b126663

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด

ปิยนุช บุญศิริชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
พ.ศ. 2547

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจาก
บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด
ปิยนุช บุญศิริชัย
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... ประธานกรรมการ
(ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์)

อาจารย์ .....วิสาขา ภู่จินดา..... กรรมการ
(ดร. วิสาขา ภู่จินดา)

อาจารย์ .....ชลิดา เหนี่ยวบุบผา..... กรรมการ
(ชลิดา เหนี่ยวบุปผา)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.....ผู้อำนวยการ
(ดร. สมพจน์ กรรณนุช)
วันที่ 30 เดือน กันยายน พ.ศ. 2548

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด

ชื่อผู้เขียน : ปิยนุช บุญศิริชัย

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา : 2547

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอย ความเป็นกรด - ด่าง และความเค็ม รวมถึงชีวมวลรวมของผักกระเฉด และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ทั้งในน้ำทิ้งและผักกระเฉด เมื่อใช้ระดับชีวมวลของผักกระเฉด และระยะเวลาในอัตราต่าง ๆ ณ แปลงทดลองที่สร้างขึ้นภายในพิเชษฐ์ฟาร์มซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืด อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้รูปแบบการทดลอง 5 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับคุณภาพน้ำ และใช้รูปแบบการทดลอง 4 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับการศึกษาชีวมวลของผักกระเฉด จะใช้ผักกระเฉดที่ระดับชีวมวล 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยมีระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัม เป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งทุกระดับจะทำการศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอย มีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเป็นกรด - ด่าง มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของผักกระเฉดเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ขณะที่ความเค็มมีค่าเท่ากับ 0 ppt โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน จะสามารถบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งได้มากกว่าผักกระเฉดในทุก ๆ ระดับ สำหรับชีวมวลรวมของผักกระเฉดนั้นที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม จะมีชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่วนที่ระดับชีวมวลอื่น ๆ มีชีวมวลลดลง นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ตะกั่วปรอท แคดเมียม ทั้งในน้ำทิ้งและผักกระเฉด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

สรุปได้ว่า การใช้ผักกระเฉดบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืดมีความเป็นไปได้ แต่ต้องมีระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับปริมาณน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อกัน

ABSTRACT

Title of Thesis	:	A Feasibility Study of Effluent Treatment from Black Tiger Shrimp Pond by Using Water Mimosa
Author	:	Miss Piyanuch Bunsirichai
Degree	:	Master of Science (Environmental Management)
Year	:	2004

This study was aimed at investigating the quality of Black Tiger Shrimp pond' s effluent in freshwater area after being treated by using Water Mimosa. The Water Mimosa' s biomass and time used to treat the effluent were varied. General indicators of water quality; nitrate, ammonia, biological oxygen demand, total phosphorus, suspended solid, pH, salinity and biomass were studied. In addition, concentrations of heavy metals such as lead, mercury and cadmium in the biomass and the effluent were measured. The experiment was taken place at Pichet Farm, in Bansrang District, Prachinburi Province. During November, 2003 and March, 2004 and was carried out using 5 × 3 factorial arrangement with four replications for the water quality' s parameters. The experiment was also undertaken using 4 × 3 factorial arrangement with four replications for the biomass of Water Mimosa. The biomasses of 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 kg and the time used to treat the effluent of 10, 20 and 30 days were designed. The biomass of 0 kg was used as a control.

The results illustrated that when the biomass of Water Mimosa and the time used to treat increased, the values of nitrate, ammonia, biological oxygen demand, total phosphorus and suspended solid were decreased. While pH trended to decrease when the biomass increased, but trended to increase when time used increased. It was also found that the salinity of 0 ppt, the biomass of 0.8 kg and the treatment time of 30 days were found to be the best condition of the water quality in this experiment. When the biomass of 0.2 kg was employed, the biomass itself increased as time passed whereas the biomass of 0.4, 0.6 and 0.8 kg decreased when time elapsed. The results showed

that concentrations of heavy metals in the effluent and the biomass were at the standard level.

It can be concluded from this experiment that it is viable to use Water Mimosa to treat the effluent from Black Tiger Shrimp pond in freshwater area, but it should be balanced suitably between effluent quantity and Water Mimosa biomass.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา และกำลังใจ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ชลิดา เหนี่ยวบุปผา และอาจารย์ ดร. วิสาขา ภู่จินดา กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำชี้แนะและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุก ๆ ท่านในสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา ที่ได้ถ่ายทอดและสร้างความรู้ให้แก่ผู้ศึกษา และขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ประสานงานในระหว่างการศึกษา และระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศ์เชฏฐ์ พิชิดกุล รองหัวหน้าภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณสุรพล สืบเสาะ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุก ๆ ท่านที่ได้อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณธำรงค์ จึงธีรพานิช คุณปิยะมาศ ห้องดุลย์ คุณจุฬาวดี จันเทวาลิขิต คุณกัลยา เจริญต้นภูบาล คุณกฤษฎา หงส์รัตน์ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ ศร บุญศิริชัย คุณแม่ สุนีย์ บุญศิริชัย ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาและเป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตของผู้ศึกษามาโดยตลอด และขอขอบคุณพี่และน้องที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้เสมอมา ด้วยความเคารพรักอย่างสูง

ปิยนุช บุญศิริชัย

กันยายน 2547

b126663

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (3)

ABSTRACT (5)

กิตติกรรมประกาศ (7)

สารบัญ (8)

สารบัญตาราง (10)

สารบัญภาพ (11)

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 5

2.1 การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย 5

2.2 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย 8

2.3 คำจำกัดความของน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้ง 10

2.4 ของเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 12

2.5 การเกิดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 14

2.6 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 17

2.7 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ 21

2.8 ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ 23

2.9 พรรณไม้น้ำ 26

2.10 ข้อมูลพื้นฐานของผักกระเฉด 29

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา		33
3.1 วัสดุและอุปกรณ์		33
3.2 วิธีการทดลอง		34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	c4-1	42
4.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ		42
4.2 ชีวมวลของผักกระเฉด	c4-2	74
4.3 ปริมาณโลหะหนัก		85
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		91
5.1 สรุปผลการทดลอง		91
5.2 ข้อเสนอแนะ		95
บรรณานุกรม		97
ภาคผนวก		103
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง	ap-1	104
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	ap-2	126
ภาคผนวก ค ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล	ap-3	148
ประวัติผู้ทำวิทยานิพนธ์		156

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การส่งออกกุ้งของไทยไปต่างประเทศ เดือนมกราคม – พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2545 และ 2546	9
2.2	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	12
2.3	มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง	21
2.4	หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย	24
3.1	วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	38
3.2	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง	39
3.3	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักในผักกระเฉด	40
4.1	คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	46
4.2	คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน	56
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน	67
4.4	ระดับชีวมวลรวมเฉลี่ยของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่แตกต่างกัน	75
4.5	ชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลาต่าง ๆ	77
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด	80
4.7	มาตรฐานความปลอดภัยของการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ	85
4.8	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	87
4.9	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกระเฉด	89

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 รูปแบบการทดลอง 5 × 3 Factorial Arrangement 34
3.2 รูปแบบการทดลอง 4 × 3 Factorial Arrangement 35
3.3 ลักษณะการจัดวางหน่วยทดลองในโรงเรือนประดิษฐ์จากการสุ่ม 36
4.1 ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 47
4.2 ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 48
4.3 ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 49
4.4 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 50
4.5 ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 51
4.6 ปริมาณของความเป็นกรด - ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 52
4.7 ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน 57
4.8 ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน 58
4.9 ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน 59
4.10 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน 60
4.11 ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน 61
4.12 ปริมาณของความเป็นกรด - ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน 62

4.13	ปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	68
4.14	ปริมาณของแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	69
4.15	ปริมาณของบีโอดีที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	70
4.16	ปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	71
4.17	ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	72
4.18	ปริมาณของความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	73
4.19	ชีวมวลรวมของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน	76
4.20	ชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	78
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด	81
4.22	ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 10 วัน	82
4.23	ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 20 วัน	83
4.24	ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 30 วัน	84
4.25	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	88
4.26	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกระเฉด	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดอยู่ในพวกสัตว์มีกระดองหรือครัสเตเซียน (Crustacean) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon*, Frabricius และมีชื่อสามัญว่า Black Tiger Shrimp กุ้งกุลาดำจัดเป็นสัตว์เศรษฐกิจและเป็นสินค้าส่งออกในประเภทสัตว์น้ำที่ทำรายได้ให้กับประเทศมีมูลค่าสูงสุดในแต่ละปี และสามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งได้เป็นอย่างดี จึงได้รับความนิยมในการเพาะเลี้ยงกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นเริ่มขึ้นเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2490 และมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่การเลี้ยงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยในปี พ.ศ. 2543 พื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยมีประมาณ 540,000 ไร่ มีผลผลิตรวมประมาณ 220,000 ตัน/ปี (ปั่นปอ, 2543: 25)

เนื่องจากกุ้งกุลาดำทำรายได้ให้กับเกษตรกรสูง จึงทำให้มีการขยายพื้นที่การเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น และจากที่เคยเลี้ยงเฉพาะบริเวณชายฝั่งเท่านั้นก็ได้มีการขยายพื้นที่การเลี้ยงมายังเขตพื้นที่น้ำจืด เนื่องด้วยเหตุผลทางวิชาการด้านการเลี้ยงที่พบว่า กุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวให้อยู่ในน้ำที่จืดสนิทได้ (ยนต์ มุสิก, 2530: 3) และการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดนั้นโอกาสที่จะประสบปัญหาเรื่องโรคน้อยกว่าการเลี้ยงในพื้นที่ความเค็มปกติ เพราะโรคที่รุนแรงบางชนิด เช่น โรคเรืองแสง ซึ่งเกิดจากแบคทีเรีย *Vibrio harveyi* และเป็นโรคที่พบได้ทั่วไปในน้ำที่มีความเค็มตั้งแต่ 10 ppt ขึ้นไป โดยเฉพาะช่วงที่ความเค็มเหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 20 - 40 ppt ดังนั้น การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบนี้จึงไม่เกิดปัญหาโรคเรืองแสง ซึ่งนอกจากนี้ยังพบว่าโอกาสที่จะเกิดโรคหัวเหลืองก็มีน้อยเช่นกัน ส่วนโรคตัวแดงดวงขาวมีรายงานการสูญเสียบ้างในช่วงปลายปีต่อกับต้นปี เนื่องจากไวรัสชนิดนี้ติดต่อมากับลูกกุ้ง แต่ความรุนแรงก็น้อยกว่าการเลี้ยงบริเวณริมฝั่งทะเลที่น้ำมีความเค็มสูง (อัจจรียาพร บุญชูสนอง, 2542: 3 - 4)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ผลของการขยายตัวอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการวางแผนและการควบคุมดูแลอย่างเหมาะสม เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการทำลายระบบนิเวศ ซึ่งถ้าหากไม่มีระบบการเลี้ยงที่ถูกต้องก็จะเกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมามากมาย ที่เห็นได้ชัด อาทิเช่น น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากบ่อกุ้งในขณะที่ถ่ายน้ำหรือโดยเฉพาะในขณะที่จับกุ้ง ซึ่งจะมีปริมาณตะกอนของสารอินทรีย์ เศษอาหาร และแพลงก์ตอนพืชจำนวน

มาก โดยการเกิดมลพิษทางน้ำนั้นอาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของการผลิตกุ้ง ดังนี้ 1) ขั้นตอนการเตรียมบ่อ 2) ขั้นตอนการเลี้ยง 3) ขั้นตอนการจับกุ้ง และ 4) ขั้นตอนการทำความสะอาดบ่อ แต่ส่วนใหญ่แล้วน้ำทิ้งที่เกิดจากขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 นั้น เมื่อถูกปล่อยจากบ่อเลี้ยงกุ้งมักจะถูกกักให้อยู่ในคลองน้ำทิ้งภายในฟาร์ม โดยจะมีเกษตรกรน้อยรายมากที่ไม่มีคลองน้ำทิ้ง ทำให้ต้องปล่อยน้ำทิ้งเหล่านั้นออกมาสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง และสิ่งเหล่านี้ได้กลายเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่อยู่ในคลองน้ำทิ้งนั้นมักจะนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในคลองน้ำทิ้งจะมีพืชน้ำขึ้นอยู่หลายชนิด เช่น ธูปฤาษี ผักบุ้งไทย ต้นโสน และผักกระเฉด เป็นต้น โดยพืชน้ำเหล่านี้จะเจริญเติบโตอยู่ในคลองน้ำทิ้งตลอดเส้นทางและอาจเป็นไปได้ว่าพืชน้ำเหล่านี้มีส่วนช่วยในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้ ซึ่ง พจนารถ ปิติปัญญา (2543: 16) ได้กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดหรือระบบความเค็มต่ำนั้นสามารถดำเนินการเลี้ยงได้ในระบบปิดแบบใช้น้ำหมุนเวียน กล่าวคือ เป็นการใช้น้ำหมุนเวียนเลี้ยงกุ้งกุลาดำในฟาร์มเพาะเลี้ยงโดยไม่ปล่อยน้ำทิ้งออกจากพื้นที่โดยสามารถนำน้ำนั้นหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อน้ำนั้นผ่านระบบบำบัดที่มีการเลี้ยงปลาและพืชน้ำ เป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำดีก่อนหมุนเวียนกลับมาเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไป นอกจากนี้ เกษตรกรที่มีบ่อเลี้ยงปลารวมอยู่ในพื้นที่ฟาร์มเลี้ยงกุ้งด้วยก็จะเก็บผักบุ้งไทยและผักกระเฉดซึ่งขึ้นอยู่ในคลองน้ำทิ้งนั้นไปใช้ในการเลี้ยงปลาหรือจำหน่ายสู่ท้องตลาดได้อีกด้วย

ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด เนื่องจากเป็นพืชน้ำที่มีอยู่แล้วในคลองน้ำทิ้งและยังเป็นพืชน้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าผักบุ้งไทยและธูปฤาษี (เป็นวัชพืชไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ) และสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วตลอดปี นับว่าเป็นการบำบัดน้ำทิ้งโดยวิธีธรรมชาติ เน้นให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการบำบัด เป็นการนำศักยภาพของธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญเกษตรกรทั่วไปสามารถทำความเข้าใจ ปฏิบัติได้ง่าย และสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ ยังเป็นการช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผักกระเฉดบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้งก่อนและหลังการทดลอง

1.2.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของผักกระเฉด และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.2.2.3 เพื่อศึกษาโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทที่ตกค้างในลำต้นของผักกระเฉดก่อนการทดลองและหลังการทดลอง (แต่ในกรณีที่ก่อนการทดลองปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งตรวจไม่พบหรือพบแต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด หลังการทดลองก็จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักทั้งในน้ำทิ้งและผักกระเฉด)

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ผักกระเฉดสามารถใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำผักกระเฉดที่ปราศจากสารตกค้างไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคหรือจำหน่ายต่อไปได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืดของพิเชษฐ์ฟาร์ม อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี

1.4.2 ผักกระเฉดที่ใช้ในการทดลอง คือ ผักกระเฉดพันธุ์ Water Mimosa; (*Neptunia oleracea* Lour.)

1.4.3 ภาชนะที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาชนะใส่น้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 72 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 35 เซนติเมตร

1.4.4 สถานที่ทำการทดลอง คือ พิเชษฐ์ฟาร์ม อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.5.2 ทราบถึงปริมาณมวลของผักกระเฉดที่เหมาะสมในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.5.3 เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำพืชชนิดอื่นมาใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.5.4 ลดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

1.5.5 เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งอีกทางหนึ่งจากการนำผักกระเฉดที่เจริญเติบโตและปราศจากสารตกค้างไปจำหน่าย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

กุ้งกุลาดำจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยประเทศไทยสามารถส่งออกกุ้งกุลาดำเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 และมีรายได้จากการส่งออกกุ้งแช่แข็งให้กับประเทศทั้งในอเมริกา ยุโรป และแถบเอเชีย เป็นเงินหลายหมื่นล้านบาท และส่วนใหญ่กุ้งกุลาดำที่ส่งขายเป็นกุ้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ซึ่งพื้นที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั่วประเทศมีประมาณ 600,000 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณชายฝั่งทะเล 400,000 ไร่ พื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณเขตน้ำกร่อยหรือพื้นที่ที่น้ำทะเลขึ้นถึงบางฤดูกาลประมาณ 130,000 ไร่ และพื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณเขตน้ำจืดประมาณ 70,000 ไร่ (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 24)

การเพาะเลี้ยงกังกลาดำได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490 จนถึงปัจจุบัน โดยในช่วงเริ่มต้นมีการเลี้ยงแบบธรรมชาติและพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ มาเป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา และในปัจจุบันเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (พจนารถ ปิติปัญญา, 2543: 14) ซึ่งวิธีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (Extensive System) เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม ซึ่งใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ขนาดของบ่อส่วนใหญ่จะมากกว่า 25 ไร่ขึ้นไป ใช้พันธุ์กุ้งจากธรรมชาติที่เข้ามากับน้ำทะเลในขณะที่สูบน้ำเข้าบ่อ และไม่มีการให้อาหาร

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi – Intensive System) เป็นการเลี้ยงกุ้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการเลี้ยงแบบธรรมชาติแต่มีการปรับปรุงรูปแบบบ่อ ซึ่งขนาดของบ่อโดยเฉลี่ยประมาณ 10 – 25 ไร่ นำพันธุ์กุ้งที่ได้จากโรงเพาะฟักลงปล่อยเสริมในอัตราน้อยกว่า 40,000 ตัวต่อไร่ มีการให้อาหารสมทบ และอาจมีเครื่องให้อากาศ

3. การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (Intensive System) เป็นการเลี้ยงกุ้งแบบระบบหนาแน่นที่ใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่ทันสมัย จะนำพันธุ์กุ้งจากโรงเพาะฟักมาเลี้ยงอย่างเดียว โดยจะปล่อยลูกกุ้งกุลาดำในอัตรา 15 – 30 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 48,000 ตัวต่อไร่ มีการให้อาหารวันละ 4 – 6 มื้อ และจะมีการใช้เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนอย่างเพียงพอ สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยงจะน้อยกว่ารูปแบบการเลี้ยงแบบธรรมชาติและแบบกึ่งพัฒนาคือประมาณ 1 – 10 ไร่ แต่จะให้ผลผลิตสูงกว่า และต้นทุนจะมากกว่า

นอกจากนี้ อนันต์ ดันสุตะพานิช (2536: 3 - 5) แบ่งการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. การเลี้ยงกุ้งระบบเปิด (Opened System) หมายถึง การเลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ เพื่อควบคุมรักษาคุณภาพน้ำ และแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในบ่อให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ การเลี้ยงระบบเปิดจะใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งจะอิงสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำจากภายนอกเป็นหลัก แต่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเลี้ยงและต่อสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์มจากแหล่งน้ำภายนอกติดตามมา

2. การเลี้ยงกุ้งระบบปิด (Closed System) หมายถึง การเลี้ยงกุ้งโดยการใช้ขบวนการต่าง ๆ ทั้งทางชีวเคมีและฟิสิกส์ในการควบคุมรักษาคุณภาพน้ำและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ภายในบ่อระหว่างการเลี้ยงให้อยู่ในสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตโดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการเติมน้ำเพื่อทดแทนน้ำส่วนที่ระเหยและรั่วซึม

พจนารถ ปิดิปัญญา (2543: 15) ได้กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดมีผลอันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงที่อาจส่งผลทำให้กุ้งเกิดโรคได้ถ้าหากมีการนำน้ำเข้าบ่อโดยตรงเช่นเดียวกับการเลี้ยงระบบเปิด ดังนั้น จึงหาแนวทางการแก้ปัญหานี้ด้วยการเลี้ยงระบบปิด ซึ่งการเติมน้ำในการเลี้ยงระบบปิดนั้นมี 2 วิธี โดยแบ่งออกเป็นหลายลักษณะตามความจำเป็นของแต่ละพื้นที่ ได้แก่

1. การเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและเติมน้ำตลอดการเลี้ยง คือ เป็นการเลี้ยงน้ำเดียวตลอดการเลี้ยง ไม่มีการถ่ายน้ำและไม่เติมน้ำเพื่อทดแทนปริมาณน้ำที่หายไป ซึ่งการเลี้ยงในลักษณะนี้จะต้องเป็นการเลี้ยงในช่วงหน้าฝน เพราะจะมีฝนตกลงมาเติมเพื่อช่วยเจือจางความเค็ม

2. การเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำแต่จะมีการเติมน้ำเข้าบ่อเลี้ยงเพื่อทดแทนส่วนที่หายไป ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นการเลี้ยงในช่วงหน้าแล้ง

การเลี้ยงกุ้งระบบปิดนี้ นับว่าเป็นระบบการเลี้ยงกุ้งแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยจะมีการนำน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงกลับมาเข้าขบวนการปรับปรุงแล้วนำกลับมาใช้อีก โดยสร้างบ่อต่างๆ ให้น้ำผ่านไปเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ก่อนนำกลับมาเลี้ยงกุ้งอีกครั้ง (สุภาพร สุกสีเหลือง, 2538: 207) ซึ่งบ่อแต่ละบ่อจะมีหน้าที่ ดังนี้

- บ่อฆ่าเชื้อ น้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งและน้ำใหม่ที่ทดแทน จะนำไปบำบัดโดยการเติมคลอรีนทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลอดเชื้อ

- บ่อตกตะกอน น้ำที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วมักจะเต็มไปด้วยอาหารและสารอินทรีย์ซึ่งสามารถลดได้โดยการตกตะกอน ก่อนนำไปสู่บ่อเลี้ยงปลา

- บ่อเลี้ยงปลา สัตว์น้ำที่เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นปลานิล หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสารอินทรีย์โดยการกรองของปลาและหอย

- บ่อจุลินทรีย์ ในบ่อจะมีแบคทีเรียที่ใช้ไนโตรเจนเป็นอาหาร ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย

- บ่อสาหร่าย เมื่อแบคทีเรียในบ่อจุลินทรีย์เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมของไนเตรท ซึ่งจะถูกกำจัดโดยการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

- คลองส่งน้ำ น้ำที่ได้จากการบำบัดแล้วจะเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งทางคลองส่งน้ำ เพื่อทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งหมุนเวียนตลอดเวลา

- บ่อเลี้ยงกุ้ง แต่ละบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีท่อส่งน้ำเข้ามาจากคลองส่งน้ำ และจะมีท่อน้ำออกเพื่อส่งน้ำทิ้งต่อไป ซึ่งภายในบ่อเลี้ยงกุ้งต้องมีเครื่องตีน้ำด้วย

ชลอ ลิ้มสุวรรณ (2534: 25 – 26) ได้ให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับมาตรการในการรักษาสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ฟาร์มเลี้ยงกุ้งทุกฟาร์มควรปฏิบัติ ดังนี้

1. การทำฟาร์มกุ้งในพื้นที่แหล่งใหม่ควรจะใช้พื้นที่หลังแนวป่าชายเลนเพียงอย่างเดียว โดยไม่ต้องใช้พื้นที่ป่าชายเลนและตัดป่าไม้ชายเลนอีก

2. ควรมีการวางระบบน้ำทิ้งร่วมกันไม่ให้ปล่อยน้ำทิ้งลงไปในคลองน้ำจืดที่อยู่ในบริเวณฟาร์มกุ้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชนผู้ต้องอาศัยคลองน้ำจืดในการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพอื่น ๆ

3. ฟาร์มที่มีพื้นที่มากพอ ควรจะมีบ่อสำหรับพักน้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่ภายนอก เพื่อลดปริมาณตะกอนและของเสียอื่น ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ

4. รัฐบาลน่าจะร่วมมือกับบริษัทเอกชนจัดระบบน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มเล็ก ๆ ที่มีอยู่อย่างหนาแน่นและมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำทิ้ง

5. ห้ามฉีดเลนลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ถ้าจำเป็นต้องมีการฉีดเลนเนื่องจากไม่สามารถจะเตรียมบ่อได้เพราะพื้นบ่อไม่แข็ง จะต้องมีประตูปิดกั้นเลนและของเสียไม่ให้ออกสู่ภายนอก เลนและตะกอนต่าง ๆ ก็จะอยู่ภายในฟาร์มเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดมลภาวะได้มาก

6. รัฐบาลต้องมีความเข้มงวดกวดขันเกี่ยวกับการใช้ยาและสารเคมีสำหรับฟาร์มกุ้งให้สอดคล้องกับความต้องการของประเทศผู้รับซื้อกุ้งจากประเทศไทย

7. ภาครัฐบาลควรจะมีเจ้าหน้าที่คอยตรวจเช็ค และให้คำแนะนำแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่างสม่ำเสมอ

8. รัฐบาลควรจะหาแนวทางจัดระบบชลประทานน้ำเค็มแก่ฟาร์มเลี้ยงกุ้งในแหล่งที่มีความเป็นไปได้

9. รัฐบาลควรจะขุดลอกคลองและแม่น้ำต่าง ๆ ที่มีการเลี้ยงกุ้งกันอย่างหนาแน่นเป็นระยะ ๆ โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำที่มีตะกอนเป็นจำนวนมากไปปิดกั้นการไหลของกระแสน้ำ แต่การขุดลอกคลองจะต้องทำในขณะที่เป็นช่วงที่ไม่มีการเลี้ยงกุ้ง เช่น ประกาศให้เกษตรกรทราบล่วงหน้าเพื่อวางแผนการเลี้ยงให้เหมาะสม เพราะการลอกคลองในขณะที่มีการเลี้ยงกุ้งจะทำให้ของเสียต่าง ๆ ที่ขุดลอกคลองขึ้นมาปะปนกับน้ำทำให้เป็นอันตรายต่อกุ้งในบ่อได้

นอกจากนี้ อนันต์ ดันสุตะพานิช (2538: 1) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงกุ้งระบบรีไซเคิลหรือมีนเกษตร ซึ่งหมายถึง ระบบการปรับเปลี่ยนของเสียหรือสิ่งปฏิกูลให้กลับกลายเป็นวัสดุต้นทุนหรือเป็นสิ่งของที่มีทั้งประโยชน์ คุณค่า และราคาต่อเนื่องกันไปเป็นลูกโซ่ครบวงจร อาทิ การฟื้นฟูตะกอนเลนและน้ำให้กลับคืนสู่ภาวะปกติสมดุล และเกิดสายใยอาหารตามธรรมชาติคืนสภาพให้กลับไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัยและใช้ประโยชน์หลักสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และสัตว์น้ำอื่น ๆ ควบคู่กับการปลูกพืชได้ซ้ำแล้วซ้ำอีกต่อเนื่องภายในฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยไม่ต้องตากบ่อ ไม่ต้องนำตะกอนเลนออกจากบ่อ ไม่ต้องทิ้งน้ำออกจากฟาร์มทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการเลี้ยง ทั้งนี้ การจัดการปรับระบบนิเวศในแต่ละฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นควรที่จะให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากลเกี่ยวกับระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) ตลอดจนระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (มอก. 18000)

2.2 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยเริ่มประสบปัญหากุ้งโตช้า เลี้ยงไม่ได้ และราคาตกต่ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมา ซึ่งรายงานข้อมูลจากกรมศุลกากร สรุปได้ว่าการส่งออกกุ้งกุลาดำของประเทศไทยไปต่างประเทศใน 11 เดือน (มกราคม – พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2546) รวมปริมาณการส่งออก 213,684 ตัน มีมูลค่า 66,599 ล้านบาท (ปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.7 ส่วนมูลค่าลดลงร้อยละ 2.6 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันในปี พ.ศ. 2545) (เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2547: 4) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมาจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น ลูกพันธุ์กุ้งไม่มีคุณภาพ และการใช้ยาและสารเคมีในการเลี้ยงกุ้งที่มากเกินความจำเป็นจนทำให้เกิดสารตกค้างทั้งในกุ้งและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1 การส่งออกกุ้งของไทยไปต่างประเทศ เดือนมกราคม – พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2545 และ 2546*

หน่วย : ปริมาณ – ตัน, มูลค่า – ล้านบาท

ประเทศ / กลุ่มประเทศ	ม.ค. – พ.ย. พ.ศ. 2545		ม.ค. – พ.ย. พ.ศ. 2546		แตกต่าง (ร้อยละ)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
เอเชีย	71,515.00	24,540.00	64,625.00	21,108.30	- 9.63	- 13.98
- จีน	2,374.00	449.00	2,518.00	624.00	6.07	38.98
- ญี่ปุ่น	42,427.00	16,891.00	42,220.00	15,450.30	- 0.49	- 8.53
- อื่น ๆ	26,714.00	7,200.00	19,887.00	5,034.00	- 25.56	- 30.08
สหรัฐอเมริกา	99,784.00	36,251.00	120,622.00	37,736.00	20.88	4.10
กลุ่มอียู	5,583.00	1,404.00	4,246.00	1,115.00	- 23.95	- 20.58
ออสเตรเลีย	6,156.00	1,736.00	7,462.00	1,875.20	21.22	8.20
อื่น ๆ	13,552.00	4,447.00	16,729.00	4,764.50	23.44	7.14
รวมทั้งหมด	196,590.00	68,378.00	213,684.00	66,599.00	8.70	- 2.60

แหล่งที่มา : เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2547: 4.

หมายเหตุ : *ประมาณครึ่งหลังของปี พ.ศ. 2546 ค่าเงินบาทได้แข็งตัวขึ้น

นอกจากนี้ผลจากการพัฒนาระบบการเลี้ยงทำให้มีผลตอบแทนเฉลี่ยต่อพื้นที่สูงเมื่อเทียบกับการทำเกษตรอื่น ๆ จึงทำให้มีการขยายพื้นที่การเลี้ยงโดยการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อทำนากุ้งบริเวณชายฝั่งทะเล ต่อมา เมื่อมีการเลี้ยงกันมากขึ้นทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว เกิดโรคระบาดและได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร การเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงได้ขยายพื้นที่การเลี้ยงเข้าสู่บริเวณเขตน้ำกร่อยและบริเวณเขตน้ำจืดตามลำดับ โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตน้ำจืดบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 25) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การเกิดมลพิษทางน้ำและดิน โดยมีสาเหตุมาจากน้ำและตะกอนที่ทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยง เนื่องจากเกษตรกรขาดการจัดการที่ดี นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดความขัดแย้งทางสังคมและทางวิชาการ รวมทั้งปัญหาการใช้ทรัพยากรน้ำและที่ดินในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางอีกด้วย

ปัจจุบันกรมประมงได้ประกาศให้ผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำมาจดทะเบียนและขออนุญาตตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยผู้เลี้ยงกุ้งจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไข คือ น้ำที่ปล่อยทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องไม่ทิ้งปล่อยหรือไล่เลนจากพื้นที่เลี้ยงกุ้งลงในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือที่สาธารณะประโยชน์ และต้องไม่ปล่อยน้ำเค็มหรือ

กระทำการใด ๆ จนเป็นเหตุให้น้ำเค็มจากพื้นที่เลี้ยงกุ้งซึมหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำจืดสาธารณะหรือพื้นที่เกษตรอื่น ๆ (คณิต ไชยาคำ และคณะ, 2537: 23 - 24) นอกจากนี้ ในปี พ.ศ. 2547 ทางรัฐบาลจัดให้เป็นปีแห่งความปลอดภัยด้านอาหาร (Food Safety Year) จึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปรับปรุงฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำเข้าสู่มาตรฐานทั่วประเทศ โดยทางกรมประมงได้กำหนดมาตรฐานไว้ 2 แบบ คือ มาตรฐานตามแนวทางการปฏิบัติทางประมงที่ดีสำหรับการเพาะเลี้ยงหรือ GAP (Good Aquaculture Practice) หมายถึง ฟาร์มที่มีการผลิตกุ้งคุณภาพ ถูกสุขอนามัย ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ไม่มีสารเคมีตกค้างในเนื้อกุ้ง และมีมาตรฐานการเลี้ยงกุ้งอย่างมีคุณภาพเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือ CoC (Code of Conduct) ซึ่งเป็นมาตรฐานด้านคุณภาพและการรับรองการผลิตอย่างครบวงจรตั้งแต่บ่อเลี้ยงจนถึงผู้บริโภค และมีบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งส่วนมากจะเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ (ดอกสะแบง, 2547: 7)

2.3 คำจำกัดความของน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้ง

น้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้ง หมายถึง น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยคุณสมบัติบางอย่างได้เปลี่ยนไปทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ และมวลน้ำที่ปล่อยออกมาอามีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 18) โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. ตะกอนเลนหรือดินเลน
2. น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษ ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง อาทิเช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอร์มาลิน และยาออกซีเตตร้าซัยคลิน เป็นต้น

เช่นเดียวกับที่ เสริมพล รัตสุข และชัยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524: 284 - 285) ที่กล่าวไว้ว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การชำระร่างกาย การขับถ่ายของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการทำเกษตรกรรม เป็นต้น ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งหรือความสกปรกของน้ำทิ้งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน และทางกรมควบคุมมลพิษ (2536: 148) ให้คำจำกัดความของน้ำเสีย (Wastewater) ว่า เป็นน้ำที่ไม่ต้องการหรือน้ำใช้แล้วระบายทิ้ง โดยน้ำใช้แล้วจากชุมชนอาจจะประกอบไปด้วยสิ่งปะปนที่ติดมาจากกิจกรรมจากที่อยู่อาศัย ธุรกิจ โรงงานอุตสาหกรรม และสถาบันต่าง ๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน หรือน้ำฝน

กรมควบคุมมลพิษ (2545: 1) รายงานเพิ่มเติมว่า น้ำเสีย อาจหมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมายจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป และไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ ส่วน ฉัตรไชย รัตนไชย (2539: 194) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์มาแล้ว ซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์ในบ้านเรือน ในการเกษตร หรือในกิจการอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งการใช้น้ำในกิจกรรมเหล่านี้จะทำให้น้ำมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม เช่น มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป หรือมีสิ่งเจือปนเพิ่มขึ้น โดยชนิดและความเข้มข้นของสิ่งเจือปนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้น้ำ

นอกจากนี้ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต (2536: 119 - 121) ได้แบ่งแหล่งน้ำเสียออกเป็น 3 ประเภทตามแหล่งที่มาของน้ำเสีย คือ (1) แหล่งชุมชนและที่พักอาศัย (Domestic Wastewater) (2) แหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) และ (3) แหล่งเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ซึ่งน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำจัดอยู่ในประเภทน้ำเสียจากแหล่งเกษตรกรรม โดยน้ำเสียจากแหล่งนี้เป็นน้ำเสียที่ไม่มีแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Non - Point Source) ซึ่งเกิดจากการวิวัฒนาการในด้านการเกษตร เพราะการทำเกษตรกรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการชลประทานและเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืช เช่น การใช้ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อเป็นธาตุอาหารของพืช และการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช ซึ่งจะมีบางส่วนติดตามใบ บางส่วนตกลงไปบนพื้นดิน เมื่อฝนตกจะถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเมื่อมีการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แหล่งน้ำมีธาตุอาหารมากเกินไป ทำให้เกิดการแพร่พันธุ์ของพืชน้ำและก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ ที่เรียกว่า Eutrophication และเมื่อพืชน้ำเหล่านี้ตายไปจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทำให้แหล่งน้ำนั้นสกปรก เน่าเสีย ซึ่งมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้

นอกจากนี้ กรมประมงได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คุณภาพน้ำ	ปริมาณที่เหมาะสม
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.010 – 0.500
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.020
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	< 4
ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	25.0 – 80.0
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.1
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	7.50 – 8.50
ความเค็ม (ppt)	15.0 – 30.0

แหล่งที่มา : คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 17 – 18.

2.4 ของเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ดินเลนหรือตะกอน และน้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535: 18 - 20)

1. **ดินเลนหรือตะกอนเลน (Shrimp Pond Mud)** บ่อเลี้ยงกุ้งจะมีเลนซึ่งเกิดจากเนื้อดินเล็กที่ละเอียด ทั้งที่มากับน้ำภายนอกและจากภายในบ่อเอง กุ้งที่นอนไม่หลับจะเคลื่อนไหวเอาขาคุ้ยพื้นบ่อตลอดเวลาทำให้ดินหลุดออกมาเป็นชิ้นละเอียด ถ้ามีเฉพาะเนื้อดินเป็นองค์ประกอบสำคัญก็ไม่น่าจะมีปัญหาเพราะเนื้อดินไม่เน่าเสีย แต่สิ่งที่ตกลงมาสมทบกับเนื้อดินละเอียดก้นบ่อและกลายเป็นต้นเหตุของการเน่าเสียของพื้นบ่อ คือ เศษอาหารกุ้งที่เหลือทุกวัน ขี้กุ้งที่ถูกขับถ่ายออกมา และอาจมีซากของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตกลงมาปะปนด้วย ซึ่งของเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโอกาสที่จะเกิดการเน่าเสียเมื่อมีความชื้นและมีเชื้อจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์เหล่านั้นจะถูกดำเนินการย่อยโดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะได้ผลดีที่สุดก็เมื่อมีออกซิเจนมากเพียงพอ แต่ถ้ามีออกซิเจนไม่เพียงพอการย่อยสลายจะเกิดช้าลง โดยในการเลี้ยงกุ้งแต่ละรุ่นจะมีเลนซึ่งเป็นของเสียต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ตามพื้นบ่อเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังมีรายงานว่า การผลิตกุ้ง 1 ตัน จะมีสารอินทรีย์เกิดขึ้น 1,250 กิโลกรัม สารประกอบไนโตรเจน 87 กิโลกรัม และฟอสฟอรัส 28 กิโลกรัม (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538: 5) ของเสียจากบ่อกุ้งจะมีปริมาณ

มาก ซึ่งของเสียเหล่านี้จะอุดมไปด้วยอินทรีย์สารที่เกิดจากอาหารกุ้งที่เหลือและขี้กุ้ง ตลอดจนสิ่งมีชีวิตพวกไฟโตแพลงก์ตอน (Phytoplankton) และซูแพลงก์ตอน (Zooplankton) ซึ่งปะปนออกมาในรูปของเลนจากบ่อกุ้ง (ลือชัย หุ่นศิริ และนิรันดร์ พุดตาน, 2535: 3)

2. น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Shrimp Pond Effluent) น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษ ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ อาทิเช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอร์มาลิน และยาออกซีเตตร้าซัยคลิน เป็นต้น โดยน้ำที่ปล่อยออกมาอาจมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติได้ นอกจากนี้ อรุณี กฤตยานวัช (2532: 9) ได้กล่าวว่า ปัญหาภาวะมลพิษของน้ำในแหล่งเลี้ยงกุ้งเกิดขึ้นเนื่องจากการดันน้ำทะเลเข้าและการระบายน้ำเสียของฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลต่างๆ โดยไม่มีการวางระบบระบายน้ำส่วนรวม ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำหมุนเวียนอยู่ในแหล่งเลี้ยง ซึ่งมีผลต่อการเพาะเลี้ยงและผลผลิตกุ้ง สำหรับปริมาณน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งรายงานโดย คณิต ไชยาดำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535: 1) ว่า ปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา (ในพื้นที่อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา) ในบ่อเลี้ยงขนาด 6 ไร่ จะมีปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 898.13 ตันต่อวัน ส่วนบ่อเลี้ยงขนาด 2.5 – 4.0 ไร่ มีปริมาณน้ำทิ้ง 339.65 ตันต่อวัน และบ่อเลี้ยงที่มีขนาด 0.9 – 2.0 ไร่ จะมีปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 145.02 ตันต่อวัน ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับข้อมูลของ ดุสิต ดันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาดำ (2536: 13) ว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 2.0 ไร่ จะมีอัตราการถ่ายน้ำทิ้งประมาณ 17,815.50 ตันต่อการเลี้ยง 1 รุ่น หรือประมาณ 164.95 ตันต่อวัน

อย่างไรก็ตาม ดุสิต ดันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาดำ (2536: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาปริมาณมวลสารที่ปล่อยออกจากบ่อกุ้ง พบว่า การผลิตกุ้งกุลาดำ 1,667 กิโลกรัม จะมีแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DIN) ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม คลอโรฟิลล์เอ บีโอดี และตะกอนแขวนลอย เท่ากับ 19.67, 0.20, 0.43, 20.30, 50.20, 1.27, 1.10, 86.87 และ 1,666.00 กิโลกรัมต่อบ่อ ตามลำดับ และ พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ (2533: 15) พบว่า ดินก้นบ่อเป็นแหล่งรองรับสารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อ ซึ่งสารที่สะสมอยู่นี้ทำให้ดินก้นบ่อมีหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งของสารอาหารที่สามารถปลดปล่อยออกมาสู่น้ำในบ่อได้

อนันต์ สาระยา (2528: 25) กล่าวว่า การสร้างบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในบริเวณชายฝั่งยังขาดหลักการที่ดี โดยในทัศนะของอุตสาหกรรมประมงนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยเป็นหลักในการส่งเสริม ซึ่งพื้นที่บางบริเวณอาจจะเหมาะสมที่จะปรับปรุงเลี้ยงสัตว์น้ำได้ แต่ก็อาจเป็นเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ 2 - 3 ปีเท่านั้น อาทิเช่น การขุดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ต่ำเกินไป จะไม่สามารถดากดินก้นบ่อได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการหมักหมมและเน่าเปื่อยที่บริเวณดินก้นบ่อและบริเวณดินใต้กอไม้ป่าชายเลนได้ เป็นต้น

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล (2532: 3) ได้รายงานถึงผลกระทบต่อการเกษตรซึ่งเกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้งว่า ของเสียที่ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมมักเป็นสิ่งที่พืช

ไม่ต้องการ เช่น ความเค็มของน้ำ สารเคมีในน้ำ รวมทั้งเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งของเสียเหล่านี้อาจไหลไปบนพื้นดินโดยปนไปกับน้ำ หรือไม่ก็อาจซึมลงไปในระดับน้ำใต้ดินซึ่งต้นพืชในบริเวณใกล้เคียงต้องใช้น้ำนี้ รวมถึงประชาชนบริเวณใกล้เคียงซึ่งต้องสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้อุปโภคและบริโภค

นอกจากนี้ สมลักษณ์ นงนุช (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยศึกษาโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำอยู่ระหว่าง 0.020 - 0.810, 0.001 - 0.407, 0.001 - 0.153, 0.001 - 0.007 และน้อยกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (การปนเปื้อนของปรอทในน้ำนั้นมีค่าต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้)

