b150620

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ

เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
2549

การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง
จากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ

เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... กรรมการ
(ดร. วิสาขา ภู่จินดา)

อาจารย์ ..... กรรมการ
(ชลิดา เหนี่ยวบุบผา)

อาจารย์ ..... คณบดี
(วิชัย รูปขำดี)
วันที่ 26 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ

ชื่อผู้เขียน : นางสาว เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา : 2549

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงชีวมวลของไข่น้ำ ดุลไนโตรเจน และปริมาณโลหะหนักตกค้างในน้ำและไข่น้ำ ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้รูปแบบการทดลอง 5 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับคุณภาพน้ำ และรูปแบบการทดลอง 4 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับชีวมวลของไข่น้ำ โดยใช้ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม เป็นกลุ่มควบคุม ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน

ผลการศึกษา พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มดีขึ้นตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน ให้ผลในการบำบัดคุณภาพน้ำดีที่สุด แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ให้ผลในการบำบัดคุณภาพน้ำต่ำลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ส่วนความเป็นกรด – ด่าง และความเค็มมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับ สำหรับชีวมวลรวมของไข่น้ำ ที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.2 – 0.6 กิโลกรัม ชีวมวลมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ไข่น้ำเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากที่สุด ส่วนที่ระดับ 0.8 กิโลกรัม ชีวมวลมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ส่วนการศึกษาดุลไนโตรเจน พบว่า มีการสูญเสียไนโตรเจนรวมจากการระเหยและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนและมีการรับเพิ่มมาจากการตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศโดยไข่น้ำและจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ออกจากระบบลดลงในทุกระดับชีวมวล ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ทั้งในน้ำทิ้งและไข่น้ำมีปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

สรุปได้ว่า ไข่น้ำสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้ ถ้ามีอัตราส่วนระหว่างชีวมวลของไข่น้ำและปริมาตรน้ำทิ้งเหมาะสม

ABSTRACT

Title of Thesis	:	A Feasibility Study of Effluent Treatment from Black Tiger Shrimp Pond Using Water Meal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.)
Author	:	Miss Saowanit Phutthilerpong
Degree	:	Master of Science (Environmental Management)
Year	:	2006

The objectives of this study were to find out the effluent quality from Black Tiger Shrimp pond, the relation of Water Meal' s biomass and time used to treat the effluent, the change of Water Meal' s biomass, N – balance and concentration of heavy metals in the effluent and the Water Meal. Completely randomized designs were used in the study by 5 × 3 factorial arrangement with four replications for the water quality's parameters and using 4 × 3 factorial arrangement with four replications for the biomass of Water Meal. The biomasses used in the study were 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 kg. and the times used to treat the effluent were 10, 20 and 30 days. The biomass of 0 kg. was used as a control.

The results illustrated that the effluent's quality tended to increase with increasing of Water Meal' s biomass and time used. The biomass of 0.6 kg. and the treatment time of 30 days were found to be the best condition of this experiment. While the biomass of 0.8 kg. was found the quality decreased when the treatment time increased. The pH and salinity were alike value of every biomass. For the Water Meal' s biomass, the biomasses of 0.2 – 0.6 kg. were increased whereas the biomass of 0.8 kg. was decreased when the times were passed. Biomass of 0.6 kg. and the treatment time of 30 days were found to be the best biomass for Water Meal' s growing and effluent' s quality treated. The N – balance showed that nitrogen in system was loss by volatilization and transformation, while was increased from nitrogen fixation process in atmosphere by the Water Meal and microorganism. Total nitrogen in effluent after the experiment was decreased at all of the biomass levels while total nitrogen in the Water

Meal after experiment was increased. In addition, it was found that concentration of heavy metals in the effluent and the Water Meal was at the standard level.

From this study, it can be concluded that it is viable to use Water Meal to treat the effluent from Black Tiger Shrimp pond if ratio between the Water Meal' s biomass and effluent volume are suitable.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่ช่วยชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัย ให้ความช่วยเหลือ ข้อแนะนำ การตรวจแก้ไขทางวิชาการตลอดจนกำลังใจที่มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อผู้เขียน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสาขา ภู่จินดา และอาจารย์ชลิดา เหนี่ยวบุบผา กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะ และคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษา รวมทั้งตรวจแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ และควบคุมการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ด้วยความเมตตาแก่ผู้เขียน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานระหว่างการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณอนุพันธ์ เสียงใหญ่ เจ้าหน้าที่ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และคุณวุฒิชัย ตวงภัทรพร เจ้าหน้าที่บริษัท ซีเอ็มเอส เทคโนโลยี จำกัด ที่คอยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณปิยนุช บุญศิริชัย ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ การจัดการสิ่งแวดล้อมรุ่น 9 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเลอพงศ์ และคุณแม่วราภรณ์ พุฒิเลอพงศ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษา ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณพี่ชายทั้งสามท่านที่เป็นแบบอย่างที่ดีในการศึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบความดีทั้งหมดแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์

กันยายน 2549

สารบัญ

b15062

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.5 กรอบแนวคิดในการศึกษา	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย	6
2.2 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย	9
2.3 นิยามของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	13
2.4 ของเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	15
2.5 ปัญหาและสาเหตุของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	18
2.6 ผลกระทบด้านคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	22
2.7 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ	26
2.8 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ	33
2.9 ข้อมูลพื้นฐานของไข่น้ำ	37
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา		47
3.1 วัสดุและอุปกรณ์		47
3.2 วิธีการศึกษา		47
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	c4-1	57
4.1 คุณภาพน้ำ		58
4.2 ชีวมวลของไข่น้ำ	c4-2	106
4.3 ดุลไนโตรเจน		115
4.4 ปริมาณโลหะหนัก		133
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		138
5.1 สรุปผลการทดลอง		138
5.2 ข้อเสนอแนะ		146
บรรณานุกรม		148
ภาคผนวก	ap-1	156
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ		157
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช		186
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ		189
ภาคผนวก ง ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล	ap-2	222
ประวัติผู้เขียน		228

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การส่งออกกุ้งของไทย เดือนมกราคม – มิถุนายน ปี พ.ศ. 2547 และ 2548	10
2.2	มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน	12
2.3	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง	13
2.4	มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	15
3.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง	52
3.2	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	53
3.3	วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง	54
3.4	วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในไข่น้ำ	55
4.1	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง	57
4.2	คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	65
4.3	คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน	80
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของระดับชีวมวลของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน	97
4.5	ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่แตกต่างกัน	107
4.6	ชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ	109
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ	112
4.8	ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำและในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง	115
4.9	ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง	116

4.10	ปริมาตรน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง	116
4.11	ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง	117
4.12	ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนและหลังการทดลอง	117
4.13	ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน	118
4.14	เปรียบเทียบดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของแต่ละหน่วยทดลอง	127
4.15	มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง	133
4.16	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง	135
4.17	ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในไข่น้ำ	136
4.18	มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน	137

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนภาพกรอบแนวคิดในการศึกษา	4
3.1	รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ	48
3.2	รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาชีวมวลของไข่น้ำ	48
3.3	ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลองในโรงเรือนทดลอง	50
4.1	ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	66
4.2	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	67
4.3	ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	68
4.4	ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	69
4.5	ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	70
4.6	ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	71
4.7	ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	72
4.8	ความเค็มในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	73
4.9	ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	81
4.10	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	82
4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	83

4.12	ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	84
4.13	ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	85
4.14	ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	86
4.15	ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	87
4.16	ความเค็มในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน	88
4.17	ปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	98
4.18	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	99
4.19	ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	100
4.20	ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	101
4.21	ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	102
4.22	ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	103
4.23	ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	104
4.24	ความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน	105
4.25	ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน	108
4.26	ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ	110
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ	113
4.28	ชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ก่อนการทดลอง	114
4.29	ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_0	119

4.30	ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_1	120
4.31	ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_2	121
4.32	ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_3	122
4.33	ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_4	123
4.34	ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	128
4.35	ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	129
4.36	ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือการระเหยหรือการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	130
4.37	ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	131
4.38	ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	132

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กุ้งกุลาดำ (Giant Tiger Shrimp) จัดเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีธุรกิจรองรับในการผลิตเพื่อส่งเป็นสินค้าออกสู่ตลาดต่างประเทศปริมาณมากคิดเป็นมูลค่าสูงสุดในประเภทสัตว์น้ำด้วยกันในแต่ละปี นับเป็นเงินตรามูลค่ามหาศาลที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและประเทศไทย จึงเป็นเหตุจูงใจให้เกษตรกรหันมาประกอบอาชีพเลี้ยงกุ้งกุลาดำเพิ่มขึ้นพร้อมกับการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงกุ้งที่ดียิ่งขึ้น ทำให้พื้นที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยจากเดิมที่เลี้ยงเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลมาตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2490 ได้เกิดการขยายพื้นที่เลี้ยงไปยังบริเวณพื้นที่น้ำกร่อย และพื้นที่น้ำจืดในลำดับต่อมา โดยพื้นที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยปี พ.ศ. 2528 มีพื้นที่ประมาณ 254,805 ไร่ (พัชริดา เหมมัน, 2543: 12) จากนั้นพื้นที่ได้เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 464,881 ไร่ ในปี พ.ศ. 2545 (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548: 46)

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก กุ้งกุลาดำมีราคาดี สร้างผลกำไรแก่ผู้เลี้ยงมากกว่าการทำการเกษตรประเภทอื่น อีกทั้งกุ้งกุลาดำเป็นสัตว์น้ำอยู่ในกลุ่ม Euryhaline ทำให้ร่างกายสามารถปรับตัวอยู่ในความเค็มได้ตั้งแต่ 5 – 30 ส่วนในล้านส่วน (ppt) หรือแม้กระทั่งน้ำที่เกือบจืดสนิทได้ (ยนต์ มุสิก, 2530: 3) และยังพบปัญหาเรื่องโรคน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงในน้ำเค็มปกติ ความเค็มของน้ำที่เลี้ยงในระดับต่ำ 0 – 10 ppt ทำให้เชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคทั้งในสัตว์น้ำจืดและสัตว์น้ำเค็มเจริญได้ไม่ดี ดังนั้น การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบนี้จึงไม่เกิดปัญหาโรคติดเชื้อจากวิบริโอ (ธนิฏฐา จงพีร์เพียร์, 2542: 2, 16) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคเรืองแสง ที่มีสาเหตุมาจากแบคทีเรีย *Vibrio harveyi* ที่พบได้ทั่วไปในน้ำที่มีความเค็มตั้งแต่ 10 ppt ขึ้นไป โดยระดับความเค็มที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 20 – 40 ppt นอกจากนี้ยังพบว่าโอกาสที่จะเกิดโรคหัวเหลืองก็มีน้อยเช่นกัน ส่วนโรคตัวแดงดวงขาวมีรายงานการสูญเสียบ้างในช่วงปลายปีต่อกับต้นปี เนื่องจากไวรัสชนิดนี้ติดต่อมากับลูกกุ้ง แต่ความรุนแรงก็น้อยกว่าการเลี้ยงบริเวณริมฝั่งทะเลที่น้ำมีความเค็มสูง (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2541: 1)

จากการขยายตัวของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืด การพัฒนารูปแบบการเลี้ยงจากเดิมที่เป็นการเลี้ยงแบบธรรมชาติได้พัฒนาเป็นแบบกึ่งธรรมชาติ จนในปัจจุบันได้ปรับปรุงเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาที่นำเอาเทคนิคการเลี้ยงแบบสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ ซึ่งการเลี้ยงแบบพัฒนานี้หากไม่มีระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ถูกต้องและเหมาะสมจะนำไปสู่ปัญหาด้านต่าง ๆ ติดตามมามากมาย โดยปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนและนับวันได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นและส่งผลกระทบแผ่ขยายเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะที่สำคัญ คือ ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งคุณภาพของน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของมลสารที่เจือปนอยู่ในน้ำที่อาจเกิดขึ้นมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตกุ้ง ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมบ่อ ขั้นตอนการเลี้ยง ขั้นตอนการจับกุ้ง และขั้นตอนการทำความสะอาดบ่อ แต่ส่วนมากน้ำทิ้งเกิดขึ้นมาจากสามขั้นตอนหลังเป็นหลัก (ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 2) และมีการปนเปื้อนไปด้วยสารอินทรีย์ เศษอาหาร ตะกอนดิน และแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก ซึ่งน้ำทิ้งดังกล่าวนั้นจะถูกปล่อยระบายลงสู่คลองน้ำทิ้งภายในฟาร์ม และ/หรือแหล่งน้ำสาธารณะที่มักจะพบพืชน้ำปกคลุมอยู่ตามเส้นทางน้ำเหล่านั้น ทั้งนี้ พืชน้ำโดยทั่ว ๆ ไป อาทิเช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด ไข่น้ำ เป็นต้น มีความต้องการสารอาหารจากอินทรีย์วัตถุมากสำหรับการเจริญเติบโต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าพืชน้ำได้ใช้อินทรียสารจากน้ำทิ้งเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตของพืช อันมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นได้ในทางอ้อมจนเกษตรกรสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ ซึ่งจะเป็นไปตามรูปแบบการเลี้ยงกุ้งในระบบปิดแบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมทั้งเกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวพืชน้ำและสัตว์น้ำไปจำหน่ายเพิ่มรายได้ได้อีกช่องทางหนึ่งด้วย

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงได้เกิดแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ เนื่องจาก ไข่น้ำเป็นพืชน้ำที่ขึ้นอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าผักบุ้งไทยและฐูปฤาษี สามารถเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโปรตีน มนุษย์จึงนิยมนำมารับประทานเป็นอาหาร ผลิตเป็นอาหารเสริม และผลิตเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ การบำบัดน้ำทิ้งด้วยพืชน้ำถือได้ว่าเป็นการบำบัดน้ำทิ้งโดยวิธีธรรมชาติประเภทหนึ่งที่นำเอาจุดเด่นของธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมีศักยภาพ อาศัยหลักความสมดุลของธรรมชาติในการบำบัดธรรมชาติด้วยกันเอง เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งเป็นไปตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เกษตรกรสามารถน้อมนำเอาแนวพระราชดำริไปทำความเข้าใจและลงมือปฏิบัติได้ง่าย ทั้งยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งได้อีกทางหนึ่ง โดยคาดว่าผลการศึกษาที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนจัดการน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำให้เกิดความมั่นใจและเกิดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมทั้งเป็นแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระยะยาวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไข่น้ำบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนและหลังการทดลอง

1.2.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของไข่น้ำ และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.2.2.3 เพื่อศึกษาดุลไนโตรเจนภายหลังการทดลอง

1.2.2.4 เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียมที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและไข่น้ำก่อนการทดลองและหลังการทดลอง (แต่ในกรณีที่ก่อนการทดลองตรวจไม่พบปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งหรือพบแต่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หลังการทดลองก็จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้งและไข่น้ำ)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ไข่น้ำสามารถใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไข่น้ำที่ปราศจากสารตกค้างไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคหรือจำหน่ายต่อไปได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและเติมน้ำตลอดการเลี้ยงในเขตพื้นที่น้ำจืด อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี

1.4.2 ไข่น้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ ไข่น้ำพันธุ์ Water Meal : *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

1.4.3 ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง คือ ภาชนะพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 63 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 24 เซนติเมตร

1.4.4 สถานที่ทำการทดลอง คือ โรงเรือนทดลองที่สร้างขึ้นบริเวณพุทธมณฑลสาย 2 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

1.5 กรอบแนวคิดในการศึกษา

1.5.1 ตัวแปรอิสระ

1.5.1.1 ระดับชีวมวลของไข่น้ำ

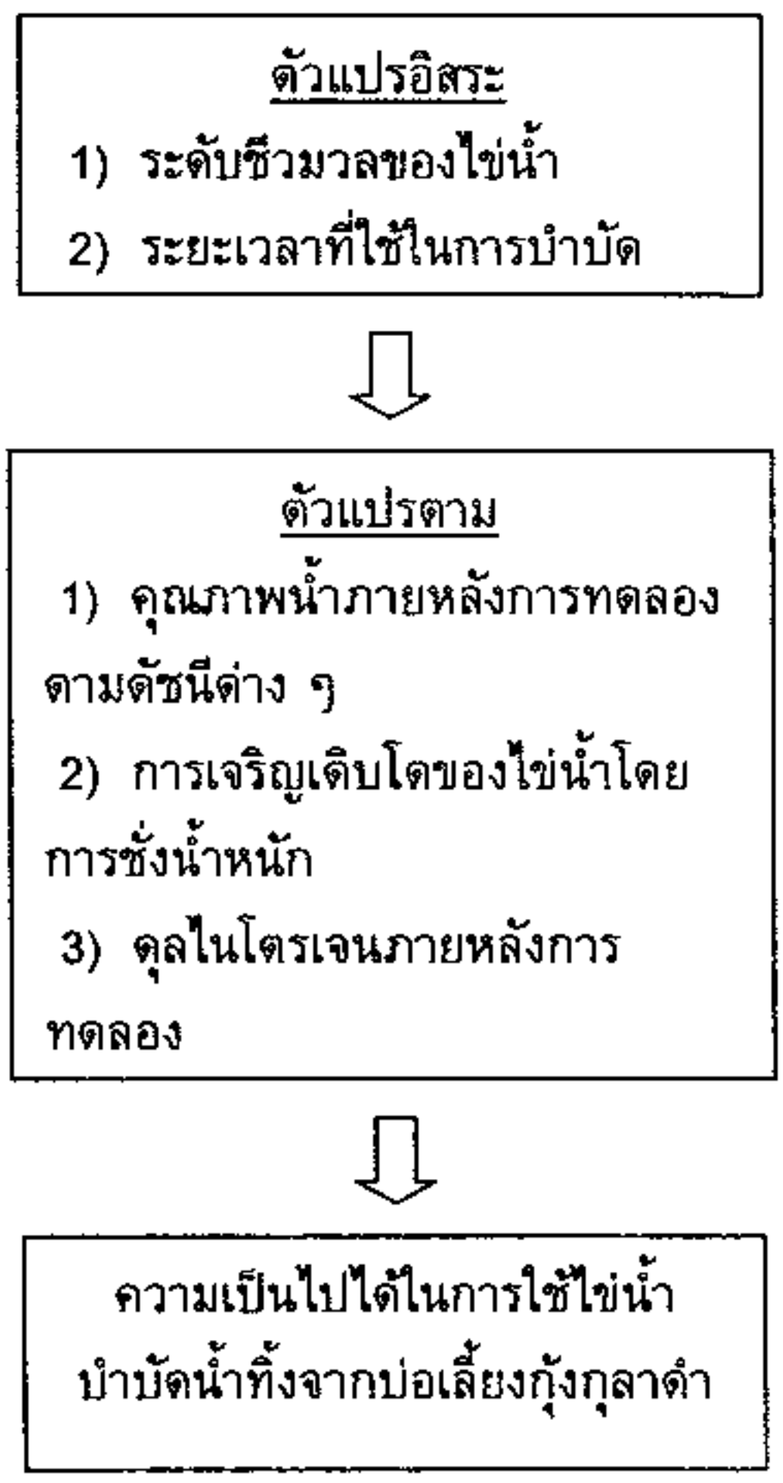
1.5.1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด

1.5.2 ตัวแปรตาม

1.5.2.1 คุณภาพน้ำภายหลังการทดลองตามดัชนีต่าง ๆ

1.5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำ 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 วัน

1.5.2.3 ดุลไนโตรเจน (N – balance) ภายหลังการทดลอง



ภาพที่ 1.1 แผนภาพกรอบแนวคิดในการศึกษา

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและไข่น้ำ

1.6.2 ทราบถึงปริมาณมวลของไข่น้ำที่เหมาะสมในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.6.3 ทราบถึงดุลไนโตรเจนระหว่างน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ไข่น้ำ และในบรรยากาศภายหลังการทดลอง

1.6.4 เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำพืชน้ำชนิดอื่นมาใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1.6.5 สามารถลดปริมาณและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

1.6.6 เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งจากการนำไข่น้ำที่เจริญเติบโตและปราศจากสารตกค้างไปจำหน่าย

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

ประเทศไทยนับเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เนื่องจากมีพื้นที่ชายฝั่งที่เหมาะสมเป็นจำนวนมาก มีอากาศอบอุ่นตลอดปี ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เหล่านี้ได้เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ประกอบกับมีแรงงานราคาถูกรวมทั้งวัตถุดิบที่ทำอาหารกุ้งมากเพียงพอและราคาถูกเช่นกัน (ประพันธ์ ธารบุปผา และคณะ, 2530: 49) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 เป็นต้นมา ประเทศไทยจึงได้ชื่อว่าเป็นประเทศส่งออกกุ้งกุลาดำเป็นอันดับหนึ่งของโลก และรายได้จากการส่งออกกุ้งแช่แข็งให้กับประเทศต่าง ๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และแถบเอเชีย คิดเป็นมูลค่าหลายหมื่นล้านบาท และส่วนใหญ่กุ้งกุลาดำที่ส่งขายเป็นกุ้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง เนื่องจากปริมาณกุ้งกุลาดำที่จับได้จากทะเลนับวันจะยิ่งมีปริมาณลดน้อยลง การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงเข้ามามีบทบาทความสำคัญมากยิ่งขึ้น ซึ่งพื้นที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยปี พ.ศ. 2541 มีประมาณ 600,000 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณชายฝั่งทะเล 400,000 ไร่ หรือเท่ากับร้อยละ 16 ของพื้นที่ทั้งประเทศ พื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณเขตน้ำกร่อยหรือพื้นที่ที่น้ำทะเลขึ้นถึงบางฤดูกาลประมาณ 130,000 ไร่ หรือเท่ากับร้อยละ 22 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และพื้นที่เพาะเลี้ยงบริเวณเขตน้ำจืดประมาณ 70,000 ไร่ หรือเท่ากับร้อยละ 12 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 24)

2.1.1 ประเภทของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490 จนถึงปัจจุบัน โดยในช่วงเริ่มต้นมีการเลี้ยงแบบธรรมชาติและพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ มาเป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา และในปัจจุบันเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (พจนารถ ปิติปัญญา, 2543: 14; พายัพ ยังปักษี, 2544: 3 – 4) ซึ่งวิธีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การเลี้ยงแบบดั้งเดิมหรือแบบธรรมชาติ (Extensive System) เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม ใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ขนาดของบ่อส่วนใหญ่จะมากกว่า 25 ไร่ขึ้นไป ระดับน้ำไม่ลึก

มากโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 50 เซนติเมตร ใช้พันธุ์กุ้งจากธรรมชาติที่เข้ามากับน้ำทะเลในขณะที่สูบน้ำเข้าบ่อ ไม่มีการจัดการภายในฟาร์ม ไม่มีการให้อาหารสมทบ

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi – intensive System) เป็นการเลี้ยงกุ้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการเลี้ยงแบบธรรมชาติแต่มีการปรับปรุงรูปแบบบ่อ ซึ่งขนาดของบ่อโดยเฉลี่ยประมาณ 10 – 25 ไร่ ความลึกประมาณ 60 – 70 เซนติเมตร นำพันธุ์กุ้งที่ได้จากโรงเพาะฟักลงปล่อยเสริมในอัตราน้อยกว่า 40,000 ตัวต่อไร่ การจัดการเลี้ยงมีการให้อาหารสมทบวันละ 2 – 3 ครั้ง แต่ไม่มีการใช้เครื่องตีน้ำ ยา และสารเคมีในการเลี้ยง ผลผลิตที่ได้สูงกว่าการเลี้ยงแบบธรรมชาติ

3. การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (Intensive System) เป็นการเลี้ยงกุ้งแบบระบบหนาแน่นที่ใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่ทันสมัย จะนำพันธุ์กุ้งจากโรงเพาะฟักมาเลี้ยงอย่างเดียว โดยจะปล่อยลูกกุ้งในอัตรา 15 – 30 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 48,000 ตัวต่อไร่ มีการจัดการในบ่อโดยมีการให้อาหารสดและอาหารสำเร็จรูปวันละ 4 – 6 มื้อ และมีการใช้เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนอย่างเพียงพอ ใช้ยาและสารเคมี สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยงจะน้อยกว่ารูปแบบการเลี้ยงแบบธรรมชาติและแบบกึ่งพัฒนา คือ ประมาณ 1 – 10 ไร่ แต่จะให้ผลผลิตสูงกว่า และต้นทุนจะมากกว่า

2.1.2 ระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาสามารถแบ่งระบบการจัดการเลี้ยงตามลักษณะการใช้น้ำออกเป็น 3 ระบบ (อนันต์ ดันสุดะพานิช, 2538: 1; พายัพ ยังปักษี, 2544: 4 – 5) ดังนี้

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

2. การเลี้ยงกุ้งระบบปิด (Closed Water System) หมายถึง การเลี้ยงกุ้งโดยการใช้กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในการควบคุมรักษาคุณภาพน้ำและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ภายในบ่อระหว่างการเลี้ยงให้อยู่ในสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการเติมน้ำทดแทนน้ำส่วนที่ระเหย รั่วซึม และส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ

3. การเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Water System) หมายถึง การเลี้ยงโดยการใช้กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในการปรับเปลี่ยนน้ำเสีย ของเสีย หรือสิ่งปฏิกูล ให้กลับกลายเป็นวัสดุต้นทุนหรือเป็นสิ่งของที่มีทั้งประโยชน์ คุณค่า และราคาให้หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ต่อเนื่องกันไปเป็นลูกโซ่ครบวงจร อาทิ

เช่น การฟื้นฟูตะกอนเลนและน้ำให้กลับคืนสู่ภาวะปกติสมดุล และเกิดสายใยอาหารธรรมชาติคืนสภาพกลับไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัยและใช้ประโยชน์หลักสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งและสัตว์น้ำอื่น ๆ ควบคู่กับการปลูกพืชได้ซ้ำแล้วซ้ำอีกต่อเนื่องภายในฟาร์มโดยไม่ต้องดากบ่อ ไม่ต้องนำตะกอนเลนออกจากบ่อ ไม่ต้องทิ้งน้ำออกจากฟาร์มทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการเลี้ยง

สำหรับการเลี้ยงกุ้งระบบปิดและระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการอิงสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มเป็นหลัก และช่วยลดอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้ง เช่น น้ำเสีย โรคระบาด

2.1.3 การเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดมีผลอันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงที่อาจส่งผลทำให้กุ้งเกิดโรคได้ถ้าหากมีการนำน้ำเข้าบ่อโดยตรงเช่นเดียวกับการเลี้ยงระบบเปิด ดังนั้น จึงเกิดแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ด้วยการนำวิธีการในการจัดการน้ำภายในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เลี้ยงในระบบปิดมาใช้ ซึ่งมีวิธีการเติมน้ำในระบบนี้ 2 วิธี โดยแบ่งออกเป็นหลายลักษณะตามความจำเป็นของแต่ละพื้นที่ (พจนารถ ปิติปัญญา, 2543: 15) ได้แก่

1. การเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำและเติมน้ำตลอดการเลี้ยง คือ เป็นการเลี้ยงน้ำเดียวตลอดการเลี้ยงไม่มีการถ่ายน้ำและไม่เติมน้ำเพื่อทดแทนปริมาณน้ำที่หายไป ซึ่งการเลี้ยงในลักษณะนี้จะต้องเป็นการเลี้ยงช่วงหน้าฝน เพราะจะมีฝนตกลงมาเติมเพื่อช่วยเจือจางความเค็ม

2. การเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำแต่จะมีการเติมน้ำเพื่อทดแทนส่วนที่หายไป ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นการเลี้ยงในช่วงหน้าแล้ง

การเลี้ยงกุ้งระบบปิดนี้สามารถพัฒนาเป็นการเลี้ยงกุ้งแบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถือได้ว่าเป็นระบบการเลี้ยงกุ้งแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยจะมีการนำน้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงกลับมาเข้าขบวนการปรับปรุงแล้วนำกลับมาใช้อีก โดยสร้างบ่อต่าง ๆ ให้น้ำผ่านไปเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ก่อนนำกลับมาเลี้ยงกุ้งอีกครั้ง (สุภาพร สุกสีเหลือง, 2538: 207) บทบาทของแต่ละบ่อที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง มีดังนี้

1. บ่อฆ่าเชื้อ น้ำที่ใช้เลี้ยงและน้ำใหม่ที่ทดแทน จะนำไปบำบัดโดยการเติมคลอรีนทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลอดเชื้อ

2. บ่อดกตะกอน น้ำที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งมาแล้วมักเต็มไปด้วยอาหารและสารอินทรีย์ซึ่งสามารถลดได้โดยการตกตะกอน ก่อนนำไปเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลา

3. บ่อเลี้ยงปลา สัตว์น้ำที่เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นปลานิล หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสารอินทรีย์โดยการกรองของปลาและหอย

4. บ่อจุลินทรีย์ ในบ่อจะมีแบคทีเรียที่ใช้ในโตรเจนเป็นอาหาร ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย

5. บ่อสาหร่าย เมื่อแบคทีเรียในบ่อจุลินทรีย์เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมของไนเดรท ซึ่งจะถูกกำจัดโดยการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

6. คลองส่งน้ำ น้ำที่ได้จากการบำบัดแล้วจะเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งทางคลองส่งน้ำ เพื่อทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งหมุนเวียนตลอดเวลา

7. บ่อเลี้ยงกุ้ง แต่ละบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีท่อส่งน้ำเข้ามาจากคลองส่งน้ำ และจะมีท่อน้ำออกเพื่อส่งน้ำทิ้งต่อไป ซึ่งภายในบ่อเลี้ยงกุ้งต้องมีเครื่องตีน้ำด้วย

2.2 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

จากปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งประมาณ 480,881 ไร่ ถัดมาในปี พ.ศ. 2545 พื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งลดลงเหลือประมาณ 464,881 ไร่ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548: 46) ประกอบกับในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้รับความเสียหายจากภัยธรรมชาติสึนามิส่งผลให้ลูกกุ้งคุณภาพดีหายไปส่วนหนึ่ง จึงต้องนำลูกกุ้งจากส่วนอื่นที่มีคุณภาพไม่ดีพอมาทดแทน รวมทั้งมีการใช้ยาและสารเคมีที่มากเกินความจำเป็นจนทำให้เกิดสารตกค้างทั้งในกุ้งและสิ่งแวดล้อม ทำให้ผลผลิตลดลง ส่งผลให้กุ้งมีราคาสูงขึ้น (สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย, 2548: 3) จากรายงานข้อมูลการส่งออกกุ้งของประเทศไทยไปต่างประเทศในช่วงครึ่งปีแรก พ.ศ. 2548 (เดือนมกราคม – มิถุนายน ปี พ.ศ. 2548) โดยกรมศุลกากร สรุปได้ว่า มีปริมาณการส่งออกกุ้งรวม 107,987 ตัน คิดเป็นมูลค่า 26,931 ล้านบาท เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันในปี พ.ศ. 2547 ที่มีปริมาณการส่งออกกุ้งรวม 101,015 ตัน คิดเป็นมูลค่า 27,044 ล้านบาท พบว่า มีความแตกต่างในด้านปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.85 สำหรับด้านมูลค่าลดลงร้อยละ 0.42 (เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2548 ก: 4) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การส่งออกกุ้งของไทย เดือนมกราคม – มิถุนายน ปี พ.ศ. 2547 และ 2548

หน่วย : ปริมาณ – ตัน, มูลค่า – ล้านบาท

ประเทศ / กลุ่มประเทศ	ม.ค. – มิ.ย. 2547		ม.ค. – มิ.ย. 2548		แตกต่าง (ร้อยละ)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
เอเชีย	34,398.00	10,162.00	34,862.00	9,535.00	+ 1.35	- 6.17
- จีน	1,450.00	339.00	2,062.00	348.00	+ 42.21	+ 2.65
- ญี่ปุ่น	20,884.00	7,196.00	21,279.00	6,756.00	+ 1.89	- 6.11
- อื่น ๆ	12,064.00	2,627.00	11,521.00	2,431.00	- 4.50	- 7.46
สหรัฐอเมริกา	53,336.00	13,518.00	56,558.00	13,430.00	+ 6.04	- 0.65
กลุ่มอียู	3,168.00	824.00	3,365.00	849.00	+ 6.22	+ 3.03
ออสเตรเลีย	3,022.00	734.00	4,220.00	954.00	+ 39.64	+ 29.97
อื่น ๆ	7,091.00	1,806.00	8,932.00	2,163.00	+ 25.96	+ 19.77
รวมทั้งหมด	**101,015.00**	**27,044.00**	**107,937.00**	**26,931.00**	**+ 6.85**	**- 0.42**

แหล่งที่มา : เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2548 ก: 4

ตลาดโลกในปัจจุบันยังคงมีความต้องการกุ้งกุลาดำสูงเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี เกษตรกรจึงได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้พัฒนาระบบการเลี้ยง ผลจากการพัฒนาทำให้มีผลตอบแทนเฉลี่ยต่อพื้นที่สูงเมื่อเทียบกับการทำการเกษตรประเภทอื่น ๆ จึงทำให้เกิดการขยายพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งกลาดำโดยการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อทำนากุ้งบริเวณชายฝั่งทะเล ในเวลาต่อมา เมื่อการเลี้ยงได้เกิดการขยายตัวมากยิ่งขึ้นทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว เกิดโรคระบาดตามมาส่งผลให้ผลผลิตที่เกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควร จากนั้นการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงได้ขยายพื้นที่การเลี้ยงเข้าสู่บริเวณเขตน้ำกร่อยและบริเวณเขตน้ำจืด ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตน้ำจืดบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 25) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษในดิน เป็นต้น โดยมีสาเหตุมาจากน้ำและตะกอนเลนที่ปล่อยทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยง เนื่องจาก เกษตรกรขาดความรู้ความเข้าใจในการจัดการที่ดี และสิ่งสำคัญยิ่ง คือ ขาดความตระหนักต่อความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาความขัดแย้งทางสังคมและทางวิชาการ ตลอดจนปัญหาการใช้ทรัพยากรน้ำและที่ดินในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางจนกระทั่งเกิดปัญหาด้านเศรษฐกิจร่วมด้วย

ผลกระทบที่เกิดขึ้นด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญยิ่งที่ภาครัฐต้องเข้ามาจัดการแก้ไข ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น รวมถึงการหามาตรการป้องกันและลดผลกระทบที่เกิดขึ้นให้บรรเทาเบาบางลง โดยกรมประมงซึ่งเป็นหนึ่งในหน่วยงานหลักที่เกี่ยวข้องจึงได้ออกประกาศให้ผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำมาจดทะเบียนและขออนุญาตตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2534 โดยผู้เลี้ยงกุ้งจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไข คือ น้ำที่ปล่อยทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต้องมีค่าบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องไม่ทิ้งปล่อยหรือไล่เลนจากพื้นที่เลี้ยงกุ้งลงในที่สาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ และต้องไม่ปล่อยน้ำเค็มหรือกระทำการใด ๆ จนเป็นเหตุให้น้ำเค็มจากพื้นที่เลี้ยงกุ้งซึมหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำจืดสาธารณะหรือพื้นที่เกษตรอื่น ๆ และกำหนดให้ผู้เลี้ยงกุ้งที่ฟาร์มขนาดใหญ่กว่า 50 ไร่ มีพื้นที่บำบัดน้ำเสียไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 (คณิต ไชยาคำ และคณะ, 2537: 23 – 24)

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานการผลิตและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้น ภายใต้การดำเนินการของกรมประมงที่ได้กำหนดมาตรฐานไว้ 2 แนวทาง คือ แนวทางในการจัดการเพาะเลี้ยงกุ้งที่ดี หรือ Good Aquaculture Practice (GAP) หมายถึง ฟาร์มที่มีกระบวนการผลิตกุ้งทะเลอย่างมีคุณภาพ ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ถูกสุขอนามัย ไม่มีสารเคมีตกค้างในเนื้อกุ้ง และแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อการเพาะเลี้ยงกุ้งอย่างยั่งยืน หรือ Code of Conduct (CoC) เป็นมาตรฐานด้านคุณภาพและการรับรองการผลิตอย่างครบวงจร ตั้งแต่บ่อเลี้ยงจนถึงผู้บริโภค และมีบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งส่วนมากจะเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ จนนำไปสู่ระบบ Biosecure System หรือเทคโนโลยีการเลี้ยงกุ้งในระบบโรงเรือนปิดที่เน้นการควบคุมและจัดการเพื่อป้องกันมิให้โรคและพาหะนำโรคกุ้งทุกชนิดเล็ดลอดเข้าสู่ระบบการเลี้ยง รวมทั้งยังต้องคำนึงถึงระบบการจัดการฟาร์มกุ้งแบบปลอดสาร ที่เรียกว่า Probiotic Farming โดยเน้นการจัดการสภาพแวดล้อมภายในบ่อกุ้งให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นมิตรต่อกุ้ง เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันและป้องกันไม่ให้เกิดโรคต่อกุ้ง (ดอกสะแบง, 2547: 7; เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2548 ข: 1) รวมถึงกองควบคุมอาหาร (2549: 1) ภายใต้สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. (2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เพื่อควบคุมมิให้ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่นำมาจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่ายมีการปนเปื้อนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเดียวกันและเพื่อให้เกิดสุขอนามัยและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ดัชนีสารปนเปื้อน	ปริมาณการปนเปื้อน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
1. โลหะหนัก	
1.1 ดีบุก	≯ 250
1.2 สังกะสี	≯ 100
1.3 ทองแดง	≯ 20
1.4 ตะกั่ว	≯ 1.00
1.5 สารหนู	≯ 2.00
1.6 ปรอท	≯ 0.50
2. อัฟฟล่าท็อกซิน	≯ 0.02

แหล่งที่มา : กองควบคุมอาหาร, 2549: 1

นอกจากนี้ ยังได้มีการนำมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์มาใช้ โดยได้ดำเนินการให้การรับรองโรงงานผลิตอาหารกุ้งอินทรีย์ ฟาร์มเลี้ยงกุ้งอินทรีย์ โรงงานแปรรูปกุ้งอินทรีย์ และรับรองผลิตภัณฑ์อินทรีย์ของภาคเอกชนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 โดยมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ของประเทศไทยครอบคลุมขั้นตอนการผลิตในระดับฟาร์ม การเก็บเกี่ยวผลผลิต การขนส่ง การแปรรูป การแสดงฉลาก ของสัตว์น้ำทุกชนิดตลอดจนความรับผิดชอบต่อสังคม เพื่อให้ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ประมงอินทรีย์ที่ปลอดภัย เหมาะสมต่อการบริโภค สอดคล้องกับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์สากล รวมทั้งเพื่อเป็นการป้องกันและลดผลกระทบจากน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ระบายสู่สิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษจึงได้ทำการศึกษาและได้กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2547) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยมาตรฐานดังกล่าวได้กำหนดขึ้นเพื่อใช้ควบคุมผู้ประกอบการที่มีบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีพื้นที่บ่อตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไป

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

คุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรด – ด่าง	6.50 – 9.00
2. บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	20
3. สารแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	70
4. แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	1.10
5. ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)	0.40
6. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.01
7. ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	4.00

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9

2.3 นิยามของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

2.3.1 คำจำกัดความของน้ำทิ้ง

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524: 284 – 285) กล่าวว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การชำระร่างกาย การขับถ่ายของเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการทำเกษตรกรรม เป็นต้น ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งหรือความสกปรกของน้ำทิ้งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540: 5 – 1) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป น้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเหม็นหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2544 ก: 16) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

2.3.2 แหล่งกำเนิดน้ำทิ้ง

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต (2538: 119, 139 – 140) แบ่งแหล่งกำเนิดน้ำเสียออกเป็น 3 ประเภท ตามที่มาของน้ำเสีย ดังนี้

1. แหล่งชุมชนและที่พักอาศัย (Domestic Wastewater)
2. แหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)
3. แหล่งเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater)

โดยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจัดอยู่ในประเภทน้ำเสียจากแหล่งเกษตรกรรม ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งนี้เป็นน้ำเสียที่ไม่มีแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Non – point Source) อันเกิดจากการวิวัฒนาการในด้านการเกษตร เพราะการทำเกษตรกรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการชลประทานและเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืช เช่น การใช้ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อเป็นธาตุอาหารของพืช และการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช ซึ่งจะมีบางส่วนติดตามใบ บางส่วนตกลงไปบนพื้นดิน เมื่อฝนตกจะถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเมื่อมีการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แหล่งน้ำมีธาตุอาหารมากเกินไป ทำให้เกิดการแพร่พันธุ์ของสาหร่ายสีเขียวและก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ ที่เรียกว่า Eutrophication และเมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายไปจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทำให้แหล่งน้ำนั้นสกปรก เน่าเสีย ซึ่งมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้

2.3.3 คำจำกัดความน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง หมายถึง น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้งและถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยคุณสมบัติบางอย่างของน้ำได้เปลี่ยนไปทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมวลน้ำที่ปล่อยออกมาอาจจะมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ ทั้งนี้กรมประมงได้ประกาศค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ซึ่งน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 18) คือ

1. ตะกอนเลนหรือดินเลน
2. น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำ ประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษโลหะหนัก ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอร์มาลิน และยาออกซีเตตร้าซัยคลิน เป็นต้น และอื่น ๆ

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คุณภาพน้ำ	ปริมาณที่เหมาะสม
1. บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	< 4.00
2. ตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	25.00 – 80.00
3. ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.10
4. ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.010 – 0.500
5. แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.02
6. ความเป็นกรด – ด่าง	7.50 – 8.50
7. ความเค็ม (ppt)	15.00 – 30.00

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

2.4 ของเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

2.4.1 ส่วนประกอบของเสียจากการเลี้ยงกุ้ง

ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำของเกษตรกรจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ดินเลนหรือตะกอนเลน และน้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535: 18 – 20) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ดินเลนหรือตะกอนเลน (Shrimp Pond Mud) บ่อเลี้ยงกุ้งจะมีเลนซึ่งเกิดจากเนื้อดินเล็กที่ละเอียด ทั้งที่มากับน้ำภายนอกและจากภายในบ่อเอง กุ้งที่นอนไม่หลับจะเคลื่อนไหวเอาขาคุ้ยพื้นบ่อตลอดเวลาทำให้ดินหลุดออกมาเป็นชิ้นละเอียด ถ้ามีเฉพาะเนื้อดินเป็นองค์ประกอบสำคัญก็ไม่น่าจะมีปัญหาเพราะเนื้อดินไม่เน่าเสีย แต่สิ่งที่ตกลงมาสมทบกับเนื้อดินละเอียดก้นบ่อและกลายเป็นต้นเหตุของการเน่าเสียของพื้นบ่อ คือ เศษอาหารกุ้งที่เหลือทุกวัน ขี้กุ้งที่ถูกขับถ่ายออกมา และอาจมีซากของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตกลงมาปะปนด้วย

2. น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Shrimp Pond Effluent) น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษ ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอร์มาลิน และออกซีเตตร้าซัยคลิน เป็นต้น โดยน้ำที่ปล่อยออกมาอาจมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติได้

โดยส่วนใหญ่ของเสียที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารอินทรีย์ในปริมาณมาก ซึ่งของเสียเหล่านี้จะอุดมไปด้วยอินทรียสารที่เกิดจากอาหารที่เหลือและขี้กุ้ง ตลอดจนสิ่งมีชีวิตพวกแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) และแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) ซึ่งปะปนออกมาในรูปของเลนจากบ่อกุ้ง (ลือชัย หุ่นศิริ และนิรันดร์ พุดตาน, 2535: 3) ที่มีโอกาสเกิดการเน่าเสียเมื่อมีความชื้นและมีเชื้อจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกดำเนินการย่อยโดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะได้ผลดีที่สุดก็เมื่อมีออกซิเจนมากเพียงพอ แต่ถ้ามีออกซิเจนไม่เพียงพอการย่อยสลายจะเกิดช้าลง ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งแต่ละรุ่นจะมีเลนซึ่งเป็นของเสียต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ตามพื้นบ่อเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

2.4.2 การศึกษาของเสียจากการเลี้ยงกุ้ง

ดุสิต ดันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ (2536: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ขนาด 2 ไร่ 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 และพุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ (2533: 15) พบว่า ดินก้นบ่อเป็นแหล่งรองรับสารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อ ซึ่งสารที่สะสมอยู่นี้ทำให้ดินก้นบ่อมีหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งของสารอาหารที่สามารถปลดปล่อยออกมาสู่น้ำในบ่อได้

คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา พบว่า บ่อเลี้ยงขนาด 6.00 ไร่ จะมีปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 898.13 ตันต่อวัน ส่วนบ่อขนาด 2.50 – 4.00 ไร่ มีปริมาณ 339.65 ตันต่อวัน และบ่อเลี้ยงขนาด 0.90 – 2.00 ไร่ จะมีปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 145.02 ตันต่อวัน ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับข้อมูลของ ดุสิต ดันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ (2536: 13) ว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 2.00 ไร่ จะมีอัตราการถ่ายน้ำทิ้งประมาณ 17,815.50 ตันต่อการเลี้ยง 1 รุ่น หรือประมาณ 164.95 ตันต่อวัน และปริมาณน้ำทิ้งจะมีปริมาณมากขึ้นตามขนาดพื้นที่บ่อที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (2538: 5) รายงานว่า การผลิตกุ้ง 1 ตัน จะมีสารอินทรีย์เกิดขึ้น 1,250 กิโลกรัม สารประกอบไนโตรเจน 87 กิโลกรัม และฟอสฟอรัส 28 กิโลกรัม

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน (2532: 4) รายงานว่า ของเสียที่ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมมักเป็นสิ่งที่พืชไม่ต้องการ เช่น ความเค็มของน้ำ สารเคมีในน้ำ รวมทั้งเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเกษตรซึ่งเกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากของเสียเหล่านี้อาจไหลไปบนพื้นดินโดยปนไปกับน้ำ หรือไม่ก็อาจซึมลงไปในระดับน้ำใต้ดินซึ่งต้นพืชในบริเวณใกล้เคียงต้องใช้น้ำนี้ รวมถึง

ประชาชนบริเวณใกล้เคียงซึ่งต้องสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้อุปโภคและบริโภค ซึ่งบ่อเหล่านี้จะให้ผลผลิตได้ในระยะ 2 – 3 ปีแรก หลังจากนั้นจะหมดสภาพไปในทันที

Musig, Y., et al. (1995: 17 – 24 อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.: 12) ได้รายงานผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในระบบเปิดที่จังหวัดตราดไว้ กล่าวคือ น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วง 11.60 – 251.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสฟอรัส 0.007 – 0.724 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน 0.002 – 0.868 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณบีโอดี 2.50 – 60.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบความเข้มข้นของมลสารสูงสุดในช่วงการจับกุ้ง

พลาวุธ น้อยเดียง (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยศึกษาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2541 พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยส่วนใหญ่มีคุณภาพดี มีเพียงบางบ่อที่มีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับที่เป็นพิษ ทำให้อัตราการรอดต่ำ และอีกบ่อหนึ่งมีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าปกติ

กรมควบคุมมลพิษ (2545: 9) กล่าวถึงการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับน้ำทิ้งและของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงกุ้ง พบว่า ค่าโดยประมาณของปริมาณน้ำทิ้ง และตะกอนของเสียก้นบ่อในช่วงจับกุ้ง คือ จะมีน้ำทิ้งถูกปล่อยสูงถึง 1,057 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีตะกอนของเสียก้นบ่อเกิดขึ้นทั้งสิ้น 81 ล้านตันต่อปี ซึ่งหากไม่ทำการบำบัดน้ำทิ้งก่อน ของเสียทั้งหมดเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมากและย่อมก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงมิได้

ในด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สมลักษณ์ นงนุช (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักตกค้างในน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยศึกษาโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำอยู่ระหว่าง 0.020 – 0.810, 0.001 – 0.407, 0.001 – 0.153 และ 0.001 – 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ คือ มีค่าน้อยกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดโดย US. EPA. ยกเว้น การปนเปื้อนโลหะทองแดงที่ส่วนใหญ่จะมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด อาจจะเป็นเพราะมีการปนเปื้อนของโลหะทองแดงจากการใช้สารคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เพื่อกำจัดสาหร่ายในน้ำ และสารเคมีอื่นที่มีส่วนประกอบของโลหะทองแดงในกิจกรรมการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และการปนเปื้อนจากสารเคมีปราบศัตรูพืชจากพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

2.5 ปัญหาและสาเหตุของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาเป็นการเลี้ยงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งจะประกอบด้วย ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและดิน จึงมีผู้สนใจหลายรายได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยสามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงกุ้งในระบบพัฒนาเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ และของเสียพวกตะกอนเลนที่ทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดมลภาวะหรือน้ำเสีย การเลี้ยงกุ้งในระบบพัฒนาได้ก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพน้ำและปริมาณการใช้น้ำในการเลี้ยงกุ้งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลี้ยงแบบเดิม (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2540: 152)

2.5.1 ปัญหาของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2531: 7 – 11) ได้รายงานถึงความสำคัญและปัญหาของน้ำที่พบในบ่อกุ้งไว้ ดังนี้คือ

1. การขยายพื้นที่ที่เลี้ยงกุ้งมากขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดและไม่มีทางระบายน้ำเสียออก โดยเฉพาะเมื่อมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งหนาแน่นเกินขีดความสามารถที่ธรรมชาติจะสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ทัน ทำให้น้ำที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับนากุ้งมีสภาพไม่เหมาะสม จนทำให้เกิดโรคระบาดกุ้งได้และกลายเป็นสลัมกุ้งในที่สุด

2. สารอินทรีย์ในน้ำที่มากเกินไป น้ำทิ้งที่ระบายออกจากบ่อกุ้งมักจะมีทั้งสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ปะปนออกมาจำนวนมาก เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาต้องมีการให้อาหารกุ้งเกือบตลอดเวลาและอาหารบางส่วนถูกใช้ไม่หมดจึงทำให้เกิดการละลายเป็นสารอินทรีย์อยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อน้ำเหล่านี้ระบายสู่ธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะได้

3. การจัดการบ่อที่ดี เนื่องจากยังไม่มีการส่งเสริมที่ชัดเจนเกี่ยวกับการจัดการบ่อโดยการกำจัดของเสียจากก้นบ่อ ของเสียในฟาร์มกุ้งจึงสะสมจนเกิดปัญหาเน่าเสียของน้ำ ซึ่งถ้าได้รับการพัฒนาที่ดีแล้วควรมีการใช้สารเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่

4. อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง กุ้งไม่สามารถกินได้หมด และส่วนที่กินไปจะเปลี่ยนเป็นเนื้อกุ้งเพียงบางส่วนเท่านั้น อาหารที่เหลือจะเป็นของเสียภายในบ่อเลี้ยง อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม ซึ่ง ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2531: 18 – 21) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ของอาหารกับการเน่าเสียของน้ำไว้ ดังนี้

4.1 อาหารที่ละลายน้ำ อาหารที่บดละเอียดหรือมีชิ้นเล็กมาก ส่วนหนึ่งจะละลายน้ำเมื่อใส่ลงไปในน้ำ ซึ่งสารอาหารบางอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว

4.2 อาหารที่จมในเลน ในกรณีที่บ่อมีเลนหนาและอาหารกุ้งเม็ดที่มีน้ำหนักมากจะจมลงในเลนได้ง่ายก่อนที่กุ้งจะกินหมด ซึ่งอาจทำให้อาหารส่วนนี้ถูกย่อยสลายและเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เน่าเหม็น ทำให้เกิดสภาพน้ำเน่าเสีย

4.3 อาหารที่เหลือจากการหว่านลงไปในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งอาจจะเกิดจากการคำนวณไม่ถูกต้องว่าต้องใส่ปริมาณเท่าใดและกุ้งกินได้เท่าไร หรือการหว่านอาหารกระจายไม่ทั่วทั้งบ่อ ทำให้บางจุดกุ้งก็ไม่ได้กิน หรือการมีอาหารมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดการบูดเน่าเสียของอาหารได้

4.4 อาหารสดที่เน่าเสียอยู่แล้ว เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งบางรายอาจใช้อาหารสดประเภทปลาเป็ดในการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งกว่าจะเดินทางไปถึงแหล่งที่เลี้ยงก็มีบางส่วนที่เน่าเสียแล้ว และถึงแม้จะมีการเน่าเสียค่อนข้างมากแต่ก็ยังคงมีการนำไปใช้เลี้ยงกุ้ง และเมื่ออาหารเหล่านี้ลงไปในบ่อเลี้ยงกุ้ง ส่วนที่เน่าเสียมักจะละลายน้ำได้ง่ายและจะมีเชื้อแบคทีเรียจำนวนมาก ซึ่งอาหารเหล่านี้เมื่อลงสู่ในน้ำก็เท่ากับนำของเสียมาละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาวะน้ำเน่าเสียได้ง่ายมากขึ้น

5. ขี้กุ้งและสิ่งที่ขับถ่าย เนื่องจากว่ากุ้งอยู่ในน้ำ กินแล้วต้องขับถ่ายออกมาอยู่ในน้ำ ซึ่งของเสียเหล่านี้ถึงแม้จะถูกย่อยและดูดซึมไปใช้บ้างแล้วก็ตามแต่ก็ยังคงเหลือโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อใย ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและย่อยสลายต่อไป นอกจากนี้ ขี้กังและสิ่งขับถ่ายก็เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกแบคทีเรีย ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารต่าง ๆ ที่มีเหลือโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เป็นผลทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดผลกระทบทั้งจากตัวแบคทีเรียเองที่แย่งออกซิเจน และผลกระทบจากสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยของแบคทีเรียนั้น และอาจมีผลต่อเนื่องจากพวกสาหร่ายเซลล์เดียวที่เกิดขึ้นติดตามมา

2.5.2 การศึกษาถึงสาเหตุของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกลาดำ

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรและประชาชนในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการศึกษาเพื่อค้นหาสาเหตุของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในแต่ละพื้นที่มากยิ่งขึ้นที่จะนำไปสู่แนวทางป้องกันและแก้ไขต่อไป

