การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล
ด้วยระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง

นางสาว มลวิภา ลือชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-264-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17589234 11 ต.ค. 2543

WATER QUALITY IMPROVEMENT IN *Tilapia nilotica* PONDS BY INTERMITTENT SAND FILTER SYSTEM

Miss Monwipha Luechai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-637-264-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบถังกรองทราย แบบไหลไม่ต่อเนื่อง
ชื่อนิสิต	นางสาว มลวิภา ลือชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

----------คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----------ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

----------อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

----------กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

----------กรรมการ
(อาจารย์ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

มลวิภา ลือชัย : การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง (Water Quality Improvement in *Tilapia nilotica* Ponds by Intermittent Sand Filter System) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 304 หน้า, ISBN 974-637-264-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล ที่เกิดจากการใช้ระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการกำจัดแพลงค์ตอนพืชออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อเลี้ยงปลาในอัตราต่างๆ และศึกษาหาอัตราการหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อให้สามารถเลี้ยงปลานิลได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงปลานิล 4 บ่อ ทำการทดลองเปรียบเทียบกัน การเลี้ยงปลาเป็นแบบระบบปิดจำนวน 50 ตัว/บ่อ โดยบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2, 3 และ 4 ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อแล้วนำไปบำบัดในถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในอัตรา 5, 10 และ 20 % หรือเท่ากับ 21, 42 และ 84 ลิตร/วัน ตามลำดับ และทดลองเปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 ที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิของทุกบ่อตลอดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 25.6-33.4 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำในทุกบ่อมีค่าอยู่ในระดับที่ปลานิลสามารถเจริญเติบโตได้ดี (มากกว่า 5 มก./ล.) และค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นในบ่อที่ 1 ผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อแล้วนำไปบำบัดในถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในอัตรา 0, 5, 10 และ 20 % ของบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์หรือของเสียต่างๆ ที่สะสมอยู่ในบ่อที่ 1 มีค่าสูงมากกว่าบ่ออื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ และสารต่างๆ เหล่านี้มีปริมาณลดน้อยลงในบ่อที่ 2, 3 และมีปริมาณน้อยที่สุดในบ่อที่ 4 โดยมีปริมาณแอมโมเนียเท่ากับ 2.1, 1.41, 0.86 และ 0.76 มก./ล.ไนโตรเจน ปริมาณไนไตรต์เท่ากับ 3.2, 2.1, 2.4 และ 0.79 มก./ล.ไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 13.1, 13.5, 15.5 และ 5.4 มก./ล.ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 13.7, 10.5, 9.7 และ 0.99 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 87.3, 86.8, 79.0 และ 71.4 มก./ล. ของน้ำในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลผลิตปลานิล พบว่าบ่อที่ 3 ให้ผลผลิตสุทธิสูงที่สุดเท่ากับ 4.81 กก./บ่อ รองลงมาคือ บ่อที่ 4, 2 และ 1 โดยให้ผลผลิตสุทธิเท่ากับ 4.15, 3.62, และ 3.01 กก./บ่อ ตามลำดับ ส่วนอัตรารอด พบว่าบ่อที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.6 % รองลงมาคือบ่อที่ 3, 1 และ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 70.5, 63.5 และ 53.8 % ตามลำดับ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อในอัตรา 5, 10 และ 20 % ช่วยลดการสะสมของสารอินทรีย์และของเสียต่างๆ รวมทั้งสารที่เป็นพิษต่อปลานิล โดยพบว่าที่อัตราการหมุนเวียนน้ำ 20 % มีประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของสารพิษ สารอินทรีย์และของเสียให้เหลือสะสมอยู่ในบ่อน้อยที่สุดได้อย่างชัดเจน และมีประสิทธิภาพรองลงมาคือที่อัตราการหมุนเวียนน้ำ 10 และ 5 % ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C717904 : : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: WATER QUALITY / *Tilapia nilotica* / RECIRCULATION / INTERMITTENT SAND FILTER

MONWIPHA LUECHAI : WATER QUALITY IMPROVEMENT IN *Tilapia nilotica* PONDS BY INTERMITTENT SAND FILTER SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 304pp. ISBN 974-637-264-5

The purposes of this study were to monitor the water quality variation in *Tilapia nilotica* ponds treated by intermittent sand filter system at different recirculation rates, and to determine the optimum recirculation rate for maximum efficiency of tilapia culture.

