

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 สัตว์ทดลอง

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

3.1.1.2 พืชทดลอง

- (1) เมล็ดพันธุ์คะน้า (*Brassica alboglabra*)

3.1.1.3 อุปกรณ์

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

3.1.2 การวางแผนการทดลอง

เปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยทดลองเลี้ยงปลาและปลุกพืช 3 ระบบ คือ

- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม (Fish)
- ระบบการปลุกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT)
- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิมรวมกับการปลุกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT-Fish)

3.1.3 วิธีการเตรียมการทดลอง

จัดตั้งระบบต่างๆ ภายในโรงเรือนแบบเปิดขนาด 28x16 เมตร โครงสร้างทำจากซีเมนต์ ผนังเป็นตาข่ายเหล็ก หลังคาโรงเรือนทำจากแผ่นอะคริลิก (acrylic) โส (ภาคผนวกภาพที่ ข.1)

3.1.3.1 ระบบ Fish

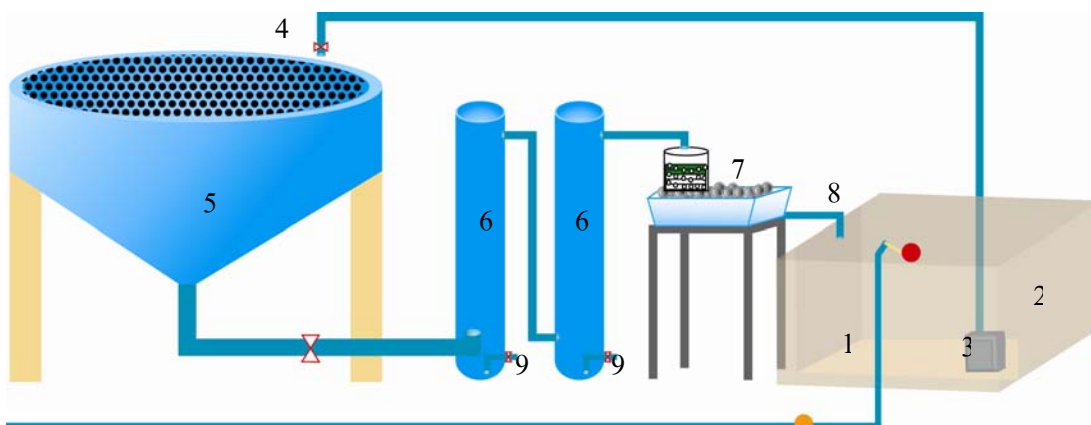
(1) จัดตั้งระบบ Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย

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

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

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

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



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองของระบบ Fish

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ปั๊มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน*

7 = ถังกรองชีวภาพ

8 = ท่อน้ำออก*

9 = วาล์วเปิด-ปิด ถ่ายตะกอน

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.2 ระบบการเลี้ยงปลาแบบทึบ



ภาพที่ 3.3 ถังกรองชีวภาพ (ก) และถังเก็บน้ำ (ข)