มารุต มัสยวาณิช (2537: 61) กล่าวถึง สาเหตุที่คุณภาพของน้ำด้อยลง เนื่องจาก การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาเป็นการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นที่ให้ผลผลิตสูง มีการสูบน้ำเพื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเป็นปริมาณมาก น้ำที่ระบายออกจากบ่อกุ้งเป็นน้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยสารอินทรีย์และแพลงก์ตอน หรือบางครั้งปนเปื้อนด้วยยาและสารเคมีฆ่าเชื้อโรค ด้วยเหตุนี้เมื่อมีการพัฒนาพื้นที่เลี้ยงกุ้งในบริเวณใกล้เคียงกันย่อมก่อให้เกิดปัญหาต่อฟาร์มกุ้งข้างเคียง รวมทั้งการฉีดเลนหรือวิ่งเลนออกจากบ่อกุ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติยังทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเน่าเสียและตกตะกอน

ทับถมกัน ทำให้แหล่งน้ำลำคลองตื้นเขิน สร้างความเสียหายต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ไม่มีน้ำดีมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งต่อไป ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม โดยเฉพาะคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้เลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งเกิดจากความแห้งแล้งของพื้นที่หรือสภาพอากาศที่ผิดปกติ

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ (2536: 2) กล่าวว่า ธาตุอาหารที่ทำให้เกิดภาวะความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำสูงเกินไป (Eutrophication) คือ ธาตุฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ผลจากการที่มีธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้มากทำให้พืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนทำให้ในช่วงเวลาเช้าตรู่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลงมาก เนื่องจากพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชเหล่านั้นดึงออกซิเจนไปใช้ จนบางครั้งอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้และเมื่อแพลงก์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมากจะส่งผลให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียและเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว

อรุณี กฤตยานวัช (2532: 9) กล่าวว่า ปัญหาภาวะมลพิษของน้ำในแหล่งเลี้ยงกุ้งเกิดขึ้นเนื่องจากการดันน้ำทะเลเข้าและการระบายน้ำเสียของฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลต่าง ๆ โดยไม่มีการวางระบบระบายน้ำส่วนรวม ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำหมุนเวียนอยู่ในแหล่งเลี้ยงซึ่งมีผลต่อการเพาะเลี้ยงและผลผลิตกุ้ง

สมเกียรติ ปิยะธีรติวรกุล (2531: 25) ได้สรุปว่า แหล่งน้ำเสียที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารที่ให้สำหรับเลี้ยงกุ้ง ถ้าให้อาหารมากเกินไปจะมีเศษอาหารเหลือและถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนลดต่ำลง แหล่งน้ำเสียที่สอง คือ น้ำเสียที่เกิดจากระบบขับถ่ายของตัวกุ้งเอง ซึ่งมักจะเป็นสารจำพวกแอมโมเนีย โดยสารเหล่านี้เมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะถูกย่อยสลายกลายเป็นไนไตรท์ – ไนเตรท ซึ่งจะเป็นอาหารของพวกสาหร่ายและทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสาหร่าย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง และแอมโมเนียโดยปกติจะมีความเป็นพิษค่อนข้างสูงต่อสัตว์น้ำ ดังนั้น จากปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงกุ้งอาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้เลี้ยงและต่อชาวประมงที่อาศัยดำรงชีพด้วยการจับสัตว์น้ำในบริเวณใกล้เคียงเพราะเป็นสิ่งที่ส่งผลให้ปริมาณสัตว์น้ำลดน้อยลง

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง (2540: 110 – 111) รายงานว่า บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ในบริเวณคลองน้ำทิ้งและคลองส่งน้ำมีการสะสมตัวของสารอินทรีย์ในดินและตะกอนปริมาณสูง เนื่องจากเกษตรกรบางรายลักลอบทิ้งของเสียจากบ่อกุ้งลงคลองส่งน้ำ โดยที่คลองส่งน้ำนี้มีการเชื่อมต่อกับคลองน้ำทิ้งในบางจุด ทำให้ของเสียจากคลองน้ำทิ้งไหลปะปนลงคลองส่งน้ำได้ ซึ่งสาเหตุสำคัญมาจากการที่เกษตรกรยังไม่แยกการใช้ประโยชน์จากคลองทั้งสองอย่างชัดเจน ประกอบกับการแบ่งแยกคลองส่งน้ำและน้ำเสียของศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนยังไม่สมบูรณ์พอ มีบางจุดที่น้ำดีและน้ำเสียยังสามารถเชื่อมโยงต่อกันได้ เพราะในอดีตทุกคลอง

จะใช้ประโยชน์เป็นทั้งคลองส่งน้ำและคลองน้ำทิ้งในคลองเดียวกัน ก่อนทำการปิดกั้นคลองเพื่อแยกการใช้ประโยชน์ในภายหลังต่อมา

อนันต์ สาระยา (2528: 113) กล่าวว่า การสร้างบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งยังขาดหลักการที่ดี โดยการพัฒนาการประมงรูปแบบใดก็ตามย่อมที่จะได้รับการส่งเสริม อย่างไรก็ตาม ผู้มีอำนาจและหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจะต้องคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยเป็นหลักในการส่งเสริม ซึ่งพื้นที่บางบริเวณอาจจะเหมาะสมที่จะปรับปรุงเลี้ยงสัตว์น้ำได้ แต่ก็อาจเป็นเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ 2 – 3 ปีเท่านั้น อาทิเช่น การขุดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ต่ำเกินไป จะไม่สามารถดากดินก้นบ่อได้ จะเกิดการหมักหมมและเน่าเปื่อยที่บริเวณดินก้นบ่อและบริเวณดินใต้กองไม้ป่าชายเลนได้ เป็นต้น

โสภณ อ่อนคง และชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์ (2542: 1 – 2) กล่าวว่า ดินเลนที่ขึ้นจะมีพวกซีสต์ (Cyst) หรือสปอร์ (Spore) ของแพลงก์ตอนพืชชนิดมีพิษ หรือไม่มีพิษฝังตัวอยู่ในดิน เมื่ออุณหภูมิ ความเค็ม และสารอินทรีย์ (Organic Matter) พอเหมาะ ซีสต์และสปอร์ของแพลงก์ตอนทั้งที่มีพิษและไม่มีพิษจะแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้น จนกลายเป็นปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีหรือขี้ปลาวาฬ (Red Tide) อาจเกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 3 – 4 ครั้ง (Crop) และทิ้งเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจนทำให้แหล่งรองรับน้ำทิ้งนั้นเกิดการเน่าเสีย

2.5.3 สาเหตุของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกลาดำ

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

1. ความหนาแน่นของการปล่อยลูกกุ้ง เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นมากเกินไป คือ อัตราการปล่อยระหว่าง 40 – 100 ตัวต่อตารางเมตร เมื่อปล่อยกุ้งลงเลี้ยงหนาแน่นมากและมีการให้อาหารมากเกินไปเพื่อเร่งการเจริญเติบโตโดยไม่มีการตรวจสอบให้ถูกต้องเสียก่อนว่าควรเพิ่มอาหารหรือไม่ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสูง

2. การทำสีน้ำ เกษตรกรมักจะทำสีน้ำให้เข้มเพราะเข้าใจว่ากุ้งชอบอยู่ในน้ำลักษณะดังกล่าว จึงมักเติมปุ๋ยวิทยาศาสตร์ชนิดต่าง ๆ ลงไป ซึ่งปุ๋ยดังกล่าวจะไปช่วยเพิ่มปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำ เมื่อแพลงก์ตอนดังกล่าวมีมากเกินไปและตายเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม น้ำจะมีสภาพเป็นกรดจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งป่วยและตายได้

3. การปล่อยน้ำเสียและโคลนเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงมักนิยมปล่อยน้ำทิ้งลงในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง โดยคิดไม่ถึงว่าธรรมชาติมีขีดจำกัดในการรองรับน้ำเสีย รวมถึงการดูดเลนหรือดูดขี้กุ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติระหว่างการเลี้ยง หรือฉีดเลนลงแม่น้ำลำคลองเมื่อต้องการจะเตรียมบ่อ จึงเป็นสาเหตุทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดมลภาวะและตื้นเขิน พื้นดินมีอินทรีย์วัตถุสูง และเมื่อจะดำเนินการเลี้ยงกุ้งในรุ่นใหม่ของเสียเหล่านี้ก็จะ

กลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงอีกครั้ง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคตายเดือนและทำให้แพลงก์ตอนเกิดหนาแน่นมาก

4. เกษตรกรขาดความรู้ทางด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ การจัดการที่ดีนับว่ามีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้งมาก ซึ่งจะประกอบด้วย หลักการเลี้ยง การใช้ยาและสารเคมี การจัดระบบน้ำและการวางผังบ่อ โรคกุ้ง และการทำความสะอาดบ่อ เป็นต้น โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดการบริหารจัดการที่ดีและถูกต้อง และไม่ตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสาเหตุสำคัญในการสร้างมลพิษแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ (บุญส่ง สิริกุล และคณะ, 2538: 7 – 8) โดยประเด็นการทำความสะอาดบ่อนั้น เกษตรกรบางรายต้องการเลี้ยงกุ้งให้ได้มากรุ่น จึงไม่มีการตากบ่อแต่จะทำการฉีดเลนและปล่อยน้ำเสียออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเลนดังกล่าวเป็นของเสียจากเศษอาหารที่เหลือ ขี้กุ้ง และจากการตายของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงนั่นเอง ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูง ก่อให้เกิดมลภาวะแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2.6 ผลกระทบด้านคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จำเป็นต้องใช้อาหารสำเร็จรูป ยาปฏิชีวนะ และสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและดินในขณะเตรียมบ่อและระหว่างการเลี้ยง เมื่อมีการถ่ายน้ำในระหว่างการเลี้ยงและช่วงเก็บผลผลิต น้ำทิ้งมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ ประกอบด้วย ของเสียจากการขับถ่าย เศษอาหาร ตะกอนดินเลน และสารเคมีค่อนข้างสูง หากขาดการจัดการก่อนระบายน้ำทิ้งอย่างถูกต้องก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ ปัญหาการลดลงของสัตว์น้ำตามธรรมชาติ ปัญหาเชื้อโรคดื้อยา ปัญหาโรคระบาด เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ ทั้งในด้านกายภาพ คือ เกิดการตื้นเขิน ส่วนทางด้านชีวภาพและเคมีมีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูงในน้ำทิ้งจะทำให้เกิดภาวะการขาดออกซิเจนและส่งผลให้ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และไนไตรท์เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดสารพิษชนิดต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นด้วย น้ำทิ้งนี้จึงมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และอาจทำให้มีการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.: 23, สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548: 47) จนกระทั่งในท้ายที่สุดน้ำทิ้งดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้เลี้ยงกุ้งได้ในทันทีหรือแม้กระทั่งผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นแล้วก็ตาม แต่ต้องนำไปเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นสูงขึ้นไปซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำบัดส่วนนี้จะเป็นส่วนของการเพิ่มภาระต้นทุนในการเลี้ยงกุ้งที่สูงขึ้นไป เพื่อให้ได้มาซึ่งน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งมาใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้งต่อไป

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2537: 3) รายงานว่า ปัจจุบันเกษตรกรต้องการเลี้ยงกุ้งให้ได้ปริมาณมากและใช้เวลาน้อยจึงไม่มีการดากบ่อเพื่อบำบัดตามธรรมชาติ โดยเกษตรกรมักทำการฉีดเลนออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเลนดังกล่าวเป็นของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง ประกอบด้วยซากแพลงก์ตอน เศษอาหาร รวมถึงขี้กุ้ง ของเสียดังกล่าวมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงและส่งผลกระทบถึงคุณภาพน้ำโดยตรง ซึ่งตามกลไกธรรมชาติ แหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในที่ต่ำและเป็นสาธารณสมบัติย่อมเป็นที่รองรับสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ จากการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์และเมื่อฝนตกลงมาก็จะล้างสิ่งปฏิกูล สารเคมี ซีสต์ และสปอร์ต่าง ๆ ทั้งในอากาศและผิวหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ ถ้าช่วงใดมีสารตกค้างสะสมมากเกินกว่าที่กลไกตามธรรมชาติของแหล่งน้ำจะบำบัดได้ทันก็จะตกค้างสะสมอยู่ ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขั้นธุรกิจเชิงพาณิชย์ไม่เหมาะที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีมลพิษปนเปื้อนมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง (อนันต์ ดันสุตะพานิช, 2542: 8)

สนิท แก้วอักษร (2532: 187) รายงานถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทำนากุ้งต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำและดิน การเปิดป่าชายเลนเพื่อทำนากุ้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเล เนื่องจากพื้นที่ป่าชายเลนถูกเปิดกว้างโดยการตัดต้นไม้ จึงทำให้พื้นที่บริเวณนั้นได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เต็มที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการขึ้นลงของน้ำทะเล ความเค็มของน้ำจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำสูงและลดชาตอาหารที่ได้โดยตรงจากป่าชายเลน ซึ่ง ชนินทร์ อัมพรสถิร (2536: 8) ชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่นสูง และการให้อาหารสำเร็จรูปนั้นทำให้ของเสียที่สะสมอยู่ในบ่อยิ่งมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติของดินก้นบ่อและน้ำเลวลง

นพรัตน์ บำรุงรักษ์ (2535: 1 – 3) กล่าวว่า ความขุ่นข้นของน้ำเสียจากฟาร์มกุ้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพนิเวศจะส่งผลกระทบต่อการประมงหรือการจับสัตว์น้ำ และต่อการปลูกพืช รวมทั้งการเลี้ยงสัตว์ ตะกอนที่ปะปนอยู่ในน้ำมีอยู่ด้วยกันสองชนิด คือ ตะกอนที่เป็นอินทรียสารก็จะมีคุณสมบัติเหมือนกับสารที่ต้องการออกซิเจนซึ่งสามารถทำให้น้ำเน่าเสียได้ ส่วนตะกอนอีกประเภทหนึ่ง คือ อนินทรียสารซึ่งเป็นอนุภาคของดินเหนียวและดินซิลท์ โดยจะมีผลกระทบต่อการประมง ทำให้ในน้ำมีตะกอนมากเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำทำให้อาหารของสัตว์น้ำลดปริมาณลงจึงเป็นผลทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำลดจำนวนลงตามไปด้วย

พัชริดา เหมมัน (2543: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำและดิน ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืด จังหวัดราชบุรี ในระหว่างเดือนมิถุนายน – ตุลาคม พ.ศ. 2540 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินในบ่อเลี้ยงมีค่ามากกว่าในคลองส่งน้ำ ในขณะที่ในบ่อเลี้ยงไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสะสมของความเค็มในดิน และจากการศึกษาของการเลี้ยงกุ้งที่มีต่อพื้นที่การเกษตรบริเวณดินเค็มชายทะเล พบว่า การเคลื่อนไหวแพร่กระจายความเค็มมีทิศทางมาจากบ่อกุ้งและลำคลองซึ่งเป็นที่ถ่ายเทน้ำเสียจากบ่อกุ้ง โดยในระยะเวลา 1 ปี

การแพร่กระจายของความเค็มสู่พื้นที่การเกษตรบริเวณใกล้เคียงมีระยะทางประมาณ 600 เมตร และแพร่กระจายไปตามทิศทางการไหลของน้ำ

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 ตะกอนดินหรือเลนที่ถูกปล่อยทิ้งระหว่างการจับกุ้งบางส่วนจะตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ส่งผลให้สัตว์หน้าดินมีปริมาณลดลง รวมทั้งมีการหมุนเวียนของน้ำลดลง สัตว์น้ำเติบโตช้ากว่าปกติ ไม่สืบพันธุ์ หรือปรับตัวไม่ได้และตายลงในที่สุด

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ (2531: 7 – 11) ได้รายงานถึงปัญหาของคุณภาพน้ำในบ่อกุ้งจะมีสารอินทรีย์มาก ประกอบกับการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะต้องมีการให้อาหารกุ้งเกือบตลอดเวลา ทำให้อาหารบางส่วนถูกใช้ไม่หมด เมื่อหมักหมมรวมกับขี้กุ้งและซากแพลงก์ตอนจะสลายตัวแล้วเกิดเป็นตะกอนตกค้างก้นบ่อ โดยส่วนหนึ่งก็อาจสลายตัวต่อไปอย่างช้า ๆ แต่ทั้งหมดนี้รวมกันได้ปล่อยสารอินทรีย์ออกมาเป็นปุ๋ยและเมื่อน้ำเหล่านี้ถูกปล่อยระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะได้ ทั้งยังส่งผลกระทบต่อประชาชนในการอุปโภคบริโภค เพราะไม่สามารถนำน้ำที่เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำเค็มหรือน้ำเน่าเสียมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป (บุญส่ง สิริกุล และคณะ, 2538: 7 – 8)

ดวงใจ บุณฑริกรักษา (2533: 26 – 27) รายงานถึงปัญหามลภาวะจากการเลี้ยงกุ้งทะเลเกิดจากการนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ เข้ามาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการเลี้ยง ซึ่งบางครั้งใช้เกินความจำเป็น สารเคมีเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบและจะถูกระบายปะปนกับน้ำที่ปล่อยออกจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะหรือชายฝั่งทะเล สำหรับสารอินทรีย์นั้นสามารถสลายได้โดยขบวนการทางธรรมชาติ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสมก็ไม่ก่อให้เกิดปัญหา แต่หากปล่อยมากเกินความสามารถของแหล่งน้ำธรรมชาติที่จะรองรับได้ ก็จะทำให้น้ำเน่าเสียได้ ซึ่งหากเกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้น ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งก็จะได้รับผลกระทบเป็นลำดับแรกเพราะต้องอาศัยแหล่งน้ำในการเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ พรศรี สุทธนารักษ์ (2536: 57 – 63) ได้กล่าวว่า ผลกระทบทางด้านน้ำที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น เช่น คุณภาพน้ำทะเลภายหลังจากการระบายน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งลงสู่ทะเล ซึ่งทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง นอกจากนี้การระบายน้ำที่ผ่านการลอกเลนหรือน้ำที่ใช้ทำความสะอาดบ่อยิ่ง

ก่อให้เกิดความขุ่นสูงขึ้น และเป็นน้ำที่มีความเค็มที่แตกต่างกับระดับความเค็มของน้ำทะเล จึงก่อให้เกิดความเสียสมดุลของทะเลบริเวณชายฝั่งได้

พรอุมา ไกรนรา (2543: 1 – 2) กล่าวว่า การดูดฉีดเลนเป็นการกำจัดของเสียบนพื้นก้นบ่อออกในรูปของเหลวหรือสารละลาย เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินและทำให้เกิดการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อเกิดการตายของแพลงก์ตอนจำนวนมาก ๆ ทำให้เกิดสารพิษและแหล่งน้ำขาดออกซิเจน สัตว์น้ำตายหรืออพยพจนเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ซึ่ง พจนารถ ปิติปัญญา (2543: 11) กล่าวว่า ปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนหนึ่งเกิดผลกระทบจากน้ำทิ้ง เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงเพื่อลดการสะสมของอาหารและของเสียก้นบ่อ น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากนากุ้งจึงประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปของน้ำทิ้งและตะกอนเลน โดยเฉพาะในช่วงที่จับกุ้ง น้ำที่ปล่อยออกมาจะเป็นน้ำที่มีการสะสมของเศษอาหารและของเสียสูงที่สุดในช่วงการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อมีการขยายแหล่งเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเข้ามาในเขตน้ำจืด ทำให้ไม่มีทะเลที่จะปล่อยน้ำทิ้งได้ เกษตรกรจึงได้หันมานิยมการเลี้ยงกุ้งเป็นฟาร์มพัฒนาแบบระบบปิดแทนมากขึ้น

กรมควบคุมมลพิษ (2541: 1 – 3) รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2540 คุณภาพน้ำในลุ่มแม่น้ำภาคตะวันออกโดยรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ แม่น้ำที่นับว่ามีสภาพเสื่อมโทรมมากที่สุดได้แก่ แม่น้ำระยอง ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่มาจากแหล่งน้ำชุมชน ความขุ่นของน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกัดเซาะและชะล้างตะกอนดินอย่างมากในช่วงฤดูฝน และปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมักส่งผลให้ในบางพื้นที่ไม่เหมาะจะนำน้ำมาใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูกพืชตามปกติ แต่กลับเป็นประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉพาะบริเวณแม่น้ำบางปะกง นครนายก และปราจีนบุรี บริเวณอำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี และบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออก เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำจันทบุรี เวฬุ ตราด และแม่น้ำบางปะกง ยังคงมีการระบายน้ำทิ้งที่ไม่มีการบำบัดลงสู่แม่น้ำโดยตรง ซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงเรื่อย ๆ

ชนินทร์ อัมพรสถิร (2536: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาผลกระทบของการทำนากุ้งต่อคุณภาพน้ำบริเวณป่าชายเลน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า การเลี้ยงกุ้งบริเวณชายฝั่งทะเลก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน เนื่องจากน้ำที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีแอมโมเนียที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้ จะมีส่วนประกอบของยา สารเคมี และเศษอาหาร รวมทั้งของเสียจากกุ้งกุลาดำ ซึ่งเมื่อระบายน้ำผ่านพื้นที่ป่าชายเลนลงสู่ชายฝั่งทะเล พบว่า ทำให้น้ำทะเลมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้ง ทัศนีย์ ฉันทาดิสัย และมุทิตา พัวธรรม (2532: 3) กล่าวว่า สารเคมีที่นำมาใช้ในการ

เลี้ยงกุ้งนั้น บางชนิดจะมีองค์ประกอบของโลหะหนักหรือสารเคมีที่ย่อยสลายยาก จึงทำให้สะสมอยู่ในธรรมชาติมากขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรืออาจเป็นสารพิษ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในวงจรอาหารตามธรรมชาติในท้องทะเลทำให้ลดปริมาณลงได้

เมื่อพิจารณาในแง่ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ สภาพดินที่ไม่ดีจะเป็นข้อจำกัดที่รุนแรงต่อการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา (Boyd, C.E., 1992: 166 – 181; Ray, W.M. and Chien, Y.H., 1992: 231 – 248) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดของสัตว์น้ำ (Hajek, B.B. and Boyd, C.E., 1994: 115 – 128) ดินในบ่อเป็นแหล่งของอนินทรียสารต่าง ๆ ที่จะปลดปล่อยสู่น้ำหลังจากการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพแล้ว การแลกเปลี่ยนกันระหว่างดินและน้ำในบ่อจะให้ธาตุอาหารแก่พืชน้ำ (สุวณิช ชัยนาค, 2540: 12) นอกจากนี้ พรอุมา ไกรนรา (2543: 5 – 6) ได้สรุปว่า การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างดินพื้นบ่อกับน้ำ และพีเอชของดินพื้นบ่อจะมีอิทธิพลต่อแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายที่ก้นบ่อ ความเป็นกรดสูงจะยับยั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ไม่เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหาร ลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปจะทำให้ดินพื้นบ่อขาดออกซิเจน เกิดผลเสียต่อกุ้งและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นบ่อ เพราะ จุลินทรีย์จะสร้างสารพิษที่เกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่น พวกไนไตรท์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สมีเทน และสารรีดิวซ์ตัวอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อกุ้งโดยตรง

2.7 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

2.7.1 คำจำกัดความของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสีย ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า Treatment หมายถึง การปรับสภาพให้น้ำนั้นมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งมักมีการใช้สับสนและปะปนกับคำว่า การกำจัดน้ำเสีย ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า Disposal หมายถึง การกำจัดออกไปให้พ้น ซึ่งอาจจะรวมการบำบัดหรือไม่รวมก็ได้ โดยปกติแล้วระบบบำบัดจะมีกระบวนการหลายขั้นตอน แต่ละกระบวนการก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540: 274)

การบำบัดโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Treatment System) หมายถึง การบำบัดน้ำเสียที่มีสภาพแวดล้อมเชิงนิเวศเฉพาะที่พบได้ในธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการให้ธรรมชาติบำบัดธรรมชาติด้วยกันเอง (Tchobanoglous, G., 1997: 77) เป็นการทำงานร่วมกันทั้งในน้ำ ดิน พืช จุลินทรีย์ และอากาศ จึงเรียกการบำบัดแบบนี้ว่าเป็นการบำบัดใน "Ecosystem Reactor" ซึ่งจะเกิดทั้งกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เคมี และชีวภาพร่วมกัน สามารถทำหน้าที่ทั้งการบำบัด (Treatment) และการกำจัด (Disposal) น้ำเสีย

ในคราวเดียวกัน (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2544 ข: 5 – 1) ระบบบำบัดโดยวิธีธรรมชาติจะใช้พลังงานที่ทดแทนได้ (Renewable Resource) ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานจากแสงแดด ลม ฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน โดยจะมีการเก็บสะสมพลังงานศักย์ไว้ในดินและมวลชีวภาพ (Biomass) ระบบบำบัดโดยวิธีธรรมชาติจึงต้องการพื้นที่มาก (Kadlec, R.H. and Robert, L.K., 1996: 31 – 32)

ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบให้คล้ายคลึงกับธรรมชาติ โดยออกแบบให้มีประสิทธิภาพทางกระบวนการกายภาพ เคมี และชีวภาพทางธรรมชาติเพิ่มขึ้น แทนการใช้ระบบเครื่องจักรกลที่ยุ่งยาก ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติเป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินระบบค่อนข้างต่ำ การดูแลรักษาระบบง่าย เน้นให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติในการบำบัดและฟื้นฟูคุณภาพน้ำเสีย

2.7.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Treatment) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติเพื่อมาบำบัดมลสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นวิธีที่ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า พึ่งพาผู้ควบคุมระบบน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ๆ มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรรมชาติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อม ในการบำบัดน้ำเสียจะมีน้ำ ดิน พืช จุลินทรีย์ และบรรยากาศเข้ามาช่วยแปรสภาพน้ำเสียให้มีสารปนเปื้อนน้อยลง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนที่สามารถกำจัดได้โดยวิธีธรรมชาติ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ธาตุอื่น ๆ และจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยการกำจัดสิ่งปนเปื้อนประเภทต่าง ๆ มีกลไกการทำงานดังนี้ (Metcalf & Eddy, Inc., 1991: 938 – 943; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542: 391 – 394)

1. การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลผ่านบนดินสามารถถูกกำจัดหรือแยกออกมาจากน้ำเสียโดยอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดิน หรือการกรองผ่านรากพืชต่าง ๆ

2. การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกกำจัดออกไปโดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ คือ พวกจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามรากพืชหรือตามผิวเม็ดดินต่าง ๆ จะอาศัยออกซิเจนจากบรรยากาศดำรงชีวิตอยู่และจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในชั้นดินบ้างแต่มีไม่มากนัก

3. การกำจัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียมักจะพบในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและสารแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสารไนโตรเจนจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมากทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำจึงเกิดปัญหากลิ่น

เหม็นได้ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติสามารถกำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียได้ซึ่งเปลี่ยนออกมาในรูปของอากาศ คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยพืชต่าง ๆ คือ ต้นไม้และพืชอื่น ๆ จะนำสารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรทมาใช้ และในรูปของสารไนเตรทต่าง ๆ ที่ซึมลงไปใต้ดินอาจผสมกับน้ำใต้ดิน

4. การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมาก การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติจะกำจัดสารฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพที่มีระบบขาดอากาศชั่วคราวและระบบเติมอากาศสลับกันไปมา และอาจสามารถกำจัดได้โดยวิธีทางเคมีซึ่งจะทำให้เกิดสลัดจ์ในปริมาณมาก ในการกำจัดสารฟอสฟอรัสโดยวิธีธรรมชาติจะใช้หลักการดูดซับ แต่อาจเกิดปัญหาการอิ่มตัวของปริมาณฟอสฟอรัสในชั้นดินบางบริเวณหรือการอิ่มตัวในพืชน้ำได้

5. การกำจัดธาตุอื่น ๆ

ธาตุอื่น ๆ ในที่นี้บางตัวอาจเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช แต่ธาตุบางตัวจะเป็นธาตุที่มีพิษเมื่อมีปริมาณมากขึ้น เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม เป็นต้น เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยวิธีธรรมชาติแล้ว ธาตุต่าง ๆ จะถูกจับไว้โดยอาศัยการดูดซับ การดกผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปจะต้องมีค่าพีเอชของน้ำเสียหรือของบริเวณพื้นที่บำบัดน้ำเสียมากกว่า 7 จึงจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดอยู่ในระดับสูง แต่ถ้ามีค่าพีเอชต่ำมาก อาจเกิดปัญหากับธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะธาตุที่มีพิษจะละลายปนกับน้ำออกจากระบบได้

6. จุลินทรีย์

การกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติค่อนข้างได้ผลดีเพราะอาศัยกลไกการดัก การดูดซับ การตกตะกอน และอื่น ๆ ถ้าบริเวณพื้นที่มีพืชขึ้นมากก็ยิ่งช่วยดักเอาไว้ได้อีกทาง ทำให้การกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ค่อนข้างได้ผลดี แต่พบว่ายังไม่เพียงพอเมื่อต้องการกำจัดจุลินทรีย์ต่าง ๆ ให้หมดสิ้น ซึ่งอาจต้องใช้สารเคมีในการกำจัด เช่น คลอรีน เป็นต้น

2.7.3 ประเภทของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2542: 391 – 421) ได้จำแนกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติออกเป็น 3 ระบบใหญ่ คือ ระบบกระจายบนดิน ระบบบึงประดิษฐ์ และระบบพืชลอยน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระบบกระจายบนดิน (Land Treatment System)

การบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินจะใช้กับพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ใช้ประโยชน์ วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากแต่ต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัดน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีแร่ธาตุอาหารและมีสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็จะเป็นเหมือนการใส่ปุ๋ยให้แก่ดินเพื่อทำการเกษตรต่อไป แต่หากน้ำเสียมีสารพิษปนเปื้อนต้องคำนึงถึงปริมาณ

สารพิษและชนิดของสารพิษอย่างระมัดระวังเพราะอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลต่อมนุษย์หากนำพืชนั้นมาทำเป็นอาหาร วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินแยกเป็นระบบย่อยได้ 3 ระบบ ดังนี้

1) ระบบอัตราไหลช้า (Slow – rate System)

วิธีนี้เป็นการรดน้ำ ปล่อยให้น้ำไหลซึมลงดินและปล่อยให้เกิดการคายน้ำออกจากระบบโดยจะมีพืชต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ผักต่าง ๆ หรือต้นไม้ทั่วไปอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ น้ำเสียที่นำมาบำบัดในระบบนี้อาจนำมาบัดได้โดยตรง หรือผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นหรือขั้นสูงมาแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ โดยต้องพิจารณาถึงระยะห่างจากชุมชนของพื้นที่ ลักษณะน้ำเสีย และความสามารถของพื้นที่ที่จะรองรับน้ำเสีย

2) ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration System)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดขั้นต้นหรือผ่านการแยกตะกอนออกแล้ว ระบายลงที่บ่อหรือร่องรองรับน้ำเสียซึ่งจะเกิดการระเหยออกและซึมลงใต้ดินโดยไม่จำเป็นต้องปลูกพืช วิธีนี้จะปล่อยน้ำเสียในปริมาณที่มากกว่าระบบอัตราไหลช้า เมื่อน้ำเสียไหลลงสู่ส่วนล่างของชั้นดินอาจมีท่อรองรับน้ำที่ผ่านชั้นดินแล้วระบายน้ำทิ้งออกหรือใช้วิธีสูบน้ำขึ้นมาระบายทิ้ง

3) ระบบน้ำไหลนอง (Overland – flow System)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียไหลออกจากท่อเจาะรู หรือหัวกระจายน้ำเสียซึ่งอยู่ที่สูงไหลจากระบบจ่ายผ่านพืชต่าง ๆ ที่ปลูกอยู่บริเวณที่น้ำไหลผ่านซึ่งเป็นพื้นลาดเอียงลงมาจนถึงรางรองรับน้ำทิ้งเพื่อระบายออก ขณะที่น้ำไหลผ่านพืชต่าง ๆ ลงมาจะมีการไหลซึมลงดินส่วนหนึ่ง และมีการคายน้ำออกจากพืชและพื้นดินอีกส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือจะไหลลงรางรองรับน้ำทิ้ง น้ำเสียที่จะนำมาบำบัดในระบบนี้จะต้องผ่านตะแกรงละเอียดแล้วเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาอุดตันในช่องกระจายน้ำเสียในระบบ

2. ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland System)

บึงในที่นี้ หมายถึง พื้นที่ที่มีน้ำขังลึกไม่เกิน 0.6 เมตร ซึ่งเป็นสภาพที่พืชบางชนิดเจริญแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว รากของพืชประเภทนี้ยังคงอยู่ในดินเป็นส่วนมาก ใบของพืชจะทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวกลางให้แบคทีเรียเกาะ ทำหน้าที่เป็นตัวกรองและตัวดูดซับสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสียได้ และสามารถทำหน้าที่ถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ บึงประดิษฐ์สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองสภาพของบึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีบึงประดิษฐ์แบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) ระบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System)

ระบบนี้จะปล่อยน้ำเสียลงบนผิวดินในบ่อที่ปลูกพืชไว้ โดยบ่อดินจะมีลักษณะที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อย มีระดับน้ำลึกประมาณ 0.1 – 0.6 เมตร ปล่อยน้ำเสียให้ไหลช้า ๆ ผ่านต้นพืชและรากพืชต่าง ๆ การเติมอากาศในบึงประดิษฐ์จะมาจากพืช จากลมพัด และ

จากการสังเคราะห์แสง ระบบนี้จะเหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี (BOD) ปานกลางประมาณวันละไม่เกิน 6 กรัมต่อตารางเมตร ควรมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 4 – 15 วัน และมีปริมาณน้ำเสียประมาณวันละ 0.01 – 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

2) ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System)

ระบบนี้จะปล่อยให้น้ำเสียซึมผ่านใต้ดินที่มีพืชปลูกอยู่ด้านบน โดยระบบนี้จะขุดเป็นบ่อลึกประมาณ 0.3 – 0.8 เมตร ปูด้วยแผ่น Polyethylene เพื่อกั้นไม่ให้น้ำซึมลงใต้ชั้นดิน แล้วกลบด้วยดินหรือกรวดที่เหมาะสมเพื่อการปลูกพืชด้านบน ที่กันบ่อด้านปลายน้ำจะมีท่อระบายน้ำทิ้งออกจากระบบ น้ำเสียจะไหลซึมใต้ดินผ่านรากพืชต่าง ๆ และระบายออกทางท่อระบาย ระบบนี้จะเหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี (BOD) ปานกลางประมาณวันละ 11 – 13 กรัมต่อตารางเมตร และควรมีปริมาณน้ำเสียประมาณวันละ 0.01 – 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

3. ระบบพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant Treatment System)

วิธีบำบัดน้ำเสียในระบบพืชลอยน้ำคล้ายคลึงกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน แตกต่างกันตรงที่ระบบนี้จะใช้พืชที่ลอยน้ำ และมีความลึกของน้ำมากกว่า คือ มีน้ำลึกประมาณ 0.5 – 1.8 เมตร พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ผักตบชวา และแหน สำหรับระบบบำบัดที่ใช้ผักตบชวา ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำเสียควรมีค่าประมาณวันละ 1 – 30 กรัมต่อตารางเมตร ถ้ามีค่าบีโอดี (BOD) ในบ่อบำบัดแบบใช้ผักตบชวาเกินกว่าวันละ 10 กรัมต่อตารางเมตร จะเริ่มมีกลิ่นเหม็นในบ่อ แก้ไขโดยนำระบบเติมอากาศเข้ามาช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อ แต่ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลเฟตมากกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร แม้จะมีค่าบีโอดี (BOD) น้อยก็อาจมีปัญหากลิ่นเหม็นได้ ซึ่งกลไกการบำบัดของระบบนี้เกิดขึ้น 3 แบบ คือ

1) การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จำพวก Facultative ในส่วนรากของพืชซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ และจุลินทรีย์ที่กันบ่อ

2) การตกตะกอนของของแข็งในน้ำเสียและการสร้างมวลชีวภาพ (พืชน้ำและจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว)

3) การรวมตัวกันของธาตุอาหารในต้นพืชที่ยังมีชีวิตและคงเหลืออยู่หลังการเก็บเกี่ยว

สำหรับ ธิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย (2543: 24) ได้จำแนกระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติไว้เช่นกัน ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ระบบใหญ่ ดังนี้

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

1) ระบบการไหลซึมในพื้นที่ (Onsite Infiltration System)

2) ระบบกระจายน้ำเสียบนดินในอัตราช้า (Slow – rate Land Application System)

3) ระบบกระจายน้ำเสียบนดินในอัตราเร็ว (High – rate Land Application System)

4) ระบบการปล่อยน้ำเสียให้ไหลไปบนพื้นดิน (Overland Flow System)

2. ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ (Aquatic and Wetland System)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ (Aquatic Plant for Wastewater Treatment) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำโดยทั่วไปประกอบด้วยบ่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร ภายในบ่ออาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกัน (Monoculture) หรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Polyculture) บ่อนี้ทำหน้าที่รองรับและกักขังน้ำเสียเพื่อการบำบัด ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำแบ่งย่อยออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่

1) ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond)

บ่อผึ่งหรือสระพักน้ำ เป็นแหล่งพักตัวของน้ำเสียในระยะเวลาหนึ่งและเกิดกระบวนการตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยการใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ลม และสิ่งมีชีวิตภายในบ่อ สามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ดี นอกจากนี้ ยังใช้บำบัดน้ำเสียจากการทำอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมได้ดีอีกด้วย

บ่อผึ่งสามารถจำแนกได้ตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์ได้เป็น 4 แบบ คือ บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) บ่อกึ่งแอโรบิค (Facultative Pond or Aerobic – anaerobic Pond) บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) และบ่อบ่ม (Maturation Pond) (ธีระ เกรอด, 2539: 552)

2) ระบบพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant System)

ระบบนี้เป็นการปลูกพืชน้ำเพิ่มเติมลงในระบบบ่อ เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสีย พืชน้ำที่นำมาใช้ในระบบนี้เป็นพืชลอยน้ำเท่านั้น ตัวอย่างของพืชที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ ผักตบชวา และแหน ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชลอยน้ำมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างไปจากระบบบ่อผึ่ง เพราะส่วนประกอบที่สังเคราะห์แสงได้จะปลดปล่อยออกซิเจนเหนือผิวน้ำ (พืชที่ลอยอยู่เหนือน้ำไปขัดขวางสาหร่ายที่ลอยอยู่ใต้น้ำ) ทำให้ลดการแพร่กระจายของออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่น้ำสามารถใช้ในการกำจัดสาหร่ายในน้ำได้ (ธิดาภรณ์ ซ่อเพ็ชรไทย, 2543: 50)

ระบบพืชลอยน้ำนี้มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของบีโอดี (BOD) และตะกอนแขวนลอย (TSS) ไนเตรทจะถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดจะถูกกำจัดได้ถ้ามีการเก็บเกี่ยวพืชออกเป็นประจำ อย่างไรก็ตาม ระบบพืชลอยน้ำมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีพืชอยู่ไม่กี่ชนิดที่จะเจริญเติบโตลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำ ซึ่งพืชเหล่านี้ไวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง โดยพืชบางส่วนหรือทั้งหมดอาจตายได้ในระยะเวลาสั้น เช่น ผักตบชวาอาจจะตายได้ง่ายถ้าอยู่ในสภาพอากาศเย็น และมีพืชที่เป็นศัตรูหลายชนิดสามารถเข้ามาแทนที่ผักตบชวา

ได้ และเมื่อพืชลอยน้ำตายไป ประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะลดลงอย่างมากในช่วงสัปดาห์หรือเดือน จนกว่าพืชนั้นจะเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ทดแทน (ธิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย, 2543: 51)

3) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland System)

ลักษณะของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ จะมีน้ำในบางช่วงเวลาหรือตลอดเวลา พื้นที่ชุ่มน้ำเป็นพื้นที่ที่มีดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือที่มีน้ำอยู่ตื้น เป็นผลให้พืชที่ต้องการดินในสภาวะที่มีออกซิเจนมากไม่สามารถขึ้นได้ ส่วนพืชที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำได้จะต้องมีการปรับตัวให้เจริญเติบโตในดินที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาหรือบางฤดูกาล ซึ่งเป็นดินในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำในบริเวณที่มีความลาดชันสูง พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถแบ่งแยกออกจากพื้นดินได้โดยพื้นดินจะเกิดน้ำท่วมเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพียงพอให้ออกซิเจนและสภาวะอื่น ๆ ของดินไม่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช ส่วนบริเวณที่มีความลาดชันต่ำ พื้นที่ชุ่มน้ำจะกลายเป็นพื้นน้ำ โดยมีน้ำท่วมขังลึกหรือในช่วงที่พืชน้ำโผล่เหนือน้ำไม่สามารถดำรงอยู่ได้ ความลึกของน้ำโดยเฉลี่ยซึ่งแยกพื้นที่ชุ่มน้ำออกจากพื้นน้ำที่มีช่วงต่อกัน คือ 1 – 2 เมตร (Kadlec, R.H. and Robert, L.K., 1996: 49 – 50) ซึ่งกลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (อภิชาต โพธิ์สุ, 2537: 83 – 84) มีรายละเอียดดังนี้

3.1) วิธีการทางกายภาพ โดยสารอาหารและสารแขวนลอยต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย เมื่อเข้าไปในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีการตกตะกอนโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของสารแขวนลอยหรือธาตุอาหารนั้น นอกจากนี้ ลำต้นและรากของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองสารแขวนลอย ธาตุอาหาร และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนมากับน้ำเสีย ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกที่ปนมาในน้ำเสียลดลงทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น

3.2) วิธีการทางเคมี ในน้ำเสียจะมีธาตุอาหารหลายชนิดที่จำเป็นสำหรับพืชนำไปใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ นอกจากนั้น ธาตุอาหารต่าง ๆ ในน้ำเสียยังเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในน้ำได้ เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารละลายน้ำจะทำปฏิกิริยาดูดซับติดผิวกับอนุภาคดิน ส่วนไนโตรเจนนอกจากจะอยู่ในรูปของไนเตรทแล้ว ไนโตรเจนยังสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนชนิดอื่นได้ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

3.3) วิธีการทางชีววิทยา สิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งพืชและแบคทีเรียจะใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเพื่อการดำรงชีวิต โดยแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำในลักษณะแขวนลอยจะย่อยธาตุอาหารที่ปนมากับน้ำเสียเพื่อการดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวนในน้ำ ซึ่งส่วนหนึ่งจะรวมตัวกันเกาะบริเวณรากหรือลำต้นของพืชที่อยู่ใต้น้ำในลักษณะของฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) โดยจะย่อยธาตุอาหารและสิ่งสกปรกที่ปนมากับน้ำเสีย ดังนั้น จึงทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น

นอกจากนี้ มัลลิกา ปัญญาคะโป (2544 ข: 5 – 18) กล่าวว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อควรระวังทางด้านสาธารณสุข ดังนี้

1. คุณภาพน้ำใต้ดิน สารต่าง ๆ อาจซึมผ่านดินลงสู่น้ำใต้ดิน โดยเฉพาะไนเตรท ถ้าน้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนด้วยไนเตรทแล้วมีการนำน้ำใต้ดินนี้ไปผลิตน้ำประปาย่อมเสี่ยงต่อการเกิดโรค Methemoglobinemia ในทารก ดังนั้น US. EPA. จึงกำหนดปริมาณสูงสุดของไนเตรทในน้ำใต้ดินไม่มากกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร (ในรูปไนเตรทไนโตรเจน) แต่ในกรณีโลหะหนักมักจะเกิดการดูดซับและการตกตะกอนระหว่างอนุภาคดินจนหมดแล้ว จึงมักจะไม่เกิดการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน ส่วนกรณีแบคทีเรีย ถ้าเป็นดินอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถกรองแบคทีเรียจากน้ำได้หมด แต่ถ้าดินอนุภาคขนาดใหญ่ก็อาจเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียลงสู่น้ำใต้ดินได้ ดังนั้น ในการเลือกพื้นที่ที่จะทำการบำบัดด้วยระบบธรรมชาติ ควรเลือกพื้นที่เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคเล็ก

2. คุณภาพของพืช โลหะหนักที่สะสมอยู่ในดินและตะกอนดินอาจถูกดูดเข้าสู่พืช ระบบนิเวศ และห่วงโซ่อาหารได้ ปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดของการบำบัดโดยวิธีธรรมชาติ คือ ปริมาณแคดเมียม โดยปริมาณแคดเมียมที่สะสมนี้จะเป็นตัวกำหนดในการคำนวณปริมาณน้ำเสียหรือตะกอนต่อหน่วยพื้นที่ที่สามารถทิ้งลงสู่พื้นดินได้

2.8 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

2.8.1 ประเภทของพืชน้ำ

พืชน้ำหรือพรรณไม้น้ำ (Aquatic Plant, Water Plant หรือ Hydrophytes) หมายถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำ โดยพืชอาจจะเจริญโผล่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ อยู่ใต้น้ำ หรือขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง หรือริมคลอง และรวมถึงพืชที่เจริญเติบโตในบริเวณที่น้ำขังแฉะด้วย นอกจากนี้ พืชน้ำยังหมายรวมถึง พืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งในช่วงชีวิต หรือพืชที่มีเมล็ดงอกในน้ำ หรืองอกในพื้นดินใต้น้ำแล้วเจริญอยู่ในน้ำช่วงระยะเวลาหนึ่ง

พืชน้ำ เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีชีวิตและมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อระบบนิเวศวิทยาแหล่งน้ำ พืชน้ำสามารถสังเคราะห์แสงเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เก็บสะสมเป็นแหล่งอาหารทั้งทางตรงและทางอ้อมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ รวมทั้งใช้เป็นที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำ พืชลอยน้ำหรือพืชใต้น้ำนั้นจะช่วยทำให้น้ำสะอาดและช่วยแปรสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำอาจจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วจนส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภคของมนุษย์ได้

ขนาดของพืชน้ำมีตั้งแต่เล็กมากจนต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microphytes) ไปจนถึงขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Macrophytes) พืชน้ำมีการเจริญเติบโตในแหล่งน้ำ

แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของพืชน้ำตามลักษณะแหล่งที่อยู่เป็น 4 ประเภท ดังนี้ (กรมประมง. กองประมงน้ำจืด, 2538: 1 – 3; สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542: 8 – 10)

1. พืชใต้น้ำ (Submerged Plants)

เป็นพืชน้ำที่มีส่วนของราก ลำต้น และใบอยู่ใต้น้ำทั้งหมด อาจมีรากยึดกับพื้นดินใต้น้ำหรือไม่ก็ได้ บางชนิดเมื่อเจริญเต็มที่ก็จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ พืชใต้น้ำมีประโยชน์มากเพราะจะคายก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำโดยตรง ขณะเดียวกันก็จะดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของสัตว์น้ำทำให้แหล่งน้ำอยู่ในสภาพสมดุล ตัวอย่างพืชประเภทนี้ ได้แก่ สาหร่ายและสันตะวาชนิดต่าง ๆ

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (Emerged Plants)

พืชน้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและโผล่เหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนของใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ บางชนิดพบว่าที่โคนต้นมีเนื้อเยื่อโปร่ง ๆ สีขาว เรียกว่า Aerenchymatous Tissue ทำหน้าที่เก็บสะสมอากาศไว้เพื่อช่วยในการหายใจ ตัวอย่างพืชประเภทนี้ ได้แก่ บัวต่าง ๆ และกกบางชนิด เป็นต้น

3. พืชลอยน้ำ (Floating Plants)

พืชน้ำประเภทนี้จะมีการเจริญเติบโตลอยอยู่ระดับผิวน้ำ มีรากห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ส่วนของลำต้น ใบ และดอก จะเจริญเติบโตที่เหนือน้ำ ถ้าอยู่ในน้ำตื้นรากอาจจะหยั่งยึดพื้นดินใต้น้ำก็ได้ พืชลอยน้ำขนาดเล็กมักลอยตัวได้อย่างอิสระ เช่น พวกแหนต่าง ๆ ส่วนพวกที่มีขนาดใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ผักตบชวามีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น ผักบุ้งมีส่วนลำต้นภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดตัวไปบนผิวน้ำได้ดี เป็นต้น

4. พืชชายน้ำ (Marginal Plants)

พืชน้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง หนองน้ำ หรือทะเลสาบ โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน และส่งลำต้นบางส่วน ใบและดอกขึ้นมาที่เหนือน้ำ เช่น ผักเป็ดน้ำและหญ้าต่าง ๆ พืชน้ำประเภทนี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับพวกพืชโผล่เหนือน้ำมากจนบางครั้งไม่สามารถแยกได้ชัดเจน ซึ่งพืชบางอย่างพบว่าจำแนกเป็นได้ทั้งพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำ เช่น ต้นกกบางชนิด เป็นต้น

พืชน้ำทั้งหมดที่กล่าวมานี้ พบว่า มีการจัดแบ่งประเภทตามลักษณะของแหล่งที่อยู่ของพืชนั้น ๆ โดยทุกประเภทค่อนข้างจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ยกเว้นพวกพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำเท่านั้นที่อาจแบ่งแยกได้ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ ยังมีพืชบางอย่างที่พบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น ต้นผักแว่น ต้นกระเม็ง ต้นปรงทอง ปรงไข่ เป็นต้น

2.8.2 หลักการการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำมีส่วนสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ ระบบกักเก็บน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ และระบบพืชลอยน้ำ ซึ่ง Tchobanoglous, G. (1987: 28) ได้เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไปกับหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไว้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไปจะทำการบำบัดน้ำเสียอย่างรวดเร็ว โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือ และการควบคุมระบบที่ซับซ้อน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำจะทำการบำบัดน้ำเสียอย่างช้า ๆ ให้เป็นไปโดยธรรมชาติ และไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์เครื่องมือและการควบคุมระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนแต่ประการใด

กระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้พืชน้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปฏิกิริยาทางชีววิทยา ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ – เคมี และลักษณะของพืชน้ำที่นำมาใช้ ซึ่งในแต่ละระบบอาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกัน (Monoculture) หรือมากกว่าหนึ่งชนิด (Polyculture) ก็ได้ รากของพืชน้ำจะทำหน้าที่เสมือนเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียเพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ การทำงานของแบคทีเรียจะทำให้ปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ (Total Suspended Solid) และค่าบีโอดี (BOD) ลดลง นอกจากนี้พืชน้ำยังมีหน้าที่ช่วยในการดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) มาเก็บสะสมไว้ในตัวเอง (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536: 155)

การทำงานของส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย มีหลักการทำงานของแต่ละส่วนของพืชน้ำแยกเป็นส่วนของพืชที่อยู่ในน้ำและส่วนของพืชที่อยู่เหนือน้ำ (Stowell, R., et al., 1981: 919 – 940 อ้างถึงใน ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 24) ดังนี้

1. ราก ก้าน หรือลำต้นที่อยู่ในน้ำ จะทำหน้าที่ดูดซับ (Up Take) สารพิษและสารอาหาร เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่และเจริญเติบโต เป็นตัวกลางในการกรอง (Filtration) และดูดซับ (Absorption) ตะกอนและของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยลดความเข้มข้นของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำ

2. ก้าน ลำต้น หรือใบที่อยู่เหนือน้ำ จะช่วยลดผลกระทบของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา และทำให้การส่งผ่าน (Transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

2.8.3 การเลือกใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

พืชน้ำมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การเลือกพืชน้ำด้วยการพิจารณาถึงคุณสมบัติของพืชน้ำเป็นสิ่งจำเป็น พัฒนี จันทรโรทัย (2536: 155 – 156) จึงได้สรุปข้อสังเกตในการเลือกใช้พืชน้ำในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ 7 ข้อ ดังนี้

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และจะต้องเป็นพืชที่ทนต่ออากาศเย็นได้ดี

2. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงและเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งปริมาณสารอาหารในน้ำที่พืชนำไปใช้นั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกับอัตราการเจริญเติบโตของพืชและองค์ประกอบภายในเนื้อเยื่อพืช

3. มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยพืชน้ำบางชนิด เช่น ผักตบชวา สามารถส่งผ่านออกซิเจนลงมาตามใบ ลำต้น และราก ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ส่งผ่านมานี้บางส่วนรากจะนำไปใช้ในการหายใจ ในขณะที่ออกซิเจนส่วนที่เหลือจะส่งผ่านลงมาที่ชั้นน้ำและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

4. สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง

5. มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้ พืชน้ำหลายชนิดสามารถดูดซึมเอาปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำได้ในปริมาณที่มากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณสารอาหารที่พืชดูดไปใช้จะสัมพันธ์โดยตรงกับชีวมวลของพืช พืชที่มีชีวมวลต่อหน่วยพื้นที่มากย่อมมีโอกาสที่จะเก็บสะสมปริมาณสารอาหารไว้ได้มาก อย่างไรก็ดีสารอาหารที่พืชดูดไปนั้นจะอยู่ในเนื้อเยื่อพืชเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อพืชนั้นตายลงสารอาหารเหล่านี้ก็จะกลับคืนสู่แหล่งน้ำ

6. มีความทนทานต่อโรคและแมลงต่าง ๆ ได้ดี

7. ต้องง่ายต่อการจัดการโดยเฉพาะการนำพืชน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากพืชน้ำจะสามารถลดปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำให้ได้ผลดีที่สุดนั้น จะต้องมีการนำพืชน้ำนั้นออกจากระบบบ้าง เพื่อไม่ให้พืชน้ำอยู่กันหนาแน่นเกินไปจนเกิดความเครียด

2.8.4 ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

อภิชัย เชียร์ศิริกุล (2533: 5 – 7) ได้รายงานถึงข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไว้ ดังนี้คือ

1. สภาพภูมิประเทศของประเทศไทยเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำโดยทั่วไป

2. ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำไม่ต้องการใช้พลังงานจากแหล่งใด ๆ นอกจากพลังงานจากดวงอาทิตย์

3. การควบคุมการทำงานของระบบไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้ผู้ดูแลที่มีความรู้มาก

4. พืชน้ำที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ เช่น ทำปุ๋ยหมักผลิตแก๊สมีเทน หรือทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรม เป็นต้น

2.9 ข้อมูลพื้นฐานของไข่น้ำ

2.9.1 ลักษณะทั่วไป

ไข่น้ำหรือผำ (Water Meal) เป็นพืชน้ำสีเขียวชนิดหนึ่งจัดว่าเป็นพืชกลุ่มมีดอก (Division Tracheophyta) ที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลก เป็นพืชจำพวกเดียวกับแหนเป็ด อยู่ใน Family Lemnaceae และ Genus Wolffia มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. และมีชื่อสามัญว่า Wolffia พืชสกุลนี้ทัลลัส (Thallus) มีขนาดเล็กมาก มองเห็นเป็นเพียงเม็ดสีเขียว รูปทรงกลมหรือกลมรี มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 1.5 มิลลิเมตร ไม่มีราก มักอยู่เดี่ยว ๆ หรือติดกันเป็นคู่ ดอกมีขนาดเล็กออกเป็นช่อประกอบด้วยดอกตัวผู้ 1 ดอก และดอกตัวเมีย 1 ดอก ลอยอยู่ตามผิวน้ำ อาจอยู่เป็นกลุ่มล้วน ๆ หรือลอยปนกับพืชชนิดอื่น ๆ เช่น แหน แหนแดงก็ได้ สามารถพบทั่วไปตามแหล่งน้ำที่มีน้ำนิ่งหรือน้ำขัง เช่น บ่อ ห้วย บึง หนองน้ำ และแอ่งน้ำขนาดเล็ก (ศิริภาวี ศรีเจริญ และคณะ, 2544: 7; ประวิทย์ สุรนีรนาถ, 2548: 1) ซึ่ง ธวัชชัย รัตน์ชเลส และเจมส์เอฟ แมกซ์เวล (2535: 111) ได้แสดงอนุกรมวิธานของไข่น้ำไว้ดังนี้

Division Anthophyta
Class Monocotyledonae
Order Arales
Family Lemnaceae
Genus Wolffia
Species *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.