Four ponds with 50 tilapias for each were comparably conducted on closed system. The first pond was operated without any water quality improvement while others had been treated by intermittent sand filters with 5, 10 and 20% water recirculation equalling 21, 42 and 84 liter/day respectively .

From the experimental results, the water temperature varied from 25.6 to 33.4 °C and the average dissolved oxygen at all ponds was more than 5 mg/l which was suitable for cultivation of tilapia and the minimum dissolved oxygen found in the first pond. The greatest amount of accumulated organic substance or waste appeared significantly in the first pond and decreasingly declined from the second pond to the fourth pond. Especially in the fourth pond, the accumulated organic substance was the least. The mean nutrient concentrations in all ponds were as followed : 2.1, 1.4, 0.86 and 0.76 mg/l N for ammonia, 3.2, 2.1, 2.4 and 0.79 mg/l N for nitrite, 13.1, 13.5, 15.5 and 5.4 mg/l N for total nitrogen, and 13.7, 10.5, 9.7 and 0.99 mg/l for total phosphorus. The mean dissolved COD concentrations were not significantly different (87.3, 86.8, 79.0 and 71.4 mg/l consequently). The maximum net production of tilapia was found in pond 3 (4.81 kg/pond) and the net production of tilapia in the pond 4, 2 and 1 were 4.15, 3.62 and 3.01 kg/pond respectively. The highest survival rate, 77.6%, appeared in pond 4 and the rate of 70.5, 63.5 and 53.8% appeared in pond 3, 2 and 1 respectively.

In conclusion, the 20% water recirculation rate was the optimal rate which brought the minimum accumulated organic substance or waste while the 10 and 5% water recirculation gave the lower and lowest efficiency respectively.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา ๒๕๔๐ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในงานวิจัยและแง่คิดทางวิชาการ ตลอดจนฝึกให้รู้จักการทำงานและการค้นหาข้อมูลตลอดเวลา รวมถึงความอนุเคราะห์ในการให้ยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในงานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา และอาจารย์ วิบูลลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำอนุมัติโครงร่างงานวิจัยและเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบริษัท แซนอี 68 คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่อนุเคราะห์บ่อเลี้ยงปลาจำนวน 4 ใบ และถังกรองทรายจำนวน 2 ชุด

