดาห์จะมีการเติมน้ำเพื่อชดเชยส่วนที่พืชใช้ไปหรือระเหยไปจากระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand - Fish และบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ สัปดาห์ โดยที่ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand - Fish โดยเก็บน้ำตัวอย่าง 4 จุดๆ ละ 3 ซ้ำคือ จุดที่ 1 น้ำในบ่อเลี้ยงปลาทอง จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านจากถังกรองชีวภาพ จุดที่ 3 น้ำที่ผ่านรางปลูกพัตวี จุดที่ 4 น้ำที่ผ่านรางปลูกใบพวยศรีลังกา ส่วนในระบบการเลี้ยงปลาทองทำการเก็บน้ำ 2 จุด คือ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและน้ำที่ผ่านจากระบบกรอง โดยคุณภาพน้ำที่ทำกรวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical

conductivity) ความเป็นด่าง (alkalinity) แอมโมเนีย (ammonia nitrogen) ไนไตรท์ (nitrite nitrogen) ไนเตรท(nitrate nitrogen) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัส (orthophosphate) และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์น้ำ

คุณภาพน้ำ	
อุณหภูมิ (temperature)	Oakton min-max Thermometer
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen)	Hanna model HI 9143
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	Hanna model HI 9025
ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)	Elmecco 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

3.3 หลังจากสิ้นสุดการทดลองทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบพวยศรีลังกา และพัตวิเคราะห์หาไนโตรเจน (N) โดยใช้วิธี micro kjeldahl แล้วหาไนโตรเจน (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)

4 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)

5. สถานที่จัดทำโครงการ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาประมงวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. ระยะเวลาของโครงการ

เดือนตุลาคม 2544 - เดือนมกราคม 2546

7. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

7.1 การเจริญเติบโตของปลาทองและพรรณไม้น้ำ

7.1.1 การเจริญเติบโตของปลาทอง

การเจริญเติบโตของปลาทองที่เลี้ยงจากระบบบ่อควาโปนิค (aquaponic system) ทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ที่ความหนาแน่นของการเลี้ยงเท่ากับ 90 ตัวต่อตารางเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักสิ้นสุดเฉลี่ยของปลาทองในระบบ 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 3) และการเลี้ยงปลาทองในระบบ NFT-Fish นั้นมีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนในระบบการเลี้ยงปลาทองอย่างเดียว มีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด อัตรารอดของปลาทองของระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับร้อยละ 98, 98, 98 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งระบบ Sand-Fish มีอัตราการรอดของปลาทองสูงถึงร้อยละ 100 และไม่มีแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Rakocy and Allison (1981) ซึ่งเลี้ยงปลานิล (*Tilapia aurea*) ร่วมกับพรรณไม้น้ำ (*Egeria densa* and *Valisneria* sp.) พบว่า มีอัตราการรอดของปลานิลร้อยละ 97.5 และเช่นเดียวกับการทดลองของ Watten and Busch (1984) ที่ทำการเลี้ยงปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับมะเขือเทศ พบว่า อัตราการรอดของปลาหมอเทศร้อยละ 97.5 เช่นเดียวกัน)