โดยไข่น้ำในสกุล Wolffia ที่พบในเมืองไทย มี 2 ชนิด คือ *Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm. และ *Wolffia globosa* (Linn) Wimm.

2.9.2 ลักษณะทางชีววิทยา

ลักษณะทางชีววิทยาของไข่น้ำ มีรายละเอียดดังนี้

1. ไข่น้ำเป็นพืชล้มลุกพวก Pernnial ที่ลอยอยู่ตามผิวน้ำ ลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ สีเขียว เป็นพืชที่มีวิวัฒนาการทางด้านโครงสร้างที่ลดลักษณะซับซ้อนมาสู่โครงสร้างอย่างง่าย คือ ไม่มีลำต้นและใบแต่กลับมีลักษณะเป็นทัลลัสอยู่เดี่ยว ๆ หรือติดกันเป็นคู่ ลักษณะของทัลลัสเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ พองหนาทั้งด้านบนและด้านล่าง หรือด้านบนแบนราบส่วนด้านล่างนูนหนา แผ่นทัลลัสมีสีเขียวทุกด้าน และบางครั้งพบว่ามี Pigment เป็นสีน้ำตาลด้วย ไม่มีราก สามารถแบ่งแยกให้ทัลลัสใหม่เกิดภายในทัลลัสเดิมได้

2. ดอกและส่วนประกอบของดอกไข่น้ำเป็นดอกเพศเดียว (Unsexual) เป็นพืช Monoeccious แต่ละดอกไม่มีกลีบดอก ดอกออกเป็นช่อขนาดเล็กมาก เจริญออกทางด้านข้างของทัลลัส อาจจะมี Spathe เป็นเยื่อบาง ๆ ห่อหุ้มหรือไม่มีในบางชนิด (เสนาะ บุญมี, 2523: 154) ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้ดอกที่มีลำต้นเล็กที่สุดในโลก (อำพล พงศ์สุวรรณ และอารีย์ สิทธิมังค์, 2532: 149)

3. แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของไข่น้ำ พบในแหล่งน้ำจืดนิ่ง มีสารอาหารประเภทอินทรียสารในน้ำมาก น้ำใส อากาศร้อน และแสงแดดมาก โดยปกติแล้วไข่น้ำมักจะมีตัวเบียพมาอาศัยอยู่ด้วย

4. ไข่น้ำจะมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ โดยทั่วไปแล้วไข่น้ำต้องการธาตุอาหารเช่นเดียวกับพืชทั่ว ๆ ไป คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม (ลีลนา สาริยา, 2537: 34) รวมทั้ง แสงสว่างเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) เพื่อใช้ในการสร้างอาหารให้แก่เซลล์เพิ่มชีวมวลของพืช ในช่วงฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อนจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และอัตราการเจริญเติบโตลดลงในฤดูฝน อาจเนื่องจากน้ำฝนทำให้ธาตุอาหารในแหล่งน้ำเจือจางลงและเป็นฤดูที่ความเข้มข้นของแสงน้อยกว่าด้วย (อำพล พงศ์สุวรรณ และอารีย์ สิทธิมังค์, 2532: 149)

5. การสืบพันธุ์ของไข่น้ำมี 2 แบบ ได้แก่ (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2548: 1)

1) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เนื่องจากไข่น้ำเป็นพืชมีดอกขนาดเล็กที่สุด ดอกของไข่น้ำจะเจริญเติบโตเกิดในถุงตรงขอบทัลลัส ดอกไม่มีกลีบดอก และไม่มีกลีบเลี้ยง ดอกตัวผู้จะมีเกสรตัวผู้ 1 อัน ประกอบด้วยอับละอองเรณู 2 อับ ดอกตัวเมียมีรังไข่ที่มี 1 ช่องและมีไข่อยู่ 1 ใบ ก้านเกสรตัวเมียสั้น ยอดเกสรตัวเมียมีลักษณะแบน เมื่อเป็นผลแล้วเมล็ดมีขนาดเล็กลักษณะกลมเกลี้ยง ยังไม่ปรากฏว่ามีไข่น้ำมีดอกในประเทศไทย มีแต่รายงานการพบในประเทศอื่น ไข่น้ำจะมีดอกและเมล็ดประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม

2) การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ทัลลัสที่เกิดใหม่รูป Funnel – shaped มี 1 อันเกิดทางด้านข้างโดยการแตกหน่อ ซึ่งมีผู้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตแล้วพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วไข่น้ำแต่ละต้นจะแตกหน่อให้ต้นใหม่ทุก ๆ 5 วัน

2.9.3 การกระจายพันธุ์

ไข่น้ำกระจายอยู่ในประเทศต่าง ๆ ในทวีปยุโรป ทวีปแอฟริกากลางและใต้ เกาะมาดากัสการ์ และในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะบริเวณเขตศูนย์สูตรใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังพบในประเทศบราซิล อินโดนีเซีย และออสเตรเลียด้วย (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2548: 1)

2.9.4 การปลูก

การปลูกไข่น้ำสามารถทำได้โดยนำไข่น้ำไปปล่อยในแหล่งน้ำนิ่งตามธรรมชาติ เช่น บ่อ ห้วย บึง เป็นต้น ไข่น้ำจะเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณเอง

2.9.5 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวไข่น้ำสามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการใช้สวิงหรือตะแกรงกรุด้วยผ้าขาวบางช้อนขึ้นจากผิวน้ำ และนำไปล้างน้ำให้สะอาดก่อนนำไปบริโภค (อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ, 2547: 97)

2.9.6 การนำไปใช้ประโยชน์

มนุษย์มีการนำไข่น้ำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการศึกษา ด้านโภชนาการ ด้านการค้า และด้านการแพทย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ประโยชน์ด้านการศึกษา

เนื่องจากไข่น้ำเป็นต้นไม้ขนาดเล็ก มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว สามารถนำมาปลูกเลี้ยงไว้ในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กได้ จึงเหมาะแก่การทำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษา เช่น การศึกษาอิทธิพลของสารที่ควบคุมการขยายพันธุ์ของพืช

2. ประโยชน์ด้านโภชนาการ

1) อาหารมนุษย์ ไข่น้ำมีปริมาณโปรตีนสูงและเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ ทั้งยังมีวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ มนุษย์จึงนิยมนำไข่น้ำมารับประทานเป็นอาหาร และเป็นที่นิยมอย่างมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ โดยการนำไข่น้ำเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหาร เช่น แกงคั่วหมู แกงอ่อม แกงไก่ ต้มยำ ไข่เจียวใส่ไข่น้ำ ห่อหมกไข่น้ำ และไข่น้ำปรุงรสอบแห้ง เป็นต้น นอกจากนี้ เสนาะ บุญมี (2523: 154) รายงานว่า ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการศึกษาค้นคว้าและสกัดเอาสารที่เป็นประโยชน์ดังกล่าวมาทำเป็นอาหารแห้งสำหรับมนุษย์อวกาศ

2) อาหารสัตว์ ไข่น้ำเป็นอาหารธรรมชาติประเภทพืชที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะสัตว์น้ำจำพวกปลาที่กินพืชเป็นอาหาร (Herbivores) เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาหมอเทศ ปลาทอง และปลานวลจันทร์ เป็นต้น และใช้เป็นอาหารสัตว์บก เช่น สุกร เป็ด เป็นต้น ได้ (อำพล พงศ์สุวรรณ และอารีย์ สิทธิมังค์, 2532: 149; ศิริภาวี ศรีเจริญ และคณะ, 2544: 15)

ทั้งนี้ คุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำจากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำหนักแห้ง พบว่า มีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และปริมาณเส้นใยไฟเบอร์เท่ากับร้อยละ 6.8 – 45.0, 1.8 – 9.2, 14.1 – 43.6 และ 5.7 – 16.2 ตามลำดับ และพบปริมาณกรดอะมิโน

Leucine, Threonine, Valine, Isoleucine และ Phenylalanine ในระดับสูง แต่มี Cysteine, Methionine และ Tyrosine อยู่ในระดับต่ำ จะเห็นได้ว่าไข่น้ำเป็นพืชที่ให้โปรตีนสูงมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของการเจริญเติบโตด้วย (สุทธิพงษ์ พงษ์วร, 2548: 1)

3. ประโยชน์ด้านการค้า

การซื้อขายไข่น้ำมีอยู่ทั่วไปทั้งในชนบทและในเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดสดจะพบชาวบ้านเก็บเกี่ยวผลผลิตมาขายในราคากิโลกรัมละ 20 – 30 บาท ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ถ้าเป็นฤดูฝนราคาจะต่ำกว่าการจำหน่ายในฤดูแล้ง แต่ในกรุงเทพมหานครค่อนข้างหาซื้อได้ยาก มีเพียงบางตลาดเท่านั้น เช่น ตลาดคลองเตย ตลาดแถบมีนบุรี และตลาดแถบชานเมือง เป็นต้น จึงทำให้ไข่น้ำมีราคาขายที่สูงขึ้นอยู่ที่กิโลกรัมละ 40 – 50 บาท (ฟาร์มไทยสุวรรณอินเตอร์, 2548: 1 – 2) ในด้านการแปรรูปและการนำมาประกอบเป็นอาหารไข่น้ำสามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารเลี้ยงปลาเพื่อสามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประกอบเป็นอาหารมนุษย์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคอาหารที่ทำจากไข่น้ำของชาวชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในบางพื้นที่จะถือว่าเป็นอาหารรสชาติดีและหาทานยาก (ศิริภาวี ศรีเจริญ, นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2545: 25)

4. ประโยชน์ด้านการแพทย์

เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่มีโปรตีนสูงในระดับเดียวกัน เช่น เมล็ดงา ถั่ว เป็นต้น พบว่า ไข่น้ำมีเส้นใยอาหารปริมาณสูงกว่ามาก โดยเส้นใยเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในหลาย ๆ ด้าน เช่น การช่วยให้ระบบขับถ่ายเป็นปกติ โดยเส้นใยจะช่วยดูดซับสารพิษ และช่วยลดระยะเวลาการคั่งค้างของกากอาหารในลำไส้ ช่วยให้กากอาหารเคลื่อนที่ผ่านลำไส้เร็วขึ้น ส่งผลให้สารที่เป็นตัวก่อมะเร็งมีโอกาสสัมผัสกับผนังลำไส้ได้น้อยลง ทำให้โอกาสจะเกิดโรคมะเร็งลดลง นอกจากนี้ เส้นใยยังช่วยในการลดคลอเรสเตอรอลในผู้ป่วยที่มีคลอเรสเตอรอลในเลือดสูงและช่วยลดน้ำตาลในเลือดในผู้ป่วยเบาหวาน (อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ, 2547: 101)

2.9.7 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต (ชนกพร จุฑาสงฆ์, 2542: 12 – 14)

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลในการเร่งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืชเกือบทุกประเภท แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตสำหรับพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยที่ไข่น้ำจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 32 – 33 องศาเซลเซียส และยังพบว่าไข่น้ำแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น ถ้านำไข่น้ำชนิด *Wolffia arrhiza* มาเลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในเวลา 14 – 20 วัน จะทำ

ให้ไข่น้ำตาย และถ้านำไข่น้ำมาเลี้ยงในช่วงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในเวลา 6 – 10 วัน ไข่น้ำจะตายเช่นเดียวกัน

2. แสงสว่าง ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ร้อยละ 56 ที่ระดับความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเข้มแสงระหว่าง 4,000 – 15,000 ลักซ์ ดังนั้น ในฤดูฝนจะต้องหาวิธีเพิ่มความเข้มแสงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (Landolt, E., 1986: 148)

3. ความเป็นกรด – ด่าง ค่าความเป็นกรด – ด่างของแหล่งน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม ทั้งนี้ ไข่น้ำจะเจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรด – ด่าง ที่ 3.5 – 10.4 และเจริญได้ดีที่สุดที่ระดับความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5.0

4. น้ำ ไข่น้ำเจริญเติบโตได้ดีตามแหล่งน้ำจืด นิ่ง และใส เช่น บึง และหนองน้ำธรรมชาติทั่วไป โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีการตกสะสมของอินทรียสาร เช่น ใบไม้ และมูลสัตว์ เป็นต้น

5. ธาตุอาหาร พืชมีความต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ โดยมีธาตุอาหารหลัก 3 ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม มีรายละเอียดดังนี้

1) ไนโตรเจน พืชสามารถรับไนโตรเจนได้ในรูปของไนเตรท (NO_3^-) และในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากดินและน้ำเพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนแก่พืช ธาตุไนโตรเจนมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช และถือเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต โดยธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของสาระสำคัญในสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ และไซโทโครม เป็นต้น

2) ฟอสฟอรัส ธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และนิวคลีโอไทด์ เช่น ATP เป็นองค์ประกอบสำคัญของเมมเบรนในเซลล์ทุกชนิด เพราะเมมเบรนมีฟอสโฟลิปิดเป็นองค์ประกอบหลัก ฟอสฟอรัสจะพบปริมาณมากที่สุดในส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในพืชที่ขาดฟอสฟอรัสการเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก มีสีเขียวเข้ม และมักจะมีการสะสมของแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

3) โปตัสเซียม ธาตุนี้จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และกระตุ้นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการสร้างแป้งและโปรตีน นอกจากนี้ ยังเป็นไอออนที่สำคัญที่ให้ออสโมติกโพเทนเชียลแก่เซลล์ทำให้เซลล์เต่ง

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธงชัย ภู่วชิรานนท์ (2526: บทคัดย่อ) ศึกษาการสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน โดยทดลองปลูกผักบุ้งและผักกระเฉดในสารละลายไฮโดรโปนิค (Hydroponic Solution) ที่มีความเข้มข้นตะกั่วต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 5 และ 10 พีพีเอ็ม พบว่า การสะสมของตะกั่วในในผักทั้ง 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายไฮโดรโปนิคและอายุพืช โดยผักกระเฉดจะมีการสะสมของตะกั่วมากกว่าผักบุ้งในสภาวะเดียวกัน

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น (2530: 14 – 15) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลมและผักตบชวาในเวลา 1 เดือน พบว่า ผักตบชวาสามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยรวม ฟอสเฟต และสีของน้ำเสียได้เฉพาะภายในช่วง 20 วันนับจากเริ่มปลูกลงในน้ำเสีย ส่วนกกกลมสามารถลดค่าทั้ง 5 นี้ได้ตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทำการศึกษา นอกจากนี้พืชน้ำทั้ง 2 ชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติในการรักษาระดับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าคงที่อยู่ที่ระดับใกล้เคียง 7 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่า กกกลมมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้เป็นพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีคุณค่าทางเศรษฐกิจและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดี

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสัน พบว่า ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารคิดเป็นร้อยละในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉด ดังนี้ โปตัสเซียมเท่ากับ 2.002 ไนโตรเจนเท่ากับ 3.585 ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.442 และแมกนีเซียมเท่ากับ 0.176 นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักกระเฉดคิดเป็นไมโครกรัมต่อกรัมในน้ำหนักแห้ง พบว่า มีเหล็ก 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 ซึ่งให้ผลได้มวลชีวภาพสูงสุดสัปดาห์ละ 2.28 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร โดยประสิทธิภาพของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยดีกว่าบ่อควบคุม (ซึ่งไม่ใส่ผักตบชวา) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บุญส่ง ไข่เกษ และคณะ (2535: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนการเคหะแห่งชาติด้วยพืชน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา จอก และแหน โดยใช้บ่อผันสภาพรูปตัวแอลเป็นบ่อทดลองด้วยระยะเวลาในการทดลอง 7 เดือน พบว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีความเหมาะสม

ในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียมากกว่าจอกและแหน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 54.68 และมีความสามารถในการกำจัดบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ 11.00, 2.79 และ 0.49 กรัม/ตารางเมตร/วัน

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

ชัชชาย แจ่มใส (2538: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้วัชพืชลอยน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ 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 ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด ส่วนจอกและผักกระเฉดก็สามารถที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้เช่นเดียวกันแต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า

ปกรณ์ ประดิษฐ์ทอง (2540: บทคัดย่อ) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี ธาตุอาหารพืชที่ศึกษา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล โดยจำลองลักษณะพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ ใช้พืช 2 ชนิด คือ กกกลมและธูปฤาษี ใช้ช่วงเวลาการขังน้ำในแปลง 3, 5 และ 7 วัน สลับกับกับการระบายน้ำออกให้แห้ง 3 วัน ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และพืชจากแปลงทดลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียในแปลงทดลองตลอดระยะเวลา 90

วัน พบว่า ธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในน้ำที่ออกจากแปลงมีปริมาณลดลง ธาตุอาหารส่วนที่ลดลงนั้นพบสะสมอยู่ในดินและพืช แต่โลหะหนักที่ลดลงพบสะสมอยู่เฉพาะในพืชเท่านั้น ช่วงเวลาการขังน้ำ 7 วัน สามารถทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนในดินได้สูงที่สุด ส่วนช่วงเวลาการขังน้ำ 3 วัน สามารถทำให้เกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินได้สูงที่สุด และไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงโปตัสเซียมและโลหะหนักระหว่างช่วงเวลาการขังน้ำและชนิดพืชที่ต่างกัน ธูปฤาษีสามารถทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่ากกกลม และการปลูกพืชทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารพืชในดินมากกว่าไม่ปลูกพืช ซึ่งจากผลการศึกษา สรุปว่า ควรเลือกใช้ช่วงเวลาการขังน้ำ 3 วัน เนื่องจากสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในปริมาณมากโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และควรเลือกพืชชนิดกกกลมเนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงกว่าธูปฤาษี

ชนกพร จุฑาสงฆ์ (2542: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และเติมปุ๋ยเคมีสูตรต่างกัน โดยเพาะเลี้ยงในอ่างคอนกรีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้น 50 ลิตร สภาพกลางแจ้งเป็นเวลา 10 วัน พบว่า ไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 และเติมปุ๋ยเคมีสูตร 18 – 12 – 6 จำนวน 0.18 กรัมต่อลิตร และที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 และเติมปุ๋ยเคมีสูตร 18 – 12 – 6 และสูตร 16 – 16 – 8 จำนวน 0.18 กรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งและปริมาณโปรตีนมากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในหน่วยทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ตามลำดับ

สมศักดิ์ สันวิลาศ (2542: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารและระดับความเข้มของแสงต่างกัน โดยเพาะเลี้ยงในอ่างคอนกรีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 74 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้น 50 ลิตร ในสภาพกลางแจ้งเป็นเวลา 12 วัน พบว่า ไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรน้ำสกัดจากมูลโคความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และได้รับความเข้มแสงร้อยละ 100 และอาหารสูตรน้ำสกัดจากมูลโคความเข้มข้น 35 กรัมต่อลิตร และได้รับความเข้มแสงร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนมากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในหน่วยทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ตามลำดับ

อะโน สุขเจริญ (2542: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในชนิดอาหารและระดับความเข้มแสงต่างกัน โดยเพาะเลี้ยงในอ่างพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้น 24 ลิตร ในสภาพกลางแจ้งเป็นเวลา 12 วัน พบว่า ไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากน้ำสกัดจากมูลโคแห้งความเข้มข้น 2.1 กรัมต่อลิตร และได้รับความเข้มแสงร้อยละ 100 และอาหารจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตแป้งทำขนมจีนความเข้มข้นร้อยละ 20 และได้รับ

ความเข้มแสงร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีนมากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในหน่วยทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ตามลำดับ

ธนิยา เกาศล (2545: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และผักตบชวา พบว่า มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด และค่าตัวแปรจากการบำบัดส่วนใหญ่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่าพืชทั้ง 3 ชนิด มีความเหมาะสมในการนำมาบำบัดน้ำเสีย โดยผักบุ้งและผักตบชวามีความคงทนและดูแลรักษาง่าย และผักตบชวาสามารถปลูกให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ง่ายกว่าพืชอีก 2 ชนิด

จันทร์ประภา ชุมชัย (2546: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำบางชนิด ได้แก่ จอก ผักตบชวา กกสามเหลี่ยม แห้วทรงกระเทียม และธูปฤาษี ในการบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งกุลาดำ โดยปลูกพืชน้ำแต่ละชนิดจำนวน 75 ต้น ในบ่อทดลองคอนกรีตขนาด 1.0 x 3.0 เมตร และบ่อทดลองอีก 1 บ่อ ไม่ได้ปลูกพืชน้ำ เพื่อใช้เป็นบ่อควบคุม เป็นเวลา 34 วัน พบว่า จอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตมากกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ และบ่อควบคุมมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์มากกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ แต่ทั้งนี้พืชน้ำและบ่อควบคุมไม่สามารถบำบัดปริมาณซิลิเกตได้ เมื่อพิจารณาด้านการเจริญเติบโตของพืชน้ำเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเริ่มต้น พบว่า มวลชีวภาพของผักตบชวาเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ แห้วทรงกระเทียม กกสามเหลี่ยม ธูปฤาษี และจอก ตามลำดับ

บุญมา กรายไทยสงค์ (2548: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำเศรษฐกิจ 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในตู้ทดลอง ปริมาณตู้ละ 100 ลิตร เป็นเวลา 28 วัน เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า กระจับเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความหนาแน่น 400 กรัม สามารถบำบัดบีโอดี ความขุ่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ได้เท่ากับร้อยละ 93.67, 92.09, 84.43, 65.65, 59.56 และ 80.11 ตามลำดับ

ปิยนุช บุญศิริชัย (2548: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด โดยการใช้รูปแบบการทดลอง 5 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับคุณภาพน้ำ และรูปแบบการทดลอง 4 × 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวล 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยมีระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัม เป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งทุกระดับจะทำการศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอย และความเป็นกรด – ด่าง จะมีแนวโน้ม

ลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเค็มมีค่าเท่ากับ 0 ppt โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน จะสามารถบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งได้มากกว่าผักกระเฉดในทุก ๆ ระดับ สำหรับชีวมวลรวมของผักกระเฉดนั้น ที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม จะมีชีวมวลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม ทั้งในน้ำทิ้งและผักกระเฉด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สรุปได้ว่า ผักกระเฉดสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุก่อสร้างโรงเรือน ได้แก่ ไม้ เหล็ก ตาข่ายสีดำ ผ้ามุ้งสีฟ้า ลวด เชือก

3.1.2 ไข่น้ำ Water Meal : *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.

3.1.3 ภาชนะทดลอง ทำจากพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 63 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 24 เซนติเมตร

3.1.4 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด

3.1.5 ภาชนะบรรจุน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเพื่อขนย้ายมาที่โรงเรือนทดลอง

3.1.6 ผ้าขาวบาง

3.1.7 เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม

3.1.8 เครื่องชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

3.1.9 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและไข่น้ำ

3.1.10 ขวดพลาสติกโพลีเอทธิลีนสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

3.1.11 ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างไข่น้ำ

3.1.12 กระบอกดวงปริมาตรน้ำ

3.1.13 กล้องถ่ายรูป

3.1.14 กล่องโฟม

3.2 วิธีการศึกษา

ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำภายในโรงเรือนทดลอง โดยทำการทดลองในภาชนะพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 63 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 24 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 60 ลิตร น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการบำบัดเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืดจากพิเชษฐ์ฟาร์ม ตั้งอยู่ที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี

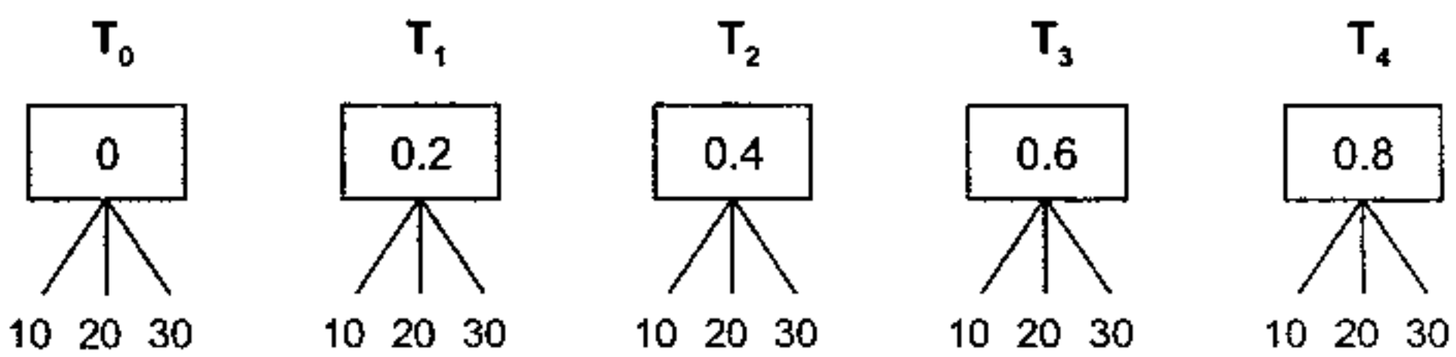
3.2.1 แผนการทดลอง

3.2.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ 5 × 3 Factorial Arrangement ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ระดับชีวมวลของไข่น้ำ แบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 วัน



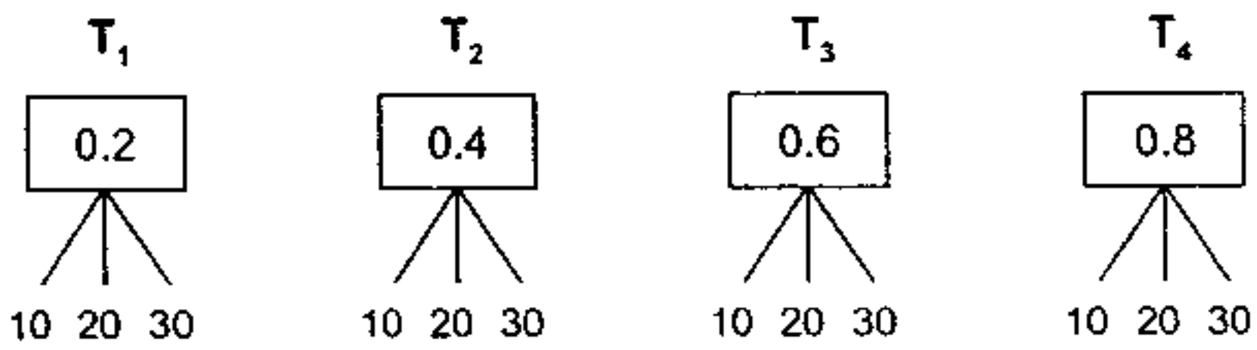
ภาพที่ 3.1 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ

3.2.1.2 การศึกษาชีวมวลของไข่น้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยวางรูปแบบการทดลองแบบ 4 × 3 Factorial Arrangement ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ระดับชีวมวลของไข่น้ำ แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 วัน



ภาพที่ 3.2 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาชีวมวลของไข่น้ำ

3.2.1.3 หน่วยทดลอง

การทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย 5 หน่วยทดลอง (Treatment) แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับสิ่งทดลอง คือ ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 : ไม่มีการใส่ไข่น้ำ (T_0)

หน่วยทดลองที่ 2 : ใส่ไข่น้ำในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม (T_1)

หน่วยทดลองที่ 3 : ใส่ไข่น้ำในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม (T_2)

หน่วยทดลองที่ 4 : ใส่ไข่น้ำในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม (T_3)

หน่วยทดลองที่ 5 : ใส่ไข่น้ำในระดับชีวมวลเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม (T_4)

3.2.2 การเตรียมน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและไข่น้ำ

3.2.2.1 การเตรียมน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด ตั้งอยู่ที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี โดยจะเก็บน้ำทิ้งภายหลังจากจับกุ้งปริมาณ 1,100 ลิตร และจะนำมาพักไว้ก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการทดลองจะถูกสุ่มตัวอย่างไปบางส่วนและนำส่งภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

1. คุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO_3^-) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความเค็ม (Salinity)

2. โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd)

สำหรับน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เหลือจากการสุ่มตัวอย่างจะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2.2 การเตรียมไข่น้ำ

ไข่น้ำที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากบึงน้ำในอำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ จำนวน 12 กิโลกรัม แล้วนำมาเลี้ยงไว้ในน้ำสะอาดก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน

ไข่น้ำที่ใช้ในการทดลองจะถูกสุ่มตัวอย่างไปบางส่วนและนำส่งภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

1. ไนโตรเจนรวม (Total N)

2. โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd)

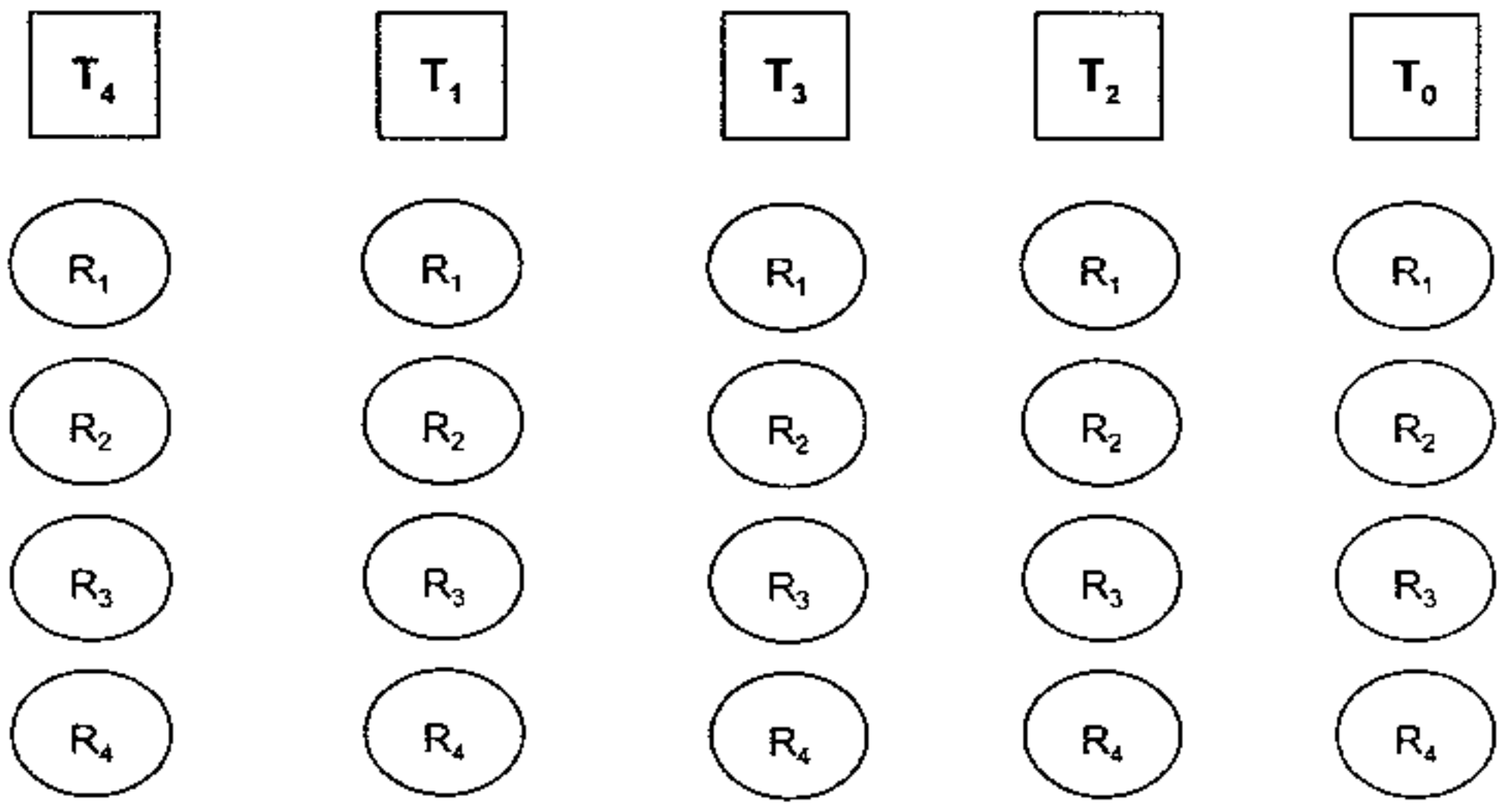
สำหรับไข่น้ำที่เหลือจากการสุ่มตัวอย่างจะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.3 การเตรียมโรงเรือนทดลอง

สร้างโรงเรือนทดลองขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 4 × 4 × 2.5 เมตร บนพื้นดิน โครงโรงเรือนทำด้วยไม้และเหล็ก หลังคาโรงเรือนมุงด้วยผ้าใบสีขาว – ฟ้า ด้านข้างทั้ง 4 ด้าน จะกั้นด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำชนิดละเอียดสูงจากพื้น 90 เซนติเมตร ด้านบนปิดคลุมด้วยผ้ามุ้งสีฟ้า ค่าความเข้มแสงมีค่าอยู่ในช่วง 1,800 – 2,500 ลักซ์ (Lux) (ตรวจวัดในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 10.00 น.)

3.2.4 การทดลอง

3.2.4.1 จับสลากลำดับเพื่อจัดเรียงไข่น้ำให้เข้ากับหน่วยทดลอง (Treatment) ในโรงเรือนทดลอง ลำดับของการจัดเรียงหน่วยทดลอง คือ หน่วยทดลองที่ 1 (T_4), 2 (T_1), 3 (T_3), 4 (T_2), และ 5 (T_0) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยทำการทดลองในภาชนะพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 63 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 24 เซนติเมตร จำนวนหน่วยทดลองละ 4 ใบ รวม 20 ใบ ระยะห่างระหว่างภาชนะแต่ละหน่วยทดลอง คือ 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างภาชนะภายในหน่วยทดลอง คือ 5 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.3 ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลองในโรงเรือนทดลอง

3.2.4.2 ตวงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งพักไว้เป็นเวลา 7 วันแล้วจำนวน 50 ลิตร หรือที่ระดับความลึกจากก้นภาชนะถึงผิวน้ำ 20.5 เซนติเมตร ลงในภาชนะแต่ละใบจนครบทุกใบตามจำนวนหน่วยการทดลอง

3.2.4.3 ชั่งน้ำหนักไข่น้ำวางบนผ้าขาวบางซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ในการรวบรวมไข่น้ำ ด้วยเครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม ตามอัตราน้ำหนักชีวมวลที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง คือ

T_1, T_2, T_3 และ T_4 เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ตามลำดับ แล้วนำผ้าขาวบางที่ชั่งน้ำหนักไข่น้ำแล้ววางลงเลี้ยงในภาชนะของแต่ละหน่วยทดลอง สำหรับ T_0 เป็นหน่วยควบคุมจะไม่มีการใส่ไข่น้ำ ทั้งนี้การใช้ผ้าขาวบางเพื่อความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาชีวมวลของไข่น้ำด้วยการชั่งน้ำหนักไข่น้ำในแต่ละหน่วยทดลองตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแบบแผนการทดลอง

3.2.4.4 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO_3^-) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความเค็ม (Salinity) จะเก็บหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ โดยจะเริ่มเก็บน้ำเวลา 10.00 น. ทุกครั้ง ในทุกหน่วยทดลอง โดยแต่ละหน่วยทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 4 ซ้ำ นำมาผสมรวมกันเป็นจำนวน 2 ลิตร แล้วบรรจุใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ จากนั้นนำขวดเก็บตัวอย่างน้ำแช่ในกล่องโฟมที่ภายในกล่องใส่น้ำแข็งไว้ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำเพื่อเป็นการรักษาสภาพของน้ำก่อนทำการวิเคราะห์ แล้วนำส่งตรวจวิเคราะห์ที่ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.2.4.5 การเก็บตัวอย่างไข่น้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนรวม (Total N) จะทำการเก็บก่อนการทดลองและหลังจากทดลองครบ 30 วัน จากทุกหน่วยทดลองนำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติก จากนั้นนำถุงเก็บตัวอย่างไข่น้ำแช่ในกล่องโฟมที่ภายในกล่องใส่น้ำแข็งไว้ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างไข่น้ำเพื่อเป็นการรักษาสภาพของไข่น้ำก่อนทำการวิเคราะห์ แล้วนำส่งตรวจวิเคราะห์ที่ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นอกจากนี้ไข่น้ำและน้ำภายหลังจากทดลองครบ 30 วัน จะต้องชั่งน้ำหนักในทุกหน่วยทดลองเพื่อหาดุลไนโตรเจนภายหลังทดลอง

3.2.4.6 การหาชีวมวลของไข่น้ำ นำไข่น้ำจากทุกหน่วยทดลองมาชั่งน้ำหนักเปียกหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ โดยรวบปลายผ้าขาวบางที่รองรับไข่น้ำผูกด้วยเชือกปล่อยให้สะเด็ดน้ำ 5 นาทีแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำกลับคืนสู่ภาชนะทดลองตามเดิม โดยการชั่งน้ำหนักไข่น้ำจะทำหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำแล้ว

3.2.4.7 การหาน้ำหนักของน้ำทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำภาชนะบรรจุน้ำทิ้งจากทุกหน่วยทดลองมาชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักภาชนะเปล่าหักลบออกจากน้ำหนักภาชนะที่บรรจุน้ำในแต่ละหน่วยทดลองจะได้น้ำหนักของน้ำทิ้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการหาดุลไนโตรเจนภายหลังทดลอง

3.2.4.8 หากผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก (ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลองพบโลหะหนักปนเปื้อนเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ก็จะทำการวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักในน้ำทิ้งของแต่ละหน่วยการ

ทดลองภายหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน รวมทั้งทำการวิเคราะห์โลหะหนักในไข่น้ำทุกหน่วยทดลองภายหลังจากทำการทดลองครบ 30 วัน

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

ดัชนีโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)
ตะกั่ว	≯ 0.05
ปรอท	≯ 0.0001
แคดเมียม	≯ 0.005

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4

3.2.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำทิ้งและไข่น้ำจากการทดลองจะนำส่งตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.2.6 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะใช้ตาม Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition. APHA. AWWA. WEF., 1998 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
1. บีโอดี (BOD)	5 – Days BOD Test
2. ของแข็งแขวนลอย (SS)	Gravimetric Method
3. ฟอสฟอรัสรวม (Total P)	Ascorbic Acid Method
4. ไนเตรท (NO^-_3)	Cadmium Reduction Method
5. แอมโมเนีย (NH_3)	Titrimetric Method
6. ไนโตรเจนรวม (Total N)	นำค่าการตรวจวัด TKN, NO^-_3 และ NO^-_2 มาบวกรวมกัน*
	ก) TKN วิธี Kjeldahl Method
	ข) NO^-_3 วิธี Cadmium Reduction
	ค) NO^-_2 วิธี Colorimetric Method
7. ความเค็ม (Salinity)	Salinometer ATAGO
8. ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	Electrometric Method

แหล่งที่มา : APHA. AWWA. WEF., 1998: 2 – 56 – 5 – 3

* มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 19/30 – 19/34

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำอธิบายไว้ในภาคผนวก ก

3.2.7 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนัก

3.2.7.1 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำ จะใช้ตามวิธีใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 17th Edition. APHA. AWWA. WPCF., 1989 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง

ดัชนีที่ตรวจวัด	วิธีการวิเคราะห์
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 ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 38 – 39

3.2.7.2 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในไข่น้ำ

วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในไข่น้ำ จะใช้ตามวิธีใน Standard Method of Water and Wastewater 17th Edition. APHA. AWWA. WPCF., 1989 ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในไข่น้ำ

ดัชนีที่ตรวจวัด	วิธีการวิเคราะห์
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 ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 39 – 40

3.2.8 วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวมในไข่น้ำ

ใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์หาไนโตรเจนรวมในพืช คือ วิธี Kjeldahl Method ทำได้โดยการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ในตัวอย่างพืชให้มาอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียมไนโตรเจน: NH_4^+ – N) จากนั้นทำการกลั่นเอาแอมโมเนียมไนโตรเจนออกมาแล้วไตเตรตหาปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้นก็จะทราบค่าไนโตรเจนรวมในพืช (ศรีสม สุวรรณวงศ์, 2548: 40 – 42) ซึ่งรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์อธิบายไว้ในภาคผนวก ข

3.2.9 การบันทึกข้อมูล

3.2.9.1 วันที่เริ่มทำการทดลอง

3.2.9.2 คุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง

3.2.9.3 ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำและโลหะหนักก่อนทำการทดลอง

3.2.9.4 น้ำหนักชีวมวลไข่น้ำเริ่มต้นของแต่ละหน่วยทดลอง

3.2.9.5 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 10 วัน

3.2.9.6 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 10 วัน

3.2.9.7 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 20 วัน

3.2.9.8 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 20 วัน

3.2.9.9 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 30 วัน

3.2.9.10 น้ำหนักชีวมวลเมื่อครบ 30 วัน

3.2.9.11 ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.2.10 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS เวอร์ชั่น 6.12 (SAS Institue, 1996: 10) เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอัตราชีวมวลไข่น้ำในระดับต่าง ๆ และระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยการทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.2.11 ระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นระยะเวลารวม 10 เดือน (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 – เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549) และทำการศึกษาในโรงเรือนทดลองที่สร้างขึ้นบริเวณพุทธมณฑล สาย 2 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด ตั้งอยู่ที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี โดยจะเก็บน้ำทิ้งภายหลังจากจับกุ้งและจะนำมาพักไว้ก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจะสุ่มตัวอย่างน้ำทิ้งไปทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีและของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 60.00 และ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ปริมาณไนเตรท แอมโมเนีย และไนโตรเจนรวม มีค่าเท่ากับ 0.740, 2.24 และ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.05 และความเค็มมีค่าเท่ากับ 5.10 ppt ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง

คุณภาพน้ำ	ผลการวิเคราะห์	มาตรฐาน*
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	60.00	20.00
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	102.00	70.00
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)	0.91	0.40
ไนเตรท (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	0.740	–
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	2.24	1.10
ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	28.00	4.00
ความเป็นกรด – ด่าง	8.05	6.50 – 9.00
ความเค็ม (ppt)	5.10	–

หมายเหตุ : * มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547)

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00 สำหรับปริมาณไนเตรทและค่าความเค็มปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าไว้ ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำที่ตรวจวิเคราะห์อื่น ๆ มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้บีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร แอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำในอัตราชีวมวลเท่ากับ 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 ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 คุณภาพน้ำ

4.1.1 อิทธิพลของระดับชีวมวลของไข่น้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO^-_3) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความเค็ม (Salinity) โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.1.1 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 1

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีที่ลดลงในแต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณบีโอดีที่ลดลงและเหลือตกค้างเท่ากับ 51.17, 40.17, 36.18, 31.00 และ 46.83 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนทำการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 60.00 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดีลดลงมากที่สุดโดยเหลือเพียง 31.00 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) ปริมาณบีโอดีลดลงน้อยที่สุด คือ

เหลือตกค้างเท่ากับ 51.17 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดีมีค่ามากขึ้น แต่ยังคงมีค่าน้อยกว่าปริมาณบีโอดีก่อนการทดลอง ซึ่งปริมาณบีโอดีที่ลดลงอาจเกิดจากไข่น้ำดูดซึมเอาสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำมาใช้เพิ่มมวลชีวภาพให้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลงปริมาณจุลินทรีย์ลดลงทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดน้อยลงตามไปด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3 – 5) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดีกลับมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปจนเกิดการตายของไข่น้ำบางส่วน ซากไข่น้ำที่ตายลงได้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ซึ่งจะปลดปล่อยสารอินทรีย์กลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณบีโอดีกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณบีโอดีในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้บีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.2 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 2

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงและเหลือเท่ากับ 76.67, 66.67, 61.33, 55.67 และ 76.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่แต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งได้มากที่สุด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากของแข็งแขวนลอยเกิดการดกตะกอนลงสู่ก้นภาชนะทดลอง และมีของแข็งแขวนลอยอีกส่วนหนึ่งที่มายึดเกาะไข่น้ำทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำลดลง (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536: 155) นอกจากนี้ของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้อยู่ในรูปที่ไข่น้ำนำไปใช้ได้มากขึ้น แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยกลับมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง ซากของไข่น้ำถูกย่อยสลายเป็นของแข็งแขวนลอยกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวล

ของไข่น้ำ 0.2 – 0.6 กิโลกรัม มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 และ 0.8 กิโลกรัม มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.3 ฟอสฟอรัสรวม (Total P)

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 3

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าลดลงและเหลือเท่ากับ 0.58, 0.37, 0.23, 0.12 และ 0.47 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร โดยที่แต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงมากที่สุดโดยเหลือเท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำนำธาตุฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตซึ่งเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างโปรโตพลาสซึม (Protoplasm) (ประเทือง เชาว์วันกลาง, 2534: 68 – 69) ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมกลับมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม มีความหนาแน่นมากเกินไป ไข่น้ำที่ตายเกิดการเน่าเปื่อยทำให้ธาตุอาหารในส่วนของฟอสฟอรัสกลับคืนสู่แหล่งน้ำอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในแต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 และ 0.8 กิโลกรัม มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.4 ไนเตรท (NO^-_3)

ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 4

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนเตรทมีค่าลดลงและเหลือเท่ากับ 0.270, 0.172, 0.123, 0.084 และ 0.117 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 0.740 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร โดยที่แต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำปริมาณไนเตรทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับ

ชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณไนเตรทลดลงมากที่สุดโดยเหลือเท่ากับ 0.084 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะไข่น้ำดูดซึมไนเตรทไปใช้เพื่อสังเคราะห์เซลล์ใหม่ขึ้นมา (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545: 50) ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง ซากของไข่น้ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเกิดการหมุนเวียนของสารอาหารตามวัฏจักรไนโตรเจนผ่านปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจนกระทั่งไนเตรทกลับคืนสู่น้ำทิ้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าไนเตรทไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.5 แอมโมเนีย (NH_3)

ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 5

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงและเหลือเท่ากับ 0.95, 0.81, 0.70, 0.63 และ 3.35 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 – 0.6 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณก่อนการทดลอง ซึ่งที่แต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำปริมาณแอมโมเนียมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงมากที่สุดโดยเหลือเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำสามารถดูดซับแอมโมเนียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2540: 36) ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับต่าง ๆ และสูงกว่าปริมาณแอมโมเนียก่อนการทดลอง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง สารอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไข่น้ำถูกย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำทิ้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียส่วนใหญ่ในแต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม มีค่าเกินกว่า

เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้แอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.6 ไนโตรเจนรวม (Total N)

ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 6

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่าง ๆ ภายหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยลดลงโดยเหลือตกค้างเท่ากับ 16.39, 11.97, 10.36, 9.25 และ 18.85 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งทุกกลุ่มมีปริมาณไนโตรเจนรวมน้อยกว่าก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร โดยปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมลดลงน้อยที่สุด คือ เหลือตกค้างเท่ากับ 18.85 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมลดลงมากที่สุดโดยเหลือตกค้างอยู่เพียง 9.25 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร โดยปริมาณไนโตรเจนรวมที่ลดลงมากขึ้นแปรผันตามชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะไข่น้ำใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจึงมีค่าลดลง (อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ, 2541: 97) ยกเว้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัมที่พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลงและเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพไนโตรเจนกลับคืนสู่น้ำทิ้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.7 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.7 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 7

ผลการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่าง ๆ ภายหลังการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.97, 7.85, 7.82, 7.79 และ 7.59 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม แต่ทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 – 0.6 กิโลกรัม โดยก่อนการทดลองความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.05 ซึ่งค่าความเป็นกรด – ด่างที่ลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและไข่น้ำที่ตายลงบางส่วนซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอินทรียสารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในน้ำ รวมทั้งอนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตด้วย โดยผลผลิตเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับน้ำจะทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรด กล่าวคือ ค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคของแอมโมเนียที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่างเกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปไข่น้ำบางส่วนได้ตายลง ซากของไข่น้ำที่ตายจะถูกย่อยสลายจึงปลดปล่อยแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำอีกครั้งซึ่งจะมีผลทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง แต่เมื่อพิจารณาถึงอนุภาคด่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำที่ระดับนี้ย่อมมีมากกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับด่าง ๆ นั่นคือ อนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเกิดขึ้นมากกว่าอนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง ดังนั้น ผลลัพธ์ของค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำที่ระดับนี้จะมีค่าลดลงและลดลงมากกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับด่าง ๆ ด้วย (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2544 ช: 2 – 3, 3 – 1)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด – ด่างกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.1.8 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.8 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 8

ผลการทดลอง พบว่า ค่าความเค็มที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ภายหลังการทดลองมีค่าเท่ากับ 5.43, 5.47, 5.53, 5.57 และ 5.60 ppt ตามลำดับ ซึ่งค่าความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0 และ 0.4 กิโลกรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยก่อนการทดลองความเค็มที่วัดได้ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าเท่ากับ 5.10 ppt จะเห็นได้ว่าค่าความเค็มภายหลังการ

ทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการระเหยของน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และการนำน้ำไปใช้เป็นองค์ประกอบในเซลล์ของไข่น้ำในปริมาณที่มากขึ้นตามชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำลดลงไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเค็มเพิ่มขึ้น (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544: 26)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค็มกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

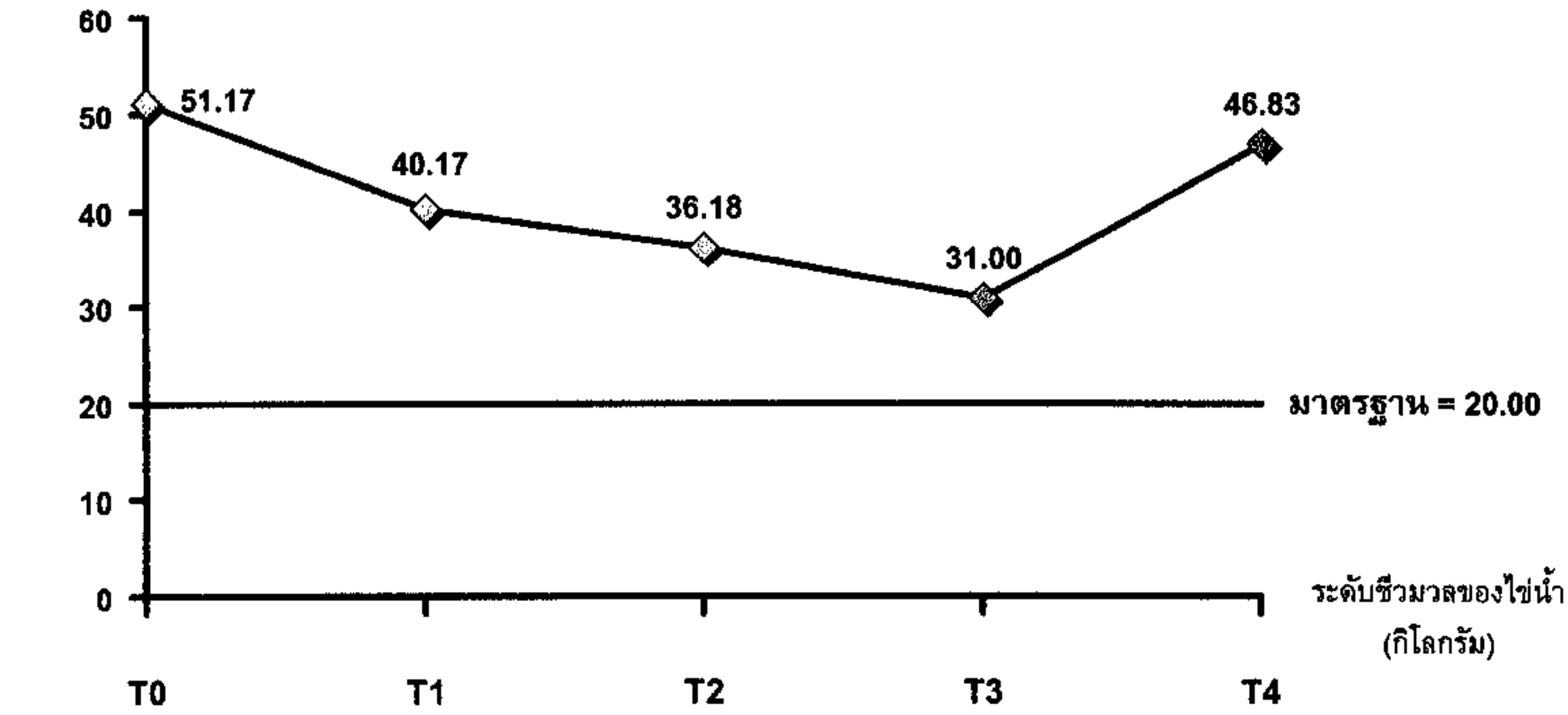
คุณภาพน้ำทิ้ง	ระดับชีวมวลของไข่น้ำ (กิโลกรัม)					CV
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	(ร้อยละ)
บีโอดี (มก./ล.)	51.17^{a}	40.17^{c}	36.18^{d}	31.00^{e}	46.83^{b}	1.66
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	76.67^{a}	66.67^{c}	61.33^{d}	55.67^{e}	76.00^{b}	1.05
ฟอสฟอรัสรวม (มก.P/ล.)	0.58^{a}	0.37^{c}	0.23^{d}	0.12^{e}	0.47^{b}	2.13
ไนเตรท (มก.N/ล.)	0.270^{a}	0.172^{b}	0.123^{c}	0.084^{e}	0.117^{d}	3.04
แอมโมเนีย (มก.N/ล.)	0.95^{b}	0.81^{c}	0.70^{d}	0.63^{e}	3.35^{a}	2.14
ไนโตรเจนรวม (มก.N/ล.)	16.39^{b}	11.97^{c}	10.36^{d}	9.25^{e}	18.85^{a}	1.87
ความเป็นกรด – ด่าง	7.97^{a}	7.85^{ab}	7.82^{ab}	7.79^{ab}	7.59^{b}	5.23
ความเค็ม (ppt)	5.43^{c}	5.47^{bc}	5.53^{ab}	5.57^{a}	5.60^{a}	1.48