ขอขอบคุณ คุณธีระ ธีระวัฒเสถียร ที่ได้อนุเคราะห์จัดหาปลานิลมาให้ใช้ในการทดลอง คุณพยัน ตันสกุล และคุณชาญวิทย์ รักษาพล ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและเอกสารประกอบการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อนทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา และขอบคุณมากๆ สำหรับน้องๆ สัตวแพทย์ และพี่น้องชาวศึกษิตนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหลายอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด และขออุทิศให้แก่ปลานิลทุกตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ด
การเทียบศัพท์ ..... ท
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 คำนำ 1
1.2 แนวคิดของงานวิจัย 2
1.3 วัตถุประสงค์ 2
1.4 ขอบเขตการวิจัย 3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 4
2.1 ปลานิล 4
2.1.1 ประวัติและลักษณะทั่วไปของปลานิล 4
2.1.2 การเลี้ยงปลานิล 6
2.2 คุณภาพน้ำและปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล 6
2.2.1 พีเอช 6
2.2.2 ออกซิเจน 7
2.2.3 อุณหภูมิ 10
2.2.4 ไนโตรเจน 10
2.2.5 ความเค็ม 14
2.2.6 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 14
2.2.7 คาร์บอนไดออกไซด์ 15
2.2.8 แพลงค์ตอน 15
2.3 การหมุนเวียนของแร่ธาตุในบ่อปลา 17
2.3.1 คาร์บอนไดออกไซด์ 17
2.3.2 ออกซิเจน 23
2.3.3 ไนโตรเจน 31
2.3.4 ฟอสฟอรัส 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การใช้สารอาหารโดยแพลงค์ตอน 42
2.4.1 ฟอสฟอรัสที่ใช้เป็นอาหาร 44
2.4.2 ไนโตรเจนที่ใช้เป็นสารอาหาร 45
2.4.3 คาร์บอนและการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอน 46
2.5 ความสัมพันธ์ของสตอยชิโอเมตริก 47
2.6 ถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง 48
2.6.1 กลไกของการกรอง 50
2.6.2 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ 51
2.6.3 การทำงานและการดูแลรักษา 54
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 56
3.1 แผนงานวิจัย 56
3.1.1 ตัวแปรในการทดลอง 56
3.1.2 ขั้นตอนการวิจัย 58
3.1.2.1 การเตรียมการวิจัย 60
3.1.2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล 61
3.1.3 อาหารและการให้อาหารปลา 64
3.1.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 64
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 65
3.2.1 บ่อเลี้ยงปลา 65
3.2.2 ถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง 65
3.2.3 เครื่องสูบน้ำ 69
3.2.4 เครื่องเติมอากาศ 69
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล 74
4.1 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะของน้ำที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ 74
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทั่วไป 74
4.1.1.1 อุณหภูมิตลอดการทดลอง 74
4.1.1.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 79
4.1.1.3 สภาพนำไฟฟ้าของน้ำ 83

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร 86
4.1.2.1 แอมโมเนีย 86
4.1.2.2 ไนไตรต์ 98
4.1.2.3 ไนเตรต 102
4.1.2.4 ทีเคเอ็น 105
4.1.2.5 ฟอสฟอรัส 109
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงของระบบคาร์บอเนต 113
4.1.3.1 พีเอช 113
4.1.3.2 คาร์บอนไดออกไซด์ 115
4.1.3.3 ค่าสภาพด่าง 121
4.1.3.4 ค่าความกระด้าง 122
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงของระดับแพลงค์ตอน 132
4.1.4.1 แพลงค์ตอนพืช 132
4.1.4.2 ค่าของแข็งจมตัว (V30) 132
4.2 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดี และอินทรีย์คาร์บอน 142
4.2.1 ของแข็งแขวนลอยในน้ำ 142
4.2.2 ค่าซีโอดีละลายน้ำ 146
4.2.3 ปริมาณคาร์บอนในน้ำ 153
4.3 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อผลผลิตปลา 160
4.3.1 อัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อ 160
4.3.2 อัตรารอด 161
4.4 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ 174
4.4.1 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป 175
4.4.2 ประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณสารที่เป็นพิษต่อปลานิล 178
4.4.3 ประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์หรือของเสียที่สะสมในบ่อเลี้ยงปลา 182
4.5 ประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการกำจัดสารต่างๆ 193

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	196
5.1 สรุปผลการทดลอง	196
5.2 ข้อเสนอแนะ	196
รายการอ้างอิง	199
ภาคผนวก	204
ประวัติผู้เขียน	304