2.5 การเกิดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาเป็นการเลี้ยงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งจะประกอบด้วย คุณภาพน้ำและดิน โดยมีการศึกษาหลายรายที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยสามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงกุ้งในระบบพัฒนาเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ และตะกอนที่ทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยงกุ้งทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดมลภาวะหรือน้ำเสีย การเลี้ยงกุ้งในระบบพัฒนามีผลทำให้คุณภาพน้ำและปริมาณการใช้น้ำในการเลี้ยงกุ้งเปลี่ยนแปลงไปจากการเลี้ยงแบบเดิม (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2540: 152 และ ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531: 7 - 11) รายงานถึงความสำคัญและปัญหาของน้ำที่พบในบ่อกุ้งไว้ ดังนี้คือ

1. การขยายพื้นที่ที่เลี้ยงกุ้งมากขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดและไม่มีทางระบายน้ำเสียออก โดยเฉพาะเมื่อมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งหนาแน่นเกินกำลังที่ธรรมชาติจะสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ทัน ทำให้น้ำที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับนากุ้งมีสภาพที่ไม่เหมาะสม จนทำให้เกิดโรคระบาดกุ้งได้และกลายเป็นสลัมกุ้งในที่สุด

2. สารอินทรีย์ในน้ำที่มากเกินไป น้ำทิ้งที่ระบายออกจากบ่อกุ้งมักจะมีทั้งสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ปะปนออกมาจำนวนมาก เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาต้องมีการให้อาหารกุ้งเกือบตลอดเวลาและอาหารบางส่วนถูกใช้ไม่หมดจึงทำให้เกิดการละลายเป็นสารอินทรีย์อยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อน้ำเหล่านี้ระบายสู่ธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะได้

3. การจัดการบ่อที่ดี เนื่องจากยังไม่มีการส่งเสริมที่ชัดเจนเกี่ยวกับการจัดการบ่อโดยการกำจัดของเสียจากก้นบ่อ ของเสียในฟาร์มกุ้งจึงสะสมจนเกิดปัญหาเน่าเสียของน้ำ ซึ่งถ้าได้รับการพัฒนาที่ดีแล้วควรมีการใช้สารเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่

4. อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำเน่าเสียเช่นกัน ซึ่ง ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2531: 18 - 21) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ของอาหารกับการเน่าเสียของน้ำไว้ดังต่อไปนี้

4.1 อาหารที่ละลายน้ำ อาหารกุ้งที่บดละเอียดหรือมีชิ้นเล็กมาก ส่วนหนึ่งจะละลายน้ำเมื่อใส่ลงไปในน้ำ ซึ่งสารอาหารบางอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว

4.2 อาหารที่จมในเลน ในกรณีที่บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีเลนหนาและอาหารกุ้งเม็ดที่มีน้ำหนักมากจะจมลงในเลนได้ง่ายก่อนที่กุ้งจะกินหมด ซึ่งอาจทำให้อาหารส่วนนี้ถูกย่อยสลายและเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (H_2S) ที่เน่าเหม็น ทำให้เกิดสภาพน้ำเน่าเสีย

4.3 อาหารที่เหลือจากการหว่านลงไปในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งอาจจะเกิดจากการคำนวณไม่ถูกต้องว่าต้องใส่ปริมาณเท่าใดและกุ้งกินได้เท่าไร หรือการหว่านอาหารกระจายไม่ทั่วทั้งบ่อ ทำให้บางจุดกุ้งก็ไม่ได้กิน หรือการมีอาหารมากเกินไป ก็อาจจะทำให้เกิดการบูดเน่าเสียของอาหารได้

4.4 อาหารสดที่เน่าเสียอยู่แล้ว เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งบางรายอาจจะใช้อาหารสดประเภทปลาเป็ดในการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งกว่าจะเดินทางไปถึงแหล่งที่เลี้ยงก็มีบางส่วนที่เน่าเสียแล้ว และถึงแม้จะมีการเน่าเสียค่อนข้างมากแต่ก็ยังคงมีการนำไปใช้เลี้ยงกุ้ง และเมื่ออาหารเหล่านี้ลงไปในบ่อเลี้ยงกุ้ง ส่วนที่เน่าเสียมักจะละลายน้ำได้ง่ายและจะมีเชื้อแบคทีเรียจำนวนมาก ซึ่งอาหารเหล่านี้เมื่อลงสู่ในน้ำก็เท่ากับนำของเสียมาละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาวะน้ำเน่าเสียได้ง่ายมากขึ้น

5. ขี้กุ้งและสิ่งที่ขับถ่าย เนื่องจากว่ากุ้งกุลาดำอยู่ในน้ำ กินแล้วต้องขับถ่ายออกมาอยู่ในน้ำ ซึ่งของเสียเหล่านี้ถึงแม้จะถูกย่อยและดูดซึมไปใช้บ้างแล้วก็ตามแต่ก็ยังคงเหลือโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อใย ซึ่งก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงและย่อยสลายต่อไป นอกจากนี้ ขี้กุ้งและสิ่งที่ขับถ่ายก็เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกแบคทีเรีย ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารต่าง ๆ ที่มีเหลือโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เป็นผลทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดผลกระทบทั้งจากตัวแบคทีเรียเองที่แย่งออกซิเจน และผลกระทบจากสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยของแบคทีเรียนั้น และอาจมีผลต่อเนื่องจากพวกสาหร่ายเซลล์เดียวที่เกิดขึ้นติดตามมา

นอกจากนี้ คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2537: 1 - 3) ได้สรุปสาเหตุของน้ำเสียจากบ่อกุ้งไว้ ดังนี้คือ

1. เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งได้ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นมากเกินไป คือ อัตราการปล่อยระหว่าง 40 – 100 ตัวต่อตารางเมตร เมื่อปล่อยกุ้งลงเลี้ยงหนาแน่นมากและมีการให้อาหารมากเกินไปเพื่อเร่งการเจริญเติบโตโดยไม่มีการตรวจสอบให้ถูกต้องเสียก่อนว่าควรเพิ่มอาหารหรือไม่ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสูง

2. การทำสีน้ำ เกษตรกรมักจะทำสีน้ำให้เข้มเพราะความเข้าใจที่ว่ากุ้งชอบอาศัยอยู่ในน้ำลักษณะดังกล่าว จึงมักมีการเติมปุ๋ยวิทยาศาสตร์ชนิดต่าง ๆ ลงไป ซึ่งปุ๋ยดังกล่าวจะไปช่วยเพิ่มปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำ เมื่อแพลงก์ตอนดังกล่าวมีมากเกินไปและตายเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งป่วยและตายในที่สุด

3. การปล่อยน้ำเสียและโคลนเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงมักนิยมปล่อยน้ำทิ้งลงในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง โดยคิดไม่ถึงว่าธรรมชาติมีขีดจำกัดในการรองรับน้ำเสีย ไม่ว่าจะเป็นการดูดเลนหรือดูดขี้กุ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติระหว่างการเลี้ยง หรือฉีดเลนลงแม่น้ำลำคลองเมื่อต้องการจะเตรียมบ่อ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดมลภาวะและตื้นเขิน พื้นดินมีอินทรีย์วัตถุสูง และเมื่อจะดำเนินการเลี้ยงกุ้งในรุ่นใหม่ของเสียเหล่านี้ก็จะกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงอีกครั้ง จึงเป็นสาเหตุของโรคตายเดือนและทำให้แพลงก์ตอนเกิดหนาแน่น

4. เกษตรกรขาดความรู้ทางด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ การจัดการที่ดีนับว่ามีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้งมาก ซึ่งจะประกอบด้วย หลักการเลี้ยง การใช้ยาและสารเคมี และการจัดระบบน้ำและการวางผังบ่อ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เกษตรกรยังคงมีการจัดการไม่ดีพอจึงทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ในการทำความสะอาดบ่อนั้น เกษตรกรบางรายต้องการเลี้ยงกุ้งให้ได้มากรุ่น จึงไม่มีการตากบ่อแต่จะทำการฉีดเลนออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเลนดังกล่าวเป็นของเสียจากเศษอาหารที่เหลือ ขี้กุ้ง และจากการตายของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงนั่นเอง ซึ่งของเสียดังกล่าวจะมีปริมาณแอมโมเนียสูง และก่อให้เกิดมลภาวะแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ

สมเกียรติ ปิยะธีรติวรกุล (2531: 25) ได้สรุปว่าแหล่งน้ำเสียที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารที่ให้สำหรับเลี้ยงกุ้ง ถ้าให้อาหารมากเกินไปจะมีเศษอาหารเหลือและถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนที่ลดต่ำลง แหล่งน้ำเสียที่สอง คือ น้ำเสียที่เกิดจากระบบขับถ่ายของตัวกุ้งเอง ซึ่งมักจะเป็นสารจำพวกแอมโมเนีย โดยสารเหล่านี้เมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะถูกย่อยสลายกลายเป็นไนไตรท์ – ไนเตรท ซึ่งจะเป็นอาหารของพวกสาหร่ายและทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสาหร่าย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง และแอมโมเนียซึ่งโดยปกติจะมีความเป็นพิษค่อนข้างสูงต่อสัตว์น้ำ ดังนั้น จากปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงกุ้ง อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้เลี้ยงกุ้งเองและต่อชาวประมงที่อาศัยดำรงชีพด้วยการจับสัตว์น้ำในบริเวณใกล้เคียงเพราะเป็นสิ่งที่ส่งผลให้ปริมาณสัตว์น้ำลดน้อยลง

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ (2536: 2) กล่าวว่า ธาตุอาหารที่ทำให้เกิดภาวะความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำสูงเกินไป (Eutrophication) คือ ธาตุฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ผลจากการที่มีธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้มากทำให้พืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนทำให้ในช่วงเวลาเช้าตรู่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลงมาก เนื่องจากพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชเหล่านั้นดึงออกซิเจนไปใช้ จนบางครั้งอาจทำให้สัตว์น้ำตาย

ได้และเมื่อแพลงก์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมากจะส่งผลให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียและเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง (2540: 110 - 111) รายงานว่า บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ในส่วนบริเวณลำน้ำที่เป็นคลองส่งน้ำและคลองน้ำทิ้งมีการสะสมตัวของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง เนื่องจากเกษตรกรบางรายลักลอบทิ้งของเสียจากบ่อกุ้งลงคลองส่งน้ำ ซึ่งคลองส่งน้ำนี้จะเชื่อมต่อกับคลองน้ำทิ้ง ทำให้ของเสียจากคลองน้ำทิ้งสามารถไหลปะปนลงคลองส่งน้ำได้ ซึ่งสาเหตุสำคัญมาจากการที่เกษตรกรยังไม่สามารถแยกการใช้ประโยชน์จากคลองทั้งสองได้อย่างชัดเจน กรอปกับระบบการแบ่งแยกคลองส่งน้ำและน้ำเสียของศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนยังไม่สมบูรณ์ดีพอ

2.6 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำโดยตรง ซึ่งตามกลไกธรรมชาติ แหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในที่ต่ำและเป็นสาธารณสมบัติย่อมเป็นที่รองรับสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ จากการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์และเมื่อฝนตกลงมาก็จะล้างสิ่งปฏิกูล สาร และเชื้อต่าง ๆ ทั้งในอากาศและผิวหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ ถ้าช่วงใดมีสารตกค้างสะสมมากเกินกว่าที่กลไกตามธรรมชาติของแหล่งน้ำจะบำบัดได้ทันก็จะตกค้างสะสมอยู่ ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขั้นธุรกิจเชิงพานิชไม่เหมาะที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีมลพิษปนเปื้อนมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง (อนันต์ ตันสุตะพานิช, 2542: 8) ปัจจุบันเกษตรกรต้องการเลี้ยงกุ้งให้ได้ปริมาณมากและใช้เวลาน้อยจึงไม่มีการตากบ่อเพื่อบำบัดตามธรรมชาติ โดยเกษตรกรมักทำการฉีดเลนออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเลนดังกล่าวเป็นของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง ประกอบด้วยซากแพลงก์ตอน เศษอาหาร รวมถึงขี้กุ้ง ของเสียดังกล่าวมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงและส่งผลกระทบถึงคุณภาพน้ำโดยตรง (ดณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3)

นพรัตน์ บำรุงรักษ์ (2535: 1 - 3) กล่าวว่า ความขุ่นข้นของน้ำเสียจากฟาร์มกุ้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพนิเวศจะส่งผลกระทบต่อการประมงหรือการจับสัตว์น้ำ และต่อการปลูกพืช รวมทั้งการเลี้ยงสัตว์ ตะกอนที่ปะปนอยู่ในน้ำมีอยู่ด้วยกันสองชนิด คือ ตะกอนที่เป็นอินทรีย์สารก็จะมีคุณสมบัติเหมือนกับสารที่ต้องการออกซิเจนซึ่งสามารถทำให้น้ำเน่าเสียได้ ส่วนตะกอนอีกประเภทหนึ่ง คือ อนินทรีย์สารซึ่งเป็นอนุภาคของดินเหนียวและดินซิลท์ โดยจะมีผลกระทบต่อการประมง ทำให้ในน้ำมีตะกอนมากเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำทำให้อาหารของสัตว์น้ำลดปริมาณลงจึงเป็นผลทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำลดจำนวนลงตามไปด้วย

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาคำ (2537: 39) ได้ศึกษาผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต่อคุณภาพน้ำในเขตจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา และปัตตานี พบว่า มวลสารของน้ำที่ปล่อยออกจากบ่อกุ้งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสัตว์น้ำในธรรมชาติทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งผลกระทบทางตรง ได้แก่ ทำให้คุณภาพน้ำของแหล่งรองรับน้ำทิ้งต่ำลง โดยจะส่งผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติหรืออาจไม่เจริญเติบโตและไม่มีการสืบพันธุ์ ส่วนผลกระทบทางอ้อม ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับแหล่งน้ำนั้น จึงทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะส่งผลให้ความต้องการออกซิเจนในบริเวณนั้นสูงขึ้น ก่อให้เกิดภาวะขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำนั้นได้ นอกจากนั้น ตะกอนดินหรือเลนที่ถูกปล่อยทิ้งระหว่างการจับกุ้งบางส่วนจะตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขิน ส่งผลให้สัตว์หน้าดินมีปริมาณลดลง เช่นเดียวกับ ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2531: 7 - 11) ที่ได้รายงานถึงปัญหาของคุณภาพน้ำในบ่อกุ้งจะมีสารอินทรีย์มาก ประกอบกับการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะต้องมีการให้อาหารกุ้งเกือบตลอดเวลา ทำให้อาหารบางส่วนถูกใช้ไม่หมด เมื่อหมักหมมรวมกับขี้กุ้งและซากแพลงก์ตอนจะสลายตัวแล้วเกิดเป็นตะกอนตกค้างก้นบ่อ โดยส่วนหนึ่งก็อาจสลายตัวต่อไปอย่างช้า ๆ แต่ทั้งหมดนี้รวมกันได้ปล่อยสารอินทรีย์ออกมาเป็นปุ๋ยและเมื่อน้ำเหล่านี้ระบายสู่ธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะได้

พัชริดา เหมมัน (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำและดิน ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืด จังหวัดราชบุรี ในระหว่างเดือนมิถุนายน - ตุลาคม พ.ศ. 2540 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินในบ่อเลี้ยงมีค่ามากกว่าในคลองส่งน้ำ ในขณะที่ในบ่อเลี้ยงไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสะสมของความเค็มในดิน และจากการศึกษาของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีต่อพื้นที่การเกษตรบริเวณดินเค็มชายทะเล พบว่า การเคลื่อนไหวแพร่กระจายความเค็มมีทิศทางมาจากบ่อกุ้งและลำคลองซึ่งเป็นที่ถ่ายเทน้ำเสียจากบ่อกุ้ง โดยในระยะเวลา 1 ปี การแพร่กระจายของความเค็มสู่พื้นที่การเกษตรบริเวณใกล้เคียงเป็นระยะทางประมาณ 600 เมตร และแพร่กระจายไปตามทิศทางการไหลของน้ำ

สนิท แก้วอักษร (2532: 187) รายงานถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทำนากุ้งต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำและดิน การเปิดป่าชายเลนเพื่อทำนากุ้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเล เนื่องจากพื้นที่ป่าชายเลนถูกเปิดกว้างโดยการตัดต้นไม้ จึงทำให้พื้นที่บริเวณนั้นได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เต็มที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการขึ้นลงของน้ำทะเล ความเค็มของน้ำจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำสูงและลดธาตุอาหารที่ได้โดยตรงจากป่าชายเลน ซึ่ง Korm and Neori อ้างถึงในชนินทร์ อัมพรสถิร (2536: 8) ชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่นสูง และการให้อาหารสำเร็จรูปนั้นทำให้ของเสียที่สะสมอยู่ในบ่อยิ่งมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติของดินก้นบ่อและน้ำเลวลง

พลาวุธ น้อยเดียง (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยศึกษาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2541 พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยส่วนใหญ่มีคุณภาพดี มีเพียงบางบ่อที่มีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับที่เป็นพิษ เช่นเดียวกับ บุญส่ง สิริกุล และคณะ (2538: 7 - 8) กล่าวถึงปัญหาน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำว่า เกิดจากการขาดการบริหารจัดการที่ดีและถูกต้อง จึงกลายเป็นสาเหตุสำคัญในการสร้างมลพิษแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการฉีดเลนและปล่อยน้ำเสียจากนากุ้ง ซึ่งมีสารแอมโมเนียและไนไตรท์ในปริมาณสูงลงสู่ลำคลองสาธารณะและป่าชายเลนใกล้เคียง นอกจากนี้ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะยังส่งผลถึงประชาชนในการอุปโภคบริโภค เพราะไม่สามารถนำน้ำที่เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำเค็มหรือน้ำเน่าเสียมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป

ดวงใจ บุณฑริกรักษา (2533: 26 - 27) รายงานถึงปัญหามลภาวะจากการเลี้ยงกุ้งทะเล เกิดจากการนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ เข้ามาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการเลี้ยง ซึ่งบางครั้งใช้เกินความจำเป็น สารเคมีเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบและจะถูกระบายปะปนกับน้ำที่ปล่อยออกจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะหรือชายฝั่งทะเล สำหรับสารอินทรีย์นั้นสามารถสลายได้โดยขบวนการทางธรรมชาติ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสมก็ไม่ก่อให้เกิดปัญหา แต่หากปล่อยมากเกินความสามารถของแหล่งน้ำธรรมชาติที่จะรองรับได้ ก็จะทำให้น้ำเน่าเสียได้ ซึ่งหากเกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้น ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งก็จะได้รับผลกระทบเป็นลำดับแรกเพราะต้องอาศัยแหล่งน้ำในการเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ พรศรี สุทธนารักษ์ (2536: 57 - 63) ได้กล่าวว่า ผลกระทบทางด้านน้ำที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น เช่น คุณภาพน้ำทะเลภายหลังจากการระบายน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งลงสู่ทะเล ซึ่งทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง นอกจากนี้ การระบายน้ำที่ผ่านการลอกเลนหรือน้ำที่ใช้ทำความสะอาดบ่อยิ่งก่อให้เกิดความขุ่นสูงขึ้น และเป็นน้ำที่มีความเค็มที่แตกต่างกับระดับความเค็มของน้ำทะเล จึงก่อให้เกิดความเสียสมดุลของทะเลบริเวณชายฝั่งได้

พรอุมา ไกรนรา (2543: 1 - 2) กล่าวว่า การดูดฉีดเลนเป็นการกำจัดของเสียบนพื้นกันบ่อออกในรูปของเหลวหรือสารละลาย เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินและทำให้เกิดการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อเกิดการตายของแพลงก์ตอนจำนวนมาก ๆ ทำให้เกิดสารพิษและแหล่งน้ำขาดออกซิเจน สัตว์น้ำตายหรืออพยพจนเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ซึ่ง พจนารถ ปิติปัญญา (2543: 11) กล่าวว่า ปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนหนึ่งเกิดผลกระทบจากน้ำทิ้ง เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงเพื่อลดการสะสมของอาหารและของเสียก้นบ่อ น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากนากุ้งจึงประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปของน้ำทิ้งและตะกอนเลน โดยเฉพาะในช่วงที่จับกุ้ง น้ำที่ปล่อยออกมาจะเป็นน้ำที่มีการสะสมของเศษอาหารและของเสียสูงที่

สุดในช่วงการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อมีการขยายแหล่งเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเข้ามาในเขตน้ำจืด ทำให้ไม่มีทะเลที่จะปล่อยน้ำทิ้งได้ เกษตรกรจึงได้หันมานิยมการเลี้ยงกุ้งเป็นฟาร์มพัฒนาแบบระบบปิดแทนมากขึ้น

ชนินทร์ อัมพรสถิร (2536: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาผลกระทบของการทำนากุ้งต่อคุณภาพน้ำป่าชายเลน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า การเลี้ยงกุ้งบริเวณชายฝั่งทะเลก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน เนื่องจากน้ำที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีแอมโมเนียที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้ จะมีส่วนประกอบของยา สารเคมี และเศษอาหาร รวมทั้งของเสียจากกุ้งกุลาดำ ซึ่งเมื่อระบายน้ำผ่านพื้นที่ป่าชายเลนลงสู่ชายฝั่งทะเล พบว่า ทำให้น้ำทะเลมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้ง ทัศนีย์ ฉันทาดิสัย และมุทิตา พัวธรรม (2532: 3) กล่าวว่า สารเคมีที่นำมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น บางชนิดจะมีองค์ประกอบของโลหะหนักหรือสารเคมีที่ย่อยสลายยาก จึงทำให้สะสมอยู่ในธรรมชาติมากขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรืออาจเป็นสารพิษ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในวงจรอาหารตามธรรมชาติในท้องทะเลทำให้ลดปริมาณลงได้

เมื่อพิจารณาในแง่ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า กระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ สภาพดินที่ไม่ดีจะเป็นข้อจำกัดที่รุนแรงต่อการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา (Boyd, 1992: 166 - 181 ; Ray and Chien, 1992: 231 - 248) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดของสัตว์น้ำ (Hajek and Boyd, 1994: 115 - 128) ดินในบ่อเป็นแหล่งของอนินทรีย์สารต่าง ๆ ที่จะปลดปล่อยสู่น้ำ หลังจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพแล้ว การแลกเปลี่ยนกันระหว่างดินและน้ำในบ่อจะให้ธาตุอาหารแก่พืชน้ำ (สุวณิช ชัยนาค, 2540: 12) นอกจากนี้ การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างดินพื้นบ่อกับน้ำ และพีเอชของดินพื้นบ่อจะมีอิทธิพลต่อแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายที่ก้นบ่อ ความเป็นกรดสูงจะยับยั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ไม่เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหาร ลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปจะทำให้ดินพื้นบ่อขาดออกซิเจน ก่อให้เกิดผลเสียต่อกุ้งกุลาดำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นบ่อ เพราะจุลินทรีย์จะสร้างสารพิษที่เกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่น พวกไนไตรท์ เฟอร์รัส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สมีเทน และสารรีดิวซ์ตัวอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อกุ้งโดยตรง (พรอุมา ไกรนรา, 2543: 5 - 6)

กรมควบคุมมลพิษ (2541: 1 - 3) รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2540 คุณภาพน้ำในลุ่มแม่น้ำภาคตะวันออกโดยรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ แม่น้ำที่นับว่ามีสภาพเสื่อมโทรมมากที่สุด ได้แก่ แม่น้ำระยอง โดยปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ เกิดมาจากการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่มาจากแหล่งน้ำชุมชน ความขุ่นของน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกัดเซาะและชะล้างตะกอนดินอย่างมากในช่วงฤดูฝน และปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมักส่งผลให้ในบางพื้นที่ไม่เหมาะจะนำน้ำมาใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูกพืชตามปกติ แต่กลับเป็น

ประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉพาะบริเวณแม่น้ำบางปะกง นครนายก และปราจีนบุรี บริเวณอำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี และบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออก เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำจันทบุรี เวฬุ ตราด และแม่น้ำบางปะกง ยังคงมีการระบายน้ำทิ้งที่ไม่มีการบำบัดลงสู่แม่น้ำโดยตรง ซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งไว้ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

คุณภาพน้ำ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	6.5 – 9.0
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	10
ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	50
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	1.1
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	-
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.4
ความเค็ม (ppt)	พื้นที่น้ำจืดและแหล่งน้ำจืดผิวดิน : 1.3 (หรือสภาพความนำไฟฟ้า 2,000 ไมโครซีเมนส์/ซั่วโมง) แหล่งน้ำกร่อย : เพิ่มขึ้นจากธรรมชาติ 4.0 แหล่งน้ำเค็ม : ไม่กำหนด

แหล่งที่มา : นิรนาม, 2546: 114.

2.7 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสีย ตรงกับภาษาอังกฤษว่า Wastewater Treatment หมายถึง การปรับสภาพให้น้ำนั้นมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งมักมีการใช้สับสนและปะปนกับคำว่า การกำจัดน้ำเสีย ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า Wastewater Disposal หมายถึง การกำจัดออกไปให้พ้น ซึ่งอาจจะรวมการ

บำบัดหรือไม่รวมก็ได้ โดยปกติแล้วระบบบำบัดจะมีกระบวนการหลายขั้นตอน แต่ละกระบวนการก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540: 274)

ระบบบำบัดโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Treatment System) เป็นระบบบำบัดที่มีสภาพแวดล้อมเชิงนิเวศเฉพาะที่พบได้ในธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการให้ธรรมชาติบำบัดธรรมชาติด้วยกันเอง (Carl and Björn, 1997: 77) ระบบบำบัดโดยวิธีธรรมชาติจะใช้พลังงานที่ทดแทนได้ (Renewable Resource) ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานจากแสงแดด ลม ฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน โดยจะมีการเก็บสะสมพลังงานศักย์ไว้ในดินและมวลชีวภาพ (Biomass) ระบบบำบัดโดยวิธีธรรมชาติจึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก (Kadlec and Robert, 1996: 31 - 32) ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบให้คล้ายคลึงกับธรรมชาติ โดยออกแบบให้มีประสิทธิภาพทางกระบวนการฟิสิกส์ เคมี และชีวะ ทางธรรมชาติเพิ่มขึ้น แทนการใช้ระบบเครื่องจักรกลที่ยุ่งยาก ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติเป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินระบบค่อนข้างต่ำ การดูแลรักษาระบบง่าย เน้นให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติในการบำบัดและฟื้นฟูคุณภาพน้ำเสีย

ธิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย (2543: 24) รายงานว่า การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติจำแนกได้เป็น 2 ระบบใหญ่ คือ

1. ระบบบำบัดตามธรรมชาติโดยใช้พื้นที่ดอน (Upland Natural Treatment System) ประกอบไปด้วยระบบ 4 ระบบ ได้แก่

- ระบบการไหลซึมในพื้นที่ (Onsite Infiltration System)
- ระบบกระจายน้ำเสียบนดินในอัตราช้า (Slow - Rate Land Application System)
- ระบบกระจายน้ำเสียบนดินในอัตราเร็ว (High - Rate Land Application System)
- ระบบการปล่อยน้ำเสียให้ไหลไปบนพื้นดิน (Overland Flow System)

2. ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ (Aquatic and Wetland System) ประกอบไปด้วยระบบ 3 ระบบ ได้แก่

- ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond)
- ระบบพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant System)
- ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland System)

2.8 ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ (Aquatic Plant for Wastewater Treatment) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำโดยทั่วไปประกอบด้วยบ่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร ภายในบ่ออาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกัน (Monoculture) หรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Polyculture) บ่อนี้ทำหน้าที่รองรับและกักขังน้ำเสียเพื่อการบำบัด กระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้พืชน้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาทางชีววิทยา ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ - เคมี และลักษณะของพืชที่นำมาใช้ โดยเฉพาะรากของพืชน้ำจะทำหน้าที่เสมือนเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ ซึ่งจากการศึกษา พบว่าการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ (Total Suspended Solid: TSS) และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biological Oxygen Demand: BOD) ลดลง นอกจากนี้ พืชน้ำยังมีหน้าที่ช่วยในการดูดซึมอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่มีอยู่ในน้ำมาเก็บสะสมไว้ในตัวเอง (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536: 155 - 156) และยังต้องอาศัยหลักการตกตะกอน (Physical Sedimentation) ของน้ำเสียเองประกอบด้วย อย่างไรก็ตาม ส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน โดย อภิชัย เชียร์ศิริกุล (2533: 5 - 7) ได้รายงานถึงข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไว้ ดังนี้คือ

1. สภาพภูมิประเทศของประเทศไทยเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำโดยทั่วไป
2. ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไม่ต้องการใช้พลังงานจากแหล่งใด ๆ นอกจากใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์
3. การควบคุมการทำงานของระบบไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้ผู้ดูแลที่มีความรู้มาก
4. พืชน้ำที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ เช่น ทำปุ๋ยหมักผลิตแก๊สมีเทน หรือทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรม เป็นต้น

นอกจากนี้ Stowell, et al. (1981: 919 – 940) ได้ศึกษาหลักการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนของพืช	หลักการทำงานของพืช
รากและ/หรือก้าน หรือลำต้นที่อยู่ในน้ำ	- ดูดซับ (Up Take) สารพิษและสารอาหาร - เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต - เป็นตัวกลางในการกรอง (Filtration) และจะดูดซับ (Absorption) ตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ - ทำให้ความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลง ดังนั้น จึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ
ก้าน ลำต้น และ/หรือใบที่อยู่เหนือน้ำ	- ลดผล (Effect) ของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา - ทำให้การส่งผ่าน (Transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

แหล่งที่มา : Stowell, et al., 1981: 919 – 940.

ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำนั้นสามารถจำแนกได้ 3 ระบบ คือ ระบบบ่อผึ่งหรือบ่อดงตัว (Stabilization Pond or Oxidation Pond) ระบบใช้พืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plants - Based System) และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland System)

2.8.1 ระบบบ่อผึ่งหรือบ่อดงตัว (Stabilization Pond or Oxidation Pond)

ระบบบ่อผึ่งนี้เป็นระบบที่ใช้กันมานานแล้ว ลักษณะของบ่อผึ่ง คือ สระพักน้ำ เพื่อให้น้ำเสียได้พักตัวอยู่ระยะหนึ่ง และเกิดกระบวนการตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการตามธรรมชาตินี้อาศัยการใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ลม และสิ่งมีชีวิตภายในบ่อ โดยสามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ดี นอกจากนี้ ยังใช้บำบัดน้ำเสียจากการทำอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมได้ดีอีกด้วย

บ่อผึ่งสามารถจำแนกได้ตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์นั้นได้เป็น 4 แบบ คือ บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) บ่อกึ่งแอโรบิค (Facultative Pond or Aerobic - Anaerobic Pond) บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) และบ่อบ่ม (Maturation Pond) (ธีระ เกรอต, 2539: 552)

2.8.2 ระบบใช้พืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plants - Based System)

ระบบนี้เป็นการปลูกพืชน้ำเพิ่มเติมลงในระบบบ่อ เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสีย พืชที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในระบบพืชลอยน้ำ ได้แก่ ผักตบชวา และพืชจำพวกแหน ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชลอยน้ำมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างไปจากระบบบ่อผึ่ง เพราะส่วนประกอบของพืชที่สังเคราะห์แสงได้จะปลดปล่อยออกซิเจนเหนือผิวน้ำ (พืชที่ลอยอยู่เหนือน้ำจะไปขัดขวางสาหร่ายที่ลอยอยู่ใต้น้ำ) ทำให้ลดการแพร่กระจายของออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่น้ำ (ชิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย, 2543: 50)

กลไกการบำบัดของระบบนี้เกิดขึ้น 3 แบบ คือ

1. การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จำพวก Facultative ในส่วนรากของพืชซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ และจุลินทรีย์ที่ก้นบ่อ

2. การตกตะกอนของของแข็งในน้ำเสียและการสร้างมวลชีวภาพ (พืชน้ำและจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว)

3. การรวมตัวกันของธาตุอาหารในต้นพืชที่ยังมีชีวิตและคงเหลืออยู่หลังการเก็บเกี่ยว

ระบบพืชลอยน้ำนี้มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ บีโอดี (BOD) และตะกอนแขวนลอย (TSS) ไนเตรทจะถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพโดยกระบวนการ Denitrification ส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดจะถูกกำจัดได้ถ้ามีการเก็บเกี่ยวพืชออกเป็นประจำ อย่างไรก็ตาม ระบบพืชลอยน้ำนั้นมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีพืชน้ำอยู่ไม่กี่ชนิดที่จะเจริญเติบโตลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำ ซึ่งพืชเหล่านี้ไวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง โดยพืชน้ำบางส่วนหรือทั้งหมดอาจตายได้ในระยะเวลาสั้น เช่น ผักตบชวาอาจจะตายได้ง่ายถ้าอยู่ในสภาพอากาศเย็น และมีพืชที่เป็นศัตรูหลายชนิดสามารถเข้ามาแทนที่ผักตบชวาได้ และเมื่อพืชลอยน้ำตายไปประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะลดลงอย่างมากในช่วงสัปดาห์หรือเดือน จนกว่าพืชน้ำนั้นจะเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ทดแทน (ชิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย, 2543: 51)

2.8.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland System)

ลักษณะของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ จะมีน้ำในบางช่วงเวลาหรือตลอดเวลา พื้นที่ชุ่มน้ำจะเป็นพื้นที่ที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือที่มีน้ำอยู่ตื้น เป็นผลให้พืชที่ต้องการดินในสภาวะที่มีออกซิเจนมากไม่สามารถขึ้นได้ ส่วนพืชที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำได้จะต้องมีการปรับตัวให้เจริญเติบโตในดินที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาหรือบางฤดูกาล ซึ่งเป็นดินในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำในบริเวณที่มีความ

ลาดชันสูง พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถแบ่งแยกออกจากพื้นดินได้โดยพื้นดินจะเกิดน้ำท่วมเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพียงพอให้ออกซิเจนและสภาวะอื่น ๆ ของดินไม่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช ส่วนบริเวณที่มีความลาดชันต่ำ พื้นที่ชุ่มน้ำจะกลายเป็นพื้นน้ำ โดยมีน้ำท่วมขังลึกหรือในช่วงที่พืชน้ำโผล่เหนือน้ำไม่สามารถดำรงอยู่ได้ ความลึกของน้ำโดยเฉลี่ยซึ่งแยกพื้นที่ชุ่มน้ำออกจากพื้นน้ำที่มีช่วงต่อกัน คือ 1 - 2 เมตร (Kadlec and Robert, 1996: 49 - 50)

กลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (อภิชาต โพธิ์สุ, 2537: 83 - 84)

วิธีการทางกายภาพ : คือสารอาหารและสารแขวนลอยต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย เมื่อเข้าไปในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีการตกตะกอนโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของสารแขวนลอยหรือธาตุอาหารนั้น นอกจากนี้ ลำต้นและรากของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองสารแขวนลอย ธาตุอาหาร และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนมากับน้ำเสีย ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกที่ปนมาในน้ำเสียลดลงทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น

วิธีการทางเคมี : ในน้ำเสียจะมีธาตุอาหารหลายชนิดที่จำเป็นสำหรับพืชนำไปใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ นอกจากนั้น ธาตุอาหารต่าง ๆ ในน้ำเสียยังเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในน้ำได้ เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายน้ำจะทำปฏิกิริยาดูดซับติดผิวกับอนุภาคดิน ส่วนไนโตรเจนนอกจากจะอยู่ในรูปของไนเตรทแล้ว ไนโตรเจนยังสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนชนิดอื่นได้ด้วยกระบวนการ Nitrification และ Denitrification

วิธีการทางชีววิทยา : สิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งพืชและแบคทีเรียจะใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเพื่อการดำรงชีวิต โดยแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำในลักษณะแขวนลอยจะย่อยธาตุอาหารที่ปนมากับน้ำเสียเพื่อการดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวนในน้ำ ซึ่งส่วนหนึ่งจะรวมตัวกันเกาะในบริเวณรากหรือลำต้นของพืชที่อยู่ใต้น้ำในลักษณะของฟิล์มชีวภาพ (Bioflim) โดยจะทำหน้าที่ย่อยธาตุอาหารและสิ่งสกปรกที่ปนมากับน้ำเสีย ดังนั้น จึงทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น

2.9 พรรณไม้น้ำ

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า Aquatic Plant, Water Plant หรือ Hydrophytes ซึ่งหมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยอาจจะอยู่ใต้น้ำ โผล่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หรือขึ้นอยู่ตามริมน้ำ ชายน้ำ หรือริมตลิ่งก็ได้ นอกจากนี้ ยังรวมถึงพวกที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่น้ำขังแฉะด้วย

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาแหล่งน้ำมาก และยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมในการเป็นอาหาร และเป็นที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ พืชลอยน้ำหรือพืชใต้น้ำนั้นจะช่วยทำให้น้ำสะอาดและช่วยแปรสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำอาจจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วจนส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภคของมนุษย์ได้

พรรณไม้น้ำนั้นมีตั้งแต่ขนาดเล็กมาก (Microphytes) และต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ไปจนถึงขนาดใหญ่ (Macrophytes) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งพืชเหล่านี้จะแยกออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มสาหร่าย มอส เฟิร์น และพืชมีเมล็ด นอกจากนี้ พรรณไม้น้ำเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันไป เช่น บางชนิดอาจจะเจริญเติบโตที่ระดับผิวน้ำหรือบางชนิดอาจเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำ เป็นต้น จากลักษณะทางนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันไปเช่นนี้ทำให้มีการแบ่งประเภทของพรรณไม้น้ำได้ดังนี้ (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542: 1 - 5 ; จรัส แสนจิตต์, 2538: 6)

1. พืชใต้น้ำ (Submerged Plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจจะมีรากยึดกับพื้นใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะก็ได้ บางชนิดทั้งลำต้นและรากเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่วนลำต้นบางส่วนและใบเจริญเติบโตอยู่ใต้ระดับน้ำ บางชนิดรากเกาะยึดกับพื้นดินใต้น้ำ ส่วนลำต้นและใบเจริญอยู่ใต้ระดับน้ำ บางครั้งพืชพวกนี้จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ และเมื่อเป็นผลแล้วบางชนิดเจริญที่ผิวน้ำหรือใต้น้ำ พืชพวกนี้ เช่น สาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพุงชะโด เป็นต้น

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (Emerged Plants) พรรณไม้ประเภทนี้เป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยที่มีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ พืชพวกนี้ ได้แก่ บัวต่าง ๆ กกบางชนิด และต้นเทียนนา เป็นต้น พืชประเภทนี้บางชนิดตามโคนอาจมีเนื้อเยื่อโปร่ง (Aeronochymatous Tissue) ที่ทำหน้าที่เก็บอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ เช่น ต้นเทียนนา เป็นต้น

3. พืชลอยน้ำ (Floating Plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญลอยอยู่ระดับน้ำ โดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ส่วนต้น ใบ และดอก เจริญที่เหนือน้ำ พรรณไม้น้ำประเภทนี้บางอย่างถ้าน้ำตื้น ๆ รากจะหยั่งลงพื้นดินใต้น้ำก็ได้ นอกจากนี้ พวกที่มีขนาดเล็กมักลอยตัวได้เป็นอิสระ โดยพืชลอยน้ำส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ต้นผักตบชวามีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น (Buoyancy Leaf) ต้นผักบุ้งมีส่วนลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดลอยไปตามผิวน้ำได้ เป็นต้น

4. พืชชายน้ำ (Marginal Plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมคลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ หรือทะเลสาบ ลักษณะโดยทั่วไปนั้นจะมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่

ในพื้นดิน ส่งบางส่วนของต้น ใบ และดอกเหนือน้ำ พืชน้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพืชพวกโผล่เหนือน้ำมาก พืชบางอย่าง พบว่า จำแนกได้ทั้งเป็นพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำ เช่น ผักตบไทย ต้นโสน และกกบางอย่าง เป็นต้น

พรรณไม้น้ำทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า การจัดแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งที่อยู่ของพืชนั้น ๆ โดยทุกประเภทค่อนข้างจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นพวกพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำเท่านั้นที่อาจแบ่งแยกไม่ได้เด็ดขาด นอกจากนี้ ยังมีพืชอีกหลายอย่างที่พบว่าสามารถขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำหรือขึ้นอยู่ในน้ำแล้วแต่ถ้าบริเวณนั้นเกิดขาดน้ำจนพื้นดินเริ่มแห้งก็ยังปรับตัวอยู่ได้ เช่น ต้นกระเม็ง ต้นผักแว่น ต้นปรงทองปรงไข่ เป็นต้น

พัฒนี จันทรโรทัย (2536: 155 - 156) ได้ให้ข้อสังเกตในการเลือกใช้พืชน้ำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำ และสรุปคุณสมบัติของพืชน้ำที่จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ ดังนี้

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

2. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงและเจริญเติบโตได้ดี

3. จะต้องมีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยพืชน้ำจะมีคุณสมบัติในการนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านมาตามใบ ลำต้น และราก โดยพืชจำพวกธูปฤาษี จะมีชั้นรากหนาประมาณ 30 เซนติเมตร และรากพืชจำพวก กก แฝก จะหยั่งลึกลงถึง 70 เซนติเมตร

4. สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง

5. มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้ พืชน้ำหลายชนิดสามารถดูดซึมเอาปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำได้ในปริมาณที่มาก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณสารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พืชดูดขึ้นไปใช้จะสัมพันธ์โดยตรงกับมวลชีวภาพของพืช เช่น พืชที่มีมวลชีวภาพต่อหน่วยมาก ย่อมมีโอกาสที่จะเก็บสะสมปริมาณสารอาหารไว้ได้มาก อย่างไรก็ตาม สารอาหารที่พืชดูดขึ้นไปใช้และเก็บสะสมนั้น จะอยู่ในเนื้อเยื่อพืชเพียงช่วงสั้น ๆ เท่านั้น เมื่อพืชนั้นตายลงสารอาหารเหล่านี้ก็จะกลับลงสู่แหล่งน้ำใหม่

6. มีความทนทานต่อโรคและแมลงต่าง ๆ ได้ดี

7. จะต้องง่ายต่อการจัดการโดยเฉพาะการนำพืชน้ำออกจากระบบ เนื่องจากพืชน้ำจะสามารถลดปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำให้ได้ผลดีที่สุดนั้น จะต้องมีการนำพืชน้ำนั้นออกจากระบบบ้าง เพื่อไม่ให้พืชอยู่กันหนาแน่นเกินไปจนเกิดความเครียด

2.10 ข้อมูลพื้นฐานของผักกระเฉด

2.10.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

"ผักกะเฉด" หรืออาจเรียกว่า "ผักรู้นอน" เป็นพืชคลุมดินตระกูลถั่วที่มีเถาเลื้อย จัดอยู่ในตระกูล Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Neptunia oleracea* Lour. หรือ *N. prostrata* (Lam.) Bail และชื่อสามัญ เรียกว่า Water Mimosa ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียเขตร้อน เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศไทยและมาเลเซีย (อุดม โกสัยสุก, 2542: 12) ผักกะเฉดเป็นพืชลอยน้ำที่มีอายุหลายปี ลักษณะลำต้นกลมเรียวยาวรูปทรงกระบอกทอดยอดลอยอยู่เหนือน้ำ ลักษณะปล้องต่อกันเป็นเถาหยักไปมาเล็กน้อย ลำต้นภายในต้น รากแตกแขนงออกตามข้อจำนวนมาก โคนรากมีปมที่เกิดจากแบคทีเรียชื่อ *Rhizobium Leguminosarum* เข้าไปอาศัยอยู่ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจน ลำต้นเมื่อมีอายุมากจะมีเนื้อเยื่อสีขาว เรียกว่า นมผักกระเฉด (Aerenchyme) ล้อมรอบลำต้นไว้ ทั้งนี้ เพื่อช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำอยู่ได้ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกซ้อน (Bipinnately Compound Leaf) ชูเหนือน้ำ ใบแตกจากลำต้นตรงข้อ ใบประกอบแต่ละใบ ประกอบด้วยใบประกอบย่อยประมาณ 4 – 6 ใบ โดยแต่ละใบจะมีใบย่อยประมาณ 8 – 15 คู่ ใบย่อยขนาดเล็กรูปไข่ขนานยาวประมาณ 1 เซนติเมตร โคนก้านใบและขอบใบมีสีเขียวอมม่วง ใบสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้เร็วมาก ซึ่งเมื่อสัมผัสถูกใบจะหุบ เนื่องจากมีเนื้อเยื่อที่รับรู้ความรู้สึก (Pulvinus) ดอกออกเป็นช่อที่มองเหมือนเป็นดอกเดี่ยว เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ก้านช่อดอกยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ดอกย่อยเกิดเป็นกระจุกเกือบกลมรอบปลายก้านช่อดอก ดอกดอนบนเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกตอนล่างเป็นหมัน ดอกสีเหลืองสดดอกย่อยประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ เกสรเพศผู้ลักษณะเหมือนกลีบดอก ผลเป็นแบบฝักขนาดเล็กรูปร่างยาวแบนถ้าแก่จะแตก ฝักยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ภายในมีเมล็ด 4 – 10 เมล็ด (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542: 222)

สำหรับการเจริญเติบโตของผักกระเฉดจะตอบสนองต่อความสั้นและยาวของช่วงแสงด้วย (อภิรดี, 2525: 53 - 56) โดยในฤดูร้อนซึ่งมีกลางวันยาว เช่น ในเดือนมีนาคม – เมษายน ผักกระเฉดจะเจริญเติบโตทอดยอดยาว และช่วงเดือนมิถุนายน – กันยายน ซึ่งก็ยังมีระยะเวลากลางวันยาวอยู่ หากเป็นฤดูฝนผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ดีพอสมควร แต่คุณภาพที่ได้ไม่ค่อยดี นอกจากนี้ โรคและแมลงยังชอบทำลายทำให้ยอดเสียหายด้วย สำหรับในช่วงเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ เป็นฤดูหนาว อากาศค่อนข้างเย็นและมีช่วงกลางวันสั้น ผักกระเฉดจะไม่ค่อยทอดยอด ยอดจึงสั้นไม่สวย ผักกระเฉดจะพบได้ในน้ำทั่วไปโดยเฉพาะในน้ำที่ไหล ๆ หรือในน้ำนิ่งก็ได้ ส่วนของต้นและใบนำมารับประทานเป็นอาหาร แต่ก่อนนี้ผักกระเฉดเป็นพืชพื้นบ้านซึ่งไม่มีผู้ใดสนใจมากนัก เป็นผักน้ำที่หาได้ง่ายและราคาถูก แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีผู้นำมา

ปลูกเป็นอาชีพ และมีรายได้ดี โดยจะปลูกกันในนาผักกระเฉดโดยเฉพาะ จึงจัดได้ว่าเป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง

2.10.2 การปลูกผักกระเฉด

การเตรียมดินปลูกผักกระเฉดจะต้องมีการไถดิน คราดดินให้ละเอียดเช่นเดียวกับการทำนาข้าว โดยดินที่จะปลูกต้องเป็นดินโคลนหรือโคลนเลน หลังจากนั้น จึงเอาน้ำเข้าแปลงทำเทือกให้ดีแล้วนำเถาผักกระเฉดมาปักดำในนาให้ระยะระหว่างต้นห่างกัน 1 เมตร และระยะห่างระหว่างแถวห่างกัน 1.5 เมตร (เจนธรรม นำกระบวนยุทธ์, 2542: 48)

2.10.3 การดูแลรักษา

เมื่อปลูกผักกระเฉดเสร็จแล้ว ควรหว่านปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียไนเตรทในอัตราไร่ละ 25 กิโลกรัม ทั่วทั้งผืนนาผักกระเฉด เอาน้ำเข้าให้ท่วมผืนนาสูง 7 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 3 วัน แล้วจึงเติมน้ำเข้านาอีกครั้งหนึ่งให้สูง 50 เซนติเมตร ปุ๋ยจะกระจายทั่วทั้งแปลงนา นอกจากนี้ ยังนิยมใส่แหนเขียวลงในแปลงปลูกผักกระเฉด เพื่อช่วยบังแสงจะช่วยให้ลำต้นผักกระเฉดเป็นสีเขียวอ่อน และนมเป็นสีขาวน่ารับประทาน อย่างไรก็ตาม ควรระวังพวกหนอนเมื่อตรวจพบก็ควรกำจัดเสีย (เกษตรกรรม, มปป.: 139 - 140)

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธงชัย ภู่วชิรานนท์ (2526: บทคัดย่อ) ได้ทดลองปลูกผักบุ้งและผักกระเฉดในสารละลายที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่างกัน พบว่า การสะสมของตะกั่วในผัก 2 ชนิด ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายและอายุพืช โดยผักกระเฉดจะมีการสะสมของตะกั่วมากกว่าผักบุ้งในสภาวะเดียวกัน

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น (2530: 14 - 15) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลมและผักตบชวาในเวลา 1 เดือน พบว่า ผักตบชวาสามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยรวม ฟอสเฟต และสีของน้ำเสียได้เฉพาะในช่วง 20 วันแรกเท่านั้น ส่วนกกกลมสามารถลดค่าทั้ง 5 นี้ได้ตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ พืชน้ำทั้ง 2 ชนิดยังมีคุณสมบัติในการรักษาความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียให้มีค่าระหว่าง 6.9 – 7.4 ตลอดระยะเวลาในการทดลอง

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสัน พบว่า ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารคิดเป็นร้อยละในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉด ดังนี้ โปแตสเซียมเท่ากับ 2.002 ไนโตรเจน

เท่ากับ 3.585 ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.442 และแมกนีเซียมเท่ากับ 0.176 นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักกระเฉดคิดเป็นไมโครกรัมต่อกรัมในน้ำหนักแห้ง พบว่ามีเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมในผักกระเฉดเท่ากับ 1160.27, 288.51, 111.70, 32.40, 16.15 และ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำได้ดีและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

อภิชัย เชียร์ศิริกุล (2533: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของผักตบชวาที่จะให้ได้มวลชีวภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากเคหะชุมชนห้วยขวาง พบว่า เท่ากับ 8 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ซึ่งให้ผลที่ได้มีมวลชีวภาพสูงสุดสัปดาห์ละ 2.28 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร โดยประสิทธิภาพของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยดีกว่าบ่อควบคุม (ซึ่งไม่ใส่ผักตบชวา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จรัส แสนจิตต์ (2538: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบ่อผึ่งและบ่อผักบุ้ง ซึ่งจะใช้บ่อคอนกรีตจำนวน 4 บ่อ แบ่งเป็นบ่อผึ่ง 2 บ่อ และปลูกผักบุ้งอีก 2 บ่อ ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้เวลาเก็บกักน้ำต่างกัน พบว่า อัตราการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอยรวม (SS) ดีขึ้น และประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของบ่อผักบุ้งจะสูงกว่าบ่อผึ่งอย่างชัดเจน แต่อัตราการบำบัดไนโตรเจนในบ่อผึ่งจะสูงกว่าบ่อผักบุ้งเล็กน้อย อัตราการบำบัดไนโตรเจนโดยผักบุ้งที่เก็บเกี่ยวได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.46 – 43.6 ของอัตราการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อผักบุ้ง สำหรับอัตราการบำบัดฟอสฟอรัสในบ่อผักบุ้งและบ่อผึ่ง พบว่าค่อนข้างต่ำและไม่มีนัยสำคัญ

ชัชชาย แจ่มใส (2538: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียในขั้นสุดท้ายจากโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้วัชพืชลอยน้ำ 3 ชนิดด้วยกัน ซึ่งได้แก่ จอกผักกาด จอกหูหนู และแหนเป็ดเล็ก ในการบำบัดไนเตรทและฟอสเฟต โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นการทดลองชนิดละ 500 กรัม ใส่ในภาชนะที่มีพื้นที่ผิว 0.51 ตารางเมตร บรรจุน้ำเสียปริมาตร 95 ลิตร ควบคุมปริมาณวัชพืชทุก 15 วัน 30 วัน และ 45 วัน ตรวจสอบปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตทุก 3 วัน พบว่า จอกผักกาดสามารถลดปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตได้ดีที่สุด ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 30 วัน ส่วนจอกหูหนูมีความสามารถในการลดเฉพาะฟอสเฟตได้ดี แต่ลดปริมาณไนเตรทได้ต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วนแหนเป็ดเล็กไม่สามารถลดฟอสเฟตได้

จิตติมา วสุสิน (2539: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียซึ่งยังไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ เลยจากศูนย์ศาลายา การศึกษาใช้บ่อดินแบบขนาดเล็ก โดยให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 15 วัน ทำการปลูกพืชให้เต็มพื้นที่ผิวหน้าทั้ง 3 ชนิด ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาจะมีการเก็บเกี่ยวออกเป็นระยะ ๆ ผลจากการศึกษา พบว่า ผักตบชวา

มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด ส่วนจอกและผักกระเฉดก็สามารถที่นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้เช่นเดียวกันแต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุก่อสร้างโรงเรือน ได้แก่ ไม้ไผ่ เชือกฟาง ตาข่ายดำ มุ้งเขียว

3.1.2 ผักกระเฉด (Water Mimosa : *Neptunia oleracea* Lour.)

3.1.3 ภาชนะพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 72 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 35 เซนติเมตร

3.1.4 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด ในเขตพื้นที่น้ำจืด

3.1.5 เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม

3.1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและผักกระเฉด

3.1.7 กล้องถ่ายรูป

3.1.8 ขวดพลาสติกกลมใสขนาดบรรจุ 2 ลิตร

3.1.9 กล่องโฟม

3.1.10 กระบอกตวงปริมาตรน้ำ

3.1.11 ยอ

3.2 วิธีการทดลอง

ทดลองบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉดในโรงเรือน โดยทำการทดลองในภาชนะพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 72 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 35 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 100 ลิตร น้ำทิ้งที่ใช้ในการบำบัดเป็นน้ำทิ้งจากพิเชษฐ์ฟาร์ม ซึ่งเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี (สำหรับภาพรายละเอียดการเตรียมน้ำทิ้งและผักกระเฉดจะแสดงในภาคผนวก ค ภาพที่ ค. 1 ถึง ค. 10)

3.2.1 แผนการทดลอง

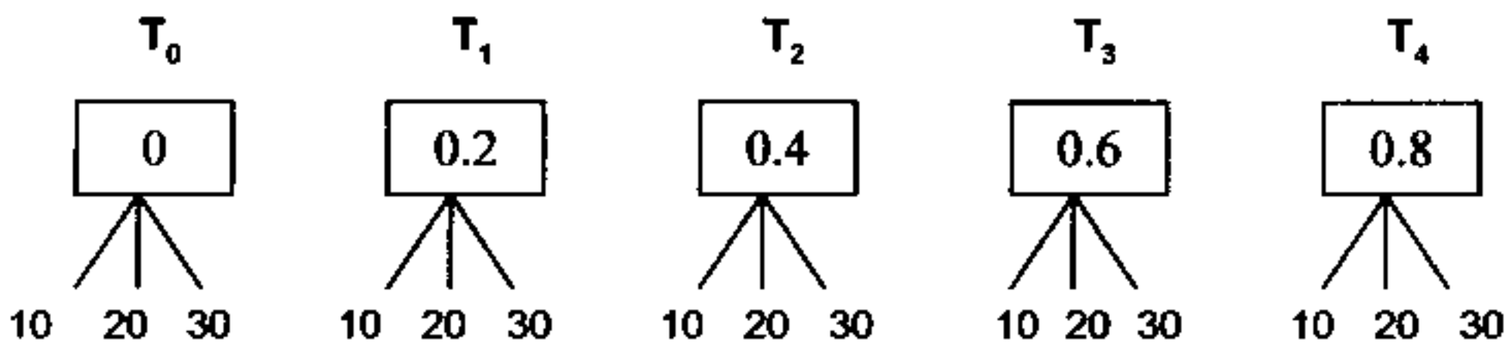
3.2.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำจะวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ 5 × 3 Factorial Arrangement จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ชีวมวลของผักกระเฉด คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ

ปัจจัยที่ 2 : จำนวนวัน คือ 10, 20 และ 30 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ

ดังแสดงในภาพที่ 3.1



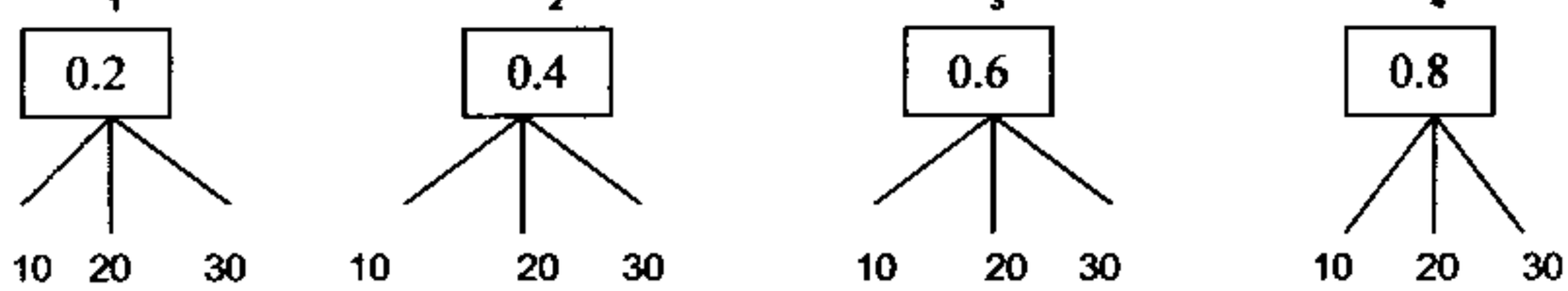
ภาพที่ 3.1 รูปแบบการทดลอง 5 × 3 Factorial Arrangement

3.2.1.2 การศึกษาชีวมวลของผักกระเฉด

การศึกษาชีวมวลของผักกระเฉดจะวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ 4 × 3 Factorial Arrangement จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ชีวมวลของผักกระเฉด คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น 4 ระดับ

ปัจจัยที่ 2 : จำนวนวัน คือ 10, 20 และ 30 วัน โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รูปแบบการทดลอง 4 × 3 Factorial Arrangement

โดยการทดลองครั้งนี้จะมีระดับชีวมวลของผักกระเฉดเป็นหน่วยทดลอง ดังนี้
หน่วยทดลองที่ 1 : ไม่มีการใส่ผักกระเฉด (T_0)
หน่วยทดลองที่ 2 : ใส่ผักกระเฉดในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม (T_1)
หน่วยทดลองที่ 3 : ใส่ผักกระเฉดในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม (T_2)
หน่วยทดลองที่ 4 : ใส่ผักกระเฉดในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม (T_3)
หน่วยทดลองที่ 5 : ใส่ผักกระเฉดในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม (T_4)

3.2.2 การเตรียมน้ำทิ้งและผักกระเฉด

3.2.2.1 การเตรียมน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืดของพิเชษฐ์ฟาร์ม ซึ่งอยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี โดยจะเก็บน้ำทิ้งหลังจากจับกุ้งแล้วและจะนำมาพักไว้เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้น น้ำทิ้งที่เก็บมาส่วนหนึ่งจะสุ่มตัวอย่างและนำส่งภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี ไนเตรท แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอย ความเป็นกรด - ด่าง และความเค็ม นอกจากนี้ จะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อนำส่ง ภาควิชาปฐพี คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ส่วนน้ำที่เหลือจากการสุ่มจะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2.2 การเตรียมผักกระเฉด

ผักกระเฉด (Water Mimosa : *Neptunia oleracea* Lour.) ซื้อมาจากตลาดสดในอำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี แล้วนำมาเลี้ยงไว้ในน้ำสะอาดก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างเลือกผักกระเฉดนำส่งภาควิชาปฐพี คณะเกษตร มหาวิทยาลัย

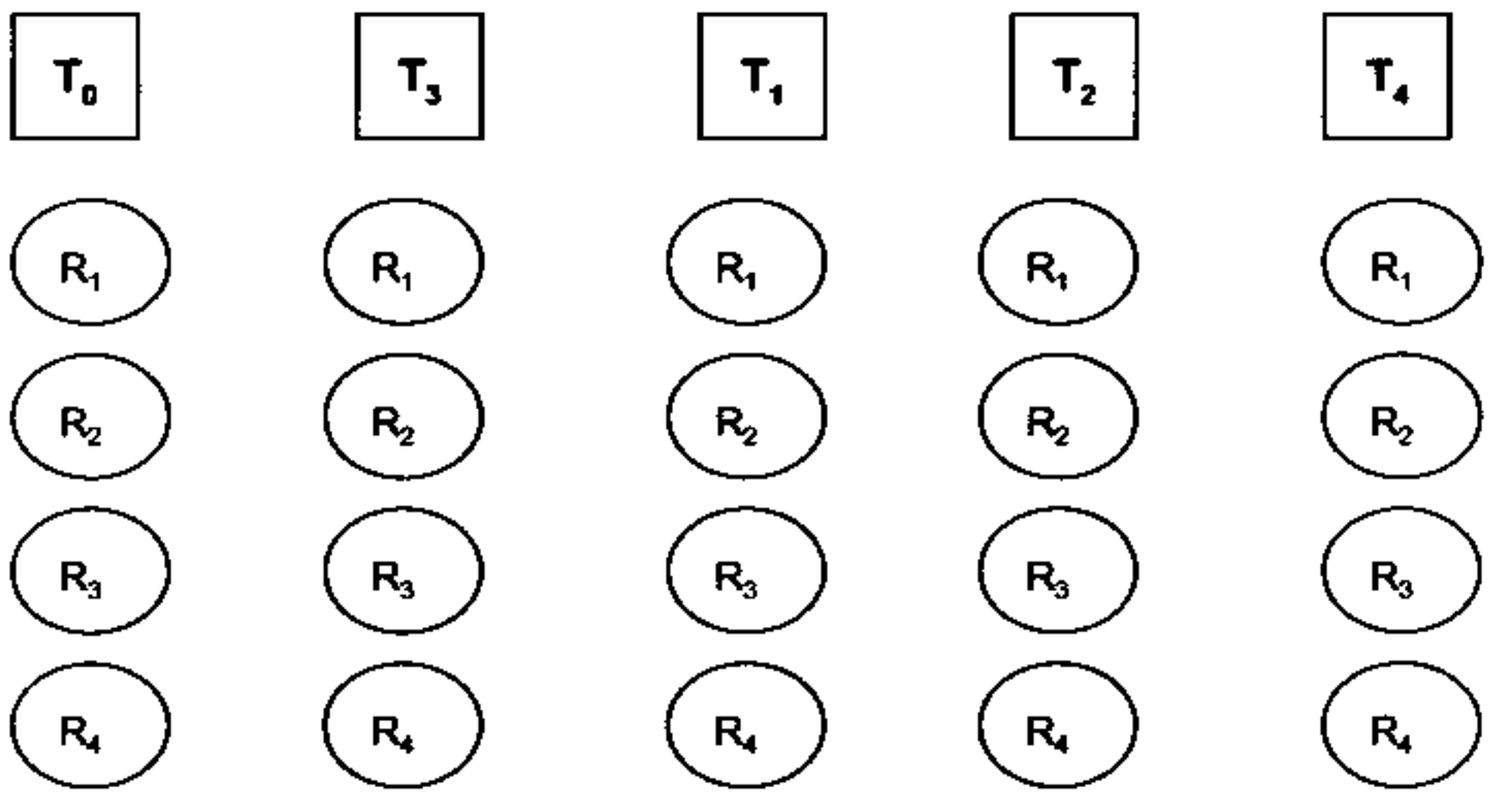
เกษตรศาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม สำหรับผักกระเฉดส่วนที่เหลือจากการสุ่มจะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.3 การเตรียมโรงเรือนทดลอง

สร้างโรงเรือนประดิษฐ์ขนาดกว้าง × ยาว เท่ากับ 4 × 4 เมตร และสูง 3 เมตร ทำโครงโรงเรือนด้วยไม้ไผ่ หลังคาโรงเรือนมุงด้วยตาข่ายสีดำ ด้านข้างทั้ง 4 ด้านจะกั้นด้วยมุ้งเขียวสูงจากพื้น 90 เซนติเมตร ส่วนพื้นเป็นพื้นปูนซีเมนต์

3.2.4 การทดลอง

3.2.4.1 จับสลากลำดับเพื่อการจัดเรียงหน่วยทดลอง (Treatment) ในโรงเรือนประดิษฐ์ โดยลำดับของการเรียงหน่วยการทดลองเป็นดังนี้ หน่วยการทดลองที่ 1 (T_0), 2 (T_3), 3 (T_1), 4 (T_2), และ 5 (T_4) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยจะทำการทดลองในภาชนะพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 72 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 35 เซนติเมตร จำนวนหน่วยการทดลองละ 4 ใบ รวม 20 ใบ ระยะห่างระหว่างภาชนะแต่ละหน่วยการทดลอง คือ 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างภาชนะภายในหน่วยการทดลอง คือ 5 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.3 ลักษณะการจัดวางหน่วยทดลองในโรงเรือนประดิษฐ์จากการสุ่ม

3.2.4.2 ตวงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งพักไว้เป็นเวลา 7 วันแล้วจำนวน 50 ลิตร เติมลงในภาชนะแต่ละใบจนครบทุกใบตามจำนวนหน่วยการทดลอง

3.2.4.3 ชั่งผักกระเฉดโดยใช้เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัมตามอัตราน้ำหนักของชีวมวลที่ใช้ในแต่ละหน่วยการทดลอง คือ T_1 เท่ากับ 0.2 กิโลกรัม T_2 เท่ากับ 0.4 กิโลกรัม T_3

เท่ากับ 0.6 กิโลกรัม และ T_4 เท่ากับ 0.8 กิโลกรัม ตามลำดับ แล้วนำผักกระเฉดลงเลี้ยงในภาชนะของแต่ละหน่วยการทดลอง สำหรับ T_0 จะไม่มีการใส่ผักกระเฉด

3.2.4.4 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะเก็บหลังจากทำการทดลองครบ 10 วัน 20 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ โดยจะเริ่มเก็บน้ำเวลา 8.00 น. ทุกครั้งในทุกหน่วยการทดลองและทั้ง 4 ซ้ำซึ่งจะนำมาผสมรวมกันเป็นจำนวนปริมาตร 2 ลิตร โดยจะใช้ขวดพลาสติกกลมใสขนาด 2 ลิตรในการเก็บ จากนั้นจะแช่ไว้ในกล่องโฟมซึ่งภายในกล่องโฟมจะใส่น้ำแข็งไว้เพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิของน้ำทิ้ง และนำไปส่งตรวจวิเคราะห์ที่ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.4.5 การหาชีวมวลของผักกระเฉด นำผักกระเฉดของแต่ละหน่วยการทดลองมาชั่งน้ำหนักเปียกหลังจากทำการทดลองครบ 10 วัน 20 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ โดยนำผักกระเฉดมาพักบนยอให้สะเด็ดน้ำ 2 นาทีแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำกลับไปไว้ในภาชนะทดลองตามเดิม โดยการชั่งน้ำหนักผักกระเฉดจะทำหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำแล้ว

3.2.5 การวิเคราะห์และตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

น้ำทิ้งที่ได้จากการทดลองจะส่งตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.6 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะใช้ตาม Standard Method of Water and Wastewater 16th Edition. APHA. AWWA. WPCF, 1985 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Azide Modification : 20 c : 5 Days
Total Phosphorus (TP)	Persulfate Digestion and Ascorbic Acid Method
pH	pH Meter
Ammonia	Koroleff ' s Indophenol blue Method
Nitrate	Cadmium Reduction
Salinity	Salinometer ATAGO
Suspended Solid (SS)	Gravimetric Method

แหล่งที่มา : APHA. AWWA. WPCF, 1985 อ้างถึงใน จิตติมา วสุสิน, 2539: 40.

หมายเหตุ : วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ละเอียดได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ก

3.2.7 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนัก

3.2.7.1 โลหะหนักในน้ำทิ้ง

วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้งจะใช้ตามวิธีใน Standard Method of Water and Wastewater 17th Edition. APHA. AWWA. WPCF, 1989 ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง

โลหะหนัก	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
ตะกั่ว	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
แคดเมียม	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
ปรอท	HNO_3 (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

แหล่งที่มา : APHA. AWWA. WPCF, 1989 อ้างถึงใน สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 29 – 31.

3.2.7.2 โลหะหนักในผักกระเฉด

วิธีวิเคราะห์โลหะหนักในผักกระเฉดจะใช้ตามวิธี Standard Method of Water and Wastewater 17th Edition. APHA. AWWA. WPCF, 1989 ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักในผักกระเฉด

โลหะหนัก	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
ตะกั่ว	HNO_3 + $HClO_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
แคดเมียม	HNO_3 + $HClO_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
ปรอท	H_2SO_4 + HNO_3 อัตราส่วน 2 : 1 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

แหล่งที่มา : APHA.AWWA.WPCF, 1989 อ้างถึงใน วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์, 2532: 97 – 98.

3.2.8 การบันทึกข้อมูล

3.2.8.1 วันที่เริ่มทำการทดลอง

3.2.8.2 คุณภาพน้ำทิ้งและโลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนการทดลอง

3.2.8.3 ค่าโลหะหนักในผักกระเฉดก่อนทำการทดลอง

3.2.8.4 น้ำหนักชีวมวลผักกระเฉดเริ่มต้นการทดลองของแต่ละหน่วยการทดลอง

3.2.8.5 คุณภาพน้ำทิ้งเมื่อครบ 10 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.8.6 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 10 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.8.7 คุณภาพน้ำทิ้งเมื่อครบ 20 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.8.8 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 20 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.8.9 คุณภาพน้ำทิ้งเมื่อครบ 30 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.8.10 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 30 วัน หลังจากเริ่มทำการทดลอง

3.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS เวอร์ชั่น 6.12 (SAS Institute, 1996: 10) ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราชีวมวลผักกระเฉดในระดับต่าง ๆ และระยะเวลาที่ต่างกัน

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยการทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.2.10 ระยะเวลาและสถานที่ใช้ในการศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเวลา 5 เดือน (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546 – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2547) และทำการศึกษาที่พิเชษฐ์ฟาร์ม อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉดในอัตราชีวมวลเท่ากับ 0 (T_0), 0.2 (T_1), 0.4 (T_2), 0.6 (T_3) และ 0.8 (T_4) กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเท่ากับ 10, 20 และ 30 วัน ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

4.1.1 อิทธิพลของระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกังกลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสรวม ความเป็นกรด - ด่าง และความเค็ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1.1 ไนเตรท

ปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 1

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่างๆ ภายหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยปริมาณของไนเตรทที่ลดลง โดยยังเหลือตกค้างเท่ากับ 0.026, 0.022, 0.018, 0.015 และ 0.011 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยก่อนการทดลองปริมาณไนเตรทของน้ำทิ้งที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าเท่ากับ 0.030 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของไนเตรทลดลงมากที่สุดโดยคงเหลือเพียง 0.011 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณของไนเตรทลดลงน้อยที่สุดโดยเหลือตกค้างเท่ากับ 0.026 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ก็มีแนวโน้มของปริมาณไนเตรทที่ลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อระดับชีวมวลของผักกระเฉดเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ถึง 0.8 กิโลกรัม ทำให้ปริมาณไนเตรทที่เหลือตกค้างลดลงเหลือ 0.022 - 0.011 มิลลิกรัม/ลิตร ตาม

ลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่บริเวณโคนรากของผักกระเฉดมีปมที่เกิดจากแบคทีเรีย *Rhizobium leguminosarum* เข้าไปอาศัยอยู่ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542: 222)

4.1.1.2 แอมโมเนีย

ปริมาณของแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 2

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของแอมโมเนียที่แต่ละระดับชีวมวลของผักกระเฉดภายหลังการทดลองมีค่าลดลงโดยเหลือตกค้างเท่ากับ 6.48, 5.32, 4.18, 3.63 และ 3.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งทุกกลุ่มมีปริมาณของแอมโมเนียน้อยกว่าก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 9.20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณของแอมโมเนียในน้ำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณของแอมโมเนียลดลงน้อยที่สุด คือ เหลือตกค้างเท่ากับ 6.48 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของแอมโมเนียลดลงมากที่สุดโดยเหลือตกค้างอยู่เพียง 3.06 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณของแอมโมเนียที่ลดลงมากขึ้นจะแปรผันตามระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่สูงขึ้น ซึ่งปริมาณของแอมโมเนียที่ลดลงนั้นสอดคล้องกับการศึกษาของจิตติมา วสุสิน (2539: 75) ที่พบว่า ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการลดค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ซึ่งเป็นค่าไนโตรเจนรวม โดยในแอมโมเนียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจึงอาจเป็นไปได้ที่มีการดึงไนโตรเจนจากแอมโมเนียไปใช้ประโยชน์โดยผักกระเฉด

4.1.1.3 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

ปริมาณของบีโอดีที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 3

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของบีโอดีที่ลดลงในแต่ละระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณเฉลี่ยของบีโอดีที่ลดลงซึ่งคงเหลือตกค้างเท่ากับ 9.57, 8.00, 7.30, 5.03 และ 3.77 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนทำการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่ 0.8 กิโลกรัม จะมีปริมาณของบีโอดีลดลงมากที่สุด โดยเหลือเพียง 3.77 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณของบีโอดีลดลงน้อยที่สุด คือ เหลือตกค้างเท่ากับ 9.57 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณของบีโอดีที่ลดลงอาจเกิดจากผักกระเฉดได้ดูดซับสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโตจึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลงปริมาณของจุลินทรีย์ก็ลดลง

ทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดน้อยลงตามไปด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3 – 5) และปริมาณของค่าบีโอดีที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนั้น มีค่าสอดคล้องตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องให้ผู้มีอาชีพในการประมงมาจดทะเบียนและขออนุญาตลงวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534 ตามข้อที่ 7 ห้ามมิให้ผู้ประกอบกิจการเลี้ยงกุ้งทะเลซึ่งได้รับการจดทะเบียนหรือได้รับอนุญาตแล้วปล่อยน้ำทิ้งจากพื้นที่เลี้ยงกุ้งซึ่งมีค่าบีโอดีเกิน 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีลัมพะบุตร, 2537: 6)

4.1.1.4 ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)

ปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.4 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 4

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของตะกอนแขวนลอยลดลงและเหลือเท่ากับ 21.1, 14.7, 11.8, 8.17 และ 6.23 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองที่มีเท่ากับ 86.7 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่แต่ละระดับชีวมวลของผักกระเฉดปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งได้มากที่สุด ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการตกตะกอน และตะกอนแขวนลอยไปยึดเกาะกับลำต้น นม หรือรากของผักกระเฉด หรือผักกระเฉดอาจดูดซับโมเลกุลของตะกอนแขวนลอยไว้ (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536: 157)

4.1.1.5 ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.5 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 5

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ลดลงในแต่ละระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าคงเหลือเท่ากับ 0.936, 0.803, 0.592, 0.395 และ 0.338 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงมากที่สุดโดยเหลือเพียง 0.338 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณของฟอสฟอรัสรวมที่ลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากพืช คือ ผักกระเฉดได้นำฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปของ Orthophosphorus มากขึ้น (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 14)

4.1.1.6 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่าง ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.6 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 6

จากการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) และ 0.2 กิโลกรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ ค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.03 และ 7.93 ตามลำดับ ส่วนที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 7.83, 7.76 และ 7.79 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) และ 0.2 กิโลกรัม โดยค่าความเป็นกรด – ด่างที่ลดลง อาจเนื่องมาจากการเน่าสลายของใบผักกระเฉดที่หลุดร่วงซึ่งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น (ยนต์ มุสิก, 2530: 7) อย่างไรก็ตาม ความเป็นกรด - ด่างที่วัดได้จากการทดลองสอดคล้องกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่กำหนดไว้ให้มีค่าระหว่าง 6.5 – 9.0 (นิรนาม, 2546: 114)

4.1.1.7 ความเค็ม

ความเค็มที่วัดได้ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0 ppt และเมื่อทำการทดลองทำการวัดความเค็มที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่าง ๆ ค่าที่ได้นั้นเท่า 0 ppt เช่นกัน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดนั้นจะใช้น้ำเค็มเฉพาะในช่วง 3 – 4 วันแรกของการปล่อยลูกกุ้ง โดยจะนำน้ำเค็มมาใส่ในคอกซึ่งกั้นไว้ในบ่อเลี้ยงขนาดประมาณ 70 ตารางเมตรให้มีความเค็มประมาณ 5 ppt และจะปล่อยลูกกุ้งลงในคอก จากนั้นจะค่อย ๆ ทำการปรับความเค็มของน้ำในคอกลงวันละ 2 ppt จนในที่สุดน้ำในคอกจะมีค่าความเค็มเท่ากับ 0 ppt ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำในบ่อเลี้ยง หลังจากนั้นก็จะทำการรื้อผ้ากั้นคอกออก เพราะเหตุนี้จึงทำให้น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบความเค็มต่ำหรือระบบน้ำจืดไม่มีความเค็มเหลืออยู่ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

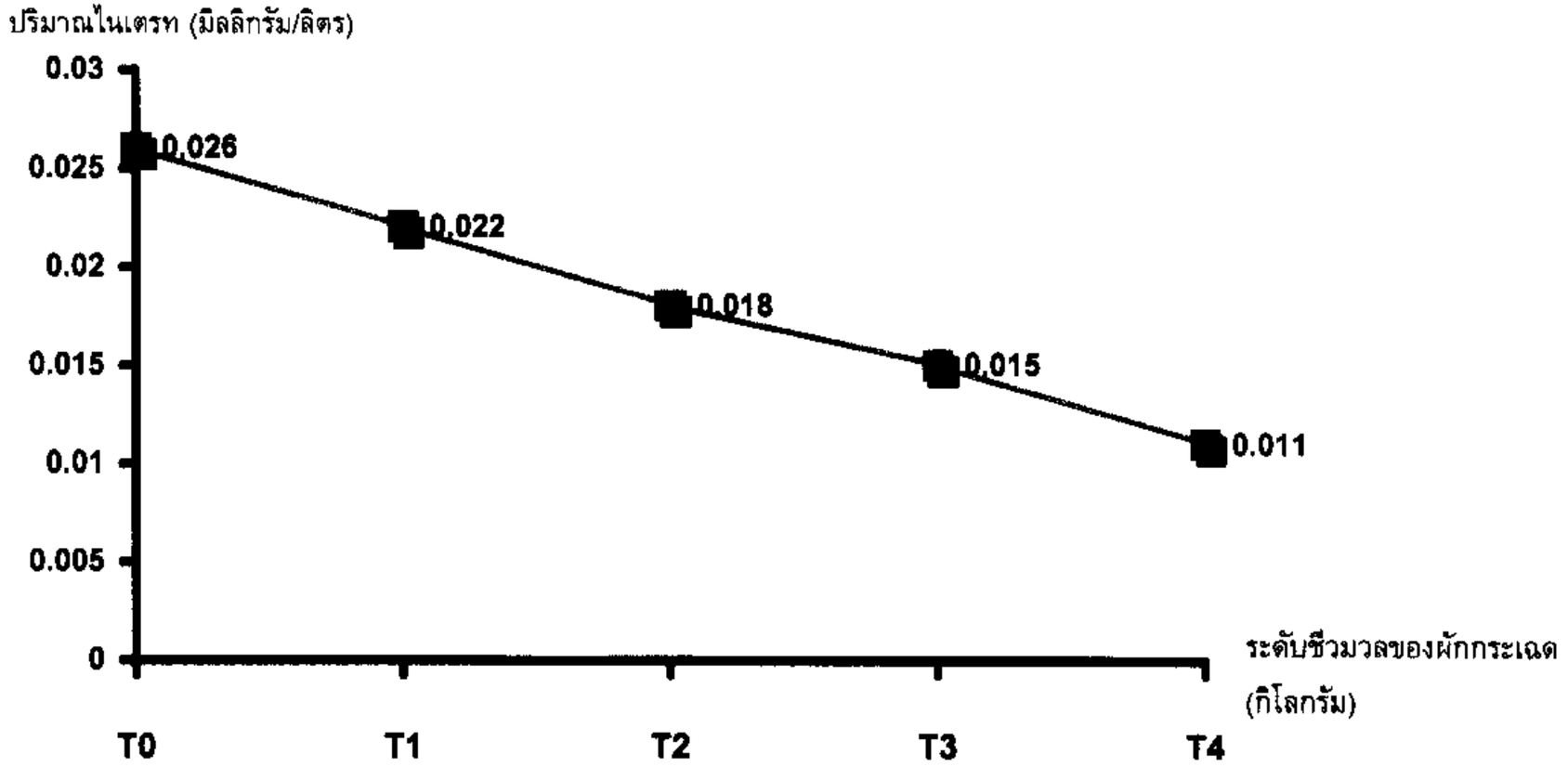
ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

คุณภาพน้ำทิ้ง	ระดับชีวมวลของผักกระเฉด (กิโลกรัม)					CV
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	(ร้อยละ)
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.026^a	0.022^b	0.018^c	0.015^d	0.011^e	0.58
แอมโมเนีย(มิลลิกรัม/ลิตร)	6.48^a	5.32^b	4.18^c	3.63^d	3.06^e	1.56
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	9.57^a	8.00^b	7.30^c	5.03^d	3.77^e	7.90
ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	21.1^a	14.7^b	11.8^c	8.17^d	6.23^e	2.12
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.936^a	0.803^b	0.592^c	0.395^d	0.338^e	3.90
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	8.03^a	7.93^b	7.83^c	7.76^c	7.79^c	1.05
ความเค็ม (ppt)	0	0	0	0	0	-

หมายเหตุ : ^{abcde} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

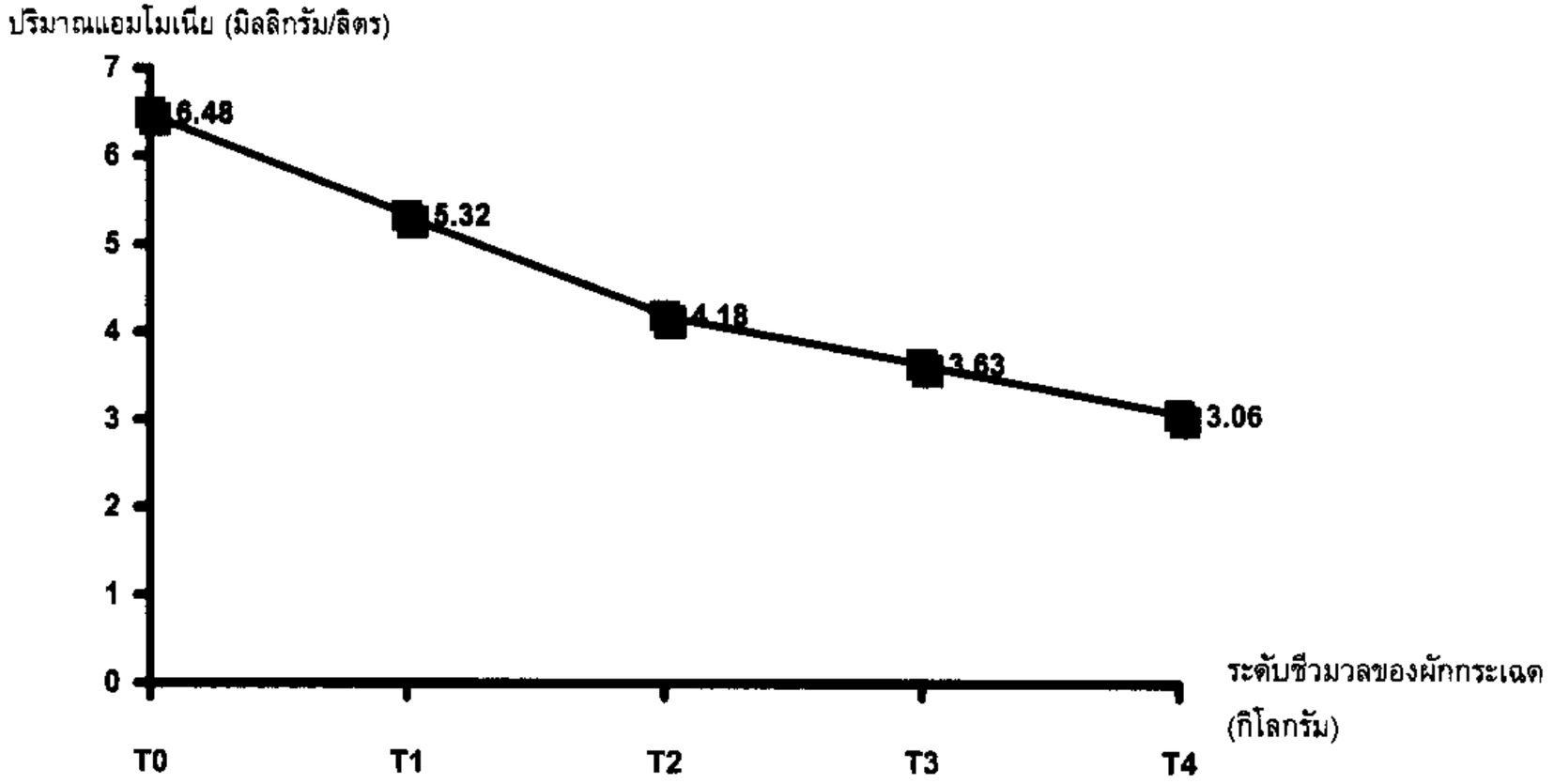
คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองมีผลดังนี้