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

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

คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

บีโอดี	= 60.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ของแข็งแขวนลอย	= 102.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัสรวม	= 0.91	มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร
ไนเตรท	= 0.740	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
แอมโมเนีย	= 2.24	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
ไนโตรเจนรวม	= 28.00	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
ความเป็นกรด – ด่าง	= 8.05	
ความเค็ม	= 5.10	ppt (Part per Thousand)

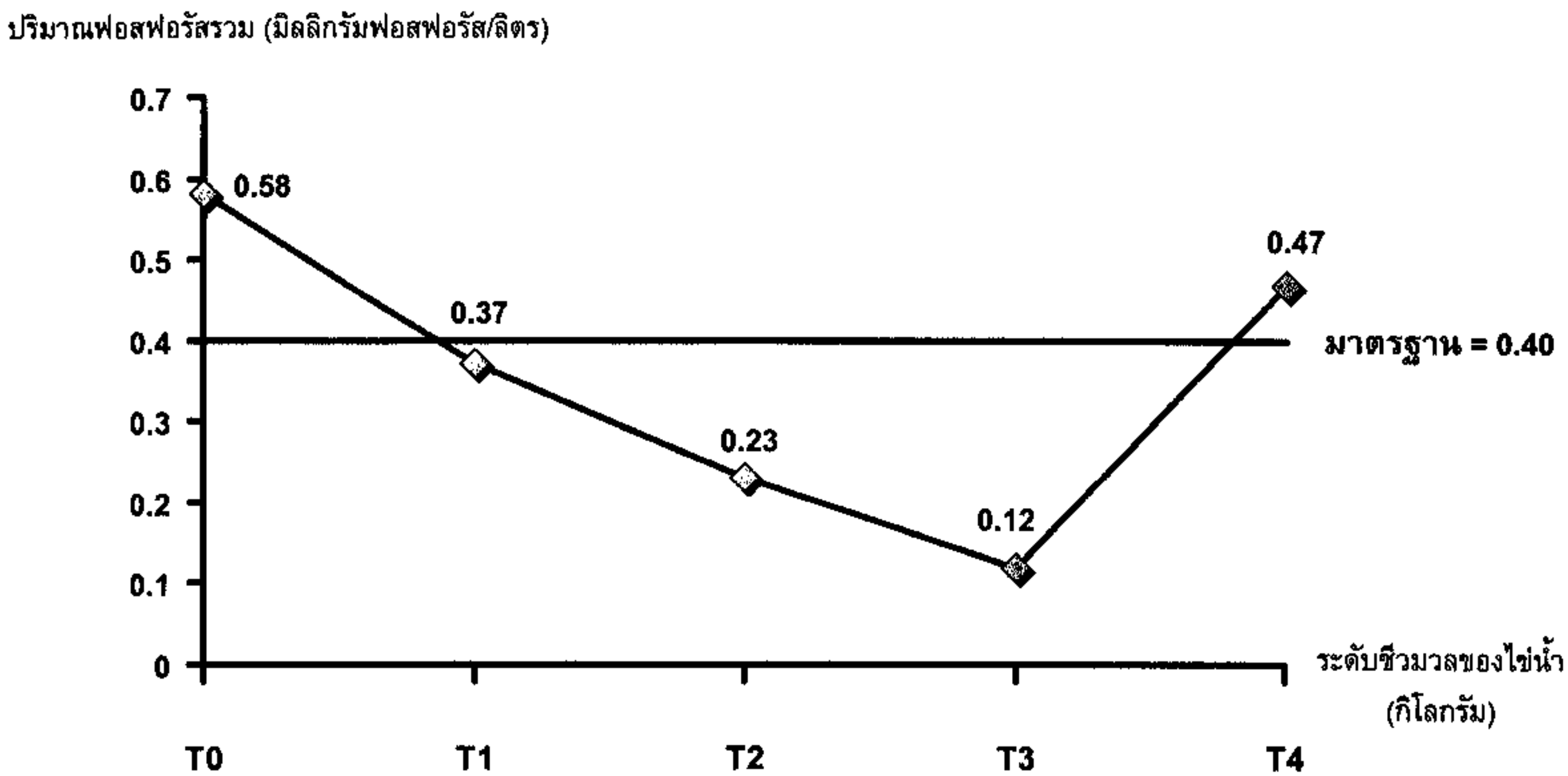


ภาพที่ 4.1 ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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

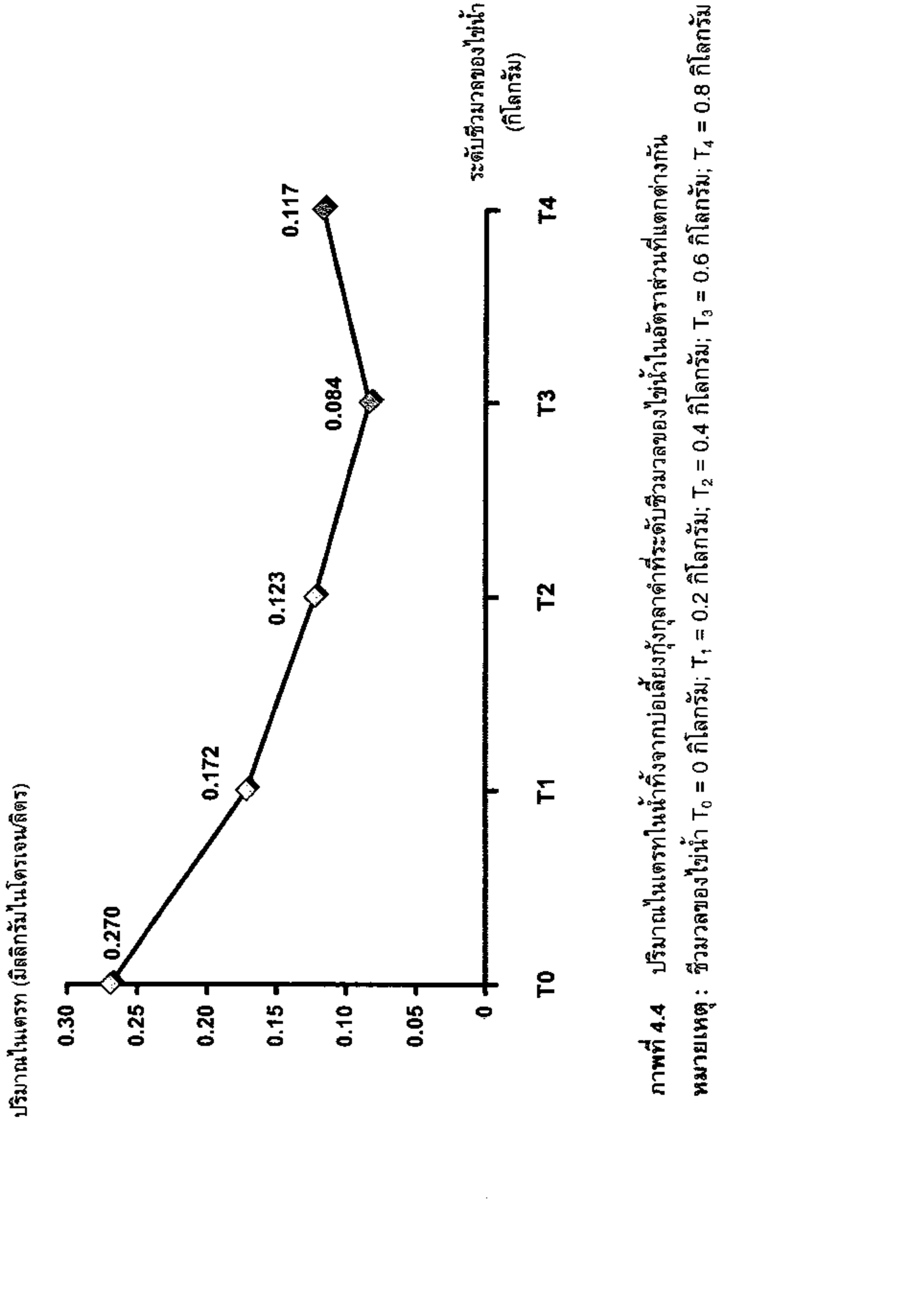
ภาพที่ 4.2 ปริมาณของแป้งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชั้นความเข้มข้นของไข่น้ำต่างกัน

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



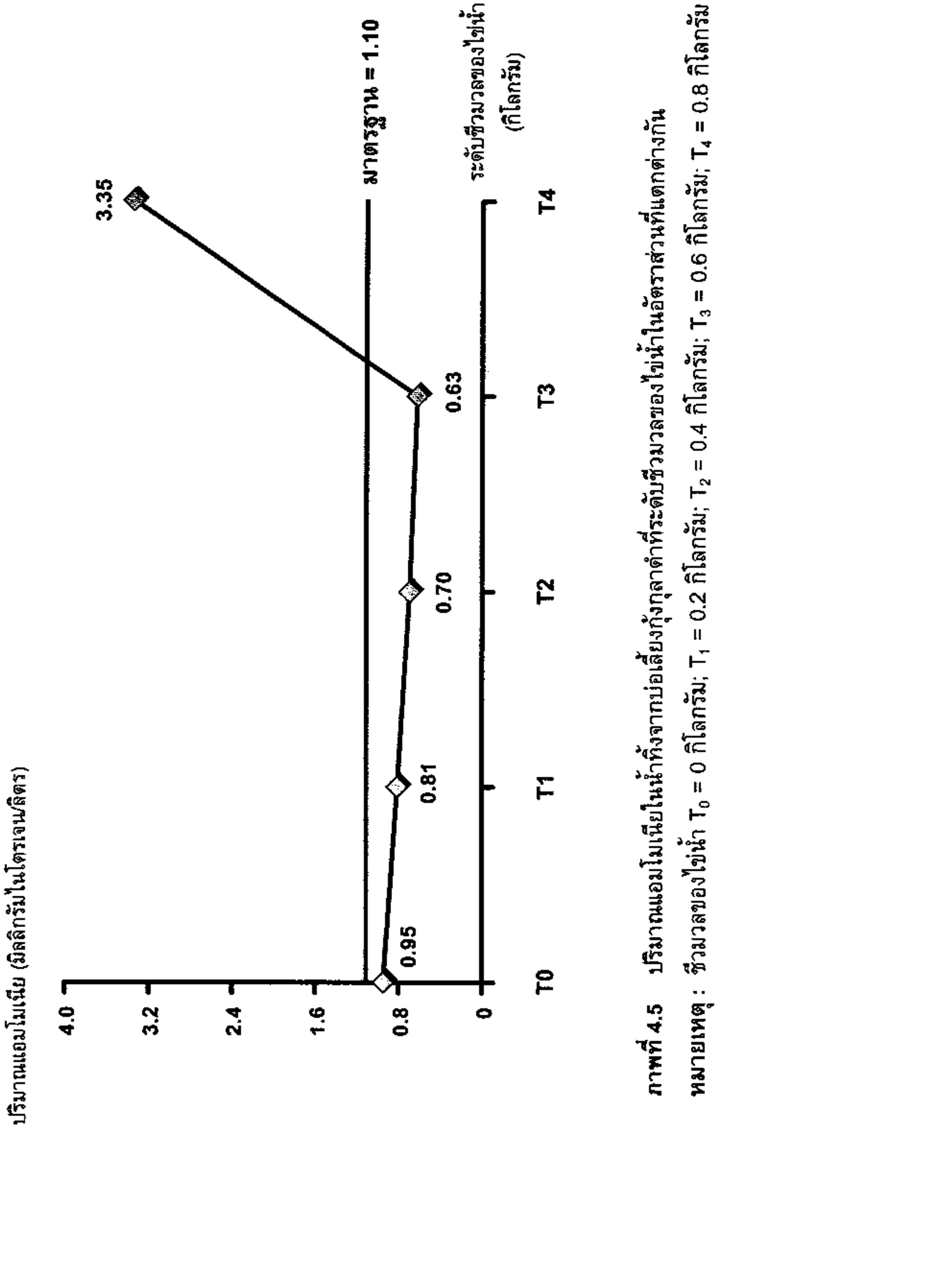
ภาพที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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



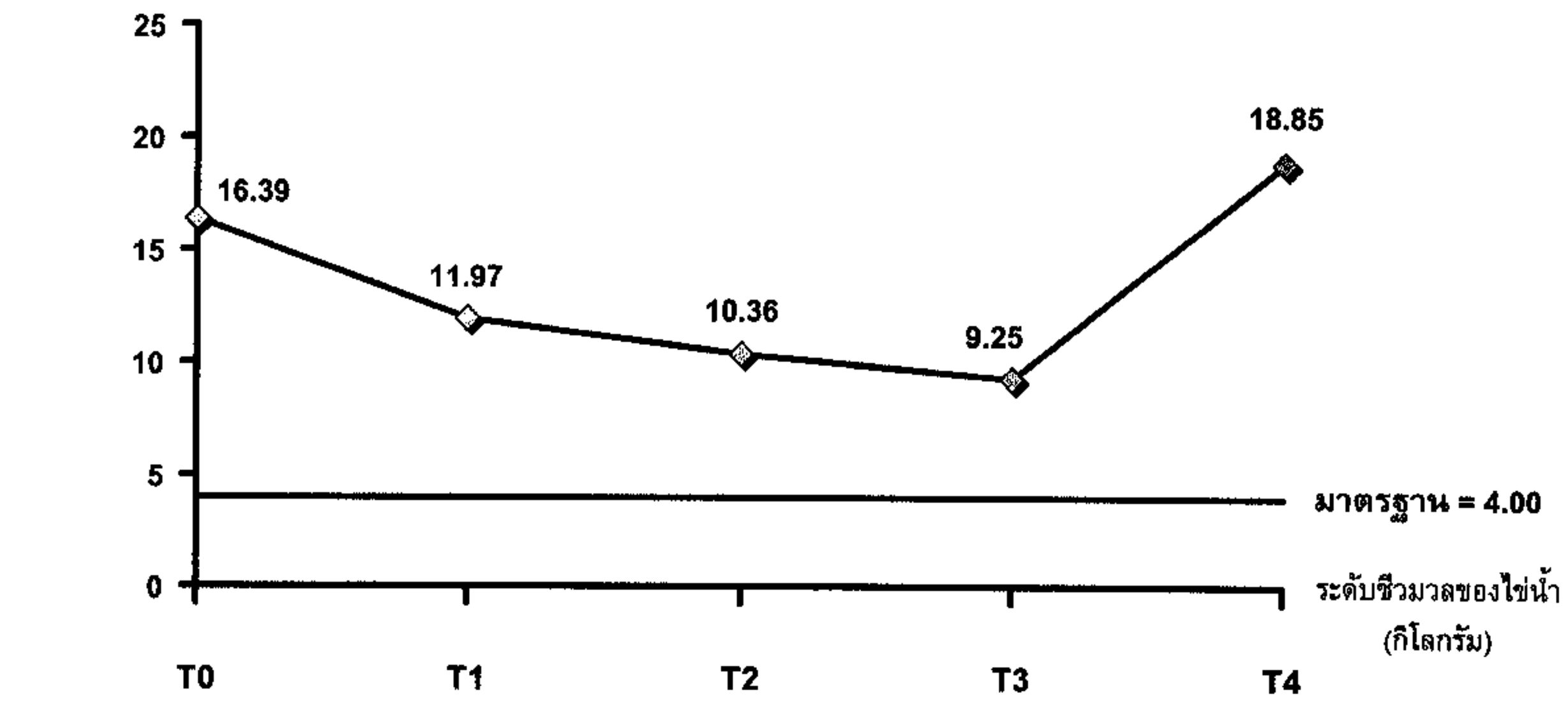
ภาพที่ 4.4 ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)



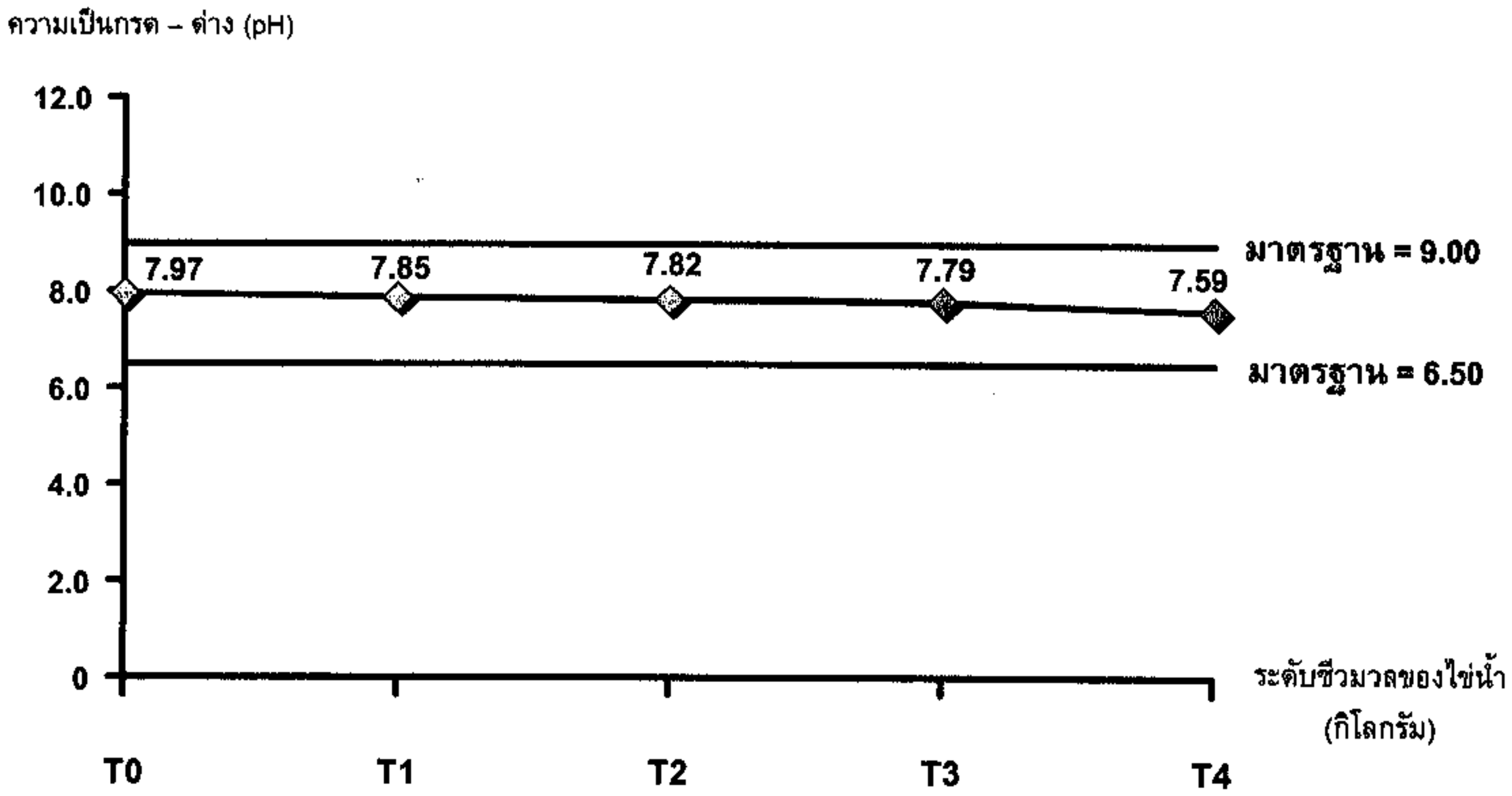
ภาพที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชั้นความลึกของไข่น้ำแตกต่างกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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



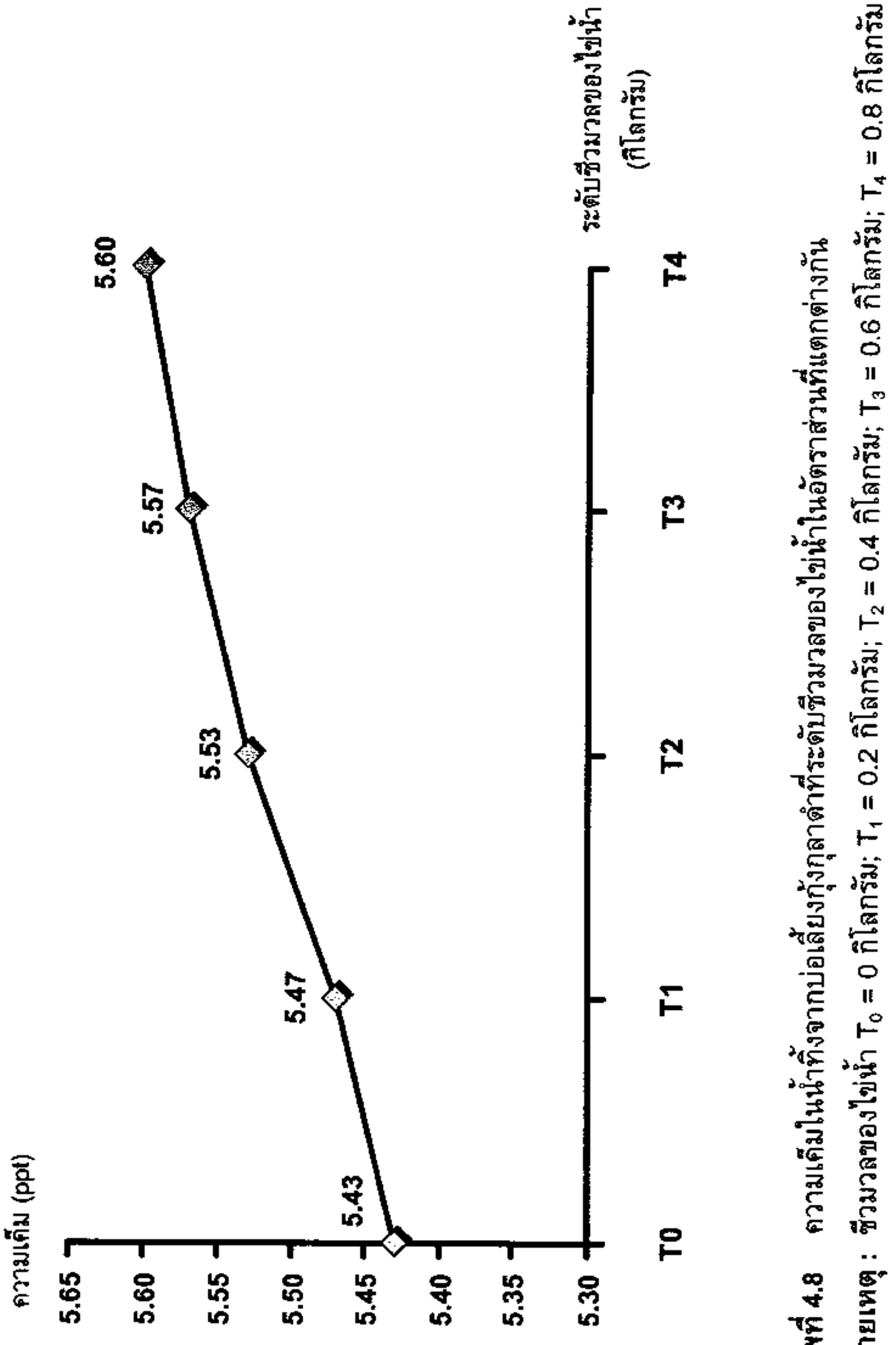
ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำ 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 4.7 ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำ 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 4.8 ความเค็มในน้ำทั้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชั่วมวลของไข่น้ำต่างกัน

หมายเหตุ : ชั่วมวลของไข่น้ำ 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 บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO^{-}_{3}) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความเค็ม (Salinity) โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.2.1 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.9 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 9

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน สามารถลดปริมาณบีโอดีลงได้มากที่สุด คือ เหลือเพียง 33.80 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 และ 20 วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าเท่ากับ 48.10 และ 41.31 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สำหรับปริมาณบีโอดีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 60.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไข่น้ำได้ดูดซับสารอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตจึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลงปริมาณของจุลินทรีย์ก็ลดลงด้วย ซึ่งทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์น้อยลงตามไปด้วย (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3 – 5)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณบีโอดีกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณบีโอดีทุกระยะเวลาในการบำบัดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้บีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.2 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 10

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 79.00, 66.80 และ 56.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยภายหลังการทดลองกับก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาณ

ของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากส่วนหนึ่งของของแข็งแขวนลอยเกิดการตกตะกอนและของแข็งแขวนลอยอีกส่วนหนึ่งที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะอยู่ในรูปที่ไข่น้ำสามารถดูดซับไปใช้ได้มากขึ้น (พัฒนี จันทรโรทัย, 2536: 155)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.3 ฟอสฟอรัสรวม (Total P)

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 11

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.42, 0.34 และ 0.30 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มลดลงมากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำนำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ขึ้นมา (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545: 52) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.4 ไนเตรท (NO^{-}_{3})

ปริมาณไนเตรทไนน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.12 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 12

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนเตรทที่ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.244, 0.135, และ 0.080 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรทก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.740 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดเพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้ว่า เมื่อจำนวนวันที่ใช้ในการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 10 วัน ไปจนถึง 30 วัน ทำให้ปริมาณไนเตรทที่เหลือตกค้างลดลงจาก 0.244 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เป็น 0.080 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งอาจเป็นเพราะธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของไข่น้ำ จึงทำให้ไข่น้ำดึงไนเตรทซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างโปรตีนในเซลล์ของไข่น้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 19/26)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าไนเตรทไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.5 แอมโมเนีย (NH_3)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.13 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 13

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งต่างกันมีค่าลดลงเท่ากับ 1.36, 1.18 และ 1.32 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอมโมเนียก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 10 วัน ไปจนถึง 20 วัน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำมีความต้องการใช้ธาตุไนโตรเจนปริมาณมากเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพทำให้ไข่น้ำดึงไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของแอมโมเนียมาใช้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 19/26) แต่เมื่อระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 30 วัน ปริมาณแอมโมเนียจะมีค่ามากขึ้น คือ มีค่าเท่ากับ 1.32 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นไข่น้ำบางส่วนตายลงเกิดการย่อยสลายซากไข่น้ำที่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียทำให้แอมโมเนียกลับสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียทุกระยะเวลาในการบำบัดมีค่า

เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้แอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.6 ไนโตรเจนรวม (Total N)

ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.14 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 14

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งต่างกันมีค่าลดลงเท่ากับ 21.50, 11.98 และ 6.61 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของไข่น้ำนั้น ไข่น้ำมีความต้องการใช้ธาตุไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก ทำให้ไข่น้ำดึงไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรทซึ่งเป็นส่วนประกอบของไนโตรเจนมาใช้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของไนโตรเจนรวมในน้ำลดลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 19/26)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมทุกระยะเวลาในการบำบัดมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.7 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.15 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 15

ผลการทดลอง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 7.75, 7.83 และ 7.83 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.05 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างภายหลังการทดลองมีค่าลดลง โดยความเป็นกรด – ด่างที่ลดลงที่ระยะเวลา 10 วัน อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตในน้ำทิ้ง รวมทั้งในระยะแรกนี้ไข่น้ำต้องปรับตัวให้คุ้นเคยกับอาหารและสิ่งแวดล้อมใหม่ ๆ กระบวนการทำงานยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์เกิดการเน่าสลายของซากไข่น้ำที่ตายลง ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตขึ้น ซึ่งผลผลิตทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อรวมกับน้ำจะทำให้น้ำทิ้งมี

สภาวะเป็นกรดเพิ่มขึ้นหรือน้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง ประกอบกับไข่น้ำยังใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์นักทำให้เกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ นอกจากนี้ผลจากการย่อยสลายซากไข่น้ำที่ตายจะทำให้มีแอมโมเนียเกิดขึ้นด้วยซึ่งจะทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง ฉะนั้น เมื่อพิจารณาถึงอนุภาคด่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายซากไข่น้ำแล้ว พบว่า อนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเกิดขึ้นมากกว่าอนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง ดังนั้น ผลลัพธ์ของค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับนี้จะมีค่าลดลง (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2544 ข: 2 – 5) แต่เมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มมากขึ้นค่าความเป็นกรด – ด่างมากขึ้น อาจเป็นเพราะไข่น้ำปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ทั้งยังมีสารอาหารเหลือเป็นจำนวนมาก กระบวนการทำงานเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ในช่วงสายของวัน (เก็บตัวอย่างน้ำเวลา 10.00 น.) ไข่น้ำมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปในกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงทำให้น้ำทิ้งมีสภาพเป็นด่างมากขึ้น ประกอบกับเมื่อระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 30 วัน ปริมาณแอมโมเนียจะมีค่ามากขึ้นจากการย่อยสลายซากไข่น้ำที่ตายลงทำให้น้ำทิ้งมีสภาพเป็นด่างมากขึ้นด้วย แต่ค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายซากไข่น้ำที่ตายลงที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ย่อมก่อให้เกิดอนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเกิดขึ้นด้วย ซึ่งอนุภาคของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นไข่น้ำได้ใช้ไป ส่วนอนุภาคอื่น ๆ ที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุภาคของแอมโมเนียที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่างจะทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างเป็นกลางมากขึ้น ดังนั้น ผลลัพธ์ของค่าความเป็นกรด – ด่างที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลา 30 วัน จึงไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 11/7) ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งมีแนวโน้มเข้าสู่ความเป็นกลางมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด – ด่างกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.2.8 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.16 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 16

ผลการทดลอง พบว่า ความเค็มในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 5.26, 5.50 และ 5.80 ppt ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความเค็มก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 5.10 ppt จะเห็นได้ว่าค่าความเค็มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเมื่อระยะเวลานานขึ้นเกิดการ

สูญเสียน้ำออกไปโดยการระเหยของน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์ ทำให้ปริมาณน้ำลดลงไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544: 26)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค็มกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

ตารางที่ 4.3 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

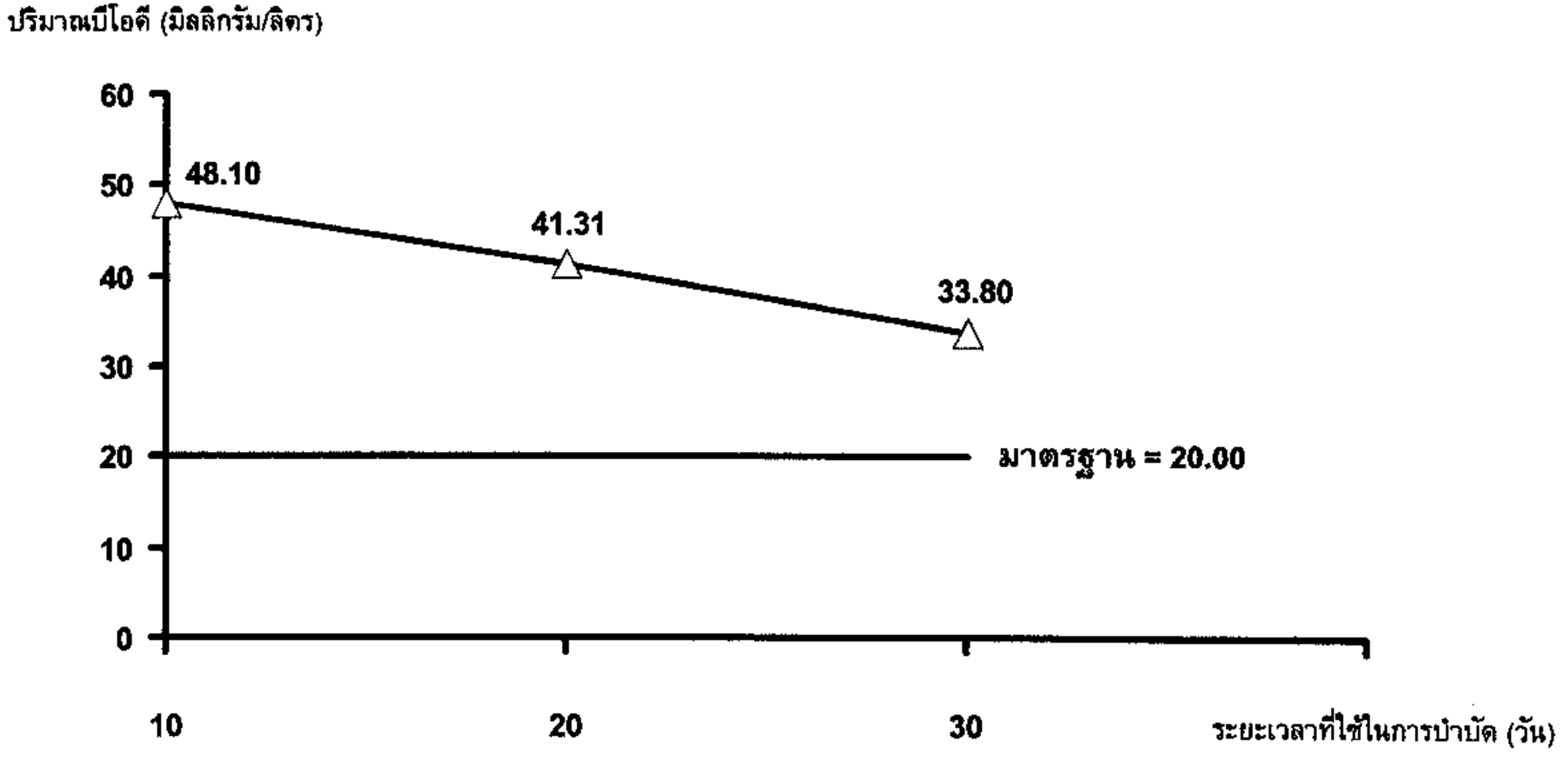
คุณภาพน้ำทิ้ง	ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง (วัน)		
	10	20	30
บีโอดี (มก./ล.)	48.10[a]	41.31[b]	33.80[c]
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	79.00[a]	66.80[b]	56.00[c]
ฟอสฟอรัสรวม (มก.P/ล.)	0.42[a]	0.34[b]	0.30[c]
ไนเตรท (มก.N/ล.)	0.244[a]	0.135[b]	0.080[c]
แอมโมเนีย (มก.N/ล.)	1.36[a]	1.18[c]	1.32[b]
ไนโตรเจนรวม (มก.N/ล.)	21.50[a]	11.98[b]	6.61[c]
ความเป็นกรด – ด่าง[N.S.]	7.75	7.83	7.83
ความเค็ม (ppt)	5.26[c]	5.50[b]	5.80[a]

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

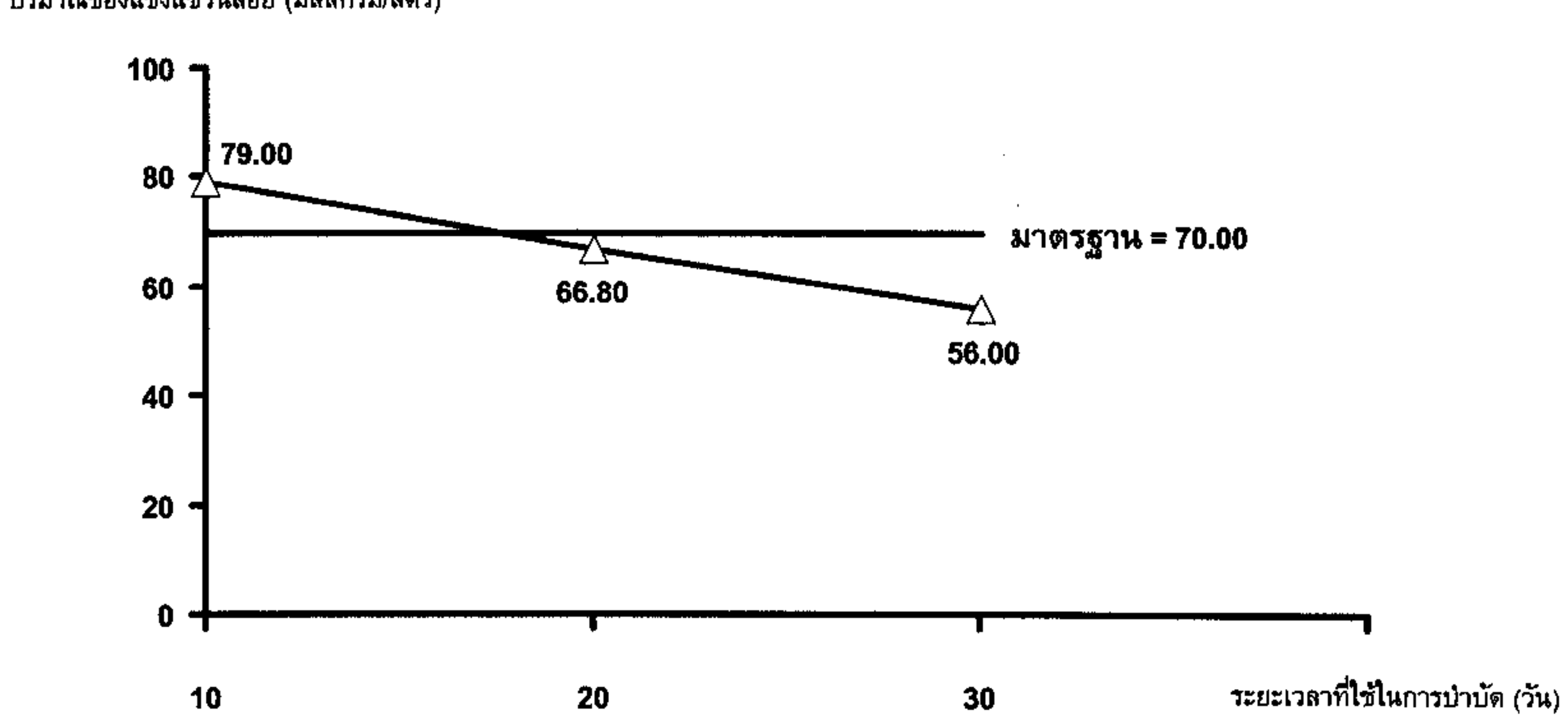
N.S. = Non – significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

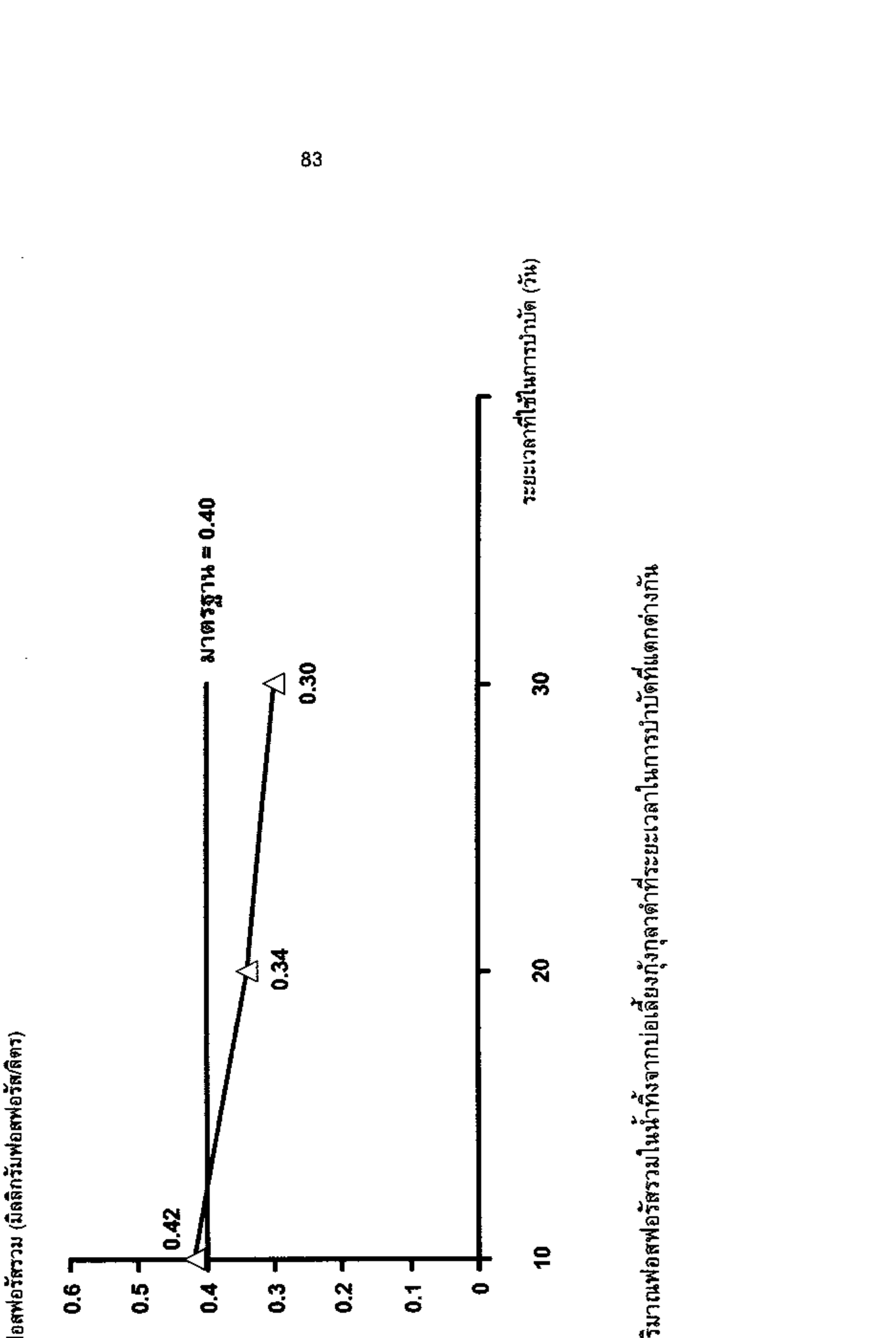
บีโอดี	= 60.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ของแข็งแขวนลอย	= 102.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัสรวม	= 0.91	มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร
ไนเตรท	= 0.740	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
แอมโมเนีย	= 2.24	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
ไนโตรเจนรวม	= 28.00	มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
ความเป็นกรด – ด่าง	= 8.05	
ความเค็ม	= 5.10	ppt (Part per Thousand)



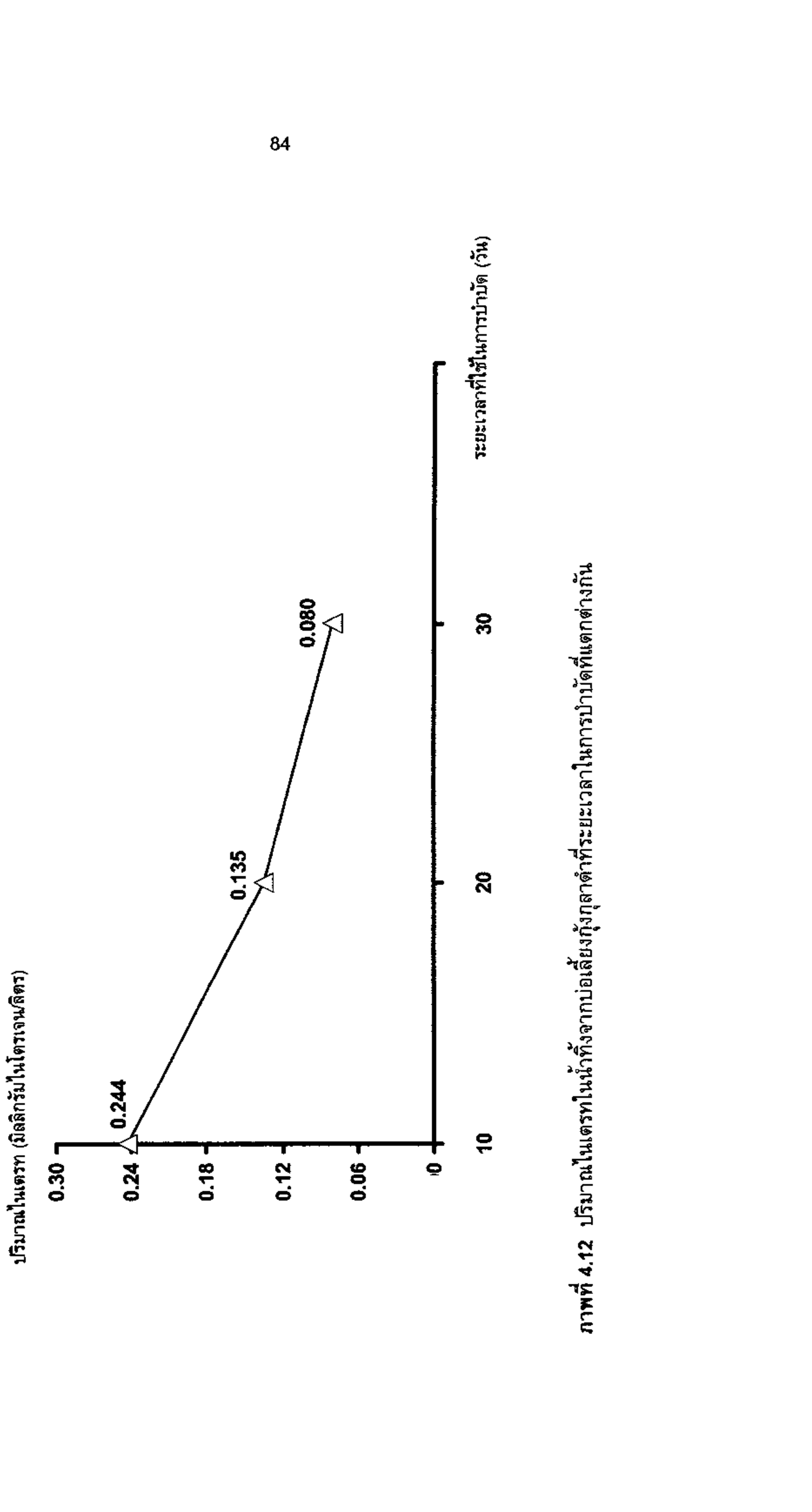
ภาพที่ 4.9 ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



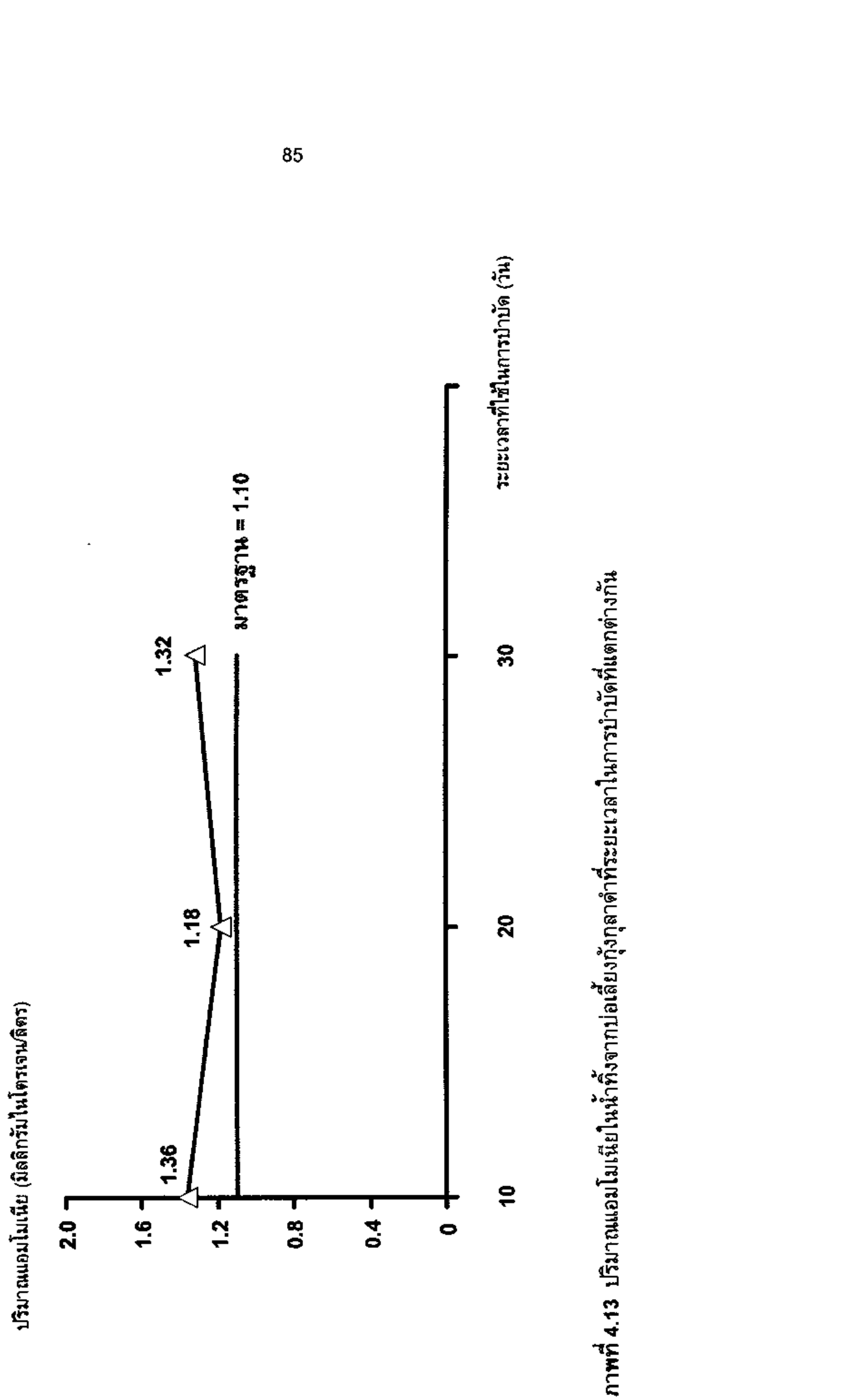
ภาพที่ 4.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



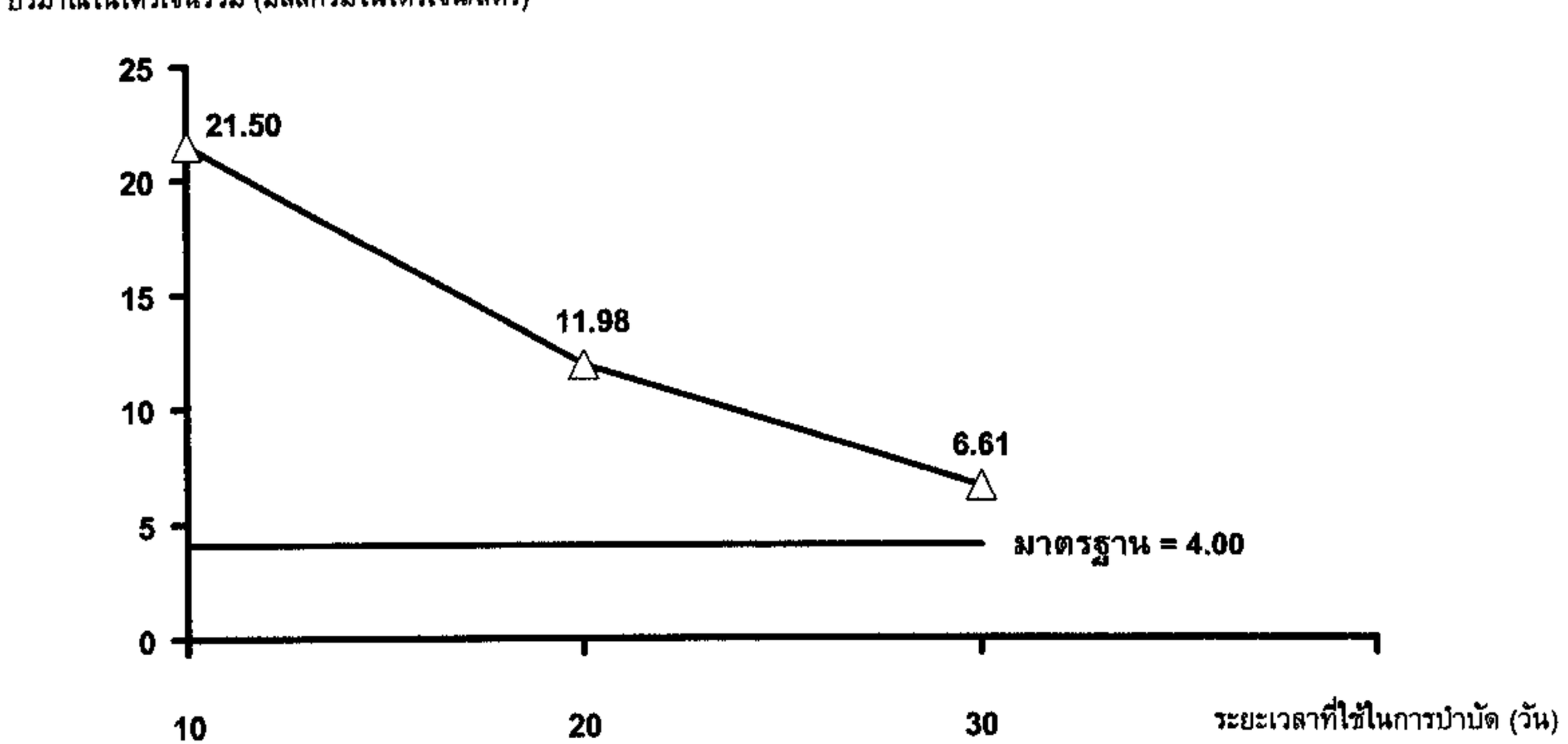
ภาพที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะ



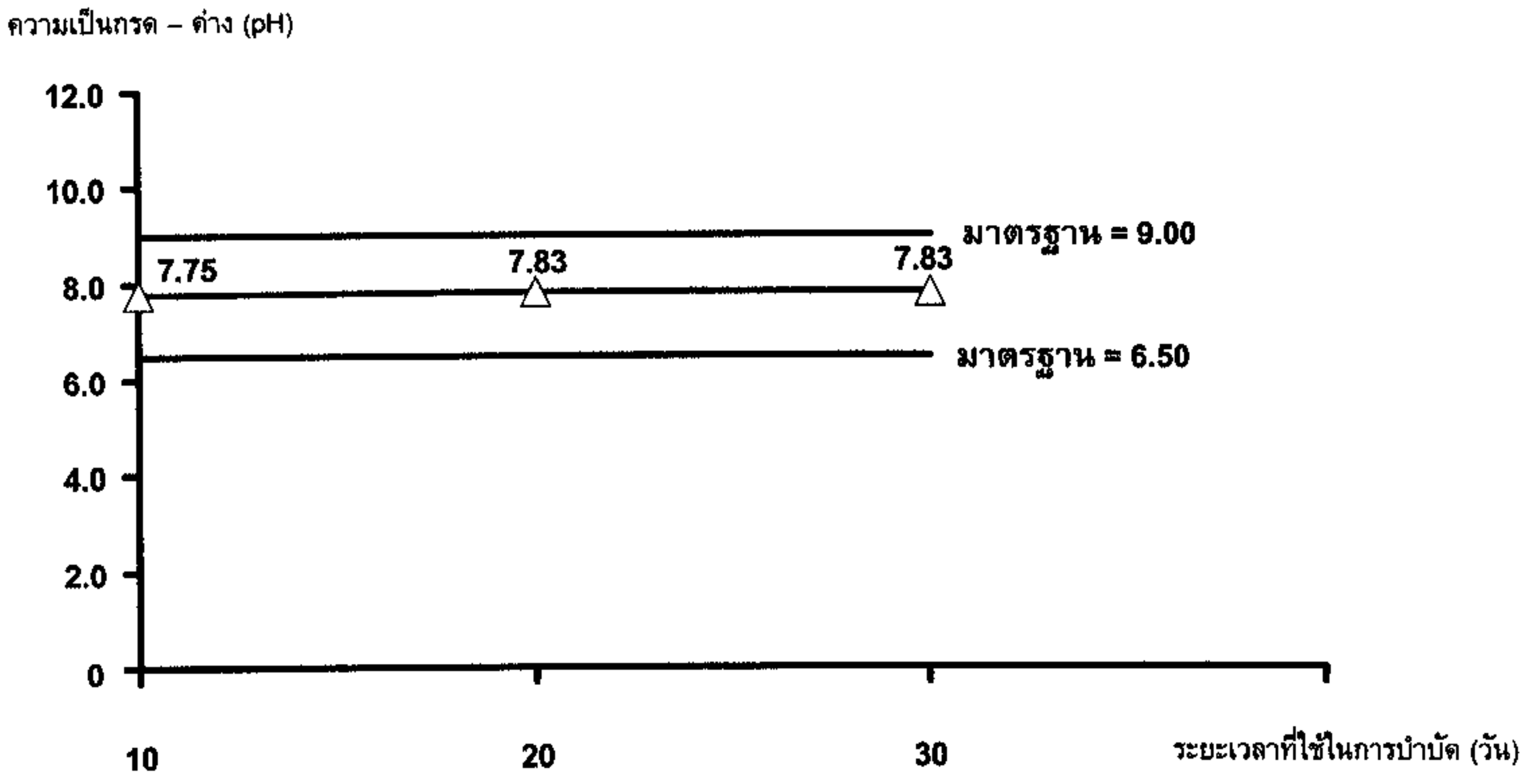
ภาพที่ 4.12 ปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาต่างกัน



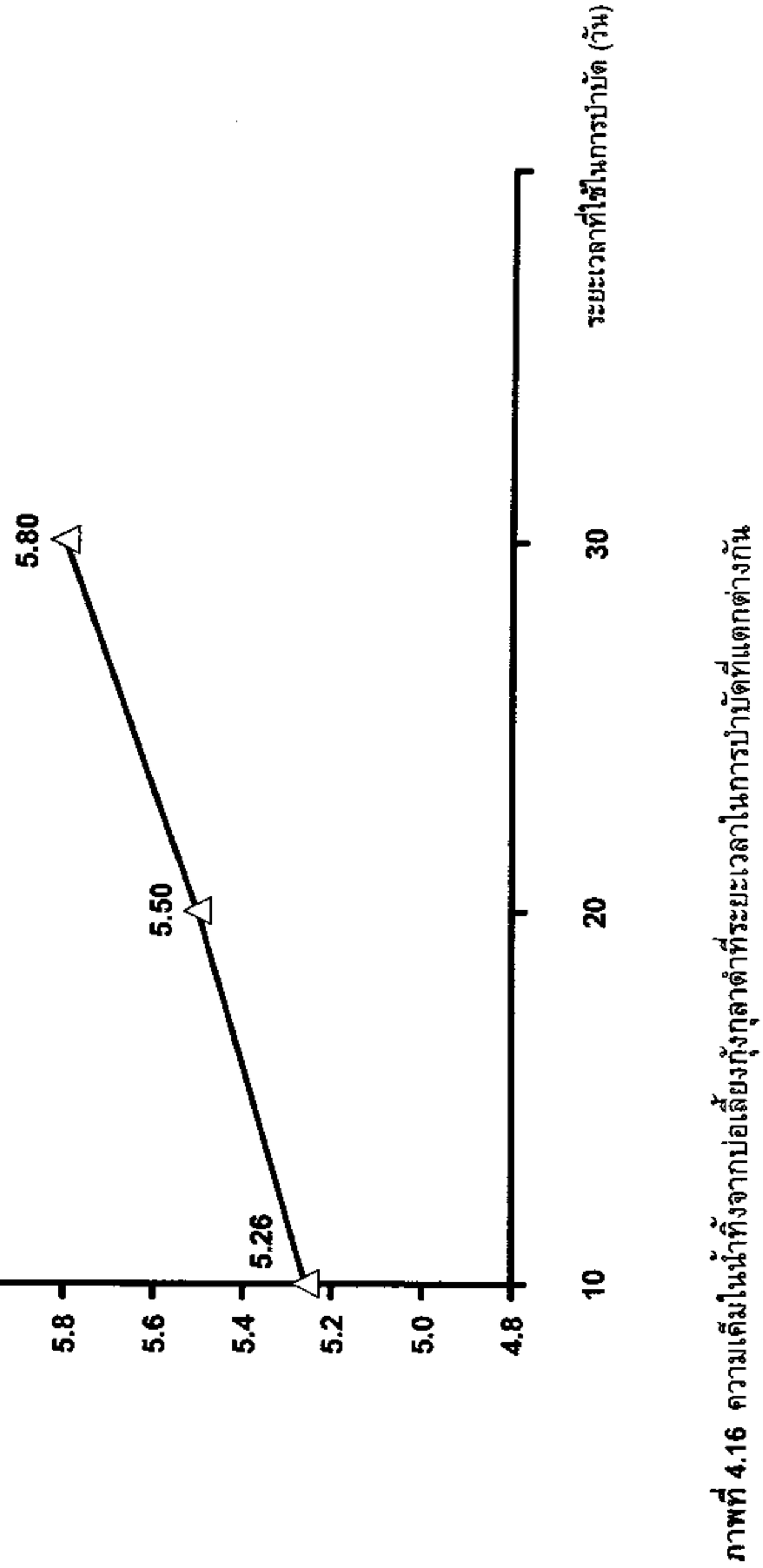
ภาพที่ 4.13 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการกักน้ำต่างกัน



ภาพที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.15 ความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.16 ความ

4.1.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่มีผลต่อคุณภาพน้ำทิ้ง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดแตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO^-_3) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความเค็ม (Salinity) โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.3.1 บีโอดี (BOD)

ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.17 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 17

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณบีโอดีเหลือตกค้างน้อยที่สุดเท่ากับ 19.00 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน และปริมาณบีโอดีเหลือตกค้างมากที่สุดเท่ากับ 57.50 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน โดยภาพรวมปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดและระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดีกลับมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปจนเกิดการตายของไข่น้ำ ซึ่งจะปลดปล่อยสารอินทรีย์กลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้งเมื่อผ่านการย่อยสลายตามธรรมชาติ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณบีโอดีกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณบีโอดีในแต่ละระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้บีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9) มีเพียงที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.1.3.2 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.18 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 18

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงน้อยที่สุดที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน โดยเหลือเท่ากับ 91.00 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงมากที่สุดที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน โดยเหลือเท่ากับ 39.00 มิลลิกรัม/ลิตร จากปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลองที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยกลับมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง ซากของไข่น้ำถูกย่อยสลายเป็นของแข็งแขวนลอยกลับสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4 และ 0.6 ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน รวมทั้งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.3 ฟอสฟอรัสรวม (Total P)

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.19 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 19

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่

ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ทั้งนี้ ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงน้อยที่สุด คือ เหลือตกค้างเท่ากับ 0.79 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน จากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ลดลงมากที่สุดโดยเหลือตกค้างเพียง 0.02 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร คือ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน จะเห็นได้ว่า ระดับชีวมวลของไข่น้ำมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงมากขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมกลับมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม มีความหนาแน่นมากเกินไปไข่น้ำที่ตายเกิดการเน่าเปื่อยทำให้ธาตุอาหารในส่วนของฟอสฟอรัสกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.4 ไนเตรท (NO^{-}_{3})

ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.20 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 20

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณไนเตรทไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณไนเตรทก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณไนเตรทจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วันเช่นกัน ซึ่งภายหลังการทดลองปริมาณไนเตรทลดลงโดยเหลือตกค้างเพียง 0.390 – 0.015 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จากปริมาณไนเตรทก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 0.740 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งปริมาณไนเตรทลดลงมากที่สุด คือ เหลือเท่ากับ

0.015 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน และปริมาณไนเตรทลดลงน้อยที่สุด คือ เหลือเท่ากับ 0.390 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน โดยภาพรวมปริมาณไนเตรทจะลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้น แสดงให้เห็นว่าระดับชีวมวลของไข่น้ำมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ระดับชีวมวลนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง ซากของไข่น้ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเกิดการหมุนเวียนของสารอาหารตามวัฏจักรไนโตรเจนผ่านปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจนกระทั่งไนเตรทกลับคืนสู่น้ำทิ้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าไนเตรทไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.5 แอมโมเนีย (NH_3)

ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.21 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 21

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงเหลือตกค้างน้อยที่สุดเท่ากับ 0.11 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน รองลงมา คือ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จากปริมาณก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร โดยปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดนานขึ้นและระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณแอมโมเนียเหลือตกค้างมากที่สุดเท่ากับ 5.79 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร อาจเนื่องมาจากที่ระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลง สารอินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำทิ้ง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0, 0.2,

0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้แอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.6 ไนโตรเจนรวม (Total N)

ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.22 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 22

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน สามารถลดปริมาณไนโตรเจนรวมลงได้มากที่สุด คือ เหลือเพียง 0.90 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0, 0.2 และ 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาต่าง ๆ และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ก็สามารถลดปริมาณไนโตรเจนรวมลงได้เช่นเดียวกัน แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับนี้ขาดความสมดุลเนื่องด้วยความหนาแน่นของไข่น้ำที่มากเกินไปมีผลทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพส่งผลให้สารประกอบไนโตรเจนกลับคืนสู่น้ำทิ้ง แต่โดยภาพรวมปริมาณไนโตรเจนรวมจะลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระดับชีวมวลของไข่น้ำมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยปริมาณไนโตรเจนรวมลดลงเหลือเพียง 26.32 – 0.90 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร จากปริมาณไนโตรเจนรวมก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนรวมกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4

และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.7 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.23 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 23

ผลการทดลอง พบว่า ระดับชีวมวลของไข่น้ำไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง โดยทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำที่ระยะเวลา 10 วัน ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วง 10 วันแรกนั้น สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งถูกย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งอนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตด้วยในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำ นอกจากนี้ในหน่วยทดลองที่มีการใส่ไข่น้ำหรือที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 – 0.8 กิโลกรัม ไข่น้ำยังอยู่ในช่วงระยะเวลาของการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ การสังเคราะห์แสงยังเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์นักทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ และในช่วงนี้อัตราการเจริญเติบโตของไข่น้ำยังไม่สูงมากนัก เนื่องจากมีบางส่วนของไข่น้ำที่ตายลงทำให้เกิดการย่อยสลายปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งอนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต ฟอสเฟต และแอมโมเนียออกมาในน้ำเช่นกัน โดยแอมโมเนียนี้จะทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง แต่เมื่อพิจารณาถึงอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายซากไข่น้ำแล้ว พบว่า อนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเกิดขึ้นมากกว่าอนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง ดังนั้น ผลลัพธ์ของค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำที่ระดับนี้จะมีค่าลดลง จากนั้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) แบคทีเรียได้เข้าสู่ระยะของการเจริญเติบโตเต็มที่ การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีอัตราต่ำลงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งอนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตที่เกิดขึ้นลดลง ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ไข่น้ำปรับตัวจนคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและมีสารอาหารเหลือจำนวนมาก ในช่วงสายของวัน (เก็บตัวอย่างน้ำเวลา 10.00 น.) ไข่น้ำได้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปในกระบวนการสังเคราะห์แสงอย่างเต็มที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ระยะเวลา 10 วัน และค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำทิ้งเข้าสู่ความเป็นกลางมากขึ้น สำหรับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัมนี้เป็นระดับที่มีความหนาแน่นของชีวมวลมากเกินไปขาดความสมดุลของระบบทำให้ไข่น้ำตายเกิดการย่อยสลายซากของไข่น้ำโดยจุลินทรีย์ ผลจากการย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งอนุภาคของไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟตขึ้นซึ่งจะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด นอกจากนี้ยังมีแอมโมเนีย

ซึ่งทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่างเกิดขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาถึงอนุภาคด่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำที่ระดับนี้ย่อมมีมากกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับต่าง ๆ นั่นคืออนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นกรดเกิดขึ้นมากกว่าอนุภาคที่ทำให้น้ำมีสภาวะเป็นด่าง ดังนั้นผลลัพธ์ของค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำที่ระดับนี้จะมีค่าลดลงและลดลงมากกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับต่าง ๆ ด้วย (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2544 ข: 2 – 3 – 2 – 5, 3 – 1) อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ตรวจวัดได้จัดว่าเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีค่าได้ตั้งแต่ 6.10 – 9.00 (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 9 – 10)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด – ด่างกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำและทุกระยะเวลาในการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

4.1.3.8 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.24 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ฉ ตารางที่ ฉ. 24

ผลการทดลอง พบว่า ค่าความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เช่นเดียวกับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 และ 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ค่าความเค็มก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน นอกจากนี้ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ค่าความเค็มจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน รวมทั้งในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำ ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ค่าความเค็มก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน โดยความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ความเค็มมีค่าเพิ่มขึ้น 5.20 – 5.90 ppt จากความเค็มก่อนการทดลองเท่ากับ 5.10 ppt ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ค่าความเค็มมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.90 ppt โดยค่าความเค็มในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อระยะเวลานานขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเค็มไม่ได้แปรผันตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า ระดับชีวมวลของไข่น้ำไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค็มกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่า ปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 9)

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของระดับชีวมวลของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

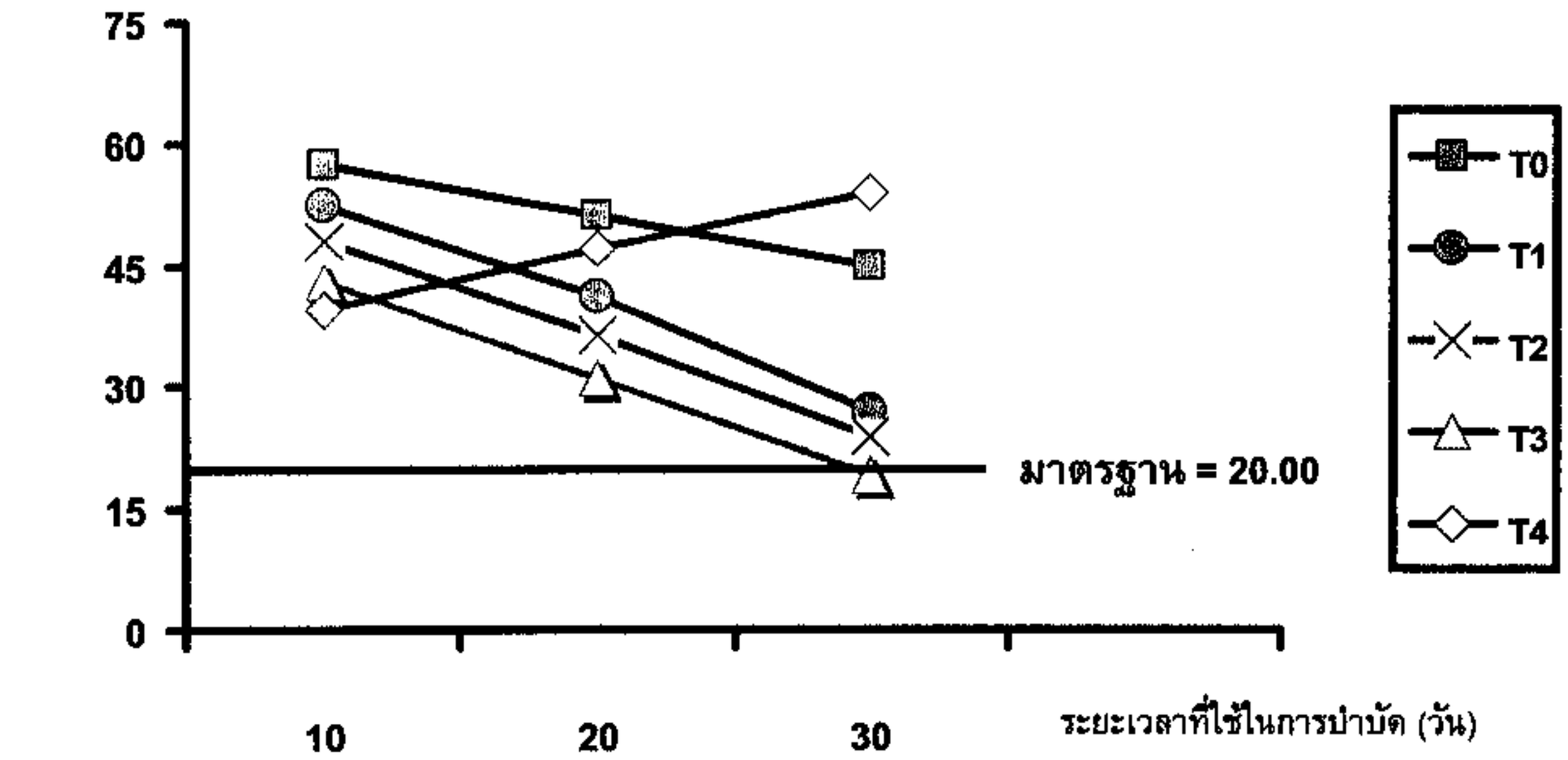
คุณภาพน้ำทิ้ง	Interaction	T_0			T_1			T_2			T_3			T_4			CV (ร้อยละ)
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
บีโอดี (มก./ล.)	I	57.50^{a}	51.00^{d}	45.00^{g}	52.50^{c}	41.00^{i}	27.00^{m}	48.00^{e}	36.50^{k}	24.00^{n}	43.00^{h}	31.00^{j}	19.00^{o}	39.50^{i}	47.00^{f}	54.00^{b}	1.66
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	I	91.00^{a}	76.00^{e}	63.00^{i}	85.00^{c}	67.00^{h}	48.00^{l}	80.00^{d}	61.00^{j}	43.00^{m}	72.00^{g}	56.00^{k}	39.00^{n}	67.00^{h}	74.00^{f}	87.00^{b}	1.05
ฟอสฟอรัสรวม (มก.P/ล.)	I	0.69^{b}	0.57^{d}	0.49^{e}	0.60^{c}	0.36^{h}	0.14^{k}	0.41^{g}	0.22^{i}	0.07^{m}	0.23^{l}	0.11^{j}	0.02^{n}	0.17^{l}	0.44^{f}	0.79^{a}	2.13
ไนเตรท (มก.N/ล.)	I	0.390^{a}	0.240^{c}	0.180^{e}	0.320^{b}	0.150^{m}	0.045^{l}	0.230^{d}	0.100^{j}	0.039^{l}	0.170^{f}	0.067^{k}	0.015^{k}	0.110^{j}	0.118^{h}	0.123^{h}	3.04
แอมโมเนีย (มก.N/ล.)	I	1.64^{c}	0.88^{h}	0.32^{l}	1.45^{d}	0.76^{i}	0.21^{m}	1.31^{e}	0.64^{j}	0.16^{n}	1.23^{f}	0.56^{k}	0.11^{o}	1.18^{g}	3.07^{b}	5.79^{a}	2.14
ไนโตรเจนรวม (มก.N/ล.)	I	26.32^{a}	15.56^{g}	7.29^{l}	24.64^{b}	9.86^{h}	1.40^{k}	21.74^{d}	8.40^{i}	0.95^{l}	19.52^{c}	7.33^{j}	0.90^{l}	15.29^{g}	18.74^{f}	22.53^{e}	1.87
ความเป็นกรด – ด่าง$^{N.S}$	NI	7.83	7.98	8.10	7.77	7.89	7.90	7.75	7.85	7.85	7.71	7.83	7.84	7.71	7.61	7.46	10.46
ความเค็ม (ppt)	NI	5.20^{g}	5.40^{ef}	5.70^{bc}	5.20^{g}	5.50^{de}	5.70^{bc}	5.30^{fg}	5.50^{de}	5.80^{ab}	5.30^{fg}	5.50^{de}	5.90^{a}	5.30^{fg}	5.60^{cd}	5.90^{a}	1.48

หมายเหตุ : $^{abcdefghijklmn\ o}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

I : Interaction และ NI : Non – interaction คือ มีและไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ตามลำดับ

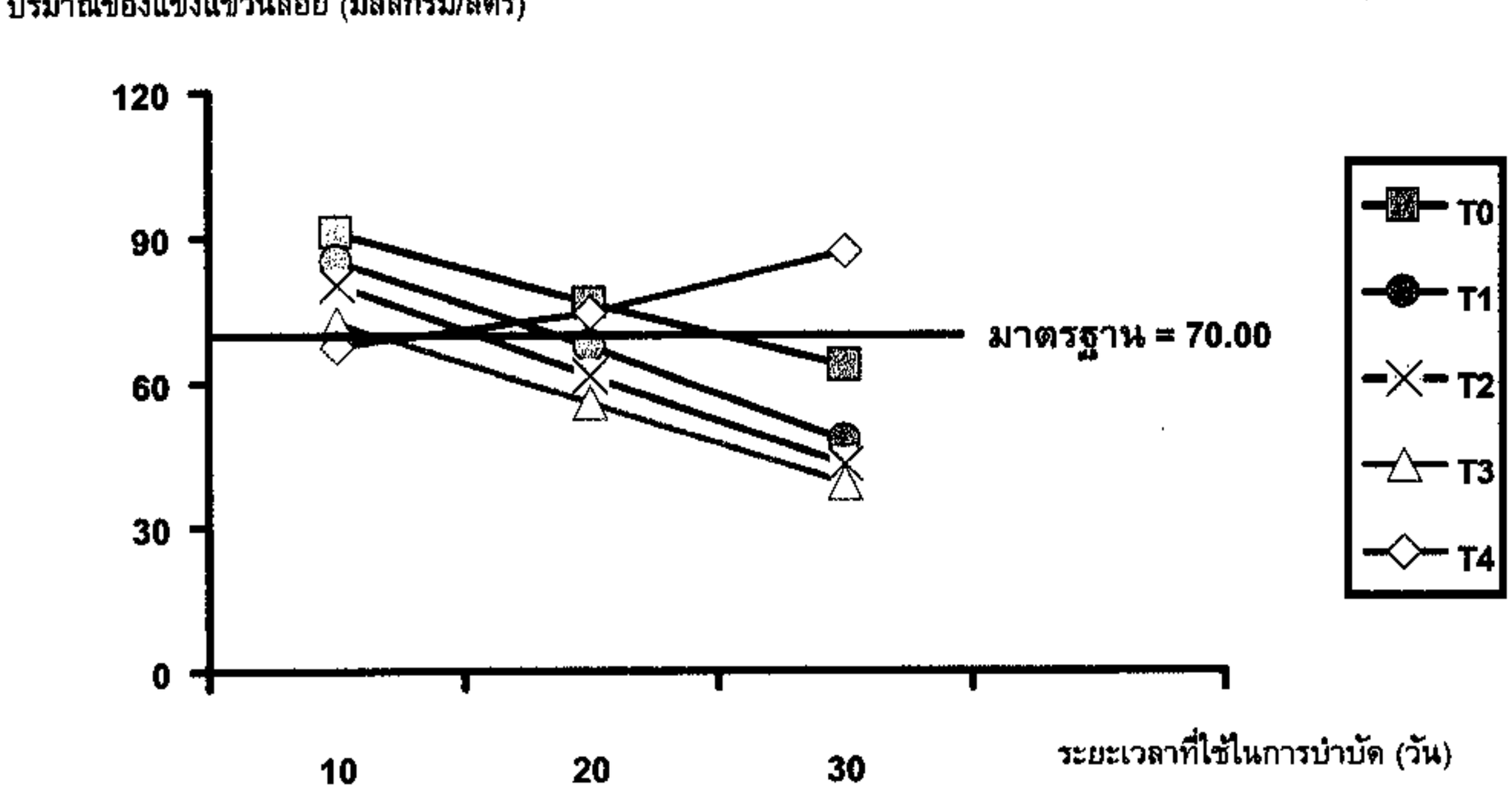
N.S. = Non – significant ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

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



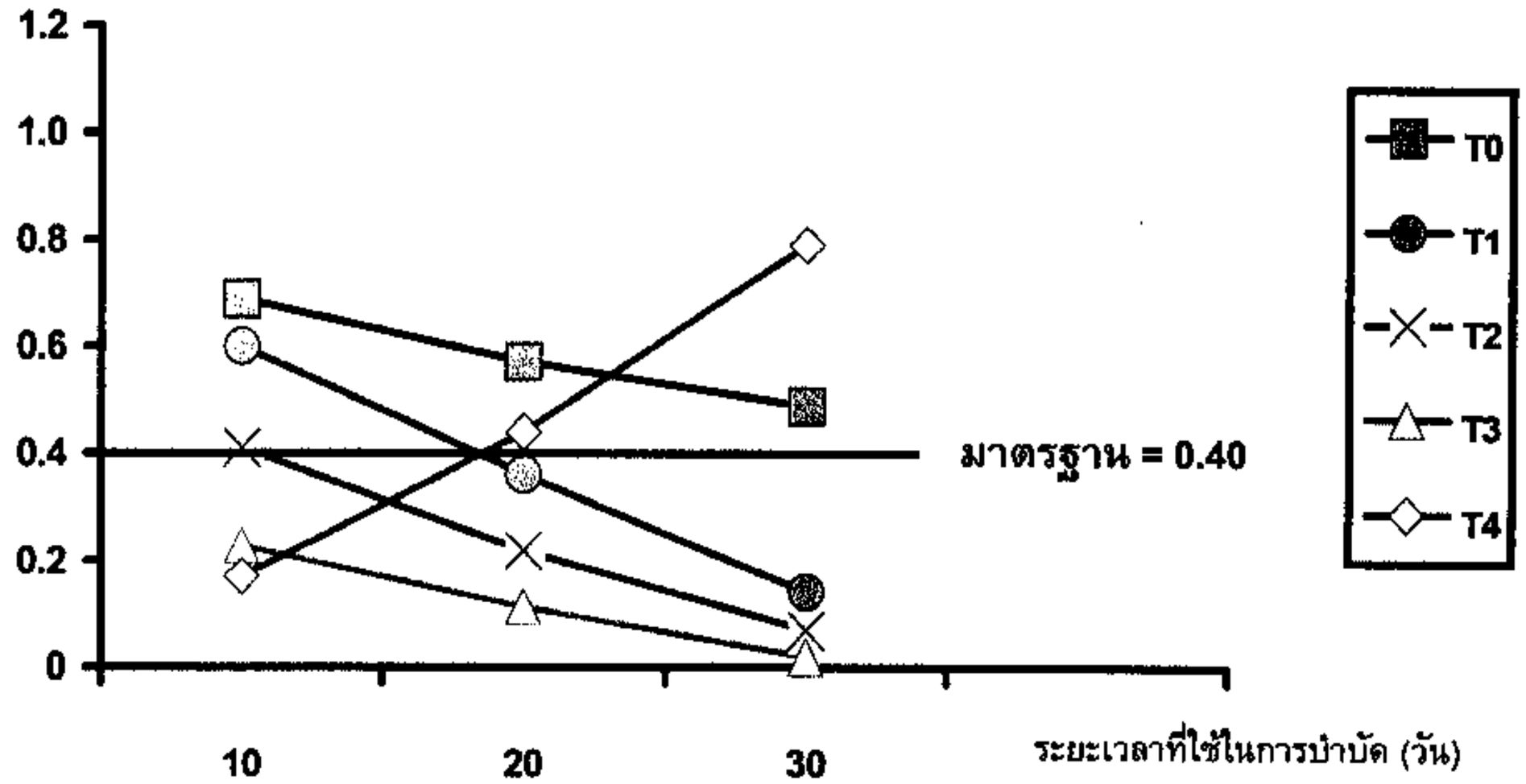
ภาพที่ 4.17 ปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

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



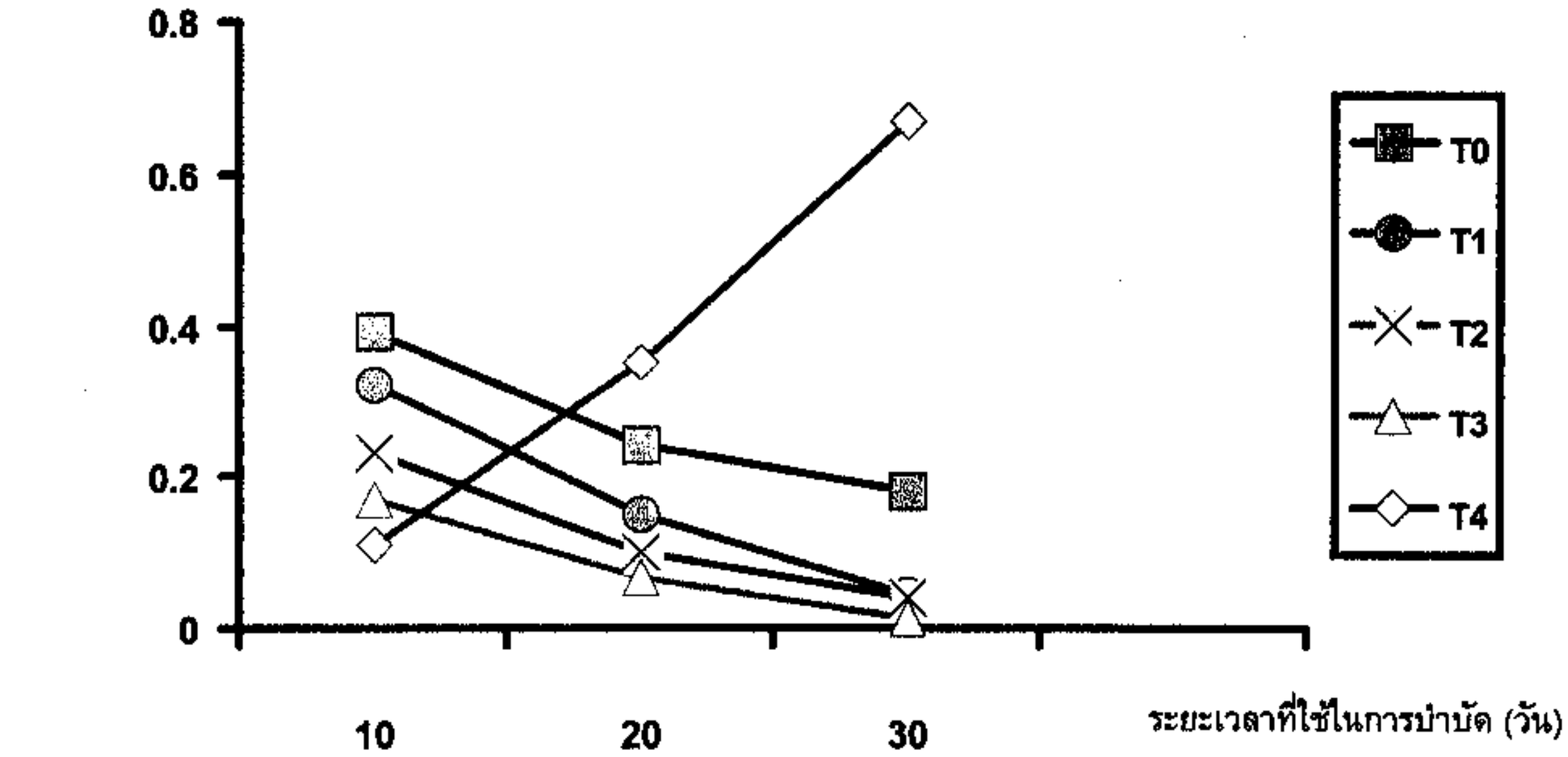
ภาพที่ 4.18 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

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



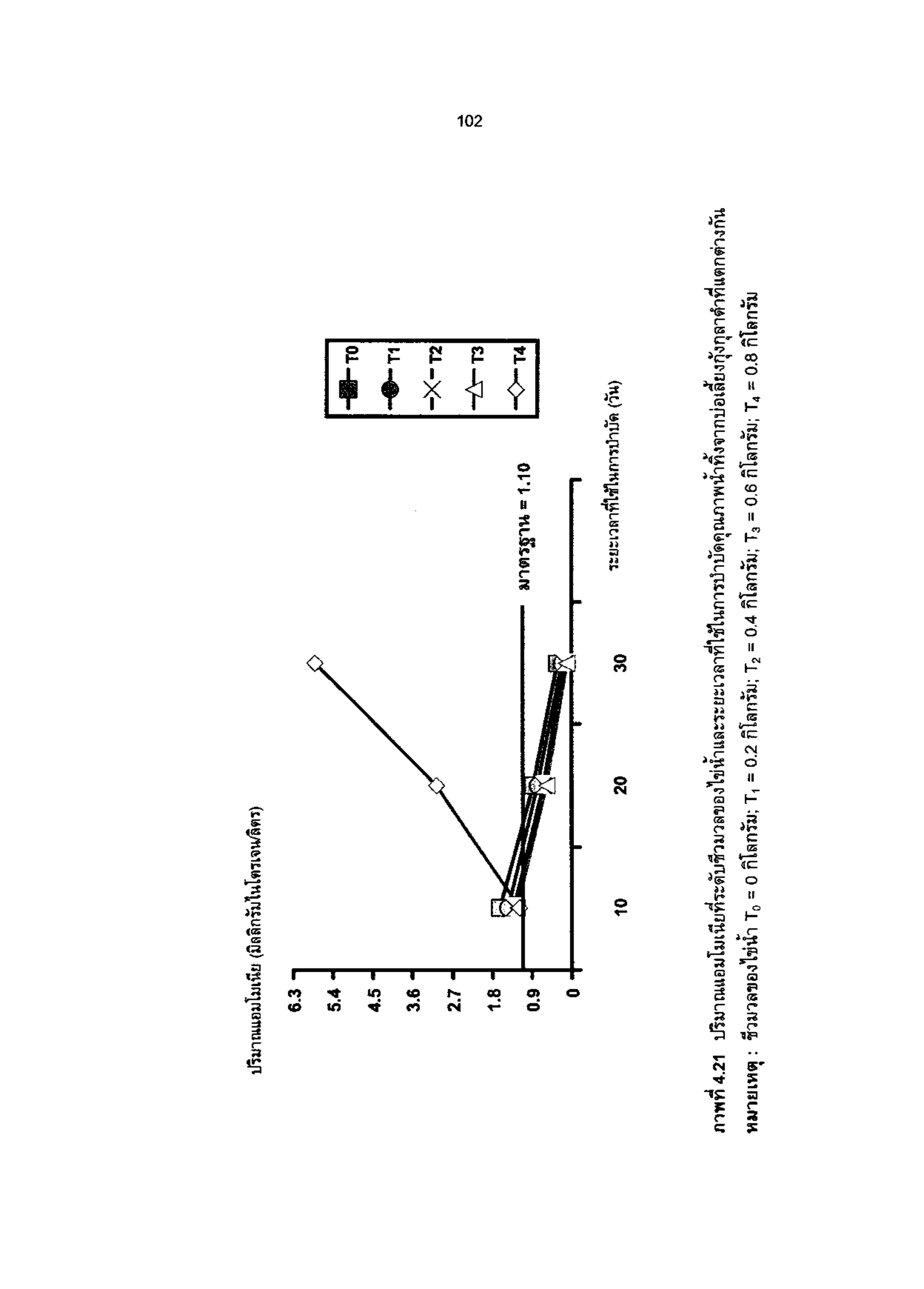
ภาพที่ 4.19 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

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



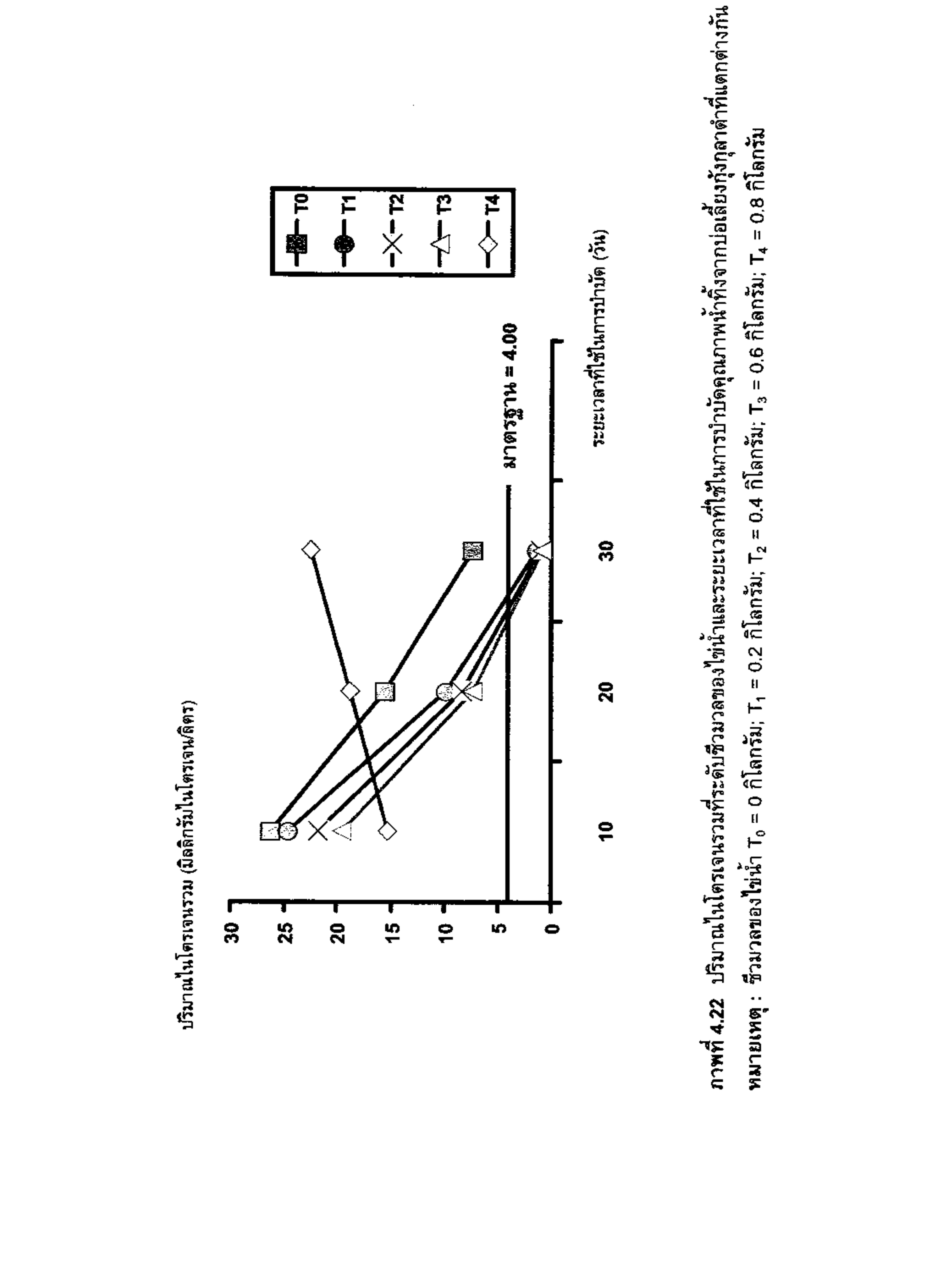
ภาพที่ 4.20 ปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

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



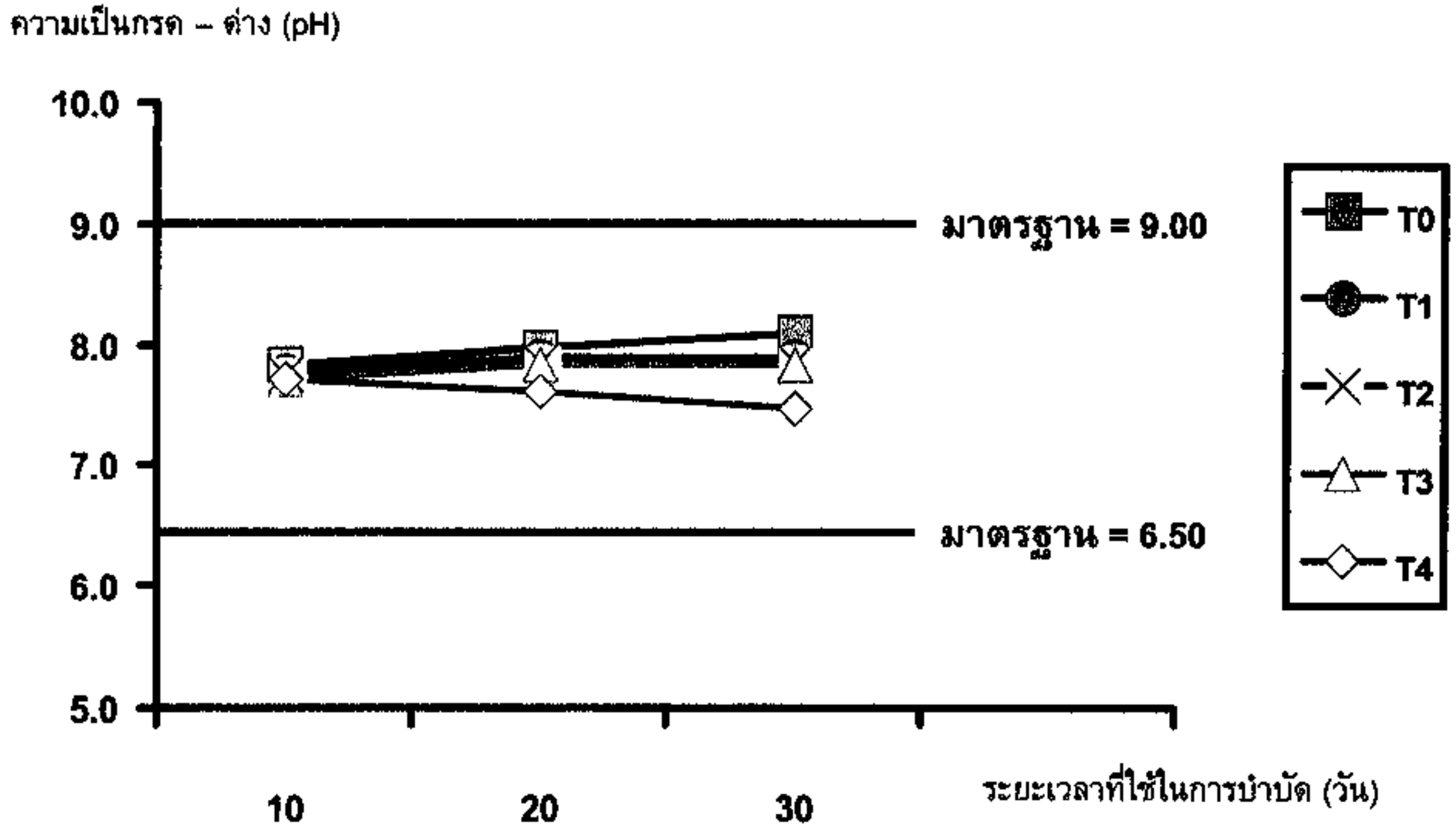
ภาพที่ 4.21 ปริมาณแอมโมเนียที่ระดับเวลาของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความหนาแน่นมาตรฐาน

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



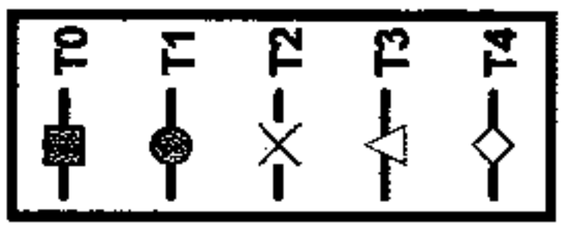
ภาพที่ 4.22 ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับความลึกต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ในระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

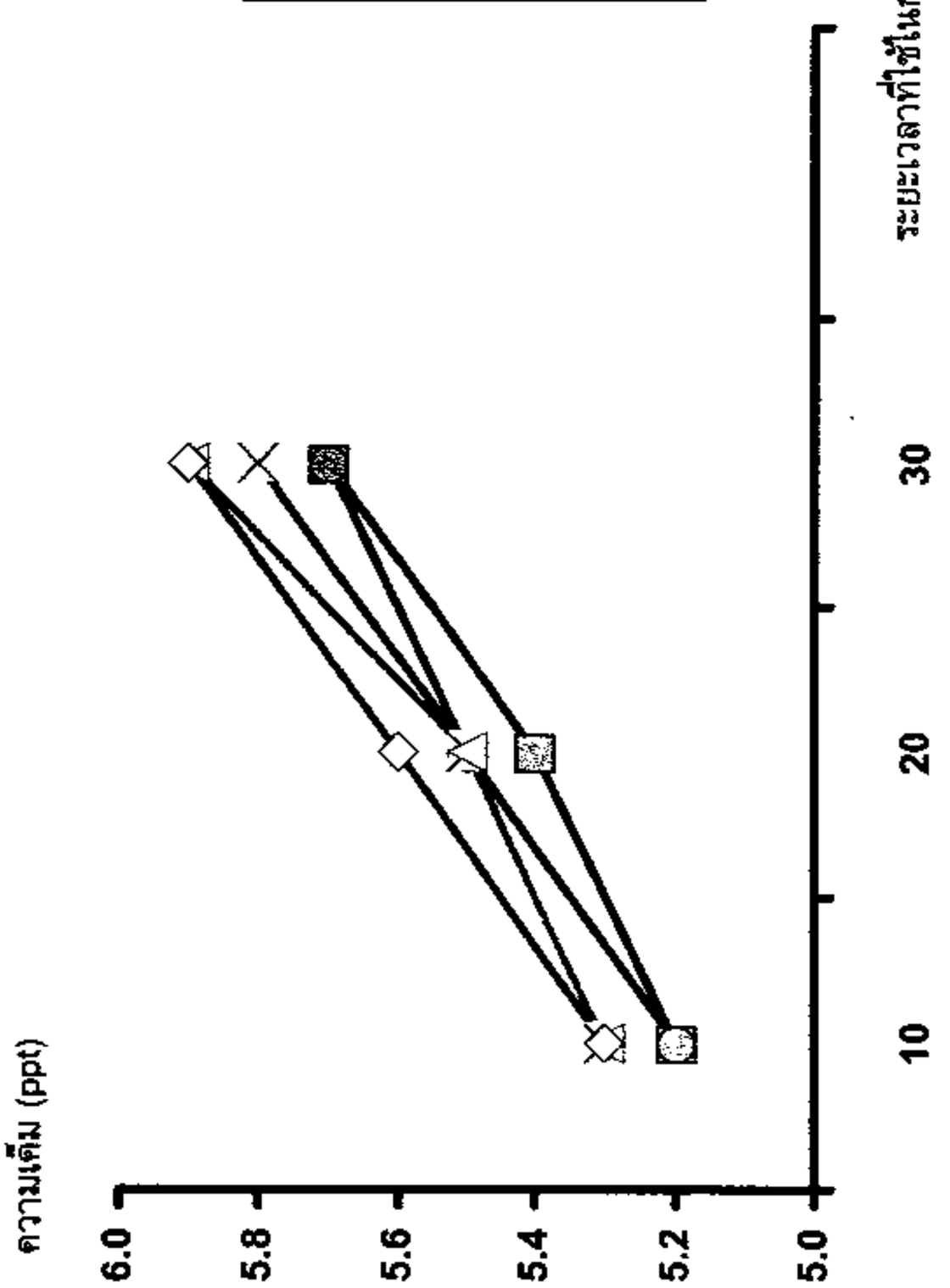
หมายเหตุ : ชื่อมวลของไข่น้ำ T_0 = 0 กิโลกรัม; T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.23 ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำ 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 4.24 ความเค็มที่ระดับชั่วมวลของไข่น้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชั่วมวลของไข่น้ำ 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 ชีวมวลของไข่น้ำ

4.2.1 อิทธิพลของระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่มีผลต่อชีวมวลรวม

การศึกษาชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งมีระดับชีวมวลเริ่มต้นเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และปล่อยให้ลอยบนผิวน้ำในภาชนะพลาสติกที่บรรจุน้ำปริมาตร 50 ลิตร ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.25 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 25

ผลการทดลอง พบว่า ที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 0.318, 0.487, 0.640 และ 0.762 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้นทำให้ชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง จะเห็นได้ว่า ชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่ 0.2, 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม ชีวมวลรวมของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.118, 0.087 และ 0.040 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.8 กิโลกรัม ชีวมวลรวมของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงเท่ากับ – 0.038 กิโลกรัม ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากระดับชีวมวลของไข่น้ำที่แตกต่างกันทำให้การได้รับปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำทิ้งต่างกัน นั่นคือ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้นภายใต้สภาวะที่มีสารอาหารในน้ำทิ้งปริมาณที่เท่ากันโอกาสที่ไข่น้ำจะได้รับสารอาหารและแร่ธาตุย่อมมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยไข่น้ำที่มีระดับชีวมวลสูงกว่าจะได้รับสารอาหารในสัดส่วนที่ต่ำกว่าไข่น้ำที่ระดับชีวมวลที่น้อยกว่าพึงจะได้รับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำมีปริมาณเท่ากัน แต่ชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน กล่าวคือ ในแต่ละหน่วยทดลองใส่อาหารไว้ในปริมาณที่เท่ากันแต่ผู้บริโภคที่เข้ามาบริโภคอาหารมีจำนวนมากน้อยต่างกัน โดยหน่วยทดลองที่มีผู้บริโภคน้อยกว่าจะได้รับสารอาหารในอัตราที่มากกว่า และในทางตรงกันข้ามหน่วยทดลองที่มีผู้บริโภคมากกว่าจะได้รับสารอาหารในอัตราที่น้อยกว่านั่นเอง ดังนั้น ไข่น้ำที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นต่ำกว่าจะดูดซึมสารอาหารไปใช้ในอัตราที่สูงกว่าไข่น้ำที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นที่สูงกว่าขึ้นไป จึงทำเกิดการเจริญเติบโตและเกิดการเพิ่มมวลชีวภาพที่มากขึ้นตามระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่น้อยลง