3.1.3.2 ระบบ DRFT

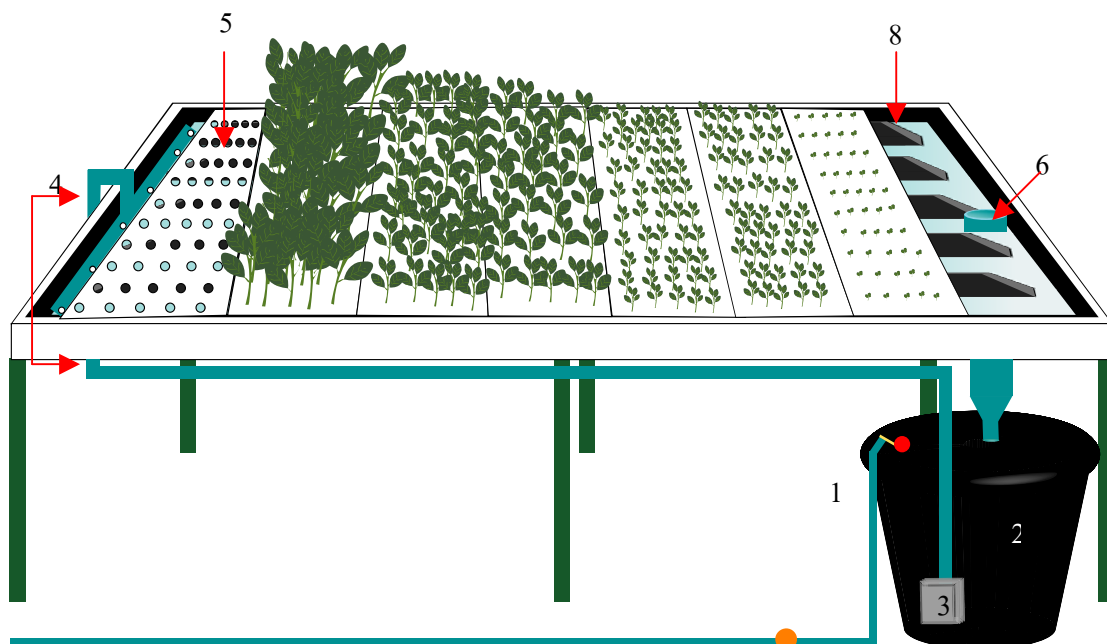
(1) จัดตั้งระบบ DRFT ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ประกอบด้วย

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

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

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

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



ภาพที่ 3.4 แบบจำลองระบบ DRFT

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ*

3 = ปั๊มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = แผ่นปลูก

6 = สะดือน้ำ

7 = ท่อน้ำออก*

8 = โฟมที่ขึ้นรูปเป็นราง

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.5 โต๊ะปลูกผักคะน้าแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.6 ถาดปลูกพืชทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นราง (ก) และแผ่นปลูกพืช (ข)

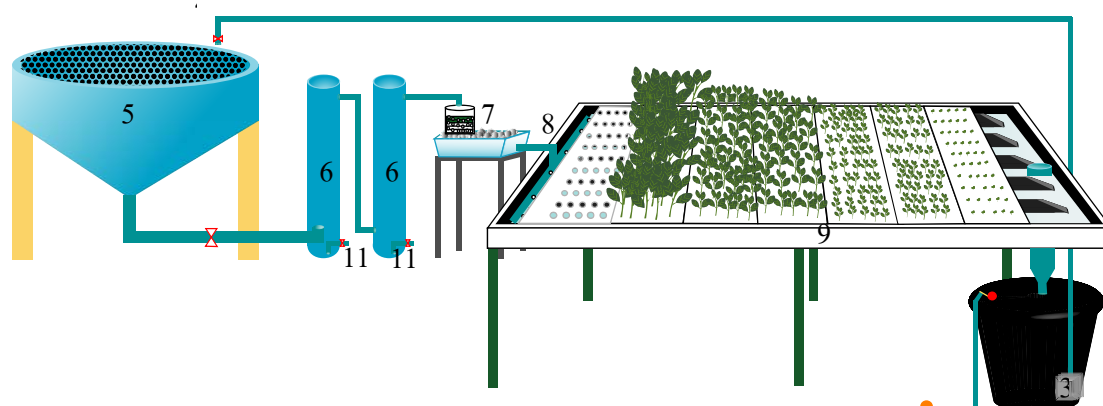


ภาพที่ 3.7 ถังสารละลายในระบบ DRFT

3.1.3.3 ระบบ DRFT-Fish

(1) การจัดตั้งระบบ DRFT-Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถึงชีวภาพ จะถูกส่งต่อ

ไปยังท่อน้ำเข้าของโต๊ะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั้มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง



ภาพที่ 3.8 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ปั้มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน

7 = ถังกรองชีวภาพ*

8 = ท่อน้ำเข้าโต๊ะปลูกพืช

9 = โต๊ะปลูก

10 = ท่อน้ำออก*

11 = วาล์วเปิด-ปิด ถ่ายตะกอน

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์

3.1.4 วิธีการทดลอง

3.1.4.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) นำปลาจากฟาร์มมาพักไว้เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และอาหาร ก่อนทดลองประมาณ 1 สัปดาห์

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

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

(4) นำเศษตะกอนออกจากกระบบ โดยการระบายออกจากทางด้านใต้ของถังตกตะกอนทุกวัน วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น

3.1.4.2 การเตรียมกล้าไม้และการดูแล

(1) รดน้ำแผ่นฟองน้ำในถาดเพาะให้เปียกชุ่มโดยใช้มือช่วยกด หยอดเมล็ดผักคะน้าที่เตรียมไว้ลงในช่องบากของฟองน้ำโดยหยอดช่องละ 1 เมล็ด ลึกประมาณ 2-3 มิลลิเมตร นำ

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

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

(3) เมื่อต้นกล้ามีรากโผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดีลงโตะปลูก โดยเลือกผักค่น้ำขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ใส่ในช่องปลูกของแผ่นปลูก สอดต้นกล้าจากทางด้านล่างของแผ่นปลูก โดยให้ก้นฟองน้ำด้านที่มีรากโผล่อยู่เสมอกับขอบล่างของแผ่นปลูก ทั้งนี้เพื่อให้ก้นฟองน้ำ และรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในรางปลูก

(4) ย้ายกล้าค่น้ำจำนวน 100 ต้นต่อสัปดาห์ (100 ต้น : 2 แผ่นปลูก : 1 กลุ่ม) อายุแต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักค่น้ำสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวนาน 6 สัปดาห์ เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว จึงย้ายค่น้ำกลุ่มนั้นออก และย้ายกล้าค่น้ำอายุ 1 สัปดาห์ใส่แทน โดยหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 3.4, 3.8)

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

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

หมายเหตุ : ระบบ Fish ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.1.4.1

ระบบ DRFT ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.1.4.2

ระบบ DRFT-Fish เปิดการทำงานของระบบเป็นเวลา 1 วัน จึงย้ายกล้าค่น้ำโดยวิธีดังกล่าวข้างต้น จนพืชเต็มโตะปลูก เพื่อให้อัตราการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช มีค่าสม่ำเสมอตลอดการทดลอง (ใช้เวลา 6 สัปดาห์) จากนั้นจึงเริ่มปล่อยปลาลงถึงเลี้ยงปลา และทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีในหัวข้อ 3.1.4.1 และ 3.1.4.2

3.1.5 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.5.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทั้งตัวโดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาโดยนำมาปลาใส่ในน้ำที่ผสมยาสลบ เมื่อปลาสลบ เริ่มชั่งน้ำหนักและวัดความยาว โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง

3.1.5.2 วัดการเจริญเติบโตของผักคะน้าด้วยการสุ่มตัวอย่างของผักคะน้า 5 ต้นต่อกลุ่มต่อระบบ นำมาชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งโดยสุ่มช่วงเดือนที่ 1, 2 และ 3 ของการเก็บผักเมื่อผักมีอายุ 42 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช และชั่งน้ำหนักรวมทั้งต้นและรากของผักคะน้าจำนวน 100 ต้นต่อระบบ ทูบรอบการปลูก เพื่อหาผลผลิตคะน้ารวมตลอดการทดลอง

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

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

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

3.1.5.5 ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา โดยหาอัตราส่วนของจำนวนครั้งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่อจำนวนครั้งที่วิเคราะห์น้ำ และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวกที่ ค.3)

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

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักคะน้า ผลผลิตรวมของปลาและคะน้า คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหารในคะน้า และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window (Statistical Package for the Social Sciences)