ไนเตรท	= 0.030	มิลลิกรัม/ลิตร
แอมโมเนีย	= 9.20	มิลลิกรัม/ลิตร
บีโอดี	= 20.0	มิลลิกรัม/ลิตร
ตะกอนแขวนลอย	= 86.7	มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัสรวม	= 1.25	มิลลิกรัม/ลิตร
ความเป็นกรด – ด่าง	= 8.00	
ความเค็ม	= 0	ppt (Part per Thousand)



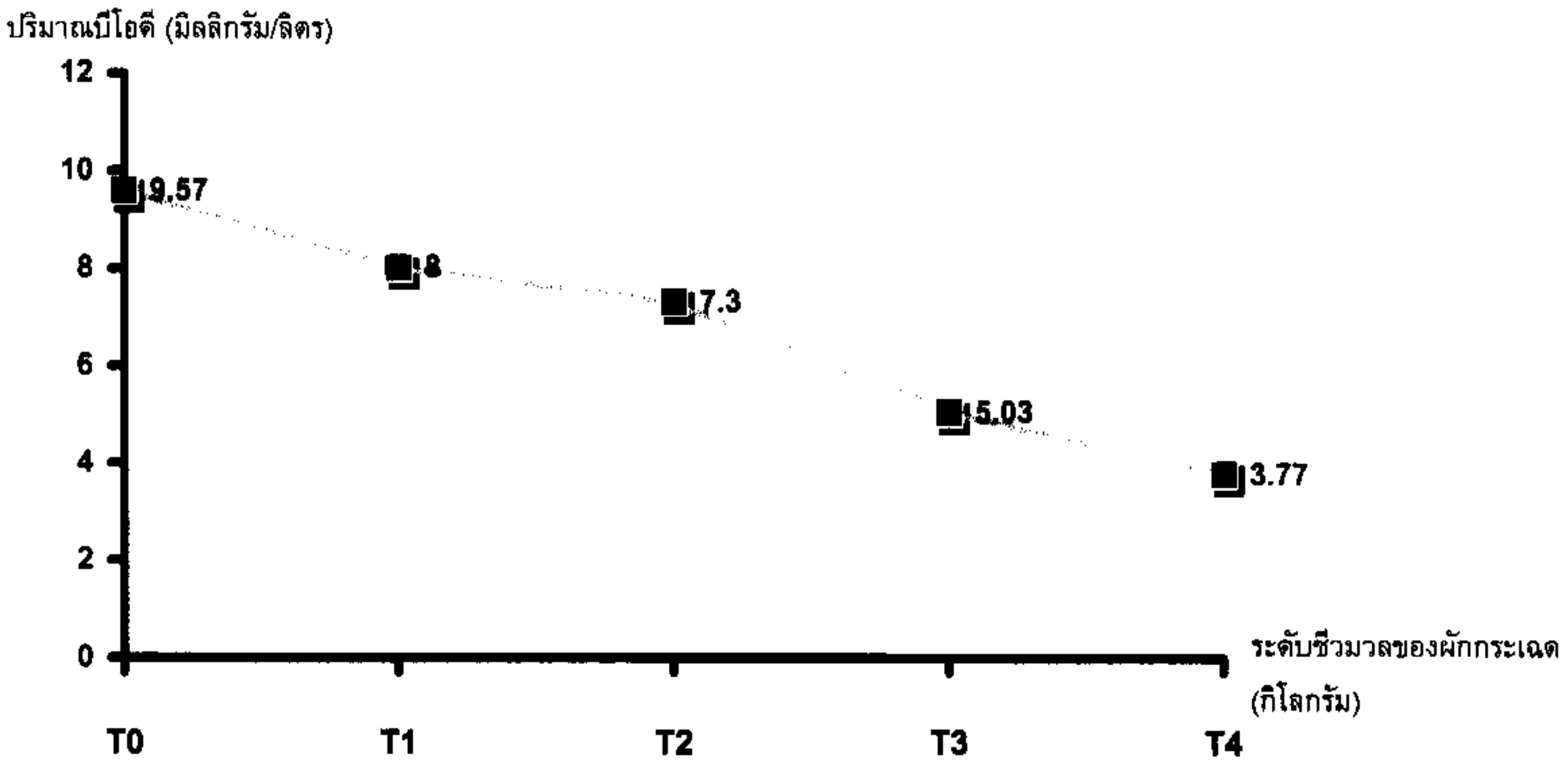
ภาพที่ 4.1 ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



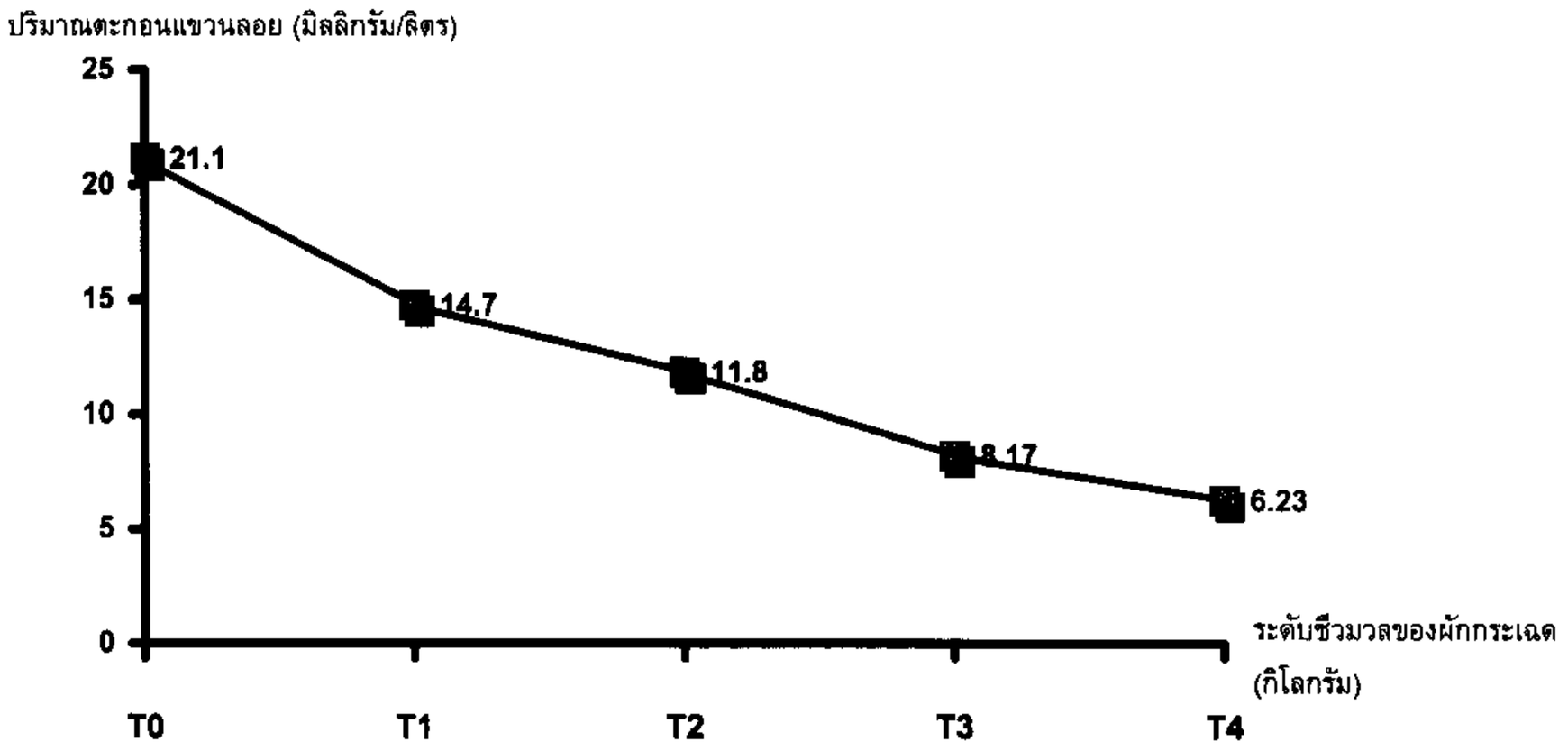
ภาพที่ 4.2 ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



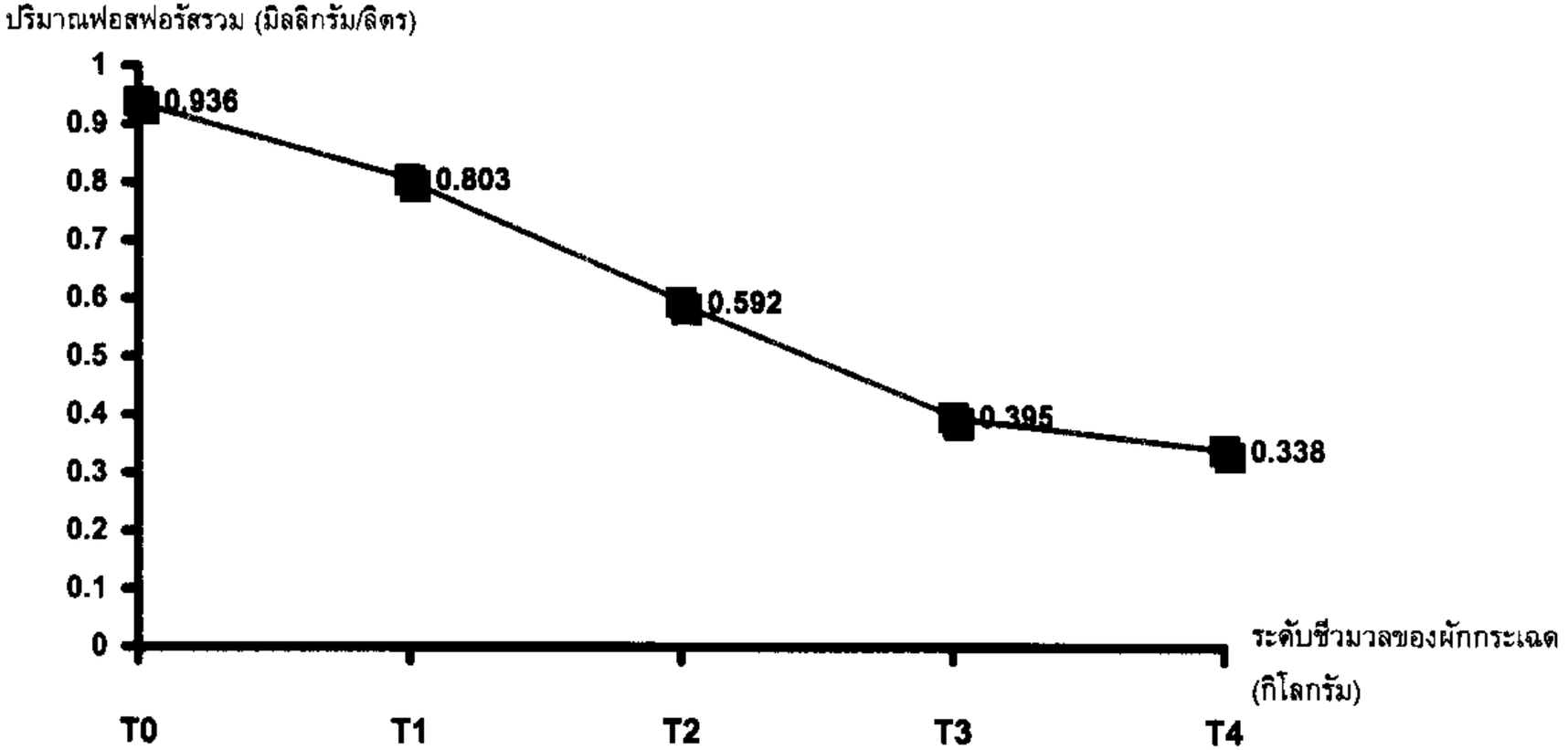
ภาพที่ 4.3 ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



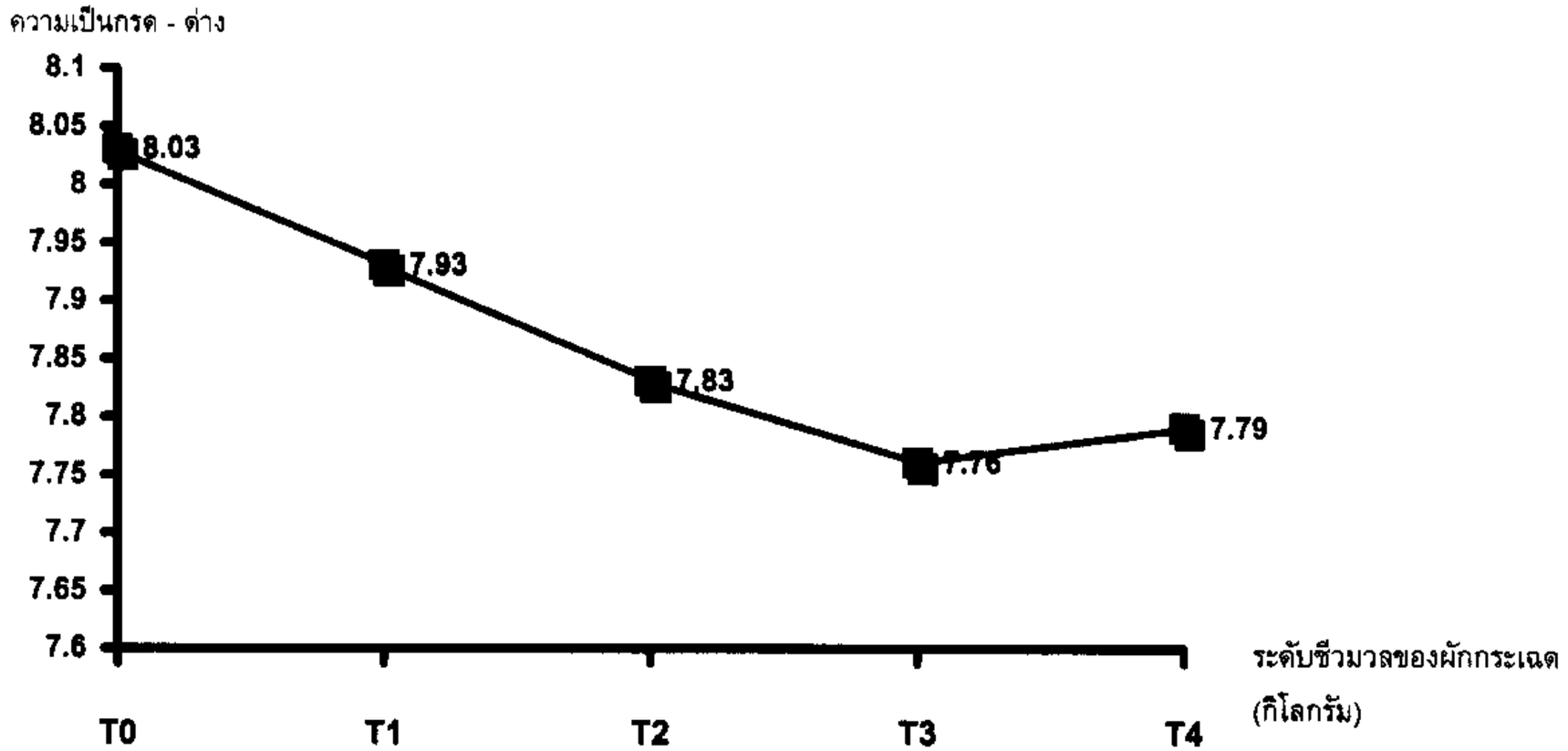
ภาพที่ 4.4 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.5 ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.6 ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

4.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสรวม ความเป็นกรด - ด่าง และความเค็ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 ไนเตรท

ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.7 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 7

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณไนเตรทที่ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.022, 0.019, และ 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไนเตรทก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.030 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณของไนเตรทที่เหลือมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด อาจกล่าวได้ว่า เมื่อจำนวนวันที่ใช้ในการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 10 วัน ไปจนถึง 30 วัน ทำให้ปริมาณของไนเตรทที่เหลือตกค้างลดลงจาก 0.022 – 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: 45) ที่พบว่า ในช่วงระยะเวลาสัปดาห์ที่ 3 – 6 เป็นระยะที่ผักกระเฉดมีความต้องการไนโตรเจนสูงมาก จึงอาจทำให้ผักกระเฉดดึงไนเตรทซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไนโตรเจนไปใช้ ส่งผลให้ปริมาณของไนเตรทลดลงมากขึ้น

4.1.2.2 แอมโมเนีย

ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.8 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 8

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียที่เหลือที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งต่างกันมีค่าลดลงเท่ากับ 5.99, 4.98 และ 2.71 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอมโมเนียก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.20 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด โดยที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเท่ากับ 30 วัน ปริมาณของแอมโมเนียจะลดลงมากที่สุดโดยเหลือเพียง 2.71 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของคณาจารย์ภาควิชาปฐพี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2533 อ้างถึงใน วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์, 2532: 45) ที่พบว่า การเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของผักกระเฉดนั้น ผักกระเฉดมีความต้องการใช้ธาตุไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวอาจทำให้ผักกระเฉดดึง

ไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบของแอมโมเนียมาใช้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำลดลง

4.1.2.3 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.9 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 9

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน สามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้มากที่สุด คือ เหลือเพียง 3.32 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 และ 20 วัน มีปริมาณของบีโอดีเท่ากับ 10.3 และ 6.58 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สำหรับปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณของบีโอดีมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากผักกระเฉดได้ดูดซับสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโตจึงมีผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งลดลง และเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งลดลงปริมาณของจุลินทรีย์ก็ลดลงด้วย ซึ่งทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์น้อยลงตามไปด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3 – 5)

4.1.2.4 ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)

ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.10 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 10

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 25.0, 10.0 และ 2.14 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณของตะกอนแขวนลอยก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.7 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่ามีปริมาณลดลงมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเกิดการตกตะกอนของตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยนั้นอาจถูกดูดซับโดยพืช และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่กำหนดไว้ในปริมาณตะกอนแขวนลอยไม่เกิน 50.0 มิลลิกรัม/ลิตร (นิรนาม, 2546: 114) พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่วิเคราะห์ได้อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

4.1.2.5 ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.11 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 11

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.804, 0.626 และ 0.408 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณของฟอสฟอรัสรวมก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ในแต่ละระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้นนั้น ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มของปริมาณที่ลดลงมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะผักกระเฉดมีความต้องการฟอสฟอรัสสูงในระยะที่นานขึ้นเพราะผักกระเฉดมีการเริ่มสร้างโครงสร้างของดัน ดอก และเมล็ดทำให้ความต้องการใช้ฟอสฟอรัสสูงตามไปด้วย (วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์, 2532: 46 - 47)

4.1.2.6 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.12 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 12

จากการทดลอง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 7.73, 7.92 และ 7.96 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.00 พบว่า มีค่าลดลง ซึ่งความเป็นกรด – ด่างที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 20 กับ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน นั้น ค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน โดยความเป็นกรด – ด่างที่ลดลงที่ระยะเวลา 10 วัน อาจเนื่องมาจากน้ำทิ้งในช่วงนี้มีปริมาณของชีวมวลของผักกระเฉดและแพลงก์ตอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งผักกระเฉดและน้ำทิ้งที่มีสีเขียวของแพลงก์ตอนจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากกระบวนการหายใจในเวลากลางคืนมาจนถึงช่วงเช้ามืดที่ยังไม่มีแสงแดดสังเคราะห์แสง (วัดความเป็นกรด – ด่างเวลา 8.00 น.) ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีสภาพเป็นกรดจึงส่งผลทำให้น้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 9) อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนวันเพิ่มมากขึ้น ความเป็นกรด – ด่างก็มีแนวโน้มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่อจำนวนวันในการบำบัดน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ชีวมวลของผักกระเฉดและแพลงก์ตอนกลับลดลง ทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยแพลงก์ตอนและผักกระเฉดในช่วงเวลากลางคืนลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งที่วิเคราะห์ได้ถือว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ จิตดิมา วสุสิน (2539: 77) ที่พบว่า ผักกระเฉดมี

ความสามารถในการรักษาสภาพความเป็นกลางของน้ำทิ้งได้ดี เพราะทำให้ความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำจากการทดลองเข้าสู่ความเป็นกลางมากขึ้น

4.1.2.7 ความเค็ม

ความเค็มที่วัดได้ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0 ppt และภายหลังการทดลองทำการวัดความเค็มที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่าง ๆ ค่าที่ได้นั้นเท่ากับ 0 ppt เช่นกัน

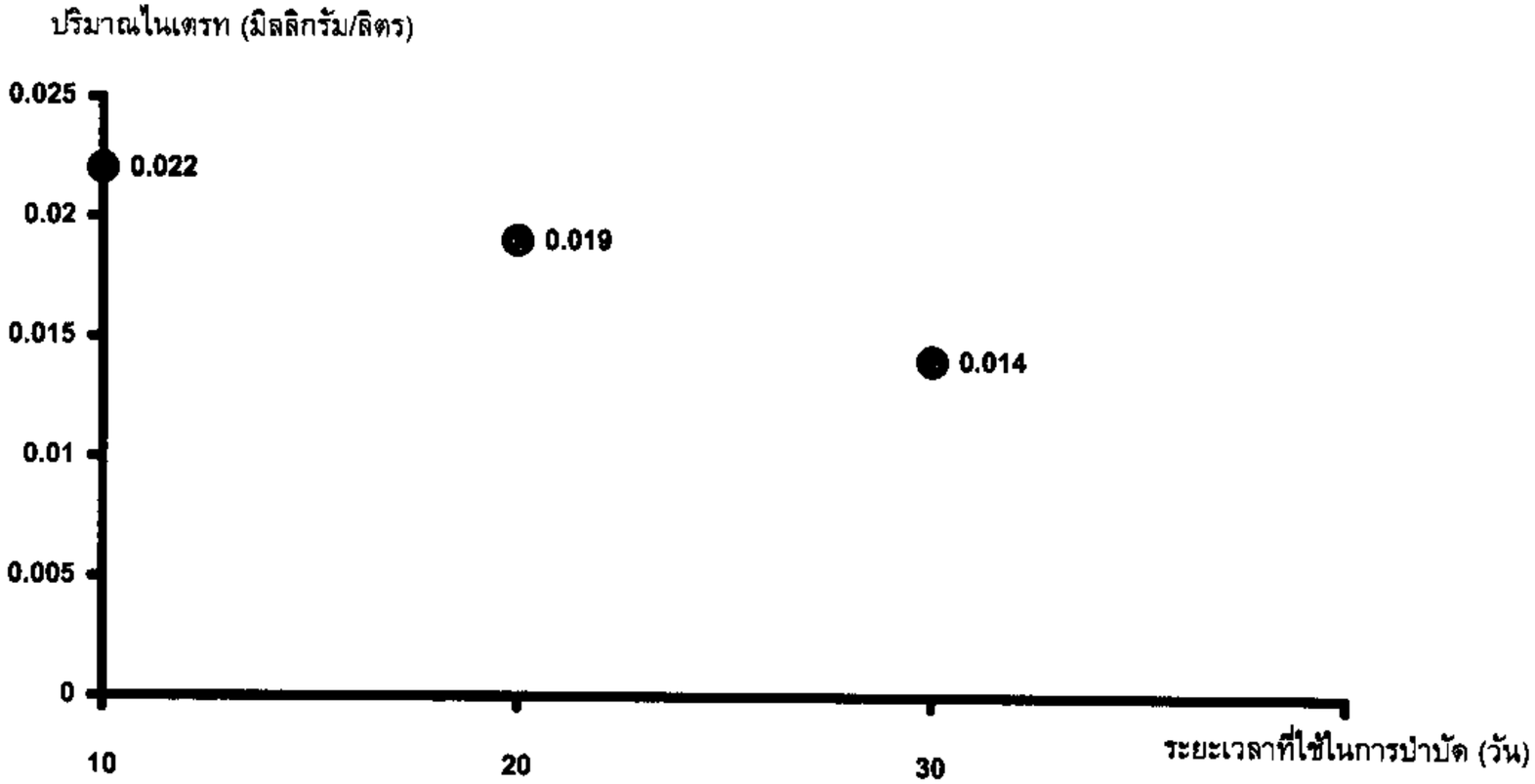
ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

คุณภาพน้ำทิ้ง	ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง(วัน)			CV (ร้อยละ)
	10	20	30	
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.022^{a}	0.019^{b}	0.014^{c}	0.58
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	5.92^{a}	4.98^{b}	2.71^{c}	1.56
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	10.3^{a}	6.58^{b}	3.32^{c}	7.90
ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	25.0^{a}	10.0^{b}	2.14^{c}	2.12
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.804^{a}	0.626^{b}	0.408^{c}	3.90
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	7.73^{b}	7.92^{a}	7.96^{a}	1.05
ความเค็ม (ppt)	0	0	0	-

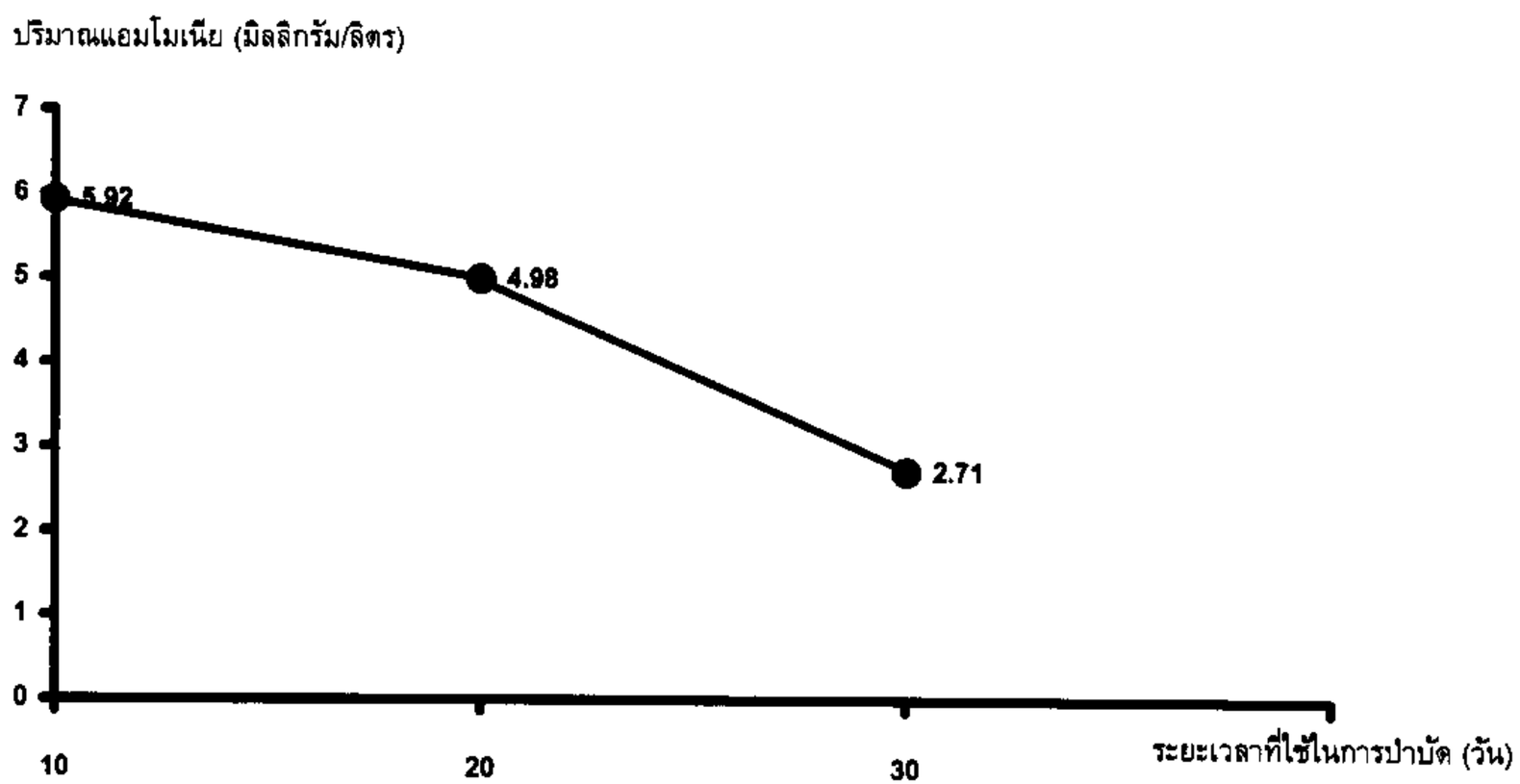
หมายเหตุ : ^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองมีผลดังนี้

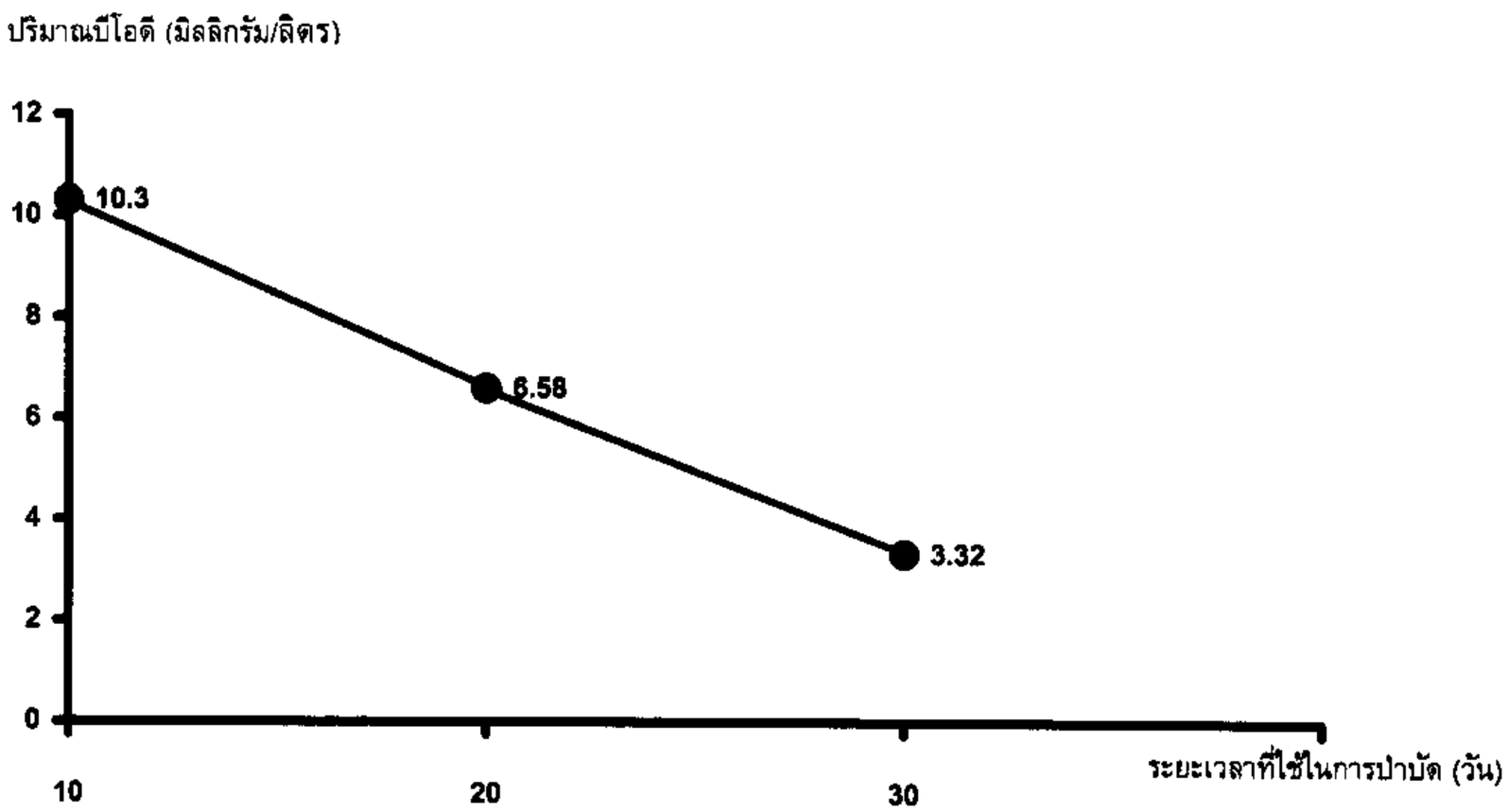
ไนเตรท	= 0.030	มิลลิกรัม/ลิตร
แอมโมเนีย	= 9.20	มิลลิกรัม/ลิตร
บีโอดี	= 20.0	มิลลิกรัม/ลิตร
ตะกอนแขวนลอย	= 86.7	มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัสรวม	= 1.25	มิลลิกรัม/ลิตร
ความเป็นกรด – ด่าง	= 8.00	
ความเค็ม	= 0	ppt (Part per Thousand)



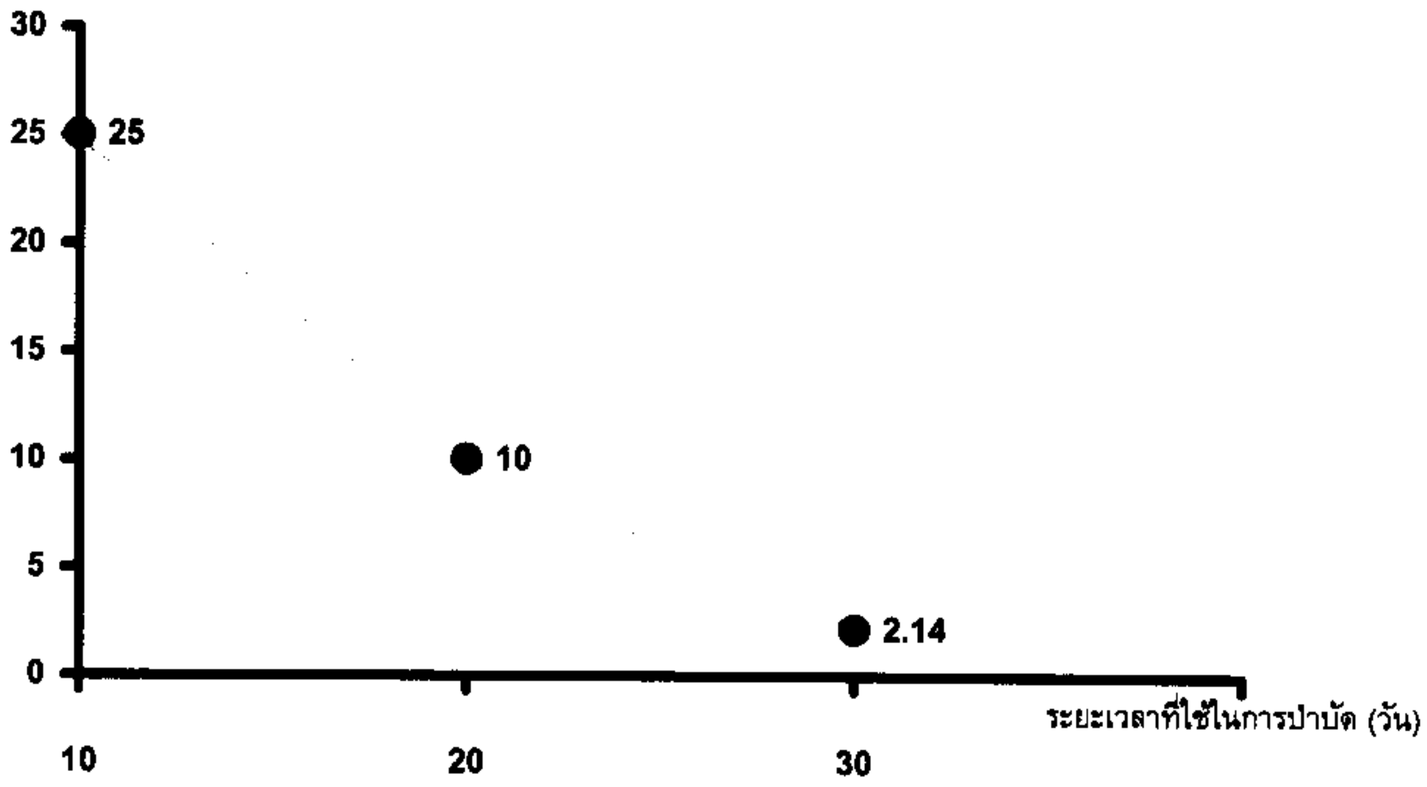
ภาพที่ 4.7 ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



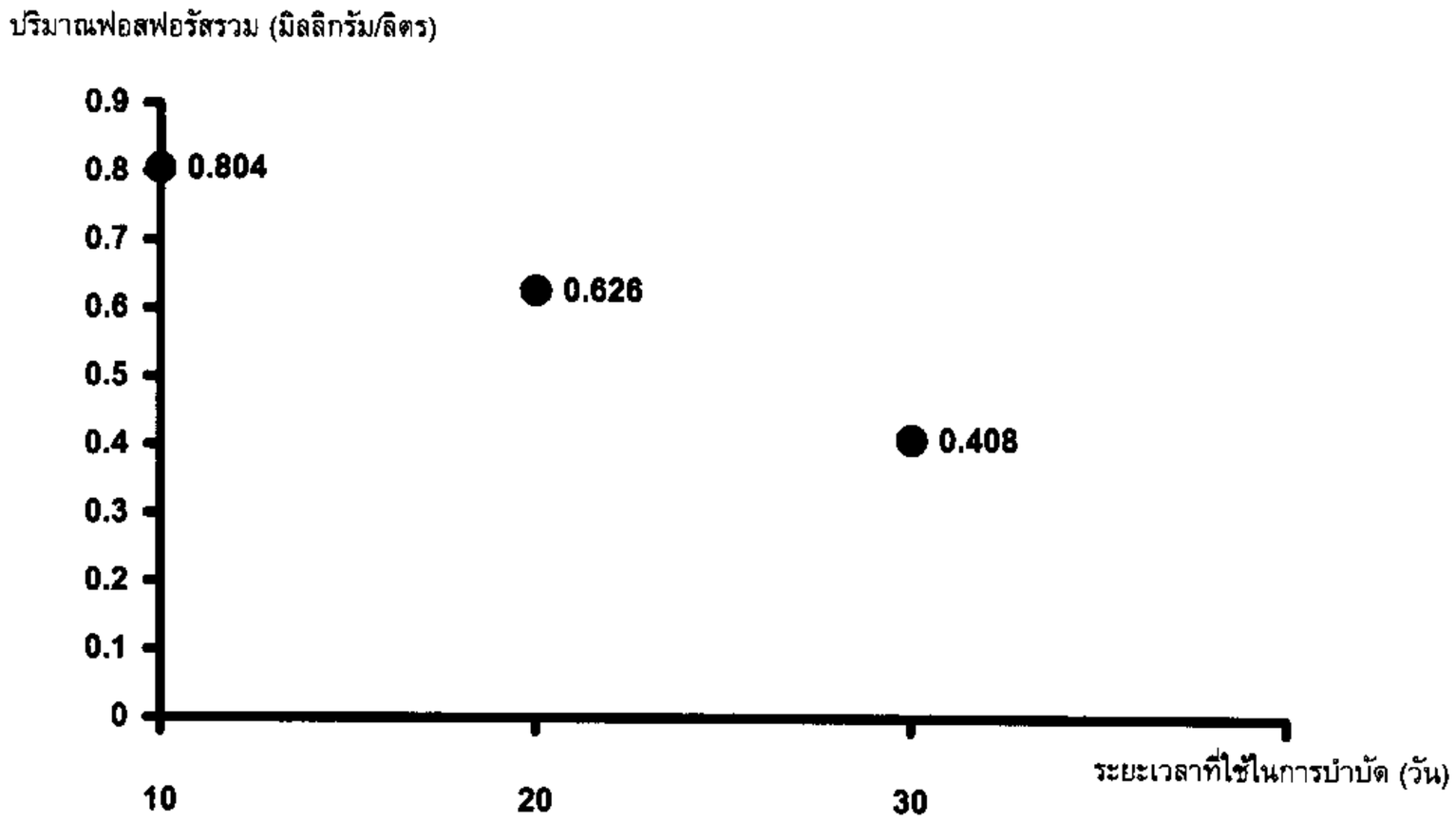
ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



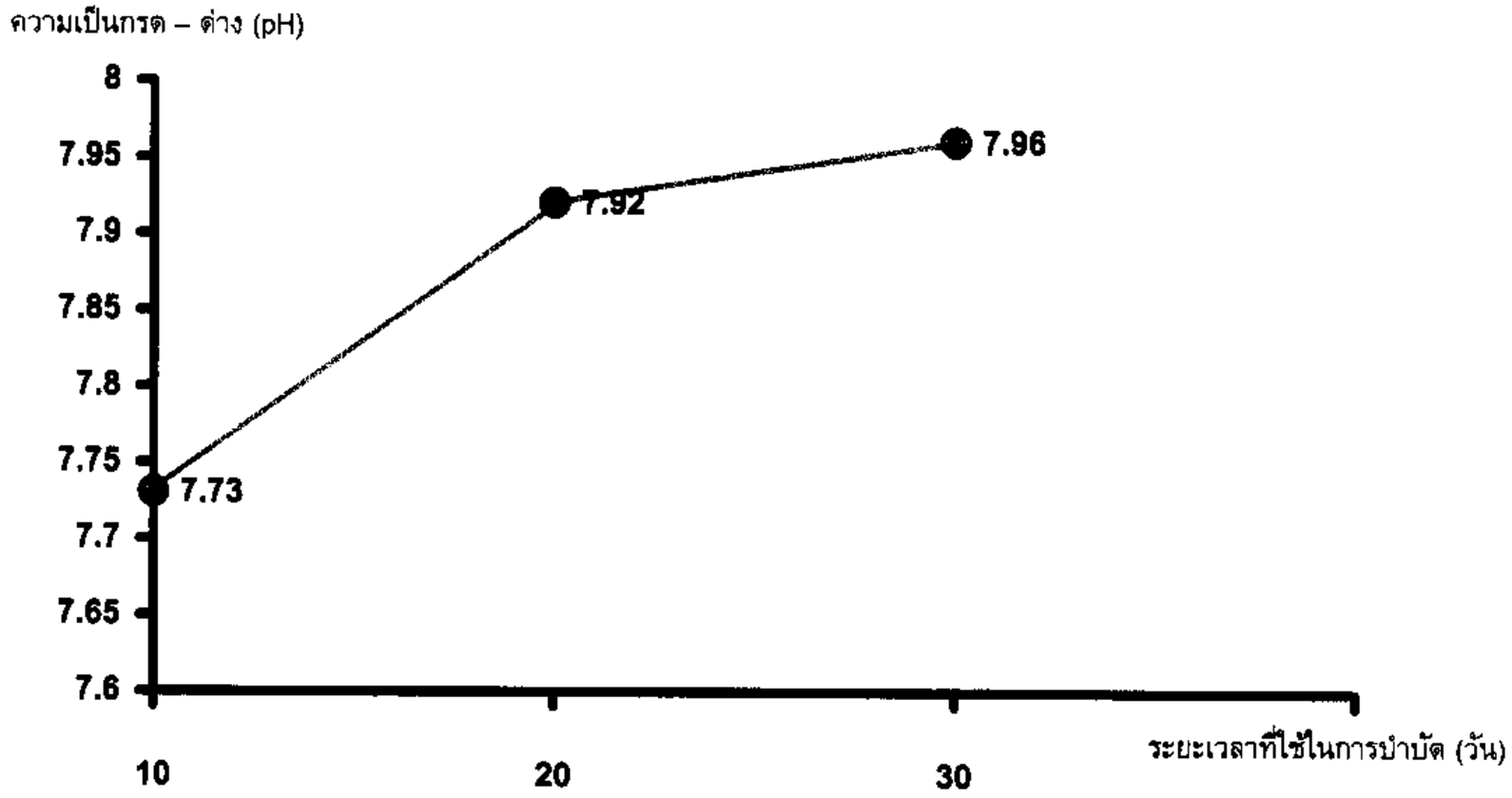
ภาพที่ 4.9 ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.10 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.11 ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.12 ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน

4.1.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่มีผลต่อคุณภาพน้ำทิ้ง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดแตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสรวม ความเป็นกรด - ด่าง และความเค็ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.3.1 ไนเตรท

ปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.13 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 13

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้ง เท่ากับ 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน สามารถลดปริมาณไนเตรทลงได้มากที่สุด คือ เหลือเพียง 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ 0.007 มิลลิกรัม/ลิตร ในระดับชีวมวล 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน ส่วนที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด เท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 กิโลกรัม ในระยะเวลาต่าง ๆ ก็สามารถลดปริมาณไนเตรทลงได้เช่นเดียวกัน โดยปริมาณไนเตรทจะลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยปริมาณของไนเตรทลดลงเหลือเพียง 0.029 – 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณไนเตรทก่อนการทดลองเท่ากับ 0.030 มิลลิกรัม/ลิตร

4.1.3.2 แอมโมเนีย

ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.14 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 14

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณแอมโมเนียลดลงโดยเหลือดกค้างเพียง 7.084 – 0.704 มิลลิกรัม/ลิตร จากปริมาณแอมโมเนียก่อนการทดลองเท่ากับ 9.20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ของระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่ 0.8 กิโลกรัมนั้น สามารถลดปริมาณของแอมโมเนียลงได้มากที่สุด คือ เหลือพียง 0.704 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด เท่ากับ 0, 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ตามระยะเวลา

ต่างๆ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงได้เช่นกัน จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแอมโมเนียจะลดลงตามระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

4.1.3.3 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.15 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 15

จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยที่เหลือมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวล 0.4 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 20 วัน กับระดับชีวมวล 0.6 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 10 วัน ปริมาณบีโอดีที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 20 วัน กับระดับชีวมวล 0.8 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 10 วัน ปริมาณบีโอดีที่เหลือก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่ระดับชีวมวล 0 และ 0.2 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณบีโอดีที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับระดับชีวมวล 0.6 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.4 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 30 วัน กับระดับชีวมวล 0.8 กิโลกรัมที่ระยะเวลา 20 วัน ปริมาณของบีโอดีที่เหลือก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัมที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เหลือปริมาณของบีโอดีตกค้างน้อยที่สุดเท่ากับ 1.30 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน จะเหลือปริมาณบีโอดีตกค้างมากที่สุดเท่ากับ 14.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณบีโอดีที่ลดลงจะแปรผันตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดและระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

4.1.3.4 ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)

ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.16 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 16

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีปริมาณตะกอนแขวนลอยคงเหลือเท่ากับ 1.90 และ 1.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยที่ระดับชีวมวล 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน จะมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองมากที่สุด คือ จาก 86.7 เหลือเพียง 1.20 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีค่าลดลงเมื่อระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

4.1.3.5 ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.17 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 17

จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของปริมาณฟอสฟอรัสรวม โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสรวมลงได้น้อยที่สุด คือ เหลือตกค้างเท่ากับ 1.03 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ลดลงมากที่สุดโดยเหลือตกค้างเพียง 0.075 มิลลิกรัม/ลิตร คือ ที่ระดับชีวมวลผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน โดยมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ กล่าวคือ เมื่อระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงตามลำดับ

4.1.3.6 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.18 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 18

จากการทดลอง พบว่า ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 20 และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวล 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวล 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวล 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน นอกจากนี้ ในทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉด ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวล 0.6 และ 0.8 กิโลกรัมที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งที่นานขึ้นจะมีปฏิสัมพันธ์กับระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่ระยะเวลา 10 วัน ค่าความเป็นกรด – ด่างจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ซึ่งเท่ากับ 8.00 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วง 10 วันแรกนั้น ในน้ำทิ้งมีแพลงก์ตอนพืชเป็นจำนวนมาก โดยจะสังเกตได้จากสีน้ำซึ่งมีลักษณะสีเขียว ทำให้แพลงก์ตอนพืชปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในกระบวนการหายใจในเวลากลางคืนต่อเนื่องมาจนถึงช่วงเช้าซึ่งยังไม่มีแสงแดดที่จะสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ การหลุดร่วงของใบผักกระเฉดเป็นจำนวนมากและเกิดการเน่าสลาย ทำให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีสภาพเป็นกรด จึงเป็นผลทำให้ความเป็นกรด – ด่างลดลง แต่เมื่อถึงระยะเวลา 20 วัน และ 30 วัน ได้มีการตักใบของผักกระเฉดที่หลุดร่วงออก และปริมาณของแพลงก์ตอนที่ลดลงทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง จึงส่งผลให้ความเป็นกรด – ด่างเพิ่มขึ้นจากระยะเวลา 10 วัน (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 9 - 10) นอกจากนี้ ผักกระเฉดนั้น ยังสามารถรักษาสภาพความเป็นกลางของน้ำได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จิตติมา วสุสิน (2539: 77) และค่าความเป็นกรด – ด่างที่ได้จากการทดลองนั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ 6.5 – 9.0 (นิรนาม, 2546: 114)

4.1.3.7 ความเค็ม

ความเค็มของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการวัดก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0 ppt และเมื่อภายหลังการทดลองทำการวัดความเค็มที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดต่าง ๆ ค่าที่ได้นั้นเท่ากับ 0 ppt เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

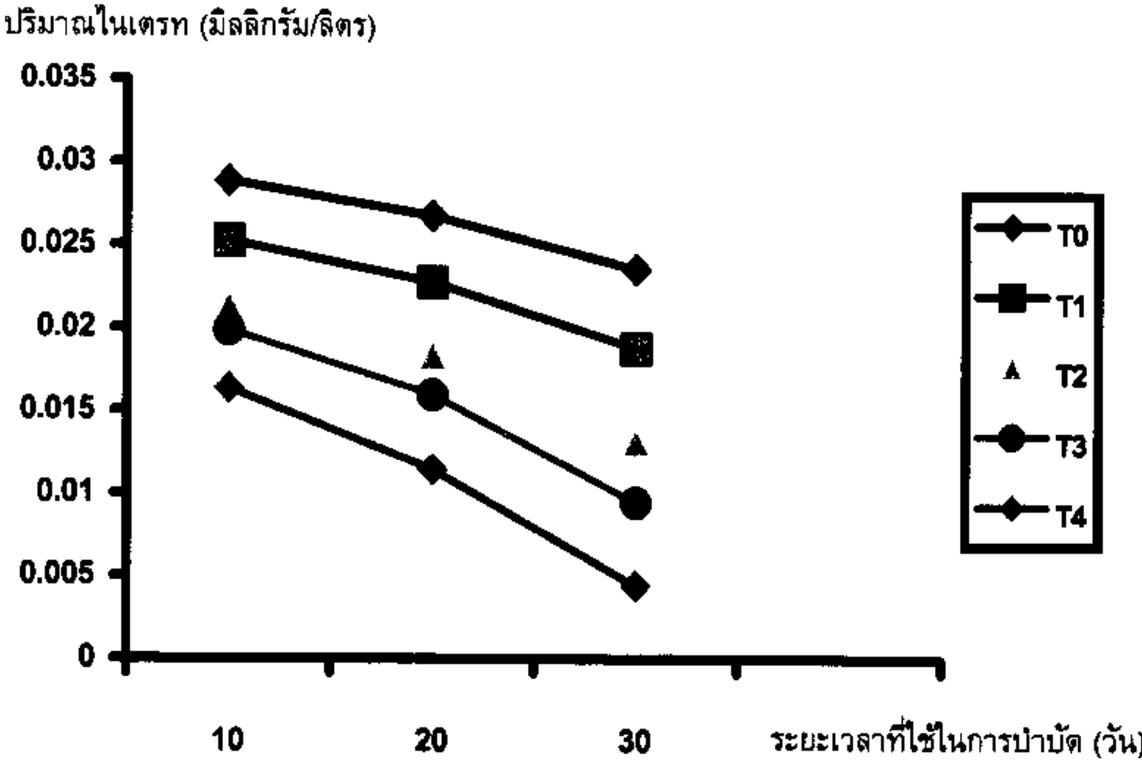
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

คุณภาพน้ำทิ้ง	Interaction	T_0			T_1			T_2			T_3			T_4			CV (ร้อยละ)
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	I	0.029^{a}	0.027^{b}	0.024^{d}	0.025^{c}	0.023^{e}	0.019^{h}	0.021^{f}	0.018^{i}	0.013^{l}	0.020^{g}	0.016^{k}	0.009^{n}	0.016^{j}	0.011^{m}	0.004^{o}	0.58
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	I	7.08^{a}	6.92^{b}	5.44^{f}	6.28^{c}	5.84^{d}	3.84^{k}	5.73^{e}	4.68^{i}	2.14^{m}	5.43^{g}	4.04^{j}	1.41^{n}	5.08^{h}	3.40^{l}	0.704^{o}	1.56
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	I	14.0^{a}	9.60^{d}	5.10^{g}	12.0^{b}	7.20^{f}	4.80^{g}	10.5^{c}	6.30^{e}	3.10^{h}	8.20^{e}	4.60^{g}	2.30^{i}	6.80^{f}	3.20^{h}	1.30^{j}	7.90
ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	I	40.8^{a}	19.1^{d}	3.60^{j}	29.4^{b}	12.2^{g}	2.40^{l}	23.7^{c}	9.70^{h}	1.90^{m}	17.0^{e}	5.90^{i}	1.60^{m}	14.3^{f}	3.20^{k}	1.20^{n}	2.12
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	I	1.03^{a}	0.953^{c}	0.825^{d}	0.972^{b}	0.822^{e}	0.616^{h}	0.802^{f}	0.600^{i}	0.375^{l}	0.631^{g}	0.403^{k}	0.154^{n}	0.587^{j}	0.353^{m}	0.075^{o}	3.90
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	I	7.80^{de}	8.10^{ab}	8.20^{a}	7.70^{e}	8.00^{bc}	8.10^{ab}	7.70^{e}	7.80^{cd}	7.90^{cd}	7.70^{e}	7.80^{de}	7.80^{de}	7.76^{de}	7.80^{de}	7.80^{de}	1.05
ความเค็ม (ppt)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

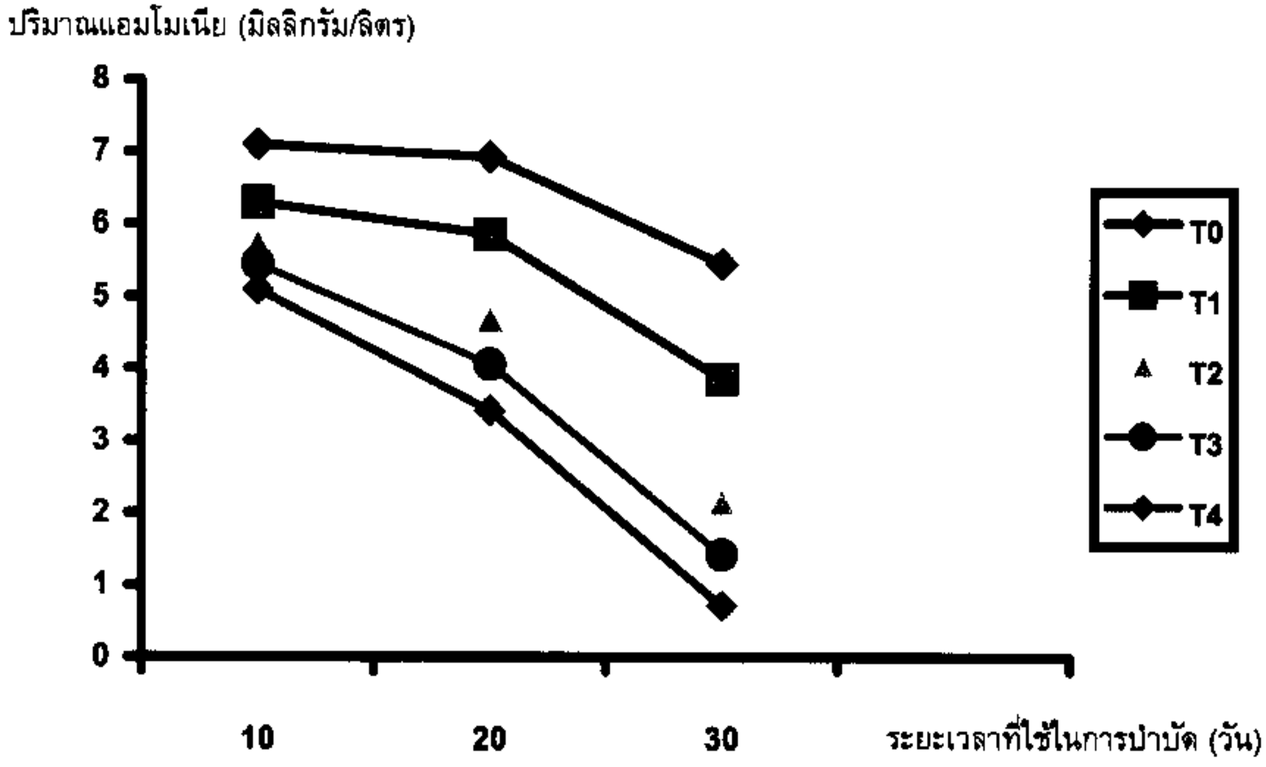
หมายเหตุ : ^{abcdefghijklmno} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

I : Interaction คือ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด

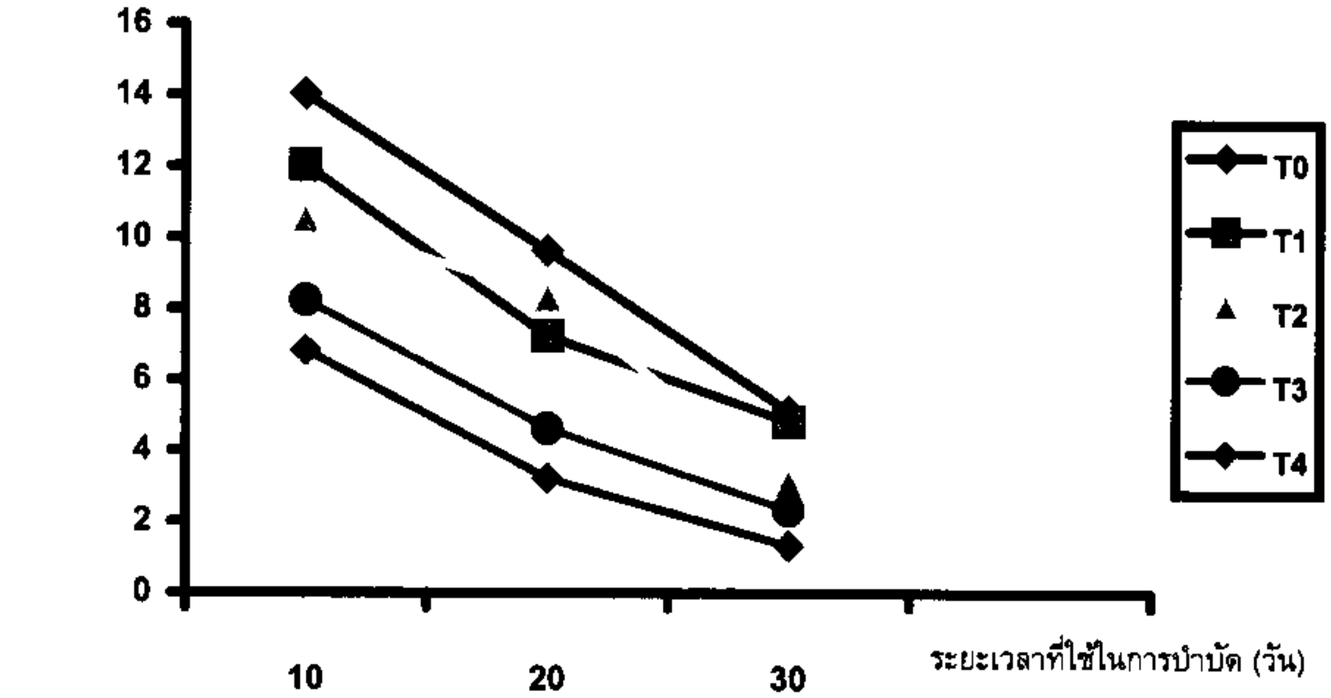
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



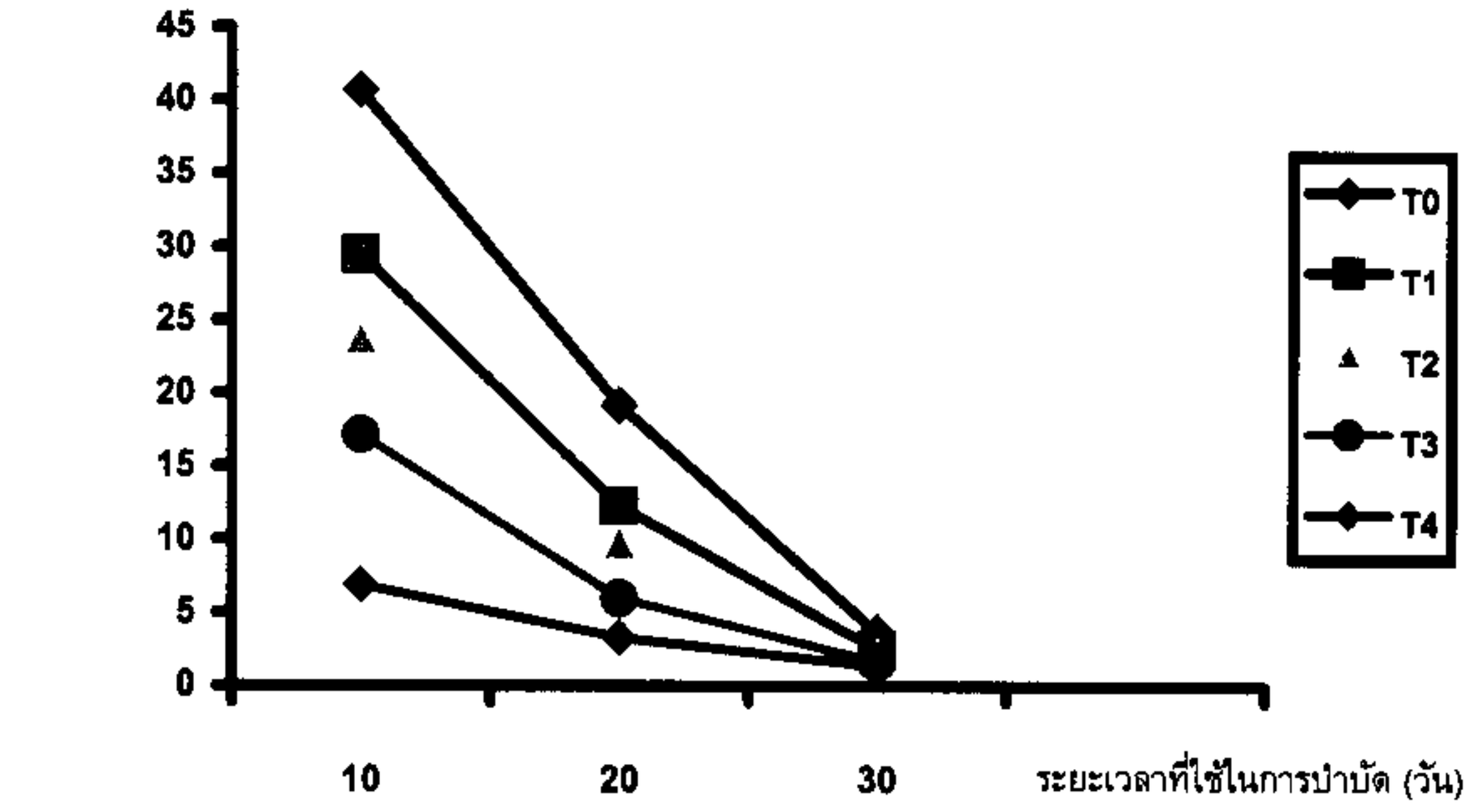
ภาพที่ 4.13 ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



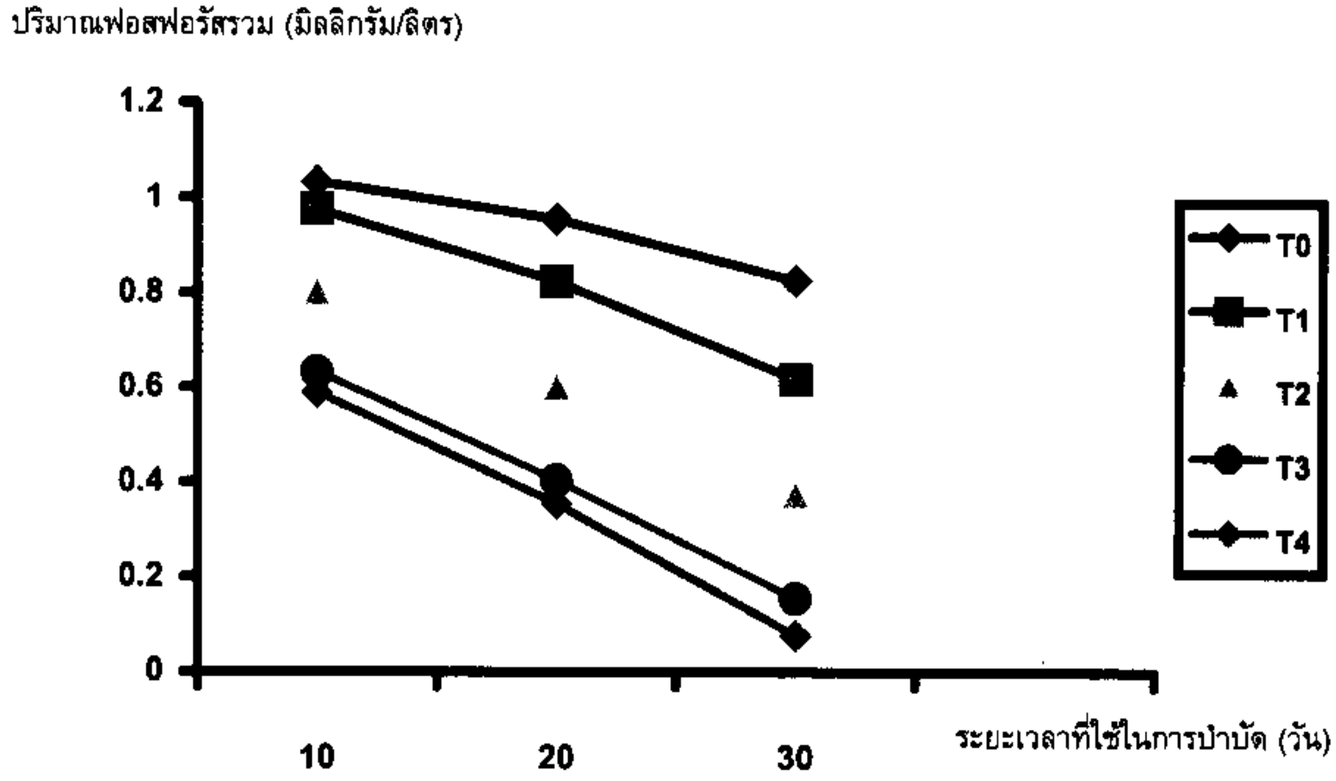
ภาพที่ 4.14 ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



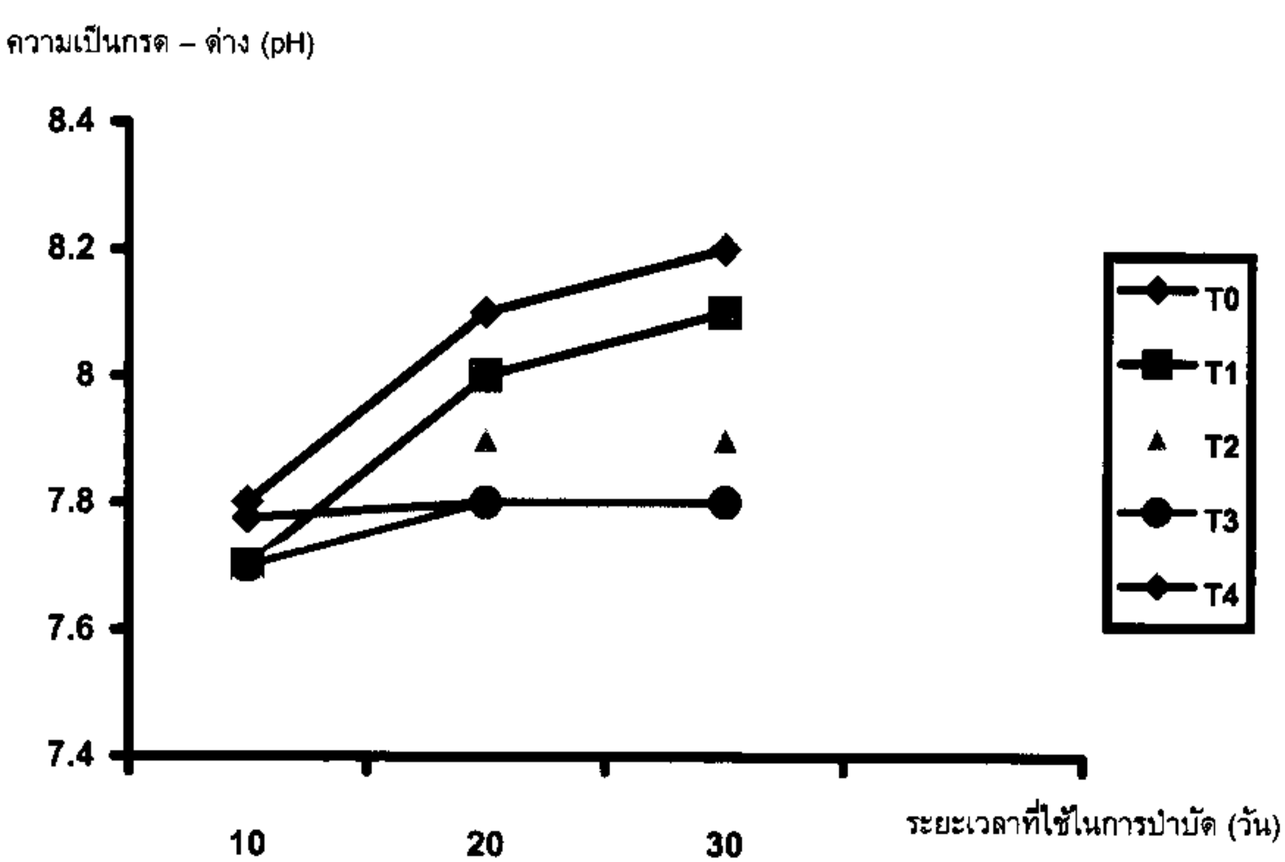
ภาพที่ 4.15 ปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.16 ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.18 ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน
ชีวมวลของผักกระเฉด T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

4.2 ชีวมวลของผักกระเฉด

4.2.1 อิทธิพลของระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่มีผลต่อชีวมวลรวม

การศึกษาชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งมีระดับชีวมวลเริ่มต้นเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และจะให้ลอยบนผิวน้ำซึ่งปริมาตรน้ำที่ใช้เท่ากับ 50 ลิตร ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.19 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 19

จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของชีวมวลรวมของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละระดับชีวมวลของผักกระเฉดจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่ 0.2 กิโลกรัม จะมีชีวมวลรวมของผักกระเฉดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.021 กิโลกรัม ส่วนที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ชีวมวลรวมของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีค่าลดลงจากชีวมวลเริ่มต้น คือ – 0.023, - 0.052 และ – 0.125 กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อาจไม่ใช่เป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำ 50 ลิตร ซึ่งอาจจะหนาแน่นมากบนผิวน้ำ นอกจากนี้ ในการปลูกผักกระเฉดปกติจะต้องมีการใส่แหนลงด้วย เพราะพืชทั้งสองชนิดอาศัยซึ่งกันและกัน ซึ่งแหนนอกจากจะปล่อยธาตุอาหารบางชนิดที่ผักกระเฉดนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ยังเป็นส่วนช่วยพยุงส่วนยอดโดยจะทำให้นมของผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดีและยังช่วยบังแดดด้วย (จิตติมา วสุสิน, 2539: 76)

ตารางที่ 4.4 ระดับชีวมวลรวมเฉลี่ยของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่แตกต่างกัน

หน่วยการทดลอง	ระดับชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวมเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง * (กิโลกรัม)
T_1	0.2	0.221	0.021^{a}
T_2	0.4	0.377	-0.023^{b}
T_3	0.6	0.548	-0.052^{c}
T_4	0.8	0.675	-0.125^{d}
CV (ร้อยละ)		5.24	

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

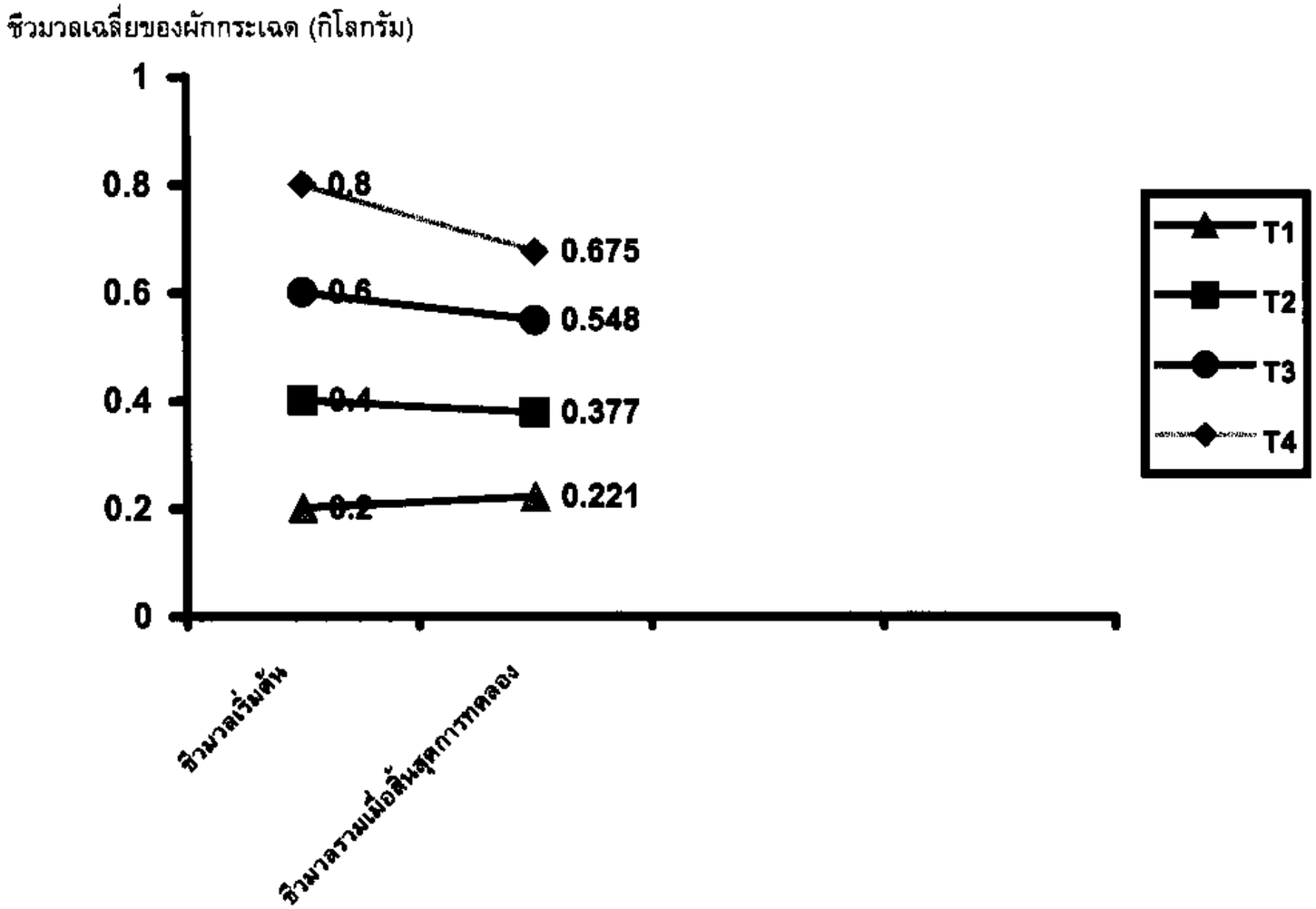
^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_1 : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม

T_2 : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม

T_3 : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม

T_4 : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.19 ชีวมวลรวมของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน
ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

4.2.2 อิทธิพลของระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลของผักกระเฉด

การศึกษาชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.20 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 20

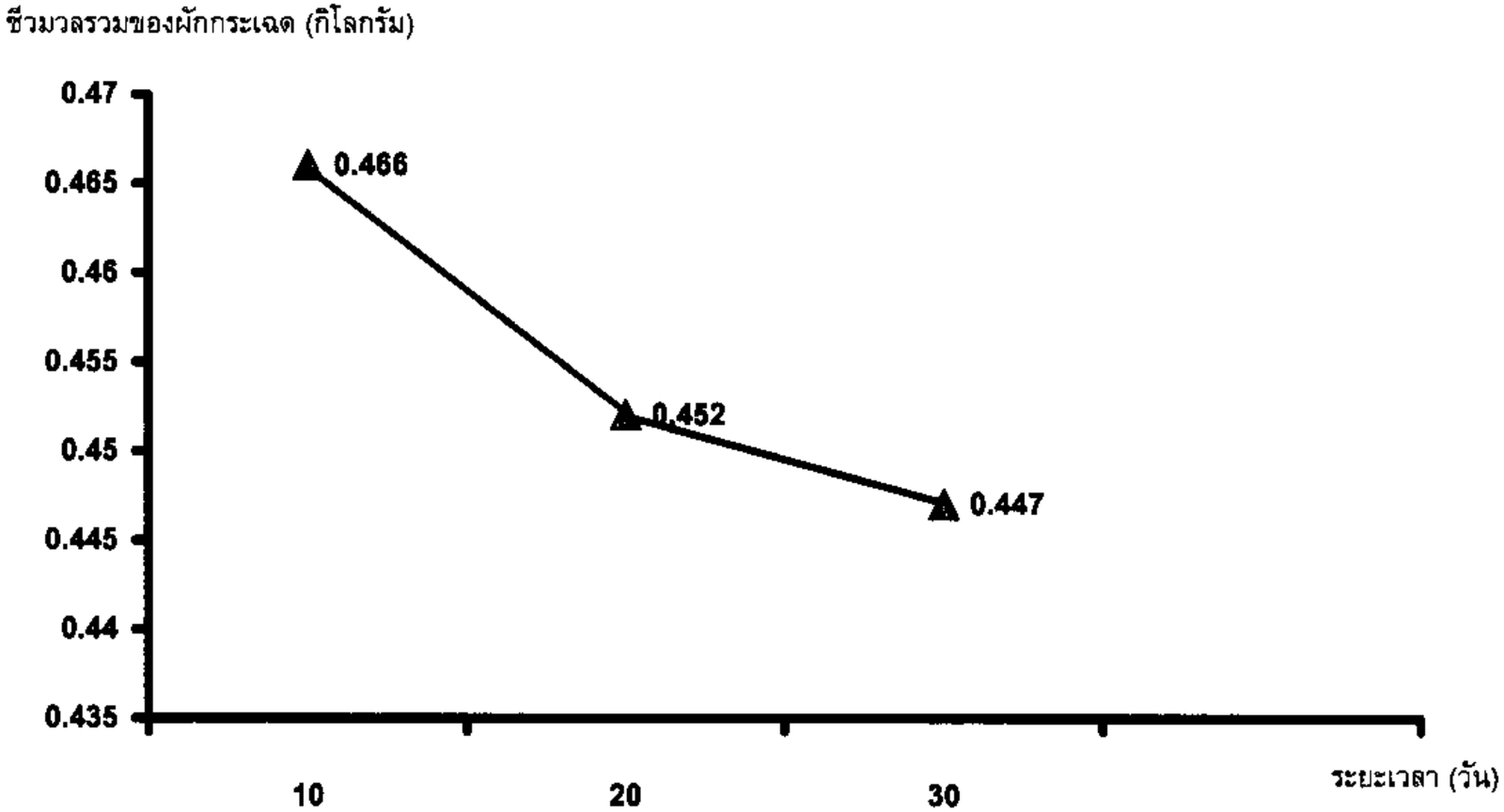
จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน เท่ากับ 0.466, 0.452 และ 0.447 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งชีวมวลของผักกระเฉดมีค่าที่เปลี่ยนแปลงดังนี้ คือ – 0.034, - 0.048 และ – 0.053 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 10 วัน และ 30 วัน ชีวมวลรวมของผักกระเฉด จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระยะเวลา 20 วัน จะไม่มีความแตกต่างกับที่ระยะเวลา 10 วัน และ 30 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากมีการหลุดร่วงของใบผักกระเฉดค่อนข้างมากเมื่อระยะเวลานานขึ้นและมีการตายของลำต้นบางลำต้น เพราะเมื่อชีวมวลของผักกระเฉดมากจึงทำให้ความหนาแน่นสูงมากเกินไป นอกจากนี้ การกัดกินลำต้นของแมลงก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ชีวมวลของผักกระเฉดลดลง และในช่วงหน้าหนาวซึ่งเป็นช่วงที่ได้ทำการทดลอง (เดือนธันวาคม – เดือนมกราคม) ผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร (อุดม โกสัยสุก, 2542: 13 - 14) จึงเป็นผลให้ชีวมวลของผักกระเฉดลดลง

ตารางที่ 4.5 ชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ระดับชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวมเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง * (กิโลกรัม)
10	0.5	0.466	- 0.034[a]
20	0.5	0.452	- 0.048[ab]
30	0.5	0.447	- 0.053[b]
CV (ร้อยละ)		5.24	

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

[ab] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.20 ชีวมวลรวมของผักกระเฉดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

4.2.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.21 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข. 21 และแสดงภาพผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาต่าง ๆ กัน ดังภาพที่ 4.22 ถึง 4.24

จากการทดลอง พบว่า ชีวมวลรวมเฉลี่ยของผักกระเฉดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 20 และ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) และเช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 20 และ 30 วัน ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชีวมวลรวมของผักกระเฉดไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่นานขึ้นและระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด โดยชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่ 0.2 กิโลกรัม ส่งผลให้ชีวมวลรวมของผักกระเฉดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่นานขึ้น โดยเป็นระดับชีวมวลเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมกับปริมาตรน้ำ 50 ลิตรมากที่สุด เนื่องจากเมื่อระดับของชีวมวลเริ่มต้นสูงขึ้นกลับมีชีวมวลรวมที่ลดลงเมื่อระยะเวลานานขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากวิธีการปลูกโดยทั่วไปจะใช้วิธีปักดำในแปลงแต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้ปลูกโดยให้ลอยน้ำ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเจริญเติบโตของผักกระเฉดไม่ดีเท่าที่ควร และสาเหตุอีกประการหนึ่ง คือ การปลูกผักกระเฉดปกติจะต้องมีการใส่แหนลงไปในแปลงปลูกด้วย เพราะพืชทั้งสองชนิดอาศัยซึ่งกันและกัน ซึ่งแหนนอกจากจะปล่อยธาตุอาหารบางชนิดที่ผักกระเฉดนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ยังเป็นส่วนช่วยพยุงส่วนยอดโดยจะทำให้นมของผักกระเฉดเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ แหนยังมีส่วนช่วยบังแดดและช่วยให้ลำต้นมีสีเขียวอ่อนสวย และโดยทั่วไปแล้วในช่วงหน้าหนาวที่มีอากาศค่อนข้างเย็น และมีช่วงกลางวันสั้นผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร (จิตติมา วสุสิน, 2539: 76) ซึ่งตรงกับช่วงเวลาที่ทำการทดลองที่เป็นช่วงหน้าหนาว (เดือนธันวาคม – มกราคม)