ตารางที่ 4.5 ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

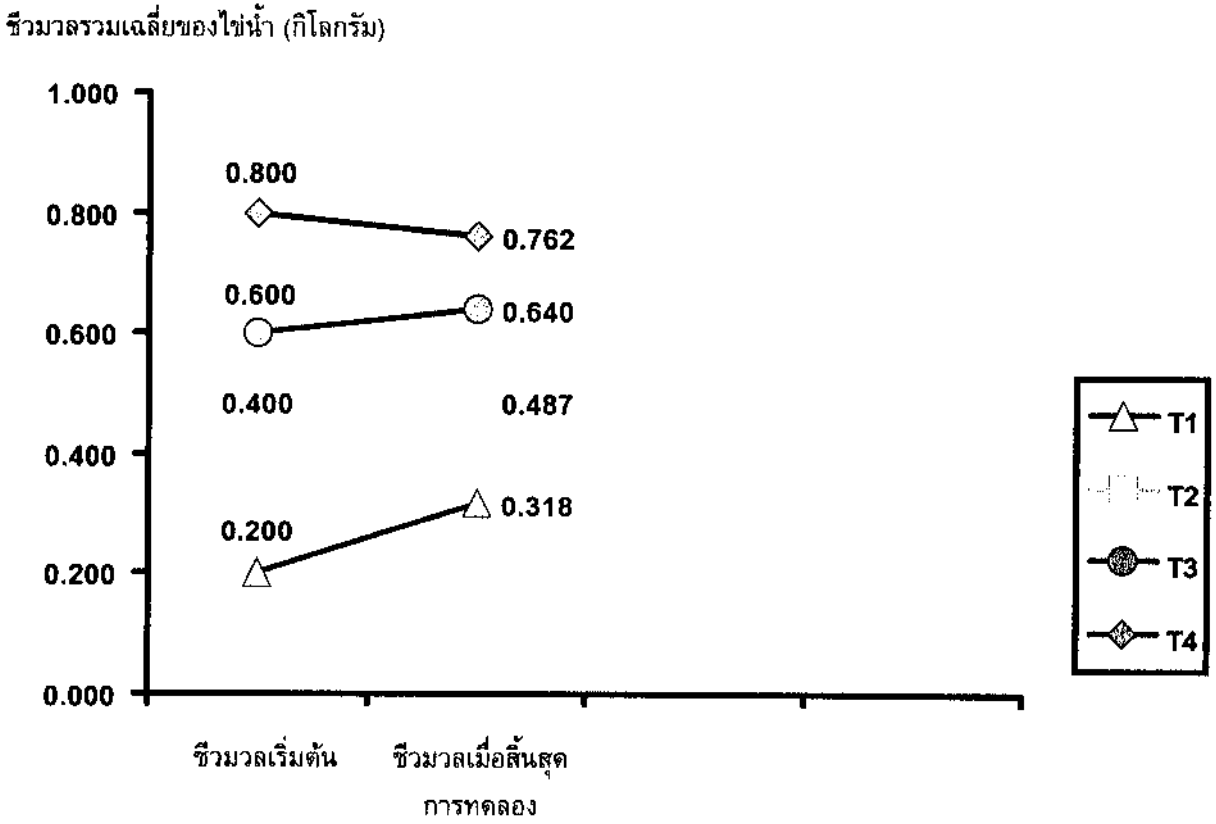
หน่วยการทดลอง	ระดับชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวมเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง* (กิโลกรัม)
T_1	0.2	0.318	0.118^{a}
T_2	0.4	0.487	0.087^{b}
T_3	0.6	0.640	0.040^{c}
T_4	0.8	0.762	-0.038^{d}
CV (ร้อยละ)		**2.61**	

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

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

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

ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาอุณหภูมิของน้ำและอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 22 – 25 และ 27 – 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าความเข้มแสงมีค่าอยู่ในช่วง 1,800 – 2,500 ลักซ์ (Lux)



ภาพที่ 4.25 ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

4.2.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลของไข่น้ำ

การศึกษาชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 วัน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.26 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 26

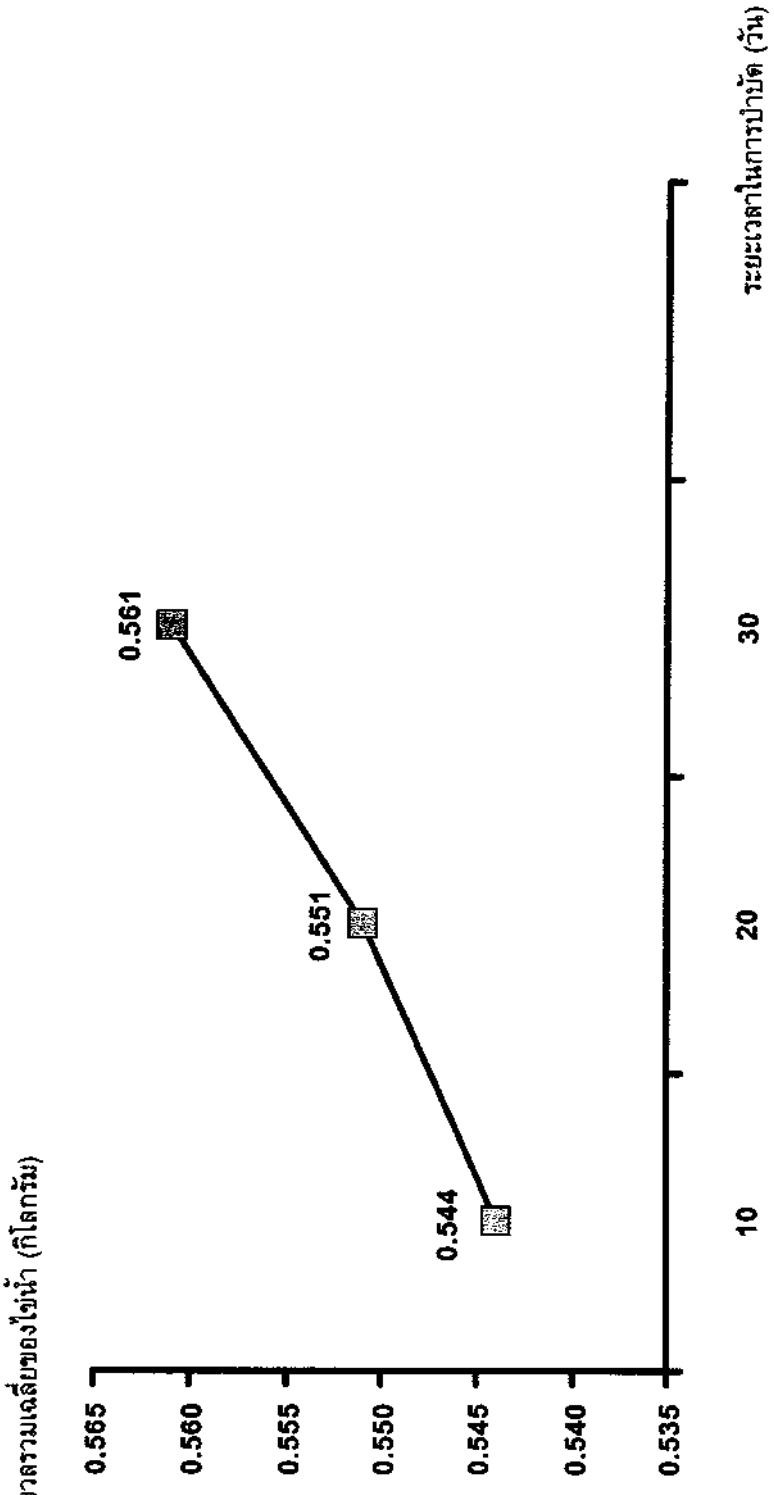
ผลการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน มีค่าเท่ากับ 0.544, 0.551 และ 0.561 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยภายหลังการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงจากระดับชีวมวลเริ่มต้น (0.5 กิโลกรัม) มีค่าเท่ากับ 0.044, 0.051 และ 0.061 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละระยะเวลาในการบำบัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลเริ่มต้นก่อนทำการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า ในทุกระยะเวลาการบำบัดมีค่าชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำสูงกว่าค่าชีวมวลเริ่มต้นก่อนทำการทดลองและค่าชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในน้ำทิ้งมีสารอาหารและแร่ธาตุที่จำเป็นและเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการแพร่ขยายพันธุ์ของไข่น้ำ ไข่น้ำได้ใช้สารอาหารและแร่ธาตุเหล่านี้ไปทำให้ชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น (ชนกพร จุฑาสงฆ์, 2542: 13 – 14)

ตารางที่ 4.6 ชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ระดับชีวมวลเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ชีวมวลรวมเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง* (กิโลกรัม)
10	0.5	0.544	0.044^{c}
20	0.5	0.551	0.051^{b}
30	0.5	0.561	0.061^{a}
CV (ร้อยละ)		**2.61**	

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติ

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



ภาพที่ 4.26 ชีวมวลรวมเฉลี่ยของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ

4.2.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.27 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 27 และแสดงภาพไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำต่าง ๆ ก่อนการทดลอง ดังภาพที่ 4.28

ผลการทดลอง พบว่า ค่าชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำต่างกัน คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม และระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน โดยส่วนใหญ่ค่าชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางลดลง โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ค่าชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.156 กิโลกรัม และที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ค่าชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ – 0.086 กิโลกรัม โดยที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่ต่างกันและระยะเวลาในการบำบัดที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จะเห็นได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัด ซึ่งเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงจะมีค่าลดลงเมื่อระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำมากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำมีการดูดซึมสารอาหารจากน้ำทิ้งไปสะสมไว้ใช้ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์เพิ่มมวลชีวภาพให้มากขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำปริมาณต่ำกว่าจะได้รับสารอาหารในอัตราที่สูงกว่าไข่น้ำที่มีระดับชีวมวลปริมาณสูงขึ้นซึ่งจะได้รับสารอาหารในอัตราที่ต่ำกว่า อันจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของไข่น้ำโดยตรงทำให้ค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลงเมื่อชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำมากขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง ทั้งนี้ อาจเกิดจากชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ระบบขาดความสมดุล ดังนั้น ระบบจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลใหม่ โดยมีการตายของไข่น้ำบางส่วนเกิดขึ้นส่งผลให้อัตราชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับนี้เป็นไปในทิศทางลดลง

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ

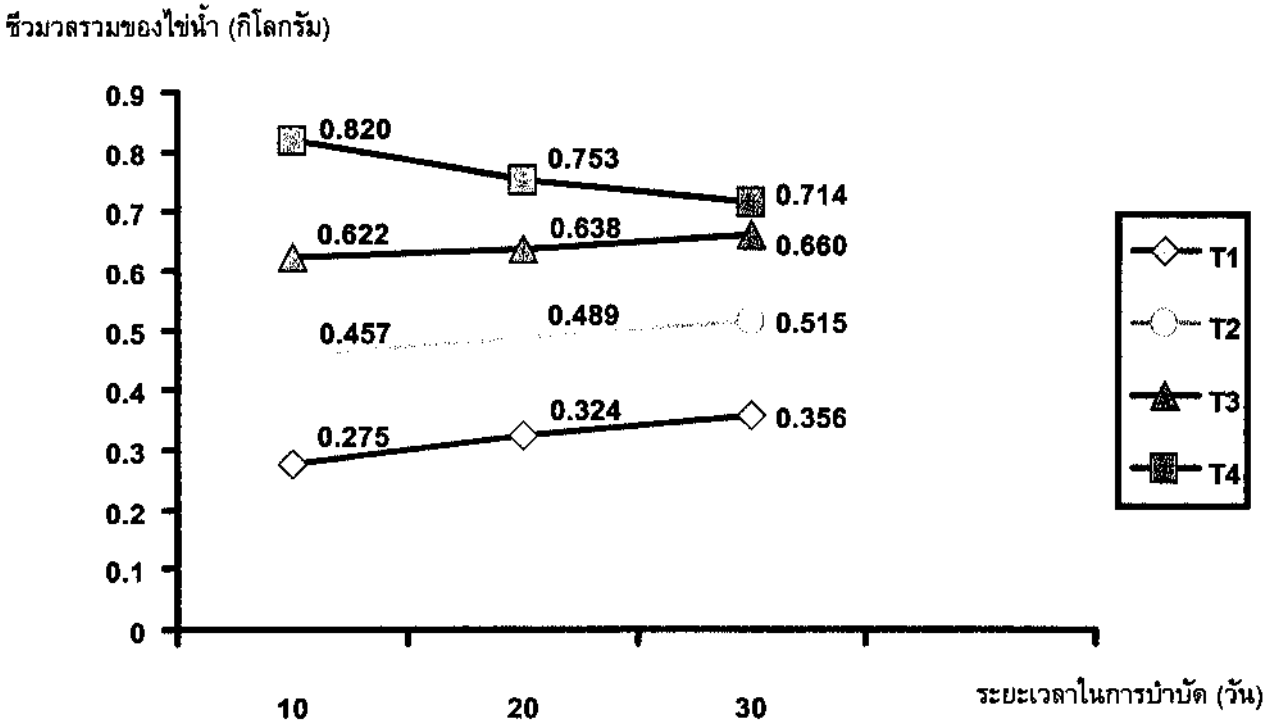
หน่วยการทดลอง	Interaction	ระยะเวลา (วัน)								
		10			20			30		
		ชีวมวลเริ่มต้น	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง* (กิโลกรัม)	ชีวมวลเริ่มต้น	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง* (กิโลกรัม)	ชีวมวลเริ่มต้น	ชีวมวลรวม (กิโลกรัม)	ชีวมวลที่เปลี่ยนแปลง* (กิโลกรัม)
T_1	I	0.2	0.275	0.075^{e}	0.2	0.324	0.124^{b}	0.2	0.356	0.156^{a}
T_2	I	0.4	0.457	0.057^{g}	0.4	0.489	0.089^{d}	0.4	0.515	0.115^{c}
T_3	I	0.6	0.622	0.022^{i}	0.6	0.638	0.038^{h}	0.6	0.660	0.060^{f}
T_4	I	0.8	0.820	0.020^{j}	0.8	0.753	- 0.047^{k}	0.8	0.714	- 0.086^{l}
CV (ร้อยละ)		2.61								

หมายเหตุ : * วิเคราะห์นัยสำคัญทางสถิติร่วมกัน

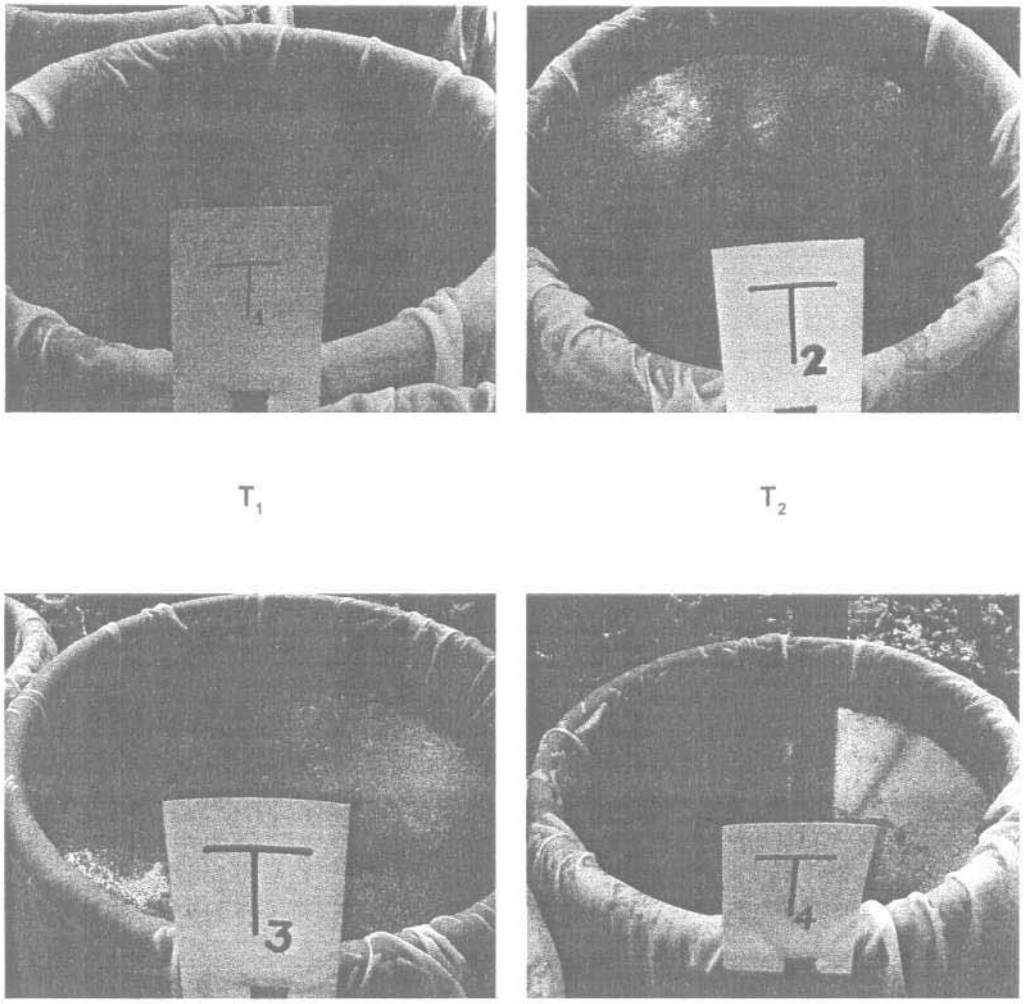
^{abcdefghijkl} ตัวอักษรที่แตกต่างกันของชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

I : Interaction คือ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัด

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



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ



ภาพที่ 4.28 ชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลต่าง ๆ ก่อนการทดลอง

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

4.3 ดุลไนโตรเจน

การศึกษาดุลไนโตรเจน (N – balance) ในรูปไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) ของการทดลองในแต่ละหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0 (T_0), 0.2 (T_1), 0.4 (T_2), 0.6 (T_3) และ 0.8 (T_4) กิโลกรัม ภายหลังการทดลองบำบัดคุณภาพน้ำเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการศึกษาปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำและในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง และปริมาตรน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนรวมที่หมุนเวียนอยู่ภายในระบบ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 ถึงตารางที่ 4.10 ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนและหลังการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับการเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลาการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน ที่ได้มาจากการคำนวณ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 ถึง 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำและในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง

ปริมาณไนโตรเจนรวม	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ในน้ำก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
ในน้ำหลังการทดลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)	7.29	1.40	0.95	0.90	22.53
ในไข่น้ำก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	103,900.00	103,900.00	103,900.00	103,900.00
ในไข่น้ำหลังการทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	247,900.00	233,500.00	221,900.00	192,400.00

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

ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลองเป็นปริมาณต่อน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง

ชีวมวล	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ก่อนการทดลอง (กรัม)	0.00	200.00	400.00	600.00	800.00
หลังการทดลอง (กรัม)	0.00	355.56	514.75	659.50	713.67
เปลี่ยนแปลง (กรัม)	0.00	155.56	114.75	59.50	86.33

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

ตารางที่ 4.10 ปริมาตรน้ำเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลอง

ปริมาตรน้ำ	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ก่อนการทดลอง (ลิตร)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
หลังการทดลอง (ลิตร)	29.457	30.379	31.606	30.755	31.184
เปลี่ยนแปลง (ลิตร)	-20.543	-19.621	-18.394	-19.235	-18.816

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

ตารางที่ 4.11 ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนและหลังการทดลอง

ปริมาณไนโตรเจนรวม	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม)	0.00	20,780.00	41,560.00	62,340.00	83,120.00
หลังการทดลอง (มิลลิกรัม)	0.00	88,143.32	120,194.13	146,343.05	137,310.11
เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม)	0.00	67,364.32	78,634.13	84,003.05	54,190.11
เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	0.00	324.17	189.21	134.75	65.20

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

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนและหลังการทดลอง

ปริมาณไนโตรเจนรวม	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม)	1,400.00	1,400.00	1,400.00	1,400.00	1,400.00
หลังการทดลอง (มิลลิกรัม)	214.74	42.53	30.03	27.69	702.58
เปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัม)	-1,185.26	-1,357.47	-636.90	-1,372.31	-697.42
เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	-84.66	-96.96	-97.86	-98.02	-49.81

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

ตารางที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน

ปริมาณไนโตรเจนรวม	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
10 วัน (มิลลิกรัม)	26.32	24.64	21.74	19.52	15.29
20 วัน (มิลลิกรัม)	15.56	9.86	8.40	7.29	18.74
30 วัน (มิลลิกรัม)	7.29	1.40	0.95	0.90	22.53
รวม (มิลลิกรัม)	49.17	35.90	31.09	27.71	56.56

หมายเหตุ : ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแต่ละครั้ง มีปริมาตร 1 ลิตรต่อ 1 ซ้ำ
ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ : T_1 = 0.2 กิโลกรัม; T_2 = 0.4 กิโลกรัม; T_3 = 0.6 กิโลกรัม; T_4 = 0.8 กิโลกรัม

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมในหน่วยทดลอง

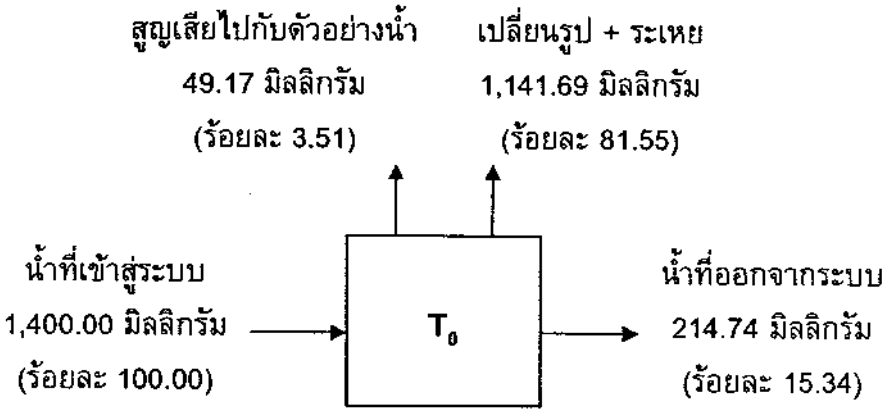
จากการศึกษาดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวม พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง ประกอบด้วยปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่เข้าสู่ระบบและ/หรือปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่เข้าสู่ระบบในแต่ละหน่วยทดลอง ส่วนหนึ่งของปริมาณไนโตรเจนรวมสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ ส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดโดยการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ ส่วนหนึ่งระเหยสู่บรรยากาศและ/หรืออีกส่วนหนึ่งได้รับเพิ่มมาจากการตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศ ซึ่งภายหลังการทดลองปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบ ประกอบด้วยปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ได้รับปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มมาจากการตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศและอีกส่วนหนึ่งเป็นปริมาณไนโตรเจนรวมที่คงเหลือในน้ำภายหลังการทดลอง โดยปริมาณไนโตรเจนรวมส่วนที่เพิ่มขึ้นมาจากบรรยากาศนี้จะไปเพิ่มปริมาณไนโตรเจนรวมให้กับไข่น้ำ ส่วนปริมาณไนโตรเจนรวมส่วนที่เหลือก็จะอยู่ในน้ำภายหลังการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมในแต่ละหน่วยทดลองมีดังนี้

1. หน่วยทดลองที่ 1 ที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณไนโตรเจนรวมเริ่มต้นในน้ำก่อนการทดลอง 1,400.00 มิลลิกรัม มีการสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 49.17 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 3.51 ของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการ

ทดลอง มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือระเหยสู่อากาศ 1,141.69 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 81.55 ของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง และมีปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างอยู่ในน้ำภายหลังการทดลอง 214.74 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 15.34 ของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง

ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม (T_0) ดังแสดงในภาพที่ 4.29

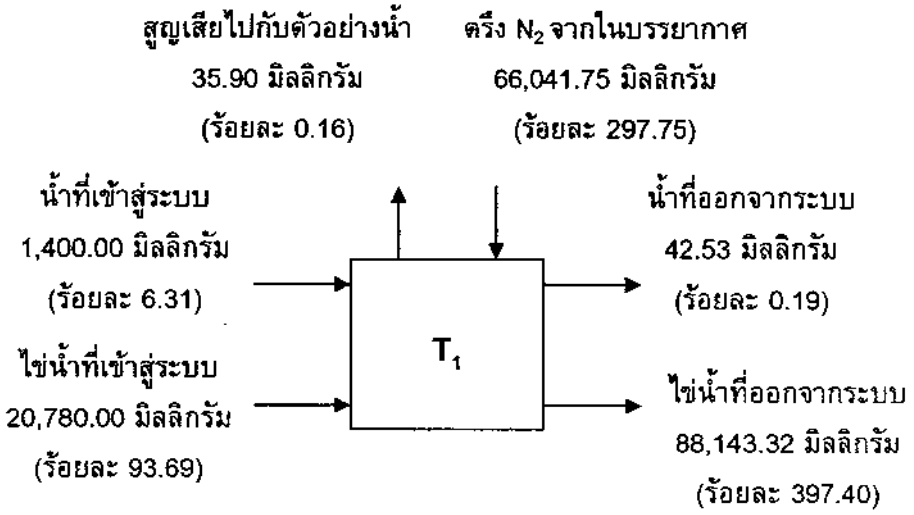


ภาพที่ 4.29 ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_0

2. หน่วยทดลองที่ 2 ที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง 1,400.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 6.31 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลอง 20,780.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 93.69 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบในระหว่างทำการทดลองโดยสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 35.90 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.16 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบภายหลังการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำหลังการทดลอง 42.53 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.19 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำหลังการทดลอง 88,143.32 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองร้อยละ 397.40 จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบ แสดงว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนใน

บรรยากาศมาเข้าสู่ระบบ 66,041.75 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 297.75 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง

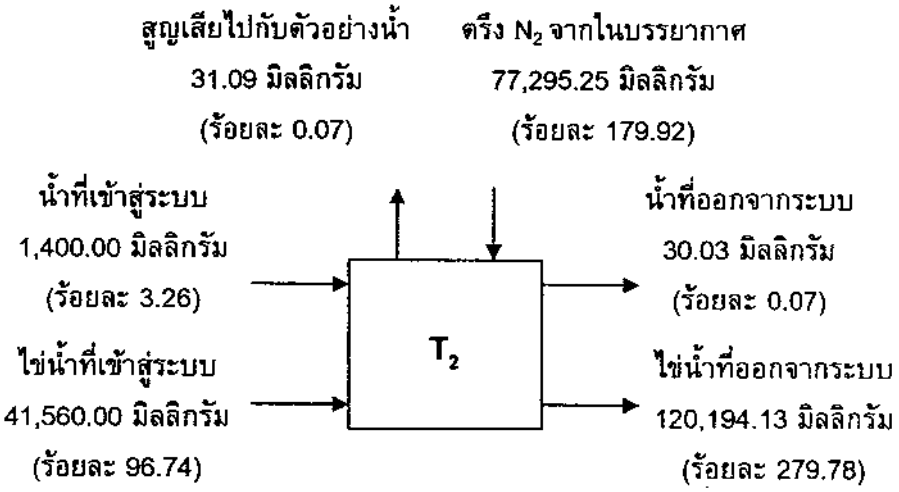
ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม (T_1) ดังแสดงในภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4.30 ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_1

3. หน่วยทดลองที่ 3 ที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง 1,400.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 3.26 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลอง 41,560.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 96.74 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบในระหว่างทำการทดลองโดยสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 31.09 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.07 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบภายหลังการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำหลังการทดลอง 30.03 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.07 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำหลังการทดลอง 120,194.13 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองร้อยละ 279.78 จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบ แสดงว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมาเข้าสู่ระบบ 77,295.25 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 179.92 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง

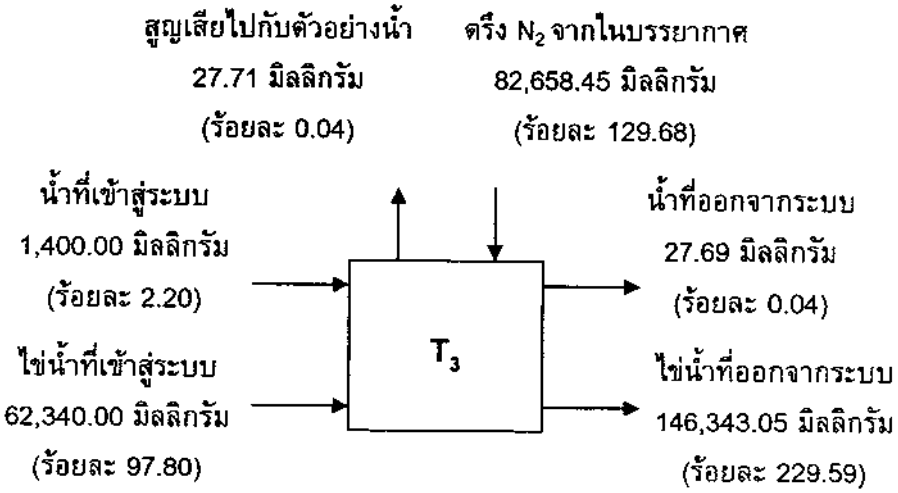
ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 กิโลกรัม (T_2) ดังแสดงในภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_2

4. หน่วยทดลองที่ 4 ที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง 1,400.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 2.20 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลอง 62,340.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 97.80 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบในระหว่างทำการทดลองโดยสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 27.71 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.04 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบภายหลังการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำหลังการทดลอง 27.69 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.04 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำหลังการทดลอง 146,343.05 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองร้อยละ 229.59 จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบ แสดงว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมาเข้าสู่ระบบ 82,658.45 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 129.68 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง

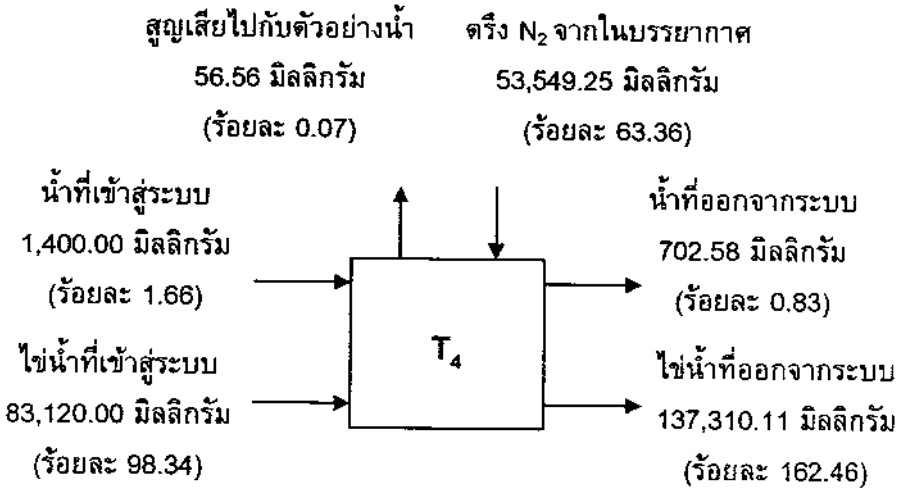
ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม (T_3) ดังแสดงในภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_3

5. หน่วยทดลองที่ 5 ที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง 1,400.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.66 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลอง 83,120.00 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 98.34 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบในระหว่างทำการทดลองโดยสูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ 56.56 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.07 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบภายหลังการทดลอง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำหลังการทดลอง 702.58 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.83 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำหลังการทดลอง 137,310.11 มิลลิกรัม คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองร้อยละ 162.46 จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบ แสดงว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมาเข้าสู่ระบบ 53,549.25 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 63.36 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง

ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม (T_4) ดังแสดงในภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.33 ดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลอง T_4

4.3.2 การเปรียบเทียบดุลไนโตรเจนของแต่ละหน่วยทดลอง

การเปรียบเทียบดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 (T_0), 0.2 (T_1), 0.4 (T_2), 0.6 (T_3) และ 0.8 (T_4) กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.34 ถึงภาพที่ 4.38 ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค. 28 ถึง ค. 32

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำมีปริมาณไนโตรเจนรวมในรูปของโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักภายในเซลล์ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 23.06 (อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ, 2541: 97 – 98) โดยที่ไข่น้ำก่อนการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนรวมเท่ากับ 103,900.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังนั้น เมื่อมีการใส่ไข่น้ำในปริมาณที่มากขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้นในหน่วยทดลองที่ 2 – 5 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น

ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาการทดลองของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำมีความต้องการธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการแพร่ขยายพันธุ์ในปริมาณมาก

ฉะนั้น ในหน่วยทดลองที่มีลำดับสูงขึ้นไปมีการใส่ไข่น้ำในปริมาณที่มากขึ้นจึงมีการใช้ไนโตรเจนรวมในน้ำไปมากขึ้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมที่คงเหลือในน้ำลดลง โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บในแต่ละซ้ำของทุกหน่วยทดลองมีปริมาตรที่เท่ากัน คือ เก็บตัวอย่างน้ำครั้งละ 1 ลิตรต่อ 1 ซ้ำ รวม 3 ครั้ง ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20 และ 30 วัน จึงทำให้มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนรวมไปกับตัวอย่างน้ำเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมลดลงในอัตราที่มากขึ้นเมื่อมีระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนรวมไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไข่น้ำที่ระดับนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ขาดความสมดุลส่งผลให้ไข่น้ำตายลงบางส่วน เกิดการย่อยสลายซากไข่น้ำทำให้ธาตุอาหารไนโตรเจนหมุนเวียนกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์มีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับต่าง ๆ ส่วนระดับชีวมวลของไข่น้ำที่มีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนรวมไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์มากที่สุดลำดับต่อมา คือ ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม อาจเนื่องมาจากที่ระดับนี้ไม่มีการใส่ไข่น้ำทำให้มีปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างในน้ำทิ้งสูงกว่าในหน่วยทดลองที่มีการใส่ไข่น้ำลงในหน่วยทดลอง โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองคิดเป็นร้อยละ 3.51, 0.16, 0.07, 0.04 และ 0.07 ตามลำดับ

ส่วนปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศและ/หรือได้รับเพิ่มมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในทุกหน่วยทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปหรือจากการระเหยหรือได้รับเพิ่มมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในแต่ละหน่วยทดลองมีปริมาณสูงขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงกว่ามีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูงขึ้นนอกเหนือจากที่ไข่น้ำดูดซับสารประกอบไนโตรเจนจากน้ำทิ้งไปใช้ ซึ่งยังมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของไข่น้ำ ไข่น้ำและจุลินทรีย์จึงต้องตรึงก๊าซไนโตรเจนจากในบรรยากาศเพื่อเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศให้กลายเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นรูปที่ไข่น้ำจะสามารถนำไปใช้ได้ดีขึ้นโดยกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนหรือไนโตรเจนฟิกเซชัน (Nitrogen Fixation) (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548: 22) อย่างไรก็ตาม หน่วยการทดลองที่มีการใส่ไข่น้ำหรือที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0.2 – 0.8 กิโลกรัม ย่อมมีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม ที่ไม่มีการใส่ไข่น้ำ แต่หน่วยทดลองที่มีการใส่ไข่น้ำมีปริมาณ

ไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้นมากกว่า แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่หน่วยทดลองจะได้รับเพิ่มขึ้นมานั้นมาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการระเหย ดังนั้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 – 0.8 กิโลกรัม ผลลัพธ์ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่มีการหมุนเวียนในบรรยากาศจึงพบว่าเกิดจากการได้รับเพิ่มมาจากกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนเป็นสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัมนั้น พบว่า เกิดการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนรวมจากการระเหยหรือเกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 81.55 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง โดยการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ เป็นไปในลักษณะเช่นนี้ คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ไนไตรท์และไนเตรทจะเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และแอมโมเนียไนโตรเจนยังอาจสูญเสียจากการถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้เป็นสารอาหารโดยเปลี่ยนไปเป็นโปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547: 19/21 – 19/23) แต่หากพิจารณาถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนรวมจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 – 0.8 กิโลกรัม พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อมีระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 297.75, 179.92, 129.68 และ 63.36 ของปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลอง ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำต่ำกว่าเกิดกระบวนการไนโตรเจนฟิกเซชันในอัตราที่มากกว่าจากการที่ไข่น้ำในหน่วยทดลองมีปริมาณเริ่มต้นก่อนการทดลองที่น้อยกว่าหรือมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่ามีผลต่อการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากในบรรยากาศเกิดขึ้นได้ในอัตราที่มากกว่าหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลไข่น้ำสูงกว่า

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำของทุกหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม โดยปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น และมีปริมาณลดลงทุกหน่วยทดลองเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลอง ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ซึ่งอาจเกิดจากที่ระดับชีวมวลนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปมีผลทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลงซากไข่น้ำที่ตายถูกย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ออกจากระบบทุกหน่วยทดลองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมก่อนการทดลอง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะไนโตรเจนที่กลับคืนสู่

น้ำทิ้งจะกลับกลายมาเป็นสารอาหารเริ่มต้นของไข่น้ำใหม่อีกครั้ง และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการลดลงของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ออกจากระบบเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบเริ่มต้นก่อนการทดลอง พบว่า มีอัตราลดลงที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่มีอัตราลดลงที่ต่ำลงหรือมีอัตราเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมมีแนวโน้มลดลงหลังการทดลองเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองคิดเป็นร้อยละ 15.34, 0.19, 0.07, 0.04 และ 0.83 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงกว่าเกิดการลดลงมากขึ้นจากการดูดซับไนโตรเจนรวมจากน้ำทิ้งโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและเพิ่มชีวมวลของไข่น้ำในอัตราที่สูงขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่มากขึ้น

สำหรับปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบของทุกหน่วยทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น และมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลองเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองของแต่ละหน่วยทดลอง ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นในไข่น้ำที่ออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองซึ่งอาจเกิดจากที่ระดับชีวมวลนี้มีความหนาแน่นมากเกินไปมีผลทำให้ไข่น้ำบางส่วนตายลงซากไข่น้ำที่ตายถูกย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนกลับคืนสู่น้ำทิ้ง ประกอบกับไข่น้ำที่ระดับนี้ที่มีปริมาณสูงกว่าที่ระดับต่าง ๆ ทำให้เกิดการแก่งแย่งสารอาหารและการได้รับสารอาหารจากกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากในบรรยากาศเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าระดับที่มีชีวมวลต่ำกว่า ส่วนหน่วยทดลองที่ 1 ไม่มีการใส่ไข่น้ำย่อมไม่มีปริมาณไนโตรเจนรวมของไข่น้ำที่ออกจากระบบ สำหรับหน่วยทดลองอื่น ๆ ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมก่อนการทดลอง อาจเป็นเพราะไข่น้ำได้รับธาตุอาหารไนโตรเจนส่วนหนึ่งจากน้ำทิ้งและอีกส่วนหนึ่งมาจากธาตุอาหารที่ได้รับมาจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนที่นำเอาก๊าซไนโตรเจนจากในบรรยากาศมาใช้ โดยเมื่อพิจารณาถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบเริ่มต้นก่อนการทดลอง พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้นที่ลดลงเมื่อมีระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังการทดลองเทียบกับปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบก่อนการทดลองคิดเป็นร้อยละ 397.40, 279.78, 229.59 และ 162.46 ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในน้ำทิ้งแต่ละหน่วยทดลองมีสารอาหารในปริมาณเท่ากัน แต่ในระดับชีวมวลที่มีการใส่ไข่น้ำในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับที่ใส่ในปริมาณที่มากกว่าจะได้รับสารอาหารในสัดส่วนที่สูงกว่าระดับชีวมวลที่สูงขึ้น ซึ่งมีการแก่งแย่งสารอาหารที่ต่ำกว่าระดับชีวมวลที่ใส่ไข่น้ำมากกว่า

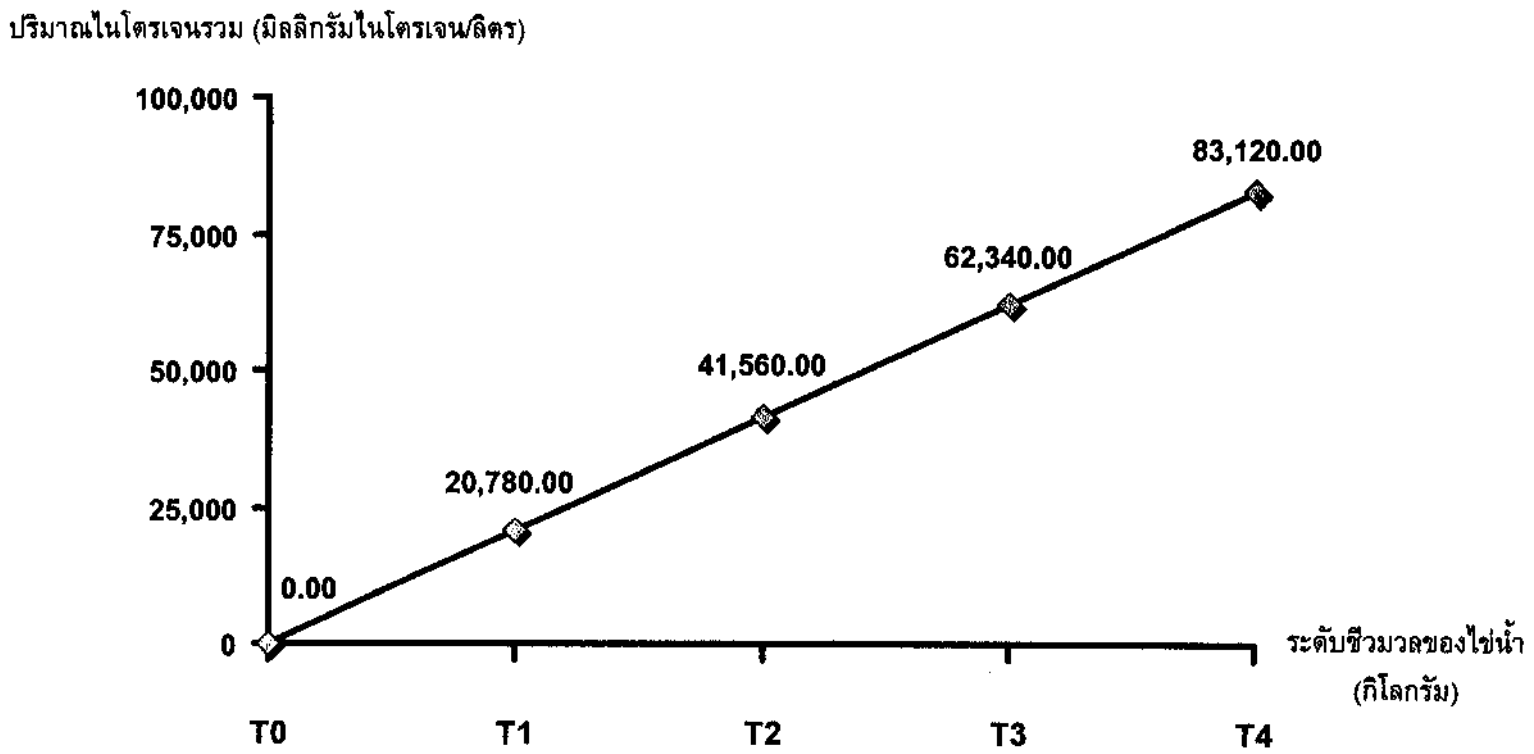
รวมถึงหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำต่ำกว่าเกิดกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากในบรรยากาศในอัตราที่มากกว่าที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำสูงกว่าหรือมีความหนาแน่นที่มากกว่าด้วย จึงส่งผลต่อหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำต่ำกว่ามีการเจริญเติบโตและการเพิ่มชีวมวลของไข่น้ำที่สูงกว่าหน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำสูงกว่า

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบดุลไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนรวมของแต่ละหน่วยทดลอง

ปริมาณไนโตรเจนรวม	หน่วยทดลอง				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ในไข่น้ำก่อนการทดลอง (มิลลิกรัม)	0^{e}	$20,780.00^{d}$	$41,560.00^{c}$	$62,340.00^{b}$	$83,120.00^{a}$
ส่วนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำ (มิลลิกรัม)	49.17^{b}	35.90^{c}	31.09^{d}	27.71^{e}	56.56^{a}
ส่วนที่เปลี่ยนรูป/ระเหย/ตรึง N_2 ในบรรยากาศ (มิลลิกรัม)	$1,141.69^{e}$	$66,041.75^{c}$	$77,295.25^{b}$	$82,658.45^{a}$	$53,549.25^{d}$
คงเหลือในน้ำหลังการทดลอง (มิลลิกรัม)	214.74^{b}	42.53^{c}	30.03^{d}	27.69^{d}	702.58^{a}
ในไข่น้ำหลังการทดลอง (มิลลิกรัม)	0^{e}	$88,143.32^{d}$	$120,194.13^{c}$	$146,343.05^{a}$	$137,310.11^{b}$

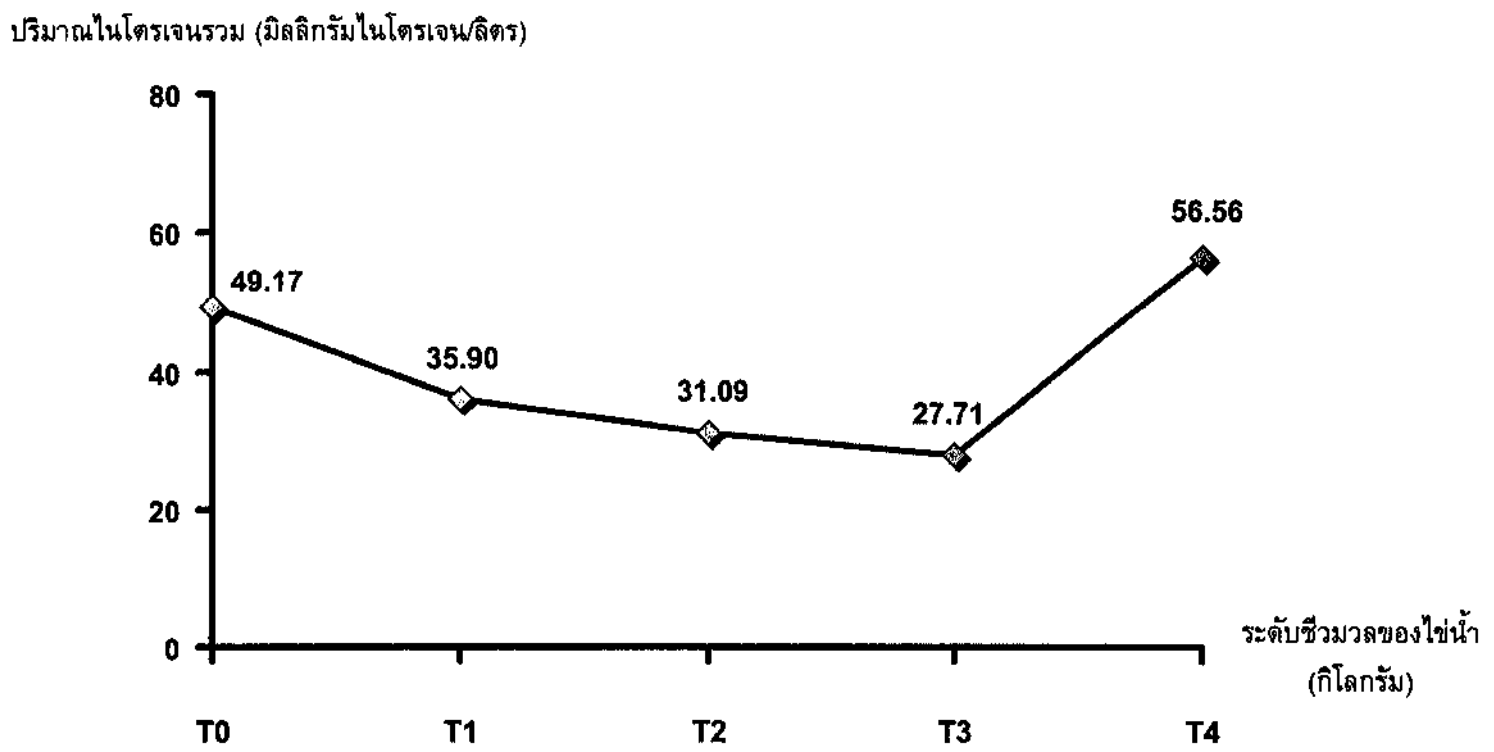
หมายเหตุ : ^{abcde} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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



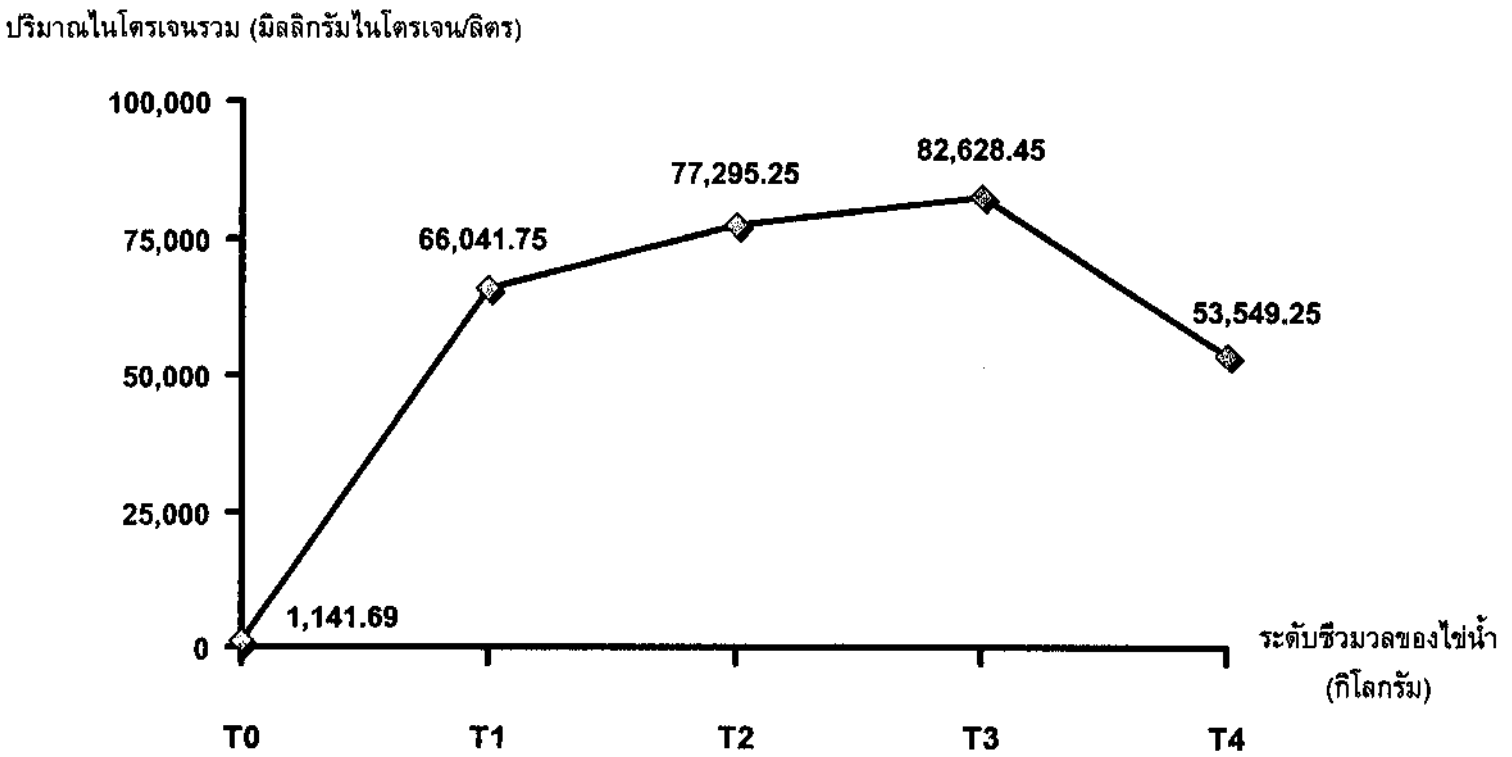
ภาพที่ 4.34 ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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



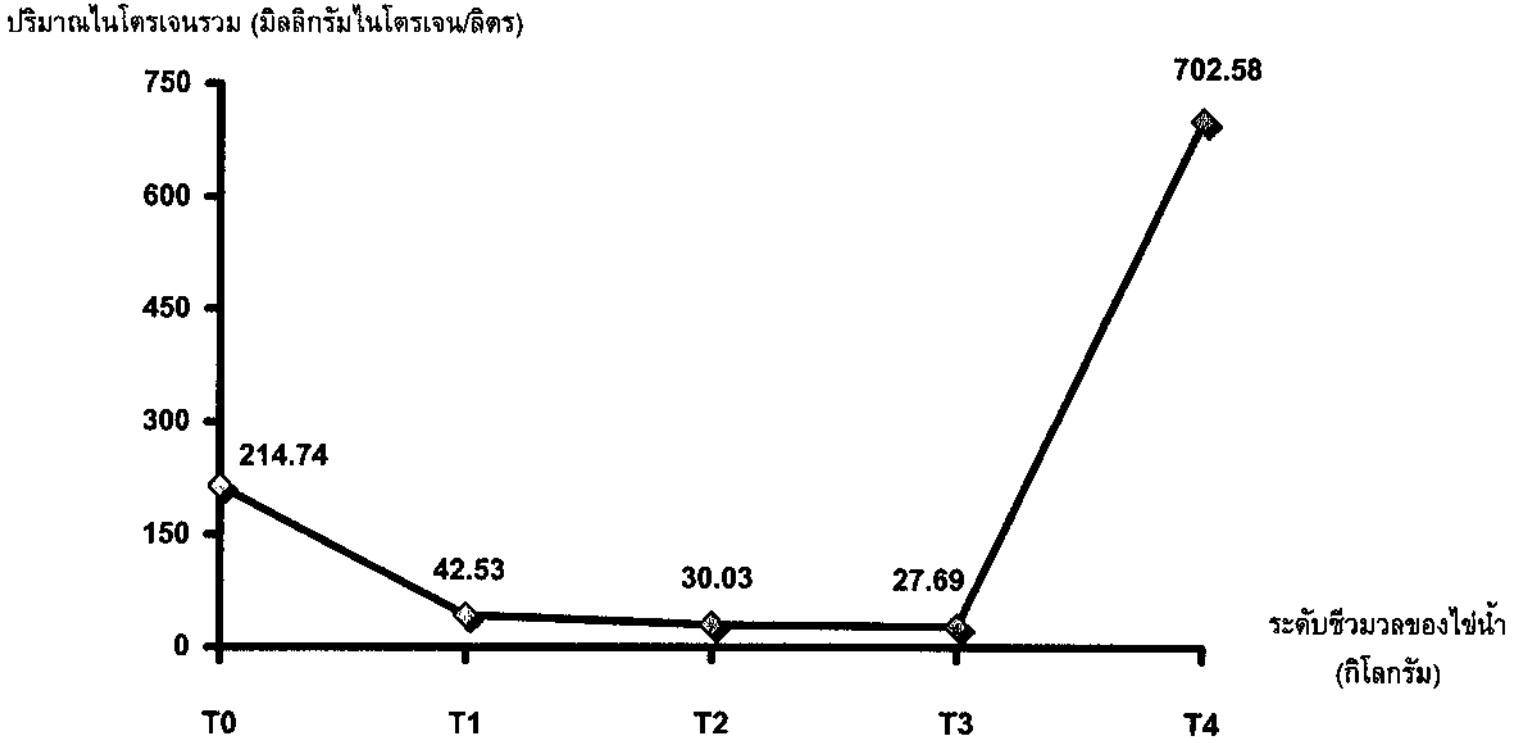
ภาพที่ 4.35 ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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