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระในน้ำจืด (FW) และน้ำทะเล (SW) ที่ระดับพีเอชและอุณหภูมิต่างๆ	12
2.2	ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด ($NH_3 + NH_4^+$) ที่ยอมให้มีได้ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายหรือมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา (NH_3 ไม่เกิน 0.025 มก./ล.)	13
2.3	ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	18
2.4	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิลิตรปรอท	24
2.5	ความสามารถในการละลายออกซิเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดันต่างกัน	25
2.6	ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ ที่มีคลอไรด์ระดับต่างๆ และที่อุณหภูมิ 0-50 องศาเซลเซียส และความดันอากาศ 1 บรรยากาศ	25
2.7	การผลิตและใช้ออกซิเจนในบ่อปลา	27
2.8	องค์ประกอบของเซลล์แพลงค์ตอน	42
2.9	เปอร์เซนต์เฉลี่ยของฟอสฟอรัสในแพลงค์ตอน	45
2.10	การใช้ถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการบำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว	49
2.11	รายละเอียดของตัวกลางในถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	51
2.12	สรุปผลคุณภาพน้ำที่ได้จากถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	52
2.13	เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	53
2.14	การทำงานและการดูแลรักษาถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	55
3.1	แผนการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล	57
3.2	ตัวแปรตามที่ต้องการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์	59
3.3	น้ำหนักของปลานิลในบ่อทดลองเมื่อเริ่มทดลอง และปริมาณอาหารที่ให้ในมื้อแรก	60
3.4	รายละเอียดการทำงานของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	62
3.5	แสดงการทำงานและการใช้เวลาในหนึ่งวัน	63
3.6	ปริมาณการให้อาหารแก่ปลานิลขนาดต่างๆ	64
4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลและน้ำออกจากถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	75
4.2	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งออกจากบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลในวันจับปลา (วันที่ 140 ของการทดลอง เก็บน้ำตัวอย่างที่เวลา 10:00 น)	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.3	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิตลอดการทดลอง (องศาเซลเซียส).....	80
4.4	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง (มก./ล.)	82
4.5	สรุปเวลาในการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ.....	82
4.6	อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 4 กค. 2539 ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 21:00 น.	84
4.7	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสภาพนำไฟฟ้าตลอดการทดลอง (ไมโครซีเมนต์/ซม.).....	88
4.8	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแอมโมเนียตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน).....	92
4.9	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของไนไตรต์ตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน).....	101
4.10	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของไนเตรตตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน).....	104
4.11	ปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อ และค่าไนเตรตเฉลี่ยในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ.....	106
4.12	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าทีเคเอ็นตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน).....	108
4.13	ปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อ และค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ.....	109
4.14	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของฟอสฟอรัสตลอดการทดลอง (มก./ล.).....	112
4.15	สรุป ปริมาณอาหารที่ให้ ค่าเฉลี่ยของพีเอช ของแข็งแขวนลอย สภาพด่างและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ.....	115
4.16	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพีเอชตลอดการทดลอง.....	117
4.17	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการทดลอง (มก./ล.)...	120
4.18	ปฏิกิริยาในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น.....	122
4.19	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสภาพด่างตลอดการทดลอง (มก./ล. หินปูน).....	124
4.20	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความกระด้างตลอดการทดลอง (มก./ล. หินปูน)..	128
4.21	เปรียบเทียบค่าความกระด้างและค่าสภาพด่างของน้ำในวันที่ 37 ของการทดลอง.....	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.22	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าของแข็งจมตัว (มิลลิลิตร/ลิตร)	137
4.23	เปรียบเทียบค่าของแข็งจมตัวกับค่าของแข็งแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ	141
4.24	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลอง (มก./ล)	144
4.25	แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ทำการทดลองต่างๆ	145
4.26	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าซีโอดีตลอดการทดลอง (มก./ล.)	149
4.27	แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีละลายน้ำและอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ	151
4.28	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดตลอดการทดลอง (มก./ล)	157
4.29	สรุปผลของการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลอง	162
4.30	แสดงการเจริญเติบโตของปลานิล	163
4.31	แสดงขนาดของปลานิลที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ	164
4.32	แสดงจำนวนปลาตาย	168
4.33	ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต	174
4.34	ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป	176
4.35	ปริมาณของสารที่เป็นพิษต่อปลานิล	179
4.36	แสดงค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียอิสระจากการคำนวณ (มก./ล.ไนโตรเจน)	180
4.37	ปริมาณของแอมโมเนียและไนไตรต์ในน้ำของวันที่มีจำนวนปลาตายสูงสุด	182
4.38	แสดงค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ (มก./ล.ไนโตรเจน)	184
4.39	ปริมาณของเสียที่สะสมอยู่ในบ่อ	186
4.40	การคำนวณปริมาณสารตกค้างที่เกิดจากการให้อาหารปลาในบ่อต่างๆ	188
4.41	การคำนวณปริมาณสารอาหารสะสมที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ	189
4.42	การคำนวณปริมาณสารอาหารสะสมในรูปต่างๆ	190
4.43	การคำนวณปริมาณแพลงค์ตอนที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสารอาหารที่สะสมอยู่ในบ่อและเปรียบเทียบกับปริมาณจริงที่เกิดขึ้น	192
4.44	ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสารต่างๆ ของระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	194
5.1	แสดงผลสรุปที่ได้จากการทดลอง	198