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด

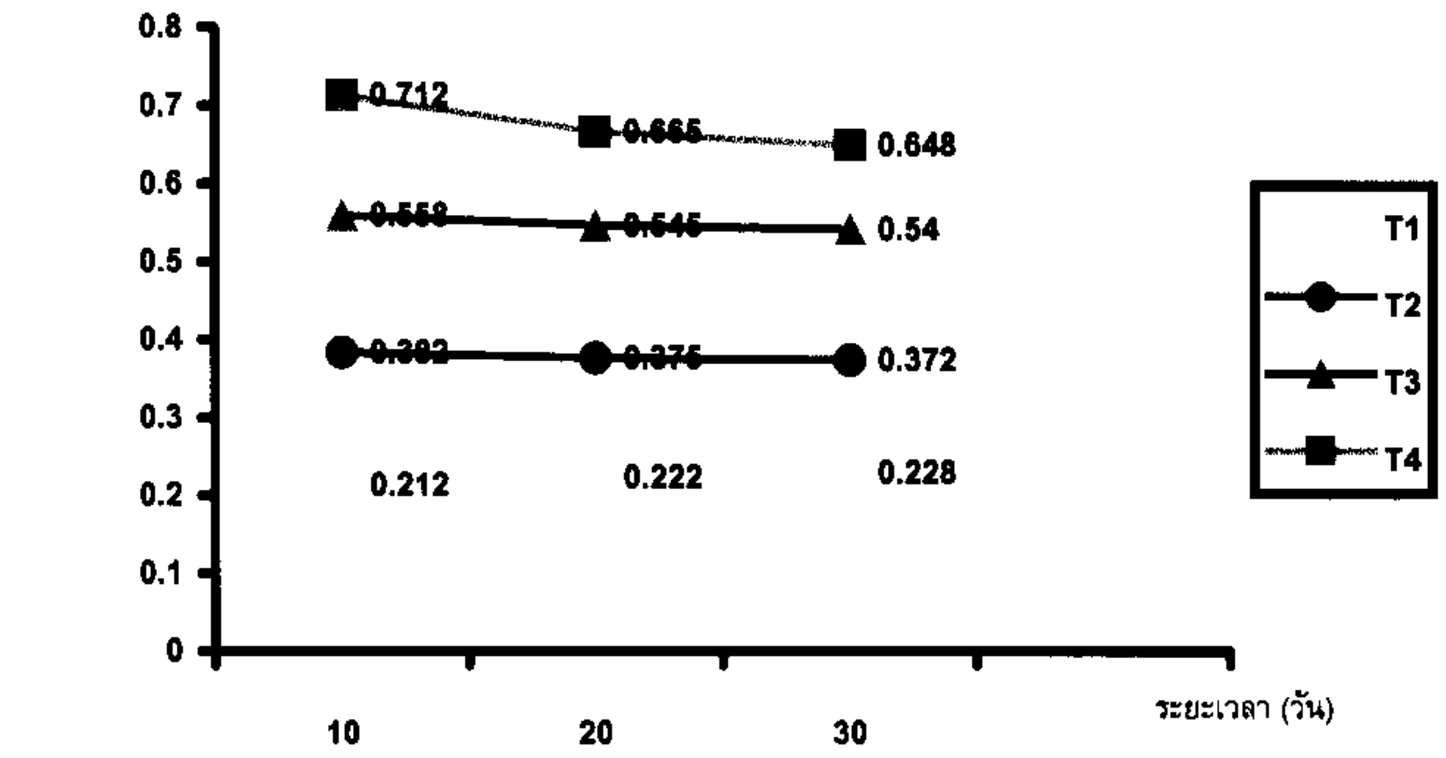
หน่วยการทดลอง	Interaction	ระยะเวลา (วัน)								
		10			20			30		
		ชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง * (กิโลกรัม)	ชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง * (กิโลกรัม)	ชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง * (กิโลกรัม)
T_1	NI	0.2	0.212	0.012^{c}	0.2	0.222	0.022^{b}	0.2	0.228	0.028^{a}
T_2	NI	0.4	0.382	-0.018^{d}	0.4	0.375	-0.025^{e}	0.4	0.372	-0.028^{e}
T_3	NI	0.6	0.558	-0.042^{f}	0.6	0.545	-0.055^{g}	0.6	0.540	-0.060^{g}
T_4	NI	0.8	0.712	-0.088^{h}	0.8	0.665	-0.135^{i}	0.8	0.648	-0.152^{j}
CV (ร้อยละ)		5.24								

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

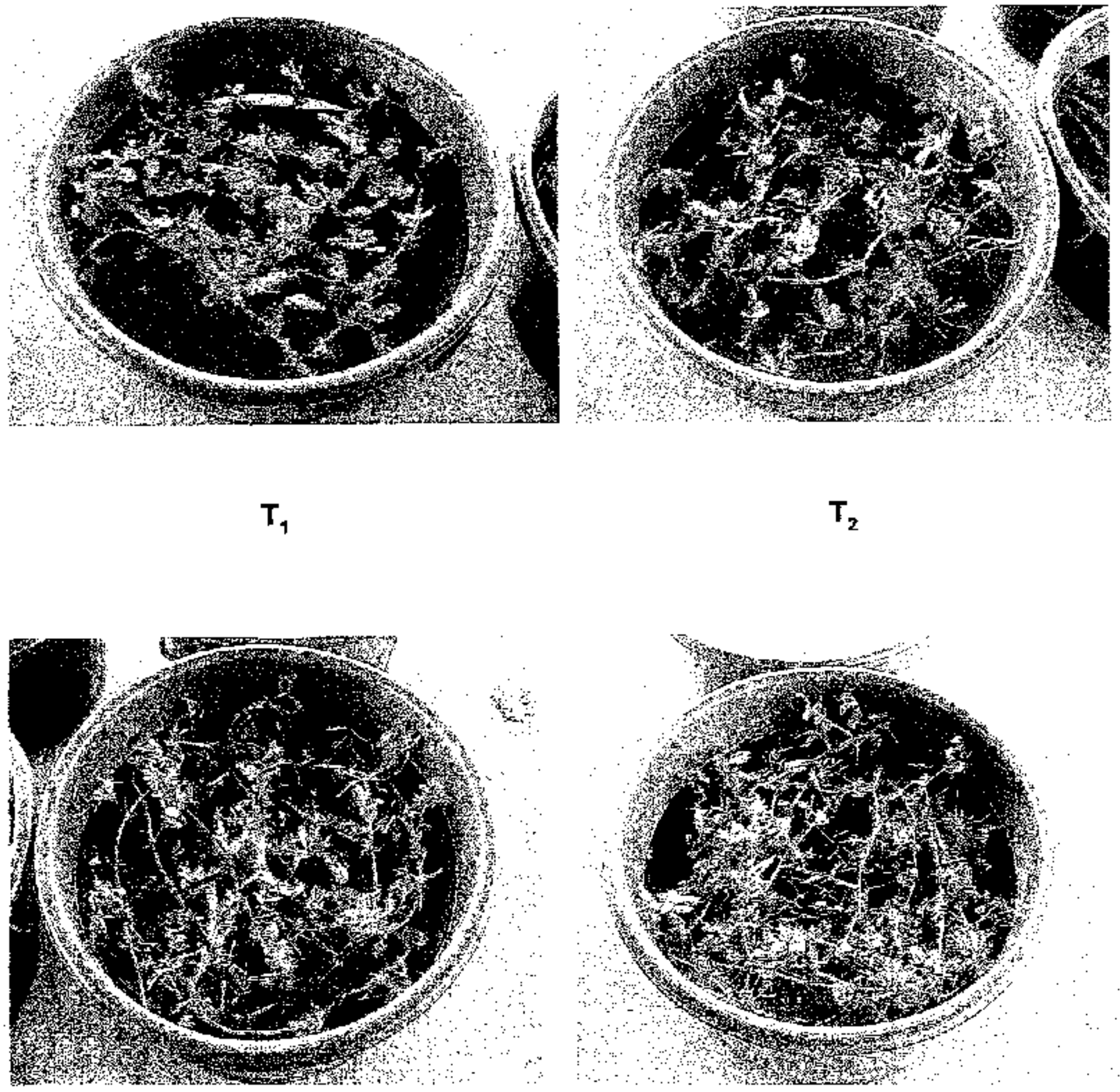
^{abcde} ตัวอักษรที่แตกต่างกันของชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

NI : Non – Interaction คือ ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลา

ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

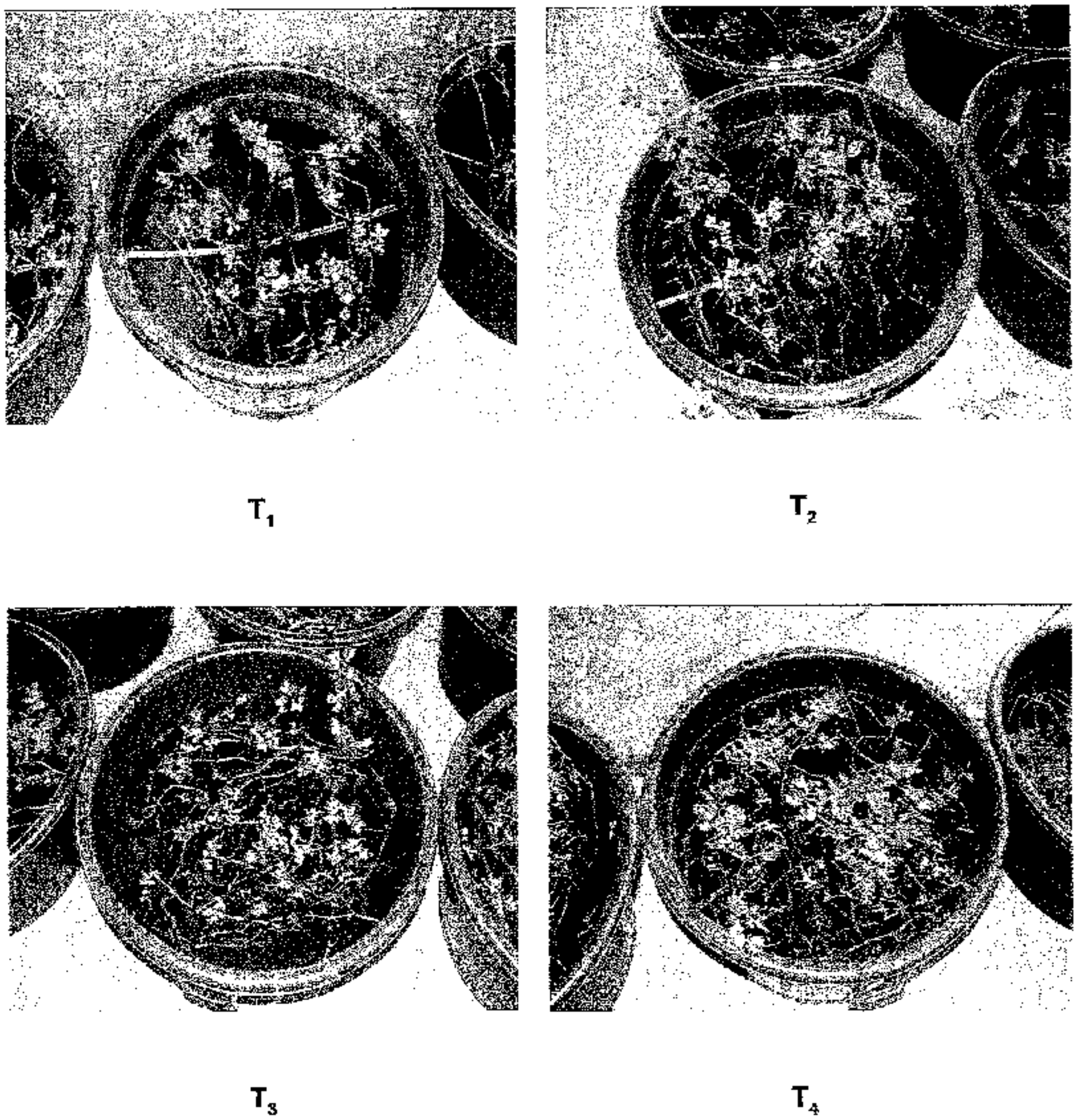


ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด
ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



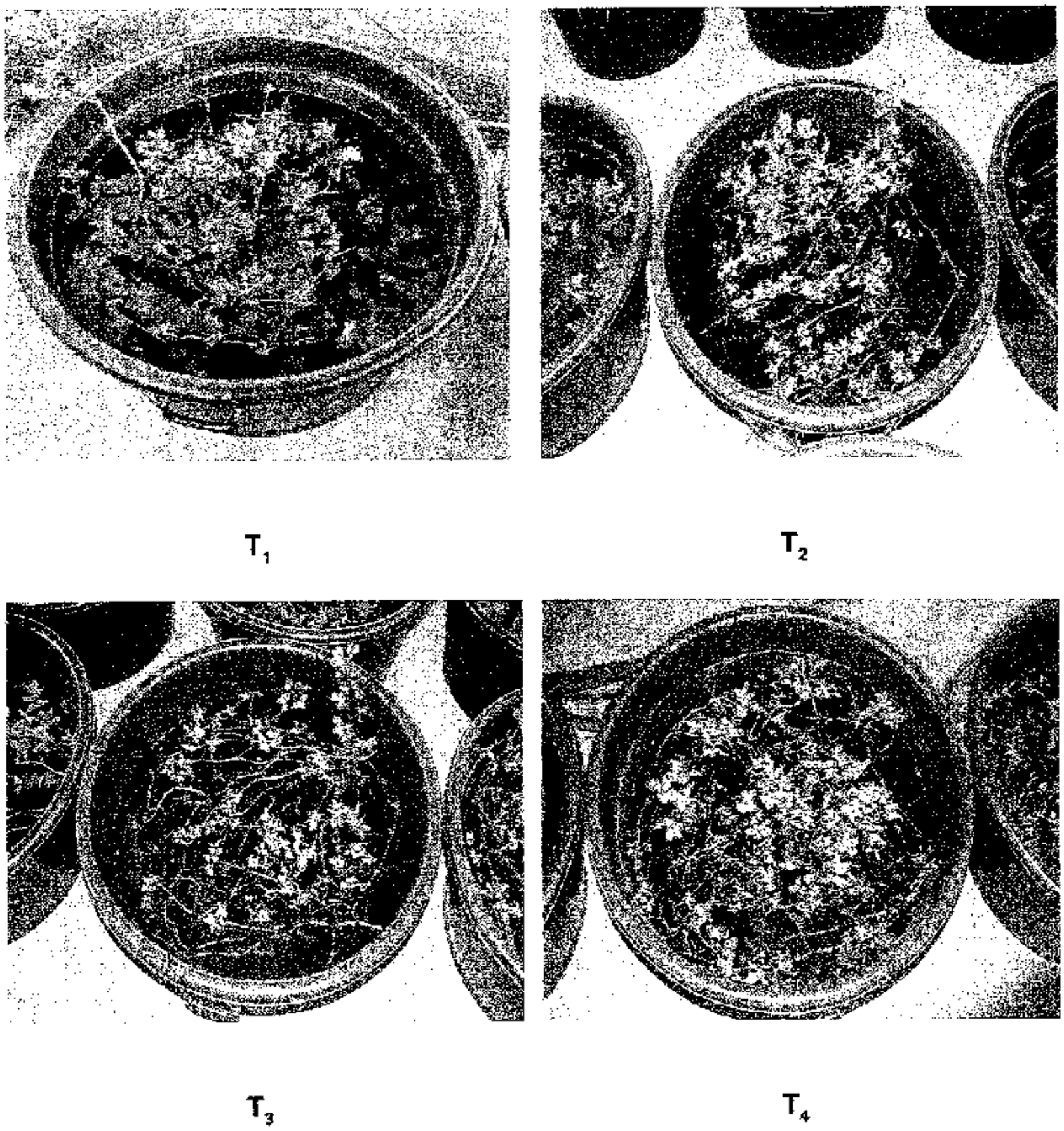
ภาพที่ 4.22 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 10 วัน

หมายเหตุ : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.23 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 20 วัน

หมายเหตุ : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.24 ชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 30 วัน

หมายเหตุ : ระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉด : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

4.3 ปริมาณโลหะหนัก

4.3.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Lead : Pb) ปรอท (Mercury : Hg) และแคดเมียม (Cadmium : Cd) ซึ่งจะทำการตรวจวิเคราะห์ก่อนและหลังการทดลอง แต่มีเงื่อนไขว่า ถ้าก่อนการทดลองตรวจไม่พบ หรือพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง แต่อัตราการปนเปื้อนไม่เกินที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักหลังการทดลองอีก

ตารางที่ 4.7 มาตรฐานความปลอดภัยของการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร)
ตะกั่ว	0.100
ปรอท	0.0001
แคดเมียม	0.010

แหล่งที่มา : USEPA, 1977 อ้างถึงใน สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 22.

อย่างไรก็ตามผลจากการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด เพราะฉะนั้น หลังการทดลองจึงไม่ทำการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในน้ำทิ้งและผักกระเฉดอีก

4.3.1.1 ตะกั่ว (Lead : Pb)

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.100 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.25 ซึ่งอัตราการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความปลอดภัยทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานความปลอดภัยของ U.S. Environmental Protection Agency กำหนด (USEPA, 1977 อ้างถึงใน สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 22) คือ ให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วในบ่อ

เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เกิน 0.100 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สมลักษณ์ นงนุช (2543: 37) เกี่ยวกับความทนทานต่อตะกั่วในสัตว์น้ำ พบว่า สามารถทนทาน (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ต่อการปนเปื้อนของตะกั่วที่เข้มข้นประมาณ 1.00 – 40.0 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดสัตว์น้ำ

4.3.1.2 ปรอท (Mercury : Hg)

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของปรอทมีค่าต่ำมากไม่สามารถตรวจวัดได้ (น้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.25 โดย U.S. Environmental Protection Agency กำหนดค่ามาตรฐานความปลอดภัยให้มีการปนเปื้อนของปรอทในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ไม่เกิน 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร (USEPA, 1977 อ้างถึงใน สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 22) ซึ่งโดยปกติแล้วสัตว์น้ำจะมีความทนทานต่อการปนเปื้อนของปรอท (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ประมาณ 10.0 – 40.0 มิลลิกรัม/ลิตร (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 52)

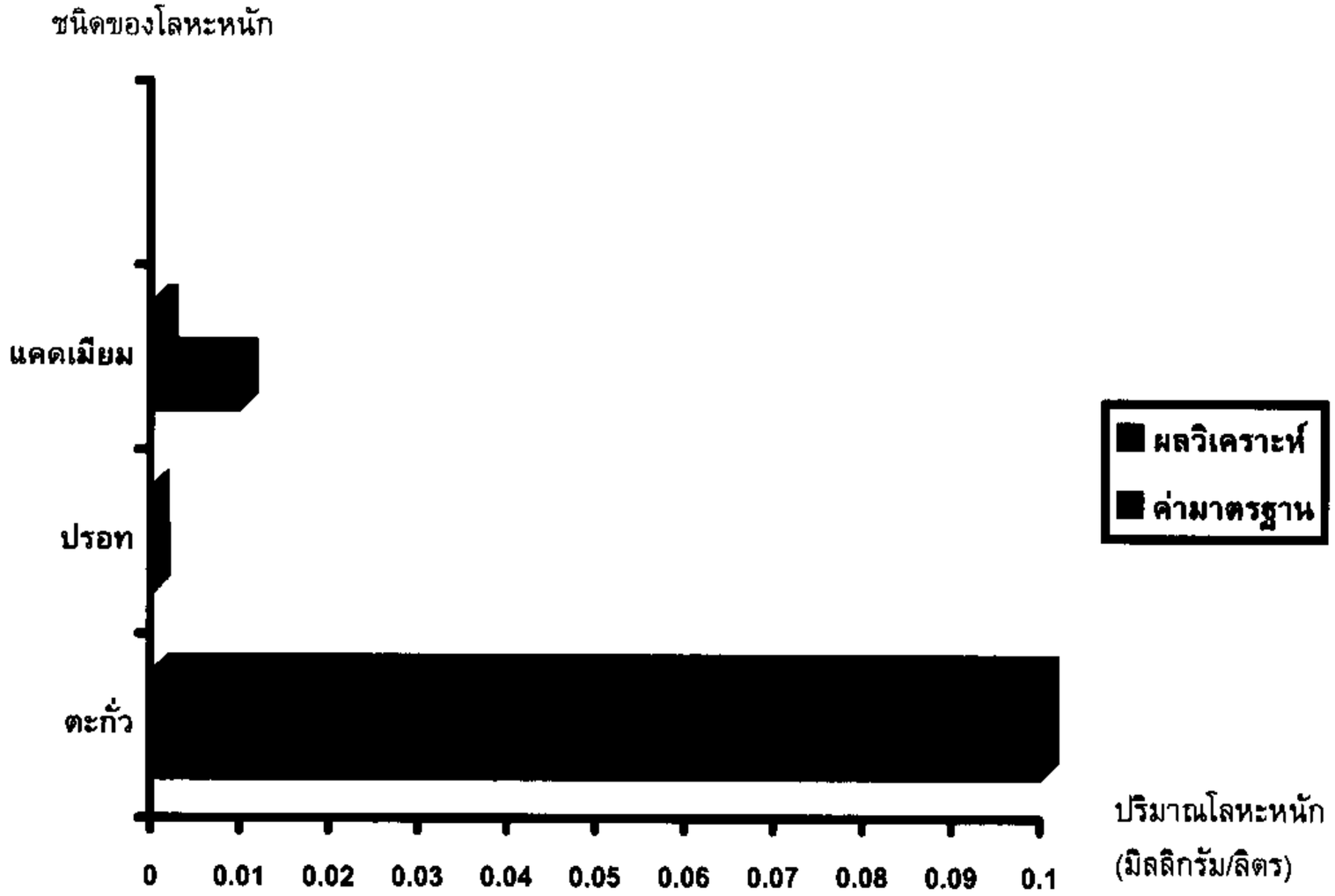
4.3.1.3 แคดเมียม (Cadmium : Cd)

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.25 ซึ่งอัตราการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความปลอดภัยทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานความปลอดภัยของ U.S. Environmental Protection Agency กำหนด (USEPA, 1977 อ้างถึงใน สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 22) คือ ให้มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เกิน 0.010 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สมลักษณ์ นงนุช (2543: 46) ที่พบว่า สัตว์น้ำสามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำ (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ได้ประมาณ 0.080 – 0.420 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร)
ตะกั่ว	0.100
ปรอท	Tr
แคดเมียม	0.001

หมายเหตุ : Tr = Trace คือ มีปริมาณน้อยมากไม่สามารถวัดได้



ภาพที่ 4.25 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

4.3.2 ปริมาณโลหะหนักในผักกระเฉด

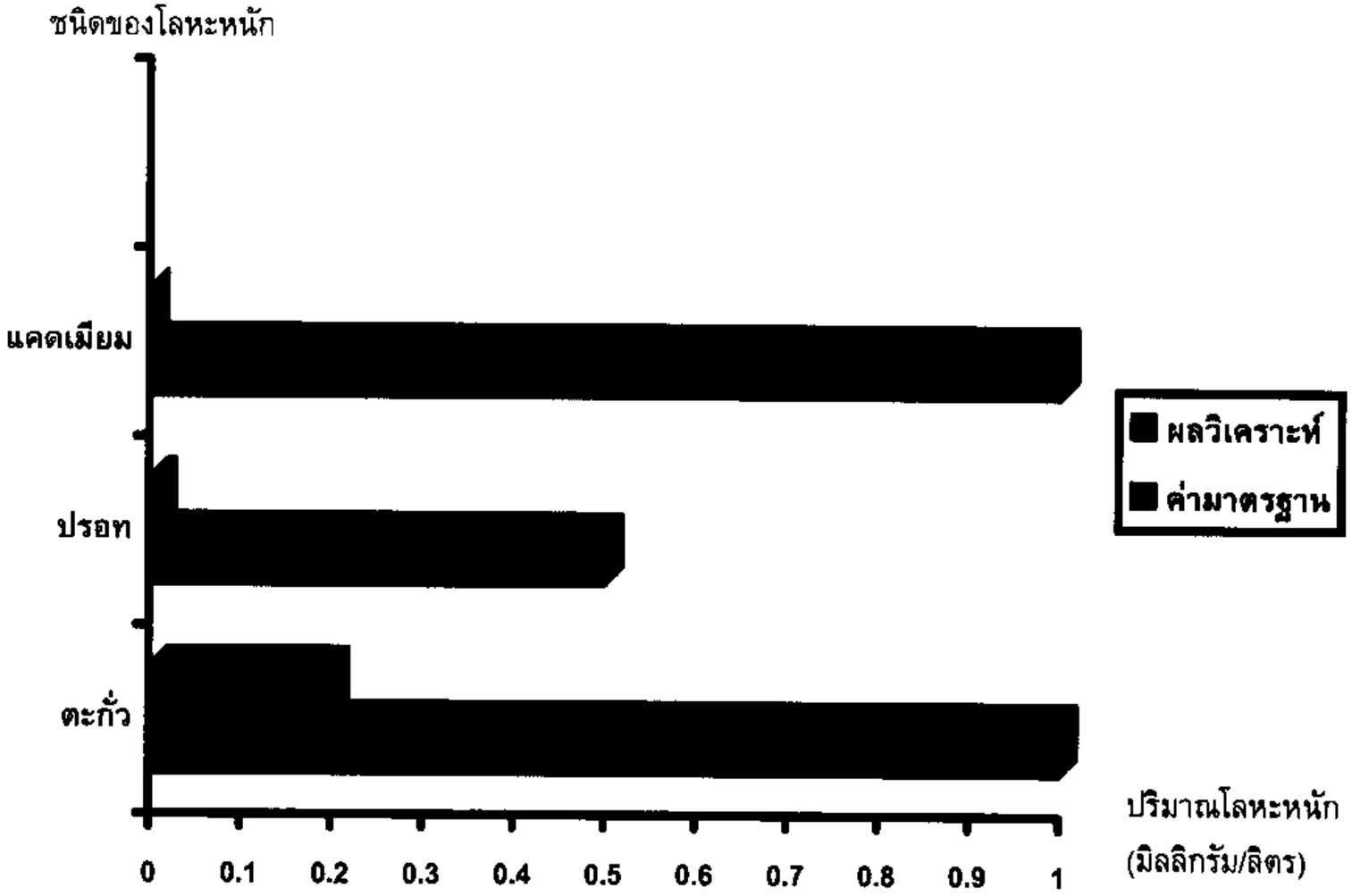
การศึกษาปริมาณโลหะหนักในผักกระเฉด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Lead : Pb) ปรอท (Mercury : Hg) และแคดเมียม (Cadmium : Cd) โดยได้แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.26

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในผักกระเฉด พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีดังนี้ ตะกั่วมีปริมาณการปนเปื้อนเท่ากับ 0.200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนปรอทมีค่าเท่ากับ 0.010 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแคดเมียมมีปริมาณน้อยมากไม่สามารถวัดได้ ตามลำดับ ซึ่งตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2529 กำหนดว่า มาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหาร มีดังนี้ ตะกั่วปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.100 - 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนปรอทไม่เกิน 0.500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแคดเมียมไม่เกิน 0.100 - 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กองอาชีวอนามัย, 2529: 1) จะเห็นได้ว่า ผักกระเฉดนั้นมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกระเฉด

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
ตะกั่ว	0.200
ปรอท	0.010
แคดเมียม	Tr

หมายเหตุ : Tr = Trace คือ มีปริมาณน้อยมากไม่สามารถวัดได้



ภาพที่ 4.26 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกระเฉด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด ในอัตราชีวมวลของผักกระเฉด 0 (T_0), 0.2 (T_1), 0.4 (T_2), 0.6 (T_3), และ 0.8 (T_4) กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่อัตราชีวมวลของผักกระเฉดแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 ไนเตรท ก่อนทำการทดลองปริมาณของไนเตรทซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.030 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งไม่ได้มีการกำหนดค่าของไนเตรทไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของไนเตรทในทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.011 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 2.72 เท่า หรือร้อยละ 63.3

1.2 แอมโมเนีย ก่อนทำการทดลองปริมาณของแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 9.20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียในทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแอมโมเนียหลังทำการทดลองแล้วก็ยังเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของแอมโมเนีย คือ 1.10 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 3.06 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 3.01 เท่า หรือร้อยละ 66.7

1.3 บีโอดี ก่อนทำการทดลองปริมาณของบีโอดีมีค่าเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของบีโอดี คือ 10 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณบีโอดี

ในทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของบีโอดีเหลือตกค้างเท่ากับ 3.77 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 5.31 เท่า หรือร้อยละ 81.2

1.4 ตะกอนแขวนลอย ก่อนทำการทดลองปริมาณของตะกอนแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 86.7 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของตะกอนแขวนลอย คือ 50 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในทุกระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของตะกอนแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 6.23 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มของปริมาณตะกอนแขวนลอยลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 13.9 เท่า หรือร้อยละ 92.8

1.5 ฟอสฟอรัสรวม ก่อนทำการทดลองปริมาณของฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุด คือ 0.400 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในทกระดับชีวมวลของผักกระเฉดมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 – 0.4 กิโลกรัมมีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมหลังทำการทดลองแล้วเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ส่วนที่ระดับชีวมวล 0.6 และ 0.8 กิโลกรัมนั้น ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมหลังทำการทดลองแล้วมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.338 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 3.70 เท่า หรือร้อยละ 73.0

1.6 ความเป็นกรด – ด่าง ก่อนทำการทดลองความเป็นกรด – ด่าง มีค่าเท่ากับ 8.00 โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของความเป็นกรด – ด่าง คือ 6.5 – 9.0) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในทุกระดับชีวมวลจะมีค่าใกล้เคียงกัน

1.7 ความเค็ม ค่าความเค็มที่วัดได้ทั้งก่อนและหลังทำการทดลองในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น มีค่าเท่ากับ 0 ppt ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

2. คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ไนเตรท ก่อนทำการทดลองปริมาณของไนเตรทซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.030 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งไม่ได้มีการกำหนดค่าของ

ไนเตรทไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลา 30 วัน มีปริมาณของไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 2.14 เท่า หรือร้อยละ 53.3

2.2 แอมโมเนีย ก่อนทำการทดลองปริมาณของแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 9.20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของแอมโมเนีย คือ 1.10 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 2.71 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 3.39 เท่า หรือร้อยละ 70.5

2.3 บีโอดี ก่อนทำการทดลองปริมาณของบีโอดีมีค่าเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของบีโอดี คือ 10 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลา 30 วัน มีปริมาณของบีโอดีเหลือตกค้างเท่ากับ 3.32 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 6.02 เท่า หรือร้อยละ 83.4

2.4 ตะกอนแขวนลอย ก่อนทำการทดลองปริมาณของตะกอนแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 86.7 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของตะกอนแขวนลอย คือ 50 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลา 30 วัน มีปริมาณของตะกอนแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 2.14 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มของปริมาณตะกอนแขวนลอยลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 40.5 เท่า หรือร้อยละ 97.5

2.5 ฟอสฟอรัสรวม ก่อนทำการทดลองปริมาณของฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุด คือ 0.400 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในทุกระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งมีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมหลังทำการ

ทดลองแล้วเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.408 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 3.06 เท่า หรือร้อยละ 67.4

2.6 ความเป็นกรด – ด่าง ก่อนทำการทดลองความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.00 โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดสูงสุดของความเป็นกรด – ด่าง คือ 6.5 – 9.0) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในทุกระยะเวลาในการบำบัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน

2.7 ความเค็ม ค่าความเค็มที่วัดได้ทั้งก่อนและหลังทำการทดลองในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น มีค่าเท่ากับ 0 ppt ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3. ระดับชีวมวลของผักกระเฉดที่เพิ่มขึ้นจาก 0.2 – 0.8 กิโลกรัม และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่นานขึ้นตั้งแต่ 10 – 30 วันจะมีผลทำให้คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำดีขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด พบว่า ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าลดลงมากที่สุด ดังต่อไปนี้

3.1 ปริมาณของไนเตรทมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 7.50 เท่า หรือร้อยละ 86.7 และปริมาณของไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.2 ปริมาณของแอมโมเนียมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 13.1 เท่า หรือร้อยละ 92.3 และปริมาณของแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 0.704 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.3 ปริมาณของบีโอดีมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนทำการทดลอง 15.4 เท่า หรือร้อยละ 93.5 และปริมาณของแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของบีโอดีเหลือตกค้างเท่ากับ 1.30 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.4 ปริมาณของตะกอนแขวนลอยมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 72.3 เท่า หรือร้อยละ 98.6 และปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของตะกอนแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 1.20 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.5 ปริมาณของฟอสฟอรัสรวมมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนทำการทดลอง 16.7 เท่า หรือร้อยละ 94.0 และปริมาณของฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8

กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.075 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.6 ความเป็นกรด - ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.7 ความเค็มที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าเท่ากับ 0 ppt ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

4. ที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.2 กิโลกรัม เป็นระดับชีวมวลที่มีความหนาแน่นเหมาะสมที่สุด คือ มีเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในน้ำปริมาตร 50 ลิตร ส่วนที่ระดับชีวมวลอื่น ๆ ไม่มีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นและมีชีวมวลที่ลดลง

5. ระดับชีวมวลเริ่มต้นและระยะเวลาที่นานขึ้น ไม่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด กล่าวคือ แม้ว่าระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดจะมากขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกนานขึ้น แต่การเจริญเติบโตของผักกระเฉดก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะวิธีการปลูกที่ใช้วิธีการลอยบนผิวน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วิธีปักดำในแปลง และการทดลองครั้งนี้ไม่ได้มีการใส่แหนลงไปในภาชนะทดลอง ซึ่งโดยปกติพืชทั้งสองชนิดต้องอาศัยซึ่งกันและกัน

6. ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งไม่มีผลต่อสัตว์น้ำ และสิ่งแวดล้อม

7. ปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักกระเฉดอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้

เพราะฉะนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำผักกระเฉดมาใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และผักกระเฉดที่นำมาใช้ในการบำบัดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดโดยธรรมชาติ ทำได้ง่าย ราคาถูก และปลอดภัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลอง พบว่า มีข้อเสนอแนะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ คือ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักกระเฉด และควรมีการแยกส่วนต่าง ๆ มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่สะสม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการที่จะนำมาใช้ประโยชน์

2. ควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้พืชชนิดอื่น ๆ เช่น ผักบุ้ง ธูปฤาษี และต้นโสน เป็นต้น

3. ควรจะมีการศึกษาถึงโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและผักกระเฉด นอกเหนือจากตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม เพื่อจะได้ทราบถึงอัตราการใช้ประโยชน์ที่ปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนัก

4. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดี และควรจะมีการใส่แหนให้ลอยอยู่ผิวน้ำด้วย เพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของผักกระเฉด

5. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดของผักกระเฉดที่จะนำไปใช้บำบัดน้ำทิ้งในคลองน้ำทิ้งภายในบริเวณฟาร์มกุ้งในพื้นที่จริง

6. ควรมีการศึกษาว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยผักกระเฉดแล้ว เมื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงกุ้งอีกจะเกิดปัญหาเรื่องโรคหรือไม่ และสามารถนำมาบำบัดแล้วนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้นานเพียงใด

7. ควรจะมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของส่วนที่อยู่ในน้ำกับส่วนที่อยู่พ้นน้ำของพืช ว่ามีส่วนสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งหรือไม่

8. ควรจะมีการศึกษาว่านมของผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งและสามารถดูดซับโลหะหนักได้หรือไม่

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure)

การวิเคราะห์หาแอมโมเนีย

โดยวิธี Koroleff' S Indophenol Blue Method

ตามหลักการของวิธีนี้ แอมโมเนียในสารละลายที่เป็นด่างจะทำปฏิกิริยากับโซเดียม ไฮโปคลอไรท์ และฟีนอล โดยมีโซเดียมไนโตรปรัสไซด์เป็นตัวเร่งปฏิริยาได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน (Indophenol Blue)

วิธีการนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นในรูป $Mg(OH)_2$ ในน้ำตัวอย่าง ตะกอนจะตกเร็วมาก และทิ้งส่วนชั้นของของเหลวใสไว้ เนื่องจากในขณะที่มีการตกตะกอน Hydroxide จะดูดซับพวก Particulate Matter และ Humic Substances ทำให้น้ำใส วิธีนี้จึงใช้ได้ดีในการวิเคราะห์แอมโมเนียในเขตน้ำกร่อยที่มีตะกอนมาก ๆ หรือในน้ำจืดที่ขุ่นหรือมีสีเนื่องจากสารอินทรีย์ วิธีการนี้ไม่มี Error จากการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

1. สารเคมี

1.1 Ammonia – Free Distilled Water = Deionized - Distilled Water

1.2 Sodium Hydroxide 0.5 N

สารละลาย Sodium Hydroxide 20 กรัม ใน Ammonia – Free Distilled Water 1 ลิตร เก็บในขวดพลาสติก

1.3 Magnessium Sulphate Solution

ละลาย 50 กรัม $MgSO_4.7H_2O$ (Heptahydrate) ในน้ำกลั่นประมาณ 100 ml เติม 0.5 N NaoH จนกระทั่งตะกอนเริ่มเกิด แล้วใส่ลูกปัดกันเดือดแล้วต้มไล่แอมโมเนีย ต้มจนปริมาณเหลือน้อยกว่า 100 ml ทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาณให้เท่ากับ 100 ml เก็บในขวดแก้วปิดฝา

1.4 Phenol Reagent

ละลาย 38 กรัม Phenol C_6H_5OH และ 0.400 กรัม Dissodium Nitroprusside Dihydrate $Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$ ในน้ำกลั่นที่ไม่มีแอมโมเนีย Dilute ให้เป็น 1 ลิตร Phenol อาจจะมีสีจาง ๆ เก็บในตู้เย็นโดยใส่ขวดแก้วสีชา มีฝาปิด น้ำยาจะคงทนอยู่ได้หลายเดือน

1.5 Sodium Hypochlorite Stock Solution

อาจจะใช้น้ำยาซักฟอกพวกคลอรอกซ์ ซึ่งจะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 5

Available Chlorine Content สามารถวัดโดยละลายประมาณ 0.5 กรัม โพแทสเซียมหรือโซเดียมไอโอไดด์ใน 50 ml ของ 1 N H_2SO_4 เติม Hypochlorite Solution 1 ml แล้ว Titrate Iodine ที่ถูกปล่อยออกมาโดย 0.1 N Thiosulphate

1 ml Thiosulphate = 3.54 mg Active Chlorine

1.6 Hypochlorite Reagent

Dilute Stock Solution ให้ได้ร้อยละ 0.15 หรือ 150 mg Available Chlorine/ 100 ml โดยใช้ 0.5 N NaOH เก็บในขวดแก้วพลาสติก น้ำยาเก็บไว้ได้หลายอาทิตย์ในตู้เย็น

1.7 Ammonia Stock Solution

อบ NH_4Cl ให้แห้งที่ 100 องศาเซลเซียส ชั่ง 0.3819 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ไม่มีแอมโมเนีย 1,000 ml สารละลายนี้ 1 ml = 0.1 mg NH_3-N เก็บในขวดแก้วในตู้เย็นใช้ได้หลายเดือน

2. การวิเคราะห์

ตวงตัวอย่างน้ำ 50 ml ใส่ในขวดหรือ Flask ที่มีฝาปิด แล้วเติม Magnesium Sulphate ในอัตราส่วนต่อไปนี้ 1 ml สำหรับน้ำจืด, 0.8 ml สำหรับน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 5 – 15 ppt, 0.5 ml สำหรับน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 5 – 25 ppt สำหรับน้ำที่มีความเค็มสูงกว่านี้ไม่ต้องเติม Magnesium Sulphate

หลังจากนั้นเติม Phenol Reagent 1.5 ml ตามด้วย Hyprochlorite Reagent 1.5 ml ผสมแล้วปิดฝาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมงหรือข้ามคืนยิ่งดี แล้ววัดด้วย Spectrophotometer ที่ Wavelength 630 nm เวลาวัดให้เทเฉพาะของเหลวใส ๆ ชั้นบน

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure)
การวิเคราะห์หาไนเตรท (NO_3)
โดยวิธี Cadmium Reduction Method

วิธีการวิเคราะห์โดยทั่วไปที่ใช้หาไนเตรท คือ การรีดิวซ์ไนเตรทในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นด่างให้เป็นไนไตรท์ ด้วยการผ่านตัวอย่างไปในคอลัมน์ที่มีแคดเมียมซึ่งเคลือบด้วยทองแดงอยู่ จากนั้นวัดไนไตรท์ที่ได้ด้วยวิธี Diazotization ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะรวมทั้งไนเตรทและไนไตรท์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง ดังนั้น การวิเคราะห์หาไนเตรทจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาไนไตรท์ด้วยวิธี Diazotization ด้วย เพื่อนำค่าไนไตรท์ที่ได้มาหักลบกับค่าที่ได้จากวิธีนี้ จึงจะได้เป็นค่าไนเตรทที่แท้จริง

1. การเก็บและการรักษาน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์ไนเตรท ควรวิเคราะห์ทันทีเมื่อกลับมาถึงห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ธาตุอาหารอื่น ๆ หากวิเคราะห์ไม่ทันควรกรองตัวอย่างด้วยแผ่นกรอง GF/C หรือ แผ่นกรอง Millipore แล้วแช่เย็นอุณหภูมิ 4 - 5 องศาเซลเซียส และเก็บในที่มืด ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นาน 12 ชั่วโมง แต่หากต้องการเก็บตัวอย่างน้ำไว้นานหลายสัปดาห์ควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

2. น้ำยาเคมี และวิธีเตรียม

2.1 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 125 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

2.2 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง

ดูดสารละลายในข้อ 2.1 มา 50 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 2,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

2.3 สารละลายซัลฟานิลาไมด์

ใช้สารละลายเดียวกับไนไตรท์

2.4 สารละลายแนฟทิล เอธิลีนไดอะมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (NED)

ใช้สารละลายเดียวกับไนไตรท์

2.5 น้ำทะเลเทียม

เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย

2.6 สารละลาย $CuSO_4$ ร้อยละ 2 (W/V)

ละลาย $CuSO_4.5H_2O$ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

2.7 สารละลายมาตรฐานของไนเตรท

ละลายโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่อบแห้ง 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 1 - 1.5 ชั่วโมง 1.02 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้ได้เป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีความเข้มข้น 140 mg-N/l สารละลายที่ได้เรียกว่า Stock Standard Solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นไว้ สารละลายนี้เสถียรตลอดไป

3. การเตรียมคอลัมน์

3.1 ชั่งโลหะแคดเมียมมาประมาณ 50 กรัม ผสมกับสารละลาย $CuSO_4$ ร้อยละ 2 (W/V) 250 มิลลิลิตร กวนจนกระทั่งสีฟ้าของสารละลายจางลง และเริ่มมีตะกอนของทองแดงเกิดขึ้นในสารละลาย จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง

3.2 อุดด้านในของคอลัมน์ด้วยใยแก้วหรือขดลวดทองแดง แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางให้เต็มคอลัมน์ ทำการบรรจุผงแคดเมียมลงในคอลัมน์ (ระวังอย่าให้แคดเมียมสัมผัสกับอากาศ) จากนั้นก็ล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง 3 - 4 ครั้ง

3.3 เติมสารละลายมาตรฐานของไนเตรท 1.4 mg-N/l 100 มิลลิลิตร (เติมสารละลายแอมโมเนียคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตรแล้ว) ปล่อยให้ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 8 - 12 มิลลิลิตร/นาที เพื่อ Activated คอลัมน์ จากนั้นล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางอีก 3 - 4 ครั้ง

4. ขั้นตอนวิเคราะห์

4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

4.1.1 ใช้ไปเปตดูดสารละลายจาก Stock Standard Solution มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 1.4 mg-N/l สารละลายนี้เรียกว่า Intermediate Standard Solution

4.1.2 ดูดสารละลาย Intermediate Standard Solution 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำทะเลเทียมให้ได้ 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.014, 0.070, 0.140, และ 0.280 mg-N/l ตามลำดับ สารละลายนี้เรียกว่า Working Standard Solution สำหรับแบลงค์ใช้น้ำทะเลเทียม (ใช้น้ำกลั่นเตรียมสารละลายมาตรฐานของไนเตรทได้)

4.1.3 เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร ลงใน Working Standard Solution และแบลงค์ที่จะนำมาผ่านคอลัมน์ แล้วเขย่าให้เข้ากัน

