

ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม  
ที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ



นางสาว ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3950-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF WASTEWATER CONCENTRATION ON TREATMENT EFFICIENCY OF  
CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING BATCH SYSTEM

Miss Cheewarat Silaparat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirments  
for the Degree of Master of Science Programe in Environmental Science (Inter-department)

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 2005

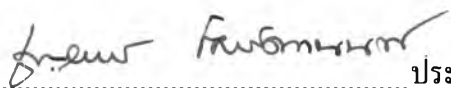
ISBN 974-17-3950-8

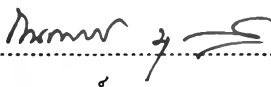
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่  
ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ  
โดย นางสาวชีวรัตน์ ศิลปรัตน์  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรชิตวิกรกุล

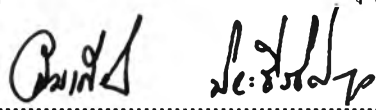
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

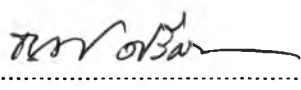
 ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ดิงศักดิ์ทิพย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานูวิทย์ โมยมิตานนท์)

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง)

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรชิตวิกรกุล)

 ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ ศรีสถิตย์)

 ..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว)

ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์: ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ที่ปลูก  
พันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ (EFFECT OF WASTEWATER CONCENTRATION ON TREATMENT  
EFFICIENCY OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING  
BATCH SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. กนกพร บุญส่ง, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรชิตีวรกุล  
227 หน้า, ISBN 974-17-3950-8

การวิจัยนี้ทำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่สร้างด้วยบ่อซีเมนต์ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2 ม. สูง 0.6 ม. โดยมี  
ปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ชนิดพืช ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicenia  
marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) และไม้ปลูกพืช (ชุดควบคุม)  
ความเข้มข้นของน้ำเสีย ได้แก่ น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ซึ่งมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 20 มก./ล. และฟอสฟอรัส  
ทั้งหมด 4 มก./ล. และน้ำเสียชุมชนที่ปรับเพิ่มให้มีความเข้มข้นของ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดเป็น  
2, 5 และ 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ โดยมีน้ำทะเลเป็นชุดควบคุม ระยะเวลาเก็บที่ใช้ในการทดลอง คือ  
7, 5 และ 3 วัน ชุดการทดลองทั้ง 25 ชุด จัดสร้างภายใต้หลังคาคลุม ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา  
สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ผลการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืช  
สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าชุดควบคุมไม้ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้  
มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ในเดรท ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต  
อยู่ในช่วง 23.39-94.32, 48.72-88.68, 29.61-96.30, 13.33-79.16, 75.22-92.57 และ 74.79-92.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ  
และมีแนวโน้มว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การบำบัดน้ำเสียจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบ  
เปอร์เซ็นต์การบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วันมีค่าเปอร์เซ็นต์  
การบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ การศึกษาสมบัติของดินภายหลังการทดลองบำบัด  
น้ำเสีย พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด) สูงขึ้นอย่างมี  
นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปรตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และจากการศึกษา พบว่า การสะสม  
อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดินชั้นบนสูงกว่าดินชั้นล่าง สำหรับปริมาณธาตุอาหารในกล้าไม้ภายหลังการทดลอง  
บำบัดน้ำเสีย พบว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าชุดควบคุมน้ำทะเล และพบว่า  
กล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพสูงที่สุด ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบพื้นที่  
ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดี ดังนั้นการใช้ป่าชายเลนปลูกในการ  
บำบัดน้ำเสียชุมชนก่อนปล่อยออกทะเลจึงเป็นไปได้

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต *ปณต วิมล*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *สมเกียรติ ปิยะธีรชิตีวรกุล*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *กนกพร บุญส่ง*

## 4589079020: MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: MUNICIPAL WASTEWATER/ CONSTRUCTED WETLAND / MANGROVE SPECIES

CHEEWARAT SILAPARAT: EFFECT OF WASTEWATER CONCENTRATION ON TREATMENT EFFICIENCY OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING BATCH SYSTEM: ASST. PROF. KANOKPORN BOONSONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D, 227 pp. ISBN 974-17-3950-8

The experiment was conducted in 25 cement blocks of 1 x 2 x 0.6 meters each. The study was designed using 4 mangrove species (*Rhizophora mucronata*, *Avicenia marina*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal* and without plant as a control) and 4 wastewater concentration (normal wastewater (NW), 2, 5 and 10 times higher total nitrogen and total phosphorus of normal wastewater (2NW, 5NW and 10NW) and seawater as a control). Wastewater was retained within the system for 7, 5 and 3 days. The experiment was conducted in a greenhouse at Royal Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project in Petchaburi province. The results indicated that all plants had ability of municipal wastewater treatment in constructed wetland higher than control (without plant) unit. The removal percentage of the experiment sets planted with mangrove species for BOD, total nitrogen, amonium, nitrate, total phosphorus, ortho-phosphate were 23.39-94.32, 48.72-88.68, 29.61-96.30, 13.33-79.16, 75.22-92.57 and 74.79-92.53 % respectively. According to wastewater concentration, the removal percentage of all treatment units received low concentration wastewater was higher than higher concentration wastewater. Moreover, the removal percentage of 7 day- detention time was higher than the 5 day- and 3 day- detention time, respectively. After receiving wastewater, organic matter and nutrients (total nitrogen and total phophorus) accumulation in surface soil layer increased significantly with concentrations of wastewater. Soil irrigated with 10NW had the highest contents of organic matter and nutrients. Organic matter and nutrients were accumulated higher on the surface soil layer than the sub soil layer. After treating, nutrients concentration in plants were analysed and found that plant cultivated with wastewater had higher nutrients than seawater. The highest growth rate and biomass found in *Rhizophora mucronata*. The results suggested that the constructed wetland planted with mangrove species was effective for removing nutrients from wastewater. Therefore, the use of mangrove plantations for municipal wastewater treatment is applicable.

Inter-department Environmental Science.....  
Field of Study Environmental Science.....  
Academic year 2005.....

Student's Signature.....  
Advisor's Signature.....  
Co-Advisor's Signature.....

Chut S.  
Kanokporn Boonsong.  
Somkiat P.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องด้วยความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิดีวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ สั่งสอน ตลอดจนความคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยห่วงใยและให้กำลังใจมา โดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็น ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว ประธาน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้ พื้นที่ในการศึกษาทดลอง และสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ คำแนะนำและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โครงการ “การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน” สนับสนุน โดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนิยมน กน่วม และเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมากในการทำการศึกษาศึกษาและ เก็บข้อมูลภาคสนามมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณประธาน สังวร หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการป่าชายเลน พบ. 1 สำนักงานป่าไม้ เขตเพชรบุรี และ คุณสมชาย ดิษฐศรี หัวหน้ากลุ่มงานวิชาการป่าไม้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ที่อนุเคราะห์กล้าไม้ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีทาง ชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่อนุเคราะห์สถานที่และ เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวศิลปินรัตน์ ที่กรุณาในการอุปการะ ทางด้านทุนการศึกษา พร้อมให้ความรัก ความห่วงใย และให้กำลังใจตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำเสียชุมชน.....	4
2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands).....	7
2.3 ป่าชายเลน.....	10
2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ.....	16
2.5 พันธุ์ไม้ชายเลนกับการบำบัดน้ำเสีย.....	24
3. วิธีการดำเนินการศึกษา.....	26
3.1 สถานที่ทำการทดลอง.....	26
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.4 วิธีการทดลอง.....	29
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	36
4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	37
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ.....	37
4.2 ผลการศึกษาสมบัติของดิน.....	85
4.3 ผลการศึกษากาเรณูเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้.....	119

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	144
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	144
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	148
รายการอ้างอิง.....	151
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	157
ภาคผนวก ข.....	216
ภาคผนวก ค.....	219
ภาคผนวก ง.....	224
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	227



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะของน้ำเสียชุมชน..... 5
3.1	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... 25
3.2	สารเคมีสำหรับปรับความเข้มข้นของน้ำเสีย..... 28
3.3	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์น้ำ..... 32
3.4	พารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์ดิน..... 33
3.5	พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์พืช..... 35
4.1	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน..... 41
4.2	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน..... 42
4.3	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน..... 43
4.4	ความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน..... 45
4.5	ความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน..... 46
4.6	ความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน..... 47
4.7	การนำไฟฟ้าของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน..... 49
4.8	การนำไฟฟ้าของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน..... 50
4.9	การนำไฟฟ้าของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน..... 51
4.10	อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน..... 53
4.11	อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน..... 54
4.12	อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน..... 55
4.13	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน..... 58
4.14	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน..... 59
4.15	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน..... 60
4.16	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นบน (0-10 ซม.)..... 87
4.17	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นบน (0-20 ซม.)..... 88
4.18	ค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นบน (0-10 ซม.)..... 90
4.19	ค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นล่าง (0-20 ซม.)..... 91
4.20	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นบน (0-10 ซม.)..... 93
4.21	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)..... 94

4.22	ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	96
4.23	ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นบน (10-20 ซม.).....	98
4.24	ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรีย์วัตถุของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	101
4.25	ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรีย์วัตถุของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	102
4.26	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	104
4.27	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	105
4.28	ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	107
4.29	ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	108
4.30	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	110
4.31	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	111
4.32	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	113
4.33	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	114
4.34	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	117
4.35	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	118
4.36	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้.....	121
4.37	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้.....	125
4.38	สมการ allometric relation สำหรับคำนวณกล้าไม้.....	128
4.39	ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนลำต้นของกล้าไม้.....	130
4.40	ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนชีวภาพส่วนใบของกล้าไม้.....	131
4.41	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้.....	138
4.42	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้.....	139
4.43	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้.....	142
4.44	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้.....	143
5.1	การคาดประมาณปริมาณบีโอดีและธาตุอาหารที่ป่าชายเลนสามารถบำบัดได้.....	148



ผ30	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน.....	186
ผ31	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน .....	187
ผ32	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน .....	188
ผ33	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน.....	189
ผ34	ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน.....	190
ผ35	ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน.....	191
ผ36	ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน.....	192
ผ37	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟต เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน.....	193
ผ38	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟตเมื่อใช้ ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน.....	194
ผ39	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟต เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน.....	195
ผ40	ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	196
ผ41	ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	197
ผ42	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	198
ผ43	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	199
ผ44	ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	200
ผ45	ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	201
ผ46	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	202
ผ47	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	203
ผ48	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	204
ผ49	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.).....	205
ผ50	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นบน (0-10 ซม.).....	206
ผ51	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นล่าง (0-20 ซม.).....	207
ผ52	ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้ .....	208
ผ53	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ .....	209
ผ54	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนลำต้นของกล้าไม้.....	210
ผ55	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนใบของกล้าไม้ .....	211
ผ56	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ .....	212
ผ57	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้.....	213
ผ58	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้.....	214
ผ59	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้.....	215

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (free water surface system , FWS) ..... 9
2.2	ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow system, SFS) ..... 9
2.3	การปรับทิศทางโครงสร้างของรากของพันธุ์ไม้ชายเลน ..... 14
2.4	การบำบัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ ..... 21
2.5	การกระจายของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิตั้ง 25 องศาเซลเซียส ..... 22
2.6	การบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ ..... 23
3.1	พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และแปลงทดลอง ..... 27
3.2	คำรับทดลอง ..... 30
3.3	แผนการดำเนินงาน ..... 37
4.1	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 63
4.2	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกพืชต่างชนิด ..... 64
4.3	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 67
4.4	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลองที่ ปลูกพืชต่างชนิด ..... 68
4.5	เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 71
4.6	เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลอง ที่ปลูกพืชต่างชนิด ..... 72
4.7	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 75
4.8	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกพืชต่างชนิด ..... 76
4.9	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 79

รูปที่	หน้า
4.10	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกพืชต่างชนิด..... 80
4.11	เปอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโทฟอสเฟตของน้ำเสียความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ..... 83
4.12	เปอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโทฟอสเฟตของน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกพืชต่างชนิด ..... 84
4.13	การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้..... 123
4.14	การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ ..... 126
4.15	การเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพส่วนลำต้นของกล้าไม้..... 132
4.16	การเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพส่วนใบของกล้าไม้..... 134
ง.1	ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ก่อนเริ่มทำการทดลอง..... 225
ง.2	ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และการเก็บตัวอย่างดิน... 226