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปลานิล	5
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด สภาพด่าง และพีเอช	8
2.3	ปริมาณของ CO_2, HCO_3^-, และ CO_3^{2-} ที่ระดับพีเอชต่างๆ	9
2.4	อิทธิพลของพีเอชและสภาพด่างที่มีต่อ LC_{50} ของแอมโมเนีย เมื่อทดสอบกับปลาเทร้าท์	13
2.5	การกระจายตัวของสารประกอบซัลเฟอร์ต่างชนิด ที่ระดับพีเอชต่างๆ	16
2.6	การผันแปรในรอบวันของคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อปลา	20
2.7	การหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อปลา	22
2.8	การผันแปรของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในรอบวัน	29
2.9	ปริมาณออกซิเจนในบ่อปลาที่มีปริมาณแพลงค์ตอนพืชมาก ปานกลาง และน้อย ตามระดับความลึกของน้ำ	30
2.10	การผันแปรของออกซิเจนที่ละลายน้ำในรอบวันของบ่อปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชมาก ปานกลาง และน้อย	32
2.11	ท้องฟ้ามืดครึ้มติดต่อกัน 2 วัน ทำให้แพลงค์ตอนไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ ระดับออกซิเจนละลายน้ำในตอนเช้าตรู่จึงมีค่าลดลงทุกวัน และมีค่าต่ำมากในวันที่สาม	33
2.12	อิทธิพลของพีเอชในการกำหนดความเข้มข้นของ NH_3 และ NH_4^+	36
2.13	การหมุนเวียนของธาตุไนโตรเจนในบ่อปลา	38
2.14	อิทธิพลของพีเอชของน้ำที่มีผลต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในบ่อปลา	41
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม พีเอชของน้ำและปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ	41
2.16	การหมุนเวียนของธาตุฟอสฟอรัสในบ่อปลา	43
3.1	Flow Diagram ของบ่อทดลองที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	57
3.2	แบบจำลองของบ่อที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง (ISF)	66
3.3	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	67
3.4	แสดงรูปตัดและแปลนของบ่อเลี้ยงปลา	68
3.5	แสดงรูปตัดของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องของถังใบที่ 2 และ 3	70
3.6	แสดงรูปแปลนของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องของถังใบที่ 2 และ 3	71
3.7	แสดงรายละเอียดของท่อระบายน้ำที่กรองแล้วของถังกรองใบที่ 2 และ 3	71
3.8	แสดงรูปตัดของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องของถังใบที่ 4	72
3.9	แสดงรูปแปลนของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องของถังใบที่ 4	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	แสดงรายละเอียดของท่อระบายน้ำที่กรองแล้วของถังใบที่ 4	73
4.1	อุณหภูมิของน้ำตลอดการทดลอง	78
4.2	ค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง	81
4.3	ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำตลอดการทดลอง	87
4.4	แสดงความสัมพันธ์ของสภาพนำไฟฟ้ากับความกระด้าง และฟอสฟอรัสทั้งหมด ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ	89
4.5	แอมโมเนียในน้ำตลอดการทดลอง	91
4.6	แสดงปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ	92
4.7	แสดงความสัมพันธ์ของ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต	94
4.8	แสดงปริมาณอาหารปลาที่ให้ในบ่อต่างๆ	99
4.9	ไนไตรต์ในน้ำตลอดการทดลอง	100
4.10	ไนเตรตุในน้ำตลอดการทดลอง	103
4.11	ทีเคเอ็นในน้ำตลอดการทดลอง	107
4.12	ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำตลอดการทดลอง	111
4.13	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ	112
4.14	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอาหาร ของแข็งแขวนลอย พีเอช สภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัส ในบ่อต่างๆ	114
4.15	ค่าพีเอชของน้ำตลอดการทดลอง	116
4.16	คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำตลอดการทดลอง	119
4.17	สภาพด่างของน้ำตลอดการทดลอง	123
4.18	แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นกับค่าสภาพด่างในน้ำ	125
4.19	ความกระด้างของน้ำตลอดการทดลอง	127
4.20	แสดงความสัมพันธ์ของสภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัสในน้ำ	130
4.21	แสดงค่าพีเอช สภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ	131
4.22	แสดงภาพของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา	133
4.23	แสดงค่าของแข็งจมตัว	137
4.24	แสดงลักษณะการจมตัวของตะกอนในน้ำ	139