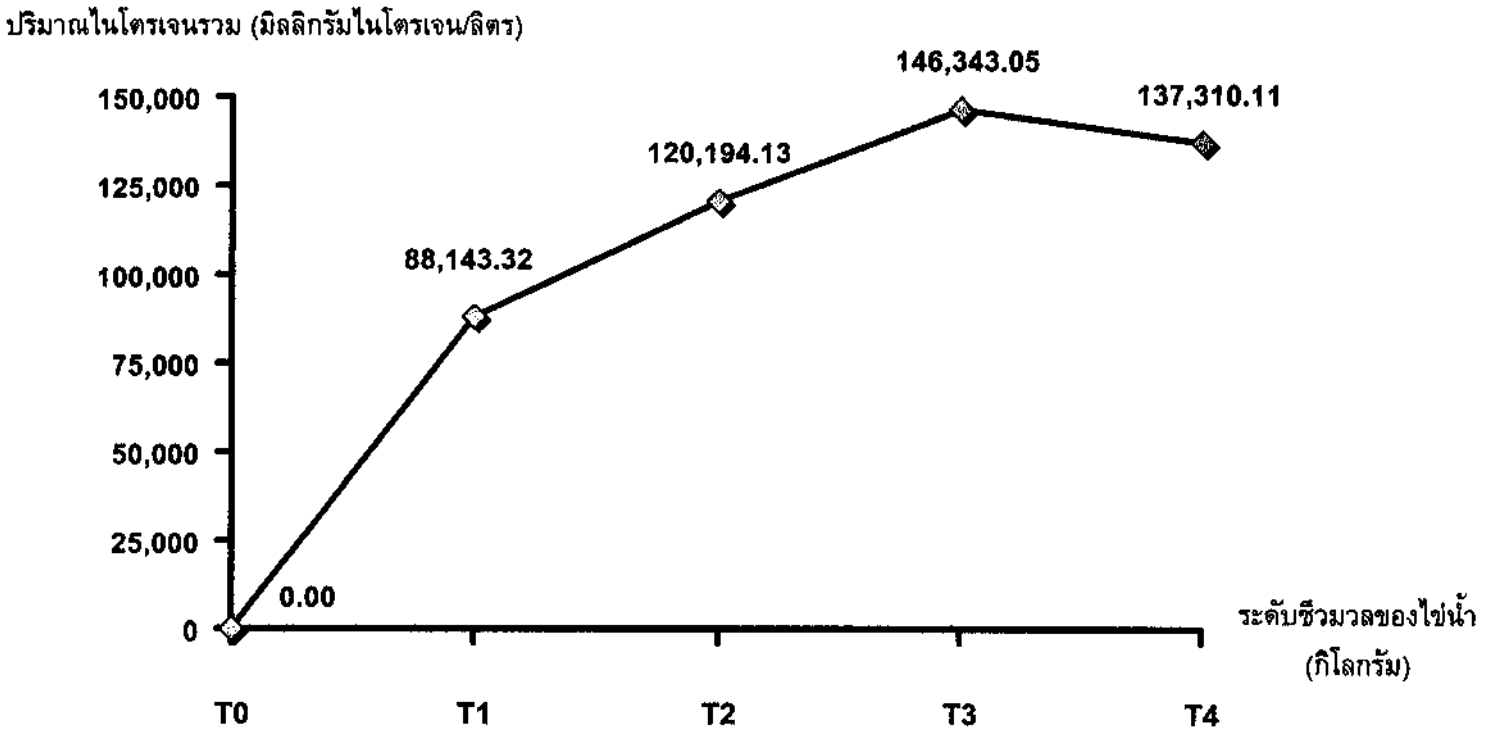
ภาพที่ 4.36 ปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือการระเหยหรือการตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำ 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 4.37 ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : ชีวมวลของไข่น้ำ 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 4.38 ปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำที่ออกจากระบบที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

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

4.4 ปริมาณโลหะหนัก

4.4.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักในน้ำของแต่ละหน่วยทดลองก่อนและหลังจากทำการทดลองครบ 10, 20 และ 30 วัน รวมทั้งทำการวิเคราะห์ค่าโลหะหนักในไข่น้ำทุกหน่วยทดลองภายหลังทำการทดลองครบ 30 วัน แต่มีเงื่อนไขว่าถ้าก่อนการทดลองตรวจไม่พบว่ามีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง หรือตรวจพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง แต่ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเล เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 จะไม่ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำและในไข่น้ำภายหลังทำการทดลองอีก

ตารางที่ 4.15 มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

ดัชนีโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร)
ตะกั่ว	≯ 0.05
ปรอท	≯ 0.0001
แคดเมียม	≯ 0.005

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4

ผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.16 โดยมีรายละเอียดผลการตรวจวิเคราะห์ดังนี้

4.4.1.1 ตะกั่ว (Pb)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.039 มิลลิกรัม/ลิตร

ซึ่งอัตราการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความปลอดภัยทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเล เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งกำหนด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4) คือ ให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสมลักษณ์ นงนุช (2543: 37) ที่พบว่า สัตว์น้ำสามารถทนทาน (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ต่อการปนเปื้อนของตะกั่วที่เข้มข้นประมาณ 1.00 – 40.0 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำด้วย

4.4.1.2 ปรอท (Hg)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ (น้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานความปลอดภัยให้มีการปนเปื้อนของปรอทในน้ำทะเล เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งไม่เกิน 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4) ซึ่งโดยปกติสัตว์น้ำจะมีความทนทานต่อการปนเปื้อนของปรอท (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ประมาณ 0.010 – 0.040 มิลลิกรัม/ลิตร (สมลักษณ์ นงนุช, 2543: 52)

4.4.1.3 แคดเมียม (Cd)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ (น้อยกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งอัตราการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความปลอดภัยทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการปนเปื้อนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 4 การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเล เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งกำหนด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 1 – 4) คือ ให้มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สมลักษณ์ นงนุช (2543: 46) เกี่ยวกับความทนทานต่อแคดเมียมในสัตว์น้ำ พบว่า สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำ (LC_{50}, 96 ชั่วโมง) ได้ประมาณ 0.080 – 0.420 มิลลิกรัม/ลิตร

สรุปได้ว่า ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้น หลังการทดลองจึงไม่ทำการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในน้ำทิ้งและในไข่น้ำอีก

ตารางที่ 4.16 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการทดลอง

ดัชนีโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/ลิตร)
ตะกั่ว	0.039
ปรอท	ND
แคดเมียม	ND

หมายเหตุ : ND = Non – detectable คือ มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

4.4.2 ปริมาณโลหะหนักในไข่น้ำ

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในไข่น้ำ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) ผลการตรวจวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในไข่น้ำ

ดัชนีโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
ตะกั่ว	ND
ปรอท	ND
แคดเมียม	ND

หมายเหตุ : ND = Non – detectable คือ มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในไข่น้ำ พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม มีปริมาณการปนเปื้อนเช่นเดียวกัน คือ มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยมีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีปริมาณการปนเปื้อนปรอทน้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมน้อยกว่า 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ที่กำหนดให้ตะกั่วและปรอทมีปริมาณการปนเปื้อนได้ไม่เกิน 1.00 และ 0.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับแคดเมียมปัจจุบันมาตรฐานยังไม่มีการกำหนดค่าไว้ (กองควบคุมอาหาร, 2549: 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ไข่น้ำมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 4.18 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ดัชนีโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
ตะกั่ว	≯ 1.00
ปรอท	≯ 0.50
แคดเมียม	–

แหล่งที่มา : กองควบคุมอาหาร, 2549: 1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ ในระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 (กลุ่มควบคุม) (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

5.1.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1.1 บีโอดี ก่อนการทดลองปริมาณบีโอดีมีค่าเท่ากับ 60.00 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณบีโอดีมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของบีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร) และภายหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณบีโอดีในทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณบีโอดียังคงเหลือตกค้างเท่ากับ 31.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 1.94 เท่า หรือร้อยละ 48.33

5.1.1.2 ของแข็งแขวนลอย ก่อนการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 และ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังการ

ทดลองยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ แต่ที่ระดับชีวมวล 0.2 – 0.6 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 55.67 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 1.83 เท่า หรือร้อยละ 45.42

5.1.1.3 ฟอสฟอรัสรวม ก่อนการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร) และภายหลังการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 และ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมหลังการทดลองยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 – 0.6 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมหลังการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 7.58 เท่า หรือร้อยละ 86.81

5.1.1.4 ไนเตรท ก่อนการทดลองปริมาณไนเตรทมีค่าเท่ากับ 0.740 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดค่าของไนเตรทไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.084 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 8.81 เท่า หรือร้อยละ 88.65

5.1.1.5 แอมโมเนีย ก่อนการทดลองปริมาณแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของแอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) และภายหลังการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นและเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 – 0.6 กิโลกรัม ปริมาณแอมโมเนียหลังการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม

ปริมาณแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 3.56 เท่า หรือร้อยละ 71.88

5.1.1.6 ไนโตรเจนรวม ก่อนการทดลองปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเท่ากับ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามทุกระดับชีวมวลของไข่น้ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมหลังการทดลองยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำเท่ากับ 0.6 กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 9.25 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 3.03 เท่า หรือร้อยละ 66.96

5.1.1.7 ความเป็นกรด – ด่าง ก่อนการทดลองค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.05 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00) และภายหลังการทดลอง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในทุกระดับชีวมวลมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.1.8 ความเค็ม ก่อนการทดลองค่าความเค็มมีค่าเท่ากับ 5.10 ppt ซึ่งมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ความเค็มในทุกระดับชีวมวลมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

5.1.2 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.2.1 บีโอดี ก่อนการทดลองปริมาณบีโอดีมีค่าเท่ากับ 60.00 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณบีโอดีมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของบีโอดีมีค่าได้ไม่เกิน 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร) และภายหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณบีโอดีมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น แต่ทุกระยะเวลาในการบำบัดปริมาณบีโอดียังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณบีโอดีเหลือตกค้างเท่ากับ 33.80 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 1.78 เท่า หรือร้อยละ 43.67

5.1.2.2 ของแข็งแขวนลอย ก่อนการทดลองปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 102.00 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของของแข็งแขวนลอยมีค่าได้ไม่เกิน 70.00 มิลลิกรัม/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 56.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 1.82 เท่า หรือร้อยละ 45.10

5.1.2.3 ฟอสฟอรัสรวม ก่อนการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 0.91 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของฟอสฟอรัสรวมมีค่าได้ไม่เกิน 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร) และภายหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสรวมยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.30 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 3.03 เท่า หรือร้อยละ 67.03

5.1.2.4 ไนเตรท ก่อนการทดลองปริมาณไนเตรทมีค่าเท่ากับ 0.740 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดค่าของไนเตรทไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.080 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 9.25 เท่า หรือร้อยละ 89.19

5.1.2.5 แอมโมเนีย ก่อนการทดลองปริมาณแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของแอมโมเนียมีค่าได้ไม่เกิน 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) และภายหลังการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งทุกระยะเวลาในการบำบัดปริมาณแอมโมเนียยังคงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สำหรับที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 1.18 มิลลิกรัมไนโตรเจน/

ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 1.90 เท่า หรือร้อยละ 47.32

5.1.2.6 ไนโตรเจนรวม ก่อนการทดลองปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเท่ากับ 28.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของไนโตรเจนรวมมีค่าได้ไม่เกิน 4.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 6.61 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจากปริมาณก่อนการทดลองเท่ากับ 4.24 เท่า หรือร้อยละ 76.39

5.1.2.7 ความเป็นกรด – ด่าง ก่อนการทดลองค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 8.05 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (เกณฑ์กำหนดของค่าความเป็นกรด – ด่างมีค่าได้ตั้งแต่ 6.50 – 9.00) และภายหลังการทดลอง พบว่า ความเป็นกรด – ด่างในทุกระดับชีวมวลมีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.2.8 ความเค็ม ก่อนการทดลองค่าความเค็มมีค่าเท่ากับ 5.10 ppt ซึ่งมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้ และเมื่อทำการทดลองแล้ว พบว่า ความเค็มในทุกระดับชีวมวลมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

5.1.3 คุณภาพน้ำที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำและระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน

ระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้นจาก 0.2 – 0.8 กิโลกรัม และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่นานขึ้นตั้งแต่ 10 – 30 วัน ยกเว้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดตั้งแต่ 20 – 30 วัน จะมีผลทำให้คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำดีขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลของไข่น้ำกับระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด พบว่า ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน คุณภาพน้ำดัชนีต่าง ๆ มีค่าลดลงมากที่สุด ดังนี้

5.1.3.1 ปริมาณบีโอดีภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 3.16 เท่า หรือร้อยละ 68.33 และปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณบีโอดีเหลือตกค้างเท่ากับ 19.00 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 2.62 เท่า หรือร้อยละ 61.76 และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของ

ไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเหลือตกค้างเท่ากับ 39.00 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 45.50 เท่า หรือร้อยละ 97.80 และปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.4 ปริมาณไนเตรทภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 49.33 เท่า หรือร้อยละ 97.97 และปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณไนเตรทเหลือตกค้างเท่ากับ 0.015 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าไนเตรทไว้

5.1.3.5 ปริมาณแอมโมเนียภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 20.36 เท่า หรือร้อยละ 95.09 และปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณแอมโมเนียเหลือตกค้างเท่ากับ 0.11 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.6 ปริมาณไนโตรเจนรวมภายหลังการทดลองมีค่าลดลงจากปริมาณก่อนการทดลอง 31.11 เท่า หรือร้อยละ 96.79 และปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างเท่ากับ 0.90 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.7 ความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าเท่ากับ 7.84 และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5.1.3.8 ความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าเท่ากับ 5.90 ซึ่งปัจจุบันมาตรฐานยังไม่ได้มีการกำหนดค่าความเค็มไว้

5.1.4 ชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นไข่น้ำที่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราลดลงตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่สูงขึ้น ยกเว้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำมีค่าลดลง คือ มีค่าเท่ากับ 0.762 กิโลกรัม ส่วนที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.318 กิโลกรัม หรือมีชีวมวลของไข่น้ำที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ เท่ากับ 0.118 กิโลกรัม จากค่าเฉลี่ยชีวมวลเริ่มต้นก่อนการทดลอง กล่าวคือ น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีส่วนทำให้ไข่น้ำมีการเจริญเติบโตที่ดี โดยควรใส่ไข่น้ำลงปลูกในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราชีวมวล 0.2 – 0.6 กิโลกรัม ปริมาตรน้ำ 50 ลิตร ซึ่งเป็นระดับชีวมวลที่เหมาะสม ไม่หนาแน่นมากเกินไปจนมีผลต่อการลดลงของค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำ

5.1.5 ชีวมวลของไข่น้ำที่ระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำเริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.500 กิโลกรัม และภายหลังการทดลองที่ระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.544 กิโลกรัม หรือมีค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงจากค่าชีวมวลเริ่มต้นก่อนการทดลองน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.044 กิโลกรัม และที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.561 กิโลกรัม หรือมีค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยชีวมวลเริ่มต้นก่อนการทดลองมากที่สุดเท่ากับ 0.061 กิโลกรัม กล่าวคือ ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ถือได้ว่าเป็นระดับชีวมวลที่เหมาะสมที่จะทำให้ไข่น้ำจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีตลอดระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน

5.1.6 ชีวมวลของไข่น้ำที่ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดแตกต่างกัน

ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาในการบำบัดมีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ ระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำมากขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่นานขึ้นทำให้ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ยกเว้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าชีวมวลของไข่น้ำเริ่มต้นก่อนการทดลอง แต่เมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 และ 30 วัน ค่าเฉลี่ยชีวมวลรวมของไข่น้ำกลับมีค่าลดลงต่ำกว่าค่าชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำก่อนการทดลอง กล่าวคือ ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แต่ต้องใส่ไข่น้ำในระดับชีวมวลที่เหมาะสม ไม่สูงจนมีความหนาแน่นเกินไปและต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสม โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม เป็นระดับชีวมวลที่มีความหนาแน่นเหมาะสมที่สุด คือ มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากที่สุดในน้ำปริมาตร 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับชีวมวล 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัมที่มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นที่ต่ำกว่า ซึ่งค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับชีวมวลเริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่ามากที่สุดด้วย และยังสามารถบำบัดมลสารในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารในน้ำได้ต่ำกว่าที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.4 และ 0.6 กิโลกรัม และเมื่อเทียบกับที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัมที่มีการเจริญเติบโตของชีวมวลรวมลดลง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม

5.1.7 ดุลไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่ระบบ ประกอบด้วยปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำก่อนการทดลองที่มีค่าเท่ากันทุกหน่วยทดลองและปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนการทดลองที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่สูงขึ้น โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์มีค่าลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงขึ้น และมีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปกับการระเหยและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในปฏิกิริยาต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงขึ้น รวมทั้งการได้รับปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นมาจากการตรึงไนโตรเจนจากในบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการตรึงไนโตรเจนหรือไนโตรเจนฟิกเซชันที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเข้าไปสะสมเพิ่มในไข่น้ำตามระดับชีวมวลของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไนโตรเจนรวมที่ออกจากระบบ ประกอบด้วยปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำภายหลังการทดลองที่มีค่าลดลงเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงขึ้น และปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำภายหลังการทดลองที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับชีวมวลของไข่น้ำสูงขึ้น ยกเว้น ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อระดับชีวมวลของไข่น้ำระดับต่าง ๆ เมื่อพิจารณาดุลไนโตรเจนภายในระบบของแต่ละหน่วยทดลอง คำนวณค่าร้อยละของปริมาณไนโตรเจนรวมในส่วนต่าง ๆ โดยคิดเทียบจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่เข้าระบบทั้งหมดรวมเป็นเป็นร้อยละ 100 จะพบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียออกจากระบบในปริมาณมากที่สุด มีปริมาณไนโตรเจนรวมเหลือตกค้างในน้ำที่ออกจากระบบน้อยที่สุด และมีปริมาณไนโตรเจนรวมไปเพิ่มขึ้นในไข่น้ำมากที่สุด นอกจากนี้ ไข่น้ำยังสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพให้สูงขึ้นจากการใช้ธาตุไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากในบรรยากาศได้เป็นอย่างดี

5.1.8 ปริมาณโลหะหนัก

5.1.8.1 ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งไม่มีผลต่อสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อม

5.1.8.2 ปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในไข่น้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ไข่น้ำสามารถบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้และเป็นไปตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการนำไข่น้ำมาใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และไข่น้ำที่นำมาใช้ในการบำบัดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ จึงเกิดแนวคิดที่นำมาสู่ข้อเสนอแนะอันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเพิ่มเติมในคราวต่อไป ดังต่อไปนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

5.2.1.1 น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าความสกปรกสูงในรูปของบีโอดีหรือภาระสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในปริมาณมาก ซึ่งไข่น้ำมีความสามารถบำบัดมลสารทั้งสองชนิดนี้ได้แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ดีนักเมื่อเทียบกับความสามารถในการบำบัดไนเตรท แอมโมเนีย ไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัส (ธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ดังนั้น หากจะใช้ไข่น้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ควรนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมาทำการบำบัดขั้นต้นก่อน (Primary Treatment) อาทิเช่น การตกตะกอน และการเติมอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นการลดภาระความสกปรกในน้ำทิ้งขั้นต้นที่อาจไปมีผลต่อการลดประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นตอนต่อไปและถือเป็นการเตรียมความพร้อมในการนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำไปทำการบำบัดขั้นตอนต่อมาโดยใช้ไข่น้ำ

5.2.1.2 การใช้ไข่น้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ควรทำการเก็บเกี่ยวไข่น้ำออกจากระบบตามระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งในการเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้อาจจะทำการเก็บเกี่ยวทั้งหมดในครั้งเดียวแล้วแทนที่ด้วยไข่น้ำกลุ่มใหม่หรือแบ่งสัดส่วนในการจัดเก็บผลผลิตอย่างเหมาะสม เพื่อให้ไข่น้ำใช้สารอาหารในน้ำทิ้งไปด้วยอัตราสูงและเกิดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยไข่น้ำอย่างดีสม่ำเสมอ

5.2.1.3 ถ้านำไข่น้ำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่จริง ควรทำการศึกษาถึงผลตอบแทนที่ได้รับจากการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจนน้ำทิ้งมีคุณภาพที่ดีขึ้นและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน รวมทั้งผลตอบแทนที่ได้รับจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำไปจำหน่ายเทียบกับต้นทุนในการใช้ไข่น้ำบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาตัดสินใจถึงความคุ้มค่าในการลงทุนในแต่ละพื้นที่ และสร้างแรงจูงใจต่อการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ไข่น้ำในเวลาต่อมา

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในคราวต่อไป

5.2.2.1 การศึกษาคราวต่อไปควรทำการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่จริงหรือพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากที่สุด เช่น การ

ขุดสระหรือบ่อ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันทั้งในน้ำ ดิน พืช จุลินทรีย์ และอากาศโดยสมบูรณ์

5.2.2.2 การศึกษาครั้งต่อไปควรทำการศึกษาถึงสัดส่วนไข่น้ำต่อพื้นที่ผิวน้ำ เพื่อให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ไข่น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด

5.2.2.3 ควรทำการศึกษาถึงระดับความเข้มแสง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการปลูกไข่น้ำที่ระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน เพื่อหาระดับความเข้มแสงที่ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

5.2.2.4 การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค็มกับค่าชีวมวลที่เปลี่ยนแปลงของไข่น้ำ เพื่อให้ทราบถึงระดับความเค็มที่ไข่น้ำสามารถทนอยู่และเจริญเติบโตได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำทิ้งในแต่ละพื้นที่ที่มีสภาพความเค็มของน้ำที่แตกต่างกัน

5.2.2.5 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาในช่วงฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อนและช่วงฤดูร้อน เนื่องจากไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี หรืออาจศึกษาในแต่ละฤดูกาลเพื่อนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการเจริญเติบโตของไข่น้ำ

5.2.2.6 ควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้พืชน้ำเชิงเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เช่น กกกลม ผักบุ้ง เป็นต้น

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

รายละเอียดการวิเคราะห์บีโอดี (BOD)
โดยวิธี 5 – Days BOD Test

1. หลักการ

การหาบีโอดีเป็นกระบวนการทดสอบทางชีววิทยาเพื่อหาปริมาณค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อที่จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์จึงต้องทำให้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือ ค่าบีโอดีมาตรฐานต้องบ่ม (Incubate) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

วิธีวิเคราะห์มี 2 วิธี คือ วิธีแบบโดยตรง (Direct Method) ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีค่าบีโอดีไม่เกิน 7 มิลลิกรัม/ลิตร และวิธีแบบเจือจางใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีความสกปรกสูง (มีค่าบีโอดีมากกว่า 7 มิลลิกรัม/ลิตร) จำเป็นต้องทำให้ตัวอย่างน้ำที่สกปรกเจือจางลงเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น วิธีแบบเจือจางจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ไม่ต้องมีการเติมหัวเชื้อ (No Seeding) และต้องมีการเติมหัวเชื้อ (Seeding) โดยวิธีแบบไม่ใช้หัวเชื้อเหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำเสียหรือน้ำทิ้งทั่วไปซึ่งมีจุลินทรีย์เพียงพอและมีพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพ ตัวอย่างน้ำจะต้องไม่ผ่านการเติมคลอรีนหรือความร้อนมาก่อน ส่วนวิธีแบบใช้หัวเชื้อเป็นวิธีที่ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งที่ไม่มีแบคทีเรียอยู่เลยหรือมีอยู่ปริมาณน้อยมากจำเป็นที่จะต้องหาแบคทีเรียจากที่อื่นมาช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิท

2.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส และต้องมืด

2.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น กระบอกตวง บิวเรต ขวดรูปกรวย เป็นต้น

2.4 เครื่องจ่ายลม

3. สารเคมี

3.1 น้ำกลั่น

3.2 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($Na_2HPO_4.7H_2O$) 33.4 กรัม ไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร

3.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมโดยละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($MgSO_4.7H_2O$) จำนวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous $CaCl_2$) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.5 สารละลายเฟริคคลอไรด์ เตรียมโดยละลายเฟอริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_3.6H_2O$) จำนวน 0.25 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.6 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต เตรียมโดยละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($MnSO_4.4H_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.7 สารละลายอัลคาไล – ไอโอไดด์ – เอไซด์ (Alkali – iodide – azide Reagent) เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

3.8 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (36 N)

3.9 น้ำแป้ง เตรียมโดยละลายแป้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2 – 3 นาที ตั้งค้างคืน ใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิค (Salicylic Acid) 1.25 กรัม/น้ำแป้ง 1 ลิตร

3.10 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม/สารละลาย 1 ลิตร

3.11 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม/สารละลาย 1 ลิตร

3.12 สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.13 สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมซัลไฟต์ปราศจากน้ำ (Na_2SO_3) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

4. การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์

4.1 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำเป็นด่างหรือกรด จะต้องปรับพีเอชให้เป็นกลาง (6.5 – 7.5) ก่อนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล หรือกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล โดยที่ปริมาตรของด่างหรือกรดที่เติมจะต้องไม่เจือจางตัวอย่างมากเกินกว่าร้อยละ 0.5

4.2 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสารประกอบคลอรีนตกค้าง จะต้องกำจัดออกก่อนโดยให้ตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1 – 2 ชั่วโมง คลอรีนตกค้างจะลดลงสลายไปเอง แต่ถ้าในตัวอย่างมีคลอรีนตกค้างปริมาณมาก ๆ ต้องกำจัดโดยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ซึ่งการหาปริมาณที่จะใช้เติมในตัวอย่างน้ำ หาได้โดยนำตัวอย่างน้ำมาในปริมาณที่เหมาะสม (100 – 1,000 มิลลิลิตร) เติมกรดอะซิติก (1 + 1) หรือกรดซัลฟิวริก (1 + 50) 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร (เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) แล้วไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติ จากนี้ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้เติมลงไปในตัวอย่างน้ำที่จะหาค่าบีโอดี หลังจากเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในตัวอย่างแล้ว กวนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 – 20 นาที

4.3 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือมีสารพิษเจือปนอยู่จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นเฉพาะกรณี

4.4 ตัวอย่างที่มีออกซิเจนละลายอิ่มตัวมากเกินไป เช่น ค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 9 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจพบได้ในน้ำที่เย็นจัดหรือในน้ำที่มีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น ให้ลดออกซิเจนละลายอยู่ในขั้นอิ่มตัวโดยการเอาตัวอย่างใส่ขวดแล้วเขย่าแรง ๆ หรือโดยการเป่าอากาศลงไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียออกซิเจนละลายในการวิเคราะห์

4.5 เมื่อมีการเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นต้องทำให้ตัวอย่างอยู่ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์

4.6 ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำเกิดไนตริฟิเคชัน ต้องทำการยับยั้งโดยเติม 2 – คลอโร 6 – ไตรคลอโรเมทธิล (CTCMP) 3 มิลลิกรัม/ตัวอย่างขนาด 300 มิลลิลิตร หรือเติมในน้ำเจือจางจนมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนก็ได้

5. วิธีวิเคราะห์บีโอดีแบบโดยตรง

5.1 วิธีวิเคราะห์

5.1.1 นำตัวอย่างน้ำมาปรับอุณหภูมิให้ได้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

5.1.2 เติมอากาศให้มีออกซิเจนละลายอิ่มตัว

5.1.3 เติมตัวอย่างน้ำลงในขวดบีโอดีจนเต็ม 2 ขวด ปิดจุกให้สนิทและมีน้ำหล่อที่ปากขวด

5.1.4 นำขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลาย ถือว่าเป็นค่าออกซิเจนละลายที่เริ่มต้น

5.1.5 นำอีกขวดใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบ 5 วันแล้ว นำตัวอย่างนั้นมาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่

5.2 การคำนวณ

ค่าบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) = $DO_0 - DO_5$

เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไดเตรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไดเตรตได้ในวันที่ 5

6. วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ไม่ต้องเติมหัวเชื้อ

6.1 วิธีเตรียมน้ำเจือจาง (Dilution Water)

6.1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ 1 ลิตร ใส่ขวดแอสไพเรเตอร์ (Aspirator Bottle) ที่สะอาด

6.1.2 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

6.1.3 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟริคคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

6.2 วิธีวิเคราะห์

6.2.1 การเลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ถ้าไม่ทราบค่าบีโอดีโดยประมาณของตัวอย่างน้ำ ต้องหาซีโอดีก่อนพร้อมกับพิจารณาลักษณะของตัวอย่างน้ำและแหล่งเก็บตัวอย่างน้ำร่วมด้วย เพื่อประมาณค่าบีโอดี การเลือกปริมาณตัวอย่างน้ำนิยมนิยมเลือกให้มีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัม/ลิตร และควรจะมีการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 2 มิลลิกรัม/ลิตร การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราการเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่าง ๆ ตามตารางที่ ก. 1

ตารางที่ ก. 1 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่าง ๆ

ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000 – 105,000	15,000
0.05	12,000 – 42,000	6,000
0.10	6,000 – 21,000	3,000
0.20	3,000 – 10,500	1,500
0.50	1,200 – 4,200	600
1.00	600 – 2,100	300
2.00	300 – 1,050	150
5.00	120 – 420	60
10.00	60 – 210	30
20.00	30 – 105	15
50.00	12 – 42	6
100.00	6 – 21	3
300.00	0 – 7	1

หมายเหตุ : ถ้าปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยกว่า 1.00 มิลลิลิตร ควรเจือจางตัวอย่างก่อนปิเปตใส่ขวดบีโอดี

6.2.2 เมื่อเลือกปริมาณตัวอย่างได้แล้ว ปิเปตตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้วางลงในขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ขวด เติมน้ำเจือจางจนเต็มขวดบีโอดี ปิดฝาให้

แน่น นำขวดบีโอดีขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลายที่มีเริ่มต้น ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

6.2.3 เมื่อครบ 5 วันแล้ว นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่

6.3 การคำนวณ

ค่าบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) = $(DO_0 - DO_5) \times$ อัตราเจือจาง

เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไตเตรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไตเตรตได้ในวันที่ 5

อัตราเจือจาง = $\frac{\text{ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$

7. วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ต้องเติมหัวเชื้อ

7.1 วิธีการวิเคราะห์

7.1.1 การเลือกปริมาณตัวอย่างและวิธีทำเหมือนกับกรณีไม่ต้องเติมหัวเชื้อ เพียงแต่ต้องเติมหัวเชื้อปริมาตรเท่ากันลงในแต่ละชุด ปริมาตรของหัวเชื้อที่จะใช้ควรมีค่าบีโอดีประมาณ 0.60 – 1.00 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากการเติมหัวเชื้อเช่นนี้ ทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น จึงต้องทำการแก้ค่าบีโอดีที่ผิดพลาดเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ (Seed Correction) ทุกครั้งเพื่อนำมาคำนวณหาค่าบีโอดีที่แท้จริงของตัวอย่าง ปริมาตรของหัวเชื้อที่ใช้เติมไม่ควรเกิน 5 มิลลิลิตร

7.1.2 การแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ ทำโดยนำหัวเชื้อมาหาค่าการใช้ออกซิเจนหรือหาค่าบีโอดี เริ่มด้วยการหาค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้น แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงนำมาหาค่าออกซิเจนละลาย

7.2 การคำนวณ

ค่าบีโอดีเมื่อเติมหัวเชื้อ = $((D1 - D2) - (B1 - B2)\ f) \times$ อัตราเจือจาง

เมื่อ D1 = ค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้นของตัวอย่างที่มีการเติมหัวเชื้อ

D2 = ค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน ของตัวอย่างที่มีการเติมหัวเชื้อ

B1 = ค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้นของหัวเชื้อ

B2 = ค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน ของหัวเชื้อ

$$f = \frac{\text{ปริมาตรของหัวเชื้อที่เติมในขวดบีโอดีตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรของหัวเชื้อในการทำ Seed Correction}}$$

$$\text{อัตราเจือจาง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

รายละเอียดการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS) โดยวิธีทำให้แห้งที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส

1. หลักการ

ตัวอย่างน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ตะกอนที่ติดอยู่บนกระดาษกรองจะนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนักที่เพิ่ม คือ น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ตู้อบที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

2.2 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น

2.3 เครื่องชั่งชนิดละเอียด ขนาด 200 กรัม สามารถชั่งได้ถึง 0.10 มิลลิกรัม

2.4 กระดาษกรอง (Glass Fiber Filter Disks) Whatman GF/C หรือ Gelman Type A

2.5 เครื่องมือสำหรับกรอง

- 2.5.1 Filter Holder
- 2.5.2 ถ้วยกรองกูช (Gooch Crucible)

2.6 เครื่องดูดสุญญากาศ

3. วิธีวิเคราะห์

3.1 เตรียมกระดาษกรองโดยวางแผ่นกระดาษกรองบนก้นของถ้วยกรองกูช เปิดเครื่องดูดสุญญากาศและล้างแผ่นกระดาษกรองนี้ติดต่อกัน 3 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อเพื่อกำจัดน้ำจำนวนเล็กน้อยบนกระดาษกรอง ทิ้งน้ำล้างนำถ้วยกรองกูชพร้อมแผ่นกระดาษกรองไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่ง และเก็บไว้ในโถทำแห้งจนถึงเวลาที่จะใช้

3.2 เนื่องจากของแข็งในปริมาณที่มากเกินไปบนแผ่นกระดาษกรองอาจจะจับเอาน้ำไว้และทำให้ต้องใช้เวลาในการทำให้แห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงใช้ตัวอย่างที่ให้ค่าของแข็งไม่ละลายน้ำทั้งหมดไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ใช้เครื่องดูดสุญญากาศกรองตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร หรือมากกว่าผ่านแผ่นกระดาษกรอง

3.3 นำถ้วยกรองกูชพร้อมแผ่นกระดาษกรองที่กรองตัวอย่างน้ำแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แห้งในโถทำแห้ง ชั่ง ทำการอบและชั่งซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งน้ำหนักหายไปน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม

4. การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอยในน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1,000}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของของแข็งที่แห้ง + แผ่นกระดาษกรอง (มิลลิกรัม)

B = เป็นน้ำหนักของแผ่นกระดาษกรอง (มิลลิกรัม)

C = เป็นปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

รายละเอียดการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรวม (Total P)
โดยวิธี Ascorbic Acid

1. หลักการ

แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate) และโปตัสเซียมแอนติโมนิล ตาร์เตรต (Potassium Antimonyl Tartrate) จะทำปฏิกิริยากับออโธฟอสเฟตในสภาวะที่เป็นกรดเกิดเป็นกรดฟอสฟอโมลิบดิค (Phosphomolybdic Acid) ซึ่งถูกรีดิวซ์โดยกรดแอสคอร์บิค ได้สีโมลิบดีนัมบลู (Molybdenum Blue) วิธีนี้สามารถใช้วัดฟอสเฟตได้ต่ำถึง 10 ไมโครกรัม/ลิตร

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 สเปคโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีอินฟราเรดโฟโตทิวบ์สำหรับใช้กับความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

2.2 เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำที่กลั่นจนสะอาด

3. สารเคมี

3.1 กรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล เตรียมโดยเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร

3.2 สารละลายแอนติโมนิลโปตัสเซียมตาร์เตรต (Potassium Antimonyl Tartrate Solution) เตรียมโดยละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6.0.5H_2O$ 1.3715 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เก็บในขวดแก้ว

3.3 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate Solution) เตรียมโดยละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4 กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic Acid) 0.10 โมลาร์ เตรียมโดยละลายกรดแอสคอร์บิค 1.76 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3.5 น้ำยารวม (Combined Reagent) เตรียมโดยผสมน้ำยาเคมีที่กล่าวแล้วข้างบนในสัดส่วนสำหรับ 100 มิลลิลิตร ดังนี้

กรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล	50	มิลลิลิตร
สารละลายแอนติโมนิลโปตัสเซียมตาร์เตรต	5	มิลลิลิตร
สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต	15	มิลลิลิตร
สารละลายกรดแอสคอร์บิค	30	มิลลิลิตร

ก่อนผสมต้องปล่อยให้สารละลายแต่ละชนิดอยู่ที่อุณหภูมิห้องก่อน นำมาผสมโดยผสมให้เข้ากันทุกครั้งเมื่อเติมส่วนผสมแต่ละชนิด ถ้ามีความขุ่นเกิดขึ้นในน้ำยารวมหลังจากเติมสารละลายแอนติโมนิลโปตัสเซียมตาร์เตรต หรือแอมโมเนียมโมลิบเดตให้เขย่าน้ำยาเคมีรวมนี้แล้วตั้งทิ้งไว้ 2 – 3 นาที จนกระทั่งความขุ่นหายไป จึงจะเติมน้ำยาตัวอื่นต่อไป น้ำยารวมนี้อยู่ตัวได้นาน 4 ชั่วโมง

3.6 สารละลายสต็อกฟอสเฟต เตรียมโดยละลาย KH_2PO_4 (Anhydrous Potassium Dihydrogen Phosphate) จำนวน 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจำนวนพอเหมาะแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีปริมาณฟอสฟอรัส 50.0 ไมโครกรัม

3.7 สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เตรียมโดยนำสารละลายสต็อกฟอสเฟตมา 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเจือจางให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับฟอสเฟต 2.5 ไมโครกรัม

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 ใส่ตัวอย่างน้ำจำนวนพอเหมาะประมาณ 25 – 100 มิลลิลิตร ลงในขวดไมโครเจลดาห์ล ใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ตามลงไป นำไปย่อยสลายบนเครื่องไดเจสชั่นแรคจนได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และย่อยสลายต่อไปเพื่อไล่กรดจนกว่าสารละลายไม่มีสี ทำให้เย็นและเติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ลงไปทีละน้อย ๆ จนสารละลายมีสีชมพูอ่อน

4.2 การเตรียมตัวอย่าง โดยปิเปตตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าเป็นสีแดงให้หยดกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล ลงไปทีละหยดจนกระทั่งสีแดงหายไป เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดร้อยละ T ที่ความยาวแสง 880 นาโนเมตร โดยใช้ Reagent Blank เทียบร้อยละ 100 T

4.3 การทำ Correction สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีสีหรือความขุ่น โดยทั่วไปสีของน้ำธรรมชาติจะไม่ขัดขวางการหาที่ความยาวคลื่นสูง ๆ ซึ่งใช้อยู่ แต่ในกรณีที่น้ำขุ่นหรือมีสีมากให้ใช้น้ำ

ตัวอย่างเป็นแบลงค์ โดยเติมน้ำยาทุกอย่างยกเว้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคและสารละลายแอนติโมนิลโปตัสเซียมตาร์เตรตลงในตัวอย่าง นำไป Set ร้อยละ 100 T แล้ววัดร้อยละ T ตัวอย่างน้ำที่เติมน้ำยาครบทุกชนิด

4.4 การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมอนุกรมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัม โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (1 มิลลิลิตร = 2.50 ไมโครกรัมฟอสเฟต) มา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละขวด แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน เทใส่ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดร้อยละ T ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร โดยใช้ขวดที่มีความเข้มข้น 0 ไมโครกรัมเป็นแบลงค์ จากนั้นทำการพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับร้อยละ T ที่ได้แต่ละความเข้มข้น โดยใช้กราฟ Semilog

5. การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

รายละเอียดการวิเคราะห์ไนเตรท (NO^-_3)
โดยวิธี Cadmium Reduction

1. หลักการ

เมื่อผ่านน้ำตัวอย่างลงในคอลัมน์ที่บรรจุเม็ดแคดเมียมเคลือบทองแดง ไนเตรทในน้ำทะเลจะถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเป็นไนไตรท์ วัดหาไนไตรท์โดยวิธีเทียบสีให้ทำปฏิกิริยากับซัลฟานิลามายด์ให้เกลือไดอาโซเนียมแล้วจะรวมตัวกับ เอ็น – 1 – แนพทิล เอทธิลีนไดอามีน เกิดเป็นสีม่วงแดง (Azo Dye) ขึ้น ดังนั้น ปริมาณไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่าง มีค่าเท่ากับปริมาณไนไตรท์ทั้งหมดลบด้วยปริมาณไนไตรท์ที่มีอยู่เดิมในน้ำตัวอย่าง

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 หลอดรีดัคชัน
2.2 สเปคโทรโฟโตมิเตอร์
2.3 เครื่องวัดพีเอช

3. สารเคมี

3.1 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ 125 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

3.2 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง เตรียมโดยเจือจางสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้นจำนวน 560 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร

3.3 สารละลายซัลฟานิลามายด์ (Sulfanilamide Solution) เตรียมโดยละลายซัลฟานิลามายด์ 5 กรัม ในสารละลายกรดเกลือ 50 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 500 มิลลิลิตร

3.4 สารละลายเอ็น – (1 – แนพทิล) – เอทธิลีนไดอามีนไดไฮโดรคลอไรด์ (N – (1 – Napthyl – Ethylene – Diamine Dihydrochloride Solution) เตรียมโดยละลาย NED 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา

3.5 สารละลายมาตรฐานไนเตรท เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) เกรดวิเคราะห์ 1.02 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร แล้วเจือจางความเข้มข้นลงโดยปิเปตสารละลายโปตัสเซียมไนเตรทที่เตรียมมา 4 มิลลิลิตร เติมน้ำทะเลสังเคราะห์ให้เป็น 2 ลิตร ควรเก็บในขวดสีชาและเตรียมเฉพาะเมื่อจะใช้ สารละลายนี้มีความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/ลิตร

3.6 น้ำทะเลสังเคราะห์ เตรียมโดยละลาย NaCl 310 กรัม, $MgSO_4.7H_2O$ 100 กรัม และ $NaHCO_3.H_2O$ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 10 ลิตร

3.7 เม็ดแคดเมียมเคลือบทองแดง (Copper – cadmium Granules) เตรียมจากเม็ดแคดเมียมที่มีขนาด 40 – 60 Mesh โดยทำดังนี้

3.7.1 ล้างเม็ดแคดเมียม 25 กรัม ในกรดเกลือ 6 นอร์มัล (แช่ในกรดจนท่วมและกวนด้วยแท่งแก้ว จนกระทั่งสะอาด) เทกรดทิ้ง จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด

3.7.2 เทเม็ดแคดเมียมลงในสารละลายทองแดงซัลเฟต ($CuSO_4$) ร้อยละ 2 ประมาณ 100 มิลลิลิตร กวนให้ทั่วนาน 5 นาที หรือจนกระทั่งสีน้ำเงินบางส่วนเริ่มจางหายไป สะเด็ดสารละลายให้แห้งและเติมทองแดงซัลเฟตร้อยละ 2 (ของใหม่) อีก กวนจนกระทั่งมีผลึกคอลลอยด์สีน้ำตาลเกิดขึ้น จากนั้นจึงล้างเม็ดแคดเมียมด้วยน้ำกลั่น (อย่างน้อย 10 ปริมาตรของแคดเมียม) จนกระทั่งไม่มีผลึกสีน้ำตาลติดอยู่อีกเลย

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 การเตรียมคอลัมน์แคดเมียม (Cadmium Column)

4.1.1 เติมน้ำกลั่น ลงในคอลัมน์เปล่าที่จัดเตรียมไว้

4.1.2 บรรจุเม็ดแคดเมียมที่เตรียมไว้ก่อนแล้วลงในคอลัมน์ ให้ได้ความสูงประมาณ 18.5 เซนติเมตร รักษาระดับน้ำให้ท่วมเม็ดแคดเมียมเสมอ เพื่อป้องกันมิให้เกิดโพรงอากาศ

4.1.3 ล้างเม็ดแคดเมียม โดยเทสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ – อีดีทีเอเจือจางจำนวน 200 มิลลิลิตร ผ่านคอลัมน์อย่างช้า ๆ

4.1.4 เตรียมสารละลาย 100 มิลลิลิตร จากการผสมระหว่างสารละลายมาตรฐานไนเตรท 1 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 20 มิลลิลิตร ละลายสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ – อีดีทีเอ 75 มิลลิลิตร ผ่านสารละลายที่เตรียมได้ให้ไหลออกจากคอลัมน์ในอัตราประมาณ 7 – 10 มิลลิลิตร/นาที

4.2 การผ่านน้ำตัวอย่างลงในคอลัมน์ โดยตวงตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เทผ่านลงในคอลัมน์ 5 มิลลิลิตร ก่อนแล้วจึงเติมที่เหลือ วางภาชนะสำหรับเก็บตัวอย่าง

น้ำผ่านคอลัมน์ได้ปลายท่อน้ำออก เมื่อน้ำที่ผ่านออกมาได้ 40 มิลลิลิตร แรกให้ทิ้งไป เก็บน้ำที่เหลือหลังจากนั้น

4.3 การสร้างสี โดยตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์แล้วมา 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายซัลฟานิลามายด์ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ ปล่อยให้ทำปฏิกิริยา 2 – 8 นาที เติมสารละลายแนพทิลีนไดอามีน 1 มิลลิลิตร เขย่าทันที วัดร้อยละ T ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร ภายใน 10 นาที – 2 ชั่วโมง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ อ่านค่าไนเตรทจากกราฟมาตรฐาน

4.4 การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายไนเตรทมาตรฐานเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60 และ 0.80 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำเหมือนตัวอย่าง พล็อตกราฟมาตรฐานระหว่างร้อยละ T กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดยใช้กราฟ Semilog

5. การคำนวณ

ไนเตรทไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) = A – B

โดยที่ A = ความเข้มข้นของไนไตรท์ทั้งหมด (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) ที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 4.3

B = ความเข้มข้นของไนไตรท์ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) ที่แท้จริงซึ่งวิเคราะห์ได้จากวิธี NED (ข้อ 4.4)

รายละเอียดการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH_3)
โดยวิธี Titrimetric

1. หลักการ

เมื่อปรับพีเอชให้ใกล้เคียง 9.5 ด้วยการใช้สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกกลั่นออกมาพร้อมกับไอน้ำ ถ้าพีเอชสูงเกินไป สารอินทรีย์ไนโตรเจนและไซยาเนตที่มีอยู่ในน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แต่ถ้าพีเอชต่ำเกินไป แอมโมเนียจะถูกกลั่นออกมาไม่หมด แอมโมเนียไนโตรเจนที่ถูกกลั่นออกมาจะรวมตัวกับกรดบอริคเกิดเป็นอิออนแอมโมเนียม (NH_4^+) และอิออนบอเรต ($H_2BO_3^-$) ปริมาณแอมโมเนียหาได้โดยการไตเตรตด้วยกรดแก่ ซึ่ง H^+ จะรวมกับ $H_2BO_3^-$ เกิดเป็น H_3BO_3 พีเอชของสารละลายจะลดลงจนเท่ากับค่าเริ่มต้น ดังนั้นปริมาณของกรดแก่ที่เติมลงไปสมดุลกับปริมาณแอมโมเนียที่มีจุดยุติดูได้จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จากสีเขียวเป็นม่วง

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ชุดกลั่นแอมโมเนีย
2.2 ขวดรูปกรวยขนาด 300 มิลลิลิตร
2.3 เครื่องวัดพีเอช
2.4 ขวดเจลดาห์ลขนาด 800 มิลลิลิตร
2.5 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

3. สารเคมี

3.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

3.2 สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate Buffer Solution) เตรียมโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จำนวน 88 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมเตตระบอเรต 0.025 โมลาร์ ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร

3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

3.4 สารกำจัดคลอรีน ใช้สารละลายต่อไปนี้ 1 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดคลอรีนตกค้าง 1 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร

3.4.1 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต เตรียมโดยละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 3.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.4.2 สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ เตรียมโดยละลาย Na_2SO_3 0.9 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร

3.5 สารละลายกรดบอริค (Absorbent Solution) เตรียมโดยละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.6 สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator Solution) เตรียมโดยละลายเมทธิลเรด 200 มิลลิกรัม ในเอทธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 หรือในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร และละลายเมทธิลีนบลู 100 มิลลิกรัม ในเอทธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 หรือในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองชนิดมาผสมกัน

3.7 สารละลายกรดบอริคที่เติมอินดิเคเตอร์ (Indicating Boric Acid Solution) เตรียมโดยละลายกรดบอริค (H_3BO_3) 20 กรัม ในน้ำกลั่นเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 1 ลิตร

3.8 สารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน 0.02 นอร์มัล

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 การเตรียมชุดกลั่น ล้างส่วนต่าง ๆ ของชุดกลั่นล้างอีกทีโดยเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย 500 มิลลิลิตร และสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 20 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 9.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล เทใส่ขวดกลั่นเติมลูกแก้ว 2 – 3 เม็ด นำไปกลั่นล้างเครื่องมือจนกระทั่งสารที่กลั่นออกมาไม่มีแอมโมเนียหรือมีน้อยมาก

4.2 การเตรียมตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างน้ำมีคลอรีนต้องกำจัดโดยเติมสารกำจัดคลอรีนในหัวข้อ 3 ข้อ 4 โดยเติมสารกำจัดคลอรีนในปริมาณที่สมมูลกับคลอรีนตกค้าง ดวงตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าแล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 500 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ถ้าพีเอชสูงหรือต่ำมากควรปรับให้เป็น 7 เสียก่อนเติมสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 25 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 9.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล เทตัวอย่างลงขวดกลั่น

4.3 การกลั่น นำขวดกลั่นที่ใส่ตัวอย่างเข้าเครื่องกลั่นเปิดน้ำหล่อเย็นให้พร้อม ดวงสารละลายอินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย นำเข้าไปต่อกับชุดกลั่นโดยให้ปลายหลอดที่ต่อนำไอน้ำและแอมโมเนียที่กลั่นออกมาจุ่มอยู่ใต้สารละลาย เปิดไฟให้กลั่นด้วยอัตรา 6 – 10 มิลลิลิตร/นาที ให้กลั่นจนได้สารละลายจากการกลั่น (Distillate) ในขวดรูปกรวย

อย่างน้อย 300 มิลลิลิตร แล้วจึงดึงปลายหลอดให้พ้นสารละลาย กลั่นต่ออีก 2 – 3 นาที เพื่อทำความสะอาดชุดกลั่น นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 มิลลิลิตร ถ้ามีแอมโมเนียสารละลายที่ได้จะมีสีเขียว ถ้าไม่มีแอมโมเนียจะเป็นสีม่วงเดิมของกรดบอริคอินดิเคเตอร์ นำไปหาปริมาณแอมโมเนียโดยวิธีไตเตรตต่อไป

5. วิธีไตเตรชัน

5.1 นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น (Distillate) มาไตเตรตด้วยกรดกำมะถัน 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีเขียวของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

5.2 แบลงค์ ใช้น้ำกลั่นและทำขั้นตอนทุกอย่างเหมือนทำตัวอย่าง

6. การคำนวณ

$$\text{แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times N \times 14,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของกรดกำมะถันที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของกรดกำมะถันที่ใช้ไตเตรตแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดกำมะถันเป็นนอร์มัลลิตี้

รายละเอียดการวิเคราะห์ทีเคเอ็น (TKN)
โดยวิธี Kjeldahl Method

1. หลักการ

สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียโดยการออกซิไดส์ของกรดกำมะถัน ทำให้ไนโตรเจนหลุดออกมาในรูปแอมโมเนีย ส่วนคาร์บอนและไฮโดรเจนจะถูกออกซิไดส์เป็น CO_2 และ H_2O แล้วนำไปกลั่นเพื่อเก็บอิออนแอมโมเนียในกรดบอริค จากนั้นจึงนำกรดบอริคไปหาปริมาณแอมโมเนียโดยวิธี Nesslerization หรือไตเตรตด้วยสารละลายกรดแก่มาตรฐาน ทำให้ทราบปริมาณทีเคเอ็นที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ขวดเจลดาห์ล (Kjeldahl Flask) ขนาด 800 มิลลิลิตร

2.2 ชุดเครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย

2.3 ชุดเครื่องมือสำหรับทำการกลั่นแอมโมเนีย

3. สารเคมี

3.1 สารละลายปรอทซัลเฟต เตรียมโดยละลายปรอทออกไซด์ (HgO, Red) 8 กรัม ในกรดกำมะถัน 6 นอร์มัล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2 น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion Reagent) เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และเติมสารละลายปรอทซัลเฟต 25 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้สารละลายมีปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Hydroxide – Sodium Thiosulfate Reagent) เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 25 กรัม ในน้ำและเจือจางเป็น 1 ลิตร

3.4 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลายฟีนอล์ฟทาลีน 5 กรัม ในเอธานอล (C_2H_5OH) ร้อยละ 95 จำนวน 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นอีก 500 มิลลิลิตร

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 การเลือกขนาดตัวอย่าง

เลือกปริมาตรตัวอย่างที่จะใช้ตามตารางที่ ก. 2 ขนาดของตัวอย่างจะต้องสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่คาดว่าจะมี (สังเกตได้จากลักษณะน้ำและแหล่งที่มาของตัวอย่าง) ถ้าใช้ขนาดตัวอย่างมากเกินไปอาจเสียเวลาในการย่อยนานหลายชั่วโมง เมื่อเลือกปริมาตรตัวอย่างได้แล้ว ตวงตัวอย่างใส่ในขวดเจลดาห์ลขนาด 800 มิลลิลิตร เติมลูกแก้ว 3 – 4 เม็ด เพื่อกันการเดือดอย่างรุนแรงภายในขวด

ตารางที่ ก. 2 การเลือกขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ทีเคเอ็น

Org – N ในตัวอย่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ขนาดตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
0 – 1	500
1 – 10	250
10 – 20	100
20 – 50	50
50 – 100	25

4.2 การย่อยสลาย (Digestion)

เติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลดาห์ล นำเข้าเครื่องย่อยสลาย ต้มจนกระทั่งเกิดควันสีขาวของ SO_3 ให้ต้มต่อไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายใส จากนั้นย่อยสลายต่ออีก 20 – 30 นาที ปิดไฟและปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร และฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทำให้เป็นด่างโดยค่อย ๆ เติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ไธโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ถ้าสีชมพูของฟีนอล์ฟทาลีนยังไม่เกิด ให้เติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ไธโอซัลเฟตลงไปอีก จากนั้นนำไปกลั่น