7.1.2 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ

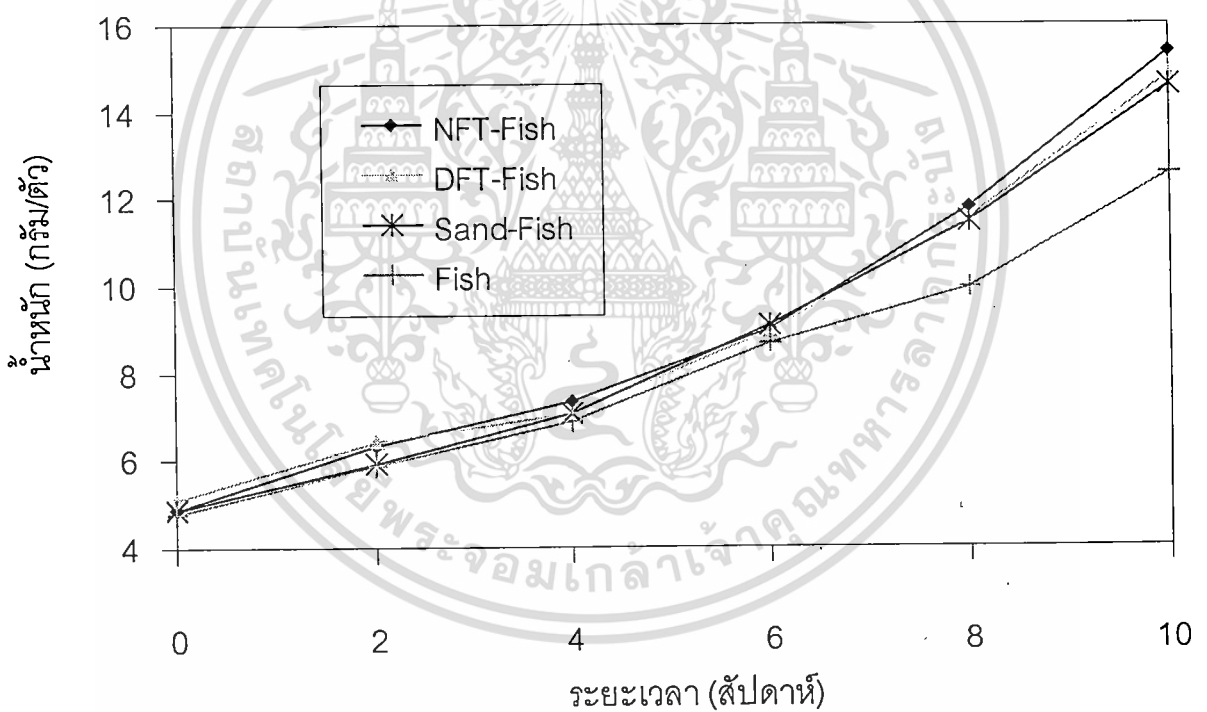
ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำที่เลี้ยงจากระบบบ่อควาโปนิค (aquaponic system) ทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยใบพวยศรีลังกามีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 1.65, 1.59 และ 1.80 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และไม่มีแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 2) ส่วนของน้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ยของพัควี มีเท่ากับ 4.34, 4.27 และ 4.4 กรัมต่อต้น และไม่มีแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4 และภาพที่ 3) ซึ่งพบว่า การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทั้งใบพวยศรีลังกาและพัควีในระบบ Sand-Fish มีน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุด

ตารางที่ 3 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)	12.58 b	15.34 a	14.79 a	14.56 a	*
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	7.81b	10.48a	9.69 a	9.68a	*
อัตราการรอด (%)	98.00	98.33	98.00	100.00	ns

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

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

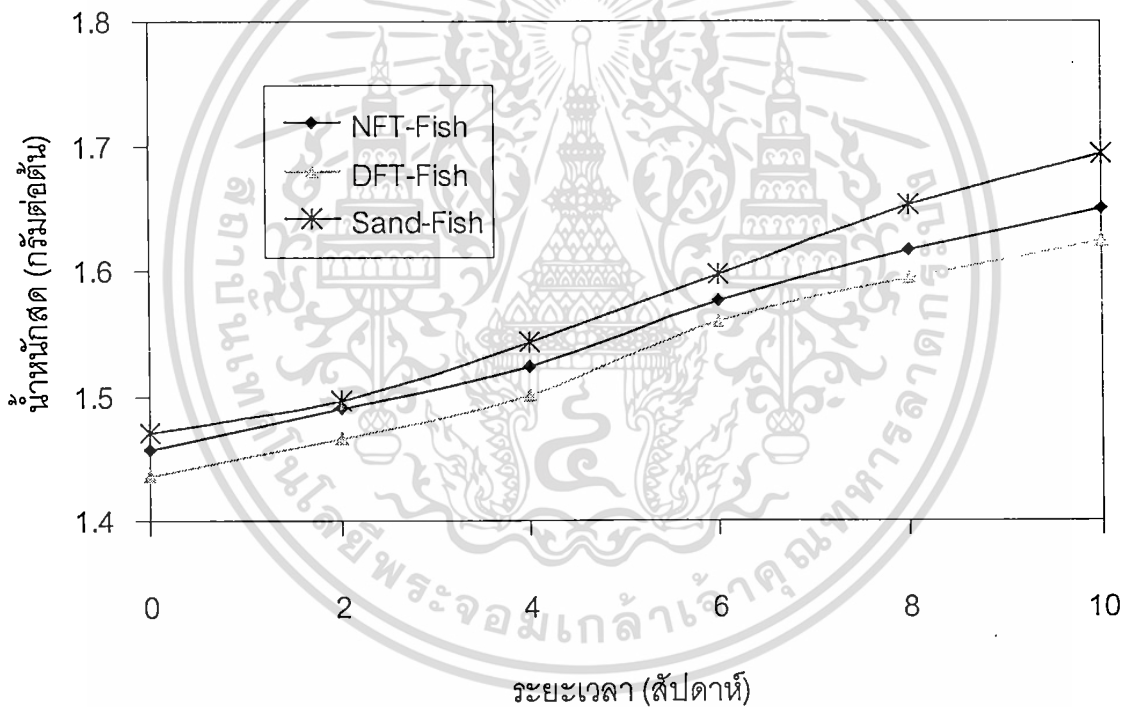


ภาพที่ 4 การเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish, และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ 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 ($P > 0.05$)