4.1.4 นำเอา Working Standard Solution และแบลงค์ในข้อ 4.1.3 ไปผ่านคอลัมน์โดยปรับให้สารละลายในคอลัมน์ไหลด้วยอัตรา 8 - 12 มิลลิลิตร/นาที จากนั้นเติมสารละลายที่ได้ประมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร ปล่อยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม แล้วเติมสารละลายที่เหลือลงในคอลัมน์ ปล่อยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่เปิดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนสารละลายที่เหลือปล่อยทิ้งไป

4.1.5 เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร ทันที แล้วเขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จากนั้นเติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

4.1.6 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี Linear Regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.2.1 ตวงน้ำตัวอย่างใส่ฟลาสก์รูปชมพู่ 100 มิลลิลิตร

4.2.2 เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4.2.3 เติมสารละลายในข้อ 4.2.2 ประมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 8 - 12 นาที ต่อ 100 มิลลิลิตร ปล่อยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม

4.2.4 เติมสารละลายในข้อ 4.2.2 ที่เหลือลงในคอลัมน์ ปล่อยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วเก็บสารละลายที่เปิดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4.2.5 เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร ทันที เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์

4.2.6 เติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

4.2.7 ความเข้มข้นของไนเตรท

= ความเข้มข้นตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ - ค่าไนไตรท์ของตัวอย่างนั้น

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure)

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

โดยวิธี 5 Days Incubation และ Azide Modification

ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ Biochemical Oxygen Demand (BOD) คือ ค่าบีโอดีบ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ เมื่อน้ำนั้นถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การหาค่า BOD_5 จะเป็นการหาออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ไปภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 5 วัน

1. ขอบข่ายการทดสอบ

วิธีนี้ใช้ได้กับการทดสอบตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยถ้าจำเป็นจักต้องมีการทำ (Seeding) และ (Pretreatment) ที่เหมาะสม

2. ค่าที่รายงานผล (Detection Limits)

Minimum Detection Limit เท่ากับ 2 mg/l

3. รายละเอียดการประกันคุณภาพ (Quality Assurance Criteria)

3.1 QA Limit ของ "ร้อยละผลต่าง (Relative Percent Difference)" สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ (Duplicate Analysis) เท่ากับร้อยละ 15

3.2 ค่า BOD ของตัวอย่าง QC (Glucose - Glutamic Acid) ควรมีค่า 198 ± 30.5 mg/l

3.3 ผลต่างของปริมาณ DO_0 และ DO_5 ต้องมีค่าอย่างน้อย 2 mg/l

3.4 ปริมาณ DO_5 ต้องมีค่าอย่างน้อย 1 mg/l

3.5 ผลต่างของปริมาณ DO_0 และ DO_5 สำหรับ Blank ของน้ำเจือจางต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 mg/l สำหรับกรณีที่เติมน้ำเชื้อ ความแตกต่างของ DO สำหรับ Blank ควรจะอยู่ระหว่าง 0.6 และ 1.0 mg/l

4. หลักการวิธีทดสอบ

สำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ถ้าจำเป็นให้ทำการเจือจางในสัดส่วนที่เหมาะสมและให้มีปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพียงพอ และอาจต้องมีการเติมอากาศเพื่อปรับปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำในน้ำตัวอย่าง แล้วนำไปหาปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 $^{\circ}C$ ในที่มืด เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างมาหา

ปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่ ค่าของ BOD หาได้จากปริมาณของออกซิเจนที่ลดลง ในการทดสอบหาออกซิเจนละลายน้ำจะใช้วิธี Winkler (Azide Modification) โดยเติมสารละลาย Manganese Sulfate แล้วตามด้วยสารละลาย Alkali – Iodide - Azide ออกซิเจนที่ละลายน้ำจะไปทำปฏิกริยากับ Manganese ได้ตะกอนสีนดงของ Manganese Dioxide และภายใต้สภาวะที่เป็นกรด Iodide จะทำปฏิกริยากับ Manganese Dioxide ได้เป็น Iodine จากนั้นไดเตรต (Titrate) หา Iodine ด้วย สารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์หาค่า BOD ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ภายใน 2 ชั่วโมง ให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง ตัวอย่างที่แช่เย็นไว้ให้ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างให้ได้ประมาณ 20 $^{\circ}$C ก่อนนำมาวิเคราะห์

6. ข้อควรระวัง

หลังจากที่ล้างขวด BOD ให้สะอาดแล้ว ก่อนนำมาใช้ให้ Rinse ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือด เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ตกค้าง และคว่ำให้เย็นและแห้งก่อนนำมาใช้

7. เครื่องมือและอุปกรณ์

7.1 ขวด BOD ขนาด 250 - 300 ml พร้อมจุกปิดสนิทแบบ Ground Joint ส่วนใหญ่ใช้ขวดที่ทำพิเศษเพื่อการหาออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉพาะ

7.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ หรือ Water Bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 $^{\circ}$C และต้องมืดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในตัวอย่าง

7.3 อุปกรณ์สำหรับเติมอากาศในน้ำ

7.4 ปิเปต (Pipets)

7.5 กระบอกตวง (Cylinder)

7.6 อุปกรณ์สำหรับการไตเตรต (Titrate)

7.7 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flasks)

8. สารเคมี

8.1 สารละลาย Phosphate Buffer

นำสาร KH_2PO_4 มา 8.5 g สาร K_2HPO_4 มา 21.75 g สาร $Na_2HPO_4.7H_2O$ มา 33.4 g และสาร NH_4Cl มา 1.7 g ละลายสารทั้งหมดในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ค่า pH ของสารละลายนี้ควรจะประมาณ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ

8.2 สารละลาย Magnesium Sulfate

นำสาร $MgSO_4.7H_2O$ มา 22.5 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.3 สารละลาย Calcium Chloride

นำสาร $CaCl_2$ มา 27.5 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.4 สารละลาย Ferric Chloride

นำสาร $FeCl_3.6H_2O$ มา 0.25 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l

8.5 สารละลายกรดและด่าง 1 N เพื่อใช้ในการปรับค่า pH ของตัวอย่างให้เป็นกลาง

8.6 สารละลาย Sodium Sulfite

นำสาร Na_2SO_3 มา 1.575 g ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml สารละลายนี้ไม่อยู่ตัว ต้องเตรียมในวันที่จะใช้

8.7 สารป้องกันการเกิด Nitrification : 2Chloro – 6 - (Trichoromethyl) Pyridine

8.8 สารละลาย Glucose - Glutamic Acid

อบ Glucose (Reagent Grade) และ Glutamic Acid (Reagent Grade) ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำ Glucose มา 150 mg และ Glutamic Acid มา 150 mg มาละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 1 l สารละลายนี้เก็บไว้ในตู้เย็นได้ 3 สัปดาห์

8.9 สารละลาย Manganous Sulfate (DO#1)

นำสาร $MnSO_4.4H_2O$ มา 480 g หรือสาร $MnSO_4.2H_2O$ มา 400 g หรือสาร $MnSO_4.H_2O$ มา 364 g ละลายในน้ำกลั่น กรอง แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l สารละลายที่เตรียมได้ไม่ควรให้สีกับน้ำแป้ง เมื่อนำไปเติมลงไปในสารละลาย Potassium Iodide (KI) ที่มีสภาพเป็นกรด

8.10 สารละลาย Alkali – Iodide - Azide (DO#2)

นำสาร NaOH มา 500 g (หรือสาร KOH 700 g) และสาร NaI มา 135 g (หรือสาร KI 150 g) ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l หลังจากนั้นนำสาร Nan_3 มา 10 g ละลายในน้ำกลั่น 40 ml แล้วนำไปเติมในสารละลายที่เตรียมขึ้น

8.11 กรด H_2SO_4 เข้มข้น (DO#3)

8.12 น้ำแป้ง

ละลาย Soluble Starch 2 g และ Salicylic Acid 0.2 gลงในน้ำกลั่นปริมาตร 100 ml ที่ทำให้ร้อน

8.13 สารละลายมาตรฐาน Potassium Bi - Iodate (0.025 N)

ละลาย $KH(IO_3)_2$ 812.4 mg ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 l

8.14 สารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate (0.025 N)

นำสาร $Na_2S_2O_3.5H_2O$ มา 6.205 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วเติม NaOH 6N จำนวน 1.5 ml หรือสาร NaOH จำนวน 0.4 g แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 l ให้ทำการ Standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลาย Bi - Iodate ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

9. ขั้นตอนการวิเคราะห์

9.1 วิธีการหาโดยตรง

ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า BOD ไม่เกิน 7 mg/l ไม่จำเป็นต้องเจือจางตัวอย่าง ส่วนใหญ่จะได้แก่ น้ำจากแม่น้ำลำคลอง ให้วิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอนต่อไปนี้

9.1.1 ปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้ได้ประมาณ 20 $^{\circ}C$

9.1.2 เติมอากาศให้ตัวอย่างมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำใกล้จุดอิ่มตัว

9.1.3 เติมตัวอย่างในขวด BOD จำนวน 2 ขวด

9.1.4 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในขวดที่ 1 ทันที

9.1.5 นำขวดที่ 2 เข้าเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 5 วัน

9.1.6 หลังจาก 5 วัน วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหลืออยู่ในขวดที่ 2

9.2 วิธีการที่ต้องเจือจางตัวอย่าง

วิธีนี้ใช้กับตัวอย่างที่มีความสกปรกสูง โดยมีค่า BOD มากกว่า 7 mg/l ซึ่งถ้าไม่เจือจางตัวอย่าง แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนจนหมดก่อนเวลา 5 วัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงไม่สามารถหาค่า BOD ได้

9.2.1 การเตรียมน้ำเจือจาง

9.2.1.1 ตวงน้ำกลั่นตามปริมาตรที่ต้องการใช้

9.2.1.2 เติมสารละลายต่อไปนี้ Phosphate Buffer, Magnesium Sulfate, Calcium Chloride และ Ferric Chloride อย่างละ 1 ml ต่อ น้ำกลั่น 1l

9.2.1.3 เติมอากาศอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนที่ละลายน้ำ

9.2.1.4 ปรับอุณหภูมิให้ได้ 20 $^{\circ}C$

9.2.1.5 เติมน้ำเชื้อ (Seed) ถ้าจำเป็น โดยปกติแล้วถ้าเป็นน้ำเชื้อจากน้ำเสียชุมชนจะใช้น้ำเชื้อ 2 ml ต่อน้ำเจือจาง 1 l

9.2.2 การเติมน้ำเชื้อ (Seeding)

ตัวอย่างจำเป็นต้องมีจุลินทรีย์ ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ในปริมาณที่เพียงพอ น้ำเสียชุมชน น้ำที่ผ่านการบำบัดแบบชีวภาพและยังไม่มีการฆ่าเชื้อหรือเติมคลอรีน และน้ำผิวดินจะมีปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพียงพอ แต่ตัวอย่างบางประเภทมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ เช่น น้ำเสียจากโรงงานบางประเภท น้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อ น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงหรือน้ำเสียที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูง เป็นต้น สำหรับน้ำเสียประเภทเหล่านี้จำเป็นต้องมีการเติมน้ำเชื้อลงในน้ำเจือจางด้วย น้ำเชื้อที่ใช้สามารถใช้น้ำเสียชุมชน โดยนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่อย่าให้นานเกิน 36 ชั่วโมง แล้วนำส่วนที่ใสมาใช้เป็นน้ำเชื้อ ซึ่งการควบคุมน้ำเชื้อ (Seed Control) คือ การวิเคราะห์ค่า BOD ของน้ำเชื้อที่ใช้เติมลงในน้ำเจือจาง ค่าที่ได้จะนำไปใช้คำนวณภายหลัง

9.2.3 การจัดการขั้นต้นกับตัวอย่าง

9.2.3.1 ตัวอย่างที่มีความเป็นกรด หรือด่างให้ปรับให้เป็นกลางโดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 7.5 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH โดยปริมาณของกรด หรือด่างที่เติมไม่ควรมากกว่าร้อยละ 5 ของปริมาตรตัวอย่าง

9.2.3.2 ตัวอย่างที่มีสารประกอบของคลอรีนตกค้างอยู่ : ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงตัวอย่างที่มีสารคลอรีนตกค้าง โดยเก็บตัวอย่างก่อนที่จะผ่านเข้าขบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ถ้าตัวอย่างผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนแล้ว ตรวจไม่พบสารคลอรีนที่ตกค้างให้เติมน้ำเชื้อในน้ำที่เจือจางด้วย ถ้าพบปริมาณคลอรีนตกค้างให้กำจัดคลอรีนก่อนและเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจางด้วย

9.2.3.3 ตัวอย่างที่มีสารพิษ : น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น จากโรงงานชุบโลหะ จะมีโลหะที่เป็นสารพิษอยู่ ตัวอย่างประเภทนี้จำเป็นต้องได้รับการศึกษาและบำบัดเป็นกรณีพิเศษ

9.2.3.4 ตัวอย่างที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเกินจุดอิ่มตัว : ตัวอย่างที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 9 mg/l ที่อุณหภูมิ 20 ^{o}C ให้ลดปริมาณออกซิเจนลดลงมาจนถึงจุดอิ่มตัว โดยการเติมตัวอย่างไม่ต้องเด็มขวดแล้วเขย่า หรือโดยการเติมอากาศ

9.2.3.5 การป้องกันการเกิด Nitrification : ถ้าต้องการป้องกันความผิดพลาดของค่า BOD จากการเกิด Nitrification ให้เติม 2 – Chloro – 6 - (Trichloro Methyl) Pyridine (TCMP) จำนวน 3 mg ในขวด BOD ขนาด 300 ml ก่อนปิดจุกหรือเติมในน้ำเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 10 mg/l

9.2.4 การทำ Blank

นำน้ำเจือจางมาเทใส่ขวด BOD 6 ขวด นำ 3 ขวดไปวิเคราะห์หา DO ทันที และ 3 ขวดที่เหลือไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ^{o}C เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำไปหา DO

9.2.5 การทำตัวอย่าง QC

9.2.5.1 เลือกตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนมา 1 ตัวอย่าง ใช้เป็นน้ำเชื้อ (Seed) โดยนำมา 10 Ml ใส่ลงไปในกระบอกตวง 1,000 ml

9.2.5.2 เติม สารละลาย Glucose - Glutamic Acid จำนวน 20 ml

9.2.5.3 เติมน้ำเจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 ml

9.2.5.4 กวนสารละลายในกระบอกตวงให้เข้ากันด้วยแท่งกวน

9.2.5.5 ค่อย ๆ เทสารละลายในกระบอกตวง ใส่ขวด BOD 3 ขวด พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

9.2.5.6 ขวด 1 นำไปหา DO ทันที

9.2.5.7 ขวด 2 และ 3 นำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วันแล้วจึงนำไปหา DO

9.2.6 การทำ Duplicate

ให้ทำ Duplicate สำหรับตัวอย่างน้ำที่ใช้ทำ QC โดยเจือจางตัวอย่างให้ได้ 1,000 ml แล้วเทใส่ขวด BOD 3 ขวดนำไปหา DO ทันที 1 ขวด แล้วนำ 2 ขวดที่เหลือไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำไปหาค่า DO

9.2.7 การเจือจางตัวอย่าง

การเจือจางตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเจือจางในกระบอกตวง และการเจือจางโดยตรงในขวด BOD สำหรับการเจือจางโดยตรงในขวด BOD ถ้าใช้ตัวอย่างน้อยกว่า 0.5 ml ให้เจือจางตัวอย่างเบื้องต้นก่อน

9.2.7.1 เติมอากาศให้ตัวอย่างประมาณ 2 นาที

9.2.7.2 กำหนดปริมาณการเจือจางตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่กำหนด 3 ช่วง ให้ครอบคลุมค่า BOD ที่ประเมินไว้ การเจือจางที่ดีควรให้ผลของ DO ที่เวลา 5 วัน มีค่าอย่างน้อย 1 mg/l และปริมาณของ DO ที่ลดลงหลังจากเวลา 5 วัน ควรมีค่าอย่างน้อย 2 mg/l การหาค่า COD ของตัวอย่าง ซึ่งสามารถรู้ผลภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง สามารถช่วยในการเลือกช่วงที่จะเจือจางตัวอย่างได้ โดยส่วนใหญ่ค่า BOD จะมีประมาณร้อยละ 60 ของค่า COD หรืออาจจะประเมินจากประเภทของตัวอย่าง ดังนี้

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เจือจาง น้อยกว่าร้อยละ 1.0

น้ำเสียชุมชน ให้เจือจางร้อยละ 1 ถึง 5

น้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ ให้เจือจางร้อยละ 5 ถึง 25

น้ำแม่น้ำที่เน่าเสีย ให้เจือจางร้อยละ 25 ถึง 100

สำหรับการเลือกช่วงเจือจางนั้น ให้ประมาณค่า BOD ของตัวอย่างก่อน เช่น ประมาณว่าตัวอย่างมีค่า BOD เท่ากับ 500 mg/l จากตารางแนะนำให้เจือจางตัวอย่างร้อยละ 1 สำหรับ BOD ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 200 ถึง 700 mg/l จากนั้นให้เลือกเจือจางตัวอย่างอีก 2 ช่วง ที่มากกว่า

และน้อยกว่าร้อยละ 1 อยู่ 1 ขั้น คือ ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 2.0 ช่วงของ BOD ที่ทำการเจือจางจะเป็น 100 ถึง 1,400 mg/l ซึ่งน่าจะครอบคลุมค่า BOD ของตัวอย่างและสามารถป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการประมาณขั้นต้น

9.2.7.3 เทตัวอย่างในปริมาณที่ต้องการลงในกระบอกตวง 1 l

9.2.7.4 เติมน้ำเจือจางลงไปจนปริมาตรได้ 700 ml

9.2.7.5 กวนตัวอย่างให้เข้ากันดีด้วยแท่งกวน

9.2.7.6 ค่อย ๆ เทตัวอย่างลงในขวด BOD จำนวน 2 ขวด พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ เพราะจะถือว่า DO ของตัวอย่างทั้ง 2 ขวด มีค่าเท่ากัน ปิดจุกหล่อน้ำ ใส่ฝาครอบ

9.2.7.7 นำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ^{o}C 1 ขวด ขวดที่เหลือนำไปวิเคราะห์หาค่า DO ทันที ด้วยวิธี Azide Modification

ในกรณีที่หาค่า DO โดยใช้วิธี Membrane Electrode ให้เตรียมตัวอย่างขวดเดียว และหาค่า DO เริ่มต้นก่อน แล้วจึงปิดฝาอย่าให้มีฟองอากาศในขวดหล่อน้ำ แล้วนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

9.2.8 การหาค่า DO เริ่มต้นและสุดท้าย

การหาค่า DO สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธี Winkler (Azide Modification) และวิธี Membrane Electrode

ขั้นตอนการหา DO โดยวิธี Winkler (Azide Modification)

1. เทน้ำที่หล่อจุกขวดตัวอย่างออก

2. เปิดจุก เติมสารละลาย Manganese Sulfate (DO#1) 1 ml โดยขณะที่เติมให้ปลายปิเป็ด (Pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำ

3. เติมสารละลาย Alkali – Iodide - Azide (DO#2) 1 ml โดยให้ปลายปิเป็ด (Pipet) อยู่ใต้ผิวน้ำขณะเติม

4. ปิดจุกโดยอย่าให้มีฟองอากาศภายในขวด คว่ำขวดไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้สารผสมกัน

5. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส เกินครึ่งหนึ่งของขวด

6. เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น (DO#3) 1 ml โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ คอขวด ปิดจุกคว่ำขวดขึ้นลงหลายครั้งจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

7. ดวงปริมาตร 201 ml นำไปไตเตรต (Titrate) กับสารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate (0.025 N) จนได้สีเหลืองอ่อน

8. เดิมน้ำแป้ง 2 - 3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้มทำการไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Sodium Thiosulfate ที่ใช้จะเทียบเท่ากับปริมาณของค่าออกซิเจน (DO) ของน้ำตัวอย่างโดยมีหน่วยเป็น mg/l

10. การคำนวณ

10.1 กรณีไม่มีการเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง

$$BOD = \frac{DO_0 - DO_5}{P}$$

โดยที่ BOD_5 = ค่า BOD ที่ระยะเวลากักเก็บตัวอย่าง 5 วันมีหน่วยเป็น (mg/l)

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างที่หาได้ทันที (mg/l)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน (mg/l)

P = สัดส่วนปริมาณของตัวอย่างที่ใช้เจือจาง โดยคิดปริมาณทั้งหมดเป็น 1 ส่วน

10.2 กรณีเติมน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) - (B_1 - B_2)F}{P}$$

โดย BOD_5 = ค่า BOD ที่ระยะเวลากักเก็บตัวอย่าง 5 วัน (mg/l)

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างที่หาได้ทันที (mg/l)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตัวอย่างหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน (mg/l)

P = สัดส่วนปริมาณของตัวอย่างที่ใช้เจือจาง โดยคิดปริมาณทั้งหมดเป็น 1 ส่วน

B_1 = DO ของ Seed Control ก่อนนำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิ (mg/l)

B_2 = DO ของ Seed Control หลังจากเก็บไว้ 5 วัน

F = อัตราส่วนน้ำเชื้อในตัวอย่างที่เจือจางกับใน Seed Control

11. การรายงานผล

รายงานผลค่า BOD เป็นเลขจำนวนเต็มมีหน่วยเป็น (mg/l)

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) โดยวิธี Gravimetric และ อบที่ 103 - 105 °c

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) หมายถึง สารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 °C สิ่งที่กลายเป็นไอไปได้ก็จะสูญไป เหลือเพียงตะกอนของสารที่มีในน้ำตัวอย่างเท่านั้น ตะกอนที่คงเหลืออยู่นั้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ของแข็งทั้งหมดประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids) คือ ส่วนที่ค้างอยู่บนกระดาษกรอง (2.0 µm Pore Size) และของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) คือ ส่วนที่ผ่านกระดาษกรอง

การหาค่าของแข็งแขวนลอยนั้นเกิดข้อผิดพลาดง่ายถ้าใช้ตัวอย่างน้อย ดังนั้น ควรจะใช้ตัวอย่างในการกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สำหรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือมีความสกปรกน้อยอาจต้องใช้ถึง 1 l

1. ขอบข่ายการทดสอบ

วิธีนี้ใช้ได้กับตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำเสีย

2. รายละเอียดการประกันคุณภาพ (Quality Assurance Criteria)

2.1 QA Limit สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำเท่ากับร้อยละ 10

2.2 ปริมาณของตะกอนบนกระดาษกรองหลังจากนำไปอบแห้งแล้ว ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 - 200 mg

3. หลักการ

กรองน้ำตัวอย่างที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันผ่านกระดาษกรอง GF/C (Glass - Fiber Filter) ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำกระดาษกรองพร้อมตะกอนที่ค้างอยู่ด้านบนไปอบที่อุณหภูมิ 103 - 105 °C จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณของของแข็งแขวนลอย

4. สิ่งรบกวน

แยกตะกอนขนาดใหญ่ที่ลอยน้ำหรือจมน้ำอยู่ที่ไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของตัวอย่างออก

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง

ควรเก็บตัวอย่างด้วยขวดแก้วหรือขวดพลาสติก ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันที ให้แช่เย็นตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 4 ^{o}C โดยไม่ต้องเติมสารใด ๆ และสามารถเก็บไว้ได้นานไม่เกิน 7 วัน

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

6.1 กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 cm

6.2 อุปกรณ์ชุดกรอง

6.3 เครื่องดูดอากาศ

6.4 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 103 - 105 ^{o}C

6.5 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น

6.6 เครื่องชั่งอย่างละเอียดที่สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 g

6.7 กระดาษอะลูมิเนียม เพื่อทำเป็นภาชนะสำหรับใส่กระดาษกรอง

6.8 กระบอกตวง (Cylinder)

6.9 คีมหนีบ (Forceps)

7. ขั้นตอนการวิเคราะห์

7.1 การเตรียมกระดาษกรอง

7.1.1 นำกระดาษกรองไปใส่ในถ้วยกระดาษอลูมิเนียมที่ทำรหัสไว้

7.1.2 อบถ้วยกระดาษอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 103 – 105 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง (Desiccator) แล้วชั่งหาน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง

7.1.3 เก็บถ้วยอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองไว้ในโถทำแห้งจนกว่าจะนำมาใช้

7.2 การวิเคราะห์

7.2.1 เลือกตัวอย่างอย่างน้อยร้อยละ 10 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ

7.2.2 เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำสำหรับนำไปกรองที่จะให้ค่าของแข็งแขวนลอยโดยประมาณ 2.5 - 200 mg กรณีที่เก็บตัวอย่างแช่เย็นไว้ ให้ทำให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องก่อน

7.2.3 ใช้คีมหนีบ คีบกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักในโถทำแห้ง มาวางลงบนกรวยในชุดกรอง ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศโดยให้ด้านขรุขระของกระดาษกรองอยู่ด้านบน

7.2.4 ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก และให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวย

7.2.5 เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี แล้วเทตัวอย่างใส่กระบอกตวงครั้งเดียวให้ได้ปริมาตรใกล้เคียงกับที่ต้องการ แล้วจดบันทึกปริมาตรที่เทได้

7.2.6 เทตัวอย่างใส่ชุดกรอง เปิดเครื่องดูดอากาศ

7.2.7 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่อาจติดอยู่ข้างกระบอกตวง และชุดกรองจนหมดและรอจนกว่ากระดาษกรองจะแห้ง

7.2.8 ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้คีมหนีบคีบกระดาษกรองใส่ถ้วยอะลูมิเนียมอันเดิม

7.2.9 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7.2.10 ทิ้งไว้ให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิของห้องในโถทำแห้ง แล้วจากนั้นชั่งหาน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองใหม่

7.2.11 ให้ทำข้อ 7.2.10 – 7.2.11 ซ้ำอีกจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง แตกต่างกันไม่มากกว่า 0.0005 g หรือ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักครั้งแรก

8. การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (SS) (mg/l)} = \frac{(B - A)*1{,}000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

A = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง (mg)

B = น้ำหนัก (ที่ชั่งได้ค่าน้อยที่สุด) ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองและตัวอย่าง (mg)

วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ (Standard Operating Procedure)
การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสรวม Total Phosphorus
โดยวิธี Persulfate Digestion และ Ascorbic Acid

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ต่างๆ กัน ของ ฟอสเฟส (Phosphate) โดยจะสามารถแยกได้เป็น ออร์โธฟอสเฟส (Orthophosphates) และ คอนเดนซ์ฟอสเฟส (Condensed Phosphates, Pyro-, Meta-, And Polyphosphates อื่นๆ) และ Organically Bound Phosphates โดยอยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอยหรือในร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ Phosphorous เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักจะพบว่าเป็น Growth Limiting Nutrient ของแหล่งน้ำ ดังนั้น ในการปล่อยน้ำโสโครกที่มี Phosphorous อยู่ลงในแหล่งน้ำ อาจจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา

1. ขอบข่ายการทดสอบ

วิธีการทดสอบนี้ใช้กับตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม

2. ค่าที่รายงานผล (Detection Limits)

Minimum Detection Limit เท่ากับ 0.1 mg P/l

3. รายละเอียดการประกันคุณภาพ (Quality Assurance Criteria)

3.1 QA Limit สำหรับ Spike Recovery เท่ากับร้อยละ 20

3.2 QA Limit สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ เท่ากับร้อยละ 15

4. หลักการ

การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสทั้งหมด แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

4.1. เปลี่ยนฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ ให้อยู่ในรูป Orthophosphates ที่ละลายน้ำโดยการย่อยสลาย ด้วยวิธี Persulfate Digestion

4.2. หาค่า Orthophosphates ที่ละลายน้ำด้วยวิธี Ascorbic Acid โดย

Ammonium Molybdate และ Potassium Antimonyl Tartrate จะทำปฏิกริยาภายใต้ตัวกลางที่เป็นกรดกับ Orthophosphate ทำให้เกิด Phosphomolydic Acid ซึ่งจะทำปฏิกริยากับ Ascorbic Acid ได้ Molybdenum Blue

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง

ในกรณีที่จะทำการหา Total Phosphorus อย่างเดียวสามารถเก็บรักษาตัวอย่างได้ 3 วิธี คือ

5.1 ให้แช่แข็งตัวอย่างโดยไม่ต้องเติมสารใด ๆ หรือ

5.2 เติม กรด HCl เข้มข้นในปริมาณ 1 ml ต่อตัวอย่าง 1 l แล้วแช่เย็น หรือ

5.3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นในปริมาณ 2 ml ต่อตัวอย่าง 1 l แล้วแช่เย็น

โดยให้วิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 28 วัน ตัวอย่างที่มีค่าฟอสฟอรัสน้อยไม่ควรเก็บในขวดพลาสติกเพราะอาจเกิดการดูดซับบนผนังขวดได้ ภาชนะที่ทำด้วยแก้วทุกชนิดที่ใช้ในการหาฟอสฟอรัส ต้องล้างด้วยกรด HCl 1 : 1 แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งไม่ควรใช้ผงซักฟอกในการล้างเครื่องแก้ว

6. สิ่งรบกวน

6.1 Arsenates สามารถทำปฏิกริยากับสารละลาย Molybdate ทำให้เกิดสีน้ำเงิน เช่นเดียวกับ Phosphate ความเข้มข้น 0.1 mg As/l จะรบกวนการหา Phosphate

6.2 Hexavalent Chromium และ NO^-_2 ที่ความเข้มข้น 1 mg/l จะรบกวนให้ค่าที่ได้ต่ำไปร้อยละ 3 และที่ความเข้มข้น 1.0 - 10 mg/l จะทำให้ค่าต่ำไปร้อยละ 10 -15

7. เครื่องมือและอุปกรณ์

7.1 Spectrophotometer ที่สามารถให้ความถี่คลื่น 880 nm และใช้เซล ขนาด 1 cm หรือใหญ่กว่านั้น

7.2 หม้ออบฆ่าเชื่อ (Autoclave)

7.3 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)

7.4 บีคเกอร์ (Beakers)

7.5 ปิเป็ต (Pipets)

7.6 กระบอกตวง (Cylinder)

7.7 ขวดแก้วพร้อมฝาที่สามารถนำเข้าเครื่อง Autoclave ที่ 120 ^{o}C ขนาด 100 ml

8. สารเคมี

8.1 สารละลายมาตรฐาน Phosphate (20 mg P/l)

นำ Anhydrous KH_2PO_4 มา 87.8 mg ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml (1 ml ของสารละลายที่เตรียมนี้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 mg P)

8.2 สารละลาย Phenolphthalein Indicator

ละลาย Phenolphthalein 5 g ใน 500 ml ของร้อยละ 95 Ethyl Alcohol และปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

8.3 สารละลาย H_2SO_4

เติม H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 300 ml ลงในน้ำกลั่น 600 ml แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

8.4 สาร Potassium Persulfate ($K_2S_2O_8$)

8.5 NaOH 1N

ละลาย NaOH จำนวน 40 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

8.6 H_2SO_4 5 N

นำกรด H_2SO_4 เข้มข้น มา 70 ml ใส่ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml

8.7 สารละลาย Potassium Antimonyl Tartrate

ละลายสาร K(Sbo) $C_4H_4O_7$ 1/2 H_2O จำนวน 1.3715 g ในน้ำกลั่น 400 ml แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 500 ml เก็บในขวดจุกแก้ว

8.8 สารละลาย Ammonium Molybdate

ละลายสาร $(NH_4)_6$ MO_7O_{24} $4H_2O$ จำนวน 20 g ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml เก็บในขวดจุกแก้ว

8.9 สารละลาย Ascorbic Acid 0.1 M

ละลายสาร Ascorbic Acid จำนวน 1.76 g ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 ml สารละลายนี้เมื่อเก็บไว้ ที่อุณหภูมิ 4 °C สามารถเก็บได้ 1 สัปดาห์

8.10 สารละลายผสม ผสมสารละลายข้อ 6 - 9 ตามอัตราส่วนดังนี้

สารข้อ 6 : สารข้อ 7 : สารข้อ 8 : สารข้อ 9 คือ 50 : 5 : 15 : 30 จะได้สารละลายผสม 100 ml ในการผสมนั้นให้ผสมทีละขั้นตอน โดยผสมสารข้อ 6 และ 7 ให้เข้ากันดีก่อนแล้วจึงเติมสารข้อ 8 เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงใส่สารข้อ 9 ผสมให้เข้ากัน และเมื่อสารมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง เก็บสารนี้ไว้ได้นาน 4 ชั่วโมง

9. ขั้นตอนการวิเคราะห์

9.1 การทำ Standard Curve

นำสารละลายมาตรฐาน Phosphate (20 mgP/l) มา 0, 1, 2, 3, 4, 5 ml ผสมน้ำกลั่นให้ได้ 50 ml จะได้สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, และ 2 mg/l ตามลำดับ นำไปวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน (กรณีที่มี Standard Curve อยู่แล้วให้เตรียมสารละลายมาตรฐานที่อย่างน้อย 2 ความเข้มข้น แล้วนำไปวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน และตรวจสอบความถูกต้อง โดยค่าร้อยละ Difference ต้องน้อยกว่าร้อยละ 15)

9.2 การทำ QC

เลือกตัวอย่างอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง ต่อตัวอย่างทุกๆ 10 ตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ และ Spike Recovery โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง (สำหรับ 1 ตัวอย่าง) ดังนี้

9.2.1 นำ Volumetric Flask ขนาด 50 ml มา 3 ขวด

9.2.2 ใส่ตัวอย่างที่เลือกไว้สำหรับทำการวิเคราะห์ซ้ำ และ Spike Recovery จำนวน 10 ml ในแต่ละ Flask

9.2.3 นำ 2 Flask ที่ใส่ตัวอย่างแล้ว มาเติมสารละลายมาตรฐาน Phosphate (20 mg P/l) Flask ละ 1 ml

9.2.4 เติมน้ำกลั่นในทั้ง 3 Flask จนได้ปริมาตรรวมในแต่ละ Flask 50 ml

9.2.5 นำไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างอื่น

9.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของ Orthophosphate โดยวิธี Presulfate Digestion

9.3.1 นำตัวอย่างมา 50 ml หรือน้อยกว่าแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 50 ml ใส่ในขวดขนาดบรรจุ 100 ml

9.3.2 เติมสารละลาย Phenolphthalin Indicator 1 หยด ถ้าตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีแดงให้เติมสาร ละลาย H_2SO_4 ลงไปจนสีแดงหายไป

9.3.3 เติมสารละลาย H_2SO_4 จำนวน 1 ml

9.3.4 เติมสาร $K_2S_2O_8$ จำนวน 0.5 เ ปิดฝาให้สนิท

9.3.5 นำตัวอย่างไปเข้าเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 120 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที

9.3.6 ทำให้เย็นแล้วเติม Phenolphthalein Indicator 1 หยด และปรับ pH ด้วย NaOH 1 N จนได้ตัวอย่างสีชมพูอ่อน

9.3.7 ถ่ายตัวอย่างใส่ใน Volumetric Flask ขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml

9.3.8 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Ascorbic Acid Method การหาค่า Orthophosphate โดยวิธี Ascorbic Acid

9.3.9 นำตัวอย่างมา 50 ml เติม Phenolphthalein Indicator 1 หยด ถ้าตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีแดง ให้เติม H_2SO_4 5 N ทีละหยดจนสีหายไป

9.3.10 เติมสารละลายผสมปริมาณ 8 ml ลงในตัวอย่างปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml เขย่าให้เข้ากันดี หลังจากนั้น 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที ให้นำตัวอย่างไปวัดค่า Absorbance ที่ 880 nm

10. การคำนวณ

$$\text{Total Phosphorous (mg P/l)} = \frac{\text{(ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ได้จาก Standard Curve, mg P/l) X 50}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ข. 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วน 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	25.720	1.837	%15898.191	1.92	2.5
A	4	17.843	4.461	%38602.484	2.61	3.8
B	2	7.277	3.639	%31489.145	3.23	5.1
AB	8	0.599	0.075	648.288	2.18	2.99
ERROR	45	0.005	0.000			
TOTAL	59	25.725	0.436			

Grand Mean = 1.83666667342186 CV = .585281979749407

Factor A	Factor B
mass	days
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
*************************************************************
*                                                           *
*        DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                        *
*      PROBLEM IDENTIFICATION  =   nitrate.FACTOR A         *
*      NUMBER OF MEAN          =      5                     *
*      ERROR DEGREE OF FREEDOM =     45                     *
*      ERROR MEAN SQUARE       =      0.00011556            *
*      STANDARD ERROR OF MEAN  =      0.00310317            *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01
t0		0.026333	A
t1		0.0222	B
t2		0.017566	C
t3		0.015033	D
t4		0.0107	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05
t0		0.026333	A
t1		0.0222	B
t2		0.017566	C
t3		0.015033	D
t4		0.0107	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วน 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	209.843	14.989	%30005462.000	1.92	52
A	4	90.160	22.540	%45121780.000	2.61	83
B	2	109.133	54.566	% 109.235E+%0	3.23	18
AB	8	10.550	1.319	%2640023.250	2.18	2 9
ERROR	45	0.000	0.000			
TOTAL	59	209.843	3.557			

Grand Mean = 4.53560668528O8 CV = 1.558286822000046D-02

Factor A
mass
t0
t1
t2
t3
t4

Factor B
days
d10
d20
d30

***

ตารางที่ ข. 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระดับชั่วมวลของผักกระเฉดในอัตราส่วน 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	774.373	55.312	195.681	1.92	2.52
A	4	259.733	64.933	229.717	2.61	3.83
B	2	487.909	243.955	863.047	3.23	5.18
AB	8	26.731	3.341	11.821	2.18	2.99
ERROR	45	12.720	0.283			
TOTAL	59	787.093	13.341			

Grand Mean = 6.733333307504654 CV = 7.896000914130554

Factor A	Factor B
mass	days
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION = BOD.FACTOR A
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 45
ERROR MEAN SQUARE = 0.28266668
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.15347820

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		9.566667	A
t1		8	B
t2		7.3	C
t3		5.033333	D
t4		3.766667	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		9.566667	A
t1		8	B
t2		7.3	C
t3		5.033333	D
t4		3.766667	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	7782.309	555.879	8017.486	1.92	2.52
A	4	1646.123	411.531	5935.536	2.61	3.83
B	2	5393.829	2696.915	%38897.793	3.23	5.1
AB	8	742.357	92.795	1338.384	2.18	2.99
ERROR	45	3.120	0.069			
TOTAL	59	7785.429	131.956			

Grand Mean = 12.3866666773955 CV = 2.125771944941997

Factor A	Factor B
mass	days
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*          PROBLEM IDENTIFICATION    =    SS.FACTOR A    *
*          NUMBER OF MEANS           =      5            *
*          ERROR DEGREE OF FREEDOM   =     45            *
*          ERROR MEAN SQUARE         =      0.06933336    *
*          STANDARD ERROR OF MEAN    =      0.07601171    *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		21.1	A
t1		14.66667	B
t2		11.76667	C
t3		8.166667	D
t4		6.233333	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		21.1	A
t1		14.66667	B
t2		11.76667	C
t3		8.166667	D
t4		6.233333	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	4.856	0.347	%6050099.500	1.92	2
2						
A	4	3.166	0.792	%13807045.000	2.61	
83						
B	2	1.572	0.786	%13710849.000	3.23	
18						
AB	8	0.118	0.015	%256439.422	2.18	2.
ERROR	45	0.000	0.000			
TOTAL	59	4.856	0.082			

Grand Mean = .6132466646532218 CV = 3.904450769185455D-02

Factor A	Factor B
mass	days
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROBLEM IDENTIFICATION	=	PP.FACTOR A
NUMBER OF MEANS	=	5
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	45
ERROR MEAN SQUARE	=	0.00000006
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.00006912

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		.9364333	A
t1		.8034	B
t2		.5921667	C
t3		.3958	D
t4		.3384333	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		.9364333	A
t1		.8034	B
t2		.5921667	C
t3		.3958	D
t4		.3384333	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด - ด่างที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	1.414	0.101	14.784	1.92	2.52
A	4	0.586	0.147	21.439	2.61	3.83
B	2	0.576	0.288	42.171	3.23	5.18
AB	8	0.252	0.031	4.610	2.18	2.99
ERROR	45	0.308	0.007			
TOTAL	59	1.722	0.029			

Grand Mean = 7.871666717529297 CV = 1.050146521421063

Factor A	Factor B
mass	days
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

***

ตารางที่ ข. 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                   *
*        PROBLEM IDENTIFICATION  =   nitrate.FACTOR B    *
*        NUMBER OF MEAN          =      3                *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM =     45                *
*        ERROR MEAN SQUARE       =      0.00011556       *
*        STANDARD ERROR OF MEAN  =      0.00240370       *
*                                                        *
**********************************************************

NAME       ID         MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01

d10                    0.0228    A
d20                    0.019      B
d30                    0.0148      C

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME       ID         MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05

d10                    0.0228    A
d20                    0.019      B
d30                    0.0148      C

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข. 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     ammonia.FACTOR B *
*        NUMBER OF MEANS            =        3             *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45             *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.00000050    *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00015804    *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d10		5.92244	A
d20		4.97614	B
d30		2.70824	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d10		5.92244	A
d20		4.97614	B
d30		2.70824	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION    =    BOD.FACTOR B     *
*        NUMBER OF MEANS           =      3              *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM   =     45              *
*        ERROR MEAN SQUARE         =      0.28266668     *
*        STANDARD ERROR OF MEAN    =      0.11888370     *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d10		10.3	A
d20		6.58	B
d30		3.32	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d10		10.3	A
d20		6.58	B
d30		3.32	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ช. 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     SS.FACTOR B     *
*        NUMBER OF MEANS            =        3            *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45            *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.06933336   *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.05887842   *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d10		25	A
d20		10.02	B
d30		2.14	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d10		25	A
d20		10.02	B
d30		2.14	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ช. 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     PP.FACTOR B     *
*        NUMBER OF MEANS            =       3             *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45             *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       0.00000006    *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00005354    *
*                                                        *
**********************************************************

 NAME      ID      MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10                .80468    A
d20                .62624     B
d30                .40882      C

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID      MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10                .80468    A
d20                .62624     B
d30                .40882      C

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ช. 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด - ด่างที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     pH.FACTOR B     *
*        NUMBER OF MEANS            =        3            *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45            *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.00683334   *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.01848424   *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d30		7.96	A
d20		7.92	A
d10		7.735	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d30		7.96	A
d20		7.92	A
d10		7.735	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                   *
*       PROBLEM IDENTIFICATION  =   nitrateINTER AB      *
*       NUMBER OF MEAN          =     15                 *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM =     45                 *
*       ERROR MEAN SQUARE       =      0.00011556        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN  =      0.00537484        *
*                                                        *
**********************************************************

NAME      ID        MEAN           RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01

t0d10               0.029    A
t0d20               0.027     B
t1d10               0.025      C
t0d30               0.024       D
t1d20               0.023        E
t2d10               0.021         F
t3d10               0.020          G
t1d30               0.019           H
t2d20               0.018            I
t4d10               0.016             J
t3d20               0.0159             K
t2d30               0.013               L
t4d20               0.011                M
t3d30               0.009                 N
t4d30               0.004                  O

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME      ID        MEAN           RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05

t0d10               0.029    A
t0d20               0.027     B
t1d10               0.025      C
t0d30               0.024       D
t1d20               0.023        E
t2d10               0.021         F
t3d10               0.020          G
t1d30               0.019           H
t2d20               0.018            I
t4d10               0.016             J
t3d20               0.0159             K
t2d30               0.013               L
t4d20               0.011                M
t3d30               0.009                 N
t4d30               0.004                  O

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ช. 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    ammoniaINTER AB  *
*        NUMBER OF MEANS            =      15             *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45             *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       0.00000050    *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00035339    *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		7.0843	A
t0d20		6.9157	B
t1d10		6.2827	C
t1d20		5.841	D
t2d10		5.727	E
t0d30		5.4409	F
t3d10		5.4339	G
t4d10		5.0843	H
t2d20		4.6825	I
t3d20		4.039	J
t1d30		3.8401	K
t4d20		3.4025	L
t2d30		2.147	M
t3d30		1.409	N
t4d30		.7042	O

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		7.0843	A
t0d20		6.9157	B
t1d10		6.2827	C
t1d20		5.841	D
t2d10		5.727	E
t0d30		5.4409	F
t3d10		5.4339	G
t4d10		5.0843	H
t2d20		4.6825	I
t3d20		4.039	J
t1d30		3.8401	K
t4d20		3.4025	L
t2d30		2.147	M
t3d30		1.409	N
t4d30		.7042	O

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     BODINTER AB     *
*        NUMBER OF MEANS            =       15            *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45            *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.28266668   *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.26583203   *
*                                                        *
**********************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

t0d10                14          A
t1d10                12           B
t2d10                10.5          C
t0d20                9.6           C
t2d20                8.3            D
t3d10                8.2            DE
t1d20                7.2             EF
t4d10                6.8               F
t0d30                5.1                G
t1d30                4.8                G
t3d20                4.6                G
t4d20                3.2                 H
t2d30                3.1                 H
t3d30                2.3                 HI
t4d30                1.3                  I

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

t0d10                14          A
t1d10                12           B
t2d10                10.5          C
t0d20                9.6            D
t2d20                8.3             E
t3d10                8.2             E
t1d20                7.2              F
t4d10                6.8              F
t0d30                5.1               G
t1d30                4.8               G
t3d20                4.6               G
t4d20                3.2                H
t2d30                3.1                H
t3d30                2.3                 I
t4d30                1.3                  J

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข. 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     SSINTER AB     *
*        NUMBER OF MEANS            =       15           *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45           *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.06933336  *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.13165614  *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		40.6	A
t1d10		29.4	B
t2d10		23.7	C
t0d20		19.1	D
t3d10		17	E
t4d10		14.3	F
t1d20		12.2	G
t2d20		9.7	H
t3d20		5.9	I
t0d30		3.6	J
t4d20		3.2	J
t1d30		2.4	K
t2d30		1.9	KL
t3d30		1.6	LM
t4d30		1.2	M

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		40.6	A
t1d10		29.4	B
t2d10		23.7	C
t0d20		19.1	D
t3d10		17	E
t4d10		14.3	F
t1d20		12.2	G
t2d20		9.7	H
t3d20		5.9	I
t0d30		3.6	J
t4d20		3.2	K
t1d30		2.4	L
t2d30		1.9	M
t3d30		1.6	M
t4d30		1.2	N

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     PPINTER AB        *
*        NUMBER OF MEANS            =       15              *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45              *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.00000006     *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00011972     *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		1.0314	A
t1d10		.9723	B
t0d20		.953	C
t0d30		.8249	D
t1d20		.8221	E
t2d10		.8016	F
t3d10		.6312	G
t1d30		.6158	H
t2d20		.6003	I
t4d10		.5869	J
t3d20		.4026	K
t2d30		.3746	L
t4d20		.3532	M
t3d30		.1536	N
t4d30		.0752	O

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		1.0314	A
t1d10		.9723	B
t0d20		.953	C
t0d30		.8249	D
t1d20		.8221	E
t2d10		.8016	F
t3d10		.6312	G
t1d30		.6158	H
t2d20		.6003	I
t4d10		.5869	J
t3d20		.4026	K
t2d30		.3746	L
t4d20		.3532	M
t3d30		.1536	N
t4d30		.0752	O

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเป็นกรด - ด่างที่ระดับชั่วมวลของผักกระเฉดในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 10, 20 และ 30 วัน

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     pHINTER AB     *
*        NUMBER OF MEANS            =       15           *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45           *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.00683334  *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.04133202  *
*                                                        *
**********************************************************

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

t0d30               8.2       A
t0d20               8.1       AB
t1d30               8.1       AB
t1d20               8          BC
t2d30               7.9          CD
t2d20               7.9          CD
t4d30               7.8            DE
t4d20               7.8            DE
t0d10               7.8            DE
t3d30               7.8            DE
t3d20               7.8            DE
t4d10               7.775          DE
t3d10               7.7              E
t2d10               7.7              E
t1d10               7.7              E

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

t0d30               8.2       A
t0d20               8.1       AB
t1d30               8.1       AB
t1d20               8          BC
t2d30               7.9          CD
t2d20               7.9          CD
t4d30               7.8            DE
t4d20               7.8            DE
t0d10               7.8            DE
t3d30               7.8            DE
t3d20               7.8            DE
t4d10               7.775          DE
t3d10               7.7            E
t2d10               7.7            E
t1d10               7.7            E

    MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
    BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ช. 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดที่มีผลต่อชีวมวลรวม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	11	1.425	0.130	227.574	2.08	2.80
A	3	1.415	0.472	828.361	2.84	4.31
B	2	0.003	0.002	2.843	3.23	5.18
AB	6	0.007	0.001	2.091	2.33	3.29
ERROR	36	0.020	0.001			
TOTAL	47	1.446	0.031			

Grand Mean = .4549999982118607 CV = 5.244622541252452

Factor A	Factor B
mass	days
t1	d10
t2	d20
t3	d30
t4	

DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = weight.FACTOR A
NUMBER OF MEAN = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 36
ERROR MEAN SQUARE = 0.00056944
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00688866

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01
t1		0.021	A
t2		-0.023	B
t3		-0.052	C
t4		-0.125	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05
t1		0.021	A
t2		-0.023	B
t3		-0.052	C
t4		-0.125	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ข. 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด

```
**********************************************************************
*                                                                    *
*          DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                               *
*        PROBLEM IDENTIFICATION  =   weight.FACTOR B                 *
*        NUMBER OF MEAN          =      3                            *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM =     36                            *
*        ERROR MEAN SQUARE       =      0.00056944                   *
*        STANDARD ERROR OF MEAN  =      0.00596576                   *
*                                                                    *
**********************************************************************

NAME       ID         MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01

d10                   -0.034     A
d20                   -0.048     A
d30                   -0.053     A

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME       ID         MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05

d10                   -0.034     A
d20                   -0.048     AB
d30                   -0.053      B

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ตารางที่ ข. 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของผักกระเฉดกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของผักกระเฉด

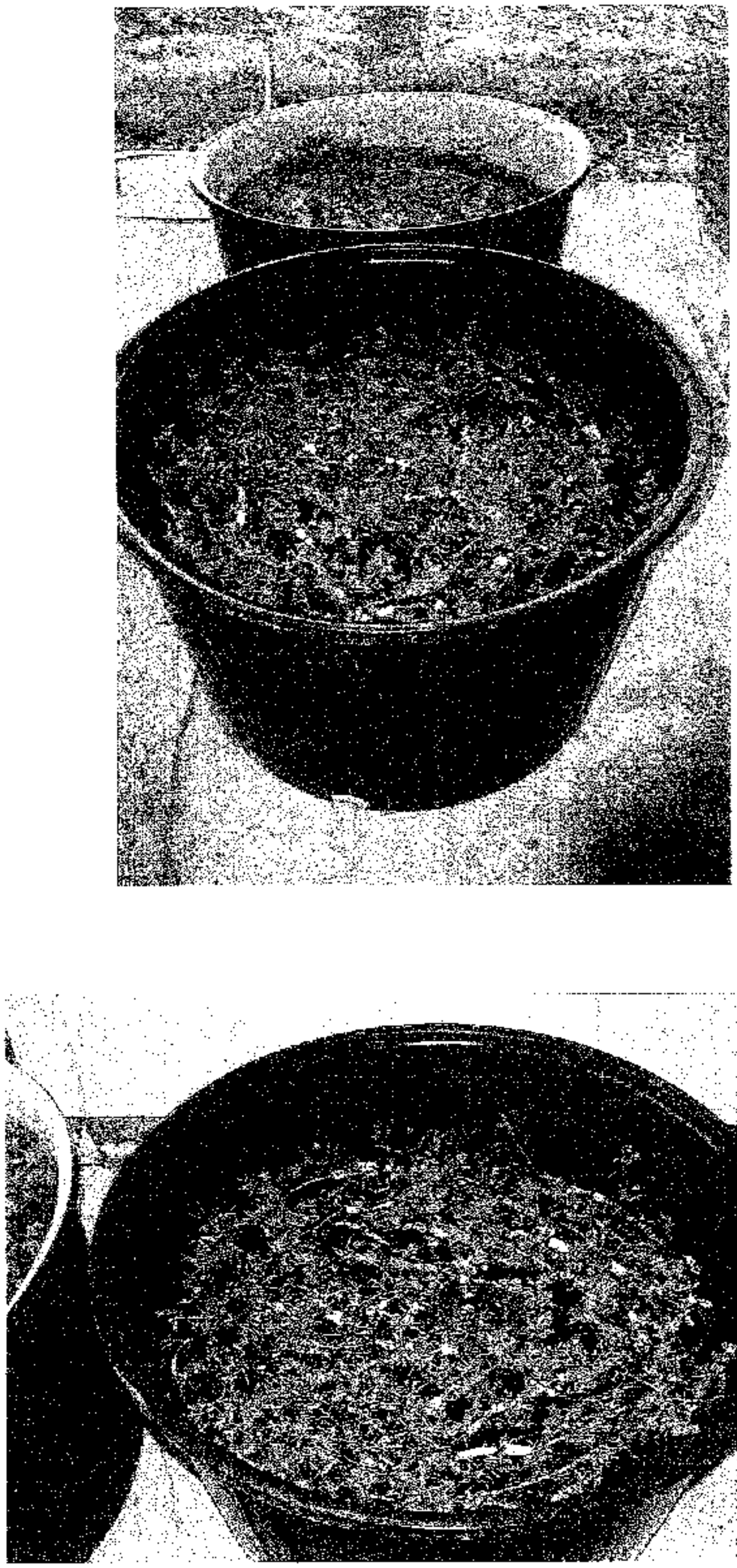
```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                   *
*      PROBLEM IDENTIFICATION  =   weightINTER AB        *
*      NUMBER OF MEAN          =     12                  *
*      ERROR DEGREE OF FREEDOM =     36                  *
*      ERROR MEAN SQUARE       =      0.00056944         *
*      STANDARD ERROR OF MEAN  =      0.01193152         *
*                                                        *
**********************************************************

NAME      ID        MEAN           RANKED AT PROBABILITY LEVEL.01

t1d30                0.028    A
t1d20                0.022     B
t1d10                0.012      C
t2d10               -0.018       D
t2d20               -0.025        E
t2d30               -0.028        E
t3d10               -0.042         F
t3d20               -0.055          G
t3d30               -0.060          G
t4d10               -0.088           H
t4d20               -0.135            I
t4d30               -0.152             J

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME      ID        MEAN           RANKED AT PROBABILITY LEVEL.05

t1d30                0.028    A
t1d20                0.022     B
t1d10                0.012      C
t2d10               -0.018       D
t2d20               -0.025        E
t2d30               -0.028        E
t3d10               -0.042         F
t3d20               -0.055          G
t3d30               -0.060          G
t4d10               -0.088           H
t4d20               -0.135            I
t4d30               -0.152             J

     MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
     BY DUCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.
```

ภาคผนวก ค

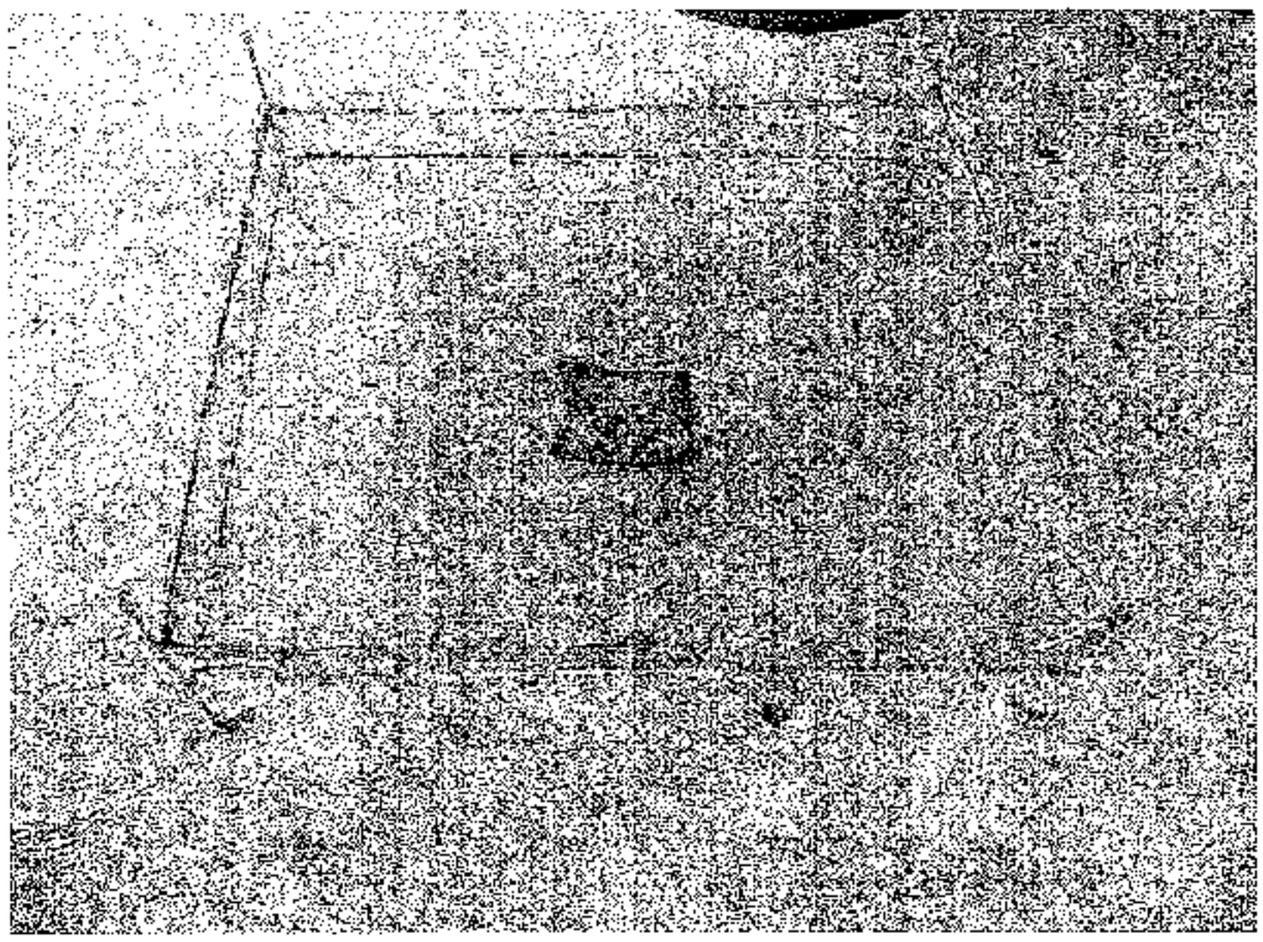
ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล

ภาพที่ ค. 1 ภาพบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

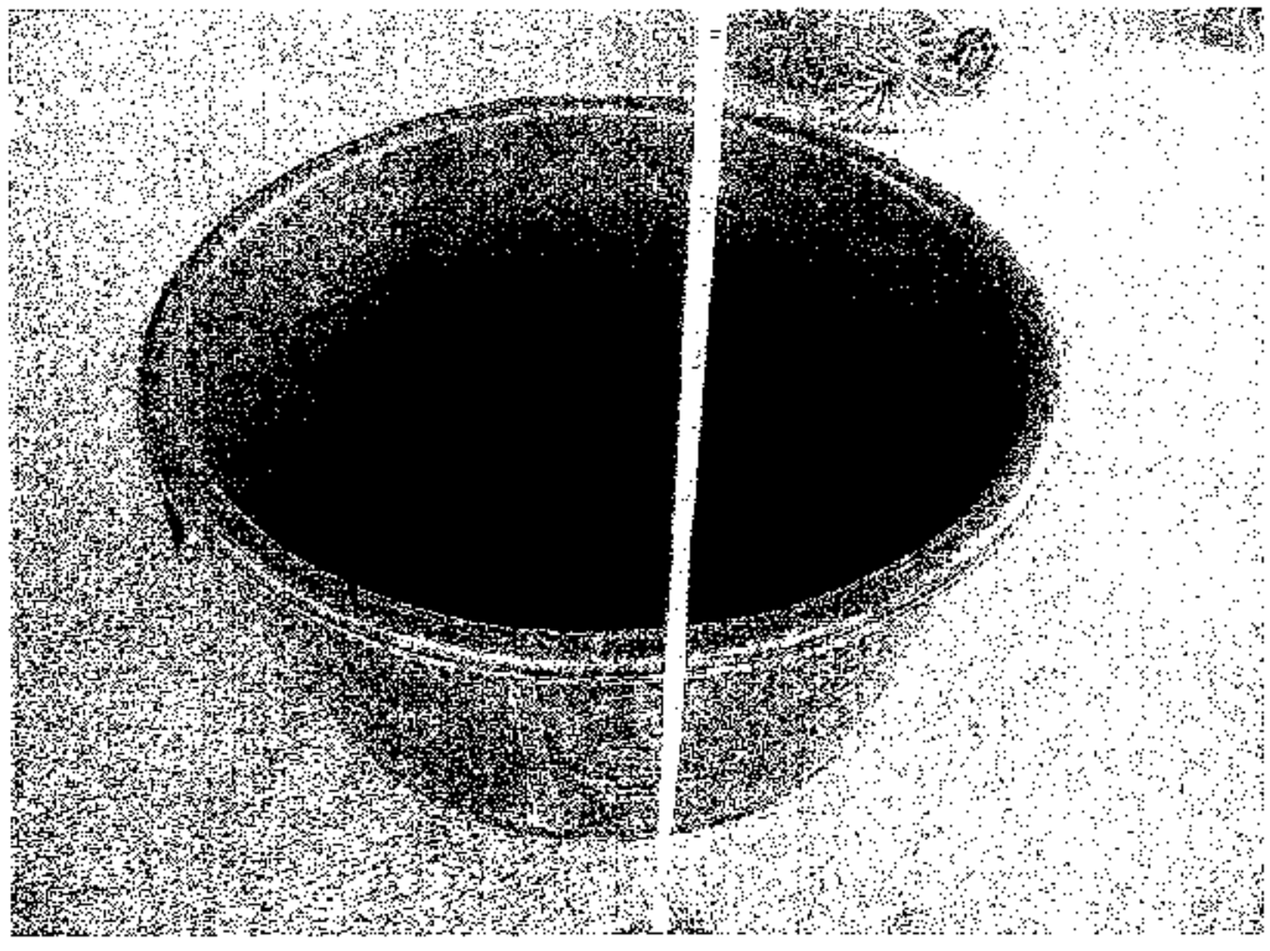
ภาพที่ ค. 2 น้ำทิ้งที่นำมาพักไว้ก่อนทำการทดลอง



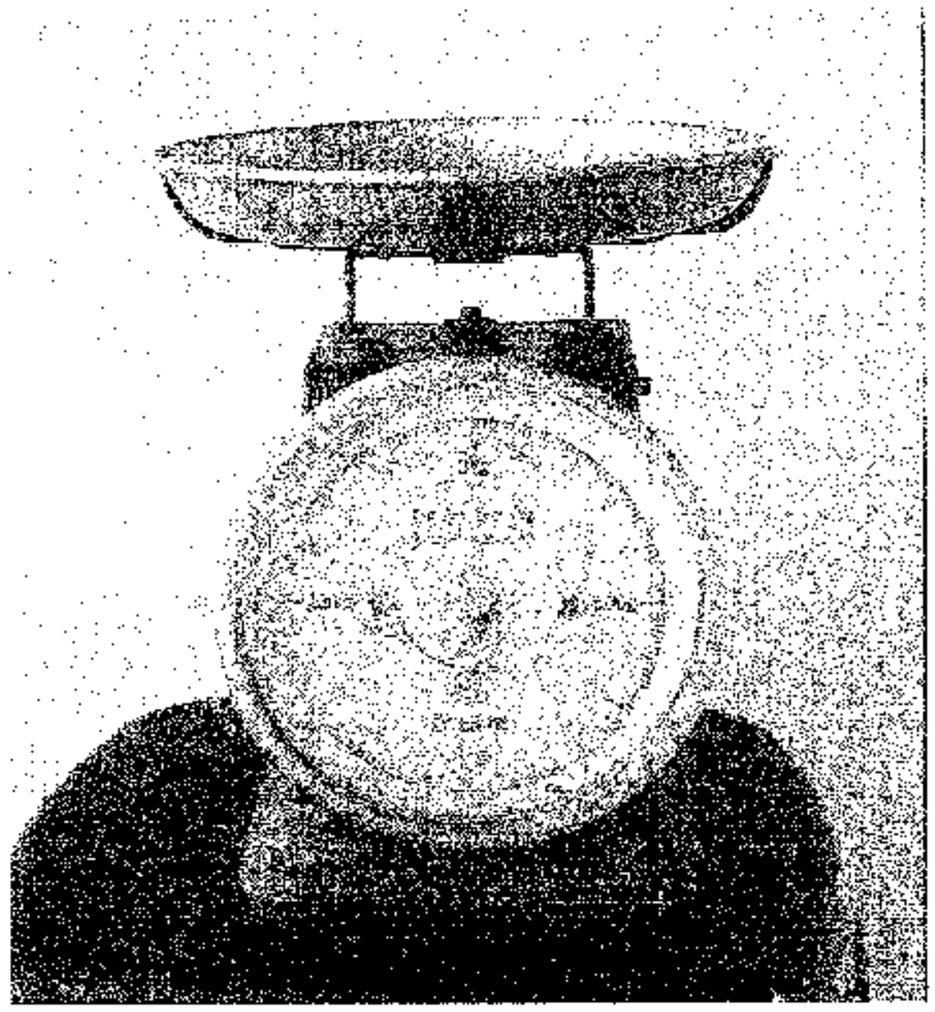
ภาพที่ ค. 3 ผักกระเฉดที่นำมาพักไว้ก่อนทำการทดลอง



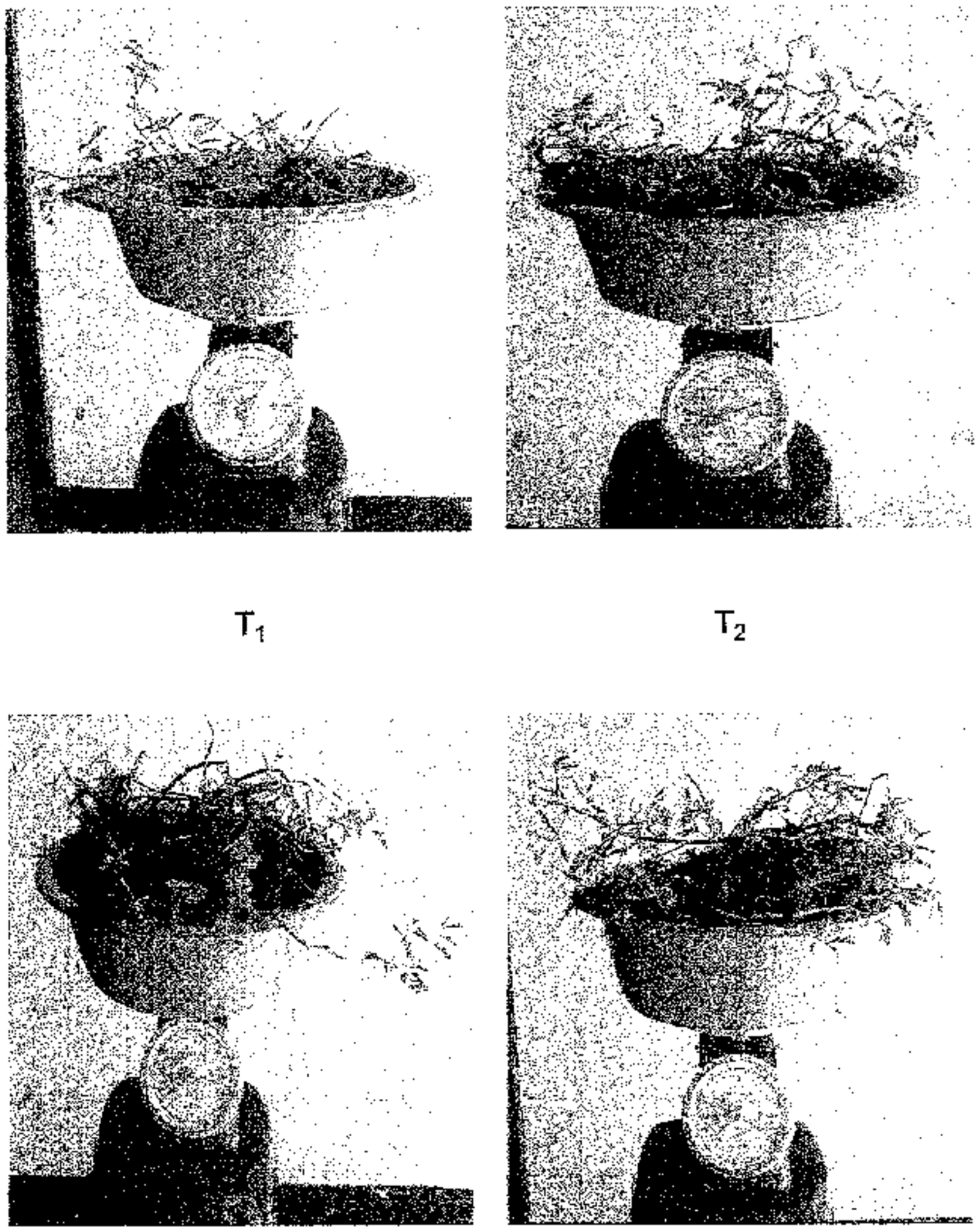
ภาพที่ ค. 5 ยอที่ใช้สำหรับพักผักกระเฉดให้สะเด็ดน้ำก่อนชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ ค. 6 ภาชนะพลาสติกสีดำที่ใช้ในการทดลอง



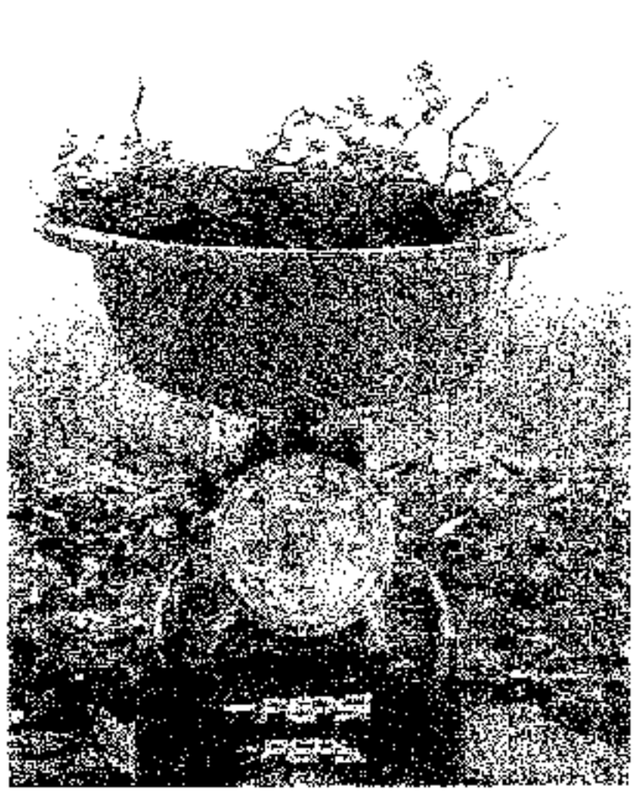
ภาพที่ ค. 7 เครื่องชั่งที่ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักผักกระเฉด



T_1 T_2

T_3 T_4

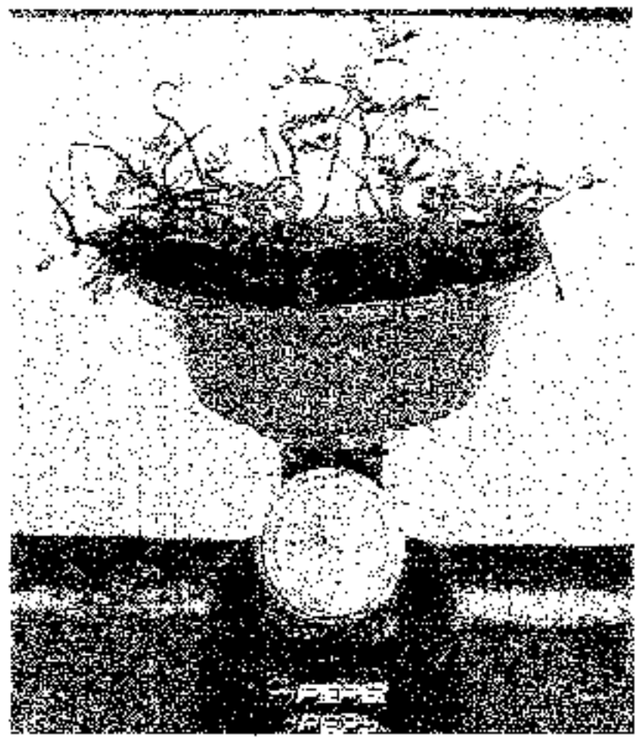
ภาพที่ ค. 8 การเก็บข้อมูลน้ำหนักของผักกระเฉดที่ระยะเวลา 10 วัน



T_1

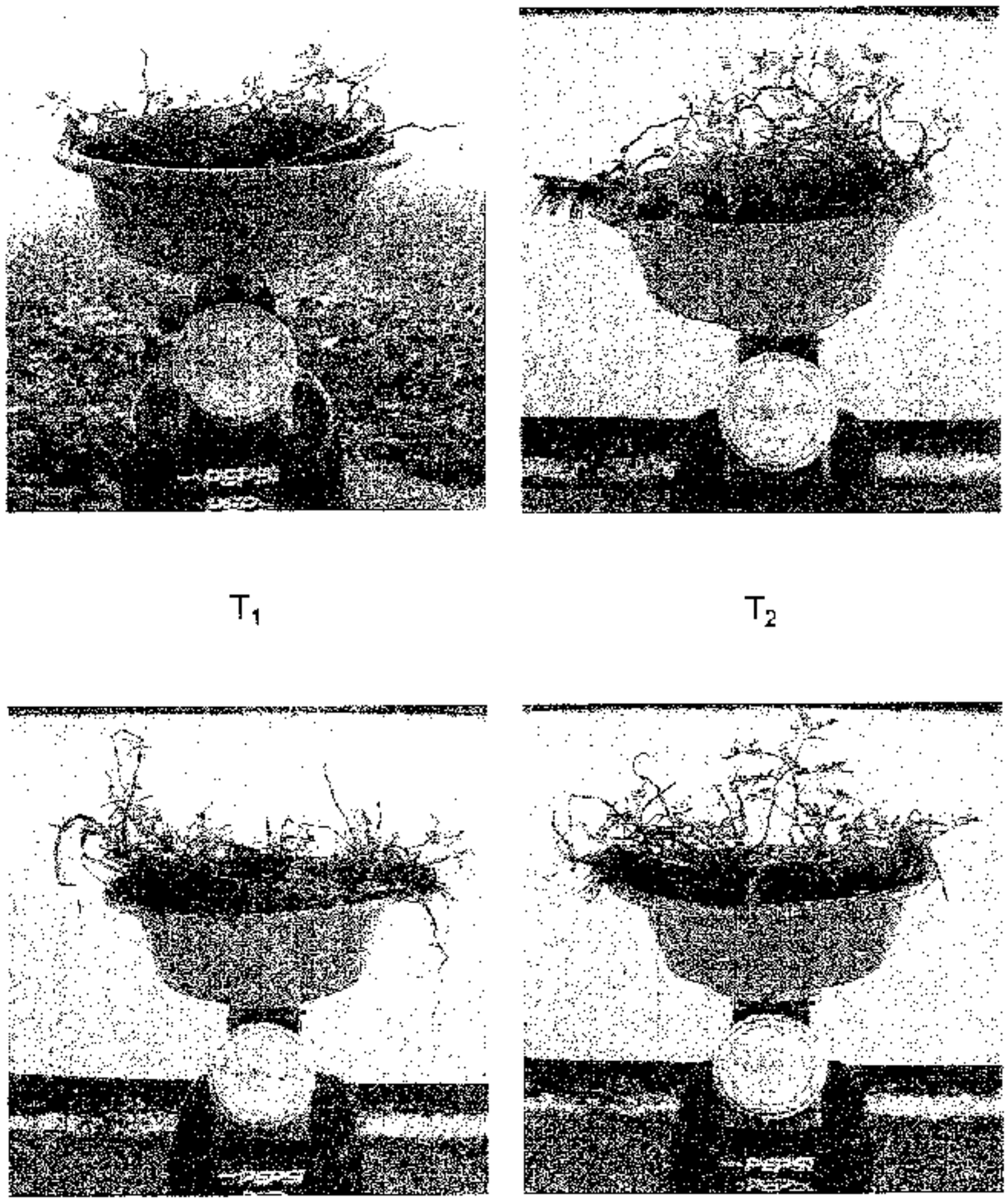
T_2

T_3



T_4

ภาพที่ ค. 9 การเก็บข้อมูลน้ำหนักของผักกระเฉดที่ระยะเวลา 20 วัน



T_1 T_2

T_3 T_4

ภาพที่ ค. 10 การเก็บข้อมูลน้ำหนักของผักกระเฉดที่ระยะเวลา 30 วัน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2536. **ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ.** กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2540.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **น้ำเสียชุมชน และระบบบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กองอาชีวอนามัย. 2529. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98.** กรุงเทพมหานคร: กองอาชีวอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม (Scirpus mucronatus) และผักตบชวา (Eichhomia crassipes). **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.** 9 (มกราคม – มิถุนายน): 14 - 31.

เกษตรกรรม (นามแฝง). มปป. **การเพาะปลูกผักและผลไม้.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2535. **คุณสมบัติ และปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2535. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง.

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. **แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

คณิต ไชยาคำ, สิริ ทุกวิาศ, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, พุทธ ส่องแสงจินดา และดุสิต ตันวิไลย. 2537. **คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ความรู้เบื้องต้นและการวิเคราะห์.** สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง.

เครือเจริญโภคภัณฑ์. 2547. ส่งออกกุ้ง 11 เดือน ปี พ.ศ. 2546. **วารสารข่าวกุ้ง.** 16 (มกราคม): 4.

จรัส แสนจิตต์. 2538. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบ่อผึ่งและบ่อผักบุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จิตติมา วสุสิน. 2539. การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย กรณีศึกษา: น้ำเสียจากศูนย์ศาลายา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

เจนธรรม นำกระบวนยุทธ์. 2542. **คู่มือการปลูกผักสวนครัว เล่ม 1.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์น้ำฝน.

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนินทร์ อัมพรสถิร. 2536. ผลกระทบของการทำนากุ้งต่อคุณภาพน้ำบริเวณป่าชายเลน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2540. ผลกระทบของน้ำทิ้งจากนากุ้งต่อคุณภาพดินและตะกอนดิน บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2534. **คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ.

ชัชชาย แจ่มใส. 2538. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายของวัชพืชน้ำที่จมและลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดวงใจ บุญฑริกรักษา. 2533. ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมของการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งต่อชุมชนประมงในตำบลสนามไชย อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดอกสะแบง (นามแฝง). 2547 (5 มีนาคม). หลังสู้ฟ้าหน้าสู้ดิน. **ไทยรัฐ**: 7.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2531. **ระบบน้ำและของเสียในบ่อกุ้ง.** กรุงเทพมหานคร: ศรีเมืองการพิมพ์.

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ. 2536. **ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2536. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

ทัศนีย์ ฉันทาดิสัย และมุทิตา พัวธรรม. 2532. **การรักษาสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. กรุงเทพมหานคร: กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

ธงชัย ภู่วชิรานนท์. 2526. การสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย. 2543. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ กรณีศึกษา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. สารนิพนธ์ สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ธีระ เกรอด. 2539. **วิศวกรรมน้ำเสีย : การบำบัดทางชีวภาพ.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2535. **การปลูกป่าชายเลน**. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮาส์.

นิรนาม. 2546. คุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้ง. **สิ่งแวดล้อมไทย (Environment Thailand).** 3 (ตุลาคม - พฤศจิกายน): 114.

บุญส่ง สิริกุล, พินิจ สีห์พิทักษ์เกียรติ, สุมาลี ยุกตานนท์ และมะลิ บุณยรัตนผลิน. 2538. **การศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม.** รายงานการอบรมหลักสูตรนักบริหารการพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ระดับสูง รุ่นที่ 11. กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ปั่นปอ (นามแฝง). 2543. เกาะสถานการณ์. **ประมงธุรกิจ.** 1 (กันยายน): 25.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2536. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พจนารถ ปิดิปัญญา. 2543. ผลกระทบภายนอกจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon; Frabricius) ในเขตน้ำจืด : กรณีศึกษาอำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรศรี สุทธนารักษ์. 2536. ผลกระทบของการใช้ยาและสารเคมีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสิ่งแวดล้อม. **วารสารสัตว์น้ำ.** 5 (ธันวาคม): 57 - 63.

พรอุมา ไกรนรา. 2543. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์และคุณสมบัติทางเคมีบางประการในดินพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดที่บำบัดโดยวิธีการตราดพรวน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลาวุธ น้อยเดียง. 2543. การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชริดา เหมมัน. 2543. การศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำและดิน แพลงก์ตอนพืช ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon; Fabricius) ในเขตพื้นที่น้ำจืด จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒนี จันทรโรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 11 (กันยายน – ธันวาคม): 154 - 157.

พุทธ ส่องแสงจินดา, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, ศุภโยค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2533. **ข้อสังเกตเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินบางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2538. **หลักการเลี้ยงกุ้งในระบบปิดและระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาคำ. 2537. **ผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ.** เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 7/2537. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

ยนต์ มุสิก. 2530. **กำลังผลิตชีวภาพในบ่อปลา II.** เอกสารประกอบการสอนวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลือชัย หุ่นศิริ และนิรันดร์ พุดตาน. 2535. **การผลิตปุ๋ยหมักจากดินเลนนากุ้ง.** เอกสารเผยแพร่เลขที่ 3/2535. จันทบุรี: ศูนย์การศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี.

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. 2532. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมะกะสัน กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. 2532. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกับการทำลายสิ่งแวดล้อม. **จุลสารสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มศว. บางแสน.** 2 (เมษายน – มิถุนายน): 16 - 17.

สนิท แก้วอักษร. 2532. **ป่าชายเลน นิเวศวิทยา และการจัดการ.** กรุงเทพมหานคร: คอมพิวเตอร์แอดเวอร์ไทซิ่งค์.

สมเกียรติ ปิยะธีรติวรกุล. 2531. ป่าชายเลน: ทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลาย. **จุลสารสภาวะแวดล้อม**. 5 (กันยายน - ตุลาคม): 25 - 26.

สมลักษณ์ นงนุช. 2543. การศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2540. **รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด.

สุภาพร สุกสีเหลือง. 2538. **การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** กรุงเทพมหานคร: บริษัทพิมพ์ดี จำกัด.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่าวไทยตอนใน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

อนันต์ ตันสุตะพานิช. 2536. **แนวทางการปฏิบัติการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดและระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่.** เพชรบุรี: สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี กรมประมง.

อนันต์ ตันสุตะพานิช. 2538. **การปรับแนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ "ระบบปิดและระบบรีไซเคิล".** เพชรบุรี: สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี กรมประมง.

อนันต์ ตันสุตะพานิช. 2542. **แนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (การเลี้ยงกุ้งระบบรีไซเคิลในมิติที่ประหยัด ลดมลพิษและใช้ทรัพยากรยั่งยืน).** ฉะเชิงเทรา: ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา กรมประมง.

อนันต์ สาระยา. 2528. **การอนุรักษ์ธรรมชาติในประเทศไทยในแง่การพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจ.** กรุงเทพมหานคร: ชุติมาการพิมพ์.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาต โพธิ์สุ. 2537. ทางเลือกใหม่ของการบำบัดน้ำเสีย. **วิศวกรรมสาร.** 47 (กันยายน): 83 - 84.

อภิรดี (นามแฝง). 2525. ปลูกผักกระเฉดไว้เด็ดยอดขาย. **วารสารการเกษตร.** 6(69): 53 - 56.

อรุณี กฤตยานวัช. 2532. แนวทางการพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล. **ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร.** 35 (เมษายน): 9.

อุดม โกสัยสุก. 2542. **การปลูกผักกินใบ.** กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทิพยวิสุทธิ์.

อัจจรียาพร บุญชูสนอง. 2542. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืด: ความยั่งยืนหรือความหายนะ. สารนิพนธ์ สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

Boyd, C.E. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management. **In Proceeding of the special Session on Shrimp farming.** Louisiana: World Aquaculture Society: 166 – 181.

Hajek, B.B. and Boyd, C.E. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. **Aquaculture Engineering.** 13: 115 – 128.

Kadlec, R.H. and Robert L.K. 1996. **Treatment Wetland.** Florida: CRC Press.

Ray, W.M. and Chien ,Y.H. 1992. Effect of stocking density and aged sediment on Tiger prawn, Penaeus monodon, nursery system. **Aquaculture.** 104: 231 - 248.

SAS Institute. 1996. **SAS User's Guide, Version 6.12.** Cary, N.C.: SAS Institute, Incorporate.

Stowell, R., Ludwing , R., Golt , J. and Tchobanoglous, G. 1981. Concepts in Aquatic Treatment System Design. **Journal of Environmental Engineering Division, ASCE.** 107(EE5): 919 - 940.

Carl, Etnier and Björn, Guterstam. 1997. **Ecological Engineering for Wastewater Treatment.** 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

ประวัติผู้ทำวิทยานิพนธ์

ชื่อ – นามสกุล	นางสาว ปิยนุช บุญศิริชัย
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2541