4.3 การกลั่น

ต่อขวดเจลดาห์ลเข้ากับเครื่องกลั่น ทำการกลั่นโดยให้ความร้อนที่พอเหมาะ เก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มิลลิลิตร ผ่านหลอดแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริค 50 มิลลิลิตร ถ้าจะหา

แอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธี Nesslerization ให้ใช้กรดบอริคธรรมดาแต่ถ้าจะหาโดยวิธีไดเตรต ให้ใช้กรดบอริคที่เติมอินดิเคเตอร์ เมื่อกลั่นครบ 200 มิลลิลิตร เลื่อนขวดเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นออกและนำไปหาแอมโมเนียต่อไป ให้ทำแบลงค์ด้วยโดยใช้น้ำกลั่นแล้วทำตามขั้นตอนเหมือนของตัวอย่างน้ำ

5. การคำนวณ

ปริมาณแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำที่ผ่านการย่อยและการกลั่นมาแล้วจะเป็นค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้ง

รายละเอียดการวิเคราะห์ไนไตรท์ (NO_2^-)
โดยวิธี Colorimetric

1. หลักการ

ภายใต้สภาวะกรดไนไตรท์อิออนจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มอะมิโนของซัลฟานิลามายด์ให้เกลือไดอาโซเนียมซึ่งจะรวมตัวกับ 1 – แนพทิลเอทธิลีนไดไฮโดรคลอไรด์ N – (1 – Naphthyl) – Ethylenediamine Dihydrochloride ที่พีเอช 2.0 – 2.5 เกิดเป็น Azo Dye สีม่วงแดง สีที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer' s Law) วัดสีที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 สเปคโทรโฟโตมิเตอร์

2.2 หลอดเนสเลอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3 ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. สารเคมี

3.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากไนไตรท์ ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมน้ำยาเคมีและการเจือจางตัวอย่าง

3.2 สารละลายซัลฟานิลามายด์ (Sulfanilamide Solution) เตรียมโดยเติมกรดไฮโดรคลอริค 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วละลายซัลฟานิลามายด์ 5 กรัม ลงในของผสมนี้เติมน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร

3.3 สารละลายเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ (NED Dihydrochloride) เตรียมโดยละลาย N – (1 – Naphthyl) – Ethylenediamine Dihydrochloride 500 มิลลิกรัม ลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา

3.4 สารละลายโซเดียมออกซาเลต (Sodium Oxalate) 0.05 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมออกซาเลต ($Na_2C_2O_4$) 3.35 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.5 สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 0.05 นอร์มัล เตรียมโดยละลาย $KMnO_4$ 8 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร เก็บในขวดสีชาตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 สัปดาห์ รินหรือดูด

สารละลายนี้เฉพาะส่วนบนโดยไม่คนตะกอนให้ขึ้นมาเพื่อนำไป Standardize ตามวิธีต่อไปนี้ ชั่งโซเดียมออกซาเลตแอนไฮดรัส ($Na_2C_2O_4$) หลาย ๆ ตัวอย่างให้น้ำหนักอยู่ระหว่าง 100 – 200 มิลลิกรัม ใส่ในบีกเกอร์ 400 มิลลิลิตร แต่ละบีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และคนให้ละลาย เติมกรดซัลฟิวริก (1 + 1) 10 มิลลิลิตร และทำให้ร้อนอย่างเร็วจนอุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส ไตเตรตอย่างเร็วด้วยสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่จะเทียบมาตรฐานความเข้มข้น เขย่าอย่างสม่ำเสมอจนถึงจุดยุติได้สีชมพูซึ่งจะคงตัวอย่างน้อย 1 นาที ขณะไตเตรตอย่าปล่อยให้อุณหภูมิต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส ถ้าจำเป็นควรอุ่นบีกเกอร์ตลอดการไตเตรต ถ้าใช้โซเดียมออกซาเลต 100 มิลลิกรัม จะใช้สารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตประมาณ 6 มิลลิลิตร ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นกับกรดซัลฟิวริก

$$\text{นอร์มัลลิตี้ของ } KMnO_4 = \frac{Na_2C_2O_4 \text{ (กรัม)}}{(A - B) \times 0.33505}$$

A = มิลลิลิตรของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่ใช้ไตเตรต $Na_2C_2O_4$

B = มิลลิลิตรของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่ใช้ไตเตรตแบลงค์ หาค่าเฉลี่ยจากการไตเตรตหลาย ๆ ครั้ง

3.6 สารละลายสต็อกไนไตรท์ (Stock Nitrite Solution) เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.6.1 เตรียมสารละลายสต็อค โดยชั่งโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) 1.232 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ดังนั้น 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 250 ไมโครกรัม ไนโตรเจน เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร

3.6.2 เทียบมาตรฐานความเข้มข้นของสต็อคไนไตรท์ ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 0.05 นอร์มัล จำนวน 50 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และสารละลายสต็อคไนไตรท์ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยหรือขวดที่มีจุกปิดทำด้วยแก้วให้จุ่มปลายปิเปตของสารละลายสต็อคไนไตรท์ลงใต้ผิวของสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตกับกรด ปิดจุก เขย่าเบา ๆ และนำไปอุ่นบนเตาแผ่นจนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70 – 80 องศาเซลเซียส กำจัดสีของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมออกซาเลต 0.05 นอร์มัล ทีละ 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตส่วนที่เกินพอของโซเดียมออกซาเลตด้วยสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 0.05 นอร์มัล จนได้สีชมพูซึ่งเป็นจุดยุติ สมมติว่าใช้โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตไป J มิลลิลิตร ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายสต็อกไนไตรท์ แล้วทำทุกอย่างเหมือนกัน คำนวณหาความเข้มข้นตามสมการข้างล่างนี้

$$A = \frac{[(B \times C) - (D - E)] \times 7}{F}$$

เมื่อ A = มิลลิกรัมไนไตรท์ไนโตรเจนต่อมิลลิลิตรในสารละลายสต็อคไนไตรท์

B = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตที่ใช้ทั้งหมด = 50 + J มิลลิลิตร

C = นอร์มัลลิตี้ของสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต = 0.05 นอร์มัล

D = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมออกซาเลตที่เติมลงไป

E = นอร์มัลลิตี้ของสารละลายโซเดียมออกซาเลต = 0.05 นอร์มัล

F = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไนไตรท์ที่นำมาไตเตรต

แต่ละ 1 มิลลิลิตรของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 0.05 นอร์มัล จะถูกใช้ไปโดยโซเดียมไนไตรท์ 1,750 ไมโครกรัม

การทำแบลงค์น้ำกลั่นจะได้ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจนในน้ำกลั่น สมมติ = L มิลลิกรัมต่อลิตรไนโตรเจน จะได้ปริมาณไนไตรท์ในสารละลายสต็อคไนไตรท์ = A – L

3.7 สารละลายไนไตรท์ปานกลาง (Intermediate Nitrite Solution) เข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร โดยคำนวณปริมาณสต็อคไนไตรท์เพื่อเตรียมสารละลายไนไตรท์ปานกลาง จากสมการดังนี้

$$G = \frac{12.5}{A}$$

แล้วนำปริมาตรที่คำนวณได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 50 ไมโครกรัมไนโตรเจน

3.8 สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (Standard Nitrite Solution) เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายไนไตรท์ปานกลางมา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร โดยสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.5 ไมโครกรัมไนโตรเจน

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 การกำจัดสารแขวนลอย ถ้าตัวอย่างน้ำมีสารแขวนลอยให้กรองตัวอย่างน้ำก่อนโดยใช้แผ่นกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน

4.2 การทำให้เกิดสี ถ้าพีเอชของตัวอย่างน้ำไม่อยู่ระหว่าง 5 – 9 ต้องปรับพีเอชให้อยู่ช่วงนี้ก่อนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริค 1 นอร์มัล หรือ NH_4OH 1 นอร์มัล จากนั้นตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายซัลฟานิลามายด์ 1 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 2 – 8 นาที แล้วเติมสารละลายเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ให้ทำการวัดสีที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์นำมาอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

4.3 การทำกราฟมาตรฐาน

4.3.1 เตรียมอนุกรมของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ให้มีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ไมโครกรัม โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (ข้อ 3.8) มา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นแต่ละความเข้มข้นให้มีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

4.3.2 เติมน้ำยาและทำตามขั้นตอนเหมือนตัวอย่าง (ข้อ 4.2)

4.3.3 พล็อตกราฟแต่ละความเข้มข้นร้อยละ T ได้

5. การคำนวณ

$$\text{ไนไตรท์ไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัมที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH)
โดยวิธี Electrometric Method

1. หลักการ

การวัดพีเอช (pH) คือ การวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดค่าความต่างศักย์ (Potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโตรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่ได้ เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนอิออน (H^+) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากอิออน (Ionic Potential) ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัด (Potentiometer)

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

เครื่องวัดพีเอชเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าความเป็นกรดและด่างของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง

2.1.1 อิเล็กโทรด (Electrode)

ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นอิเล็กโทรดรวม (Combined Electrode) ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งานโดยรวมอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมาอยู่ด้วยกัน อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วพิเศษที่ยอมให้ไฮโดรเจนอิออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุบัฟเฟอร์เอาไว้ อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเกิดครบวงจรโดย KCl ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น Salt เชื่อมกับอิเล็กโทรดตรวจวัด

2.1.2 ตัวเครื่อง (Potentiometer)

ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิงให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่ แปลสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิออนของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และขยายสัญญาณของความต่างศักย์ทางไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้เข็มหรือตัวเลขแสดงออกทางมิเตอร์

2.2 บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.3 เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์)

สามารถทำได้โดยดูจากตารางที่ ก. 3 สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารอินทรีย์จึงอาจเสื่อมคุณภาพเพราะการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือจากการปนเปื้อนของสารอื่น ดังนั้น จึงควรเตรียมใช้ใหม่ ๆ เสมอ สำหรับน้ำกลั่นที่นำมาใช้ เตรียมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ควรมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 2 ไมโครโมห์/เซนติเมตร และมีพีเอชอยู่ในช่วง 5.6 – 6.0 สารละลายบัฟเฟอร์ควรเก็บในขวดพีอี (Polyethylene)

4. วิธีวิเคราะห์

4.1 หลังจากเปิดเครื่องวัดพีเอช ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาที ก่อนใช้งาน

4.2 ปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องให้พร้อมก่อนที่จะวัดพีเอชตัวอย่าง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน

4.3 ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดพีเอชต้องปล่อยให้มีอุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่น ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำแช่เย็นไว้ ต้องนำออกจากตู้เย็นตั้งทิ้งไว้จนหายเย็นจึงจะนำไปวัดพีเอช เพราะค่าพีเอชจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

4.4 ก่อนวัดให้ทำการเขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์ และวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรดแล้วเปิดเครื่องกวนให้หมุนเบา ๆ จนตัวเลขแสดงค่าพีเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ

4.5 เมื่อจะวัดตัวอย่างถัดไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่ม ๆ แล้วจึงวัดตัวอย่างถัดไป แต่ถ้าจะเลิกวัด หลังจากที่ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดและเช็ดให้แห้งแล้ว ให้แช่อิเล็กโทรดไว้ในสารละลายที่มีอิออนมากพอสมควรและมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น สารละลายบัฟเฟอร์ 4 หรือที่ดีที่สุดในน้ำยาสำหรับเก็บรักษาอิเล็กโทรด

ตารางที่ ภ. 3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) สูตรต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)	ค่าพีเอชที่ 25 °C	น้ำหนักสารเคมี (กรัม) ที่ต้องใช้ต่อน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร
1. โปตัสเซียมไฮโดรเจนดาร์เตรต (อิ่มตัว)	3.557	$KHC_4H_4O_6$ 6.4 กรัม [A]
2. โปตัสเซียมไฮโดรเจนซิเตรต 0.05 N	3.776	$KH_2C_6H_5O_7$ 11.14 กรัม
3. โปตัสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.05 N	4.008	$KHC_8H_4O_4$ 10.12 กรัม
4. โปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.025 N + ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.025 N	6.865	KH_2PO_4 3.388 กรัม [B] + Na_2HPO_4 3.533 กรัม [B,C]
5. โปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.008695 N + ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.03043 N	7.413	KH_2PO_4 1.179 กรัม [B] + Na_2HPO_4 4.301 กรัม [B,C]
6. โซเดียมบอเรตเดคคาไฮเดรต (บอแรกซ์) 0.01 N	9.180	$Na_2B_4O_7.10H_2O$ 3.80 กรัม [C]
7. โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.025 N + โซเดียมคาร์บอเนต 0.025 N	10.012	$NaHCO_3$ 2.092 กรัม + $NaCO_3$ 2.640 กรัม
8. โปตัสเซียมเตตระออกซาเลตไดไฮเดรต 0.05 N	1.679	$KH_2C_4O_8.2H_2O$ 12.61 กรัม
9. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (อิ่มตัว)	12.454	$Ca(OH)_2$ 1.5 กรัม [A]

หมายเหตุ : (A) การละลายโดยประมาณ

(B) สารเคมีแห้ง หลังจากอบความร้อนที่ 110 – 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(C) เตรียมด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดและปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น (เพื่อไล่ CO_2)

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช

รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช
โดยวิธี Kjeldahl Method

1. หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในพืชโดยการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้น ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้องย่อยสลายด้วยกรดเสียก่อนเพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ในพืชให้มาอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียมไนโตรเจน: $NH_4^+ - N$) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการกลั่น (Distillation) ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Kjeldhal Method

2. สารเคมีและอุปกรณ์

2.1 บอริกแอซิดอินดิเคเตอร์ (Boric Acid Indicator)

2.1.1 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator) เตรียมโดยสารละลายบรอมครีซอลกรีน 0.066 กรัม และเมทธิลเรด 0.033 กรัม ในเอทธิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.1.2 กรดบอริก (H_3BO_3) ละลายกรดบอริก 40 ในน้ำร้อน 700 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.1.3 ผสมเอทธิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กับสารละลายในข้อ 1.2

2.1.4 เติมอินดิเคเตอร์ผสม (ข้อ1.1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงในข้อ 1.3

2.1.5 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล จนพบว่าเมื่อนำสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร สารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูปนม่วงเป็นสีเขียว

2.1.6 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 1 ลิตร

2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40: ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร (ควรทำในตู้ควัน)

2.3 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล: ละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1 วิธีการกลั่น

3.1.1 เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่องกลั่น 1 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่น

3.1.2 เติมบอริกแอซิดอินดิเคเตอร์ประมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางที่ปลายของเครื่องกลั่นโดยให้ปลายจุ่มอยู่ในบอริกแอซิดอินดิเคเตอร์

3.1.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดกลั่น (Distillation Tube)

3.1.4 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร

3.1.5 เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร

3.1.6 กลั่นเป็นเวลา 4 นาที

3.2 วิธีการไทเทรต

3.2.1 ไตเตรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง

3.2.2 บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างพืช (ร้อยละ)} = \frac{(Vs - Vb) \times N \times 0.014 \times Vd \times 100}{W \times Va}$$

Vs = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไตเตรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกมาตรฐาน (0.02 นอร์มัล)

Vd = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลาย (100 มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

Va = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (10 มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ค. 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	7478.822	534.202	1144.309	1.92	2.52
A	4	3136.087	784.022	1679.447	2.61	3.83
B	2	2046.580	1023.290	2191.982	3.23	5.18
AB	8	2296.155	287.019	614.822	2.18	2.99
ERROR	45	21.007	0.467			
TOTAL	59	7499.830	127.116			

Grand Mean = 41.06833330790202 CV = 1.663695526279754

Factor A	Factor B
Mass	Day
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         =       0.46683332        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN    =       0.19723787        *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		51.16667	A
t4		46.83333	B
t1		40.16667	C
t2		36.175	D
t3		31	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		51.16667	A
t4		46.83333	B
t1		40.16667	C
t2		36.175	D
t3		31	E

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

ตารางที่ ค. 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	14067.733	1004.838	2009.676	1.92	2.52
A	4	4017.067	1004.267	2008.533	2.61	3.83
B	2	5296.533	2648.267	5296.533	3.23	5.18
AB	8	4754.133	594.267	1188.533	2.18	2.99
ERROR	45	22.500	0.500			
TOTAL	59	14090.233	238.818			

Grand Mean = 67.26666666666667 CV = 1.051199377383371

Factor A	Factor B
Mass	Day
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         =       0.50000000        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN    =       0.20412415        *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		76.66666	A
t4		76	A
t1		66.66666	B
t2		61.33333	C
t3		55.66667	D

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		76.66666	A
t4		76	B
t1		66.66666	C
t2		61.33333	D
t3		55.66667	E

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

ตารางที่ ค. 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	3.209	0.229	4006.709	1.92	2.52
A	4	1.622	0.405	7087.877	2.61	3.83
B	2	0.148	0.074	1291.725	3.23	5.18
AB	8	1.439	0.180	3144.871	2.18	2.99
ERROR	45	0.003	0.000			
TOTAL	59	3.211	0.054			

Grand Mean = .3543333339815338 CV = 2.134450299273897

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Total P.FACTOR A     *
*       NUMBER OF MEANS            =        5                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =        0.00005720       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00218327       *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		.5833333	A
t4		.4683333	B
t1		.3666667	C
t2		.2333333	D
t3		.12	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		.5833333	A
t4		.4683333	B
t1		.3666667	C
t2		.2333333	D
t3		.12	E

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

ตารางที่ ค. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	0.626	0.045	2056.955	1.92	2.52
A	4	0.252	0.063	2897.993	2.61	3.83
B	2	0.278	0.139	6384.525	3.23	5.18
AB	8	0.096	0.012	554.543	2.18	2.99
ERROR	45	0.001	0.000			
TOTAL	59	0.627	0.011			

Grand Mean = .1531333336917063 CV = 3.044342411026735

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Nitrate.FACTOR A     *
*       NUMBER OF MEANS            =        5                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =        0.00002173       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00134578       *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		.27	A
t1		.1716667	B
t2		.123	C
t4		.117	D
t3		.084	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		.27	A
t1		.1716667	B
t2		.123	C
t4		.117	D
t3		.084	E

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

ตารางที่ ค. 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	119.054	8.504	%11164.851	1.92	2.5
A	4	64.269	16.067	%21094.861	2.61	3.8
B	2	0.354	0.177	232.195	3.23	5.18
AB	8	54.432	6.804	8933.011	2.18	2.99
ERROR	45	0.034	0.001			
TOTAL	59	119.089	2.018			

Grand Mean = 1.287499996026357 CV = 2.143557285447092

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Ammonia.FACTOR A     *
*       NUMBER OF MEANS            =       5                 *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                 *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00006667        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00235702        *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		3.346667	A
t0		.9466667	B
t1		.8066667	C
t2		.7033333	D
t3		.6333333	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		3.346667	A
t0		.9466667	B
t1		.8066667	C
t2		.7033333	D
t3		.6333333	E

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

ตารางที่ ค. 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	4349.306	310.665	4955.312	1.92	2.52
A	4	806.052	201.513	3214.268	2.61	3.83
B	2	2274.211	1137.105	%18137.596	3.23	5.1
AB	8	1269.044	158.630	2530.262	2.18	2.99
ERROR	45	2.821	0.063			
TOTAL	59	4352.127	73.765			

Grand Mean = 13.36466661890348 CV = 1.873494272809974

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Total N.FACTOR A    *
*       NUMBER OF MEANS            =        5               *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45               *
*       ERROR MEAN SQUARE          =        0.06269328      *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.07228029      *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		18.85333	A
t0		16.39	B
t1		11.96667	C
t2		10.36333	D
t3		9.25	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		18.85333	A
t0		16.39	B
t1		11.96667	C
t2		10.36333	D
t3		9.25	E

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

ตารางที่ ค. 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวล ของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	1.279	0.091	0.548	1.92	2.52
A	4	0.896	0.224	1.343	2.61	3.83
B	2	0.079	0.040	0.237	3.23	5.18
AB	8	0.304	0.038	0.228	2.18	2.99
ERROR	45	7.500	0.167			
TOTAL	59	8.779	0.149			

Grand Mean = 7.805333360036214 CV = 5.230376430939781

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
**************************************************************
*                                                            *
*           DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =     pH.FACTOR A        *
*        NUMBER OF MEANS            =        5               *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45               *
*        ERROR MEAN SQUARE          =        0.16666669      *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.11785114      *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0		7.97	A
t1		7.853333	A
t2		7.816667	A
t3		7.793334	A
t4		7.593333	A

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0		7.97	A
t1		7.853333	AB
t2		7.816667	AB
t3		7.793334	AB
t4		7.593333	B

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

ตารางที่ ค. 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเค็มที่ระดับชั่วมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	14	3.216	0.230	34.457	1.92	2.52
A	4	0.229	0.057	8.600	2.61	3.83
B	2	2.928	1.464	219.600	3.23	5.18
AB	8	0.059	0.007	1.100	2.18	2.99
ERROR	45	0.300	0.007			
TOTAL	59	3.516	0.060			

Grand Mean = 5.520000012715657 CV = 1.479160939502997

Factor A	Factor B
Mass	Day
t0	d10
t1	d20
t2	d30
t3	
t4	

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Salinity.FACTOR A   *
*       NUMBER OF MEANS            =       5                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00666667       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.02357023       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		5.6	A
t3		5.566667	A
t2		5.533333	AB
t1		5.466667	BC
t0		5.433333	C

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		5.6	A
t3		5.566667	A
t2		5.533333	AB
t1		5.466667	BC
t0		5.433333	C

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

ตารางที่ ค. 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =        0.46683332        *
*         STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.15277980        *
*                                                               *
*****************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10                  48.1      A
d20                  41.305     B
d30                  33.8        C

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

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10                  48.1      A
d20                  41.305     B
d30                  33.8        C

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

ตารางที่ ค. 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =        0.50000000       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.15811388       *
*                                                            *
**************************************************************

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10                  79        A
d20                  66.8       B
d30                  56           C

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

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10                  79        A
d20                  66.8       B
d30                  56           C

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

ตารางที่ ค. 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Total P.FACTOR B     *
*       NUMBER OF MEANS            =       3                 *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                 *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00005720        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00169115        *
*                                                            *
**************************************************************

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10                  .421      A
d20                  .34        B
d30                  .302         C

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

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10                  .421      A
d20                  .34        B
d30                  .302         C

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

ตารางที่ ค. 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Nitrate.FACTOR B    *
*       NUMBER OF MEANS            =        3               *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       45               *
*       ERROR MEAN SQUARE          =        0.00002173      *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00104243      *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d10		.244	A
d20		.135	B
d30		.0804	C

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d10		.244	A
d20		.135	B
d30		.0804	C

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

ตารางที่ ค. 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =        0.00006667      *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00182574      *
*                                                           *
*************************************************************

 NAME      ID      MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10               1.362    A
d30               1.318     B
d20               1.182      C

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

 NAME      ID      MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10               1.362    A
d30               1.318     B
d20               1.182      C

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

ตารางที่ ค. 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
**************************************************************
*                                                            *
*           DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*        PROBLEM IDENTIFICATION     =    Total N.FACTOR B    *
*        NUMBER OF MEANS            =       3                *
*        ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                *
*        ERROR MEAN SQUARE          =       0.06269328       *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.05598807       *
*                                                            *
**************************************************************

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d10                 21.502   A
d20                 11.978    B
d30                 6.614      C

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

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d10                 21.502   A
d20                 11.978    B
d30                 6.614      C

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

ตารางที่ ค. 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =        0.16666669      *
*        STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.09128710      *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
d20		7.832	A
d30		7.83	A
d10		7.754	A

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
d20		7.832	A
d30		7.83	A
d10		7.754	A

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

ตารางที่ ค. 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเค็มที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Salinity.FACTOR B   *
*       NUMBER OF MEANS            =       3                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00666667       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.01825742       *
*                                                           *
*************************************************************

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d30                  5.8       A
d20                  5.5        B
d10                  5.26         C

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

 NAME      ID       MEAN            RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d30                  5.8       A
d20                  5.5        B
d10                  5.26         C

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

ตารางที่ ค. 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณบีโอดีที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =       0.46683332        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.34162601        *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		57.5	A
t4d30		54	B
t1d10		52.5	C
t0d20		51	D
t2d10		48	E
t4d20		47	E
t0d30		45	F
t3d10		43	G
t1d20		41	H
t4d10		39.5	I
t2d20		36.525	J
t3d20		31	K
t1d30		27	L
t2d30		24	M
t3d30		19	N

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		57.5	A
t4d30		54	B
t1d10		52.5	C
t0d20		51	D
t2d10		48	E
t4d20		47	F
t0d30		45	G
t3d10		43	H
t1d20		41	I
t4d10		39.5	J
t2d20		36.525	K
t3d20		31	L
t1d30		27	M
t2d30		24	N
t3d30		19	O

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

ตารางที่ ค. 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =        0.50000000      *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.35355339      *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		91	A
t4d30		87	B
t1d10		85	C
t2d10		80	D
t0d20		76	E
t4d20		74	F
t3d10		72	G
t4d10		67	H
t1d20		67	H
t0d30		63	I
t2d20		61	J
t3d20		56	K
t1d30		48	L
t2d30		43	M
t3d30		39	N

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		91	A
t4d30		87	B
t1d10		85	C
t2d10		80	D
t0d20		76	E
t4d20		74	F
t3d10		72	G
t4d10		67	H
t1d20		67	H
t0d30		63	I
t2d20		61	J
t3d20		56	K
t1d30		48	L
t2d30		43	M
t3d30		39	N

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

ตารางที่ ค. 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Total PINTER AB      *
*       NUMBER OF MEANS            =      15                 *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                 *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00005720        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00378153        *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4d30		.79	A
t0d10		.69	B
t1d10		.6	C
t0d20		.57	D
t0d30		.49	E
t4d20		.44	F
t2d10		.41	G
t1d20		.36	H
t3d10		.23	I
t2d20		.22	I
t4d10		.17	J
t1d30		.14	K
t3d20		.11	L
t2d30		.07	M
t3d30		.02	N

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4d30		.79	A
t0d10		.69	B
t1d10		.6	C
t0d20		.57	D
t0d30		.49	E
t4d20		.44	F
t2d10		.41	G
t1d20		.36	H
t3d10		.23	I
t2d20		.22	I
t4d10		.17	J
t1d30		.14	K
t3d20		.11	L
t2d30		.07	M
t3d30		.02	N

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

ตารางที่ ค. 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่ระดับชั่วมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    NitrateINTER AB     *
*       NUMBER OF MEANS            =      15                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00002173       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00233095       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		.39	A
t1d10		.32	B
t0d20		.24	C
t2d10		.23	D
t0d30		.18	E
t3d10		.17	F
t1d20		.15	G
t4d30		.123	H
t4d20		.118	HI
t4d10		.11	I
t2d20		.1	J
t3d20		.067	K
t1d30		.045	L
t2d30		.039	L
t3d30		.015	M

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		.39	A
t1d10		.32	B
t0d20		.24	C
t2d10		.23	D
t0d30		.18	E
t3d10		.17	F
t1d20		.15	G
t4d30		.123	H
t4d20		.118	H
t4d10		.11	I
t2d20		.1	J
t3d20		.067	K
t1d30		.045	L
t2d30		.039	L
t3d30		.015	M

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

ตารางที่ ค. 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =       0.00006667       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00408248       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4d30		5.79	A
t4d20		3.07	B
t0d10		1.64	C
t1d10		1.45	D
t2d10		1.31	E
t3d10		1.23	F
t4d10		1.18	G
t0d20		.88	H
t1d20		.76	I
t2d20		.64	J
t3d20		.56	K
t0d30		.32	L
t1d30		.21	M
t2d30		.16	N
t3d30		.11	O

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4d30		5.79	A
t4d20		3.07	B
t0d10		1.64	C
t1d10		1.45	D
t2d10		1.31	E
t3d10		1.23	F
t4d10		1.18	G
t0d20		.88	H
t1d20		.76	I
t2d20		.64	J
t3d20		.56	K
t0d30		.32	L
t1d30		.21	M
t2d30		.16	N
t3d30		.11	O

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

ตารางที่ ค. 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION    =    Total NINTER AB      *
*       NUMBER OF MEANS           =      15                 *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM   =      45                 *
*       ERROR MEAN SQUARE         =       0.06269328        *
*       STANDARD ERROR OF MEAN    =       0.12519313        *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d10		26.32	A
t1d10		24.64	B
t4d30		22.53	C
t2d10		21.74	D
t3d10		19.52	E
t4d20		18.74	F
t0d20		15.56	G
t4d10		15.29	G
t1d20		9.86	H
t2d20		8.4	I
t3d20		7.33	J
t0d30		7.29	J
t1d30		1.4	K
t2d30		.95	KL
t3d30		.9	L

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d10		26.32	A
t1d10		24.64	B
t4d30		22.53	C
t2d10		21.74	D
t3d10		19.52	E
t4d20		18.74	F
t0d20		15.56	G
t4d10		15.29	G
t1d20		9.86	H
t2d20		8.4	I
t3d20		7.33	J
t0d30		7.29	J
t1d30		1.4	K
t2d30		.95	L
t3d30		.9	L

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

ตารางที่ ค. 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 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          =       0.16666669       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.20412416       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t0d30		8.1	A
t0d20		7.98	A
t1d30		7.9	A
t1d20		7.89	A
t2d30		7.85	A
t2d20		7.85	A
t3d30		7.84	A
t0d10		7.83	A
t3d20		7.83	A
t1d10		7.77	A
t2d10		7.75	A
t4d10		7.71	A
t3d10		7.71	A
t4d20		7.61	A
t4d30		7.46	A

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t0d30		8.1	A
t0d20		7.98	A
t1d30		7.9	A
t1d20		7.89	A
t2d30		7.85	A
t2d20		7.85	A
t3d30		7.84	A
t0d10		7.83	A
t3d20		7.83	A
t1d10		7.77	A
t2d10		7.75	A
t4d10		7.71	A
t3d10		7.71	A
t4d20		7.61	A
t4d30		7.46	A

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

ตารางที่ ค. 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเค็มที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำในอัตรา 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ 10, 20 และ 30 วัน

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    SalinityINTER AB    *
*       NUMBER OF MEANS            =      15                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      45                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00666667       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.04082484       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4d30		5.9	A
t3d30		5.9	A
t2d30		5.8	AB
t1d30		5.7	BC
t0d30		5.7	BC
t4d20		5.6	CD
t2d20		5.5	DE
t3d20		5.5	DE
t1d20		5.5	DE
t0d20		5.4	EF
t4d10		5.3	FG
t3d10		5.3	FG
t2d10		5.3	FG
t1d10		5.2	G
t0d10		5.2	G

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4d30		5.9	A
t3d30		5.9	A
t2d30		5.8	AB
t1d30		5.7	BC
t0d30		5.7	BC
t4d20		5.6	CD
t2d20		5.5	DE
t3d20		5.5	DE
t1d20		5.5	DE
t0d20		5.4	EF
t4d10		5.3	FG
t3d10		5.3	FG
t2d10		5.3	FG
t1d10		5.2	G
t0d10		5.2	G

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

ตารางที่ ค. 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำที่มีผลต่อชีวมวลรวม

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	11	0.212	0.019	%10484.002	2.08	2.8
A	3	0.166	0.055	%30092.674	2.84	4.3
B	2	0.003	0.001	692.070	3.23	5.18
AB	6	0.043	0.007	3943.644	2.33	3.29
ERROR	36	0.000	0.000			
TOTAL	47	0.212	0.005			

Grand Mean = 5.191666671695808D-02 CV = 2.609618286627295

Factor A	Factor B
Mass	Day
t1	d10
t2	d20
t3	d30
t4	

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    Weight.FACTOR A     *
*       NUMBER OF MEANS            =       4                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      36                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00000184       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00039110       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t1		.1183333	A
t2		.087	B
t3		.04	C
t4		-3.766667E	D

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t1		.1183333	A
t2		.087	B
t3		.04	C
t4		-3.766667E	D

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

ตารางที่ ค. 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ

```
*****************************************************************
*                                                               *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                         *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =     Weight.FACTOR B        *
*       NUMBER OF MEANS            =        3                   *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =       36                   *
*       ERROR MEAN SQUARE          =        0.00000184          *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =        0.00033871          *
*                                                               *
*****************************************************************

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

d30                  .06125    A
d20                  .051       B
d10                  .0435        C

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

 NAME      ID       MEAN              RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

d30                  .06125    A
d20                  .051       B
d10                  .0435        C

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

ตารางที่ ค. 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างระดับชีวมวลเริ่มต้นของไข่น้ำกับระยะเวลาที่มีผลต่อชีวมวลรวมของไข่น้ำ

```
*************************************************************
*                                                           *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                     *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    WeightINTER AB      *
*       NUMBER OF MEANS            =      12                *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      36                *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       0.00000184       *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       0.00067741       *
*                                                           *
*************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t1d30		.156	A
t1d20		.124	B
t2d30		.115	C
t2d20		.089	D
t1d10		.075	E
t3d30		.06	F
t2d10		.057	G
t3d20		.038	H
t3d10		.022	I
t4d10		.02	I
t4d20		-.047	J
t4d30		-.086	K

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t1d30		.156	A
t1d20		.124	B
t2d30		.115	C
t2d20		.089	D
t1d10		.075	E
t3d30		.06	F
t2d10		.057	G
t3d20		.038	H
t3d10		.022	I
t4d10		.02	J
t4d20		-.047	K
t4d30		-.086	L

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

ตารางที่ ค. 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำก่อนทำการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	17272.336	4318.084	5256.386	3.06	4.89
Ex.Error	15	12.322	0.821			
Total	19	17284.656	909.719			

GRAND MEAN = 41.56000000000001
CV = 2.18 %
LSD .05 = 1.365747
LSD .01 = 1.888718

****
* *
* DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST *
* PROBLEM IDENTIFICATION = WF_IN *
* NUMBER OF MEANS = 5 *
* ERROR DEGREE OF FREEDOM = 15 *
* ERROR MEAN SQUARE = 0.82149297 *
* STANDARD ERROR OF MEAN = 0.45318124 *
* *
****

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		83.12	A
t3		62.34	B
t2		41.56	C
t1		20.78	D
t0		0	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		83.12	A
t3		62.34	B
t2		41.56	C
t1		20.78	D
t0		0	E

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

ตารางที่ ค. 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมส่วนที่สูญเสียไปกับตัวอย่างน้ำที่เก็บไปวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยทดลอง

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	2422.111	605.528	908.276	3.06	4.89
Ex.Error	15	10.000	0.667			
Total	19	2432.111	128.006			

GRAND MEAN = 40.08599999999999
CV = 2.04 %
LSD .05 = 1.230344
LSD .01 = 1.701466

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = Sample
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 15
ERROR MEAN SQUARE = 0.66667831
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.40825185

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		56.56	A
t0		49.17	B
t1		35.9	C
t2		31.09	D
t3		27.71	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		56.56	A
t0		49.17	B
t1		35.9	C
t2		31.09	D
t3		27.71	E

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

ตารางที่ ค. 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียโดยปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหรือจากการระเหยสู่บรรยากาศและ/หรือได้รับเพิ่มมาจากการดึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในแต่ละหน่วยทดลอง

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	17121.374	4280.343	2006.437	3.06	4.89
Ex.Error	15	32.000	2.133			
Total	19	17153.376	902.809			

GRAND MEAN = 56.137278
CV = 2.60 %
LSD .05 = 2.200873
LSD .01 = 3.043629

```
**************************************************************
*                                                            *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                      *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    AIR                  *
*       NUMBER OF MEANS            =      5                  *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =     15                  *
*       ERROR MEAN SQUARE          =      2.13330603         *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =      0.73029208         *
*                                                            *
**************************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t3		82.65845	A
t2		77.29525	B
t1		66.04175	C
t4		53.54925	D
t0		1.14169	E

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t3		82.65845	A
t2		77.29525	B
t1		66.04175	C
t4		53.54925	D
t0		1.14169	E

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

ตารางที่ ค. 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำหลังการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	1344478.084	336119.521	%11763.252	3.06	4.8
Ex.Error	15	428.605	28.574			
Total	19	1344906.584	70784.557			

GRAND MEAN = 203.514
CV = 2.63 %
LSD .05 = 8.054742
LSD .01 = 11.13905

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROBLEM IDENTIFICATION = WT_OUT
NUMBER OF MEANS = 5
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 15
ERROR MEAN SQUARE = 28.57369041
STANDARD ERROR OF MEAN = 2.67271829

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t4		702.58	A
t0		214.74	B
t1		42.53	C
t2		30.03	D
t3		27.69	D

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

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t4		702.58	A
t0		214.74	B
t1		42.53	C
t2		30.03	D
t3		27.69	D

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

ตารางที่ ค. 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนรวมในไข่น้ำหลังการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	56301.055	14075.264	3405.378	3.06	4.89
Ex.Error	15	61.999	4.133			
Total	19	56363.055	2966.477			

GRAND MEAN = 98.398
CV = 2.07 %
LSD .05 = 3.063473
LSD .01 = 4.236534

```
**********************************************************
*                                                        *
*          DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST                  *
*       PROBLEM IDENTIFICATION     =    WF_OUT           *
*       NUMBER OF MEANS            =       5             *
*       ERROR DEGREE OF FREEDOM    =      15             *
*       ERROR MEAN SQUARE          =       4.13324499    *
*       STANDARD ERROR OF MEAN     =       1.01651919    *
*                                                        *
**********************************************************
```

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
t3		146.343	A
t4		137.31	B
t2		120.194	C
t1		88.143	D
t0		0	E

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

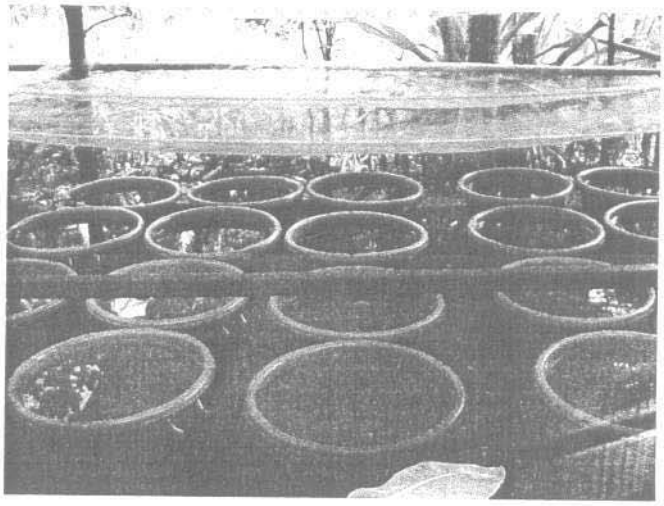
NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
t3		146.343	A
t4		137.31	B
t2		120.194	C
t1		88.143	D
t0		0	E

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

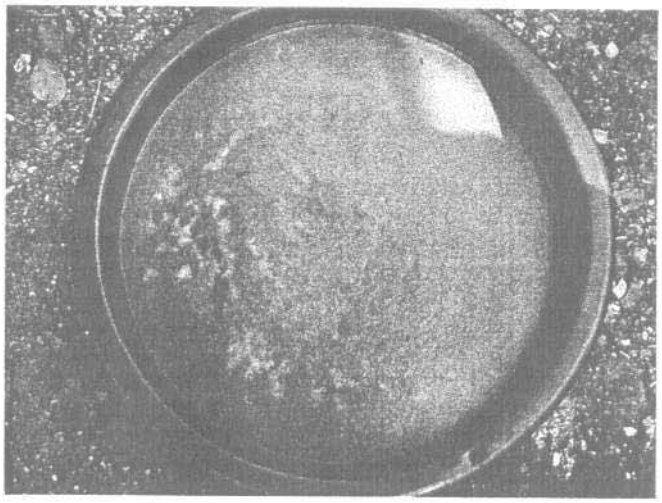
ภาคผนวก ง
ภาพการเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล

ภาพที่ ง. 1 บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

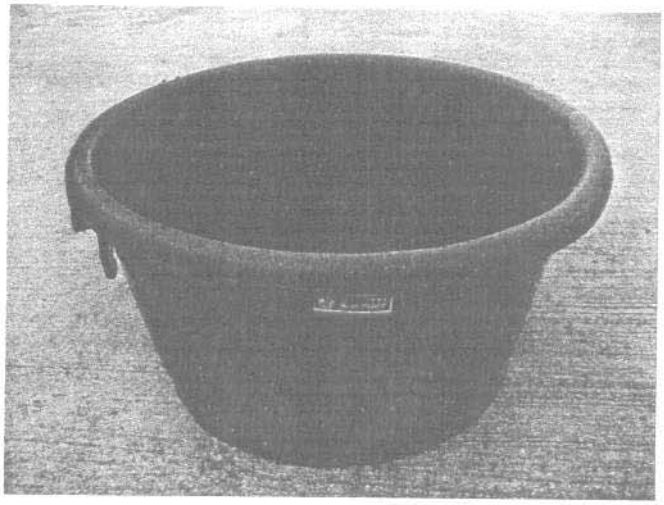
ภาพที่ ง. 2 การขนย้ายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ



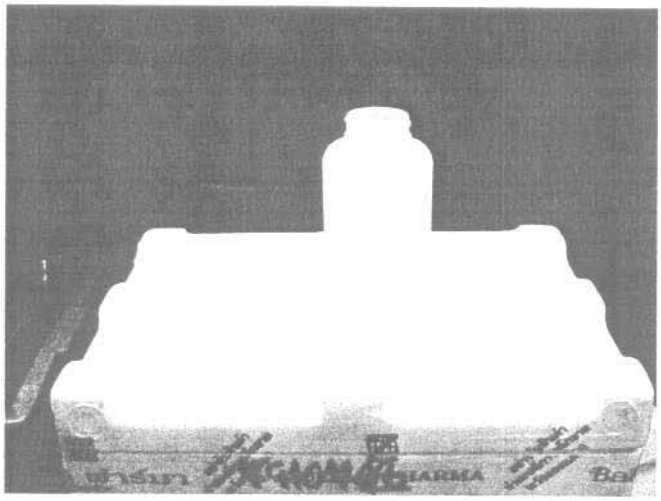
ภาพที่ ง. 3 น้ำทิ้งที่นำมาพักไว้ก่อนการทดลอง



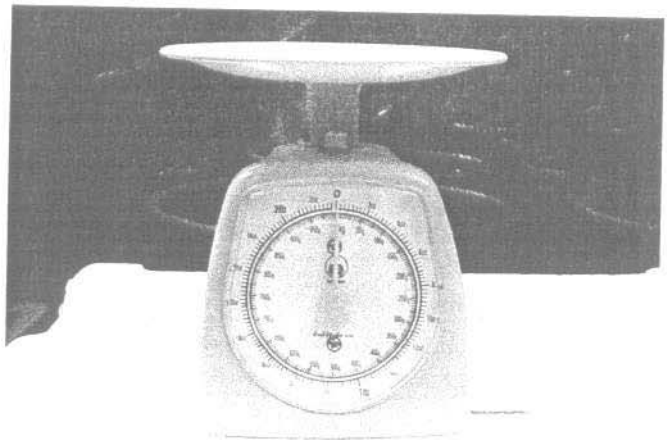
ภาพที่ ง. 4 ไข่น้ำที่นำมาพักไว้ก่อนการทดลอง



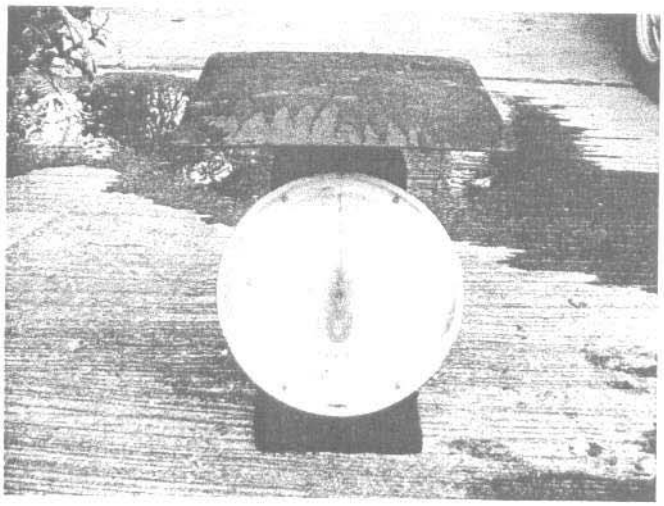
ภาพที่ ง. 5 ภาชนะพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ง. 6 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำและกล่องโฟม

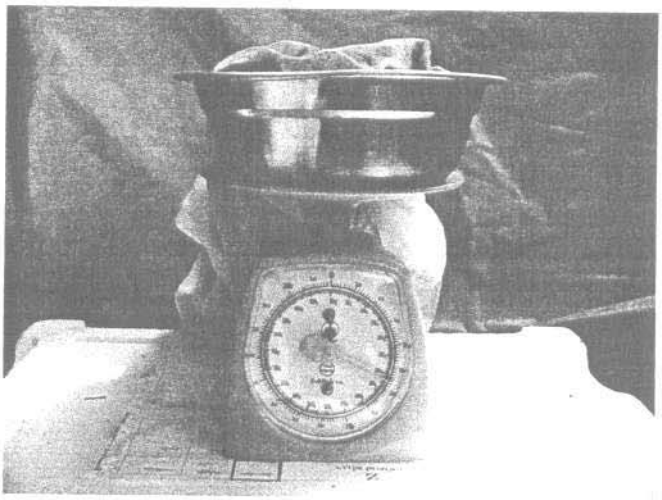


ภาพที่ ง. 7 เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม



ภาพที่ ง. 8 เครื่องชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

ภาพที่ ง. 9 การพักไข่น้ำก่อนทำการชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ ง. 10 การเก็บข้อมูลน้ำหนักไข่น้ำ

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2540.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

_____. 2545. **การจัดการและแก้ไขปัญหาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

_____. 2547. **รายงานแนวทางการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและแนวทางการควบคุมเลน.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

_____. 2548. (18 ธันวาคม). มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง (Online). Available URL: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html#s2.

_____. ม.ป.ป. **โครงการเสริมสร้างศักยภาพการจัดการน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมประมง. กองประมงน้ำจืด. 2538. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร:

กองควบคุมอาหาร. 2549. (17 กุมภาพันธ์). มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (Online). Available URL: http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/food/ntfmoph/ntf098.htm.

กิตติ เอกอำพล และสำอาง หอมชื่น. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม (*Scirpus mucronatus*) และผักตบชวา (*Eichhomia crassipes*). **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.** 9 (1): 14 – 31.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. **การบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์.

คณิต ไชยาคำ และคณะ. 2537. **คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ความรู้เบื้องต้นและการวิเคราะห์.** สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง.

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

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

เครือเจริญโภคภัณฑ์. 2548 ก. การส่งออกกุ้งไทยครึ่งปี พ.ศ. 2548. **วารสารข่าวกุ้ง.** 17 (สิงหาคม): 4.

เครือเจริญโภคภัณฑ์. 2548 ข. กุ้งไทยยังรอน้ำใจสหรัฐฯ. **วารสารข่าวกุ้ง.** 17 (กันยายน): 1.

จรัส แสนจิตต์. 2538. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบ่อผึ่งและบ่อผักบุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทร์ประภา ชุมชัย. 2546. ประสิทธิภาพของพืชน้ำบางชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

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

ชนกพร จุฑาสงฆ์. 2542. การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2540. ผลกระทบของน้ำทิ้งจากนากุ้งต่อคุณภาพดินและตะกอนดินบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนินทร์ อัมพรสถิร. 2536. ผลกระทบของการทำนากุ้งต่อคุณภาพน้ำบริเวณป่าชายเลนอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และคณะ. 2541. **รายงานผลการวิจัย เรื่อง การวิจัยเพื่อพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืนในพื้นที่น้ำจืด.** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

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. **ปริมาณมลสารทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2536. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

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

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธงชัย ภู่วชิรานนท์. 2526. การสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธนิฏฐา จงพีร์เพียร์. 2542. **ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในน้ำความเค็มต่ำ.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2542. กรุงเทพมหานคร: กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

ธนิยา เกาศล. 2545. **การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชน กรณีศึกษา : น้ำเสียชุมชนจากเทศบาลนครหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา**. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธวัชชัย รัตน์ชเลส และเจมส์เอฟ แมกซ์เวล. 2535. **รายชื่อวัชพืชที่มีรายงานพบในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: คนเมืองเหนือ.

ธิดาภรณ์ ช่อเพ็ชรไทย. 2543. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ กรณีศึกษา : โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

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

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

บุญมา กรายไทยสงค์. 2548. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.

บุญส่ง ไข่เกษ และคณะ. 2535. **รายงานการวิจัย เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนการเคหะแห่งชาติด้วยพืชน้ำ**. กรุงเทพมหานคร: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

บุญส่ง สิริกุล และคณะ. 2538. **การศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม.** รายงานการอบรมหลักสูตรนักบริหารการพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ระดับสูง รุ่นที่ 11. กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ปกรณ์ ประดิษฐ์ทอง. 2540. การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

ประพันธ์ ธารบุปผา และคณะ. 2530. **การเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา.** กรุงเทพมหานคร: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์.

ประวิทย์ สุรนีรนาถ. 2548. (8 พฤศจิกายน). ไข่น้ำ (Online). Available URL: http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt068.html.

ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2538. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

พรอุมา ไกรนรา. 2543. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์และคุณสมบัติทางเคมีบางประการในดินพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดที่บำบัดโดยวิธีการคราดพรวน. 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 (3): 154 – 157.

พายัพ ยังปักษี. 2544. **กุ้งชีวภาพ.** สมุทรปราการ: ไฟว์ อีดิเตอร์.

พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ. 2533. **ข้อสังเกตเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินบางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

ฟาร์มไทยสุวรรณอินเตอร์. 2548. (22 พฤศจิกายน). ผำ (Online). Available URL: http://www.ranchushop.com/Scope/Shop_Scope_By_Kashino_47_27.html.

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

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2540. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2547. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มัลลิกา ปัญญาคะโป. 2544 ก. **การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.** นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มัลลิกา ปัญญาคะโป. 2544 ข. **เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 516 457 การบำบัดน้ำเสีย 2.** นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มารุต มัสยวาณิช. 2537. **อุตสาหกรรมการส่งออกกุ้งกุลาดำเพาะเลี้ยงแช่แข็งเพื่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจ.** กรุงเทพมหานคร: หลักสูตรป้องกันราชอาณาจักรภาครัฐร่วมกับเอกชน รุ่นที่ 7 พ.ศ. 2537.

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.

ลีลนา สาริยา. 2537. การวิเคราะห์โปรตีนและกรดอะมิโนในต้นไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.). ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

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

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. 2532. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมะกะสัน กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2548. (22 พฤศจิกายน). ผำ (Online). Available URL: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9C%E0%B8%B3.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2548. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริภาวี ศรีเจริญ และคณะ. 2544. ไข่น้ำ. **วารสารสถาบันศูนย์บริการวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 9 (ตุลาคม – ธันวาคม): 15 – 20.

ศิริภาวี ศรีเจริญ, นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า. 2545. การเพาะเลี้ยงไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza*) สำหรับการลดต้นทุนค่าอาหารปลา. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 10 (กรกฎาคม – กันยายน): 22 – 26.

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

สนิท แก้วอักษร. 2532. **ป่าชายเลนนิเวศวิทยาและการจัดการ.** กรุงเทพมหานคร: คอมพิวเตอร์แอดเวอร์ไทซิ่งค์.

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

สมลักษณ์ นงนุช. 2543. การศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ สันวิลาศ. 2542. การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารและระดับความเข้มของแสงต่างกันในสภาพกลางแจ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

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

สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย. 2548. สถานการณ์กุ้งครึ่งปีหลัง. **วารสารอาหารแช่เยือกแข็งไทย.** 12 (กันยายน): 3.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2547**. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

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

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

สุทธิพงษ์ พงษ์วร. 2548. (20 พฤศจิกายน). ไข่น้ำ (Online). Available URL: http://www.ipst.ac.th/biology/Bio-Articles/mag-content6.html.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.** กรุงเทพมหานคร: แอคทีฟ พรินท์.

สุภาพร สุกสีเหลือง. 2538. **การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ดี.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่าวไทยตอนใน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสนาะ บุญมี. 2523. **พืชมีดอกเล่ม 2.** มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

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

โสภณ อ่อนคง และชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์. 2542. **แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ 1/2546. สตูล: ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

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

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

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

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

อะโน สุขเจริญ. 2542. การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ *(Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในชนิดอาหารและระดับความเข้มแสงต่างกันในสภาพกลางแจ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ. 2547. ไข่น้ำอาหารคุณค่าสูงที่กำลังถูกลืม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 13 (กันยายน – ธันวาคม): 95 – 101.

อำพล พงศ์สุวรรณ และอารีย์ สิทธิมังค์. 2532. **คู่มือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง.

APHA. AWWA. and WEF. 1998. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Boyd, C.E. 1992. Shrimp Pond Bottom Soil and Sediment Management. In Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming. **World Aquaculture Society.**

Hajek, B.B. and Boyd, C.E. 1994. Rating Soil and Water Information for Aquaculture. **Aquaculture Engineering.** 13: Pp.115 – 128.

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

Landolt, E. 1986. **Biosystematic Investigation in the Family of Duckweeds (Lemnaceae) (1, 2, 3) Verootfenthchungen des Geobatanischen Institutes der DTH.** Switzerland: Stiflung Rober Zurich 71 Heft.

Metcalf & Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd Edition. New York: McGraw – Hill.

Ray, W.M. and Chien, Y.H. 1992. Effect of Stocking Density and Aged Sediment on Tiger Prawn, *Penaeus Monodon*, Nursery System. **Aquaculture.** 104: Pp.231 – 248.

SAS. 1996. **User's Guide, Version 6.12.** Cary, NC.: SAS Institute.

Tchobanoglous, G. 1987. Aquatic Plant Systems for Wastewater Treatment : Engineering Considerations. In **Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery.** K.R. Reddy and W.H. Smith, eds. Orlando: Magnolia Publishing: Pp.27 – 48.

Tchobanoglous, G. 1997. Land – base Systems, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems in The United States: An Overview. In **Ecological Engineering for Wastewater Treatment.** Pp.77 – 87.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาว เสาวนิดย์ พุฒิเลอพงศ์
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเอกวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2544