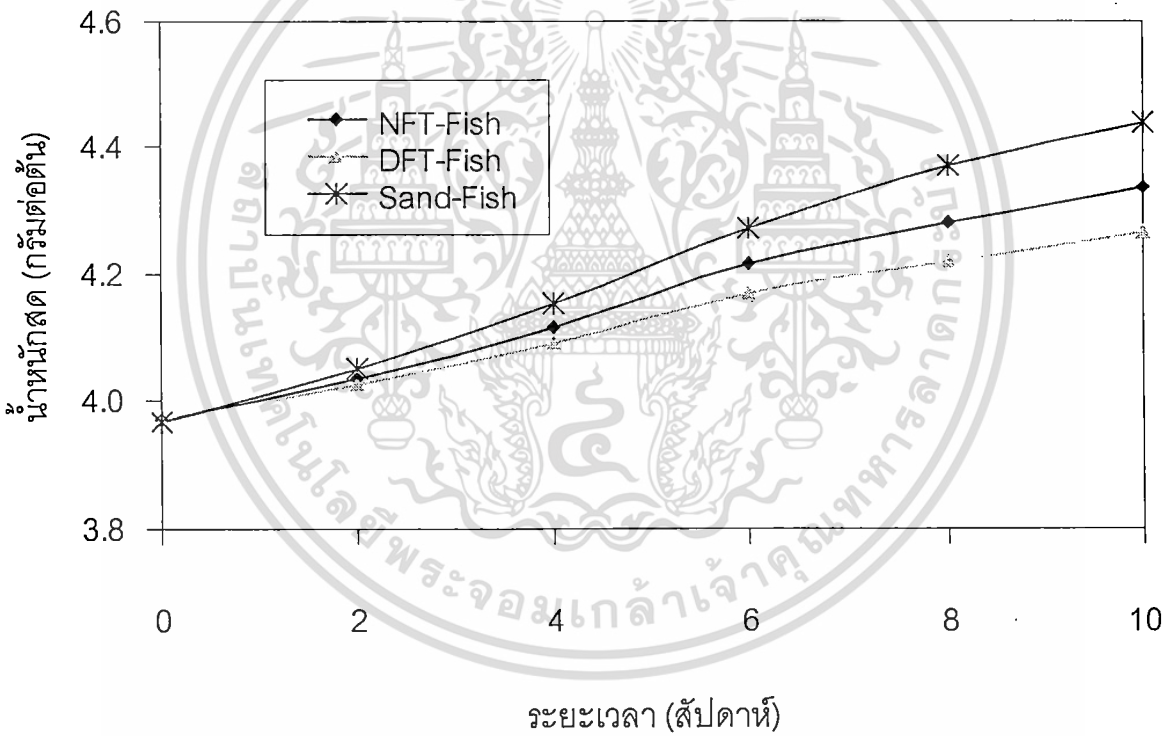


ภาพที่ 5 การเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของพัควีที่ปลูกในระบบ 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 6 การเจริญเติบโตของพัควีในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด คือใบพายศรีลังกาและพัตวีในระบบการปลูกแบบไม่ใช้ดิน 3 ระบบ คือระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish จากการวิเคราะห์น้ำหนักสดหลังจากการทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าใบพายศรีลังกามีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยน้อยกว่าพัตวีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ใบพายศรีลังกามีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.19, 0.14 และ 0.32 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนพัตวีมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.37, 0.30 และ 0.47 กรัม/ต้น ตามลำดับ แต่จากการทดลองพบว่าระบบการเลี้ยงทั้ง 3 ระบบไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกาและพัตวีหลังจากทดลอง 10 สัปดาห์

7.2 ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำ

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

7.2.1 ปริมาณธาตุอาหารของใบพายศรีลังกา

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบของใบพายศรีลังกาที่เลี้ยงในทั้ง 3 ระบบ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน (N) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และเหล็ก (Fe) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ($P>0.05$) โดยที่ฟอสฟอรัส (P) อยู่ในช่วง 0.40 – 0.41 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K) อยู่ในช่วง 5.71 – 5.87 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) อยู่ในช่วง 0.46 – 0.56 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วง 0.09 – 0.10 เปอร์เซ็นต์ และเหล็ก (Fe) อยู่ในช่วง 345.21 – 353.29 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 6)

ปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 4.37 – 5.95 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (5.95) มีค่าสูงกว่า ใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (5.76) และระบบ Sand-Fish (4.37) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ปริมาณไนโตรเจน (N) ใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ Sand-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 52.86 – 126.01 พีพีเอ็ม โดยปริมาณแมงกานีส (Mn) ในใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (52.86) มีค่าต่ำกว่าใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (120.85) และระบบ NFT-Fish (126.01) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ปริมาณแมงกานีส (Mn) ใบของใบพายศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณสังกะสี (Zn) ในใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 91.29 – 128.32 พีพีเอ็ม โดยปริมาณสังกะสี (Zn) ในใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (128.32) มีค่าสูงกว่าใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (91.29) และระบบ NFT-Fish (94.63) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณสังกะสี (Zn) ใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณทองแดง (Cu) ในใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 18.59 – 22.05 พีพีเอ็ม โดยปริมาณทองแดง (Cu) ในใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (18.59) มีค่าต่ำกว่าใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (22.05) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณทองแดง (Cu) ใบของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (21.20) และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารของใบของใบพวยศรีลังกาหลังการทดลอง 10 สัปดาห์

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 ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารของรากของใบพวยศรีลังกาที่เลี้ยงในทั้ง 3 ระบบ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และเหล็ก (Fe) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ($P > 0.05$) โดยที่ฟอสฟอรัส (P) อยู่ในช่วง 0.36 – 0.40 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) อยู่ในช่วง 0.31 – 0.35 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วง 0.04 – 0.08 เปอร์เซ็นต์ และเหล็ก (Fe) อยู่ในช่วง 170.41 – 175.87 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 7)

ปริมาณไนโตรเจน (N) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 3.28 – 6.29 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณไนโตรเจน (N) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (6.29) มีค่าสูงกว่ารากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (5.52) และระบบ Sand-Fish

(3.28) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณไนโตรเจน (N) ของรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish และระบบ Sand-Fish มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 1.39 – 1.96 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (1.96) มีค่าสูงกว่าในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (1.39) และระบบ DFT-Fish (1.41) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish และระบบ DFT-Fish มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 93.54 – 108.16 พีพีเอ็ม โดยปริมาณแมงกานีส (Mn) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (93.54) มีค่าต่ำกว่ารากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (108.16) และระบบ Sand-Fish (101.12) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณแมงกานีส (Mn) ของรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish และระบบ Sand-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณสังกะสี (Zn) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 58.45 – 72.96 พีพีเอ็ม โดยปริมาณสังกะสี (Zn) ในรากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (72.96) มีค่าสูงกว่ารากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (58.45) และระบบ NFT-Fish (69.53) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณสังกะสี (Zn) รากของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพวยศรีลังกาหลังการทดลอง 10 สัปดาห์

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 ($P < 0.05$)

7.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในพดวี

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบของพดวีที่เลี้ยงในทั้ง 3 ระบบ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมงกานีส (Mn) และ เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนโพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และทองแดง (Cu) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ($P > 0.05$) โดยที่โพแทสเซียม (K) อยู่ในช่วง 3.38 – 3.41 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วง 0.30– 0.36 เปอร์เซ็นต์ และทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 20.62 – 22.26 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 8)

ปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบของพดวีที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 2.78 – 4.07 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบของพดวีที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (4.07) มีค่าสูงกว่าใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (3.84) และระบบ Sand-Fish (2.78) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณไนโตรเจน (N) ใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ Sand-Fish มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในใบของพดวีที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 0.30 – 0.59 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในใบของพดวีที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (0.3) มีค่าต่ำกว่าใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (0.57) และระบบ NFT-Fish (0.59) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ Sand-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในใบของพดวีที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 2.27 – 2.46 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณแคลเซียม (Ca) ในใบของพดวีที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (2.27) มีค่าสูงกว่าใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (2.46) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณแคลเซียม (Ca) ใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish (2.30) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในใบของพดวีที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 197.15 – 232.45 พีพีเอ็ม โดยปริมาณแมงกานีส (Mn) ในใบของพดวีที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (197.15) มีค่าต่ำกว่าใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (229.35) และระบบ NFT-Fish (232.45) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณแมงกานีส (Mn) ใบของพดวีที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในใบของพดวีที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 261.42 – 294.94 พีพีเอ็ม โดยปริมาณเหล็ก (Fe) ในใบของพดวีที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (294.94) มีค่าสูงกว่าใบของพดวีที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (276.20) และระบบ NFT-Fish (229.35) อย่างมีนัยสำคัญ

($P < 0.05$) แต่ปริมาณเหล็ก (Fe) ในใบของพื้ที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณสังกะสี (Zn) ในใบของพื้ที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 57.84 – 68.03 พีพีเอ็ม โดยปริมาณสังกะสี (Zn) ในใบของพื้ที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (68.03) มีค่าสูงกว่าใบของพื้ที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (59.46) และระบบ Sand-Fish (57.84) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณสังกะสี (Zn) ในใบของพื้ที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารของรากของพื้หลังการทดลอง 2 สัปดาห์

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	0.3b	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 ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารของรากของพื้ที่เลี้ยงในทั้ง 3 ระบบ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) และ เหล็ก (Fe) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ ($P > 0.05$) โดยที่ฟอสฟอรัส (P) อยู่ในช่วง 0.39 – 0.41 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) อยู่ในช่วง 0.43 – 0.46 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วง 0.18 – 0.20 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีส (Mn) อยู่ในช่วง 118.65 – 125.35 พีพีเอ็ม สังกะสี (Zn) อยู่ใน ช่วง 37.72 – 40.84 พีพีเอ็ม และทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 13.59 – 14.07 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 9)

ปริมาณไนโตรเจน (N) ในรากของพื้ที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 2.26 – 3.84 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณไนโตรเจน (N) ในรากของพื้ที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (2.26) มีค่าต่ำกว่ารากของพื้ที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (3.83) และระบบ DFT-Fish (3.84) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณไนโตรเจน (N) ของรากของพื้ที่ปลูกในระบบ NFT-Fish และระบบ DFT-Fish มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 1.90 – 2.25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ Sand-Fish (2.25) มีค่าสูงกว่าในรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (1.90) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณโพแทสเซียม (K) ของรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ NFT-Fish และระบบ DFT-Fish (2.00) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในทุกระบบอยู่ในช่วง 175.06 – 194.47 พีพีเอ็ม โดยปริมาณเหล็ก (Fe) ในรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ NFT-Fish (194.47) มีค่าสูงกว่ารากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ DFT-Fish (176.01) และระบบ Sand-Fish (175.06) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณเหล็ก (Fe) ในรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในระบบ DFT-Fish และระบบ NFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารของรากของพืชมะเขือเทศที่ปลูกในทุกระบบหลังการทดลอง 2 สัปดาห์

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 ($P < 0.05$)

7.3 คุณภาพน้ำในระบบบ่อควาโปนิค (aquaponic system)

ผลการศึกษาคคุณภาพน้ำทั้ง 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 ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10)

อุณหภูมิ (Temperature) จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในระบบ 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

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) จากการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 5.53, 5.43, 5.18 และ 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจนในน้ำ

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จากการทดลองพบว่า pH เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 7.60, 6.35, 6.32 และ 7.06 ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในการทดลองนี้จะมีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.0-6.5 จึงพบว่าระบบ 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

ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) จากการทดลองพบว่า 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 ดังนั้นของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในอาหารปลา เกิดการสะสมในบ่อทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

ความเป็นด่าง (alkalinity) จากการทดลองพบว่า 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 ($P<0.05$)

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 มีวัสดุปลูกเป็นทรายและแขวนลอยที่มีอยู่ในวัสดุปลูกจะมีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดซับประจุบวก (NH_4^+) ได้บางส่วน และปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ Sand-Fish มากจึงทำให้ระบบ Sand-Fish มีปริมาณแอมโมเนียน้อยที่สุด

ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) จากการทดลองพบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ย ในระบบ 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*) และปลาแคร์พ (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอม และมะเขือเทศในระบบปิด พบปริมาณของไนไตรท์และแอมโมเนียในปริมาณที่ต่ำ นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าในสัปดาห์ที่ 6-10 ไนไตรท์ในระบบมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปลาเมื่ออัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดของเสียที่ขับถ่ายออกมามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมของไนไตรท์เพิ่มขึ้น

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 ปริมาณไนเตรทในทุกะบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง เนื่องจากปลาของมีการกินอาหารเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่ม Nitrification ที่อยู่ภายในระบบเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทมากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดไนเตรทได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบจึงพบปริมาณของไนเตรทที่สูงในทั้ง 3 ระบบ ซึ่งไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปหนึ่งที่พรรณไม้สามารถดูดซึมธาตุไนโตรเจนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) จากการทดลองพบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 29.89, 112.83, 94.42 และ 84.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากการทดลอง พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในทุกะบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด คือ ผลรวมของปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรทซึ่งเป็นอนิ

นพรีในโตรเจนกับปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น และในระหว่างการทดลองมีการเติมสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์ร่วมด้วย

ปริมาณฟอสฟอรัส (orthophosphate) จากการทดลองพบว่า 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

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) จากการทดลองพบว่า 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 จะมีค่าคงที่เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (Orthophosphates) ซึ่งเป็นสารประกอบ อนินทรีย์ฟอสเฟตกับสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต และฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ที่ได้จากของเสียปลาจะอยู่ในรูปของตะกอนที่กั้นบ่อเลี้ยงปลาและบ่อกรองชีวภาพ (Takeda, 1999) เมื่อมีการปั้มน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและบ่อกรองชีวภาพขึ้นสู่หน่วยปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินก็จะมีตะกอนดังกล่าวติดขึ้นมาด้วยทำให้ในระบบ Sand-Fish มีตะกอนสะสมอยู่มาก เพราะว่าเป็นระบบ Sand-Fish มีพื้นที่ผิวมากแต่ระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish มีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้มีการตกค้างของตะกอนมากกว่า ส่งผลน้ำในระบบ Sand-Fish มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยกว่า

7.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพื้ติและใบพายศรีลังกา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในแต่ละระบบ โดยการวัดปริมาณของแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงของน้ำก่อนเข้ามาในระบบกับหลังจากที่น้ำผ่านออกจากระบบหลังจากสัปดาห์ที่ 3 จากการทดลองพบว่า ในระบบ Sand-Fish ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพื้ติและใบพายศรีลังกาดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ระบบ DFT-Fish และ NFT-Fish ตามลำดับ จากการทดลองในระบบ Sand-Fish พบว่า สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 34.86, 38.99, 8.48, 14.06, 4.24 และ 4.86 ตามลำดับในใบพายศรีลังกา ส่วนพื้ติที่ปลูกในระบบ NFT-Fish เท่ากับร้อยละ 47.34, 45.23, 14.61, 20.27, 5.60 และ 5.92 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ช่วงและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาทอง (Fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพืดวีในระบบ Sand culture (Sand-fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพืดวีในระบบ Deep flow technique (DFT-fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพืดวีในระบบ Nutrient film technique (NFT-fish)

คุณภาพน้ำ	Fish		Sand-fish		DFT-fish		NFT-fish	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย \pm SE	ช่วง	ค่าเฉลี่ย \pm SE	ช่วง	ค่าเฉลี่ย \pm SE	ช่วง	ค่าเฉลี่ย \pm SE
อุณหภูมิ (Temperature) ($^{\circ}$ C)	27.5-33.0	30.64 \pm 0.11	29.5-32.0	30.72 \pm 0.10	27.3-32.5	30.49 \pm 0.12	27.5-33.0	30.64 \pm 0.11
ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) (mS/cm)	0.31-0.42	0.36 \pm 0.01	0.33-0.85	0.65 \pm 0.05	0.32-1.06	0.71 \pm 0.07	0.61-1.23	0.82 \pm 0.09
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) (มก./ลิตร)	5.05-7.02	5.80 \pm 0.18	4.89-6.86	5.76 \pm 0.19	5.10-6.79	5.77 \pm 0.16	4.75-7.74	5.72 \pm 0.25
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	7.49-7.92	7.62 \pm 0.04	7.38-8.22	7.67 \pm 0.07	5.38-8.06	6.59 \pm 0.27	5.65-8.22	6.49 \pm 0.28
ความเป็นด่าง (Alkalinity) (มก. CaCO ₃ /ลิตร)	71.5-75.0	72.82 \pm 0.33	72.3-77.5	74.05 \pm 0.44	18.5-75.5	40.75 \pm 7.51	20.5-77.6	36.30 \pm 7.30
ความกระด้าง (Hardness) (มก. CaCO ₃ /ลิตร)	110.0-129.0	115.23 \pm 1.85	119.5-154.5	145.32 \pm 3.67	120.0-338.0	228.32 \pm 25.89	119.5-331.0	254.32 \pm 25.34
แอมโมเนีย (Total ammonia nitrogen) (มก./ลิตร)	0-3.12	0.74 \pm 0.35	0-0.29	0.09 \pm 0.02	0-5.65	1.94 \pm 0.54	0.01-4.89	2.23 \pm 0.54
ไนไตรท์ (Nitrite nitrogen) (มก./ลิตร)	0.01-0.24	0.10 \pm 0.02	0-0.05	0.01 \pm 0.01	0.02-0.43	0.18 \pm 0.04	0.03-0.78	0.27 \pm 0.08
ไนเตรท (Nitrate nitrogen) (มก./ลิตร)	1.85-29.48	16.04 \pm 2.74	2.10-115.13	51.46 \pm 9.72	3.23-128.64	64.21 \pm 11.28	2.25-146.01	72.88 \pm 12.76
ฟอสฟอรัส (Orthophosphate) (มก./ลิตร)	0.05-0.46	0.25 \pm 0.03	0.2-0.69	0.51 \pm 0.04	0.06-3.37	1.71 \pm 0.30	0.06-3.38	1.94 \pm 0.30

จากการทดลองในระบบ DFT-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 5.23, 8.92, 7.93, 12.26, 2.36 และ 3.80 ตามลำดับในไบพายศรีลังกา ส่วนพัตวีที่ปลูกในระบบ 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 ส่วนพัตวีที่ปลูกในระบบ NFT-Fish เท่ากับร้อยละ 5.02, 11.72, 13.66, 17.53, 2.78 และ 4.77 ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดต่ำ เนื่องจากพรรณไม้น้ำมีขนาดเล็ก และมีตะกอนติดอยู่กับรากทำให้มีการดูดซึมลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงสภาพอากาศบางช่วงที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำในระบบ

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของไบพายศรีลังกา และพัตวี

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
พัตวี	5.02±0.28	8.12±0.55	47.34±2.18
2. ไนโตรท์			
ไบพายศรีลังกา	7.74±1.82	8.92±3.52	38.99±3.29
พัตวี	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
พัตวี	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
พัตวี	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
พัตวี	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
พัตวี	4.77±1.47	5.64±1.69	5.92±1.17

7.5 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 และ Sand-Fish ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำทั้ง 3 ระบบ สามารถประหยัดน้ำได้ประมาณ 4 เท่า (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 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

สรุปผลการทดลอง

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มักมีของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลา ดังนั้นในการศึกษาการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการช่วยบำบัดน้ำให้มีความเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา โดยทำการเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพืดวีแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด พบว่า

1. อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำหนักสดสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ยของปลาทองในระบบ NFT-Fish มีค่ามากที่สุด คือ 15.34 ± 0.64 กรัมต่อตัว รองลงมาได้แก่ระบบ DFT-Fish , Sand-Fish, และ Fish คือมีค่าน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 14.79 ± 1.04 , 14.56 ± 0.38 และ 12.58 ± 1.02 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

2. อัตราการเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ยของใบพายศรีลังกาในระบบ Sand-Fish มีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish คือมีค่าเท่ากับ 1.69 ± 0.01 , 1.65 ± 0.04 , และ 1.62 ± 0.01 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของพื้ในในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ยของพื้ในในระบบ Sand-Fish มีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish คือมีค่าเท่ากับ 4.34 ± 0.04 , 4.38 ± 0.02 และ 4.29 ± 0.02 กรัม/ต้น ตามลำดับ และพบว่า ชนิดของพรรณไม้ทั้ง 2 ชนิดก็ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

3. ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้ พบว่า ใบพายศรีลังกาในระบบ NFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดที่ ร้อยละ 5.95 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 345.21 ppm ระบบ DFT-Fish มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดที่ ร้อยละ 5.87 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 342.39 ppm ส่วนระบบ Sand-Fish นั้น พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคือ ร้อยละ 5.83 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 353.29 ppm และพื้ในระบบ NFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดที่ ร้อยละ 4.07 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 276.2 ppm ระบบ DFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดที่ ร้อยละ 4.07 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 261.42 ppm เช่นเดียวกับระบบ NFT-Fish ส่วนระบบ Sand-Fish นั้น พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคือ ร้อยละ 3.38 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 294.94 ppm

4. คุณภาพน้ำของการปลูกพรรณไม้ร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่างๆ นั้น สามารถสรุปได้ว่า ค่ามาตรฐานต่างๆ ของคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อระบบเลี้ยงปลาร่วมกับพรรณไม้ได้แก่

4.1 อุณหภูมิ ควรมีช่วงอยู่ระหว่าง 25 - 30 องศาเซลเซียส (นนุช, 2544) จากการทดลองครั้งนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยในระบบ ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 28.5 ± 0.51 , 28.2 ± 0.75 , 28.5 ± 0.49 และ 28.6 ± 0.37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 5.53 ± 0.00 , 5.43 ± 0.03 , 5.18 ± 0.57 และ 5.45 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ที่เหมาะสม คือ มีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร นนนุช (2544)

4.3 ค่าของความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7.0 จากการทดลองของ นนนุช (2544) จากการทดลองในครั้งนี้ pH เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 7.60 ± 0.06 , 6.35 ± 0.07 , 6.32 ± 0.07 และ 7.06 ± 0.09 ตามลำดับ

4.4 ค่าการนำไฟฟ้า เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.34 ± 0.02 , 0.80 ± 0.06 , 0.79 ± 0.03 และ 0.76 ± 0.02 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่ามาตรฐาน

ฐานที่เหมาะสมนั้น ค่าความนำไฟฟ้าควรมีค่าควรอยู่ในช่วง 0.5-1.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะส่งผลให้พรรณไม้น้ำในระบบมีการเจริญเติบโตที่ดี (นงนุช, 2544)

4.5 ความเป็นต่างเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 71.17 ± 3.83 , 33.92 ± 1.25 , 36.03 ± 1.54 และ 44.96 ± 0.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.6 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.55 ± 0.02 , 2.20 ± 0.06 , 1.99 ± 0.08 และ 0.11 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับ นงนุช (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดิน ควรมีค่าแอมโมเนียทั้งหมดน้อยกว่า 2.0 mg/L

4.7 ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.46 ± 0.02 , 0.22 ± 0.02 , 0.17 ± 0.02 และ 0.02 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองของ นงนุช (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีค่าไนโตรเจน น้อยกว่า 2.0 mg/L

4.8 ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ SAND-Fish เท่ากับ 20.00 ± 0.92 , 77.68 ± 1.92 , 64.04 ± 2.37 และ 60.13 ± 1.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ นงนุช (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินควรมีค่าไนเตรท น้อยกว่า 400 mg/L

4.9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 29.89 ± 1.27 , 112.83 ± 3.20 , 94.42 ± 3.34 และ 84.04 ± 1.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.20 ± 0.02 , 2.06 ± 0.09 , 1.93 ± 0.05 และ 1.40 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.43 ± 0.05 , 2.26 ± 0.04 , 2.00 ± 0.07 และ 1.55 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สรุปได้ว่า ในระบบ Sand-Fish มีความเหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตปลาทองและพรรณไม้น้ำมากกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish เนื่องจากในระบบ Sand-Fish ปริมาณแอมโมเนีย, ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในระบบ Sand-Fish มีความเป็นพิษหรือสารเคมีที่ ก่อให้เกิดน้ำเสียน้อยกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish

5. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของพัลวีและไบพายศรีลังกาในระบบ Sand-Fish ดีที่สุด คือ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียซึ่งมักจะก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 83.51 ± 7.52 และ 79.69 ± 8.79 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนไตรท์ เท่ากับ ร้อยละ 80.52 ± 8.24 และ 74.48 ± 9.93 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



เอกสารอ้างอิง

- นงนุช เลหาะวิสุทธิ. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ในน้ำแบบไร้น้ำใน ระบบปิด. วารสารเคหะการเกษตร 25 (7) : 205-215.
- วิทยา หวังเจริญพร 2538. ธุรกิจปลาสวยงาม. วารสารสัตว์น้ำ 7(74): 23-25.
- วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนา วี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้ในน้ำสวยงาม. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัย สัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ และคณะ. 2544. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน. หน้า 1-10. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 4. กรุงเทพฯ : ภาควิชา ปรุฐพีวิทยา. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด กระบัง.
- 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.
- Bassleer, G. 1994. The international trade in aquarium/ornamental fish. *INFOFISH International* 5: 45-47.
- 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 in a Fish Culture System. *The American Fisheries Society*. 128 : 296 -307.

- Mathew. 2001. NFT and DFT Using the Hydroponic Twist Pot (2001, November 11).
 [Online] Available : [http://www.aquabloom.powerup.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>.



ภาคผนวก วิธีการวิเคราะห์

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

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 (ที่สารละลายที่ผ่าน column ครั้งที่ 1) จากนั้นนำสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปผ่าน column ครั้งที่ 2 จำนวน 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ จากนั้นเติม diazotizing reagent จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที เติม NNED (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 543 นาโนเมตร

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 tertrate, 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 tertrate, ammonium molybdate solution และ ascorbic acid เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร

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 ไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำไปย่อยสลายบนเตาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 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

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