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.25	ของแข็งแขวนลอยในน้ำตลอดการทดลอง	143
4.26	แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ	144
4.27	อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย	147
4.28	ซีโอดีละลายน้ำตลอดการทดลอง	148
4.29	แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีละลายน้ำและอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ	151
4.30	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อกับซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ที่เกิดขึ้นในบ่อต่างๆ	152
4.31	อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าซีโอดีละลายน้ำ	154
4.32	แสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และของแข็งแขวนลอย ในบ่อต่างๆ	155
4.33	แสดงปริมาณคาร์บอนในน้ำ	156
4.34	แสดงความสัมพันธ์ของค่าอนินทรีย์คาร์บอนกับค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าสภาพด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ	159
4.35	อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอน	161
4.36	อัตราการเจริญเติบโตของปลานิล	163
4.37	แสดงขนาดของปลานิลตัวใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ	165
4.38	แสดงจำนวนปลาตายในบ่อต่างๆ	167
4.39	แสดงผลกระทบของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและไนไตรต์ไนโตรเจนต่อการตายของปลานิลในบ่อต่างๆ	169
4.40	อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อการเจริญเติบโตของปลานิล	171
4.41	อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อปริมาณของเสียต่างๆ	171
4.42	แสดงค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ (มก./ล.ไนโตรเจน)	184

การเทียบศัพท์

ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ
กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น	Denitrification
กระบวนการไนตริฟิเคชั่น	Nitrification
กระบวนการสังเคราะห์แสง	Photosynthetic
การตรึงไนโตรเจนจากอากาศ	nitrogen fixation
การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา	Semi - intensive
การเลี้ยงแบบธรรมดา	Extensive
การเลี้ยงแบบพัฒนาหรือหนาแน่น	Intensive
ขนาดสัมฤทธิ์	Effective Size
ค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด	Ks
ถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง	Intermittent sand filter
แบคทีเรียซึ่งใช้อนินทรีย์สารเป็นอาหาร	Autotrophic Bacteria
แบคทีเรียดีไนตริฟายอิง	Denitrifying Bacteria
แบคทีเรียที่ใช้อินทรีย์สารเป็นอาหาร	Saprophytic Bacteria
แบคทีเรียไนตริฟายอิง	Nitrifying Bacteria
แบคทีเรียไนโตรโซโมนาซ	Nitrosomonas
แบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์	Nitrobacter
ปลานิล	*Tilapia nilotica*
แพลงค์ตอน	Plankton
แพลงค์ตอนพืช	Phytoplankton
แพลงค์ตอนสัตว์	Zooplankton
ภาวะโรคเลือดน้ำตาล	Brown blood disease
เมทฮีโมโกลบิน	Methemoglobin
สัมประสิทธิ์ความไม่สม่ำเสมอ	Non Uniformity Coefficient
สาหร่ายสีเขียว	Green algae
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	Blue green algae
ฮีโมโกลบิน	Hemoglobin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย