ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชน ของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ

นายศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-53-2751-4
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING BATCH SYSTEM

Mr. Supakit Jiensuwan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2751-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ
โดย	นายศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปียะธีรธิติวรกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปียะธีรธิติวรกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สนิท อักษรแก้ว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์: ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ (EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING BATCH SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. กนกพร บุญส่ง, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล 200 หน้า, ISBN 974-53-2751-4

การทดลองทำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่สร้างเป็นบ่อซีเมนต์ ขนาดกว้าง 100 ซม. ยาว 200 ซม. สูง 60 ซม. มีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเค็มของน้ำเสีย ได้แก่ น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6 psu, 12, psu 18 psu และ 24 psu และน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่ไม่มีการปรับความเค็มซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ตะกั่ว และทองแดงเท่ากับ 25.0, 7.0, 1.0 และ 0.7 mg/l ตามลำดับ เป็นชุดควบคุม และปัจจัยพืช ได้แก่ ชุดโกงกางใบใหญ่ *(Rhizophora mucronata)* แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) และชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) พืชทุกชนิดมีอายุประมาณ 2 ปี การกักเก็บน้ำเสียใช้เวลากักเก็บ 7 วัน ชุดการทดลองทั้ง 25 ชุด จัดสร้างภายใต้หลังคาใส ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ผลการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 93.97-95.86, 90.13-93.80 และ 91.06-93.34 % ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสามารถบำบัดได้อยู่ในช่วง 64.09-81.83 % และชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดทุกพารามิเตอร์ (ยกเว้น บีโอดี แอมโมเนีย และไนเตรท) สูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาสมบัติของดินภายหลังการบำบัดน้ำเสีย พบแนวโน้มว่า ดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีการสะสมอินทรียวัตถุและธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด) สูงกว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และดินชั้นบนมีการสะสมอินทรียวัตถุและธาตุอาหารสูงกว่าดินชั้นล่าง สำหรับการสะสมธาตุอาหารในกล้าไม้ภายหลังการบำบัดน้ำเสีย พบแนวโน้มว่า กล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบสูงกว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และกล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพสูงที่สุด การศึกษาปริมาณโลหะหนักในชุดทดลอง พบแนวโน้มว่า ปริมาณตะกั่วทั้งในน้ำเสีย ดิน และกล้าไม้ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ปริมาณทองแดง พบแนวโน้มว่า ทุกชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ และภายหลังการบำบัดน้ำเสีย ดินและใบของกล้าไม้มีปริมาณทองแดงสูงขึ้น โดยที่กล้าไม้แสมทะเลมีการสะสมทองแดงสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น จากผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ว่า การเลือกใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเพื่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่เหมาะสม ควรปรับสภาพน้ำให้มีความเค็ม 12 psu และพืชที่ปลูกควรใช้แสมทะเล

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) ลายมือชื่อนิสิต ศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4689160120: MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: DOMESTIC WASTEWATER/CONSTRUCTED WETLAND/MANGROVE/HEAVY METAL

SUPAKIT JIENSUWAN: EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING BATCH SYSTEM. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. KANOKPORN BOONSONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D., 200 pp. ISBN 974-53-2751-4

The experiment was conducted in 25 cement blocks with each size of 100 x 200 x 60 (centimeters)^3. The study was designed by using 5 wastewater salinities (6, 12, 18 and 24 psu and normal wastewater (NW) as a control) and 5 plant species (two year-old 4 mangrove species i.e. *Rhizophora mucronata*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza* and *Ceriops tagal*; and without plant as a control).The 7-day detention time was used. The experiment was conducted in a greenhouse at Royal Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi province. The results indicated that the removal percentages of total nitrogen in NW, 6 psu and 12 psu wastewater were 93.97-95.86, 90.13-93.80 and 91.06-93.34 %, respectively and were not significantly different. The removal percentage of total phosphorus of 24 psu wastewater was 64.09-81.83 % which was significantly higher than other salinities. Moreover, the results indicated that all experiment sets planted with mangrove species showed higher removal percentages in all parameters (excepted BOD, ammonia and nitrate) than control sets (without plant) ($p<0.05$). After the treatment experiment, soil in experiment sets received 24 psu wastewater had the highest organic matter and nutrients (total nitrogen and total phosphorus) accumulation rate. Organic matter and nutrients were accumulated higher on the surface soil layer than those in the sub soil layer. At the end of the treatment experiment, nutrient accumulation in plants received 12 psu wastewater had higher total nitrogen than other salinities. Furthermore, the results indicated *A. marina* showed the highest biomass increment rate. According to the heavy metal study, the concentration of lead in water, soil and plants before and after treatment were not changed, whereas concentration of copper in water in all experiment sets tended to decrease. After the treatment experiment, concentration of copper in soil and plants slightly increased. Copper was accumulated in *A. marina* higher than other mangrove species. Therefore, the results suggested that the optimal condition of constructed wetland planted with mangrove species for wastewater treatment should design at salinity 12 psu and planted with *A. marina*.

Field of study Environmental Science (Inter-Department) Student's signature Supakit Jiensuwan
Academic year 2005 Advisor's signature Kanokporn B.
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยให้ความเอาใจใส่ ห่วงใย และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อมาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ และ ศาสตราจารย์ ดร. สนิท อักษรแก้ว ที่กรุณาสละเวลาเพื่อมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการศึกษาทดลอง และอนุเคราะห์ด้านที่พักและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ในการเก็บข้อมูล

ขอขอบพระคุณโครงการ “การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน” สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนิยม นกน่วม และเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมากในการศึกษา รวมทั้งการเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่ต้นจนจบการทดลอง

ขอขอบพระคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการพร้อมทั้งเครื่องมือวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง นักวิทยาศาสตร์ ระดับ 6 ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และญาติพี่น้องทุกคน ที่กรุณาให้การอุปการะทั้งในด้านทุนการศึกษา ความรัก กำลังใจ และความห่วงใยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม 4

2.2 น้ำเสียชุมชน 7

2.3 ป่าชายเลน 14

2.4 ความเค็ม 19

2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสีย 20

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

3. วิธีดำเนินการศึกษา 30

3.1 สถานที่ทำการทดลอง 30

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 30

3.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง 30

3.4 วิธีการทดลอง 32

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 38

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล 41

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ 41

4.2 ผลการศึกษาสมบัติของดิน 81

4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ 118

หน้า

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 147
5.1 สรุปผลการศึกษา 147
5.2 ข้อเสนอแนะ 152
รายการอ้างอิง 155
ภาคผนวก 161
ภาคผนวก ก 162
ภาคผนวก ข 189
ภาคผนวก ค 192
ภาคผนวก ง 197
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป 11
3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ปรับระดับความเค็มและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย 31
3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 35
3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน 36
3.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช 38
4.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนทดลองทั้ง 9 ครั้ง 42
4.2 ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม และการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 46
4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 48
4.4 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 51
4.5 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดบีโอดี 51
4.6 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 55
4.7 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมด 55
4.8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 61
4.9 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 61
4.10 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 65
4.11 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดแอมโมเนีย 65
4.12 ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 69
4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 72
4.14 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 72
4.15 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 76
4.16 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดออร์โธฟอสเฟต 76
4.17 ปริมาณทองแดงของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 80
4.18 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 82
4.19 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 83
4.20 ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 85
4.21 ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 86
4.22 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 88

ตารางที่ หน้า

4.23 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 89
4.24 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 91
4.25 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 93
4.26 ค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 97
4.27 ค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 98
4.28 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 100
4.29 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 101
4.30 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 103
4.31 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 104
4.32 ค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 106
4.33 ค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 107
4.34 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 110
4.35 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 111
4.36 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 113
4.37 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 114
4.38 ปริมาณทองแดงในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 117
4.39 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนความสูงต่อเดือนของกล้าไม้ 120
4.40 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเดือนของกล้าไม้ 125
4.41 สมการ allometric relation สำหรับคำนวณมวลชีวภาพของกล้าไม้ 128
4.42 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นต่อเดือนของกล้าไม้ 131
4.43 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบต่อเดือนของกล้าไม้ 132
4.44 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนของกล้าไม้ 139
4.45 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบแก่ของกล้าไม้ 140
4.46 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนของกล้าไม้ 143
4.47 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบแก่ของกล้าไม้ 144
4.48 ปริมาณทองแดงในใบอ่อนของกล้าไม้ 146
5.1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียชุมชนกับน้ำทะเลธรรมชาติ 152

ตารางที่ หน้า

ก.1 ปริมาณตะกั่วของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง 163
ก.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 164
ก.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 165
ก.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 166
ก.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 167
ก.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 168
ก.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 169
ก.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 170
ก.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 171
ก.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 172
ก.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 173
ก.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 174
ก.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 175
ก.14 ปริมาณตะกั่วในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 176
ก.15 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้ 177
ก.16 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ 15 ซม. จากผิวดิน 178
ก.17 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ 179
ก.18 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบของกล้าไม้ 180
ก.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 181
ก.20 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 182
ก.21 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 183
ก.22 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 184
ก.23 ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้ 185

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลบนผิวดิน	6
2.2	ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	7
2.3	วัฏจักรไนโตรเจนในแหล่งน้ำ	8
2.4	วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ	9
2.5	ระบบรากหายใจของพันธุ์ไม้ชายเลนที่ใช้ในการทดลอง	16
2.6	การส่งผ่านออกซิเจนของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน	17
3.1	พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และพื้นที่สร้างชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	31
3.2	ลักษณะบ่อรวมน้ำเสีย บริเวณสถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยาง	32
3.3	แสดงตำรับทดลอง	33
3.4	แผนภาพแสดงรายละเอียดของชุดทดลอง	34
3.5	แผนภาพแสดงการทดลอง	40
4.1	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	48
4.2	ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	52
4.3	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสีย	53
4.4	ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	56
4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสีย	57
4.6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	62
4.7	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสีย	63
4.8	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	66
4.9	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสีย	67
4.10	ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	69
4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	73
4.12	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสีย	74
4.13	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	77
4.14	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสีย	78
4.15	การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม	121

รูปที่ หน้า

4.16 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม 126
4.17 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม 133
4.18 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม 135
5.1 แสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย 153
ก.1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ interaction 186
ก.2 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ interaction 187
ก.3 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ interaction 188
ง.1 ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ก่อนเริ่มทำการทดลอง 198
ง.2 ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง รวมทั้งการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน 199

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันจำนวนประชากรของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำให้การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการปล่อยน้ำเสียชุมชนที่มีองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ เป็นผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) และการสะสมของมลสารดังกล่าวในดินเพิ่มขึ้น (Cheevaporn และ Menasveta, 2003) ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าววิธีหนึ่งคือการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ เพราะมีความสามารถในการรองรับและบำบัดมลสารดังกล่าวในน้ำเสียได้สูง นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการก่อสร้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ การปลูกป่าชายเลนเพื่อจัดทำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนับว่ามีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยเฉพาะชุมชนที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล เนื่องจากในน้ำเสียดังกล่าวประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งพันธุ์ไม้ชายเลนยังมีคุณสมบัติที่สามารถปรับตัวให้ทนต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนได้ดี ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขัง มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพสูง รวมทั้งมีระบบรากหายใจ (pneumatophore) ช่วยกรองสารแขวนลอยต่างๆ ซึ่งช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย (สนิท อักษรแก้ว, 2541; Cardoch และคณะ, 2000; Wong และคณะ, 1995 อ้างถึงใน Ye และคณะ, 2001) อย่างไรก็ตามปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนคือความเค็ม (salinity) เนื่องจากความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลน การทำงานของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาต่างๆ ในดิน ซึ่งล้วนมีผลต่อความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Lin, 1999 อ้างถึงใน Ye และคณะ, 2001)

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบกะ (batch flow system)โดยเลือกใช้พันธุ์ไม้ชายเลน 4 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) เนื่องจากเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย อีกทั้งยังมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์ไม้ชายเลนชนิดอื่นๆ (Clough และ Scott, 1989) ส่วนโลหะหนักที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือตะกั่วและทองแดง เนื่องจากโลหะหนักดังกล่าวเป็นธาตุที่สามารถพบได้ทั่วไปในน้ำเสียชุมชน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) ทั้งนี้เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูง พร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมป่าชายเลนเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ตะกั่วและทองแดง) ในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนต่างชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) เมื่อใช้วิธีการปล่อยน้ำเสียแบบกะ

2) เพื่อศึกษาการสะสมธาตุอาหารและโลหะหนักในดินและพืชของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ชุดการทดลองจัดสร้างในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ภายใต้โรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกใสคลุม

2) ชนิดของกล้าไม้ที่ใช้มี 4 ชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยที่กล้าไม้มีอายุประมาณ 2 ปี และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

3) น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่ใช้เป็นน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีและเขตใกล้เคียง ซึ่งได้รวบรวมส่งตามแนวท่อมายังพื้นที่โครงการ ฯ ด้วยระยะทางประมาณ 18.5 กิโลเมตร ส่วนน้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็มใช้การผสมกับโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีความเค็ม 4 ระดับ คือ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงผลของความเค็มของน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนต่างชนิด

2) ทราบถึงการสะสมธาตุอาหารและโลหะหนักในดินและพันธุ์ไม้ชายเลนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

3) สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์และขยายผลเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมในการใช้ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียประเภทอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) หมายถึง ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน เหมืองแร่ บ่อฝังกลบขยะ เกษตรกรรม ปศุสัตว์ และอุตสาหกรรม โดยเลียนแบบกลไกการบำบัดของเสียตามธรรมชาติ คืออาศัยดิน พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดของเสียในน้ำ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; Mitsch และ Gosselink, 2000)

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (secondary treatment) เพื่อลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง ข้อดีของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมคือไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงในการบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ [ค.พ.], 2546ข)

2.1.1 องค์ประกอบของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

2.1.1.1 พืช

การใช้ธาตุอาหารของพืชนับเป็นบทบาทสำคัญในการบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและมลสารอื่นๆ ในน้ำเสีย อัตราการใช้ธาตุอาหารของพืชถูกจำกัดโดยอัตราการเติบโต สุทธิและความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชมีค่าสูงเมื่อพืชมีอายุน้อยและมีค่าลดลงเมื่อพืชโตเต็มที่ (กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544)

การบำบัดน้ำเสียของพืชขึ้นอยู่กับความสามารถของรากที่จะดูดซึม (absorption) ธาตุอาหารต่างๆ และกระบวนการทางชีวเคมีภายในพืช รากพืชช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะให้จุลินทรีย์และเคลื่อนย้ายก๊าซต่างๆ รวมทั้งออกซิเจนจากยอดสู่ราก ทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร โลหะไอออน และสารประกอบอื่นๆ ได้ จึงทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Kadlec และ Knight, 1996)

2.1.1.2 ชั้นตัวกลาง

ตัวกลาง หมายถึง ชั้นของวัตถุใต้น้ำ ได้แก่ ดิน ทราย และกรวด ซึ่งอาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ ตัวกลางนอกจากเป็นที่ยึดเกาะของพืชแล้ว ยังเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร บริเวณที่เกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารประกอบต่างๆ และที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ (กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544)

ความสามารถของดินในการบำบัดหรือเคลื่อนย้ายสารต่างๆ ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอนเคมี(precipitation) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

2.1.1.3 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่พบในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้แก่ แบคทีเรีย รา และโปรโตซัว ทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic) และสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) โดยทำให้เกิดกระบวนการดูดซึม การเปลี่ยนรูป (transformation) และการหมุนเวียน (circulation) ของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำเสีย (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541; กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544)

2.1.2 ประเภทของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

2.1.2.1 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลบนผิวดิน (free water surface; FWS)

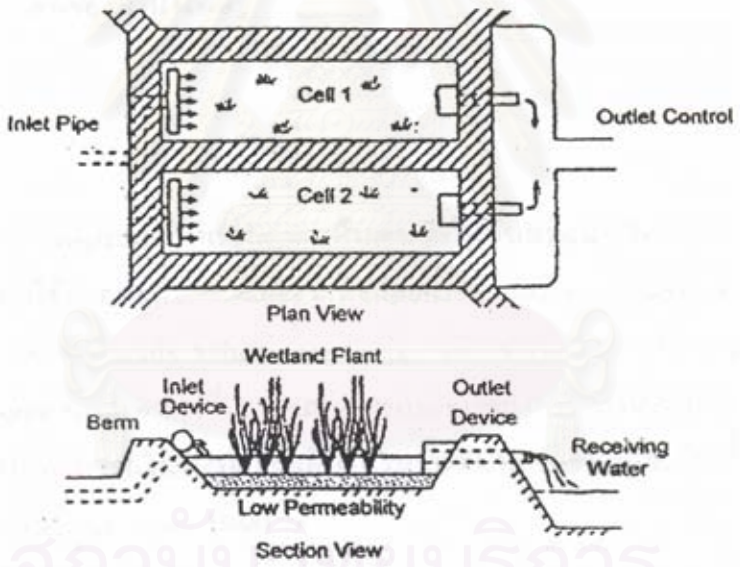
เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าตัวกลางและสัมผัสกับอากาศโดยตรงจากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น ภายในระบบปลูกพืชกลุ่มที่มีลำต้นโผล่พ้นน้ำ โดยมีระดับน้ำไม่ลึกมากนัก (กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544)

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมประเภทนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดี (BOD loading) ปานกลาง ซึ่งไม่ควรเกิน 6 กรัม บีโอดี$_5$/(ตร.ม.วัน) ควรมีระยะเวลากักเก็บประมาณ 4-15 วัน และมีค่าภาระทางชลศาสตร์ (hydraulic loading) เท่ากับ 0.01-0.05 ลบ.ม./(ตร.ม.วัน) นอกจากนี้ภายในระบบควรมีระดับน้ำลึกประมาณ 10-60 ซม. (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) (รูปที่ 2.1)

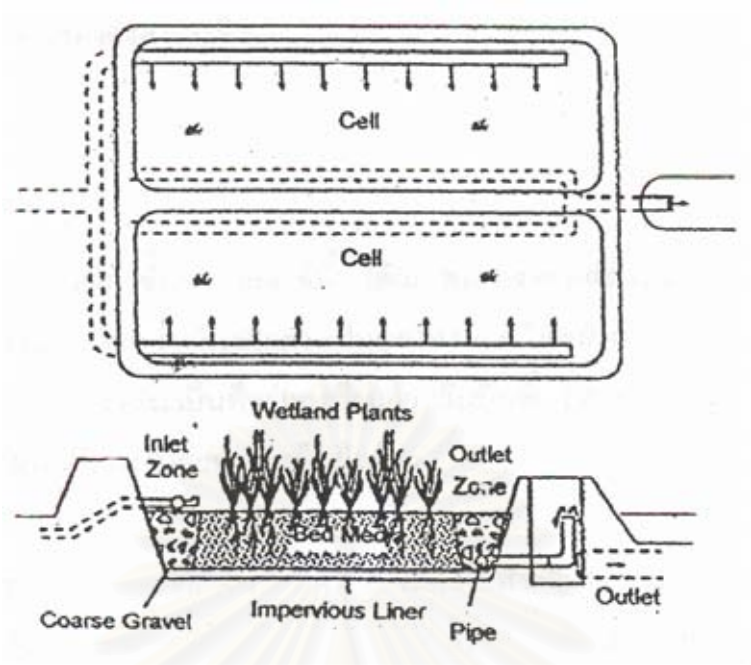
2.1.2.2 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow system; SFS)

เป็นระบบที่น้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวกลางของระบบ โดยน้ำเสียจะได้รับการบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืชซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย ส่วนฟอสฟอรัสและโลหะหนักส่วนใหญ่จะถูกดูดซับในชั้นดิน ชั้นตัวกลางจะมีสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) แต่ออกซิเจนจากรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวเกาะอยู่ตามรากพืช ความหนาของชั้นตัวกลางน้อยกว่า 60 ซม. ระดับน้ำในระบบควรต่ำกว่าผิวตัวกลางเล็กน้อย (กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544) (รูปที่ 2.2)

ด้านล่างของระบบควรมีความลาดชันประมาณ 1 % เพื่อให้น้ำไหลออกจากระบบโดยไม่เกิดการกักขัง ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศด้วยพืชเป็นหลัก สำหรับค่าภาระบีโอดีที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 11 กรัม บีโอดี$_5$/(ตร.ม.วัน) และไม่ควรสูงเกิน 13 กรัม บีโอดี$_5$/(ตร.ม.วัน) มีค่าภาระชลศาสตร์ประมาณ 0.01-0.05 ลบ.ม./(ตร.ม.วัน) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)



รูปที่ 2.1 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลบนผิวดิน
ที่มา: Kadlec และ Knight (1996)



รูปที่ 2.2 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
ที่มา: Kadlec และ Knight (1996)

2.2 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน จากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกในครัวเรือน และอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น หรือหมายถึง น้ำโสโครกที่ถูกปล่อยออกมาจากชุมชนซึ่งรวมถึงน้ำทิ้งของบ้านเรือน ตลาด และโรงพยาบาล (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543; ค.พ., 2546ก)

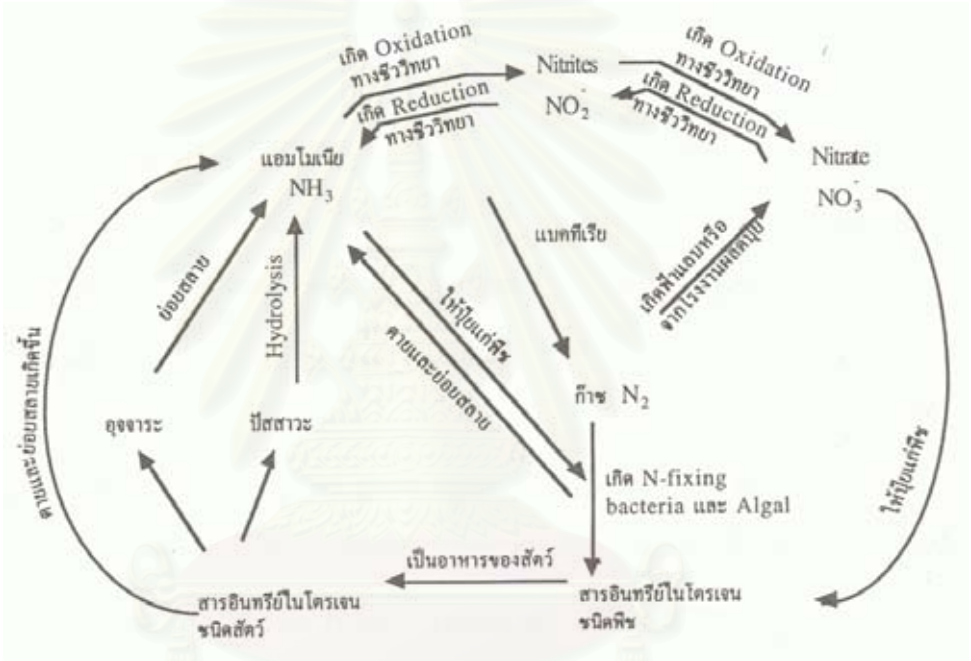
ลักษณะของน้ำเสียชุมชนทั่วไปมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกลาง สิ่งสกปรกในน้ำมีทั้งสารอินทรีย์ อนินทรีย์ เชื้อโรค และโลหะหนักปะปนอยู่ โดยจากการศึกษาคุณภาพน้ำในท่อระบายน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีพบว่า นอกจากมีปริมาณธาตุอาหารอยู่สูงแล้วยังมีปริมาณปรอท นิกเกิล ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 0.138, 0.041, 0.037, 0.024 และ 0.007 mg/l ตามลำดับ (อภิชัย เชียร์ศิริกุล, 2533; สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และคณะ 2543)

2.2.1 ธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน

2.2.1.1 สารประกอบไนโตรเจน

เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยปกติไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนีย (NH_3) แต่ถ้าหากในน้ำมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกย่อยสลายไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ดังนั้นการปล่อยน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูงจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง (ค.พ., 2546ก)

ความสัมพันธ์ของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำสามารถแสดงเป็นวัฏจักรได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วัฏจักรไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2542)

สารประกอบไนโตรเจนที่มีความสำคัญในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้แก่

1) แอมโมเนีย

เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นทั้งธาตุอาหารและสารพิษซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิต ปริมาณแอมโมเนียจะสูงขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดมาตรฐานปริมาณแอมโมเนียในแหล่งน้ำให้ไม่เกิน 5.0 mg/l ส่วนระดับแอมโมเนียที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.02 mg/l

2) ไนไตรท์

เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่เสถียร โดยทั่วไปจะพบไนไตรท์ในปริมาณต่ำ

3) ไนเตรท

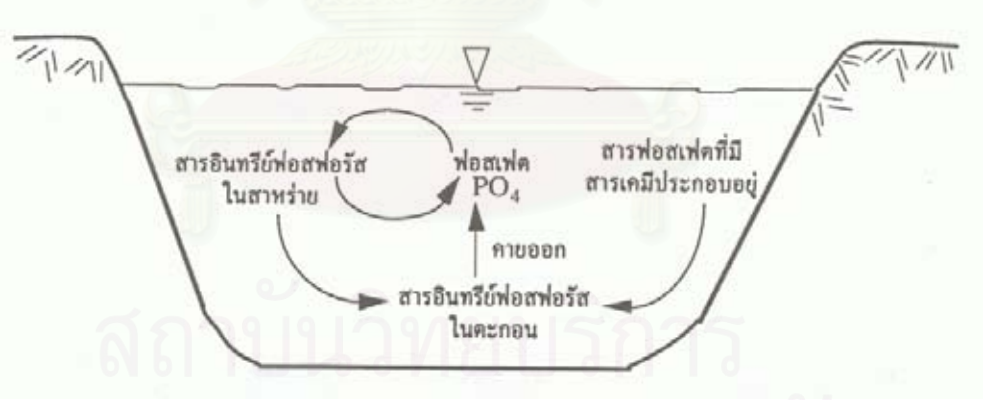
เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่คงรูปและเป็นธาตุอาหารพืช นอกจากนี้ยังทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานปริมาณไนเตรทในแหล่งน้ำให้ไม่เกิน 5.0 mg/l

4) ไนโตรเจนในสถานะก๊าซ

โดยทั่วไปพบก๊าซไนโตรเจนในรูปของไดไนโตรเจน (N_2) ไนตรัสออกไซด์ (NO_2) ไนตริกออกไซด์ (N_2O_4) และแอมโมเนีย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528; เปรมจิตต์ แทนสถิตย์, 2535; ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.2.1.2 สารประกอบฟอสฟอรัส

เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจน หากในแหล่งน้ำมีฟอสฟอรัสสูงเกินไปจะทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก ทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสียได้ วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำทั่วๆ ไปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2542)

สารประกอบฟอสฟอรัสที่สามารถพบได้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้แก่

1) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}-P)

ออร์โธฟอสเฟตหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าฟอสเฟต เป็นฟอสฟอรัสรูปที่พบมากที่สุด จัดเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ซึ่งได้แก่ ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) โมโนโซเดียมฟอสเฟต (NaH_4PO_4) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จากผงซักฟอก โดยฟอสฟอรัสในรูปนี้จุลินทรีย์และพืชนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต

2) โพลีฟอสเฟต

เป็นฟอสฟอรัสที่เมื่อเกิดกระบวนการไฮโดรไลซีสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ โซเดียมเฮกซะเมตะฟอสเฟต ($Na_3(PO_4)_6$) โซเดียมไตรโพลี-ฟอสเฟต ($Na_5P_3O_{10}$) เตตระโซเดียมไพโลฟอสเฟต ($Na_4P_2O_7$)

3) ฟอสฟอรัสอินทรีย์

เป็นฟอสฟอรัสที่มีความสำคัญรองลงมาจากฟอสเฟต ส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ฟอสฟอรัสอินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ด้วย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดยแสดงค่าที่อยู่ในช่วงต่ำสุดถึงสูงสุด ทั้งนี้หมายถึงไม่มีน้ำฝนไหลลงมาปะปน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป

องค์ประกอบ	mg/l	กรัม/(คน.วัน)
total solids	350-1200	170-220
total suspended solids	100-350	70-145
total dissolved solids	100-300	-
BOD_5	110-440	80-120
COD	1.75 x BOD_5	1.75 x BOD_5
TOC	0.8 x BOD_5	0.8 x BOD_5
total alkalinity, as $CaCO_3$	50-200	20-30
total nitrogen, as N	20-85	6-12
organic nitrogen	0.4 x total-N	0.4 x total-N
ammonia nitrogen	0.6 x total-N	0.6 x total-N
nitrate nitrogen	(0.0-0.05) x total-N	(0.0-0.05) x total-N
total phosphorus, as P	4-15	0.6-4.5
organic phosphorus	0.3 x total-P	0.3 x total-P
inorganic phosphorus (ortho-P และ poly-P)	0.7 x total-P	0.7 x total-P

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1.3 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนที่มีธาตุอาหารสูงต่อสิ่งแวดล้อม

การที่น้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีธาตุอาหารสูงถูกระบายสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัด ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบในด้านสาธารณสุข เนื่องจากอาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรค เช่น เชื้อบิด ไทฟอยด์ และอหิวาตกโรค นอกจากนี้น้ำที่มีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์สูงเกินไปอาจทำให้เกิดโรค methemoglobinemia หรือ blue babies กับทารก ซึ่งเกิดจากไนไตรท์ทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือดเกิด methemoglobin เป็นผลให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถรับออกซิเจนได้ ทำให้เด็กมีอาการหายใจไม่ออกและตัวเขียว

2) ผลกระทบในด้านการลดปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเติบโตอย่างรวดเร็ว (algae bloom) เมื่อสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชตายลงจะเกิดกระบวนการย่อยสลายจนปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงและหมดไป ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสภาพแวดล้อมต่อไป โดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมีปริมาณออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2.0 mg/l

3) ผลกระทบในด้านทัศนียภาพของแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมีทั้งมลสารและสิ่งปฏิกูลต่างๆ ปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำอาจทำให้น้ำมีกลิ่นเน่าเหม็นและเกิดการเปลี่ยนสีจนหมดความสวยงาม นอกจากนี้กลิ่นที่เน่าเหม็นยังอาจก่อให้เกิดความรำคาญต่อผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำนั้นๆ ด้วย (สุรชัย ใหญ่สว่าง, 2530 อ้างถึงใน ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์, 2543; เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543)

2.2.2 โลหะหนักในน้ำเสียชุมชน

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ สมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนักคือ มีค่าออกซิเดชันหลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (food chain) โลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมในร่างกายสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอทตะกั่ว แคดเมียม บางชนิดเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น เหล็ก บางชนิดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นซึ่งร่างกายต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่หากได้รับในปริมาณมากกลับเป็นอันตราย เช่น ทองแดง ซีเลเนียม โครเมียม เป็นต้น (ปริญญา บุญส่งแท้, 2544)

2.2.2.1 ตะกั่ว

ตะกั่ว (lead) เป็นโลหะสีเงินปนเทา อยู่ในหมู่ที่ 4A ของตารางธาตุใช้สัญลักษณ์ Pb มีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 ค่าความถ่วงจำเพาะ 11.35 จุดหลอมเหลว 327.4 °C จุดเดือด 1,725 °C ในสภาวะปกติตะกั่วมีสถานะเป็นของแข็ง หลอมเหลวได้ง่ายสามารถทำให้อ่อนและตัดให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ตามต้องการกลายเป็นไอได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง ไม่ละลายน้ำ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ได้แก่ +1, +2, +4 แต่ตะกั่วส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะ +2 ซึ่งจัดว่าเสถียรที่สุด ตะกั่วสามารถพบได้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ แต่ตะกั่วอินทรีย์มีความเป็นพิษสูงกว่าเพราะสามารถละลายในไขมันได้ทำให้รวมตัวกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ดี เช่น alkyl lead ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานปริมาณตะกั่วในน้ำทะเลชายฝั่งให้ไม่เกิน 0.05 mg/l (ค.พ., 2543; Hawley, 1981)

ในสภาวะปกติตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 2 ทางคือ ทางอาหารและการหายใจ ซึ่งโดยทั่วไปทางการหายใจมีปริมาณสูงกว่า เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงแล้วสะสมในไตมากที่สุด รองลงมาคือตับ จากนั้นจะแพร่กระจายไปยึดเกาะกับกระดูกและเส้นผม โดยในคนปกติจะมีปริมาณตะกั่ว 0.25 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว อาการเป็นพิษเมื่อได้รับตะกั่วเกินระดับปกติในร่างกาย ได้แก่ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน ปวดหัว การกระตุกของกล้ามเนื้อ เกิดอาการโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง อาการอัมพาต หลอดไตทำงานผิดปกติ โดยทั่วไปปริมาณตะกั่วที่ร่างกายมนุษย์สามารถสะสมได้โดยไม่เกิดอันตรายมีค่าเท่ากับ 120 mg ต่อน้ำหนักตัว 70 kg (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต , 2543; ปริญญา บุญส่งแท้, 2544; Forstner, 1981)

2.2.2.2 ทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะสีแดงส้มอยู่ในหมู่ 1B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.9 จุดหลอมเหลว 1,083 °C จุดเดือด 2,730°C มีความเหนียวเป็นมันวาว สามารถดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก มีเลขออกซิเดชัน 2 ค่า คือ +1 และ +2 ทองแดงพบได้ทั้งในรูปธาตุอิสระ ในรูปสารประกอบคลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรท ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และในรูปสารประกอบคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ ซัลไฟด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานปริมาณทองแดงในน้ำทะเลชายฝั่งไว้ไม่เกิน 0.05 mg/l (ค.พ., 2543; Hawley, 1981)

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างฮีโมโกลบิน เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น tyrocinase acitodase เป็นต้น ทองแดงเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหารและการหายใจ โดยดูดซึมบริเวณทางเดินอาหารและสะสมไว้มากที่ตับ ไต สมอง หัวใจ รองลงมาคือกล้ามเนื้อ กระดูก และม้าม ในคนปกติมีความเข้มข้นของทองแดงในเลือดประมาณ 1 mg/l ในเพศหญิงมีปริมาณทองแดงสูงกว่าเพศชายโดยเฉพาะผู้ที่คุมกำเนิดหรืออยู่ระหว่างการตั้งครรภ์ คืออาจพบทองแดงในเลือดสูงถึง 2 mg/l ในเด็กทารกที่ขาดทองแดงทำให้เกิดโรคโลหิตจาง แต่หากได้รับทองแดงเกินความต้องการจะมีอาการอ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ท้องร่วง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน จุกเสียด อุจจาระมีสีเขียวดำ การหายใจและชีพจรเต้นช้าลง ความดันโลหิตต่ำ เพ้อ หมดสติ เป็นอัมพาตและอาจเสียชีวิตได้

การเกิดพิษของทองแดงมักเกิดควบคู่กับโลหะชนิดอื่น โดยเฉพาะกับโมลิบดินัม (Mo) โดยทั่วไปปริมาณทองแดงที่ร่างกายมนุษย์สามารถสะสมได้โดยไม่เกิดอันตรายมีค่าเท่ากับ 100 mg ต่อน้ำหนักตัว 70 kg (Berman, 1980; Forstner, 1981)

2.3 ป่าชายเลน

ป่าชายเลน (mangrove forest) หมายถึง สังคมพืชที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ที่ส่วนใหญ่เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ขึ้นอยู่บริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งทะเลหรืออ่าว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุด หรือหมายถึง สังคมพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่อยู่ระหว่างแผ่นดินกับทะเลในเขตอากาศร้อนชื้นหรืออบอุ่น ซึ่งสังคมพืชนั้นมีความสัมพันธ์กับสัตว์และจุลินทรีย์ในบริเวณนั้นด้วย ป่าชายเลนในประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) เป็นไม้สำคัญและมีไม้สกุลอื่นปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นประเทศไทยจึงมักเรียกป่าชนิดนี้ว่า "ป่าโกงกาง" (สนิท อักษรแก้ว, 2541; Kathiresan และ Bingham, 2001)

2.3.1 พันธุ์ไม้ป่าชายเลน

พันธุ์ไม้ชายเลนของประเทศไทยชนิดที่สำคัญนั้นส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae โดยเฉพาะสกุลไม้โกงกาง (*Rhizophora*) สกุลไม้โปรง (*Ceriops*) และสกุลไม้ถั่ว (*Bruguiera*) พันธุ์ไม้ในวงศ์ Sonneratiaceae ได้แก่ ไม้ในสกุลไม้ลำพู และลำแพน (*Sonneratia*) พันธุ์ไม้ในวงศ์ Verbenaceae ซึ่งประกอบด้วยไม้ในสกุลไม้แสม (*Avicennia*) หลายชนิด และพันธุ์ไม้ในวงศ์ Meliaceae ซึ่งประกอบด้วยไม้ในสกุลตะบูนและตะบัน (*Xylocarpus*) (Santisuk, 1983 อ้างถึงในสนิท อักษรแก้ว, 2541)

2.3.1.1 โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*)

พบมากบริเวณริมคลองหรือชายฝั่งทะเลที่มีน้ำเค็มท่วมถึงเป็นระยะเวลายาวนาน ดินมีลักษณะเป็นเลนอ่อนและลึก สีดำ และมีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มีความสูง 30-40 ม. มีรากแบบรากค้ำจุน (stilt root) (รูปที่ 2.5) โดยมีลักษณะโค้งจรดดินไม่หักเป็นรูปมุมฉาก ใบอวบน้ำและเป็นมัน ดอกออกเป็นช่อ มีผลแบบ vivipary คือ ผลที่งอกขณะที่ฝักอยู่บนต้น ซึ่งผลเหล่านี้เมื่อแก่เต็มที่จะหลุดจากต้นแม่ลงสู่พื้นดินหรือลอยไปตามกระแสน้ำแล้วเจริญเติบโตเป็นกล้าไม้ต่อไป

2.3.1.2 แสมทะเล (*Avicennia marina*)

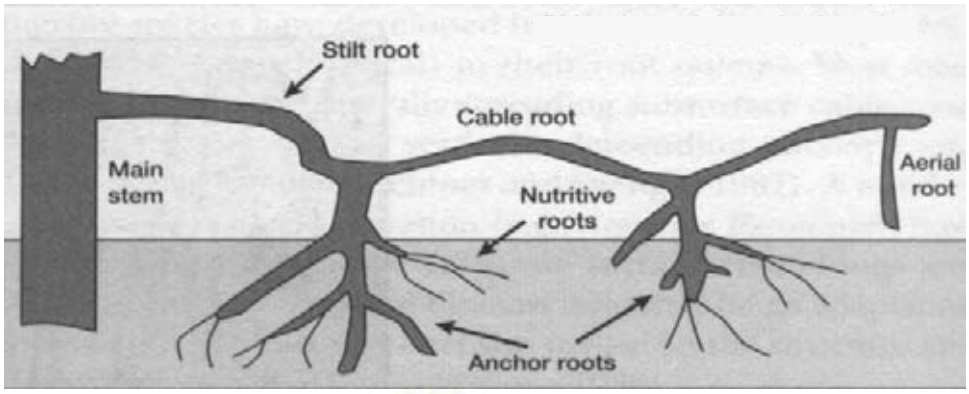
พบมากในพื้นที่ดินเลนงอกใหม่ ดินเลนปนทราย มีความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังและสิ่งแวดล้อมที่แปรปรวนได้ดี เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีความสูง 5-8 ม. มีลักษณะเป็นพุ่ม มีระบบรากหายใจ (pneumatophores) (รูปที่ 2.5) โดยมีลักษณะตั้งชูขึ้นมาเหนือผิวดินในแนวตั้งฉากรอบๆ ลำต้นและมีความยาวประมาณ 10-20 ซม. รากหายใจเจริญมาจาก cable root หรือ horizontal root ลำต้นสีขาวอมเทาเล็กน้อย ผลมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ

2.3.1.3 พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*)

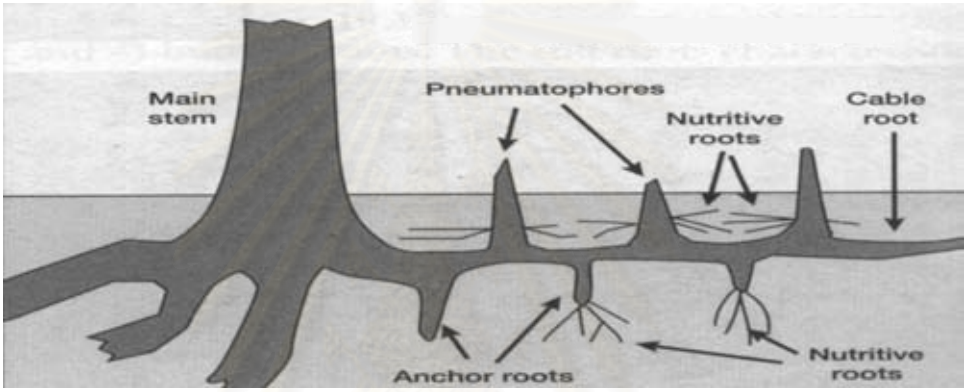
พบอยู่ในดินเลนแข็งและน้ำท่วมถึงบางครั้งบางคราว ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่หลังกลุ่มไม้โกงกาง เป็นไม้ยืนต้นมีความสูง 25-35 ม. มีรากแบบลักษณะคล้ายเข่า (knee root) (รูปที่ 2.5) โผล่ขึ้นมาจากผิวดิน ลำต้นมีสีดำ ใบรี ปลายใบแหลมสั้น ก้านใบมีสีแดง ลักษณะเด่นคือ ดอกเป็นสีแดงโดยออกดอกตลอดปี

2.3.1.4 โปรงแดง (*Ceriops tagal*)

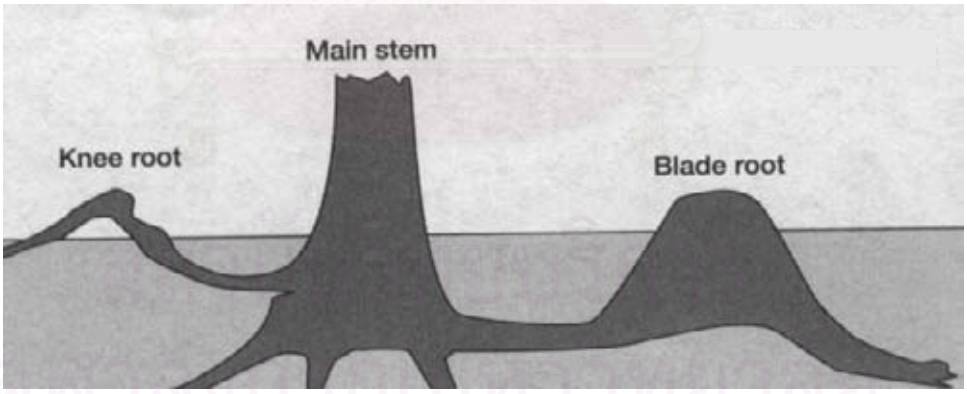
พบขึ้นปะปนกับไม้ถั่วดำหรือขึ้นเป็นป่าโปรงแดงล้วน ขึ้นได้ทุกสภาพของป่าชายเลน และสามารถขึ้นได้ในที่ดินเลนที่มีสภาพเป็นกรด หรือพื้นที่มีการระบายน้ำไม่ค่อยดี เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความสูง 15-25 ม. มีรากแบบลักษณะคล้ายเข่า (knee root) (รูปที่ 2.5) ลำต้นกลมถึงเป็นเหลี่ยมเล็กน้อย เรือนยอดมีใบหนาแน่นสีเขียวเข้ม ใบหนามีรูปไข่ ดอกมีสีขาว (เทียมใจ คมกฤส, 2536; สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2539; พูนศรี เมืองส่ง และ สนิท อักษรแก้ว, 2540; Aksornkoae Sanit, 1992)



(ก) ระบบรากแบบค้ำจุน



(ข) ระบบรากแบบรากหายใจ



(ค) ระบบรากแบบลักษณะคล้ายเข่า

รูปที่ 2.5 ระบบรากหายใจของพันธุ์ไม้ชายเลนที่ใช้ในการทดลอง

ที่มา: Lewis และ Vu (2000)

2.3.2 กลไกการส่งผ่านของก๊าซออกซิเจนในพันธุ์ไม้ชายเลน

Brix (1993) อ้างถึงใน Crock และ Fennessy (2001) กล่าวว่า การส่งผ่านก๊าซออกซิเจนของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนนั้นเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย โดยกลไกการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนจะเกิดที่ส่วนรากของพืชบริเวณ lenticel ของรากหายใจ (pneumatophores) การส่งผ่านก๊าซดังกล่าวเกิดจากกระบวนการพาของก๊าซ (convection) แบบ non throughflow convection กล่าวคือ เมื่อน้ำขึ้นออกซิเจนในรากพืชจะลดลงขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงขึ้นเนื่องจากความดันอากาศในระบบรากจะค่อยๆ ลดต่ำลง และเมื่อน้ำลงออกซิเจนในอากาศจะไหลเข้าสู่ระบบรากผ่านทาง lenticel เพื่อขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่น้ำเนื่องจากความดันอากาศบนผิวน้ำสูงกว่าความดันอากาศภายในระบบราก (รูปที่ 2.6)

รูปที่ 2.6 การส่งผ่านออกซิเจนของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน
ที่มา: Brix (1993) อ้างถึงใน Crock และ Fennessy (2001)

2.3.3 ดินในป่าชายเลน

ดินในป่าชายเลนเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมากับน้ำจากแหล่งต่างๆ และการตกตะกอนของสารแขวนลอยในมวลน้ำ ตลอดจนการสลายตัวของอินทรียสารตามช่วงระยะเวลาที่ทับถมต่างๆ กัน (สนิท อักษรแก้ว, 2541)

ลักษณะดินในบริเวณตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ส่วนใหญ่เป็นดินชุดท่าจีน (Tha Chin series; Tc) จัดอยู่ใน hydromorphic alluvial soils ซึ่งเกิดจากตะกอนที่น้ำทะเลพัดพามาทับถม สภาพพื้นที่ที่พบมีลักษณะราบเรียบ มีความลาดชันน้อยกว่า 1 % ดินชุดนี้เป็นดินที่ระบายน้ำไม่ดี การซึมผ่านของน้ำมีค่าต่ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนทรายแป้ง แต่บางบริเวณเป็นดินเลน ในบริเวณที่ราบน้ำทะเลท่วมถึงและบริเวณปากแม่น้ำ ดินชั้นบนมีสีดำปนเทามีจุดประสีน้ำตาลเล็กน้อย ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินเลนมีสีเทาแก่หรือสีเทาปนเขียว ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.3-8.0 เป็นด่างปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและจัดเป็นดินเค็มจัด (กองสำรวจดิน, 2525 อ้างถึงใน พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

2.3.3.1 ธาตุอาหารในดินป่าชายเลน

การมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอนับเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาความสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลน ธาตุอาหารในดินป่าชายเลนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ธาตุอาหารประเภทอนินทรียสาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ส่วนใหญ่ธาตุอาหารประเภทนี้ในป่าชายเลนมีปริมาณสูงพอยกเว้นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ จึงมักเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชในป่าชายเลน แหล่งที่มาของธาตุอาหารประเภทอนินทรียสารที่สำคัญ ได้แก่ น้ำฝน น้ำที่ไหลผ่านแผ่นดิน ดินตะกอน น้ำทะเล และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในป่าชายเลน

2) ธาตุอาหารประเภทอินทรียสาร (organic detritus) หมายถึง ธาตุอาหารอินทรีย์ที่มีต้นกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิต โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ธาตุอาหารประเภทนี้แบ่งได้เป็น 2 รูปคือ สารแขวนลอยที่มีขนาดประมาณ 1 ไมครอนหรือมากกว่า (particulate form) และสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (subparticulate form) แหล่งที่มาที่สำคัญของธาตุอาหารประเภทอนินทรียสารมี 2 แหล่ง คือ แหล่งที่มาจากป่าชายเลนเอง (autochthonous sources) ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช ไดอะตอม แบคทีเรีย สาหร่ายที่เกาะตามต้นไม้ รากไม้ และพืชชนิดอื่นๆ ในป่าชายเลน และแหล่งที่มาจากภายนอกป่าชายเลน (allochthonous sources) ได้แก่ สารแขวนลอยในน้ำที่ไหลมาจากแหล่งน้ำลำธาร ตะกอนดินจากการกัดเซาะชายฝั่งและบนภูเขา ซากพืชและสัตว์ที่อยู่บนชายฝั่งหรือในทะเล (สนิท อักษรแก้ว,2541)

2.3.3.2 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตกับดินในป่าชายเลน

ดินในป่าชายเลนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน เนื่องจากดินเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหาร ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนและกระบวนการเปลี่ยนรูปของแร่ธาตุต่างๆ โดยจุลินทรีย์ในดิน (Pezeshki และคณะ, 1997)

ในช่วงที่ดินอยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง ปริมาณออกซิเจนภายในดินจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการซึมผ่านของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ดินเป็นไปได้ยาก ทำให้ประชากรของแบคทีเรียในดินเปลี่ยนแปลงไป คือ จำนวนแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ลดลงส่วนจำนวนแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อดินอยู่ในภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) เป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สะสมในดินเพิ่มขึ้น (Mitsch และ Gosselink, 2000)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่พบได้ทั่วไปในดินตะกอนป่าชายเลนและมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตและการกระจายของกล้าไม้ชายเลน คือหากในดินมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงมีผลให้กล้าไม้เกิดอาการปากใบปิด การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ดังนั้นการเจริญเติบโตจึงลดลงด้วย เป็นผลให้กล้าไม้ตายในที่สุด (Youssef และ Seanger, 1998 อ้างถึงใน Kathiresan และ Bingham, 2001) นอกจากนี้ Kryger และ Lee (1996) อ้างถึงใน Kathiresan และ Bingham (2001) รายงานว่ารากของพันธุ์ไม้สกุล *Avicennia* สามารถสะสมไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึง 30-40 เท่าของปริมาณที่มีอยู่ในดินตะกอนโดยรอบ ขณะที่พันธุ์ไม้สกุล *Rhizophora* ทนทานต่อความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าพันธุ์ไม้สกุล *Avicennia* แต่การสะสมไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรากพืชอาจทำให้พืชตายได้ หากรากหายใจของพืชถูกปกคลุมด้วยดิน เนื่องจากการไหลของออกซิเจนผ่าน lenticel จะไม่เกิดขึ้น

ในกรณีที่ดินในป่าชายเลนเป็นดินคาร์บอเนต ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณแคลเซียม (Ca) สูง จะทำให้ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในดินเป็นปัจจัยจำกัด เนื่องจากออร์โธฟอสเฟตจะถูกแคลเซียมในตะกอนดินดูดซับไว้ ทำให้การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนลดลง (Koch และ Snedaker, 1997)

2.4 ความเค็ม

ความเค็ม (salinity) หมายถึง ปริมาณของของแข็ง (solid) หรือเกลือแร่ต่างๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยนิยมคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าวเป็นกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพัน (parts per thousand; ppt) (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528) แต่ปัจจุบันนิยมใช้ practical salinity unit; psu

ความเค็มของน้ำ (water salinity) และความเค็มของน้ำในดิน (soil water salinity) เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนคือ การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้จะแปรผกผันกับความเค็ม เนื่องจากความเค็มที่สูงขึ้นทำให้การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่างๆ บริเวณรากขนอ่อน (root hair) เป็นไปได้ยากขึ้น เป็นผลให้การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้น้อยลง (Clough, 1992 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541; Lin และ Sternberg, 1993 อ้างถึงใน Kathiresan และ Bingham,2001)

โดยปกติความเค็มของน้ำและความเค็มของน้ำในดินที่พันธุ์ไม้ชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 10-30 psu (De Haan, 1931 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว,2541) แต่ความเค็มของน้ำในดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนมีค่าอยู่ในช่วง 28-34 psu (Aksornkoae และคณะ, 1989 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) เป็นพวก stenohaline คือต้องการความเค็มของน้ำในดินสูง (Schimper, 1903 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) ส่วนแสมทะเล (*Avicennia marina*) มีความทนทานต่อความเค็มของน้ำในดินได้ในช่วงกว้าง สามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่บริเวณที่มีความเค็มต่ำจนถึงสูง หรือแปรปรวนได้ ในขณะที่พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) จะมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำในดินระหว่าง 10-20 psu และไม้โปรงแดง (*Ceriops tagal*) เจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำในดินสูงกว่า 30 psu (Jordan, 1964 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541)

อย่างไรก็ตามการที่ความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญของการกระจายและการแบ่งแนวเขตของพันธุ์ไม้ชายเลนนั้นไม่ใช่เพราะเกลือเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต แต่เป็นเพราะความเค็มมีอิทธิพลต่อการลดการแก่งแย่งของพันธุ์ไม้ต่างชนิด (Macnae, 1968 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541)

นอกจากความเค็มจะมีผลต่อพันธุ์ไม้ชายเลนแล้วยังมีผลต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมอีกด้วย โดย Tam (1998) ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อจำนวนประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลนโดยปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีระดับความเค็ม 0 และ 15 psu ลงในป่าชายเลน 2 บริเวณ ผลการศึกษาพบว่า ดินในป่าชายเลนทั้ง 2 บริเวณสามารถบำบัดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี และแคดเมียมในน้ำเสียได้ แต่จำนวนแบคทีเรียทั้งชนิดที่ใช้ออกซิเจน ไม่ใช้ออกซิเจน ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย และดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียในดินป่าชายเลนบริเวณที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu มีปริมาณสูงกว่าดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 15 psu อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสีย

2.5.1 ไนโตรเจน

2.5.1.1 แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่เปลี่ยนสารอินทรียไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งมีการปล่อยพลังงานออกมา ในบางกรณีพลังงานนี้จะถูกใช้โดยแบคทีเรียเพื่อการสร้างเซลล์ใหม่ ดังสมการ

amino acids ⟶ imino acids ⟶ keto acids ⟶ NH_3

หรืออาจเกิด reactive deamination ซึ่งมักเกิดในชั้นดินที่มีสภาพรีดิวซ์

$$\text{amino acids} \longrightarrow \text{saturated acids} \longrightarrow NH_3$$

กระบวนการนี้เกิดในรูปที่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์พวกเฮทโรโทฟิค (heterotrophic) เช่น *Pseudomonas* sp. และ *Proteus* sp. ดังนั้นในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่มีออกซิเจนต่ำจะมีแอมโมเนียปริมาณมาก

2.5.1.2 ไนตริฟิเคชัน (nitrification)

เป็นกระบวนการออกซิเดชันทางชีวภาพที่ทำการเปลี่ยนแอมโมเนียมไอออนไปเป็นไนเตรทโดยมีไนไตรท์เป็นสารระหว่างกลางของการเกิดปฏิกิริยา โดยเกิดขึ้นในชั้นน้ำหรือชั้นดินที่มีออกซิเจนและบริเวณรอบรากพืช การออกซิเดชันนี้มี 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นแรก คือ การออกซิเดชันแอมโมเนียมไอออนไปเป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย *Nitrosomonas* sp. ดังสมการ

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \longrightarrow 2H^- + H_2O + NO_2^-$$

ขั้นที่สอง คือ การออกซิเดชันของไนไตรท์ไปเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียชนิด *Nitrobacter* sp. ดังสมการ

$$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^-$$

อย่างไรก็ตามการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับดีไนตริฟิเคชันนับเป็นกลไกหลักในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

2.5.1.3 ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน กระบวนการนี้มักเกิดขึ้นในสภาพไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. และ *Micrococcus* sp. ดังสมการ

$$2NO_3^- \longrightarrow 2NO_2^- \longrightarrow 2NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

2.5.1.4 การระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilzation)

เป็นกระบวนการที่แอมโมเนียถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซและปลดปล่อยสู่บรรยากาศ โดยการซึมผ่านน้ำและการส่งผ่านของมวลจากผิวน้ำขึ้นสู่บรรยากาศ การส่งผ่านของมวลอาจถูกจำกัดในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลใต้ผิวดินซึ่งต่างกับแบบน้ำไหลบนผิวดินที่ผิวน้ำสัมผัสอากาศได้ดี กระบวนการนี้อาจเป็นการบำบัดไนโตรเจนที่สำคัญในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ถ้าในน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 และอุณหภูมิของน้ำสูง

2.5.1.5 การดูดดึงของพืช (plant uptake)

เป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่เปลี่ยนอนินทรียไนโตรเจนไปเป็นอินทรีย-ไนโตรเจนเพื่อทำหน้าเป็น building block ของเซลล์และเนื้อเยื่อพืช โดยมีไนโตรเจน 2 รูป คือ แอมโมเนียมไอออนและไนเตรท โดยปกติพืชจะดูดซึมแอมโมเนียมไอออนได้ดีกว่าไนเตรท เนื่องจากแอมโมเนียมไอออนอยู่ในสภาพรีดิวซ์มากกว่าไนเตรท ยกเว้นในกรณีที่ความเข้มข้นของไนเตรทสูงกว่าแอมโมเนียมไอออนพืชจะดูดซึมไนเตรทได้ดีกว่า (Boto, 1984 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541; ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.5.2 ฟอสฟอรัส

2.5.2.1 การนำไปใช้โดยพืช (plant uptake)

เป็นกระบวนการบำบัดฟอสฟอรัสที่ไม่ใช่กระบวกการหลักและพบได้น้อยมาก โดยพืชจะดูดซึมฟอสฟอรัสจากดินผ่านทางรากและส่งไปยังเนื้อเยื่อเพื่อนำไปใช้สร้างเซลล์ เมื่อพืชตายจะถูกย่อยสลายทำให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมาบางส่วนและส่วนที่เหลือจะจมอยู่ที่ซากพืช รากพืชเป็นแหล่งสะสมฟอสฟอรัสที่สำคัญของพืช ฟอสฟอรัสรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.5.2.2 การดูดซับโดยดิน (adsorption by soil)

เป็นกระบวนการหลักในบำบัดฟอสฟอรัสในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยกลไกการดูดซับของดินขึ้นอยู่กับ

1) ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แคลเซียม (Ca) กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินคือ ในกรณีที่ดินมีปริมาณธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมสูงรวมทั้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำมีผลให้ฟอสฟอรัสถูกดูดซับด้วยธาตุเหล็กและอะลูมิเนียม ในทางตรงกันข้ามหากดินมีปริมาณธาตุแคลเซียมสูงรวมทั้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับด้วยแคลเซียม

2) ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential) ในสภาวะที่ระบบมีน้ำท่วมขัง ทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินต่ำ ทำให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลลดต่ำลง ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำลง

3) ชนิดของดิน ในกรณีที่ระบบใช้ตัวกลางที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวสูง จะทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินสูง เนื่องจากดินเหนียวมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; C.E.C.) และปริมาณอนุภาคแร่ดินเหนียว (clay mineral) สูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Clough และคณะ, 1983 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

2.5.3 สารอินทรีย์

2.5.3.1 การตกตะกอน (sedimentation)

เป็นการบำบัดสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง โดยวัดในรูปของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid; TSS)

2.5.3.2 การเก็บสะสมในรูปของมวลชีวภาพ (biomass accumulation)

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง มวลหรือน้ำหนักของพืชที่สร้างขึ้นจากการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานเคมี โดยการนำธาตุอาหารในดินมาสร้างเป็นเนื้อเยื่อด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังสมการ

$$6CO_2 + 12H_2O + \text{light} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

2.5.3.3 ไกลโคไลซีสและเมทาโนจีเนซีส (glycolysis and mathonogenesis)

ไกลโคไลซีส (glycolysis) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์โดยจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเกิดในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3CH_2COH \longrightarrow 2CO_2$$

เมทาโนจีเนซีส (mathonogenesis) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนกลับสู่บรรยายกาศในรูปของมีเทน (CH_4) โดยจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ผลผลิตที่ได้คือแอลกอฮอล์ ดังสมการ

$$CH_3COO + 4H_2 \longrightarrow 2CH_4 + 2H_2O$$

(ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์, 2543; Mitsch และ Gosselink, 2000)

2.5.4 โลหะหนัก (ตะกั่วและทองแดง)

2.5.4.1 การรวมตะกอนเคมี (flocculation)

กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ดีเมื่ออนุภาคโลหะหนักมีขนาดเล็ก และในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีสภาวะน้ำนิ่ง น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารแขวนลอย อนุภาคแร่ดินเหนียว และอินทรียวัถตุสูง (Matagi และคณะ, 1998)

2.5.4.2 การดูดติดผิว (adsorption)

กระบวนการนี้มักเกิดขึ้นก่อนการตกตะกอน (sedimentation) และเกิดได้ดีเมื่อภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีอนุภาคแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุปริมาณสูง เนื่องจากพื้นที่ผิวของอนุภาคดังกล่าวสามารถดูดดึงโลหะหนักได้ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า electrostatic attraction (Patrick และคณะ, 1990 อ้างถึงใน Matagi และคณะ,1998)

จากการทดลองพบว่า อนุภาคแร่ดินเหนียวและโลหะไฮดรัสออกไซด์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมจะเลือกดูดซับโลหะหนักชนิดไดวาเลนซ์ (divalent) ตามลำดับดังนี้ Pb > Cu >Zn > Ni > Cd ตามลำดับ (Alloway, 1990 อ้างถึงใน Matagi และคณะ,1998**)**

2.5.4.3 การตกตะกอนเคมี (precipitation)

การตกตะกอนเคมีเป็นกระบวนการหลักในการบำบัดโลหะหนักในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยเก็บสะสมอยู่ในรูปของชั้นตะกอนดิน การตกตะกอนเคมีขึ้นกับค่าคงที่ของการละลาย (K_{sp}) ของโลหะแต่ละชนิด ความเป็นกรด-ด่างในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และความเข้มข้นของโลหะแคตไอออนกับแอนไอออนที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้โลหะหนักยังสามารถตกตะกอนเคมีได้เองเมื่อมีความเข้มข้นอยู่ในระดับอิ่มตัวโดยอยู่ในรูปของเกลือของโลหะ

ในสภาพไร้ออกซิเจนโลหะหนักจะอยู่ในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไฮดรอกไซด์ (OH^-) และซัลไฟด์ (SO_3^{2-}) ซึ่งสามารถตกตะกอนเคมีได้ แต่โลหะซัลไฟด์จะไม่ละลายน้ำเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบเป็นกลาง ส่วนโลหะคาร์บอเนตละลายน้ำได้ดีขึ้นเมื่อภายในระบบมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (Matagi และคณะ,1998)

2.5.4.4 การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange)

กระบวนการนี้เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวของตะกอนคอลลอยด์หรืออินทรียวัตถุ ซึ่งมีประจุลบ กับไอออนของโลหะหนักซึ่งมีประจุบวกที่ล่องลอยอยู่ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม เมื่อมีการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้นตะกอนคอลลอยด์หรืออินทรียวัตถุจะดูดซับไอออนของโลหะหนักไว้พร้อมกับปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อตะกอนคอลลอยด์หรืออินทรียวัตถุมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง และจากการศึกษาของ Alloway (1990) อ้างถึงใน Matagi และคณะ (1998) พบว่าความสามารถในการแทนที่ของโลหะหนักในแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโรไนต์ (montmorillonite) จัดลำดับได้ดังนี้ คือ Pb > Cu > Cd > Zn ตามลำดับ

2.5.4.5 การดูดดึงโลหะหนักโดยพืช (heavy metal uptake by wetlands plants)

การดูดดึงโลหะหนักในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยพืชนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ โดยจากการศึกษาพบว่า พืชในระบบประเภท emergent และ surface-floating plant สะสมโลหะหนักไว้ที่ราก (Denny, 1980 อ้างถึงใน Matagi และคณะ, 1998) และโดยทั่วไปความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืชจัดลำดับได้ดังนี้ คือ ราก > ลำต้น > ใบอ่อน > ใบแก่ ตามลำดับ (Mbeiza, 1993 อ้างถึงใน Matagi และคณะ, 1998)

2.5.4.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reaction)

ปฏิกิริยานี้มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะที่มีออกซิเจนและสภาวะไร้ออกซิเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรีย *Thaiobacillus* spp. จะทำหน้าที่ออกซิไดส์ PbS, ZnS และ $CuFeS_2$ ทำให้ไอออนของ Pb^{2+}, Zn^{2+} และ Cu^{2+} ถูกปลดปล่อยออกสู่ระบบ ส่วนในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนไอออนของโลหะหนักดังกล่าวจะเกิดการตกตะกอนและจมตัวลง (Matagi และคณะ,1998)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ป่าชายเลนเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากดินในป่าชายเลนเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารและโลหะหนัก ดังนั้นจึงทำให้มีการสะสมของมลสารดังกล่าวในพันธุ์ไม้ชายเลนด้วย (Pezeshki และคณะ, 1997) โดย Tam และ Wong (1996) ได้ทำการศึกษาการกักเก็บและการกระจายตัวของโลหะหนักในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยทำการทดลองในคอลัมน์ที่บรรจุดินป่าชายเลน โดยเติมน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้นของทองแดง สังกะสี แมงกานีส และแคดเมียมเท่ากับ 4, 20, 20 และ 0.4 mg/l ตามลำดับ ปริมาณ 200 ml ลงในคอลัมน์ดิน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 150 วัน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-1, 1-3, 3-5, 5-10 และ มากกว่า 10 ซม. จากผิวดินมาวิเคราะห์ พบว่า ดินในป่าชายเลนสามารถดูดซับทองแดงได้สูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ โดยความเข้มข้นของโลหะหนักในดินลงลดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น และดินที่ระดับผิวดิน (0-1 ซม.) มีความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่นๆ และ Macfarlane และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการสะสมของตะกั่วและทองแดงในรากและใบของแสมทะเลในธรรมชาติ ที่มีความสูงมากกว่า 3 ม. และมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอกประมาณ 20 ซม. บริเวณปากแม่น้ำ Newington North ในประเทศออสเตรเลีย พบว่า ในเนื้อเยื่อใบมีปริมาณตะกั่วและทองแดงเท่ากับ 0.79 และ 1.58 μg/mol ตามลำดับ ส่วนในเนื้อเยื่อรากมีปริมาณตะกั่วและทองแดงเท่ากับ 0.02 และ 0.14 μg/mol ตามลำดับ พันธุ์ไม้ชายเลนส่วนใหญ่นอกจากมีผลผลิตมวลชีวภาพสูงแล้วยังมีระบบรากหายใจซึ่งช่วยในการดักจับตะกอนแขวนลอยและช่วยเคลื่อนย้ายก๊าซออกซิเจนในอากาศไปสู่รากโดยกระบวนการพาของก๊าซ (convection) ผ่านทาง lentical ของรากหายใจ ทำให้เกิดบริเวณที่เรียกว่า rhizosphere ซึ่งเป็นบริเวณที่จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหารและสารประกอบอื่นๆ ได้ มีผลให้ป่าชายเลนสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สนิท อักษรแก้ว, 2541; Clough และ Scott, 1989; Brix (1993) อ้างถึงใน Crock และ Fennessy, 2001) ดังนั้นจึงมีการทดลองใช้ระบบป่าชายเลนเทียมเพื่อการบำบัดน้ำเสีย เช่น เจนจิรา แก้วรัตน์ (2541) ได้ศึกษาความสามารถของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกาง-ใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ซึ่งมีมวลชีวภาพแตกต่างกัน เพื่อบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า โกงกางใบเล็กทุกขนาดมวลชีวภาพคือ 160.3, 122.4 และ 82.5 กรัมต่อต้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งได้ประมาณ 80 % และเมื่อน้ำมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้น เช่นใน Hoagland solution กล้าไม้มีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารดังกล่าวสูงขึ้นเป็น 90 % และ ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์ (2543) ได้ศึกษาความสามารถของโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) และแสมทะเล (*Avicennia marina*) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกโกงกางใบใหญ่และแสมทะเลสามารถบำบัดบีโอดีได้ 72 และ 66 % ตามลำดับ บำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ 72 และ

70 % ตามลำดับ และบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้เท่ากัน คือ 63 % ขณะที่ชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังกล่าวได้เพียง 58, 59 และ 59 % ตามลำดับ แต่จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของป่าชายเลนนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเค็ม ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย ดังเช่นการทดลองของ Brown และคณะ (1999) ได้ทดลองใช้พันธุ์ไม้สกุลชะคราม (*Suaeda* sp.) ปลูกในทรายเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีระดับความเค็ม 3 ระดับ คือ 0.5, 10 และ 35 psu โดยใช้เวลากักเก็บ 7 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำทิ้งระดับความเค็มดังกล่าว สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ 96.18, 98.02 และ 99.09 % บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 98.76, 98.95 และ 99.71 % และบำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ 94.00, 95.98 และ 99.03 % ตามลำดับ โดยสรุปว่าชุดทดลองสามารถบำบัดธาตุอาหารได้สูงขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำเสียสูงขึ้น แต่การเจริญเติบโตของชะครามลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเสียสูงขึ้น และ Panswad และ Anan (1999) ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียของระบบบำบัดแบบชีวภาพ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากับ 25 mg/l ให้มีความเค็มอยู่ในช่วง 0 ถึง 30 psu (ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ความเค็ม 0 psu เป็นชุดควบคุม) ใช้ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน พบว่า เมื่อน้ำเสียมีระดับความเค็มสูงขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบต่ำลงอยู่ในช่วง 88 ถึง 68 % เช่นเดียวกันกับ Ye และคณะ (2001) ได้ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุม-ดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และ รังกะแท้ (*Kandelia candel*) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปรับน้ำเสียให้มีระดับความเค็มต่างกัน ใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพังกา-หัวสุมดอกแดงที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 98.0 และ 97.8 % ตามลำดับ ส่วนชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu สามารถบำบัดได้ 95.5 และ 91.8 % ตามลำดับ ชุดทดลองที่ปลูกรังกะแท้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 92.7 และ 88.0 % ตามลำดับ ส่วนชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu สามารถบำบัดได้ 84.3 และ 79.2 ตามลำดับ Boonsong และคณะ (2002b) ได้ทำการประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ป่าชายเลนปลูกบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยศึกษาในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมขนาด pilot scale 2 ระบบ คือ ระบบป่าชายเลนธรรมชาติที่มีแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้เด่น และระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ซึ่งมีแสมทะเล โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โปรงแดง และถั่วขาว โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมด ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมทั้ง 2 ระบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน และ 7 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตและฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน มีค่าสูงกว่า 3 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนและการละลายของโลหะหนักในน้ำ โดย Irfan และคณะ

(2001) ศึกษาความทนทานต่อความเค็มของกล้าไม้โปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยปลูกกล้าไม้ลงในชุดทดลองที่มีน้ำระดับความเค็ม 0, 8.8, 17.5, 26.3 และ 35.0 psu โดยใช้ทรายเป็นวัสดุปลูกและมีการเติมสารละลายธาตุไนโตรเจนลงไปเพื่อเลี้ยงกล้าไม้ พบว่า กล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำระดับความเค็ม 17.5 psu มีการเจริญเติบโตสูงสุด และการเจริญเติบโตของกล้าไม้ลดลงเมื่อน้ำมีระดับความเค็มสูงขึ้นเป็น 26.3 และ 35.0 psu เช่นเดียวกันกับ Wang และ Lui (2003) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำกับความเข้มข้นของโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้ในบริเวณปากแม่น้ำ Changjiang ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่า ความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้ลดลง คือที่ระดับความเค็มของน้ำ 0.15, 3.40, 6.00, 12.00 และ 18.00 psu มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.577, 0.537, 0.557, 0.551 และ 0.484 µg/l ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 1.395, 1.582, 1.506, 1.290 และ 1.221 µg/l ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามการที่ในป่าชายเลนได้รับหรือมีการสะสมของธาตุอาหารและโลหะหนักมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนลดลง ดังเช่นการทดลองของ Chu และคณะ (1998) ได้ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนเพื่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสีย โดยปลูกกล้าไม้รังกะแท้ *(Kandelia candel)* ลงในแท็งก์น้ำพลาสติกขนาด 1 x 0.5 x 0.3 m^3 ที่มีน้ำเสียชุมชนปกติ (มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน ไนเตรท ฟอสเฟต ทองแดง และแคดเมียม เท่ากับ 40, 1, 10, 1.0 และ 0.1 mg/l ตามลำดับ) น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 และ 25 เท่า ของน้ำเสียชุมชนปกติ ในเรือนกระจก พบว่า ระบบที่ได้รับน้ำเสียชุมชนปกติกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 เท่า ของน้ำเสียชุมชนปกติ มีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักดังกล่าวได้ประมาณ 98 และ 96 % ตามลำดับ ขณะที่ระบบที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 25 เท่า ของน้ำเสียชุมชนปกติ มีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักดังกล่าวได้ประมาณ 75 และ 92 % ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับ Yim และ Tam (1999) ได้ศึกษาผลของโลหะหนักในน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของกล้าไม้ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) โดยปลูกกล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (มีความเข้มข้นของทองแดง สังกะสี แคดเมียม โครเมียมและนิกเกิลเท่ากับ 3, 5, 0.2, 2 และ 3 mg/l ตามลำดับ) น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 และ 10 เท่าของน้ำเสียอุตสาหกรรม (ใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมสังเคราะห์ที่ปราศจากโลหะหนักเป็นชุดควบคุม) พบว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 และ10 เท่า มีการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพต่ำกว่ากล้าไม้ในชุดควบคุม และกล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 10 เท่า มีมวลชีวภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของกล้าไม้สามารถจัดลำดับได้ดังนี้ คือ ราก > ลำต้น > ใบ ตามลำดับ Macfarlane และ Burchett (2001) ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่มีต่อรงควัตถุและปริมาณเอนไซม์

peroxidase ของกล้าไม้แสมทะเล อายุ 6 เดือน ทดลองในเรือนกระจก เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงตั้งแต่ 200 mg/kg ขึ้นไป มีปริมาณ chlorophyll a, b และ chlorophyll ทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออยู่ในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 400 mg/kg จะทำให้ใบเกิดสภาวะ chlorosis และเมื่ออยู่ในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 800 mg/kg จะทำให้ carotenoids ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของตะกั่วตั้งแต่ 200 mg/kg ขึ้นไป มีปริมาณเอนไซม์ peroxidase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ มีผลให้กลไกการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่ป้องกันความเป็นพิษจากโลหะหนักของพืชผิดปกติ เช่นเดียวกันกับ Macfarlane และ Burchett (2002) ได้ศึกษาผลของทองแดงและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตและการสะสมในกล้าไม้แสมทะเลที่ปลูกในห้องปฏิบัติการ พบว่า กล้าไม้แสมทะเลที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 100 mg/kg มีจำนวน ความยาว และขนาดใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 400 mg/kg มีการเจริญเติบโตของรากและผลผลิตมวลชีวภาพรวมลดลง กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 800 mg/kg ชะงักการเจริญเติบโตทั้งหมด ขณะที่กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 400 mg/kg มีระบบท่อน้ำ-ท่ออาหารผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลองอยู่ภายในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (รูปที่ 3.1)

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่ส่งมายังโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งรวบรวมจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยน้ำเสียทั้งหมดจะมารวมกันที่บ่อรวมน้ำเสีย ณ บ้านคลองยาง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี บ่อรวมน้ำเสียจะทำหน้าที่ตกตะกอนดักกรวด ทราย รวมถึงขยะที่มากับน้ำเสีย บ่อรวมน้ำเสียประกอบด้วยบ่อเล็กขนาด 64 ตร.ม. จำนวน 2 บ่อ และบ่อใหญ่ขนาด 1,176 ตร.ม. จำนวน 2 บ่อ (รูปที่ 3.2) จากนั้นน้ำเสียจะถูกสูบเข้าสู่ท่อส่งน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. เป็นระยะทาง 18.5 กม. เพื่อส่งมายังพื้นที่โครงการฯ

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่ใช้ในการทดลองสูบมาจากบริเวณแปลงหญ้ากรองบำบัดน้ำเสียในโครงการฯ ซึ่งได้รับน้ำเสียโดยตรงจากท่อส่งน้ำ และน้ำเสียชุมชนที่ปรับระดับความเค็มให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ใช้น้ำเสียชุมชนปกติมาปรับความเค็มโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และเติมตะกั่วและทองแดงลงในน้ำเสียทุกระดับความเค็มให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 mg/l ทั้ง 2 ชนิด โดยใช้สารเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1

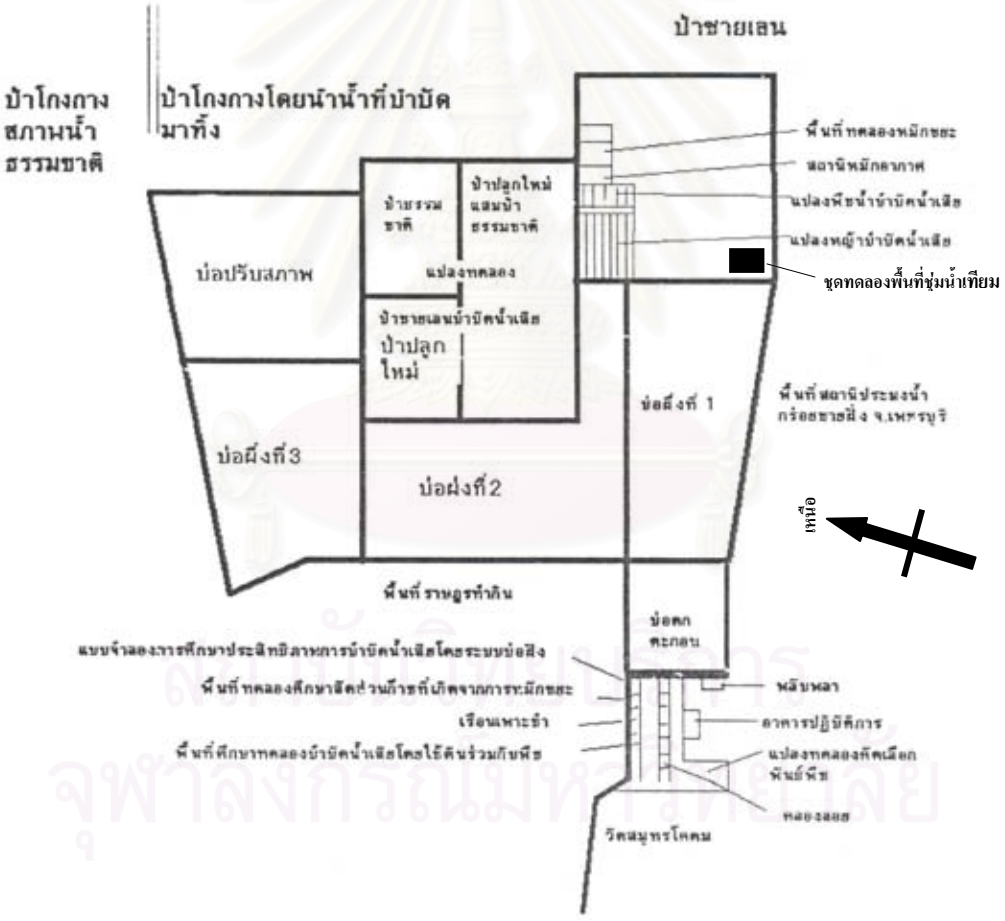
3.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเลนบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งชุดทดลองในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีน้ำท่วมถึงเป็นครั้งคราว มีต้นชะคราม (*Sueda maritima*) ขึ้นปกคลุมอยู่ โดยใช้เฉพาะดินบริเวณผิวหน้าลึกลงไปประมาณ 50 ซม.

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ปรับระดับความเค็มและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย

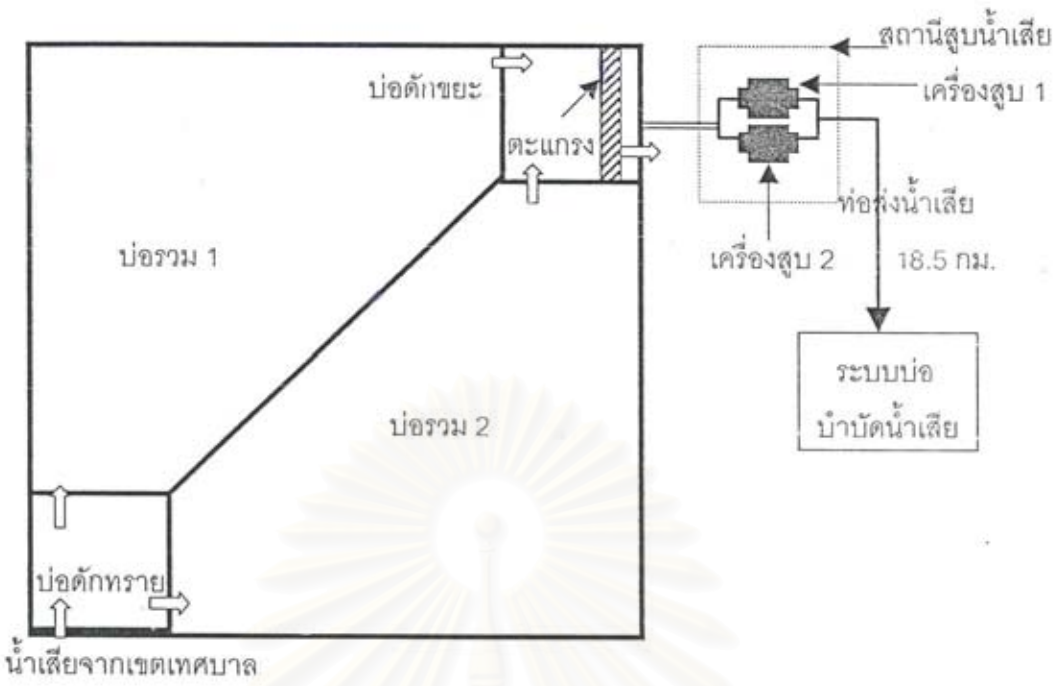
น้ำเสีย	ปริมาณสารเคมีที่ใช้		
	NaCl (kg/1,000 l)	$PbCl_2$ (g/1,000 l)	$CuCl_2$ (g/1,000 l)
NW	0	2.6853	5.3701
6 psu	6.0	2.6853	5.3701
12 psu	12.0	2.6853	5.3701
18 psu	18.0	2.6853	5.3701
24 psu	24.0	2.6853	5.3701

หมายเหตุ ระดับความเค็มเฉลี่ยของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่ตรวจวัดได้เท่ากับ 0.60, 6.02, 12.12, 17.94, 23.92 psu ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และพื้นที่สร้างชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ที่มา: อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร, บรรณาธิการ (2545)



รูปที่ 3.2 ลักษณะบ่อรวมน้ำเสีย บริเวณสถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยาง
ที่มา: วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม (2546)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วางแผนการทดลอง

แผนการทดลองเป็นแบบ randomized completely block design (RBD) โดยมี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

1) ชนิดของกล้าไม้

กล้าไม้ 4 ชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล *(Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง *(Bruguiera gymnorrhiza*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยที่กล้าไม้มีอายุประมาณ 2 ปี และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

2) ระดับความเค็มของน้ำเสีย

น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 4 ระดับ คือ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu และน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม ถูกจัดเก็บในถังสำรองน้ำขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 5 ถัง

ดังนั้นสามารถจัดสร้างชุดทดลองได้ 5 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม NW ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

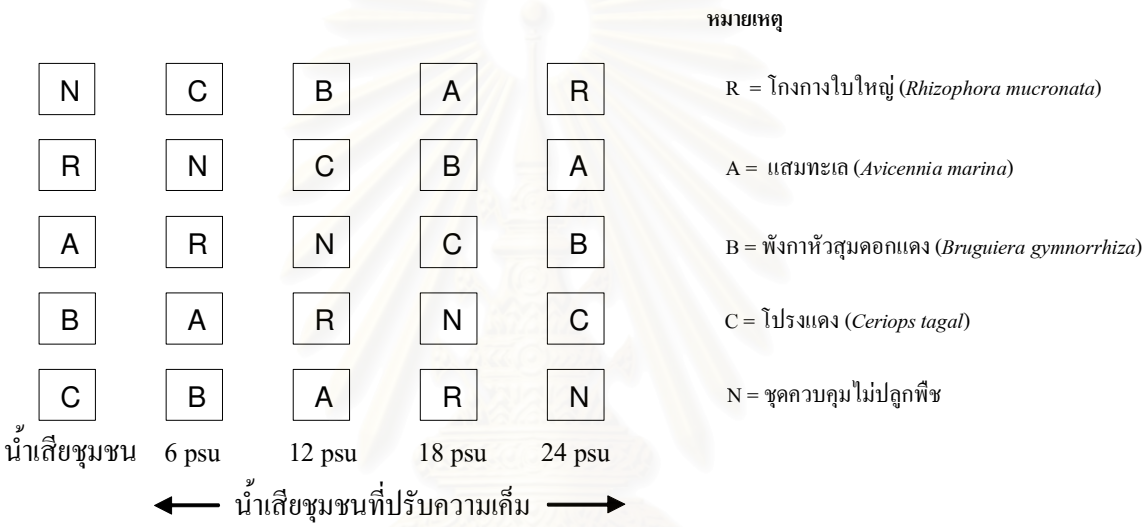
ชุดที่ 2 ความเค็ม 6 psu ปลูกกล้าไม้ และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 3 ความเค็ม 12 psu ปลูกกล้าไม้ และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 4 ความเค็ม 18 psu ปลูกกล้าไม้ และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 5 ความเค็ม 24 psu ปลูกกล้าไม้ และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

รวมชุดทดลองทั้งหมด 25 ชุด ดังรูปที่ 3.3

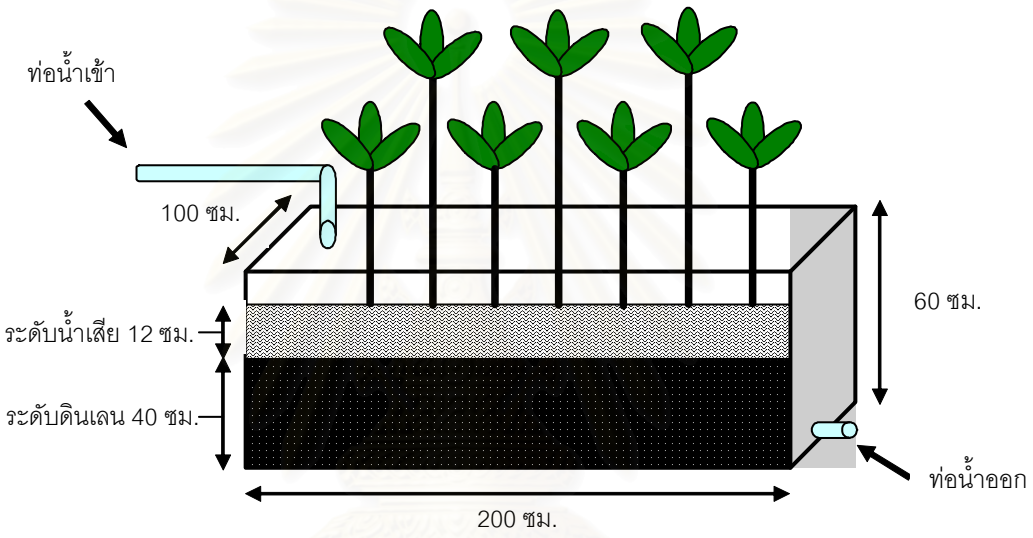


รูปที่ 3.3 แสดงตำรับทดลอง

3.4.2 จัดสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ขนาด กว้าง 100 ซม. ยาว 200 ซม. สูง 60 ซม. จำนวน 25 ชุด มีท่อน้ำเข้าบริเวณด้านบนของบ่อซึ่งมีวาล์วที่สามารถควบคุมการไหลของน้ำได้ ท่อน้ำเข้าดังกล่าวเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำเสียชุมชนปกติและน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็มต่างกัน 4 ระดับ จากถังสำรองน้ำ ขนาด 1,000 ลิตร และด้านล่างของบ่อจะมีท่อน้ำออก ชุดทดลองจัดสร้างภายใต้โรงเรือนที่มีพลาสติกโปร่งใส ภายในชุดทดลองบรรจุดินเลนสูงจากพื้นบ่อ 40 ซม. และปลูกกล้าไม้โดยใช้ระยะการปลูก 15 x 15 ซม. (72 ต้น/ชุดทดลอง) ยกเว้นแสมทะเลซึ่งมีการเจริญเติบโตสูงมากจนทำให้ชุดทดลองแน่นทึบมาก จึงตัดกล้าไม้ออกแถวเว้นแถว จึงทำให้มีระยะปลูก 30 x 15 ซม. (60 ต้น/ชุดทดลอง)

ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ผ่านการใช้ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดมาแล้ว ดังนั้นก่อนการทดลองจึงล้างชุดทดลองด้วยการสูบน้ำทะเลธรรมชาติมากักเก็บไว้ในชุดทดลองเป็นเวลา 7 วัน แล้วปล่อยออก ให้ชุดทดลองแห้ง 4 วัน ทำซ้ำรวม 9 ครั้ง เพื่อชะล้างธาตุอาหารและสารปนเปื้อนที่ตกค้างอยู่ในชุดทดลองให้มีปริมาณเท่ากับเมื่อเริ่มทำการทดลองครั้งก่อน จากนั้นปรับระดับดินให้สูงจากพื้นบ่อ 40 ซม. เท่ากับเมื่อเริ่มทำการปลูกกล้าไม้ โดยเติมดินเลนลงในทุกชุดทดลอง ปรับระดับให้เรียบ แล้วทำการล้างชุดทดลองด้วยน้ำทะเลโดยใช้วิธีเดิมซ้ำอีก 3 ครั้ง ก่อนเริ่มทำการทดลอง (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงรายละเอียดของชุดทดลอง

3.4.3 วิธีดำเนินการทดลอง

1) ทำการปล่อยน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) และน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 4 ระดับ ได้แก่ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu เข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 25 ชุด โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch flow system) โดยแต่ละชุดทดลองจะได้รับน้ำเสียประมาณ 200 ลิตร ซึ่งทำให้ระดับน้ำเสียอยู่เหนือผิวดินประมาณ 12 ซม.

2) เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนทดลอง เมื่อระดับน้ำในถังสำรองน้ำอยู่ที่ระดับบน กลาง และล่างของถังสำรองน้ำ แล้วกักเก็บน้ำเสียในชุดทดลองเป็นเวลา 7 วัน

3) เมื่อกักเก็บน้ำเสียครบ 7 วัน ปล่อยน้ำออกและทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังทดลองจากท่อน้ำออกของชุดทดลองทุกชุด โดยใช้ขวดพลาสติก และขวดบีโอดีเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4) ปล่อยน้ำเสียหลังทดลองออกจากชุดทดลองทุกชุด แล้วปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 4 วัน ต่อมาจึงสูบน้ำทะเลจากคลองบริเวณด้านข้างติดกับสถานีประมงน้ำกร่อยชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรี เข้าชุดทดลองแล้วกักเก็บไว้เป็นเวลา 3 วัน แล้วปล่อยออก จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองครั้งต่อไป ดังนั้นใช้เวลา 14 วัน ต่อการทดลอง 1 ครั้ง ทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง ดังนั้นรวมระยะเวลาทดลองทั้งสิ้น 126 วัน

3.4.4 การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการศึกษาน้ำเสียก่อนทดลองและน้ำเสียหลังทดลองจากชุดทดลองภายหลังการกักเก็บ 7 วัน น้ำตัวอย่างที่ต้องนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจะบรรจุใส่ลังโฟมที่มีน้ำแข็งขณะเดินทางกลับ และเมื่อถึงห้องปฏิบัติการจะนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ทันที เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป ตามพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ ดังแสดงไว้ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ตรวจวัดภาคสนามโดย pH meter
2. อุณหภูมิ (temperature)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI Instrument Model 30
3. ความเค็ม (salinity)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI Instrument Model 30
4. การนำไฟฟ้า (conductivity)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI Instrument Model 30
5. ออกซิเจนละลาย (DO)	Modified Wrinkler method (AWWA, 1998)
6. บีโอดี (BOD)	5-day BOD test (AWWA, 1998)
7. ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	Dried at 103^{o}-105^{o} C (AWWA, 1998)
8. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Semi – micro – Kjeldahl method (AWWA, 1998)
9. แอมโมเนีย (ammonia-nitrogen)	Phenolhypochlorite method (Parson et al., 1989)
10. ไนเตรท (nitrate-nitrogen)	Reduction by cadmium-copper column (Parson et al., 1989)
11. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Persulphate digestion follow by ascorbic acid method (Strickland และ Parson, 1972)
12. ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphorus)	Molydenum blue method, Merphy and Riley (Strickland และ Parson, 1972)
13. ตะกั่วและทองแดง (lead and copper)	Extract by conc. HNO_3 and conc. $HClO_4$ (AOAC, 2003)

3.4.5 การศึกษาสมบัติของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในช่วงก่อนการทดลอง ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 รวมทั้งสิ้น 4 ครั้ง โดยสุ่มเก็บจากชุดทดลองละ 3 บริเวณ แบบทแยงมุม แล้วรวมเป็น 1 ตัวอย่าง (composite) โดยใช้ท่อพีวีซี

ตัวอย่างดินเปียกที่ได้นำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียมไอออนและไนเตรททันที ตัวอย่างที่เหลือนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) นำไปบด ร่อน เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนหนึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. เพื่อใช้วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม การนำไฟฟ้า ปริมาณขนาดอนุภาคดิน และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อีกส่วนหนึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. เพื่อใช้วิเคราะห์อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ตะกั่วและทองแดง ตามวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงไว้ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	1:5 soil : water extract, pH meter
2. ความเค็ม (salinity)	1:5 soil : water extract, glass electrode
3. การนำไฟฟ้า (conductivity)	1:5 soil : water extract, glass electrode
4. ปริมาณขนาดอนุภาคดิน (% sand, %silt, %clay)	Hydrometer method (Smith และ Atkinson, 1975)
5. เนื้อดิน (texture)	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของขนาดอนุภาคดินกับตารางชั้นเนื้อดิน
6. อินทรียวัตถุ (organic matter)	Walkley and Black rapid tritation (Tan, 1996)
7. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Tan, 1996)
8. แอมโมเนียมไอออน (ammonium-nitrogen)	Extracted with KCl at 1:4 ratio, followed by steam distillation (Black, 1965)
9. ไนเตรท (nitrate-nitrogen)	Extracted with KCl at 1:4 ratio, followed by steam distillation (Black, 1965)
10. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Perchloric acid method (Jackson, 1975)
11. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (phosphate phosphorus)	Bray II (Jackson, 1960)
12. ตะกั่วและทองแดง (lead and copper)	Extract by conc. HNO_3 and conc. $HClO_4$ (AOAC, 2003)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.6 การศึกษากล้าไม้

1) การเจริญเติบโตของกล้าไม้

ทำการวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ โดยความสูงวัดจากโคนถึงฐานยอดด้วยไม้เมตร ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นวัดที่ระดับ 15 ซม. จากผิวดิน ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ทำการสุ่มวัดชุดทดลองละ 24 ต้น โดยทำการวัดก่อนเริ่มบำบัดน้ำเสียในแต่ละครั้ง และหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 รวมทั้งสิ้น 10 ครั้ง

2) การศึกษามวลชีวภาพของกล้าไม้

ทำการศึกษามวลชีวภาพเหนือดิน (above ground biomass) ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง โดยใช้วิธีสร้างสมการ allometric (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541; ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์, 2543) แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ก่อนการทดลอง ทำการสุ่มเลือกกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 20 ต้น โดยเลือกต้นที่มีขนาดต่างๆ กัน มาวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางทุกต้น จากนั้นแยกกล้าไม้เป็นส่วนลำต้นและใบ ชั่งหาน้ำหนักสด (wet weight) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของลำต้นและใบดังกล่าว

ช่วงที่ 2 หลังการทดลอง ทำการศึกษาซ้ำอีกครั้งหนึ่ง โดยมีวิธีการศึกษาเช่นเดียวกับช่วงที่ 1

การประมาณหามวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของกล้าไม้แต่ละชนิด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง กับ น้ำหนักแห้ง โดยใช้สมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation ดังนี้

$$W = a\,(D^2H)^b$$

$$\text{หรือ } \log W = \log a + b \log (D^2H)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักแห้งของลำต้น กิ่ง และใบ (กรัม)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น (ซม.)

H คือ ความสูงของลำต้น (ซม.)

a คือ ค่าคงที่ (จุดตัดแกน y ของกราฟ) เมื่อแกน x = 0

b คือ ค่าคงที่ (ความชันของกราฟ)

นำสมการที่ได้มาใช้คำนวณการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของลำต้น และใบของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ในแต่ละครั้งที่วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

3) ธาตุอาหารและโลหะหนัก

ทำการศึกษาในช่วงก่อนการทดลอง ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 โดยเก็บตัวอย่างใบอ่อน (ตั้งแต่ใบยอดลงไปจนถึงใบคู่ที่ 3 ของกิ่ง) และใบแก่ (ตั้งแต่ใบคู่ที่ 3 จากยอดลงไป) ของกล้าไม้ (กัลยา รัตนสุทธิพงษ์, 2544) นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) จากนั้นปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป ตามพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ ดังแสดงไว้ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
<u>การเจริญเติบโตของพืช</u>	
1. ความสูง (height)	วัดโดยไม้เมตร
2. เส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter)	วัดโดยเวอเนียร์ คาลิปเปอร์
3. มวลชีวภาพ (biomass)	Allometric relation method
<u>ธาตุอาหารและโลหะหนัก</u>	
4. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Jackson, 1975)
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Ammonium metavanadate (ประโสด ธรรมเขต, 2540)
6. ตะกั่วและทองแดง (lead and copper)	Extract by conc. HNO_3 and conc. $HClO_4$ (AOAC, 2003)

การทดลองครั้งนี้สามารถสรุปไปตามแผนภูมิรูปที่ 3.5

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.5.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียก่อนทดลองทั้ง 9 ครั้ง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test

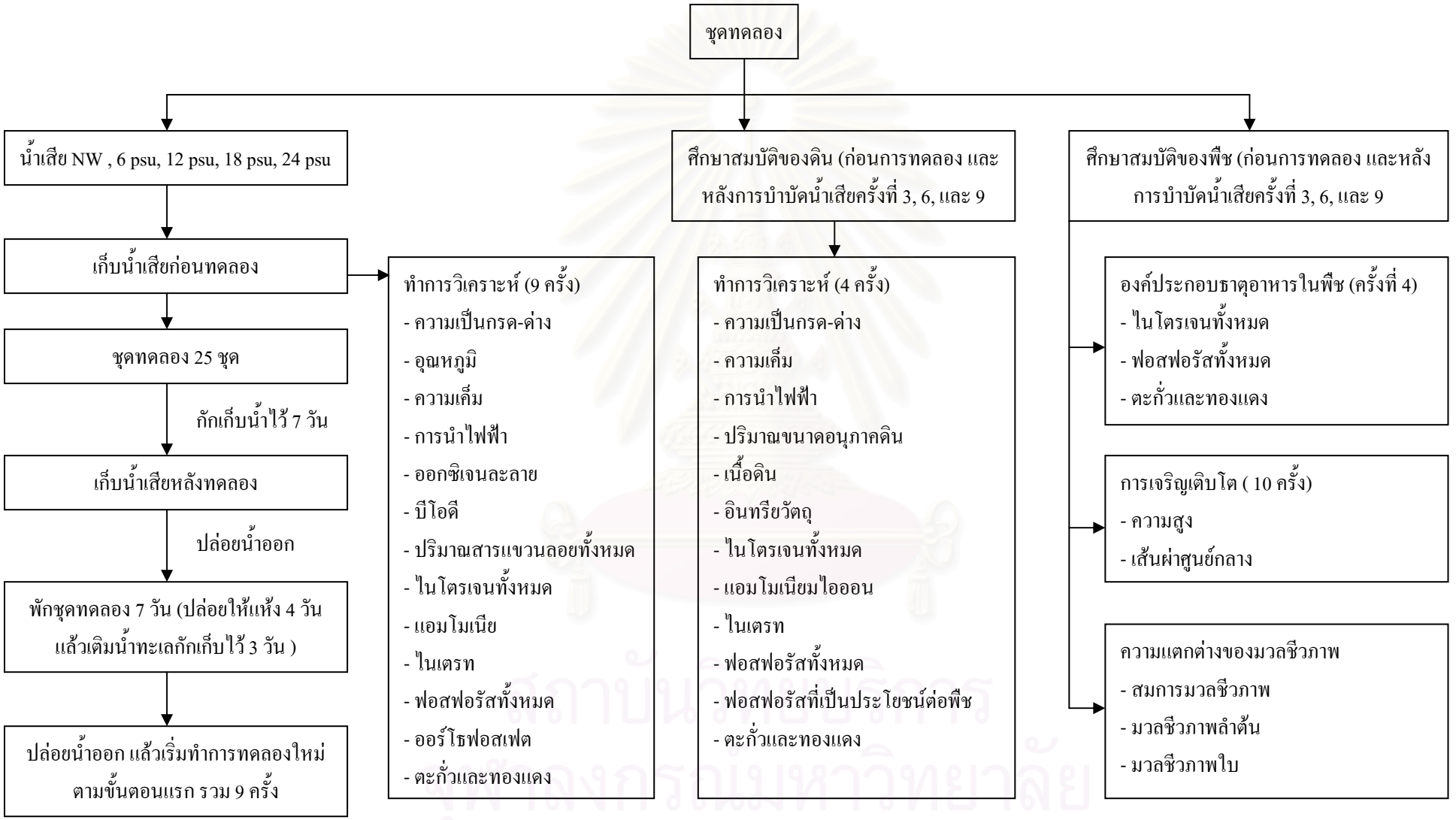
3.5.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียหลังทดลอง และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ปริมาณสารแขนลอยทั้งหมด สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟอสฟอรัส ตะกั่ว และทองแดงของชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RBD) two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test

3.5.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ ค่าของธาตุอาหารและโลหะหนักที่พบของดินในชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RBD) โดยวิธี three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test

3.5.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้ในชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RBD) โดยวิธี three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test

3.5.5 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าของธาตุอาหารและโลหะหนักที่พบของกล้าไม้ในชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RBD) โดยวิธี three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการทดลอง

40

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็ม โดยเปรียบเทียบระหว่างคุณภาพน้ำเสียก่อนทดลอง และคุณภาพน้ำเสียหลังทดลอง และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด ธาตุอาหาร (ไนโตรเจนกับฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ตะกั่วกับทองแดง) สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 คุณภาพน้ำเสียชุมชน

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียก่อนทดลองทั้ง 9 ครั้ง พบว่า น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.22 ความเค็ม 0.60 psu การนำไฟฟ้า 1.31 mS/cm ออกซิเจนละลาย (DO) 0.00 mg/l บีโอดี (BOD) 28.32 mg/l สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) 45.14 mg/l ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) 25.817 mg/l แอมโมเนีย (NH_3) 10.910 mg/l ไนเตรท (NO_3^-) 0.033 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) 7.153 mg/l ออร์โธฟอสเฟต (ortho-PO_4) 5.002 mg/l ตะกั่ว (Pb) ต่ำกว่า 0.500 mg/l และทองแดง (Cu) 0.183 mg/l ซึ่งเห็นว่าน้ำเสียชุมชนมีค่าความสกปรกค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะน้ำเสียชุมชนที่ใช้ได้ผ่านการตกตะกอนขั้นต้นและแยกของแขวนลอยขนาดใหญ่มาแล้วที่บ่อรวมน้ำเสียก่อนส่งผ่านแนวท่อจากสถานีสูบน้ำเป็นระยะทาง 18.5 กม. มายังโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็มเป็น 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ใช้น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) มาปรับความเค็มโดยการเติม NaCl ปริมาณ 6, 12, 18 และ 24 kg ตามลำดับ และเติมตะกั่วและทองแดงปริมาณ 2.6853 และ 5.3701 g ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่เตรียมได้มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.24, 7.25, 7.18 และ 7.16 ตามลำดับ ความเค็มเท่ากับ 6.02, 12.12, 17.94 และ 23.92 psu ตามลำดับ การนำไฟฟ้าเท่ากับ 12.44, 23.57, 33.87 และ 44.51 mS/cm ตามลำดับ บีโอดีเท่ากับ 28.48, 26.89, 26.04 และ 25.69 mg/l ตามลำดับ สารแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 61.92, 78.56, 99.09 และ 133.89 mg/l ตามลำดับ ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 23.027, 26.196, 26.406 และ 24.400 mg/l ตามลำดับ แอมโมเนียเท่ากับ 10.249, 11.194, 11.598 และ 10.265 mg/l ตามลำดับ ไนเตรทเท่ากับ 0.029, 0.035, 0.036 และ 0.031 mg/l ตามลำดับ ฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 7.622, 7.770, 7.617 และ 7.549 mg/l ตามลำดับ ออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 5.304, 5.430, 5.314 และ 5.275 mg/l ตามลำดับ ตะกั่ว

เท่ากับ 1.423, 1.223, 0.876 และ 1.056 mg/l ตามลำดับ และทองแดงเท่ากับ 0.705, 0.847, 0.860 และ 0.689 mg/l ตามลำดับ ส่วนออกซิเจนละลายในน้ำเสียทุกระดับความเค็มมีค่าเท่ากับ 0.00 mg/l (ตารางที่ 4.1) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียก่อนการทดลองในแต่ละครั้งโดยใช้ one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความเค็ม กล่าวคือ เมื่อความเค็มสูงขึ้น มีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย ส่วนปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดที่สูงขึ้นอาจเป็นเพราะเกลือบางส่วนตกค้างอยู่ในรูปสารแขวนลอย

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนทดลองทั้ง 9 ครั้ง

พารามิเตอร์	NW	6 psu	12 psu	18 psu	24 psu
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.22±0.09	7.24±0.10	7.25±0.08	7.18±0.09	7.16±0.10
อุณหภูมิ (^{o}C)	27.72±2.94	27.70±3.02	27.78±3.10	27.84±3.16	28.21±3.17
ความเค็ม (psu)	^{e}0.60±0.00	^{d}6.02±0.23	^{c}12.12±0.33	^{b}17.94±0.21	^{a}23.92±0.72
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	^{e}1.31±0.11	^{d}12.44±0.72	^{c}23.57±1.24	^{b}33.87±0.88	^{a}44.51±2.29
ออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
บีโอดี (BOD) (mg/l)	28.32±8.27	28.48±7.21	26.89±7.15	26.04±5.97	25.69±5.78
สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (mg/l)	^{d}45.14±16.01	^{cd}61.92±17.97	^{c}78.56±22.18	^{b}99.09±21.53	^{a}133.89±11.73
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	25.817±3.026	23.207±3.326	26.196±4.408	26.406±5.239	24.400±2.187
แอมโมเนีย (NH_3-N) (mg/l)	10.910±1.352	10.249±1.938	11.194±1.862	11.598±2.370	10.265±0.476
ไนเตรท (NO_3-N) (mg/l)	0.033±0.020	0.029±0.017	0.035±0.014	0.036±0.020	0.031±0.013
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	7.153±1.478	7.622±0.855	7.770±1.317	7.617±0.582	7.549±0.622
ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-PO_4)	5.002±1.050	5.304±0.567	5.430±0.945	5.314±0.312	5.275±0.559
ตะกั่ว (Pb) (mg/l)	< 0.500	1.423	1.223	0.876	1.056
ทองแดง (Cu) (mg/l)	0.183±0.084	0.705±0.485	0.847±0.433	0.860±0.570	0.689±0.409

หมายเหตุ NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu คือ น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ตามลำดับ

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.1.2 คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดและเปอร์เซ็นต์การบำบัด

1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.16-7.25 น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.74-9.00, 7.50-8.46 , 7.67-8.38, 7.71-8.16 และ 7.82-8.82 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียหลังทดลองส่วนใหญ่มีค่าเป็นด่างเล็กน้อยและมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 3 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งธรรมชาติอื่นๆ นอกจากแหล่งปะการังเป็นแหล่งอนุรักษ์ป่าชายเลน แหล่งอาศัย แหล่งเพาะพันธุ์ และอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพไม่เปลี่ยนไปจากธรรมชาติมากนัก) ซึ่งกำหนดให้ความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 7.00-8.50 (ค.พ., 2543) (ตารางที่ 4.2)

การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสูงขึ้นเป็นเพราะการนำน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองเป็นการเพิ่มธาตุอาหาร ทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดี มีอัตราการการสังเคราะห์แสงและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในน้ำสูงขึ้น ทำให้ในน้ำมีไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) สูงขึ้น เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำสูงขึ้นได้ (ประเทือง เชาว์วันกลาง, 2534) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Steinmann และคณะ (2003) ที่กล่าวว่า การที่น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 8.50 ช่วยส่งเสริมให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชสูงขึ้น นอกจากนี้ในการทดลองมีการเติมน้ำทะเลซึ่งมีแร่ธาตุต่างๆ ปริมาณมากระหว่างการพักระบบทุกครั้งของการทดลอง ดังนั้นอาจมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นได้

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวน้ำสูง ดังนั้นการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจึงสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช

2) อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.70-28.21 °C น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.50-29.22, 28.14-29.48, 27.72-29.60, 28.67-29.90 และ 28.30-28.68 °C ตามลำดับ สำหรับอุณหภูมิของน้ำเสียหลังทดลองในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิมีค่าไม่เกิน 33 °C (คพ., 2543) (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในน้ำเสียหลังทดลองทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของน้ำเสียขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างและสภาพอากาศซึ่งผันแปรในแต่ละวัน แต่จากการสังเกตพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้นไม่เกิน 2 °C

3) ความเค็ม (salinity)

ความเค็มของน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60, 6.02, 12.12, 17.94 และ 23.92 psu ตามลำดับ น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีค่าความเค็มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าความเค็มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.54-10.46, 13.96-15.49, 16.90-18.21, 21.67-24.7และ 28.36-29.31 psu ตามลำดับ ซึ่งค่าความเค็มของน้ำเสียหลังทดลองในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 2 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง เป็นบริเวณที่มีแหล่งปะการังสมบูรณ์ หรือปะการังที่เสื่อมโทรม แต่มีแนวโน้มที่จะฟื้นคืนสภาพได้) ซึ่งกำหนดให้ความเค็มมีค่าไม่เกิน 35 psu (ค.พ., 2543) (ตารางที่ 4.2)

การที่ค่าความเค็มของน้ำเสียสูงขึ้น เป็นผลจากการระเหยของน้ำ และการดูดน้ำการคายน้ำของพืชด้วย ทำให้น้ำเสียหลังทดลองมีความเค็มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีค่าความเค็มสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากพารามิเตอร์นี้เป็นปัจจัยควบคุมของการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) การนำไฟฟ้า (conductivity)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิที่ทำการวัด สารละลายอนินทรีย์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ขณะที่สารอินทรีย์ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)

ความเค็มของน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.31, 12.44, 23.57, 33.87 และ 44.51 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.99-18.14, 22.56-26.77, 27.69-29.54, 35.36-40.53 และ 44.00-47.21 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความเค็ม นอกจากนี้การที่อุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้น ทำให้สารอนินทรีย์ในน้ำแตกตัวได้ดีขึ้น มีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม และการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

พารามิเตอร์	ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง	น้ำเสียหลังทดลอง				
			โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
pH	**NW**	7.22±0.09	^{a}8.01±0.24^{b}	^{a}7.82±0.29^{bc}	^{b}7.74±0.15^{c}	^{b}7.95±0.23^{bc}	^{a}9.00±0.27^{a}
	6 psu	7.24±0.10	^{b}7.65±0.14^{bc}	^{b}7.50±0.09^{c}	^{b}7.69±0.13^{b}	^{bc}7.82±0.16^{b}	^{c}8.46±0.31^{a}
	12 psu	7.25±0.08	^{a}7.99±0.43^{bc}	^{ab}7.67±0.15^{c}	^{a}8.17±0.56^{ab}	^{bc}7.82±0.18^{bc}	^{c}8.38±0.40^{a}
	18 psu	7.18±0.09	^{a}7.93±0.23^{b}	^{a}7.86±0.17^{bc}	^{b}7.74±0.14^{bc}	^{c}7.71±0.31^{c}	^{bc}8.16±0.10^{a}
	24 psu	7.16±0.10	^{ab}7.87±0.19^{c}	^{a} 7.82±0.23^{c}	^{a}8.28±0.23^{b}	^{a}8.32±0.18^{b}	^{ab}8.82±0.32^{a}
temp	**NW**	27.72±2.94	28.66±2.72	28.50±1.96	28.71±2.29	28.70±2.55	29.22±2.34
(^{o}C)	**6 psu**	27.70±3.02	28.14±2.49	28.39±2.84	29.10±2.33	28.56±2.03	29.48±2.31
	12 psu	27.78±3.10	28.29±2.85	27.72±3.15	28.30±2.76	28.68±2.82	29.60±2.23
	18 psu	27.84±3.16	28.67±2.32	29.03±2.42	29.18±2.48	29.57±2.39	29.90±2.03
	24 psu	28.21±3.17	28.30±1.94	28.41±2.25	28.41±2.51	28.48±2.46	28.68±1.98
salinity	**NW**	^{e}0.60±0.00	^{e}8.77±1.50	^{e}9.67±3.23	^{d}9.07±2.86	^{e}8.54±1.56	^{e}10.46±2.90
(psu)	**6 psu**	^{d}6.02±0.23	^{d}13.96±3.36	^{d}14.19±3.24	^{c}15.04±2.02	^{d}14.03±2.81	^{d}15.49±2.27
	12 psu	^{c}12.12±0.33	^{c}17.19±3.69	^{c}17.32±1.53	^{c}16.90±2.22	^{c}17.46±2.41	^{c}18.21±2.15
	18 psu	^{b}17.94±0.21	^{b}23.69±3.05	^{b}22.73±2.07	^{b}23.23±2.15	^{b}21.67±2.47	^{b}24.73±1.53
	24 psu	^{a}23.92±0.72	^{a}28.69±1.69	^{a}29.16±2.40	^{a}29.18±1.65	^{a}28.36±0.75	^{a}29.31±0.94
conductivity	**NW**	^{e}1.31±0.11	^{d}17.58±3.03	^{e}16.72±5.54	^{d}15.77±5.08	^{e}14.99±2.74	^{d}18.14±7.19
(mS/cm)	**6 psu**	^{d}12.44±0.72	^{d}22.56±6.08	^{d}24.01±5.58	^{c}26.77±3.65	^{d}23.66±5.28	^{c}24.41±5.78
	12 psu	^{c}23.57±1.24	^{c}27.77±7.21	^{c}29.54±4.57	^{c}27.69±4.40	^{c}28.69±4.46	^{c}29.00±3.29
	18 psu	^{b}33.87±0.88	^{b}38.95±6.22	^{b}36.79±3.86	^{b}37.71±3.72	^{b}35.36±4.14	^{b}40.53±3.67
	24 psu	^{a}44.51±2.29	^{a}45.13±3.07	^{a}44.92±4.88	^{a}45.52±3.77	^{a}44.00±4.28	^{a}47.21±1.63

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen; DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นและมีค่าค่อนข้างผันแปร คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณออกซิเจนละลายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.50-13.29, 3.50-9.72, 4.96-13.72, 4.80-13.87 และ 5.68-14.78 mg/l ตามลำดับ ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียหลังทดลองส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดให้ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าไม่ต่ำกว่า 4.00 mg/l (ค.พ., 2543) (ตารางที่ 4.3)

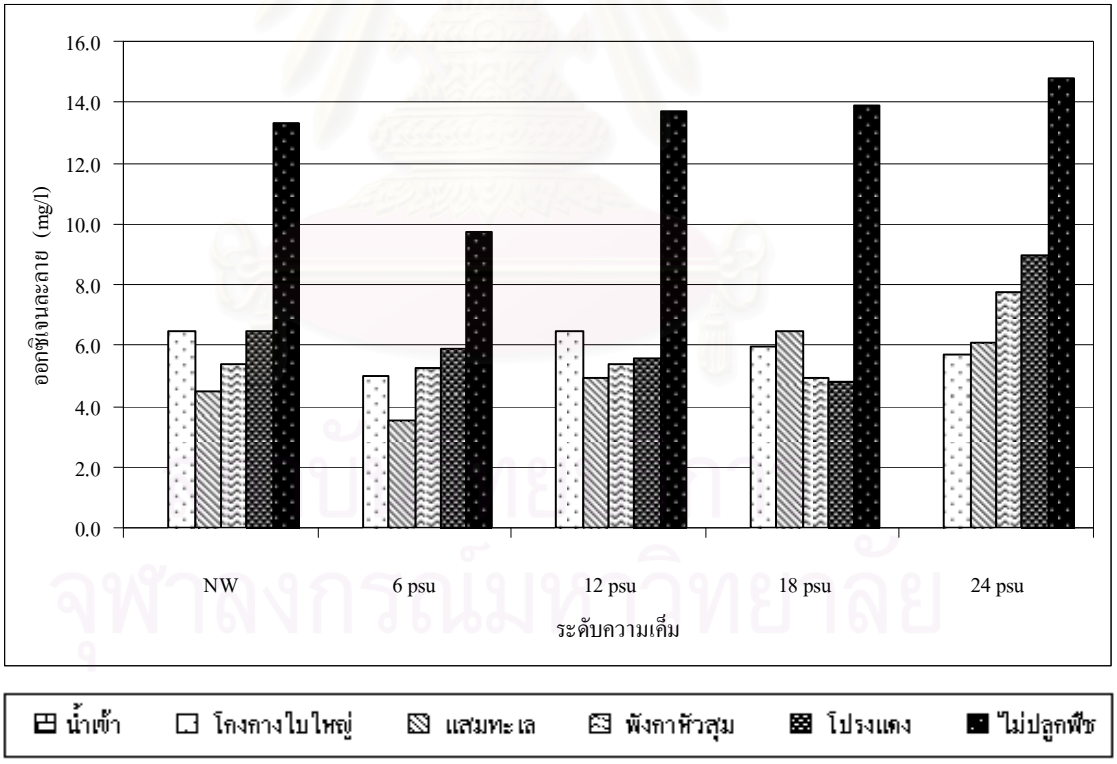
การที่ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียสูงขึ้นนี้เป็นเพราะสถานที่วางชุดทดลองเป็นโรงเรือนที่ลมสามารถพัดผ่านได้ จึงมีการเติมออกซิเจนโดยลม นอกจากนี้กล้าไม้ยังสามารถนำออกซิเจนลงสู่ชุดทดลองด้วยกระบวนการพาของก๊าซ (convection) (Brix, 1993 อ้างถึงใน Crock และ Fennessy, 2001)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น (ยกเว้นในกรณีของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงสุด) ทั้งนี้เพราะชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu ได้ถูกใช้เป็นชุดควบคุม (น้ำทะเล) ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารต่ำในการทดลองก่อนหน้านี้ ทำให้โกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตต่ำ มีความแน่นทึบน้อยกว่าในชุดทดลองอื่นที่มีการใส่น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและการเติมออกซิเจนโดยลมในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu เกิดได้ดี นอกจากนี้การที่ชุดทดลองดังกล่าวมีธาตุอาหารสะสมอยู่ต่ำ ทำให้การนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบต่ำ มีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในชุดทดลองสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีความแน่นทึบน้อยกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เป็นผลให้การเติมออกซิเจนลงสู่น้ำเสียโดยลมและมีแสงส่องมากกว่าทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชได้ดีกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช (รูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.00±0.00	6.47±2.10^{b}	^{ab}4.50±2.22^{b}	^{b}5.39±1.29^{b}	^{b}6.44±1.17^{b}	^{ab}13.29±2.68^{a}
6 psu	0.00±0.00	4.98±0.89^{bc}	^{b}3.50±1.99^{c}	^{b}5.26±1.49^{bc}	^{bc}5.87±1.95^{b}	^{b}9.72±2.56^{a}
12 psu	0.00±0.00	6.48±1.99^{b}	^{ab}4.96±2.52^{b}	^{b}5.36±1.32^{b}	^{bc}5.54±1.17^{b}	^{a}13.72±5.20^{a}
18 psu	0.00±0.00	5.94±1.14^{b}	^{a}6.43±1.86^{b}	^{b}4.91±1.15^{b}	^{c}4.80±0.93^{b}	^{a}13.87±2.88^{a}
24 psu	0.00±0.00	5.68±0.60^{c}	^{a}6.08±0.98^{c}	^{a}7.76±2.30^{bc}	^{a}8.93±1.47^{b}	^{a}14.78±4.66^{a}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.1 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

6) ปริมาณบีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD)

ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.69-28.48 mg/l ซึ่งพบว่ามีความผันแปร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่ได้รับโดยตรงจากท่อส่งน้ำ ประกอบกับเวลาที่สูบน้ำเสียมาเก็บไว้ในถังสำรองน้ำไม่แน่นอน น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณบีโอดีต่ำลงและมีค่าค่อนข้างผันแปร คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณบีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.43-9.91, 4.78-8.67, 5.21-10.68, 4.67-7.59 และ 3.15-7.46 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.2) ซึ่งปริมาณบีโอดีของน้ำเสียหลังทดลองในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. (อาคารชุด โรงแรม สถานพยาบาล สถานศึกษา ที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือของเอกชน ศูนย์การค้า ตลาด ภัตตาคารหรือร้านอาหารขนาดใหญ่) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20.00 mg/l (ค.พ., 2543)

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 62.14-87.48, 67.74-82.53, 57.83-79.49, 69.98-81.75 และ 69.08-86.89 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 62.14-81.55, 74.74-86.07, 67.74-83.57, 57.83-81.69 และ 69.98-87.48 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.3)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณบีโอดีในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีปริมาณบีโอดีต่ำว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณบีโอดีต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียหลังทดลองซึ่งพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu และ 18 psu) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียหลังทดลองที่พบว่าในชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าในชุดทดลองที่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW และ 24 psu ที่ไม่ปลูกพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองอื่นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu ที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรงแดงมีการเจริญเติบโตด้านความสูงต่ำกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น รวมทั้งเรือนยอดทึบ ทำให้การเติมออกซิเจนโดยลมเกิดได้จำกัด มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีต่ำลงด้วย (รูปที่ ก.1)

นอกจากนี้การที่ค่าบีโอดีของน้ำเสียหลังทดลองลดลงคาดว่าเป็นเพราะว่าน้ำเสียก่อนทดลองอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนและมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.5-7.5 ทำให้ปฏิกิริยาไกลโคไลซีส (glycolysis) และเมทาโนจีเนซีส (mathonogenesis) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเกิดได้ดีขึ้น (Mitsch และ Gosselink, 2000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	28.32±8.27	^{a}9.91±2.86^{a}	^{a}6.09±1.91^{bc}	^{b}4.18±1.99^{cd}	^{b}7.76±3.47^{ab}	^{b}3.43±1.62^{d}
6 psu	28.48±7.21	^{ab}6.95±3.97^{ab}	^{a}6.61±1.96^{ab}	^{a}8.67±1.73^{a}	^{b}5.92±2.72^{b}	^{b}4.78±1.44^{b}
12 psu	26.89±7.15	^{ab}7.23±2.55^{b}	^{a}5.68±2.19^{b}	^{b}5.21±1.78^{b}	^{a}10.68±4.35^{a}	^{ab}5.37±1.72^{b}
18 psu	26.04±5.97	^{ab}7.59±3.28^{a}	^{a}6.26±1.46^{ab}	^{b}4.69±1.93^{b}	^{b}4.67±2.04^{b}	^{a}7.25±3.19^{a}
24 psu	25.69±5.78	^{b}4.67±2.28^{b}	^{b}3.47±1.90^{b}	^{a}7.46±3.57^{a}	^{b}5.32±1.76^{ab}	^{b}3.15±2.11^{b}

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดบีโอดี

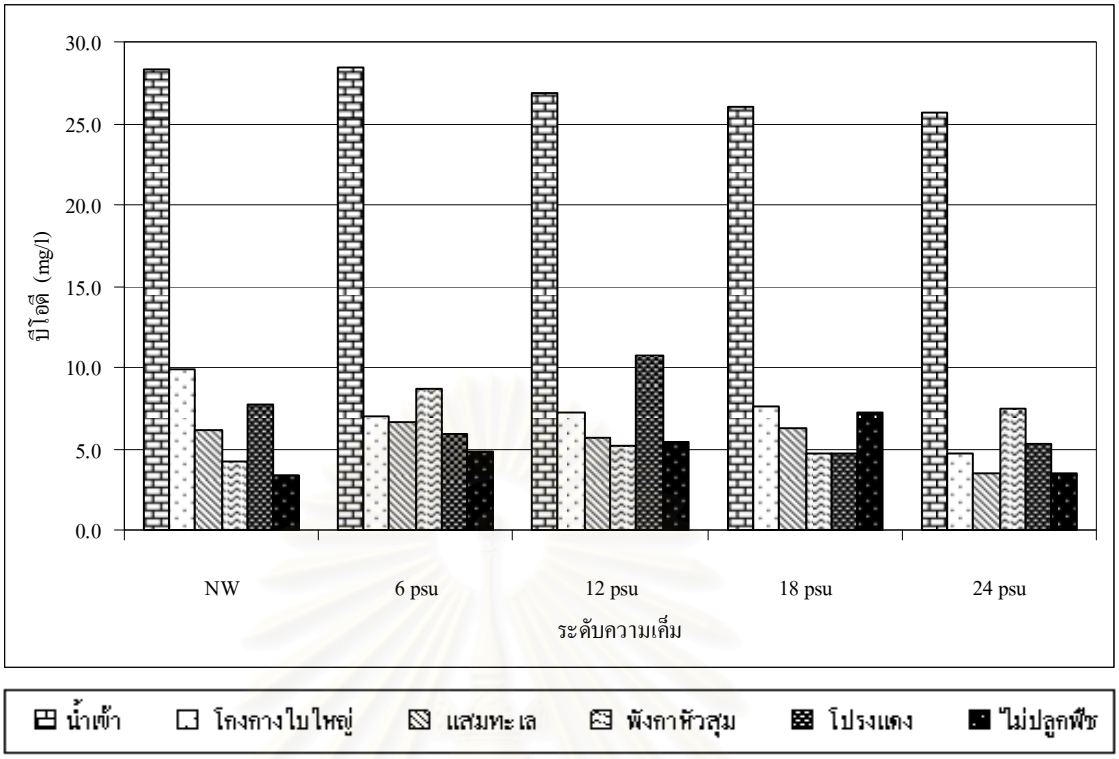
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{b}62.14±16.45^{c}	76.77±10.04^{ab}	^{a}83.57±10.40^{a}	^{a}70.83±16.12^{bc}	^{a}87.48±6.81^{a}
6 psu	^{ab}74.57±15.50	76.66±5.51	^{b}67.74±9.91	^{a}78.31±11.84	^{a}82.53±6.37
12 psu	^{ab}73.12±6.79^{a}	78.58±8.52^{a}	^{ab}78.43±11.46^{a}	^{b}57.83±20.75^{b}	^{a}79.49±6.88^{a}
18 psu	^{ab}70.03±14.44	74.74±8.33	^{a}81.75±6.02	^{a}81.69±8.45	^{b}69.98±15.70
24 psu	^{a}81.55±9.29^{a}	86.07±8.18^{a}	^{b}69.08±18.66^{b}	^{a}79.48±4.43^{a}	^{a}86.89±6.64^{a}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

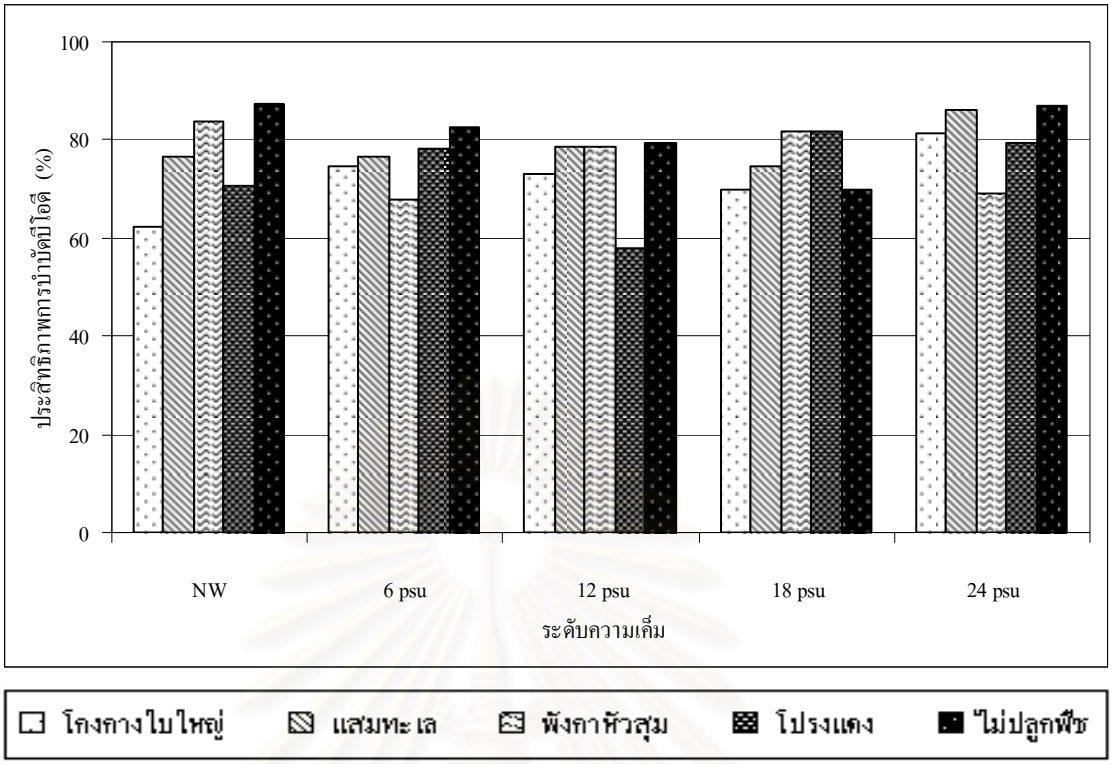
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

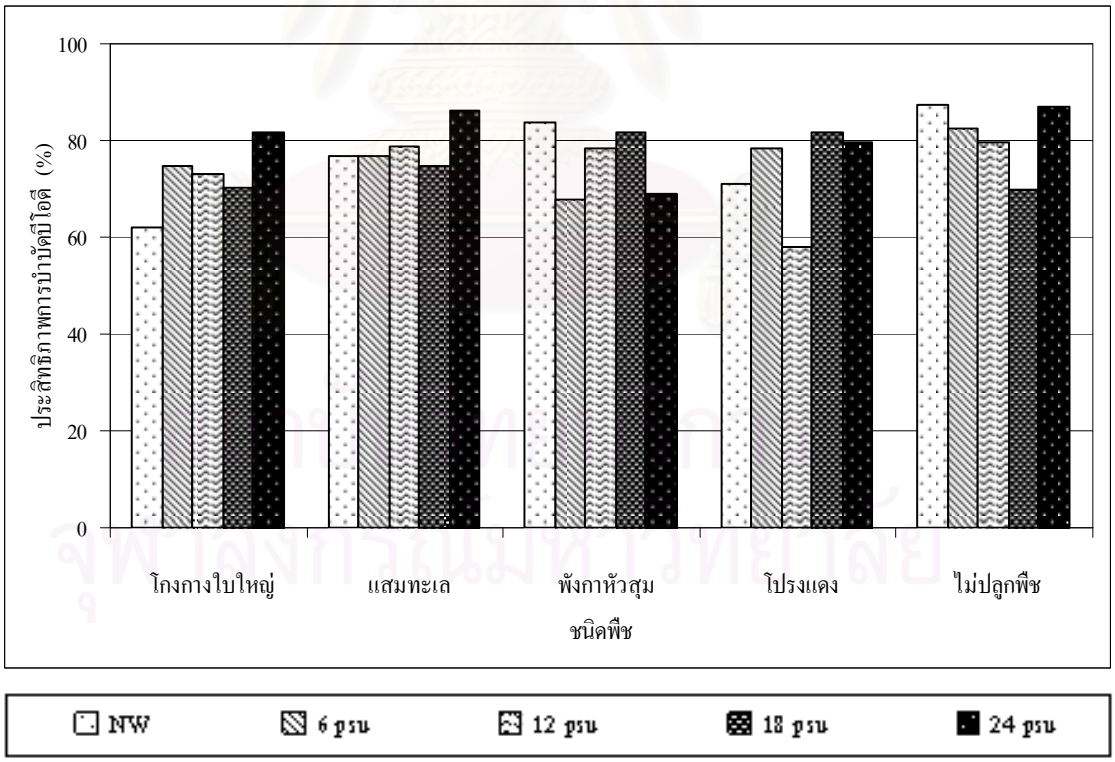


รูปที่ 4.2 ปริมาณบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสีย

7) ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (total suspend solids; TSS)

ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.14, 61.92, 78.56, 99.09 และ 133.89 mg/l ตามลำดับ ซึ่งสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้นและมีค่าผันแปรสูง เนื่องจากการปรับเพิ่มความเค็มโดยการเติม NaCl ปริมาณมาก ทำให้น้ำมีความหนาแน่นและความหนืดสูงขึ้น มีผลให้มวลน้ำมีการเคลื่อนที่ลดลง ประกอบกับมีการสูบน้ำเสียมาเก็บน้ำไว้ในถังสำรองน้ำเป็นเวลา 1 คืน ก่อนปล่อยลงสู่ชุดทดลอง เป็นผลให้สารแขวนลอยมีโอกาสตกตะกอนลงสู่ก้นถังสำรองน้ำได้สูงขึ้น (Lefebvre และคณะ, 2005) สอดคล้องกับ Park และคณะ (2001) ที่ได้ศึกษาผลของความเค็มต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ที่ใช้บำบัดไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาจำลอง ในห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 120 วัน พบว่าตลอดการทดลองถังปฏิกรณ์ที่ได้รับน้ำทิ้งความเค็ม 0 psu, 15 psu และ 30 psu มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 3-6, 8-12 และ16-18 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดต่ำลงและมีค่าผันแปรสูง คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าสารแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 22.46-38.94, 32.99-52.63, 37.53-54.03, 72.49-91.73 และ 69.38-96.54 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.4)

ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.03-48.32, 10.68-44.29, 24.33-49.15, 5.82-26.83 และ 27.78-47.85 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.03-43.49, 21.88-48.32, 0.59-49.15, 13.65-47.85 และ 10.68-38.59 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.5) การที่ประสิทธิภาพการบำบัดบางค่าต่ำมาก เป็นเพราะในชุดทดลองอาจมีการร่วงหล่นของเศษกิ่งไม้ใบไม้และการฟุ้งของตะกอนดินเลน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu มีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และพังกาหัวสุมดอกแดง) แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่

ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW และ 12 psu) โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องจากกล้าไม้ชายเลนมีระบบรากหายใจซึ่งช่วยกรองและดักจับสารแขวนลอยต่างๆในน้ำเสียได้ดี (สนิท อักษรแก้ว, 2541)

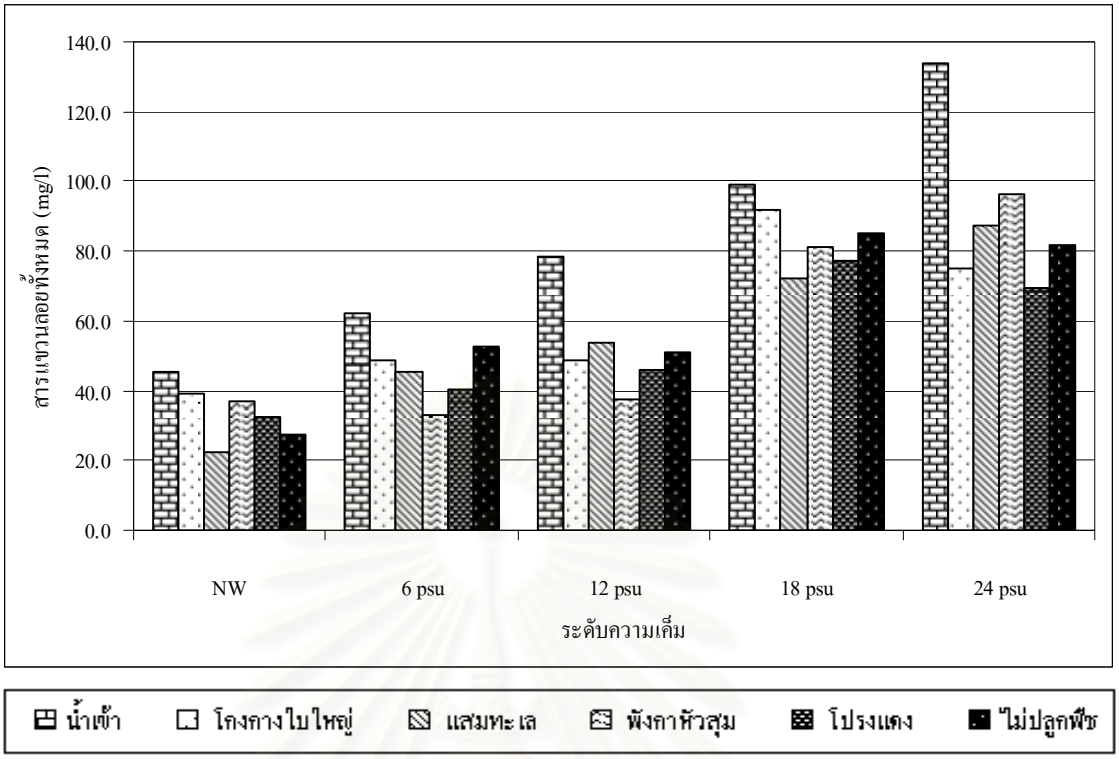
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{d}45.14±16.01	^{c}38.94±7.15^{a}	^{d}22.46±10.09^{c}	^{c}37.03±7.29^{a}	^{c}32.61±7.11^{ab}	^{c}27.60±9.82^{bc}
6 psu	^{cd}61.92±17.97	^{c}48.71±10.36^{ab}	^{c}45.53±9.09^{ab}	^{c}32.99±9.52^{c}	^{bc}40.17±7.52^{bc}	^{b}52.63±11.27^{a}
12 psu	^{c}78.56±22.18	^{c}48.44±10.44^{a}	^{c}54.03±12.30^{a}	^{c}37.53±8.29^{b}	^{b}46.01±9.87^{ab}	^{b}50.69±10.75^{a}
18 psu	^{b}99.09±21.53	^{a}91.73±17.94	^{b}72.49±19.26	^{b}80.96±16.20	^{a}77.47±15.93	^{a}85.00±16.30
24 psu	^{a}133.89±11.73	^{b}75.17±7.78^{cd}	^{a}87.62±8.71^{ab}	^{a}96.54±13.42^{a}	^{a}69.38±9.43^{d}	^{a}81.68±7.05^{bc}

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมด

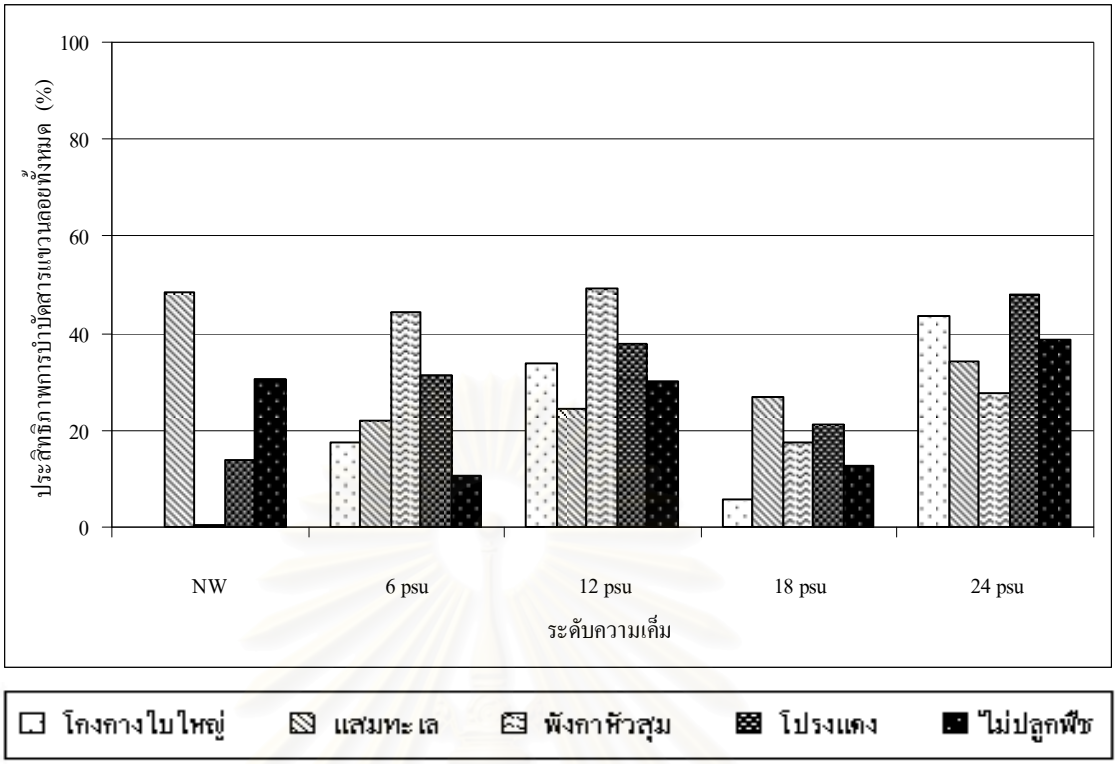
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{c}0.03±56.41	48.32±22.10	^{b}0.59±78.87	13.65±60.84	30.39±46.59
6 psu	^{abc}17.28±23.17^{b}	21.88±24.52^{b}	^{a}44.29±18.25^{a}	31.18±20.55^{ab}	10.68±23.79^{b}
12 psu	^{ab}33.73±28.56	24.33±40.28	^{a}49.15±18.85	37.79±22.72	29.90±32.99
18 psu	^{bc}5.82±18.52^{c}	26.83±11.24^{a}	^{ab}17.52±10.27^{abc}	21.15±8.93^{ab}	12.68±16.74^{bc}
24 psu	^{a}43.49±7.56^{ab}	34.14±8.38^{cd}	^{ab}27.78±8.75^{d}	47.85±8.46^{a}	38.59±7.37^{bc}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

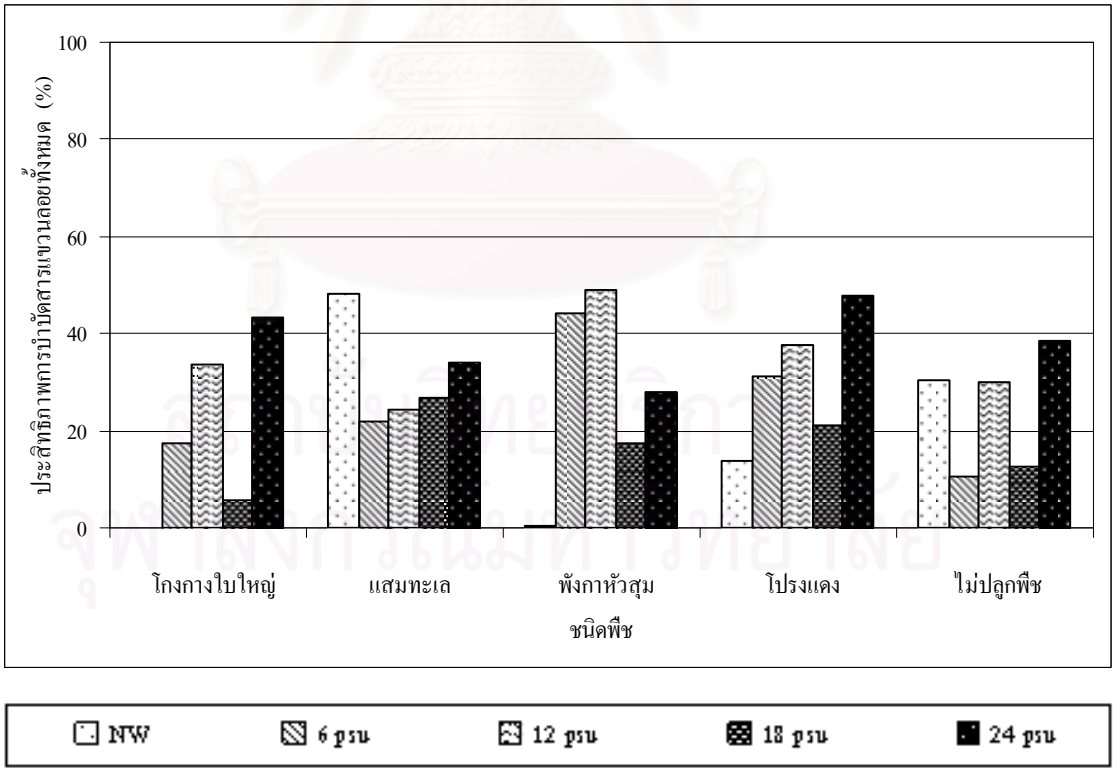


รูปที่ 4.4 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสีย

8) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.207-26.406 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบแนวโน้มว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.056-1.539, 1.411-2.244, 1.711-2.367, 2.172-3.206 และ 3.439-5.550 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.6) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียหลังทดลองในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดให้ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าไม่เกิน 35.000 mg/l (ค.พ., 2543)

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93.97-95.86, 90.13-93.80, 91.06-93.34, 87.96-91.56 และ 77.03-85.80 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 81.66-95.06, 85.80-95.86, 82.30-95.50, 78.70-93.97 และ 77.03-94.28 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.7)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 93.97-95.86, 90.13-93.80 และ 91.06-93.34 % ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการที่น้ำมีความเค็มสูงขึ้น ทำให้ชนิดและจำนวนของแบคทีเรียในชุดทดลองลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันลดลง สอดคล้องกับที่ Tam (1998) ศึกษาผลของความเค็มต่อจำนวนประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลน โดยปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็ม 0 และ 15 psu ลงในป่าชายเลน 2 บริเวณ พบว่า จำนวนไนตริไฟอิงแบคทีเรียและดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียในดินป่าชายเลนบริเวณที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu มีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 15 psu อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ Panswad และ Anan (1999) ศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียของระบบบำบัดแบบชีวภาพ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากับ 25 mg/l

ให้มีความเค็มอยู่ในช่วง 0 ถึง 30 psu (ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ความเค็ม 0 psu เป็นชุดควบคุม) ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บ 10 วัน พบว่า เมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบต่ำลงอยู่ในช่วง 88-68 % นอกจากนี้การที่ความเค็มของน้ำสูงขึ้นทำให้การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่างๆ บริเวณรากขนอ่อน (root hair) เป็นไปได้ยากขึ้น ทำให้พืชมีโอกาสดูดดึงไนโตรเจนไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ต่ำลง มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดลดลงอีกทางหนึ่ง (Clough, 1992 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541; Lin และ Sternberg, 1993 อ้างถึงใน Kathiresan และ Bingham, 2001)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu) เนื่องจากพืชมีบทบาทในการบำบัดไนโตรเจน คือ การดูดดึงไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไอออนและไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล พังกาหัวสุม-ดอกแดง และโกงกางใบใหญ่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 85.80-95.86, 82.30-95.50, 81.66-95.06 % ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW ที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลและพังกาหัวสุมดอกแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองอื่นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu ที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดงและไม่ปลูกพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าชุดทดลองอื่นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น อาจเป็นเพราะโดยทั่วไปโปรงแดงเจริญเติบโตได้ดีเมื่อความเค็มสูงกว่า 30 psu (Jordan, 1964 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) มีผลให้การดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์เกิดได้ต่ำ (รูปที่ ก.2)

จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ทุกชุดทดลองสามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงนอกเหนือจากการดูดซึมโดยพืชและจุลินทรีย์นั้น อาจเป็นเพราะค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียก่อนทดลองและน้ำเสียหลังทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 7.16-9.00 ซึ่งตามที่ ศุวศา กานตวนิชกูร (2544) ได้กล่าวไว้ว่า การระเหยของแอมโมเนียอาจเป็นกระบวนการสำคัญในการบำบัดไนโตรเจนถ้าในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 นอกจากนี้การที่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีดินเลนเป็นชั้นตัวกลาง ทำให้สารประกอบไนโตรเจนมีโอกาสถูกบำบัดโดยการดูดซับของดินได้สูงขึ้น เนื่องจากดินเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารพืช (Pezeshki และคณะ, 1997)

อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถถูกบำบัดได้หลายวิธี เช่น การดูดซับโดยดิน การแลกเปลี่ยนประจุ การระเหยของแอมโมเนีย การดูดซึมโดยพืชและจุลินทรีย์ แต่การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันร่วมกับดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกหลักในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (Park และคณะ, 2001) เนื่องจากเมื่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีสภาพน้ำท่วมขังปริมาณออกซิเจนจะลดลงจากผิวน้ำไปสู่ดินตะกอนด้านล่างซึ่งทำให้ในระบบเกิดทั้งสภาพมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ดังนั้นไนเตรทที่เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยไนตริไฟอิงแบคทีเรียในชั้นที่มีออกซิเจนจะถูกแพร่ลงสู่ชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจนแล้วเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ การรีดิวซ์ไนเตรทให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) แล้วระเหยออกจากระบบต่อไป (Reddy และ Patrick, 1984 อ้างถึงใน ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

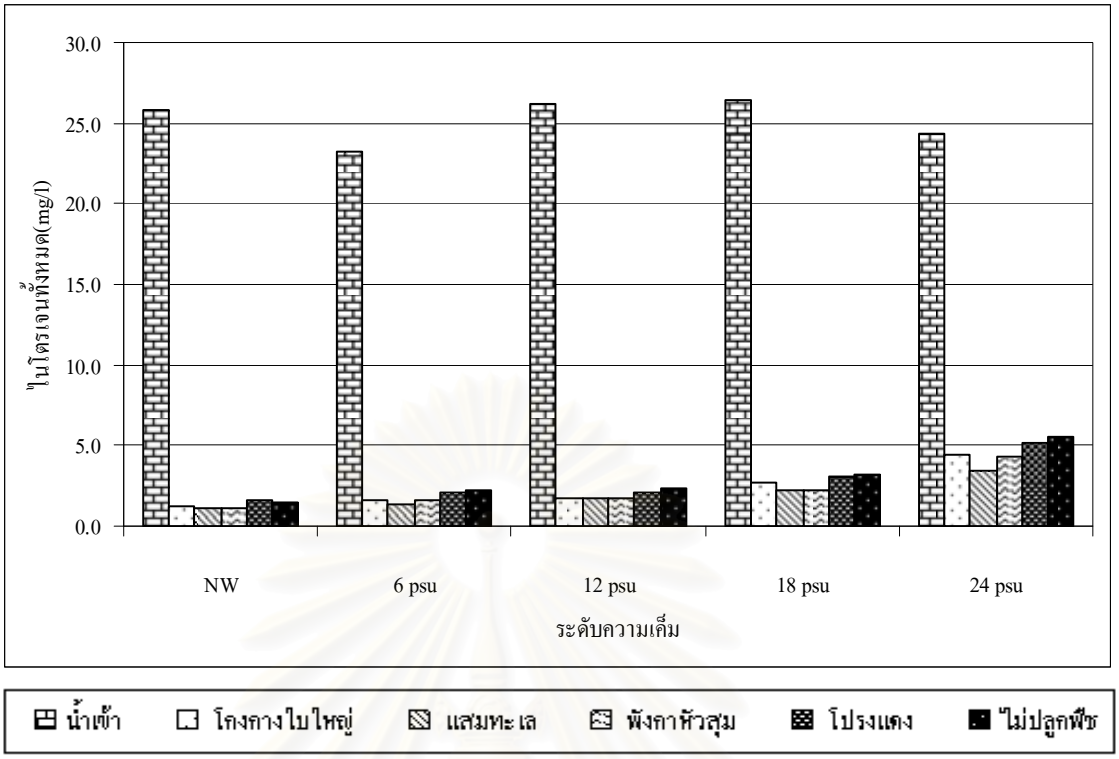
ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	25.817±3.026	^{c}1.267±0.256^{bc}	^{d}1.056±0.174^{c}	^{d}1.161±0.234^{c}	^{c}1.539±0.122^{a}	^{c}1.478±0.439^{ab}
6 psu	23.207±3.326	^{c}1.633±0.324^{b}	^{cd}1.411±0.167^{b}	^{c}1.589±0.278^{b}	^{c}2.050±0.482^{a}	^{c}2.244±0.699^{a}
12 psu	26.196±4.408	^{c}1.756±0.356^{b}	^{c}1.711±0.260^{b}	^{c}1.722±0.340^{b}	^{c}2.072±0.533^{ab}	^{bc}2.367±0.726^{a}
18 psu	26.406±5.239	^{b}2.728±0.251^{ab}	^{b}2.172±0.347^{b}	^{b}2.222±0.485^{b}	^{b}3.122±0.710^{a}	^{b}3.206±0.966^{a}
24 psu	24.400±2.187	^{a}4.417±0.926^{bc}	^{a}3.439±0.899^{c}	^{a}4.272±0.701^{bc}	^{a}5.178±0.817^{ab}	^{a}5.550±1.528^{a}

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{a}95.06±1.04^{ab}	^{a}95.86±0.87^{a}	^{a}95.50±0.81^{a}	^{a}93.97±0.83^{c}	^{a}94.28±1.61^{bc}
6 psu	^{a}92.78±2.06^{ab}	^{ab}93.80±1.18^{a}	^{b}92.99±1.76^{ab}	^{b}91.01±2.52^{bc}	^{b}90.13±3.53^{c}
12 psu	^{a}93.28±1.19	^{b}93.17±2.25	^{b}93.34±1.30	^{ab}92.08±2.00	^{ab}91.06±2.73
18 psu	^{b}89.36±1.99^{ab}	^{b}91.36±2.71^{a}	^{b}91.56±1.39^{a}	^{c}87.98±2.98^{b}	^{b}87.96±3.35^{b}
24 psu	^{c}81.66±4.72^{abc}	^{c}85.80±3.96^{a}	^{c}82.30±3.69^{ab}	^{d}78.70±3.36^{bc}	^{c}77.03±7.17^{c}

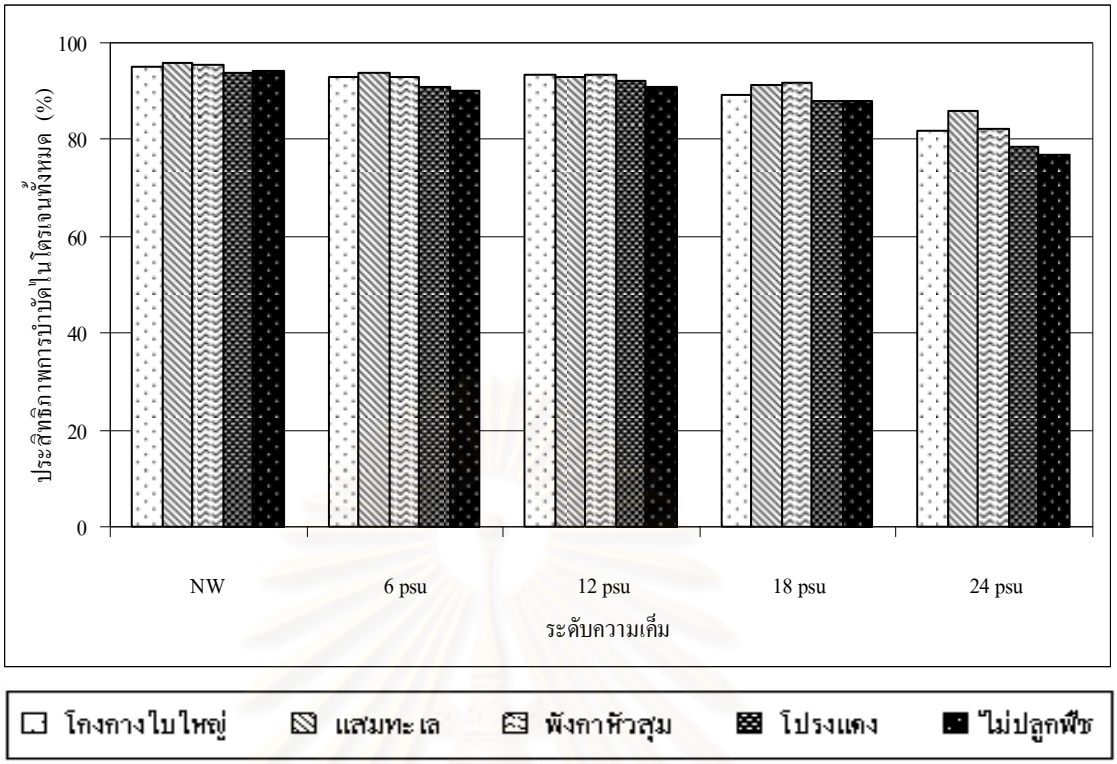
หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

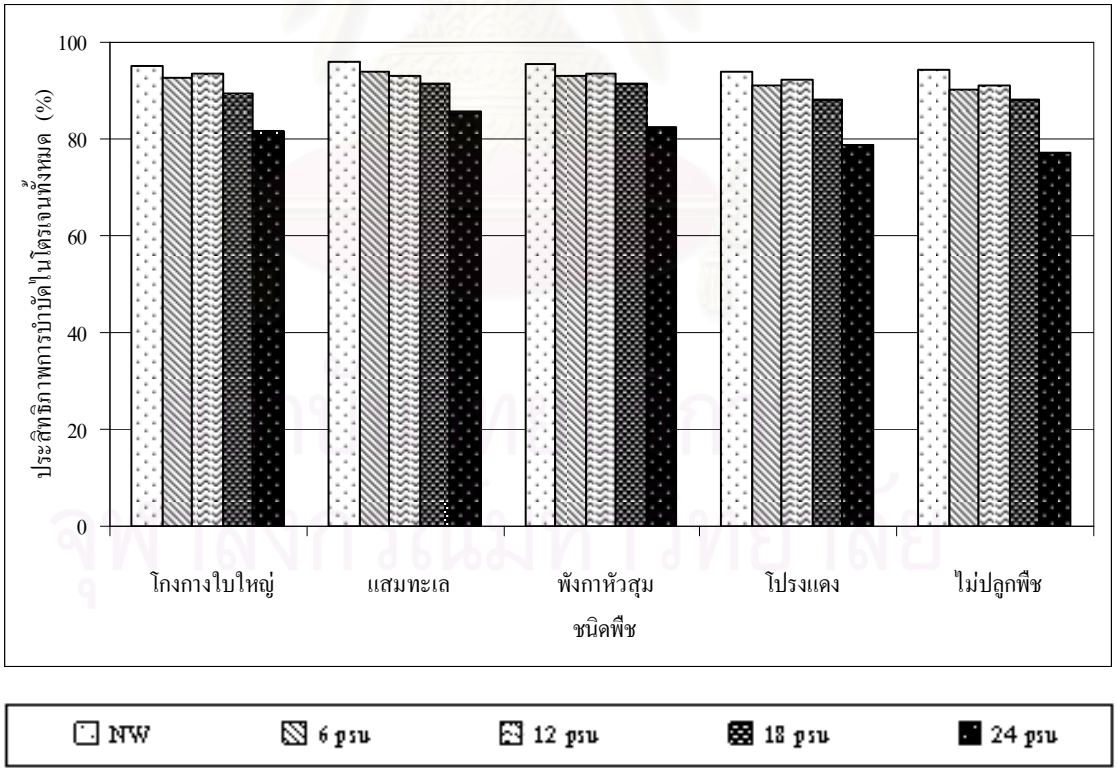


รูปที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสีย

9) แอมโมเนีย (ammonia nitrogen; NH_3-N)

ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.249-11.598 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณแอมโมเนียต่ำลงและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.696-0.897, 0.865-1.166, 0.771-0.939, 0.662-1.036 และ 0.757-1.337 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.8)

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 91.71-93.65, 88.37-91.29, 91.61-92.86, 90.83-93.86 และ 87.03-92.70 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 90.27-93.65, 89.32-93.86, 90.86-93.16, 88.37-91.71 และ 87.03-93.25 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.9)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu ที่พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) แต่โดยทั่วไปประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าสูง

อย่างไรก็ตามการบำบัดแอมโมเนียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนอกจากการระเหยเป็นไอ การดูดซึมโดยพืชและแบคทีเรียในกลุ่ม autotrophic แล้ว กระบวนการไนตริฟิเคชันก็เป็นกลไกสำคัญในการบำบัดอีกทางหนึ่ง เนื่องจากเป็นกระบวนการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทโดยมีไนไตรท์เป็นสารระหว่างกลางของการเกิดปฏิกิริยา ไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดีในชั้นน้ำ ชั้นดิน และบริเวณรอบรากพืชที่มีออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับสภาพของชุดทดลองที่เป็นระบบเปิดจึงมีการเติมออกซิเจนโดยกระแสลมได้ดี ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันคือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง สภาพด่างของน้ำ แหล่งอนินทรีย์คาร์บอน ความชื้น ปริมาณจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนและออกซิเจนละลาย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; IWA, 2000 อ้างถึงใน Jing และ Lin, 2004) โดยจากการศึกษาของ Jing และ Lin (2004) พบว่า น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงและมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนต่ำ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถบำบัดแอมโมเนียได้สูงกว่าน้ำเสียที่มีอุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนสูง เนื่องจากการ

ที่แอมโมเนียมไอออนในน้ำมีความเข้มข้นสูงจะส่งเสริมให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนเร็วขึ้น มีผลให้กระบวนการไนตริฟิเคชันหยุดชะงัก (Hammer และ Knight,1995 อ้างถึงใน Keffala และ Ghrabi, 2005)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	10.910±1.352	0.710±0.321	0.696±0.145	0.743±0.131	0.897±0.373	^{b}0.761±0.388
6 psu	10.249±1.938	0.974±0.275	1.035±0.634	0.865±0.134	1.166±0.297	^{ab}1.041±0.376
12 psu	11.194±1.862	0.851±0.212	0.771±0.094	0.785±0.104	0.939±0.235	^{b}0.884±0.446
18 psu	11.598±2.370	0.867±0.345	0.662±0.268	0.794±0.152	1.036±0.179	^{b}0.905±0.463
24 psu	10.265±0.476	0.987±0.404^{ab}	0.757±0.330^{b}	0.945±0.390^{b}	1.102±0.441^{ab}	^{a}1.337±0.239^{a}

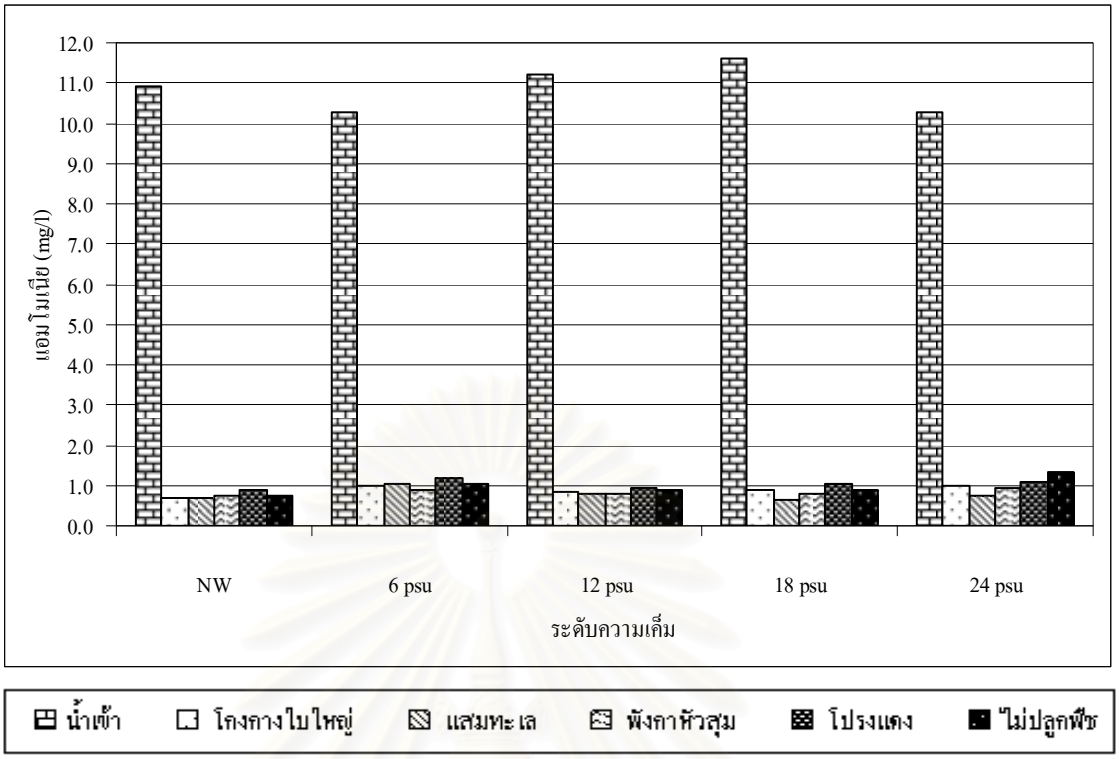
ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดแอมโมเนีย

ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	93.65±2.80	93.49±1.88	93.16±1.21	91.71±4.07	^{a}93.25±3.32
6 psu	90.27±3.25	89.32±7.75	91.29±2.26	88.37±3.53	^{bc}89.54±4.27
12 psu	92.39±1.54	92.74±2.67	92.86±1.07	91.61±1.67	^{ab}92.19±3.57
18 psu	92.15±3.82	93.86±3.62	93.05±1.15	90.83±1.90	^{ab}92.21±3.74
24 psu	90.46±3.83^{ab}	92.70±3.11^{a}	90.86±3.71^{a}	89.34±4.20^{ab}	^{c}87.03±2.02^{b}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

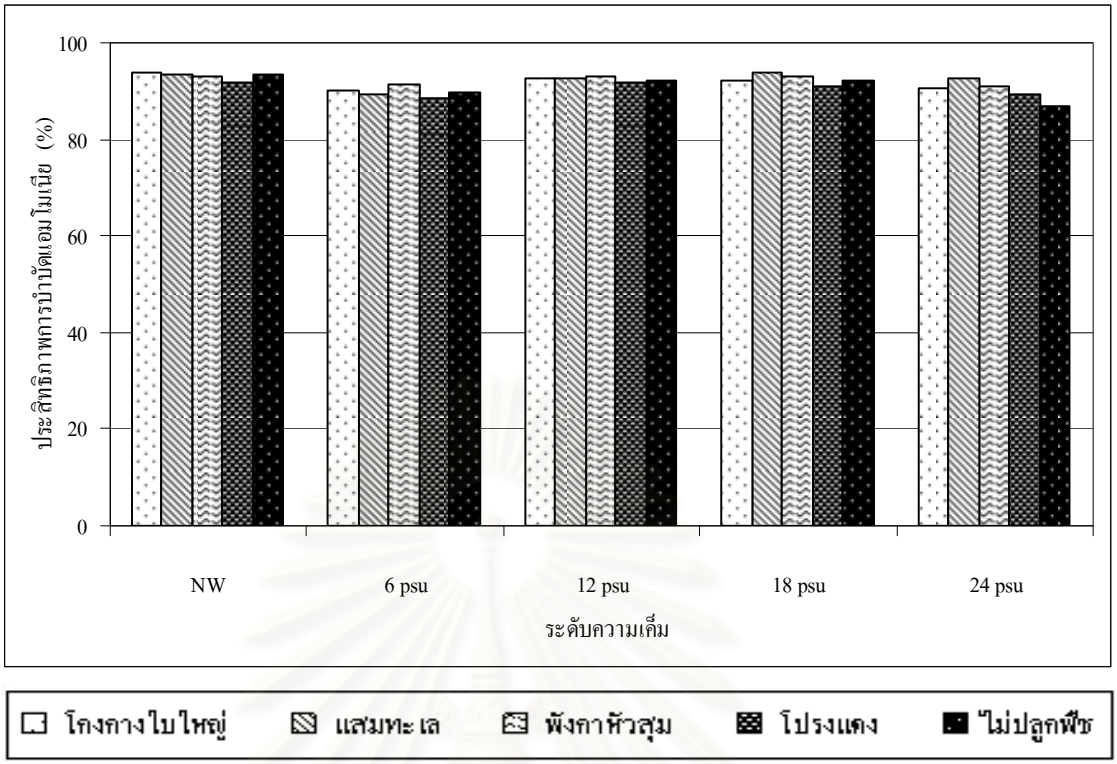
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

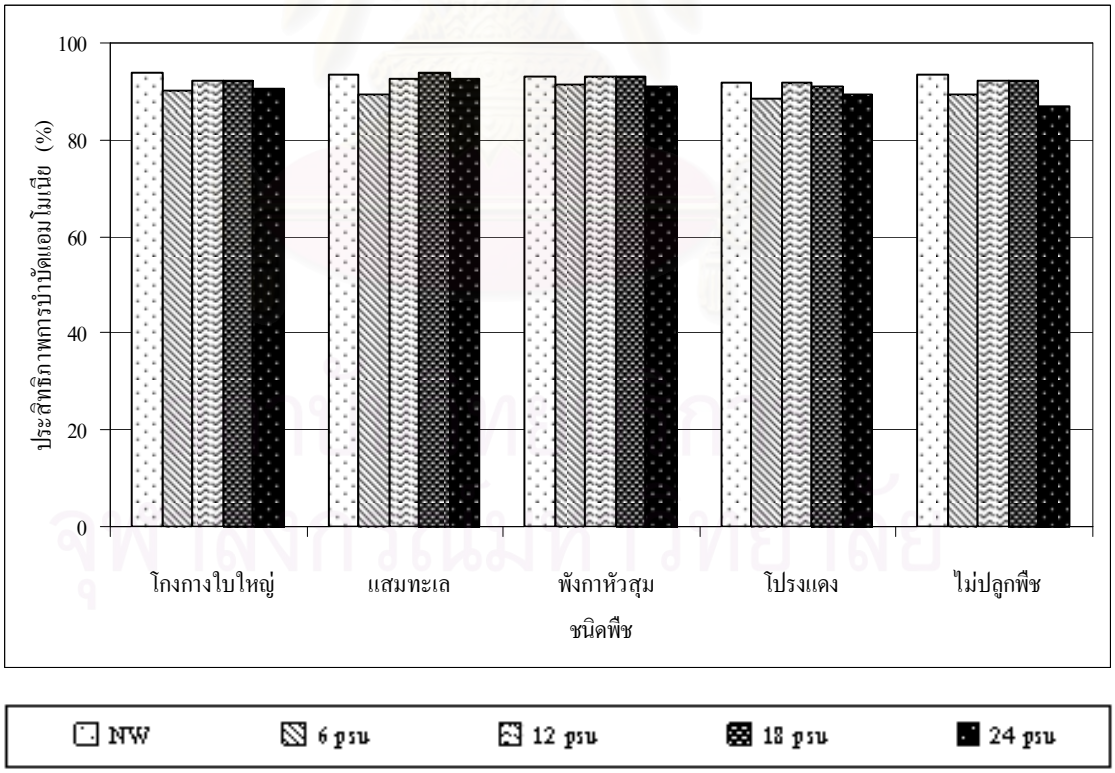


รูปที่ 4.8 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม

รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสีย

10) ไนเตรท (nitrate nitrogen; NO_3^--N)

ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.029-0.036 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นและมีค่าผันแปรสูงมาก คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าไนเตรทเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.046-0.258, 0.086-0.204, 0.028-0.161, 0.035-0.383 และ 0.020-0.104 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียหลังทดลองมีปริมาณสูง ทำให้ปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันเกิดได้ดี เป็นผลให้น้ำเสียหลังทดลองมีปริมาณไนเตรทสูง ขณะที่น้ำเสียก่อนทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ไม่ดี น้ำเสียดังกล่าวจึงมีปริมาณไนเตรทต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ อภิชัย เชียร์สกุล (2533) ที่ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา โดยพบว่า น้ำเสียก่อนทดลองมีค่าไนเตรทเท่ากับ 0.09 mg/l ขณะที่น้ำเสียหลังทดลองมีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 0.31 mg/l (ตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.10)

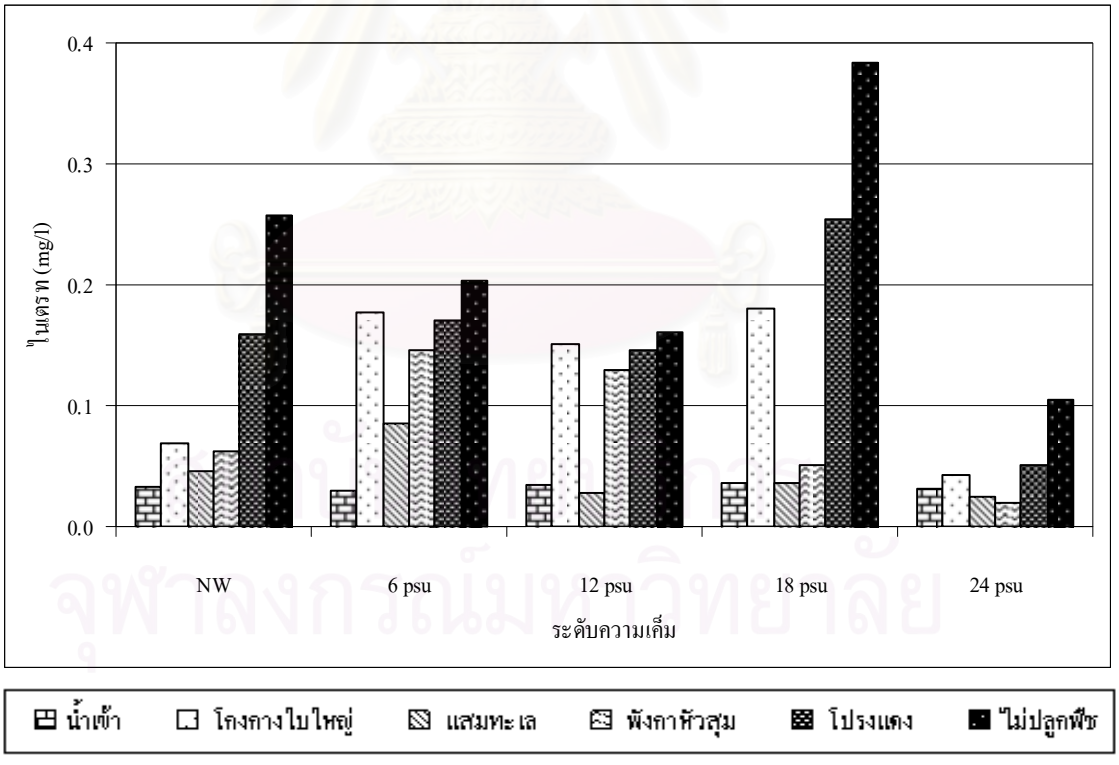
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และแสมทะเล) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu) โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากพืชมีการดูดซึมไนโตรเจนในรูปของไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ดี มีผลให้มีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.033±0.020	0.069 ± 0.043^{b}	0.046 ± 0.054^{b}	$^{ab}0.062\pm0.070^{b}$	$^{ab}0.158\pm0.116^{ab}$	$^{ab}0.258\pm0.205^{a}$
6 psu	0.029±0.017	0.177±0.192	0.086±0.142	$^{a}0.145\pm0.074$	$^{ab}0.171\pm0.135$	$^{b}0.204\pm0.128$
12 psu	0.035±0.014	0.151 ± 0.076^{a}	0.028 ± 0.017^{b}	$^{a}0.129\pm0.174^{a}$	$^{ab}0.147\pm0.098^{a}$	$^{b}0.161\pm0.065^{a}$
18 psu	0.036±0.020	0.181 ± 0.166^{bc}	0.035 ± 0.043^{c}	$^{ab}0.051\pm0.063^{c}$	$^{a}0.254\pm0.170^{ab}$	$^{a}0.383\pm0.251^{a}$
24 psu	0.031±0.013	0.043 ± 0.023^{b}	0.025 ± 0.026^{b}	$^{b}0.020\pm0.009^{b}$	$^{b}0.051\pm0.015^{b}$	$^{b}0.104\pm0.073^{a}$

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.10 ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

11) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.153-7.770 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำลงและมีแนวโน้มว่าเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลง โดยที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.600-3.313, 2.686-3.065, 2.476-3.384, 1.966-3.179 และ 1.365-2.671 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.11)

ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 52.56-62.70, 59.59-64.58, 55.13-67.73, 58.04-73.88 และ 64.09-81.83 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 57.62-75.24, 62.70-81.83, 58.69-78.87, 52.56-67.53 และ 54.80-66.88 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.12)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำกว่าชุดทดลองชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu) โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.09-81.83 % (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสในน้ำเสียสามารถพบได้ทั้งในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอยที่มีฟอสฟอรัส เช่น แพลงก์ตอนพืช การที่ความเค็มสูงขึ้นทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้ดี นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ทำให้เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) ในดินเลนอยู่ในรูปของเกลือโลหะ เช่น $FeCl_3$ เพิ่มขึ้น มีผลให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟต เช่น เฟอริกฟอสเฟต ($FePO_4$) และถูกดูดซับโดยดินได้สูงขึ้นซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) สอดคล้องกับ Ye และคณะ (2001) ที่ได้ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และรังกะแท้ *(Kandelia candel*) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปรับน้ำเสียให้มีระดับความเค็มต่างกัน ใช้

ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพังกาหัวสุมดอกแดงที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu สามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 97.8 % สูงกว่าชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu ซึ่งบำบัดได้ 91.8 % ชุดทดลองที่ปลูกรังกะแท้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu สามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 88.0 % สูงกว่าชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu ซึ่งบำบัดได้ 79.2 % เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu) แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องจากพืชมีการดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟตไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 62.70-81.83 % เพราะว่าแสมทะเลมีระบบรากแบบ pneumatophores ทำให้สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในรูปของการดักจับตะกอนได้ดีกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น รวมทั้งกล้าไม้แสมทะเลมีการเจริญเติบโตสูง จึงสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสปริมาณสูงไปใช้ สอดคล้องกับผลการศึกษาในด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในใบพืช ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของแสมทะเลมีค่าสูงที่สุด ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu ที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลและพังกาหัวสุมดอกแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองอื่นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW ที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำที่สุด (รูปที่ ก.3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

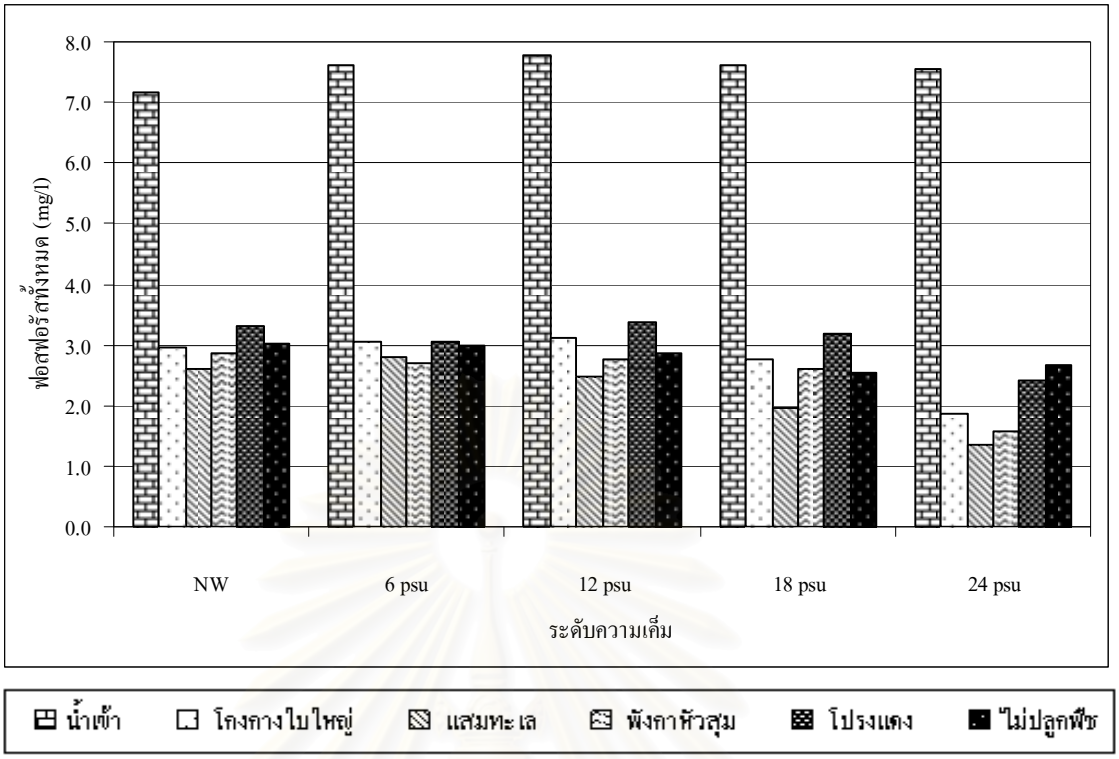
ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	7.153±1.478	^{ab}2.949±0.276^{ab}	^{a}2.600±0.563^{b}	^{a}2.861±0.334^{ab}	^{a}3.313±0.365^{a}	3.036±0.679^{ab}
6 psu	7.622±0.855	^{ab}3.042±0.404	^{a}2.793±0.447	^{a}2.686±0.315	^{a}3.065±0.590	2.989±0.607
12 psu	7.770±1.317	^{a}3.130±0.418^{a}	^{a}2.476±0.532^{b}	^{a}2.761±0.405^{ab}	^{a}3.384±0.521^{a}	2.863±0.995^{ab}
18 psu	7.617±0.582	^{b}2.749±0.346^{ab}	^{b}1.966±0.535^{c}	^{a}2.600±0.274^{b}	^{a}3.179±0.397^{a}	2.539±0.890^{b}
24 psu	7.549±0.622	^{c}1.868±0.367^{bc}	^{c}1.365±0.183^{c}	^{b}1.583±0.186^{c}	^{b}2.412±0.727^{ab}	2.671±1.005^{a}

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{b}57.62±7.06	^{c}62.70±9.57	^{c}58.69±8.91	^{b}52.56±7.29	54.80±16.31
6 psu	^{b}59.75±6.33	^{c}63.16±5.68	^{b}64.58±3.82	^{ab}59.59±7.77	60.44±8.90
12 psu	^{b}58.62±8.52	^{bc}67.73±7.17	^{b}63.90±5.56	^{b}55.13±10.72	61.27±16.15
18 psu	^{b}63.77±5.16^{bc}	^{b}73.88±8.16^{a}	^{b}65.82±3.22^{b}	^{b}58.04±6.59^{c}	66.88±10.66^{b}
24 psu	^{a}75.24±4.21^{ab}	^{a}81.83±2.61^{a}	^{a}78.87±3.11^{a}	^{a}67.53±10.90^{bc}	64.09±14.50^{c}

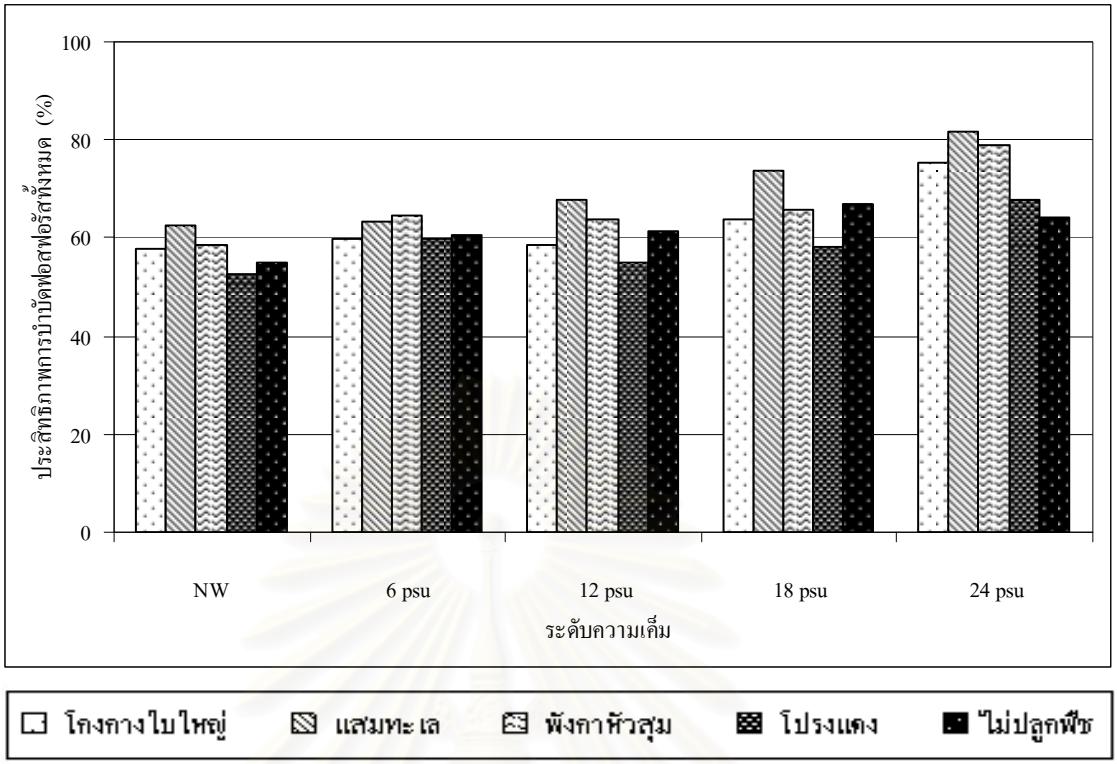
หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

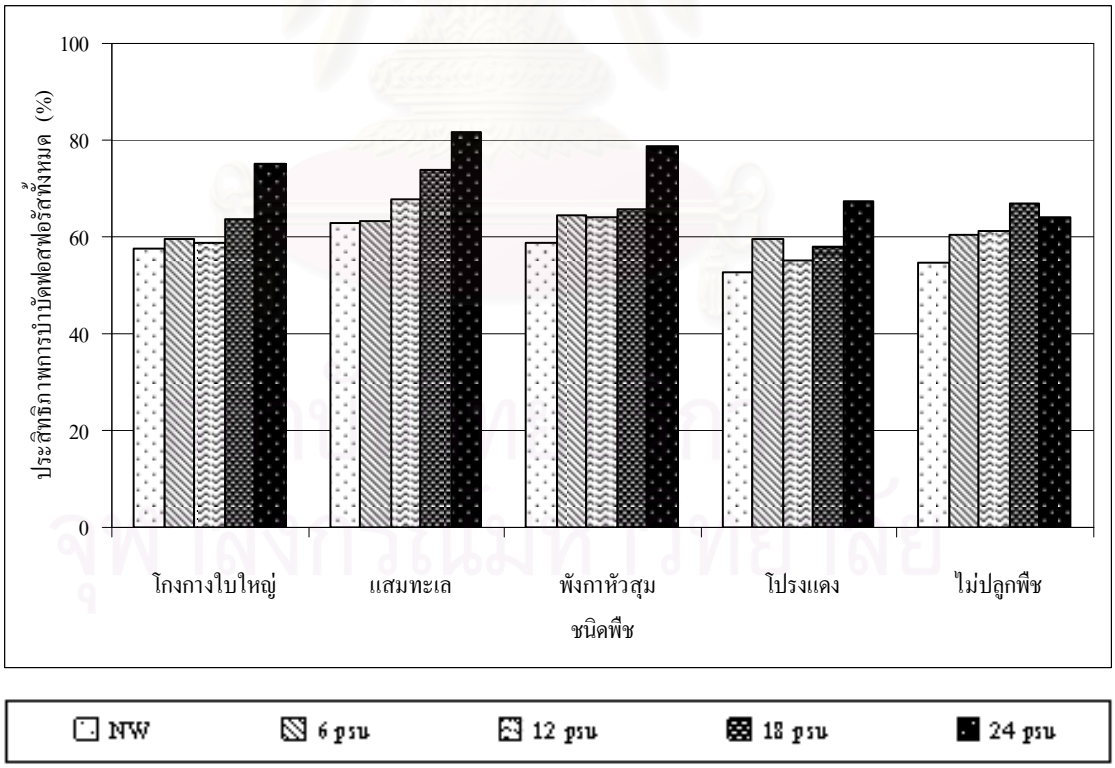


รูปที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(2) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสีย

12) ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate; ortho-P)

ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.002-5.430 mg/l น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำลงและมีแนวโน้มว่าเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลง โดยที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.774-2.307, 1.932-2.142, 1.766-2.313, 1.372-2.183 และ 0.948-1.847 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.13)

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอยู่ในช่วง 52.68-63.82, 59.46-63.35, 56.15-67.05, 50.70-73.95 และ 64.16-81.88 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 56.48-75.10, 63.33-81.11, 58.49-78.74, 50.70-67.72 และ 56.23-66.87 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.14)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่ำกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu และ 12 psu) โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่ำกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.16-81.88 % (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณออร์โธฟอสเฟตเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu) แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องจากพืชมีการดูดซึมออร์โธฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ โดยที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 63.33-81.88 % ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธ-ฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.15 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

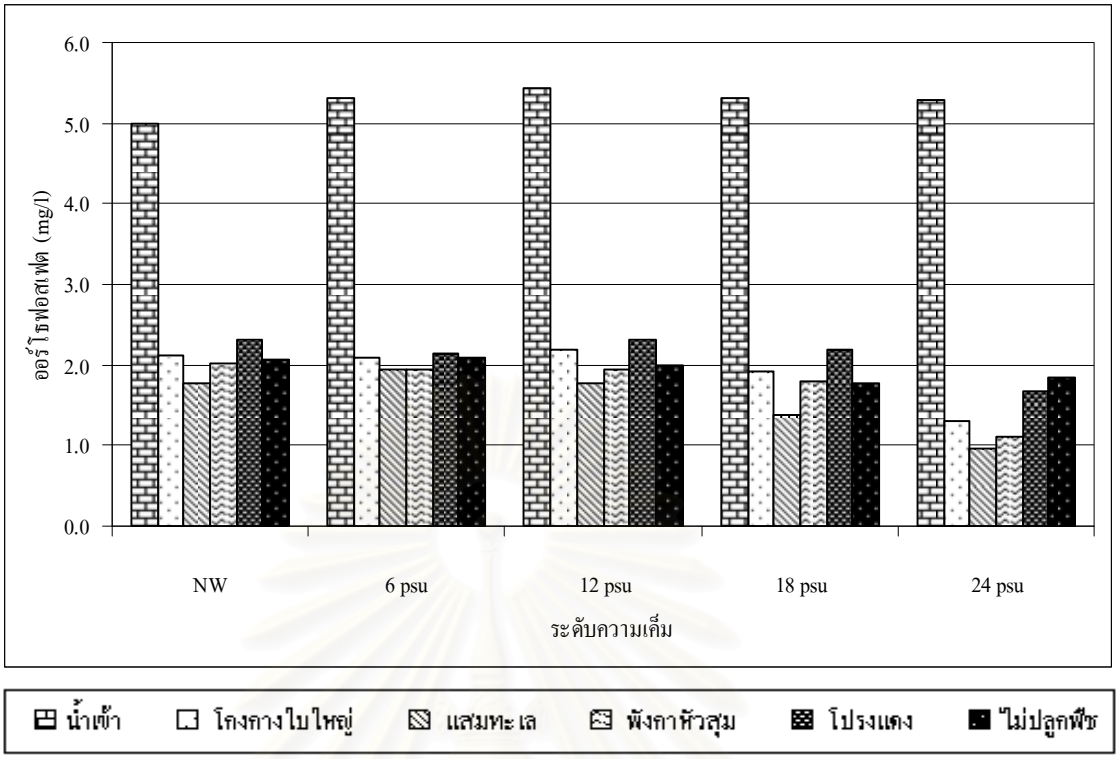
ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	5.002±1.050	^{a}2.115±0.251^{ab}	^{a}1.774±0.423^{b}	^{a}2.016±0.272^{ab}	^{a}2.307±0.275^{a}	2.058±0.437^{ab}
6 psu	5.304±0.567	^{a}2.096±0.272	^{a}1.944±0.371	^{a}1.932±0.274	^{a}2.142±0.405	2.092±0.364
12 psu	5.430±0.945	^{a}2.177±0.270	^{a}1.766±0.332	^{a}1.939±0.283	^{a}2.313±0.327	2.004±0.677
18 psu	5.314±0.312	^{a}1.929±0.204^{ab}	^{b}1.372±0.338^{c}	^{a}1.784±0.100^{b}	^{a}2.183±0.220^{a}	1.776±0.624^{b}
24 psu	5.275±0.559	^{b}1.303±0.192^{bc}	^{c}0.948±0.121^{c}	^{b}1.109±0.115^{c}	^{b}1.661±0.494^{ab}	1.847±0.678^{a}

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดออร์โธฟอสเฟต

ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{c}56.48±8.21	^{c}63.82±8.70	^{c}58.49±8.50	^{b}52.68±8.01	56.23±15.43
6 psu	^{bc}60.23±5.51	^{c}63.33±5.61	^{bc}63.35±5.24	^{ab}59.46±7.59	60.16±8.25
12 psu	^{bc}58.78±8.71	^{c}67.05±6.59	^{bc}63.66±6.37	^{b}56.15±9.86	61.30±15.51
18 psu	^{b}63.47±5.60^{bc}	^{b}73.95±7.38^{a}	^{b}66.32±2.73^{b}	^{b}50.70±5.86^{c}	66.87±10.52^{b}
24 psu	^{a}75.10±3.92^{ab}	^{a}81.88±2.76^{a}	^{a}78.74±3.20^{a}	^{a}67.72±11.14^{bc}	64.16±14.76^{c}

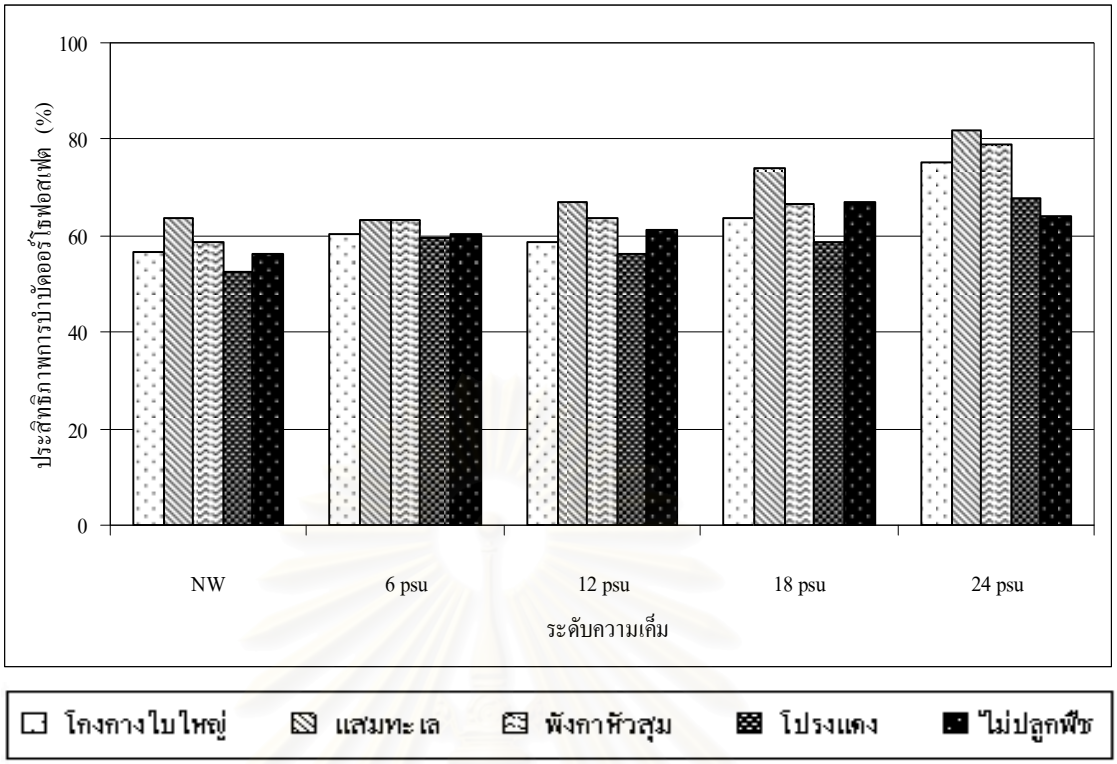
หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ
ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

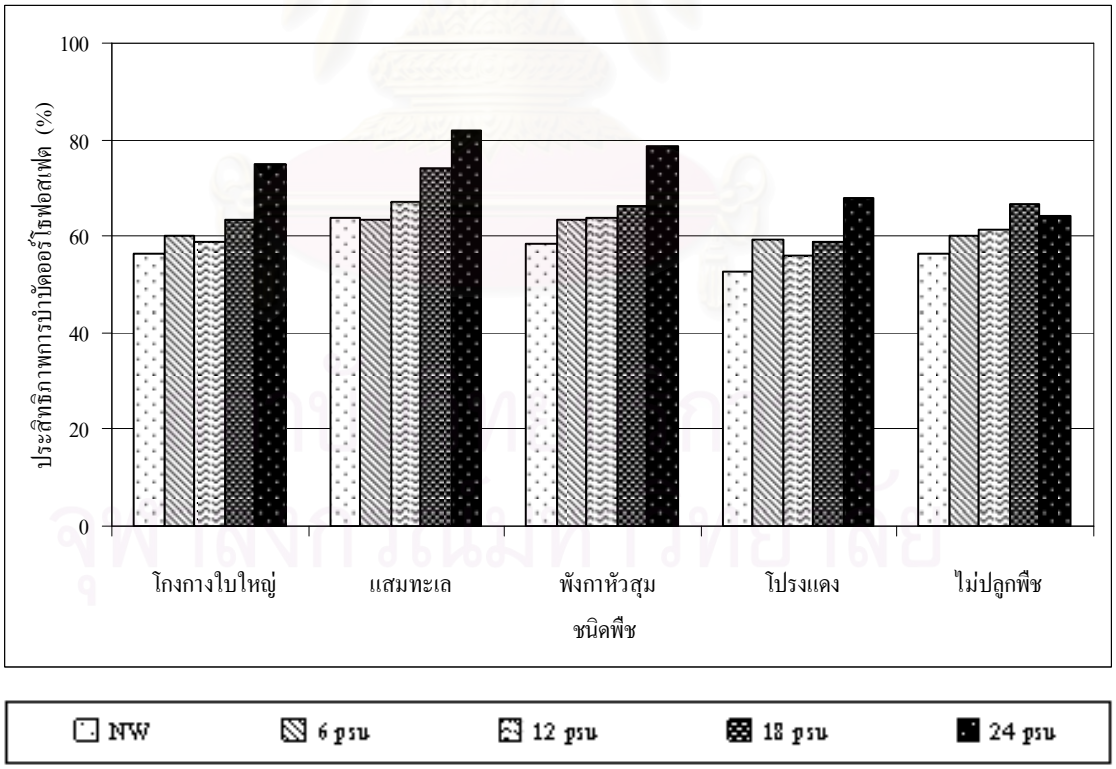


รูปที่ 4.13 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสีย

13) ตะกั่ว (Lead) และทองแดง (Copper)

ปริมาณตะกั่วของน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ก่อนทดลองมีค่า < 0.500, 1.423, 1.223, 0.876 และ 1.056 mg/l ตามลำดับ ปริมาณทองแดงของน้ำเสียก่อนทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.183, 0.705, 0.847, 0.860 และ 0.689 mg/l ตามลำดับ การที่น้ำเสียก่อนทดลองมีปริมาณโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด < 2 mg/l ตามที่กำหนด อาจเนื่องจากในการปรับความเข้มข้นของโลหะหนัก ทำโดยสูบน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ใส่ในถังสำรองน้ำขนาด 1,000 ลิตร แล้วใส่ตะกั่วและทองแดงปริมาณ 2.6853 และ 5.3701 g ตามลำดับ ลงไป ซึ่งปริมาณสารดังกล่าวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรน้ำ จึงอาจทำให้การกระจายตัวของโลหะหนักไม่ทั่วทั้งถังสำรองน้ำ น้ำเสียหลังทดลอง พบว่า ในทุกชุดทดลองมีปริมาณตะกั่ว < 0.500 mg/l ซึ่งเป็นค่า detection limit (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW ที่ไม่ปลูกพืช มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 0.698 mg/l) ขณะที่ปริมาณทองแดงมีค่าลดลง คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณทองแดงเฉลี่ยอยู่ในช่วง < 0.100-0.183, 0.148-0.167, 0.150-0.191, 0.140-0.219 และ 0.130-0.300 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ ก.1 และ ตารางที่ 4.17)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณทองแดงในน้ำเสียหลังทดลองระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบแนวโน้มว่า มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าผันแปรสูง อย่างไรก็ตามอาจสรุปได้ว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มได้ Matagi และคณะ (1998) ได้กล่าวว่า ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมมีค่าสูงเมื่อภายในระบบมีสภาวะน้ำนิ่ง น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณสารแขวนลอยสูง ดินมีอนุภาคแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุสูง ทั้งนี้เพราะที่พื้นผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุซึ่งมีประจุลบสามารถดูดดึงไอออนของโลหะหนักที่ล่องลอยอยู่ในระบบซึ่งเป็นประจุบวกได้ดี และเมื่อภายในระบบมีสภาวะน้ำนิ่ง ในน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง มีผลให้อนุภาคแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุเหล่านั้นเกิดการตกตะกอนซึ่งถือเป็นกระบวนการหลักในการบำบัดโลหะหนักในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนอกจากนี้โลหะหนักยังสามารถตกตะกอนโดยอยู่ในรูปของเกลือของโลหะได้เองอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จากการทดลองของ Wang และ Lui (2003) ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำกับความเข้มข้นของโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้ในบริเวณปากแม่น้ำ Changjiang ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่าความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงในรูปที่ละลายน้ำได้ลดลง คือ ที่ระดับความเค็มของน้ำ 0.15, 3.40, 6.00, 12.00 และ 18.00 psu ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.577, 0.537, 0.557,0.551 และ 0.484 µg/l ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของทองแดงมีค่าเท่ากับ 1.395, 1.582, 1.506, 1.290 และ 1.221 µg/l ตามลำดับ และ Chu และคณะ (1998) ที่ได้ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนเพื่อการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยปลูกกล้าไม้รังกะแท้ *(Kandelia candel)* ลงในถังสำรองน้ำพลาสติกขนาด 1 x 0.5 x 0.3 m^3 ซึ่งวางในเรือน

กระจกและมีน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) (มีความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียม เท่ากับ 1.0 และ 0.1 mg/l ตามลำดับ) น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 และ 25 เท่า ของน้ำเสียชุมชนปกติ เรือนกระจก พบว่า ระบบที่ได้รับน้ำเสียชุมชนปกติและน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 5 เท่า ของ NW มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดได้ประมาณ 96 % ในขณะที่ระบบที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเป็น 25 เท่า ของ NW มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดได้ประมาณ 92 %

ตารางที่ 4.17 ปริมาณทองแดงของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อน	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
	ทดลอง (mg/l)	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.183±0.084	0.183±0.083	0.117±0.016	0.132	< 0.100	0.137±0.044
6psu	0.705±0.485	0.167±0.002	0.149±0.072	0.157±0.016	0.153±0.013	0.148
12psu	0.847±0.433	0.161±0.028	0.161±0.011	0.150±0.045	0.191±0.033	0.158±0.035
18psu	0.860±0.570	0.140±0.034	0.158±0.049	0.219±0.024	0.149±0.034	0.157±0.055
24psu	0.689±0.409	0.294±0.057	0.300±0.069	0.130±0.031	0.210±0.118	0.165±0.019

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ
detection limit ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.100 mg/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการศึกษาสมบัติของดิน

1) ความเป็นกรด-ด่างในดิน (pH)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.49-8.13 และ 7.65-8.21 ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ความเป็นกรด-ด่างในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 8.03-8.71, 8.26-8.69, 7.62-8.70, 8.66-8.87 และ 8.46-8.71 ตามลำดับ ส่วนความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 8.05-8.44, 8.06-8.48, 7.91-8.61, 8.43-8.83 และ 7.81-8.55 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18 ถึง ตารางที่ 4.19) การที่ความเป็นกรด-ด่างในดินในชุดทดลองมีค่าสูงกว่าดินป่าชายเลนธรรมชาติในดินป่าชายเลนธรรมชาติในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.91-7.81 (Boonsong และคณะ , 2002a) อาจเกิดจากเหตุผลหลายประการ ได้แก่ ประการแรกคือดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินในหาดเลนซึ่งมีชะคราม (*Sueda maritima*) ขึ้นปกคลุมอยู่ ไม่ใช้ดินในป่าชายเลนซึ่งมีพันธุ์ไม้ขนาดใหญ่ขึ้นอย่างหนาแน่น ดินในหาดเลนดังกล่าวเป็นดินในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบ mineral soil (เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่เกิน 20 %) ซึ่งโดยทั่วไปมักมีสภาพเป็นกลางถึงด่าง ประการที่สองคือการใส่น้ำเสียชุมชนซึ่งมีความเค็มลงสู่ชุดทดลองทำให้ชุดทดลองมีปริมาณแบคทีเรียลดลง มีผลให้กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุและธาตุอาหารซึ่งทำให้เกิดกรดลดลง นอกจากนี้ในขณะที่ชุดทดลองมีน้ำท่วมขัง สารประกอบเฟอริก (Fe^{3+}) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นสารประกอบเฟอรัส (Fe^{2+}) มีผลให้ H^+ ในระบบลดลง ประการที่สามคือภายหลังการเก็บน้ำเสียหลังทดลองในแต่ละครั้งมีการระบายน้ำเสียทิ้งแล้วปล่อยให้ชุดทดลองแห้งเป็นเวลา 4 วัน ทำให้ดินมีปริมาณออกซิเจนสูงขึ้น มีผลให้กระบวนการรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) ลดลง (Tam, 1998; Mitsch และ Gosselink, 2000) และประการสุดท้ายคือหลังจากปล่อยให้ชุดทดลองแห้งเป็นเวลา 4 วันแล้ว ทำการใส่น้ำทะเลซึ่งมีสภาพเป็นด่างลงไปและกักเก็บไว้นาน 3 วัน ดังนั้นจึงอาจส่งเสริมให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบแนวโน้มว่า ดินชั้นบนมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าดินชั้นล่าง

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	7.94±0.06^{a}	8.15±0.08^{a}	^{bc}8.27±0.04^{b}	^{bc}8.50±0.05^{a}
	6 psu	7.78±0.09^{ab}	8.02±0.16	^{c}8.21±0.16	^{c}8.42±0.08^{bc}
	12 psu	8.01±0.04	8.27±0.06	^{ab}8.47±0.05^{a}	^{ab}8.70±0.04^{a}
	18 psu	8.04±0.15	8.31±0.04	^{a}8.57±0.04	^{a}8.87±0.10
	24 psu	7.91±0.08^{a}	8.20±0.07	^{ab}8.44±0.08	^{a}8.71±0.11
โกงกางใบใหญ่	NW	8.13±0.14^{a}	^{a}8.32±0.05^{a}	^{a}8.49±0.05^{a}	^{a}8.70±0.09^{a}
	6 psu	7.67±0.08^{b}	^{c}7.91±0.05	^{c}8.13±0.05	^{c}8.31±0.04^{c}
	12 psu	7.84±0.09	^{b}8.08±0.11	^{bc}8.27±0.07^{ab}	^{bc}8.47±0.06^{a}
	18 psu	7.91±0.15	^{b}8.13±0.05	^{ab}8.38±0.06	^{ab}8.67±0.13
	24 psu	7.78±0.06^{ab}	^{b}8.09±0.04	^{ab}8.33±0.10	^{ab}8.63±0.04
แสมทะเล	NW	^{c}7.49±0.08^{b}	^{b}7.70±0.09^{b}	^{b}7.83±0.11^{c}	^{b}8.03±0.11^{b}
	6 psu	^{a}7.93±0.09^{a}	^{a}8.25±0.12	^{a}8.44±0.12	^{a}8.69±0.05^{a}
	12 psu	^{ab}7.79±0.13	^{a}8.05±0.06	^{b}7.85±0.11^{c}	^{c}7.62±0.16^{b}
	18 psu	^{ab}7.80±0.06	^{a}8.10±0.13	^{a}8.37±0.05	^{a}8.67±0.08
	24 psu	^{bc}7.66±0.09^{bc}	^{a}8.01±0.15	^{a}8.26±0.06	^{a}8.55±0.16
พังกาหัวสุม	NW	^{a}8.03±0.11^{a}	8.21±0.11^{a}	8.35±0.07^{ab}	8.57±0.09^{a}
	6 psu	^{bc}7.63±0.06^{b}	7.87±0.08	8.07±0.06	8.26±0.18^{c}
	12 psu	^{ab}7.85±0.11	8.04±0.09	8.24±0.08^{b}	8.50±0.06^{a}
	18 psu	^{ab}7.84±0.11	8.14±0.06	8.40±0.09	8.68±0.11
	24 psu	^{c}7.57±0.04^{c}	7.88±0.14	8.14±0.15	8.46±0.06
โปรงแดง	NW	8.08±0.16^{a}	8.36±0.07^{a}	8.51±0.07^{a}	8.71±0.11^{a}
	6 psu	7.91±0.04^{a}	8.16±0.06	8.38±0.07	8.58±0.08^{ab}
	12 psu	7.80±0.05	8.05±0.07	8.27±0.04^{ab}	8.50±0.05^{a}
	18 psu	7.81±0.06	8.12±0.08	8.38±0.13	8.66±0.06
	24 psu	7.81±0.10^{ab}	8.09±0.10	8.33±0.06	8.64±0.09

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	^{b}7.79±0.07	^{b}8.08±0.06	^{bc}8.02±0.17^{a}	^{c}8.25±0.06
	6 psu	^{b}7.65±0.09^{c}	^{c}7.85±0.11	^{c}7.83±0.09^{b}	^{c}8.06±0.10^{c}
	12 psu	^{a}8.21±0.06^{a}	^{a}8.30±0.05^{a}	^{ab}8.25±0.05	^{ab}8.61±0.06^{a}
	18 psu	^{a}8.11±0.08	^{ab}8.19±0.08	^{a}8.43±0.04^{a}	^{a}8.83±0.15^{a}
	24 psu	^{a}8.18±0.11^{a}	^{b}8.07±0.07^{a}	^{ab}8.18±0.07^{ab}	^{b}8.55±0.04^{a}
โกงกางใบใหญ่	NW	^{a}8.02±0.06	8.18±0.13	^{b}8.21±0.06^{a}	^{b}8.20±0.09
	6 psu	^{a}7.96±0.12^{ab}	7.98±0.09	^{b}8.28±0.04^{a}	^{b}8.18±0.07^{bc}
	12 psu	^{b}7.70±0.09^{c}	7.93±0.12^{b}	^{c}8.00±0.08	^{ab}8.35±0.10^{ab}
	18 psu	^{a}8.13±0.10	8.15±0.06	^{a}8.52±0.06^{a}	^{a}8.43±0.04^{b}
	24 psu	^{a}8.01±0.06^{ab}	7.97±0.06^{a}	^{ab}8.34±0.11^{a}	^{a}8.48±0.06^{ab}
แสมทะเล	NW	7.68±0.16	8.18±0.11	^{c}7.67±0.08^{b}	^{c}8.05±0.16
	6 psu	7.92±0.06^{b}	7.95±0.06	^{a}8.28±0.12^{a}	^{ab}8.48±0.05^{a}
	12 psu	7.99±0.08^{b}	8.09±0.07^{ab}	^{b}7.96±0.18	^{c}7.91±0.12^{c}
	18 psu	8.12±0.14	8.09±0.17	^{ab}8.12±0.06^{b}	^{a}8.66±0.08^{ab}
	24 psu	7.88±0.04^{bc}	8.08±0.15^{a}	^{ab}8.09±0.06^{b}	^{b}8.36±0.08^{b}
พังกาหัวสุม	NW	^{ab}8.01±0.06	^{a}7.97±0.06	^{b}8.13±0.06^{a}	^{ab}8.34±0.11
	6 psu	^{a}8.18±0.08^{a}	^{b}7.69±0.08	^{c}7.78±0.07^{b}	^{b}8.15±0.06^{bc}
	12 psu	^{ab}8.02±0.07^{ab}	^{a}7.95±0.10^{b}	^{b}8.11±0.10	^{a}8.47±0.08^{ab}
	18 psu	^{bc}7.80±0.13	^{a}8.01±0.10	^{a}8.46±0.06^{a}	^{a}8.48±0.06^{b}
	24 psu	^{c}7.77±0.06^{c}	^{b}7.61±0.08^{b}	^{c}7.87±0.08^{c}	^{c}7.81±0.07^{c}
โปรงแดง	NW	7.87±0.10	8.23±0.06	8.28±0.06^{a}	8.44±0.06
	6 psu	7.92±0.09^{b}	7.92±0.09	8.11±0.14^{a}	8.35±0.13^{ab}
	12 psu	7.98±0.06^{b}	7.91±0.05^{b}	8.10±0.07	8.30±0.15^{b}
	18 psu	8.15±0.05	8.06±0.19	8.39±0.11^{a}	8.44±0.08^{b}
	24 psu	7.92±0.11^{bc}	7.84±0.06^{ab}	8.10±0.05^{b}	8.42±0.09^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2) ความเค็มในดิน (salinity)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ความเค็มในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1.40-3.80 และ 1.70-3.70 psu ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ความเค็มในดินมีค่าสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ความเค็มในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 4.20-4.90, 4.70-5.85, 5.05-6.25, 6.05-6.60 และ 6.40-6.95 psu ตามลำดับ ส่วนความเค็มในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 4.20-4.85, 4.70-5.65, 5.30-6.35, 6.25-6.65 และ 6.45-7.15 psu ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20 ถึง ตารางที่ 4.21) อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบว่าดินชั้นบนมีค่าความเค็มต่ำกว่าดินชั้นล่าง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำได้ชะเกลือจากดินชั้นบนลงสู่ดินชั้นล่าง สอดคล้องกับ Marchand และคณะ (2004) ที่ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติในดินตะกอนในสังคมป่าชายเลนบริเวณชายฝั่ง French Guiana ประเทศฝรั่งเศส พบว่า ค่าความเค็มในดินสูงขึ้นในทุกระดับความลึกของชั้นดิน (0-10, 10-20 และมากกว่า 20 ซม.)

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีค่าความเค็มสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากพารามิเตอร์นี้เป็นปัจจัยควบคุมของการทดลอง ประกอบกับการพักระบบแต่ละครั้งมีการใส่น้ำทะเลลงในชุดทดลองและกักเก็บไว้นาน 3 วัน ดังนั้นจึงอาจส่งเสริมให้ดินมีการสะสมของเกลือสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มในดินระหว่างความเค็ม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเค็ม (psu)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	$^{a}2.40\pm0.14$	$^{b}3.05\pm0.21$	$^{c}4.20\pm0.28$	$^{b}4.90\pm0.14$
	6 psu	$^{b}1.40\pm0.14^{c}$	$^{b}3.15\pm0.21$	$^{c}4.30\pm0.28$	$^{b}5.00\pm0.28^{b}$
	12 psu	$^{a}2.65\pm0.21^{b}$	$^{b}3.20\pm0.14$	$^{c}4.40\pm0.28^{c}$	$^{b}5.05\pm0.21$
	18 psu	$^{a}2.20\pm0.28$	$^{ab}3.40\pm0.14^{bc}$	$^{b}5.35\pm0.07$	$^{a}6.35\pm0.21$
	24 psu	$^{a}2.15\pm0.21^{b}$	$^{a}3.80\pm0.14^{d}$	$^{a}6.25\pm0.07$	$^{a}6.40\pm0.14$
โกงกางใบใหญ่	**NW**	$^{b}2.80\pm0.28$	$^{c}2.55\pm0.21$	$^{d}3.65\pm0.07$	$^{c}4.25\pm0.35$
	6 psu	$^{b}2.35\pm0.35^{a}$	$^{c}3.00\pm0.28$	$^{c}4.20\pm0.14$	$^{b}5.05\pm0.07^{b}$
	12 psu	$^{a}3.80\pm0.14^{a}$	$^{b}3.90\pm0.28$	$^{b}5.60\pm0.14^{a}$	$^{a}6.25\pm0.49$
	18 psu	$^{b}2.60\pm0.14$	$^{b}4.05\pm0.07^{a}$	$^{b}5.75\pm0.35$	$^{a}6.60\pm0.28$
	24 psu	$^{b}2.65\pm0.07^{a}$	$^{a}4.65\pm0.21^{ab}$	$^{a}6.40\pm0.14$	$^{a}6.95\pm0.07$
แสมทะเล	**NW**	$^{ab}2.30\pm0.28$	$^{c}2.70\pm0.14$	$^{d}3.60\pm0.14$	$^{c}4.20\pm0.14$
	6 psu	$^{c}1.80\pm0.14^{bc}$	$^{b}3.35\pm0.21$	$^{c}4.75\pm0.21$	$^{b}5.85\pm0.21^{a}$
	12 psu	$^{bc}1.90\pm0.14^{c}$	$^{b}3.55\pm0.07$	$^{b}5.40\pm0.14^{a}$	$^{b}6.05\pm0.21$
	18 psu	$^{a}2.75\pm0.21$	$^{b}3.85\pm0.21^{ab}$	$^{b}5.60\pm0.28$	$^{ab}6.20\pm0.14$
	24 psu	$^{a}2.75\pm0.07^{a}$	$^{a}4.40\pm0.28^{bc}$	$^{a}6.75\pm0.21$	$^{a}6.70\pm0.28$
พังกาหัวสุม	**NW**	$^{b}2.20\pm0.14$	$^{c}2.55\pm0.07$	$^{c}3.75\pm0.21$	$^{c}4.65\pm0.21$
	6 psu	$^{b}2.15\pm0.07^{ab}$	$^{bc}2.85\pm0.21$	$^{bc}4.35\pm0.07$	$^{c}4.70\pm0.14^{b}$
	12 psu	$^{a}2.90\pm0.14^{b}$	$^{b}3.10\pm0.28$	$^{b}4.85\pm0.07^{bc}$	$^{b}6.00\pm0.28$
	18 psu	$^{b}2.15\pm0.07$	$^{b}3.25\pm0.07^{c}$	$^{a}5.80\pm0.14$	$^{ab}6.50\pm0.28$
	24 psu	$^{a}3.00\pm0.14^{a}$	$^{a}3.95\pm0.07^{cd}$	$^{a}6.15\pm0.49$	$^{a}6.75\pm0.07$
โปรงแดง	**NW**	$^{bc}2.00\pm0.14$	$^{d}2.50\pm0.28$	$^{d}3.85\pm0.07$	$^{d}4.35\pm0.07$
	6 psu	$^{c}1.50\pm0.14^{c}$	$^{cd}3.10\pm0.14$	$^{c}4.40\pm0.14$	$^{c}4.95\pm0.07^{b}$
	12 psu	$^{bc}1.90\pm0.28^{c}$	$^{bc}3.60\pm0.14$	$^{b}5.15\pm0.21^{ab}$	$^{b}5.75\pm0.21$
	18 psu	$^{ab}2.45\pm0.21$	$^{b}3.75\pm0.35^{abc}$	$^{b}5.45\pm0.21$	$^{ab}6.05\pm0.07$
	24 psu	$^{a}2.70\pm0.28^{a}$	$^{a}4.95\pm0.21^{a}$	$^{a}6.65\pm0.07$	$^{a}6.40\pm0.28$

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเค็ม (psu)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	2.25±0.21	3.40±0.28^{a}	^{c}4.50±0.28	^{b}4.80±0.28
	6 psu	1.70±0.14^{b}	3.25±0.35	^{c}4.60±0.42	^{b}5.25±0.21
	12 psu	2.95±0.35^{b}	3.50±0.00	^{c}4.65±0.21^{d}	^{b}5.30±0.28
	18 psu	2.40±0.42	3.70±0.14	^{b}5.65±0.21	^{a}6.45±0.35
	24 psu	2.05±0.21	4.00±0.14^{b}	^{a}6.35±0.07	^{a}6.50±0.14
โกงกางใบใหญ่	NW	^{b}2.70±0.28	^{c}2.75±0.21^{b}	^{c}4.00±0.28	^{d}4.45±0.21
	6 psu	^{b}2.65±0.21^{a}	^{c}3.15±0.35	^{c}4.50±0.14	^{c}5.10±0.14
	12 psu	^{a}3.70±0.14^{a}	^{b}4.00±0.14	^{b}5.80±0.28^{a}	^{b}6.35±0.35
	18 psu	^{b}2.85±0.07	^{b}4.20±0.28	^{b}5.90±0.28	^{ab}6.65±0.21
	24 psu	^{b}2.50±0.14	^{a}4.95±0.21^{a}	^{a}6.60±0.14	^{a}7.15±0.07
แสมทะเล	NW	^{b}2.55±0.21	^{d}2.85±0.07^{b}	^{d}3.90±0.14	^{c}4.20±0.28
	6 psu	^{c}2.00±0.14^{b}	^{cd}3.50±0.28	^{c}4.95±0.07	^{b}5.65±0.35
	12 psu	^{bc}2.15±0.07^{c}	^{bc}3.80±0.14	^{b}5.65±0.07^{ab}	^{ab}6.25±0.07
	18 psu	^{ab}2.60±0.28	^{ab}4.20±0.42	^{b}5.85±0.35	^{ab}6.45±0.49
	24 psu	^{a}3.05±0.07	^{a}4.55±0.21^{ab}	^{a}7.05±0.21	^{a}6.75±0.35
พังกาหัวสุม	NW	2.50±0.14	^{c}2.80±0.14^{b}	^{c}4.05±0.21	^{c}4.85±0.07
	6 psu	2.00±0.00^{b}	^{bc}3.15±0.21	^{bc}4.55±0.21	^{c}4.70±0.42
	12 psu	2.75±0.21^{b}	^{bc}3.40±0.28	^{b}5.00±0.14^{cd}	^{b}6.10±0.28
	18 psu	2.45±0.35	^{b}3.50±0.00	^{a}6.00±0.28	^{ab}6.60±0.14
	24 psu	2.85±0.49	^{a}4.30±0.42^{b}	^{a}6.35±0.35	^{a}7.00±0.14
โปรงแดง	NW	^{bc}2.20±0.14	^{d}2.65±0.07^{b}	^{d}4.10±0.28	^{b}4.60±0.00
	6 psu	^{c}1.80±0.28^{b}	^{cd}3.20±0.14	^{c}4.75±0.07	^{b}5.10±0.14
	12 psu	^{c}1.90±0.14^{c}	^{b}3.95±0.49	^{b}5.25±0.07^{bc}	^{a}5.85±0.49
	18 psu	^{ab}2.65±0.21	^{bc}3.70±0.28	^{b}5.60±0.14	^{a}6.25±0.21
	24 psu	^{a}3.00±0.28	^{a}5.05±0.07^{a}	^{a}6.90±0.14	^{a}6.45±0.21

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3) การนำไฟฟ้าในดิน (conductivity)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย การนำไฟฟ้าในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 3.28-6.54 และ 4.04-7.75 mS/cm ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า การนำไฟฟ้าในดินมีค่าสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu การนำไฟฟ้าในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 9.53-10.43, 10.47-11.36, 10.68-12.85, 11.57-13.23 และ 13.09-14.32 mS/cm ตามลำดับ ส่วนการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 10.44-10.96, 10.84-12.25, 11.49-13.94, 12.53-14.01 และ 13.90-15.15 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.22 ถึง ตารางที่ 4.23) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าดินชั้นล่าง ทั้งนี้เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือในดิน คือ ถ้ามีเกลือในดินสูงค่าการนำไฟฟ้าจะสูง และถ้าปริมาณเกลือในดินต่ำลงค่าการนำไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954 อ้างถึงใน กฤติกา ทองสมบัติ, 2546)

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มความเค็มต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	การนำไฟฟ้า (mS/cm)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	4.14±0.32	6.21±0.40	8.41±0.39	^{b}10.43±1.20
	6 psu	3.28±0.25^{c}	6.96±0.25	8.78±0.50	^{b}10.56±0.83
	12 psu	5.46±0.73^{ab}	7.02±0.47	9.47±0.76	^{b}10.68±0.62
	18 psu	4.37±0.62	7.22±0.38	9.66±0.88	^{b}11.57±0.71
	24 psu	4.62±0.57	7.69±0.49	10.85±0.65	^{a}13.86±0.26
โกงกางใบใหญ่	NW	5.69±0.67	6.94±0.71	^{b}8.39±0.71	^{b}9.53±0.93
	6 psu	5.07±0.28^{ab}	7.09±0.32	^{b}8.58±0.34	^{b}10.47±0.56
	12 psu	6.28±0.83^{a}	8.21±0.77	^{a}10.80±0.45	^{a}12.85±0.60
	18 psu	5.58±0.69	9.18±1.15	^{a}10.99±1.23	^{a}13.23±0.36
	24 psu	5.43±0.55	9.36±0.37	^{a}12.63±0.33	^{a}14.32±0.37
แสมทะเล	NW	^{abc}5.35±0.59	^{c}6.14±0.24	^{b}7.79±0.54	^{b}9.59±0.95
	6 psu	^{bc}4.07±0.13^{bc}	^{bc}6.76±0.38	^{b}9.16±1.12	^{ab}11.29±0.40
	12 psu	^{c}3.97±0.31^{bc}	^{ab}7.92±0.59	^{b}9.25±0.55	^{a}12.02±0.37
	18 psu	^{ab}5.60±1.05	^{a}8.62±0.64	^{a}11.43±0.89	^{a}12.46±1.20
	24 psu	^{a}6.54±0.46	^{a}9.09±0.83	^{a}11.87±0.56	^{a}13.36±0.57
พังกาหัวสุม	NW	4.76±0.57	5.57±1.17	7.87±1.22	^{c}10.36±0.37
	6 psu	5.80±1.17^{a}	6.18±0.30	8.28±0.99	^{c}10.48±0.66
	12 psu	6.18±0.65^{a}	6.46±0.22	8.60±0.39	^{bc}10.70±0.28
	18 psu	4.36±0.23	6.62±0.30	9.86±1.03	^{b}11.81±0.51
	24 psu	5.88±0.20	8.23±0.58	10.99±0.81	^{a}13.42±0.53
โปรงแดง	NW	^{bc}4.00±1.06	6.48±0.42	^{c}8.16±0.32	9.76±0.24
	6 psu	^{c}3.44±0.13^{c}	6.99±0.40	^{bc}9.34±0.93	11.36±1.12
	12 psu	^{c}3.42±0.09^{c}	7.14±0.55	^{bc}9.70±0.54	12.05±1.10
	18 psu	^{ab}5.33±0.42	7.79±0.82	^{b}10.10±0.42	12.42±0.53
	24 psu	^{a}5.85±0.53	9.31±1.10	^{a}12.71±0.77	13.09±0.74

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	การนำไฟฟ้า (mS/cm)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	4.08±0.57	6.75±0.25	9.12±0.87	^{b}10.96±1.15
	6 psu	4.24±0.61	7.45±0.49	9.63±0.73	^{b}10.97±0.78
	12 psu	6.08±0.80	7.87±1.09	10.02±0.47^{b}	^{b}11.54±1.05
	18 psu	5.02±0.53	7.94±0.84^{bc}	10.00±0.61	^{ab}12.53±0.62
	24 psu	4.45±0.34^{c}	8.04±0.51	11.44±0.38	^{a}14.45±0.34
โกงกางใบใหญ่	**NW**	5.47±1.16	^{bc}8.02±0.98	^{c}9.23±0.71	^{b}10.44±0.93
	6 psu	5.45±0.27	^{c}7.57±0.16	^{c}9.44±0.54	^{b}10.84±0.41
	12 psu	6.13±1.10	^{abc}8.97±0.42	^{ab}11.99±0.52^{a}	^{a}13.94±0.55
	18 psu	6.00±0.47	^{ab}9.61±0.74^{a}	^{b}11.67±0.81	^{a}14.01±0.38
	24 psu	5.31±1.03^{bc}	^{a}9.90±0.43	^{a}13.41±0.40	^{a}15.15±0.52
แสมทะเล	**NW**	^{b}6.10±0.25	^{c}6.77±0.77	^{b}8.85±0.49	^{c}10.48±0.96
	6 psu	^{b}4.86±0.90	^{bc}7.73±0.40	^{b}9.28±0.92	^{bc}11.76±0.23
	12 psu	^{b}4.88±0.32	^{bc}8.28±0.30	^{b}9.72±0.56^{b}	^{b}12.39±0.30
	18 psu	^{b}5.40±0.40	^{ab}9.33±0.45^{ab}	^{a}12.25±0.35	^{ab}13.07±0.45
	24 psu	^{a}7.75±0.71^{a}	^{a}10.28±1.11	^{a}12.86±0.86	^{a}14.06±0.47
พังกาหัวสุม	**NW**	5.90±0.49	^{b}6.60±0.32	^{c}8.29±0.54	^{c}10.93±0.83
	6 psu	5.61±0.56	^{b}6.84±0.55	^{c}9.06±0.44	^{bc}11.58±0.91
	12 psu	6.03±0.95	^{b}6.94±0.75	^{bc}9.52±0.24^{b}	^{bc}11.49±0.34
	18 psu	5.34±0.54	^{b}7.16±0.21^{c}	^{ab}10.87±0.50	^{ab}13.10±0.78
	24 psu	5.62±0.33^{bc}	^{a}8.96±0.39	^{a}11.47±1.07	^{a}13.90±0.18
โปรงแดง	**NW**	^{bc}4.84±0.45	^{b}7.35±0.54	^{c}9.05±0.30	^{b}10.64±0.83
	6 psu	^{c}4.17±0.81	^{b}7.93±0.62	^{bc}9.98±1.20	^{ab}12.25±0.57
	12 psu	^{c}4.04±0.52	^{b}7.71±0.34	^{bc}10.27±0.26^{b}	^{a}13.16±1.17
	18 psu	^{ab}6.28±0.69	^{b}8.33±0.54^{abc}	^{b}11.22±0.34	^{a}13.68±0.42
	24 psu	^{a}7.00±0.70^{ab}	^{a}10.21±0.92	^{a}13.22±0.95	^{a}14.00±0.50

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและประเภทเนื้อดิน (particle size distribution and soil texture)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ดินในชุดทดลองส่วนใหญ่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) และมีบางชุดทดลองเท่านั้นที่เป็นดินร่วน (loam) โดยดินชั้นบน (0-10 ซม.) และที่ดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) มีเปอร์เซ็นต์ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) อยู่ในช่วง 26-42, 23-46 และ 23-39 % ตามลำดับ

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ลักษณะเนื้อดินในชุดทดลองส่วนใหญ่ยังคงเป็นดินร่วนเหนียวและมีบางชุดทดลองเท่านั้นที่เป็นดินร่วน แต่มีแนวโน้มว่า ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีเปอร์เซ็นต์ทรายลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งและดินเหนียวมีค่าสูงขึ้น คือ มีเปอร์เซ็นต์ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว อยู่ในช่วง 23-35, 31-48 และ 24-38 % ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยการตกตะกอนของสารแขนลอยขนาดใหญ่ เช่น กรวด ทราย บริเวณสถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยางมาแล้ว ทำให้ภายในชุดทดลองเกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์และสารแขนลอยขนาดเล็กเท่านั้น (ตารางที่ 4.24 ถึง ตารางที่ 4.25) นอกจากนี้จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การที่ลักษณะเนื้อดินในบางชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวเป็นสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9		
		%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay
		เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน		
ไม่ปลูกพืช	**NW**	31	42	27	25	37	38	33	32	34	28	39	33
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	33	37	31	31	39	31	25	40	34	25	44	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	33	32	35	39	27	35	33	29	38	35	34	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	41	28	31	29	39	32	28	39	33	35	34	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	27	42	32	25	42	33	38	34	28	26	44	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โกงกาง	**NW**	35	35	29	31	34	36	25	46	29	23	48	29
ใบใหญ่		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	39	23	37	39	28	33	31	35	34	23	42	35
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	37	28	35	28	39	33	31	37	32	34	35	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	39	28	34	38	24	38	25	36	39	29	44	26
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
	24 psu	35	32	33	25	36	39	35	34	31	29	34	37
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
แสมทะเล	**NW**	34	36	30	27	42	31	34	33	33	26	41	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	29	42	30	31	34	34	27	35	38	35	37	28
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
	12 psu	41	28	31	33	28	39	25	40	35	32	38	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	30	40	30	27	46	27	29	42	30	32	36	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	31	32	37	37	35	28	27	38	35	27	36	37
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9		
		%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay
		เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน		
พังกา หัวสุม	**NW**	27	38	35	31	41	28	29	46	25	29	40	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	31	36	33	33	38	29	34	39	27	30	37	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	33	32	35	31	39	30	31	37	32	33	39	28
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
	18 psu	35	28	37	31	40	29	23	46	30	23	43	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	26	42	32	35	38	27	26	38	36	33	34	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โปรงแดง	**NW**	34	39	27	33	36	32	23	38	38	24	45	31
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	39	28	33	37	34	29	31	39	30	28	34	38
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	31	38	31	35	29	37	29	40	31	29	42	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	31	30	39	35	34	30	28	46	26	35	31	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	28	36	37	31	40	29	36	35	29	31	38	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9		
		%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay
		เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน		
ไม่ปลูกพืช	**NW**	42	33	25	31	41	27	27	41	32	33	37	30
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	30	39	31	33	39	28	29	37	33	31	34	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	40	37	23	32	45	23	27	41	32	27	44	29
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	42	29	29	38	39	23	33	35	31	31	40	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	41	36	23	33	43	25	27	47	26	32	36	32
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โกงกาง	**NW**	34	36	30	37	35	29	26	38	36	28	38	34
ใบใหญ่		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	35	35	30	36	34	30	29	34	37	29	39	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	31	46	23	33	40	27	32	38	40	30	36	34
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	40	31	29	39	38	23	28	43	29	27	39	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	34	35	31	39	28	33	36	30	34	29	34	36
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
แสมทะเล	**NW**	37	36	27	34	44	22	33	37	30	27	46	27
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	40	36	24	29	46	25	25	43	32	26	47	27
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	29	43	27	33	36	31	33	37	30	32	43	25
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
	18 psu	27	37	35	32	35	33	35	39	26	25	42	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	41	25	34	29	45	25	25	41	34	29	47	24
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6			ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9		
		%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay	%sand	%silt	%clay
		เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน			เนื้อดิน		
พังกาหัวสุม	**NW**	40	35	25	27	41	31	36	33	31	33	41	26
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
	6 psu	27	42	31	35	39	25	37	32	31	27	37	36
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	39	31	30	40	25	35	35	28	37	33	37	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	31	43	26	34	33	33	25	45	30	27	42	30
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	28	46	26	33	39	27	36	29	35	34	35	31
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โปรงแดง	**NW**	30	35	35	37	37	26	27	37	36	31	34	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	27	39	33	38	36	26	31	34	35	34	31	35
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	35	30	35	29	40	31	27	49	24	29	39	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	32	39	29	35	39	26	33	39	28	31	40	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	35	33	33	28	42	30	28	45	27	34	32	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) อินทรียวัตถุในดิน (organic matter; OM)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1.094-4.082 และ 1.437-3.666 % ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 3.611-5.050, 2.166-4.752, 2.209-4.987, 2.169-5.168 และ 4.301-5.230 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.082-4.247, 2.929-3.873, 2.560-4.083, 2.384-3.928 และ 2.472-4.697 % ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ก.2 ถึง ตารางที่ ก.3) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการสะสมของอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการทดลองนี้ใช้การปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch) ทำให้ออกซิเจนในชุดทดลองมีค่าต่ำลง ทำให้จำนวนแบคทีเรียและกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุลดลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินชั้นล่าง สอดคล้องกับ Lacerda และคณะ (1995) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุในดินในป่าชายเลนทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล ที่ระดับความลึก 1-5, 5-10 และ 10-15 ซม. จากผิวดิน พบว่า ดินบริเวณที่มีไม้สกุลแสม (*Avicennia schaverian*) ขึ้นอยู่มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 6.1, 3.8 และ 3.8 % ตามลำดับ ส่วนดินบริเวณที่มีไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora mangle*) ขึ้นอยู่มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.8, 2.7 และ 2.7 % ตามลำดับ

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เนื่องจากความเค็มของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ชนิด จำนวน และกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุของแบคทีเรียลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งพบแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งเกิดการตกตะกอนสะสมที่ผิวดิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และแสมทะเลมีค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่นและชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องมาจากโกงกางใบใหญ่และแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทำให้มีเศษกิ่งไม้ใบไม้ร่วงหล่นปริมาณมาก มีผลให้อินทรียวัตถุมีการสะสมสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุสูงที่พบขึ้นตามช่วงเวลา แต่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินที่ใช้

ในการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.49-8.87 ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง ทำให้การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินโดยแบคทีเรียลดลง สอดคล้องกับ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541) ที่กล่าวว่าโดยทั่วไปดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเป็นกลาง (ประมาณ 7) การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.26 ถึงตารางที่ 4.27)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	อินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	1.632±0.225	^{b}0.492±0.345^{bc}	^{a}1.336±0.191^{a}	0.951±0.150
	6 psu	3.769±0.367	^{b}0.587±0.210^{b}	^{b}-0.270±0.537^{b}	0.050±0.227
	12 psu	3.662±0.072	^{c}-0.400±0.142	^{a}0.824±0.450^{a}	0.272±0.694
	18 psu	1.094±0.105	^{กa}2.219±0.383^{a}	^{กa}1.439±0.196^{a}	^{ข}0.416±0.090
	24 psu	3.510±0.142	^{b}0.794±0.248^{a}	^{ab}0.625±0.233	0.301±0.092
โกงกางใบใหญ่	**NW**	3.611±0.144	0.102±0.002^{c}	^{a}0.869±0.176^{a}	0.346±0.489
	6 psu	1.552±0.111	1.569±0.519^{a}	^{a}0.291±0.126^{ab}	0.357±0.648
	12 psu	3.515±0.427	0.679±0.812	^{b}-0.981±0.523^{b}	0.297±0.280
	18 psu	2.975±0.200	^{ก}1.325±0.122^{a}	^{คb}-0.638±0.006^{b}	^{ข}0.313±0.003
	24 psu	3.119±0.272	0.910±0.120^{a}	^{a}0.612±0.254	0.229±0.156
แสมทะเล	**NW**	3.561±0.215	^{ab}0.630±0.016^{ab}	^{a}0.797±0.484^{a}	0.061±0.591
	6 psu	4.082±0.076	^{กc}-0.213±0.150^{bc}	^{ขb}-1.744±0.314^{c}	^{ก}0.041±0.300
	12 psu	2.834±0.131	^{a}0.882±0.423	^{a}0.923±0.049^{a}	0.349±0.159
	18 psu	3.072±0.338	^{bc}0.191±0.130^{b}	^{a}0.988±0.258^{a}	0.444±0.302
	24 psu	3.361±0.210	^{abc}0.358±0.228^{ab}	^{a}0.864±0.116	0.291±0.737
พังกาหัวสุม	**NW**	3.869±0.074	^{ก}0.826±0.089^{ab}	^{ขb}-0.339±0.320^{b}	^{กข}0.225±0.004
	6 psu	3.611±0.144	^{ข}-0.957±0.241^{c}	^{กa}1.009±0.167^{a}	^{ก}0.698±0.688
	12 psu	3.415±0.422	^{ก}0.350±0.495	^{ขc}-1.892±0.043^{b}	^{ก}0.336±0.237
	18 psu	3.873±0.371	0.158±0.674^{b}	^{c}-1.988±0.659^{c}	0.126±0.658
	24 psu	3.714±0.146	0.644±0.460^{a}	^{b}-0.221±0.467	0.165±0.081
โปรงแดง	**NW**	2.790±0.326	^{กb}1.027±0.179^{a}	^{ขbc}-0.408±0.288^{b}	^{ข}0.201±0.285
	6 psu	3.818±0.148	^{cd}0.159±0.373^{b}	^{ab}0.434±0.304^{ab}	0.341±0.161
	12 psu	2.650±0.128	^{bc}0.518±0.470	^{a}0.915±0.570^{a}	0.787±0.021
	18 psu	3.663±0.217	^{กa}1.813±0.129^{a}	^{คc}-0.951±0.151^{b}	^{ข}0.406±0.095
	24 psu	3.560±0.072	^{d}-0.249±0.067^{b}	^{ab}0.617±0.587	0.428±0.291

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	อินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	2.834±0.131	0.283±0.267^{ab}	^{a}0.650±0.084	0.481±0.530
	6 psu	1.833±0.173	0.339±0.249	^{a}0.851±0.691^{a}	0.438±0.481
	12 psu	2.471±0.125	^{ป}-0.346±0.115	^{กa}0.526±0.017^{b}	^{ป}-0.047±0.193
	18 psu	2.696±0.193	0.567±0.401	^{b}-0.701±0.461^{bc}	-0.089±0.003
	24 psu	2.296±0.123	^{ก}-0.086±0.001^{b}	^{กa}0.532±0.008^{a}	^{ป}0.139±0.068
โกงกางใบใหญ่	NW	1.956±0.117	^{abc}0.878±0.249^{a}	0.681±0.558	0.096±0.283
	6 psu	1.437±0.274	^{กa}1.492±0.008	^{ป}0.046±0.466^{ab}	^{ป}0.190±0.269
	12 psu	3.070±0.203	^{bc}0.644±0.348	0.000±0.292^{b}	0.369±0.374
	18 psu	2.209±0.121	^{c}0.312±0.320	0.940±0.654^{a}	0.357±0.360
	24 psu	2.741±0.130	^{ab}1.024±0.056^{a}	-0.099±0.436^{a}	-0.306±0.432
แสมทะเล	NW	2.297±0.245	-0.257±0.364^{b}	^{b}0.213±0.302	-0.171±0.004
	6 psu	3.463±0.354	0.566±0.505	^{c}-0.718±0.012^{b}	0.405±0.431
	12 psu	1.475±0.220	0.318±0.450	^{a}1.717±0.087^{a}	0.469±0.518
	18 psu	3.666±0.362	^{ก}0.257±0.213	^{ปd}-1.363±0.023^{c}	^{ก}-0.176±0.121
	24 psu	3.616±0.432	-0.305±0.293^{b}	^{b}0.104±0.283^{a}	-0.580±0.685
พังกาหัวสุม	NW	2.743±0.259	0.045±0.064^{b}	^{a}0.330±0.076	0.443±0.486
	6 psu	2.003±0.413	^{ก}1.357±0.483	^{ปbc}-0.477±0.400^{b}	^{ป}0.046±0.064
	12 psu	2.788±0.196	0.722±0.338	^{ab}0.002±0.427^{b}	0.519±0.587
	18 psu	1.793±0.230	1.375±0.571	^{ab}-0.003±0.273^{ab}	0.296±0.281
	24 psu	3.311±0.139	0.052±0.489^{b}	^{c}-0.931±0.087^{b}	0.040±0.186
โปรงแดง	NW	3.165±0.068	-0.143±0.203^{b}	0.048±0.337	0.292±0.412
	6 psu	2.342±0.308	0.219±0.435	0.753±0.151^{a}	0.560±0.649
	12 psu	1.631±0.112	0.242±0.229	0.465±0.178^{b}	0.221±0.188
	18 psu	3.213±0.137	0.660±0.234	-0.512±0.581^{bc}	0.567±0.658
	24 psu	3.360±0.070	0.306±0.292^{ab}	0.420±0.018^{a}	0.611±0.706

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

6) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen; TN)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1.135-1.990 และ 0.685-2.325 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.895-1.860, 0.960-2.105, 1.100-1.735, 0.775-2.375 และ 1.150-2.445 mg/g dry weight ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 1.090-1.955, 0.835-1.535, 0.810-1.870, 1.250-1.665 และ 1.085-1.945 mg/g dry weight ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ก.4 ถึง ตารางที่ ก.5) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าดินชั้นล่าง สอดคล้องกับ Alongi และคณะ (2005) ที่ได้ทำการศึกษาการสะสมธาตุอาหารในดินตะกอนป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Jiulongljiang ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่า ดินตะกอนที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-60 ซม. จากผิวดิน การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจาก 0.10 ถึง 0.05 % dry weight ตามลำดับ

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณอินทรียวัตถุ คือ เมื่ออินทรียวัตถุเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชถูกปลดปล่อยออกมา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากกลไกหลักในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้แก่ การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในพืชในรูปของแอมโมเนียมไอออนและไนเตรท (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; Park และคณะ, 2001) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา แต่ไม่ชัดเจน ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบนยกเว้นระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.28 ถึง ตารางที่ 4.29)

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	1.855±0.092	ข^{c}-0.360±0.141^{a}	ก^{b}0.340±0.057^{a}	กข^{b}0.025±0.163^{b}
	6 psu	1.305±0.078	ก^{a}0.635±0.120^{a}	ข^{c}-0.210±0.057^{bc}	ก^{a}0.375±0.163^{a}
	12 psu	1.720±0.071	ก^{a}0.485±0.021^{a}	ค^{d}-0.375±0.049^{c}	ข^{b}-0.095±0.092^{a}
	18 psu	1.380±0.057	ข^{b}-0.025±0.007^{a}	ก^{a}0.590±0.000^{b}	ก^{a}0.430±0.170^{a}
	24 psu	1.760±0.071	ข^{b}-0.030±0.141^{c}	ข^{c}-0.120±0.014^{b}	ก^{a}0.550±0.042^{bc}
โกงกางใบใหญ่	NW	1.555±0.134	ก^{b}-0.075±0.035^{a}	ก^{d}0.005±0.021^{b}	ข^{c}-0.590±0.014^{c}
	6 psu	1.365±0.148	ก^{a}0.415±0.064^{ab}	ข^{e}-0.290±0.014^{c}	ค^{c}-0.520±0.057^{b}
	12 psu	1.610±0.057	ค^{c}-0.940±0.113^{d}	ก^{a}0.605±0.007^{a}	ข^{b}-0.175±0.021^{a}
	18 psu	1.395±0.078	ข^{b}-0.150±0.042^{a}	ก^{c}0.350±0.014^{c}	ข^{b}-0.080±0.057^{b}
	24 psu	1.280±0.113	ข^{b}0.005±0.049^{c}	ก^{b}0.525±0.021^{a}	กข^{a}0.330±0.184^{bc}
แสมทะเล	NW	1.215±0.064	ข^{b}-0.045±0.177^{a}	ค^{d}-0.545±0.049^{c}	ก^{a}0.610±0.028^{a}
	6 psu	1.490±0.085	ข^{c}-0.590±0.042^{c}	ก^{b}0.515±0.064^{a}	ก^{b}0.165±0.191^{a}
	12 psu	1.610±0.127	ก^{a}0.545±0.021^{a}	ค^{c}-0.435±0.021^{c}	ขข^{bc}0.010±0.028^{a}
	18 psu	1.485±0.092	ค^{c}-0.635±0.021^{b}	ก^{a}0.900±0.000^{a}	ข^{c}-0.230±0.028^{bc}
	24 psu	1.135±0.064	ก^{a}0.580±0.014^{b}	ค^{e}-0.720±0.014^{c}	ข^{b}0.155±0.177^{c}
พังกาหัวสุม	NW	1.435±0.049	ข^{c}-0.180±0.042^{a}	ก^{b}0.350±0.057^{a}	ค^{c}-0.680±0.085^{c}
	6 psu	1.545±0.092	ก^{b}0.355±0.007^{b}	ข^{d}-0.475±0.021^{d}	ข^{c}-0.465±0.191^{b}
	12 psu	1.435±0.078	ก^{b}0.195±0.064^{b}	ข^{c}-0.315±0.092^{c}	กข^{b}-0.030±0.156^{a}
	18 psu	1.245±0.064	ข^{d}-0.585±0.120^{b}	ก^{a}0.630±0.000^{b}	ข^{c}-0.515±0.078^{c}
	24 psu	1.245±0.049	ก^{a}1.275±0.148^{a}	ข^{e}-1.840±0.042^{d}	ก^{a}1.445±0.219^{a}
โปรงแดง	NW	1.850±0.085	ข^{c}-0.845±0.134^{b}	ก^{c}0.060±0.042^{b}	ก^{b}-0.095±0.049^{b}
	6 psu	1.590±0.057	ก^{a}0.195±0.134^{b}	ข^{d}-0.110±0.000^{b}	ค^{c}-0.415±0.007^{b}
	12 psu	1.990±0.085	ขข^{bc}-0.500±0.170^{c}	ก^{b}0.410±0.028^{b}	ข^{c}-0.660±0.057^{b}
	18 psu	1.555±0.106	ขก^{ab}-0.185±0.064^{a}	กก^{ab}0.465±0.106^{c}	ก^{a}0.520±0.226^{a}
	24 psu	1.420±0.099	ข^{b}-0.295±0.233^{c}	ก^{a}0.595±0.078^{a}	ก^{a}0.725±0.064^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	1.585±0.148	กab 0.450±0.071ab	คb -0.725±0.049c	ข -0.175±0.021c
	6 psu	1.995±0.148	กb 0.295±0.049	คb -0.705±0.035c	ข -0.050±0.071ab
	12 psu	1.350±0.042	ขb 0.090±0.028a	ขa 0.000±0.085b	ก 0.430±0.113a
	18 psu	1.030±0.170	b 0.090±0.339	a 0.050±0.297	0.495±0.035
	24 psu	0.685±0.049	a 0.780±0.085a	a 0.105±0.191	0.180±0.410
โกงกางใบใหญ่	NW	0.910±0.085	ขa 0.315±0.120b	ค -0.275±0.120b	กa 1.005±0.148a
	6 psu	1.325±0.219	abc -0.145±0.177	-0.110±0.198ab	bc -0.165±0.177b
	12 psu	1.465±0.120	bc -0.270±0.184ab	0.040±0.141b	c -0.425±0.120b
	18 psu	1.620±0.127	c -0.570±0.269	0.300±0.354	b 0.050±0.127
	24 psu	1.005±0.078	ab 0.175±0.021b	0.170±0.042	bc -0.050±0.127
แสมทะเล	NW	1.415±0.049	ขc -0.295±0.134c	กa 0.245±0.035a	ข -0.275±0.021c
	6 psu	0.910±0.057	กa 0.465±0.007	ขa 0.010±0.127ab	ข 0.105±0.064a
	12 psu	2.125±0.064	คd -0.750±0.028b	ขb -0.340±0.127c	ก 0.145±0.021a
	18 psu	1.325±0.134	b 0.030±0.099	a 0.130±0.042	-0.045±0.247
	24 psu	0.910±0.099	กa 0.315±0.035b	กa 0.220±0.057	ข -0.360±0.255
พังกาหัวสุม	NW	1.085±0.078	กa 0.745±0.148a	ขb -0.295±0.007b	ข -0.325±0.078c
	6 psu	0.885±0.092	กab 0.355±0.049	กa 0.295±0.035a	ข -0.170±0.099b
	12 psu	1.170±0.057	bc 0.015±0.035a	a 0.030±0.127b	0.035±0.304a
	18 psu	1.600±0.212	c -0.365±0.304	a 0.015±0.035	0.000±0.269
	24 psu	1.170±0.156	b 0.230±0.085b	a 0.035±0.205	0.510±0.170
โปรงแดง	NW	2.250±0.226	ขb -0.800±0.085d	ขc -0.425±0.191b	กa 0.290±0.127b
	6 psu	1.580±0.113	a -0.035±0.361	bc -0.245±0.361bc	c -0.465±0.035c
	12 psu	1.840±0.184	ขab -0.665±0.375b	กa 0.515±0.007a	ขc -0.635±0.021b
	18 psu	2.055±0.092	ขab -0.695±0.177	กab 0.110±0.184	กb -0.040±0.057
	24 psu	2.325±0.233	ขb -1.290±0.113c	กa 0.400±0.057	กab 0.135±0.106

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

7) แอมโมเนียมไอออนในดิน (ammonium ion; NH_4^+)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.047-0.513 และ 0.093-0.327 mg/g soil ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.070-0.467, 0.163-0.607, 0.140-0.700, 0.093-0.350 และ 0.233-0.793 mg/g soil ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ส่วนปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.210-0.420, 0.140-0.467, 0.163-0.443, 0.187-0.397 และ 0.257-0.397 mg/g soil ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ก.6 ถึง ตารางที่ ก.7) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณแอมโมเนียมไอออนต่ำกว่าดินชั้นล่าง ทั้งนี้เนื่องจากดินชั้นล่างมีปริมาณออกซิเจนต่ำ ทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันหรือการเปลี่ยนรูปไนเตรทไปเป็นแอมโมเนีย ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนได้ดีกว่าดินชั้นบน (Mitsch และ Gosselink, 2000) สอดคล้องกับ Tam (1998) ที่ได้ทำการศึกษาชนิดและจำนวนประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียซึ่งมีความเค็มบริเวณ Sai Keng เขตปกครองพิเศษฮ่องกง พบว่า จำนวนดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความลึกของชั้นดิน (ระดับความลึก 0-1.5, 1.5-3, 3-4.5 และ มากกว่า 4.5 ซม.)

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าใกล้เคียงกันจนไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดใดมีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา แต่ไม่ชัดเจนและมีค่าผันแปรสูง ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.30 ถึง ตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	แอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.047±0.000	กab0.163±0.033ab	ขa0.070±0.033a	กb0.187±0.000a
	6 psu	0.140±0.066	ขa0.187±0.066a	คd-0.280±0.000d	กa0.560±0.066a
	12 psu	0.397±0.099	d-0.070±0.033b	b-0.023±0.033b	d-0.163±0.033e
	18 psu	0.233±0.066	กbc0.070±0.033b	ขc-0.093±0.000bc	ขd-0.117±0.033e
	24 psu	0.303±0.033	c0.047±0.000bc	bc-0.047±0.000d	c0.047±0.000c
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.117±0.033	กa0.187±0.066a	ขd-0.140±0.066bc	กขbc0.023±0.033b
	6 psu	0.140±0.000	ab0.093±0.066ab	c0.047±0.000a	b0.047±0.000b
	12 psu	0.210±0.033	ขbc-0.070±0.033b	กb0.280±0.066a	กa0.280±0.000a
	18 psu	0.163±0.033	ab0.047±0.000bc	cd-0.047±0.000b	c-0.047±0.000d
	24 psu	0.513±0.132	ขc-0.210±0.099d	กa0.443±0.099a	ขb0.047±0.066c
แสมทะเล	**NW**	0.140±0.000	b0.000±0.000d	b-0.047±0.000b	b0.233±0.000a
	6 psu	0.210±0.033	ขb-0.047±0.000b	ขc-0.117±0.033b	กa0.490±0.033a
	12 psu	0.210±0.033	a0.140±0.000a	c-0.140±0.000b	bc0.187±0.000b
	18 psu	0.397±0.099	ขb-0.117±0.099c	ขc-0.117±0.033c	กc0.140±0.000a
	24 psu	0.047±0.000	กa0.210±0.033a	ขa0.047±0.000cd	คd-0.070±0.033d
พังกาหัวสุม	**NW**	0.117±0.033	b0.047±0.000cd	a0.117±0.033a	b0.047±0.066b
	6 psu	0.117±0.033	กab0.163±0.033a	คb-0.163±0.033bc	ขb0.047±0.000b
	12 psu	0.187±0.066	กa0.233±0.066a	ขb-0.163±0.099b	กขb0.047±0.000c
	18 psu	0.093±0.000	กa0.280±0.066a	คb-0.233±0.000d	ขb0.000±0.000c
	24 psu	0.093±0.000	ab0.187±0.066ab	a0.163±0.033bc	a0.233±0.000b
โปรงแดง	**NW**	0.163±0.033	กa0.093±0.000bc	ขb-0.210±0.033c	กb0.023±0.033b
	6 psu	0.187±0.066	ขa0.093±0.066ab	คb-0.187±0.000c	กa0.467±0.132a
	12 psu	0.163±0.033	กa0.140±0.066a	ขb-0.187±0.066b	ขb-0.070±0.033d
	18 psu	0.280±0.066	ขb-0.093±0.066bc	กa0.117±0.033a	กb0.047±0.000b
	24 psu	0.163±0.033	คb-0.070±0.033cd	ขa0.187±0.000b	กa0.443±0.033a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียมไอออนที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	แอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.233±0.066	^{c}-0.047±0.000	^{b}-0.047±0.066	0.140±0.066
	6 psu	0.303±0.099	^{ขc}-0.047±0.000^{c}	^{กa}0.443±0.033^{a}	^{ข}-0.373±0.198^{b}
	12 psu	0.257±0.033	^{b}0.093±0.000	^{b}0.140±0.000	-0.163±0.165
	18 psu	0.140±0.000	^{a}0.187±0.066^{a}	^{b}0.187±0.198^{a}	-0.117±0.099^{b}
	24 psu	0.257±0.099	^{กab}0.117±0.033	^{กขb}0.047±0.000^{b}	^{ข}-0.023±0.033^{a}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.280±0.066	0.140±0.066	0.000±0.066	-0.047±0.132
	6 psu	0.210±0.099	0.047±0.000^{b}	0.070±0.033^{c}	0.047±0.132^{a}
	12 psu	0.233±0.066	-0.047±0.132	0.070±0.099	-0.093±0.132
	18 psu	0.303±0.033	^{ข}-0.047±0.000^{cd}	^{ก}0.140±0.000^{a}	^{ข}-0.210±0.099^{b}
	24 psu	0.187±0.066	-0.047±0.132	0.210±0.099^{ab}	-0.023±0.033^{a}
แสมทะเล	**NW**	0.210±0.099	-0.023±0.099	^{c}-0.047±0.000	^{a}0.070±0.033
	6 psu	0.163±0.099	^{ก}0.117±0.033^{ab}	^{กab}0.210±0.033^{b}	^{ขb}-0.070±0.033^{ab}
	12 psu	0.187±0.000	^{ข}-0.023±0.033	^{กa}0.257±0.033	^{ขa}0.023±0.033
	18 psu	0.327±0.132	^{ก}0.023±0.033^{bc}	^{กb}0.093±0.000^{a}	^{ขb}-0.070±0.033^{b}
	24 psu	0.327±0.066	^{ข}-0.023±0.033	^{กa}0.257±0.099^{a}	^{คc}-0.257±0.033^{b}
พังกาหัวสุม	**NW**	0.093±0.000	^{กa}0.163±0.033	^{ขc}-0.047±0.000	^{กa}0.140±0.066
	6 psu	0.187±0.066	^{a}0.140±0.000^{a}	^{c}-0.023±0.033^{d}	^{a}0.163±0.099^{a}
	12 psu	0.163±0.099	^{กa}0.140±0.066	^{กb}0.140±0.066	^{ขb}-0.117±0.033
	18 psu	0.280±0.066	^{ขb}-0.117±0.033^{d}	^{กa}0.327±0.066^{a}	^{ขb}-0.140±0.000^{b}
	24 psu	0.117±0.033	^{a}0.070±0.033	^{bc}0.047±0.000^{b}	^{ab}0.023±0.099^{a}
โปรงแดง	**NW**	0.210±0.033	0.163±0.099	^{bc}0.023±0.099	^{ab}0.023±0.099
	6 psu	0.303±0.033	0.047±0.066^{b}	^{cd}-0.093±0.000^{d}	^{b}-0.117±0.099^{ab}
	12 psu	0.257±0.033	^{ข}-0.023±0.033	^{กab}0.140±0.000	^{ขb}-0.070±0.033
	18 psu	0.163±0.033	^{ก}0.070±0.033^{b}	^{ขd}-0.187±0.066^{b}	^{กa}0.140±0.000^{a}
	24 psu	0.140±0.066	^{ข}0.070±0.033	^{กa}0.257±0.033^{a}	^{คb}-0.093±0.000^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

8) ไนเตรทในดิน (nitrate; NO_3)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.233-1.447 และ 0.280-1.703 mg/g soil ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณไนเตรทในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณไนเตรทในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.117-0.630, 0.210-1.073, 0.350-1.470, 0.560-1.703 และ 0.490-1.540 mg/g soil ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนเตรทในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.467-0.933, 0.467-0.747, 0.257-1.167, 0.397-0.980 และ 0.490-1.050 mg/g soil ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ก.8 ถึง ตารางที่ ก.9) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าดินชั้นล่าง ทั้งนี้เนื่องจากดินชั้นบนมีปริมาณออกซิเจนสูง ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันหรือการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทได้ดีกว่าดินชั้นล่าง (Mitsch และ Gosselink, 2000) สอดคล้องกับ Tam (1998) ที่ได้ทำการศึกษาชนิดและจำนวนประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียซึ่งมีความเค็มบริเวณ Sai Keng เขตปกครองพิเศษฮ่องกง พบว่า จำนวนไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของชั้นดิน (ระดับความลึก 0-1.5, 1.5-3, 3-4.5 และ มากกว่า 4.5 ซม.)

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบ ทั้งนี้เพราะพืชสามารถดูดซึมไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต แต่ถ้าไนเตรทไม่ถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว ระบบอาจสูญเสียไนเตรทโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเมื่อระบบอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนหรือสูญเสียโดยการชะละลายออกมากับน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Keffala และ Ghrabi, 2005) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา แต่ไม่ชัดเจนในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.32 ถึง ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.397±0.099	กa0.467±0.000a	คd-0.303±0.033a	ขc0.070±0.033ab
	6 psu	0.957±0.033	กbc0.210±0.099a	กขbc0.000±0.066a	ขd-0.093±0.000c
	12 psu	1.260±0.066	กc0.140±0.066a	ขcd-0.163±0.033b	กb0.233±0.000b
	18 psu	0.957±0.099	ขc0.093±0.066a	ขb0.117±0.099c	กa0.420±0.000a
	24 psu	0.397±0.099	ab0.327±0.066c	a0.373±0.066a	a0.443±0.033b
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.397±0.033	กa0.420±0.066ab	ขc-0.350±0.033ab	ขc-0.350±0.033c
	6 psu	0.933±0.066	กb0.187±0.066a	ขd-0.910±0.099d	กb0.047±0.000b
	12 psu	1.050±0.033	d-0.747±0.000e	b0.047±0.000a	b0.000±0.000d
	18 psu	1.073±0.066	คc-0.420±0.000bc	ขab0.163±0.033c	กa0.303±0.033b
	24 psu	0.233±0.000	กa0.490±0.033b	ขa0.233±0.000b	คb-0.070±0.099d
แสมทะเล	**NW**	0.350±0.099	กb0.327±0.000b	คd-0.583±0.099c	ขab0.047±0.000b
	6 psu	0.863±0.033	ขd-0.420±0.000c	กb-0.187±0.066b	กbc-0.047±0.066bc
	12 psu	0.957±0.099	ขc-0.163±0.033b	คc-0.420±0.000c	กa0.117±0.033c
	18 psu	0.793±0.066	ขe-0.490±0.033c	กa1.073±0.000a	คd-0.583±0.033c
	24 psu	0.560±0.066	กa0.490±0.033b	คcd-0.443±0.033c	ขc-0.117±0.033d
พังกาหัวสุม	**NW**	0.583±0.033	กb0.117±0.033c	ขc-0.327±0.000ab	กc0.047±0.066b
	6 psu	1.213±0.132	ขd-0.467±0.066c	ขc-0.420±0.000c	กb0.303±0.033a
	12 psu	0.910±0.033	ขcd-0.397±0.033c	ขb-0.210±0.099b	กb0.233±0.066b
	18 psu	0.420±0.000	ขc-0.350±0.033b	กa0.233±0.000c	กb0.257±0.033b
	24 psu	0.957±0.099	ขa0.817±0.033a	คd-1.587±0.000d	กa1.213±0.000a
โปรงแดง	**NW**	1.447±0.132	คc-0.933±0.066d	ขe-0.467±0.066bc	กc0.163±0.033a
	6 psu	1.167±0.066	กa-0.140±0.066b	ขd-0.327±0.000bc	กd-0.047±0.066bc
	12 psu	1.353±0.132	คb-0.537±0.033d	ขc-0.187±0.000b	กb0.373±0.000a
	18 psu	1.190±0.099	ขb-0.397±0.033bc	กa0.397±0.033b	กa0.513±0.066a
	24 psu	1.167±0.132	ขb-0.397±0.099d	กb0.257±0.033b	กc0.117±0.033c

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยของไนเตรทที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.957±0.099	ข^{b}-0.163±0.033^{b}	ข^{c}-0.233±0.066	ก^{c}0.047±0.000^{c}
	6 psu	1.423±0.099	ค^{c}-0.490±0.033^{d}	ข^{c}-0.163±0.033^{b}	ก^{d}-0.023±0.033^{c}
	12 psu	0.653±0.132	ก^{a}0.280±0.000^{a}	ข^{b}0.000±0.066^{c}	ก^{b}0.233±0.000^{a}
	18 psu	0.700±0.132	ข^{b}-0.070±0.033^{b}	ข^{b}0.000±0.000^{d}	ก^{a}0.350±0.033^{a}
	24 psu	0.280±0.000	ก^{a}0.397±0.099^{a}	ก^{a}0.303±0.033^{a}	ข^{d}-0.023±0.033^{c}
โกงกางใบใหญ่	NW	0.373±0.066	ข^{a}0.187±0.000^{a}	ค^{b}-0.210±0.033	ก^{a}0.583±0.099^{a}
	6 psu	0.817±0.099	ก^{b}-0.047±0.066^{b}	ข^{c}-0.443±0.099^{d}	ก^{c}0.140±0.000^{b}
	12 psu	1.073±0.132	ข^{d}-0.770±0.099^{c}	ก^{a}0.070±0.033^{c}	ก^{d}-0.117±0.033^{c}
	18 psu	0.957±0.033	ค^{c}-0.583±0.033^{c}	ข^{a}0.140±0.000^{cd}	ก^{b}0.373±0.066^{a}
	24 psu	0.747±0.066	ค^{b}-0.140±0.000^{c}	ก^{a}0.163±0.033^{ab}	ข^{d}-0.047±0.000^{c}
แสมทะเล	NW	1.003±0.099	ค^{c}-0.490±0.033^{c}	ข^{c}-0.233±0.000	ก^{a}0.280±0.000^{b}
	6 psu	0.443±0.033	ข^{b}-0.140±0.000^{c}	ก^{a}0.420±0.066^{a}	ข^{c}-0.117±0.033^{cd}
	12 psu	1.470±0.099	ข^{d}-1.330±0.099^{d}	ก^{b}0.257±0.033^{b}	ก^{b}0.047±0.066^{b}
	18 psu	0.910±0.033	ค^{c}-0.490±0.033^{c}	ก^{ab}0.397±0.099^{ab}	ข^{c}-0.163±0.099^{bc}
	24 psu	0.560±0.066	ก^{a}0.140±0.000^{b}	ค^{c}-0.140±0.000^{c}	ข^{bc}-0.070±0.033^{c}
พังกาหัวสุม	NW	0.303±0.033	ก^{a}0.163±0.033^{a}	ข^{c}-0.140±0.000	ก^{b}0.140±0.000^{c}
	6 psu	0.490±0.033	ข^{ab}0.140±0.000^{a}	ค^{d}-0.327±0.000^{cd}	ก^{a}0.257±0.033^{a}
	12 psu	0.350±0.033	ข^{b}-0.023±0.033^{b}	ก^{a}0.350±0.033^{ab}	ค^{d}-0.187±0.000^{c}
	18 psu	1.003±0.165	ค^{c}-0.793±0.132^{d}	ก^{a}0.280±0.066^{bc}	ข^{c}-0.093±0.066^{b}
	24 psu	0.677±0.099	^{ab}0.093±0.066^{b}	^{b}0.047±0.066^{bc}	^{a}0.233±0.000^{b}
โปรงแดง	NW	1.703±0.099	ค^{d}-0.933±0.000^{d}	ข^{b}-0.257±0.033	ก^{b}0.117±0.033^{c}
	6 psu	1.027±0.132	^{c}-0.210±0.033^{c}	^{b}-0.187±0.000^{bc}	^{c}-0.140±0.066^{d}
	12 psu	0.653±0.066	ข^{b}-0.023±0.033^{b}	ก^{a}0.443±0.033^{a}	ค^{d}-0.373±0.000^{d}
	18 psu	0.327±0.066	ข^{a}0.303±0.033^{a}	ก^{a}0.513±0.066^{a}	ค^{d}-0.327±0.066^{c}
	24 psu	1.703±0.165	ค^{d}-0.910±0.033^{d}	ข^{b}-0.397±0.165^{d}	ก^{a}0.397±0.033^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

9) ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (total phosphorus; TP)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.083-0.227 และ 0.061-0.208 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าผันแปร คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.165-0.270, 0.217-0.278, 0.204-0.312, 0.218-0.307 และ 0.235-0.318 mg/g dry weight ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.105-0.187, 0.118-0.203, 0.137-0.215, 0.182-0.206 และ 0.151-0.219 mg/g dry weight ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ก.10 ถึง ตารางที่ ก.11) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าดินชั้นล่าง

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสในน้ำเสียสามารถพบได้ทั้งในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอยที่มีฟอสฟอรัส เช่น แพลงก์ตอนพืช การที่ความเค็มสูงขึ้นทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้ดี นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ทำให้เหล็ก (Fe) อะลูมีเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) ในดินเลนอยู่ในรูปของเกลือโลหะ เช่น $FeCl_3$ เพิ่มขึ้น มีผลให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟต เช่น เฟอริกฟอสเฟต ($FePO_4$) และถูกดูดซับโดยดินได้สูงขึ้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช แต่ไม่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Lymbery และคณะ (2006) ที่กล่าวว่า กลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้แก่ การตกตะกอน การดูดซับโดยดิน และการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ของกล้าไม้ในชุดทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา แต่มีความแปรปรวนเนื่องจากปริมาณการใช้โดยพืช ประกอบกับดินที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 มีปริมาณอินทรียวัตถุและอนุภาคดินเหนียวสูงขึ้น ทำให้ฟอสฟอรัสในรูปของฟอตเฟตถูกตรึงไว้ในดินได้สูงขึ้น (คณาจารย์

ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.34 ถึง ตารางที่ 4.35)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.155±0.023	ข-0.003±0.000^{a}	ก0.099±0.039^{a}	ข-0.017±0.030
	6 psu	0.169±0.015	ข0.019±0.009^{a}	ก0.067±0.007^{c}	ข0.022±0.001
	12 psu	0.158±0.008	0.020±0.034^{a}	0.081±0.004^{b}	0.053±0.043
	18 psu	0.132±0.025	0.065±0.046^{a}	0.062±0.006	0.047±0.006
	24 psu	0.105±0.012	0.029±0.031^{b}	0.090±0.031^{b}	0.094±0.031^{a}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.173±0.009	ขb0.006±0.006^{a}	กb0.079±0.008^{a}	ขd0.002±0.011
	6 psu	0.120±0.015	คc-0.032±0.005^{b}	กa0.110±0.009^{ab}	ขc0.027±0.006
	12 psu	0.099±0.005	คa0.024±0.003^{a}	ขc0.050±0.004^{b}	กa0.124±0.002
	18 psu	0.098±0.016	a0.026±0.006^{ab}	b0.082±0.017	b0.054±0.014
	24 psu	0.124±0.019	ขa0.023±0.009^{b}	กab0.096±0.002^{b}	คd-0.001±0.002^{b}
แสมทะเล	**NW**	0.227±0.009	ขc-0.065±0.001^{b}	กb-0.011±0.018^{b}	ก0.014±0.003
	6 psu	0.104±0.031	คc-0.069±0.026^{c}	กa0.136±0.019^{a}	ข0.046±0.001
	12 psu	0.083±0.021	b0.053±0.002^{a}	b0.019±0.033^{b}	0.049±0.020
	18 psu	0.154±0.013	b0.009±0.031^{abc}	b0.032±0.041	0.022±0.031
	24 psu	0.090±0.006	กa0.101±0.007^{a}	ขb-0.031±0.013^{c}	ก0.074±0.002^{a}
พังกาหัวสุม	**NW**	0.198±0.020	ab0.000±0.032^{a}	b0.045±0.005^{ab}	-0.002±0.002
	6 psu	0.206±0.014	ขa0.019±0.008^{a}	คc-0.064±0.001^{d}	ก0.077±0.017
	12 psu	0.193±0.008	bc-0.026±0.010^{b}	b0.061±0.039^{b}	0.010±0.043
	18 psu	0.147±0.022	ขc-0.052±0.009^{c}	กa0.120±0.022	ก0.049±0.033
	24 psu	0.140±0.007	ขc-0.066±0.006^{c}	กa0.125±0.006^{ab}	ก0.076±0.026^{a}
โปรงแดง	**NW**	0.164±0.017	ขb-0.017±0.001^{a}	กb0.083±0.025^{a}	ก0.040±0.017
	6 psu	0.113±0.023	a0.012±0.001^{a}	b0.084±0.010^{bc}	0.038±0.028
	12 psu	0.116±0.017	ขb-0.029±0.011^{b}	กa0.150±0.028^{a}	ข-0.010±0.042
	18 psu	0.167±0.014	คb-0.026±0.004^{bc}	กb0.089±0.007	ข0.055±0.003
	24 psu	0.162±0.007	คc-0.068±0.001^{c}	กa0.138±0.007^{a}	ข0.056±0.008^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.157±0.024	ข0.003±0.017a	ขc-0.035±0.009	กa0.057±0.012a
	6 psu	0.147±0.020	ข0.018±0.002a	คc-0.036±0.007c	กa0.074±0.008a
	12 psu	0.096±0.018	กข0.017±0.007	กb0.051±0.015a	ขb-0.008±0.016c
	18 psu	0.177±0.011	ข0.007±0.014ab	คc-0.050±0.010c	กa0.072±0.001ab
	24 psu	0.118±0.019	ข0.003±0.009b	กa0.090±0.005a	ขb0.009±0.016c
โกงกางใบใหญ่	NW	0.208±0.014	ข-0.053±0.008b	กa0.009±0.000	กcd0.023±0.009b
	6 psu	0.108±0.008	กข0.019±0.013a	ขab-0.009±0.013b	กbc0.051±0.003ab
	12 psu	0.122±0.017	ข-0.003±0.035	ขb-0.025±0.008b	กab0.089±0.016a
	18 psu	0.150±0.021	ข-0.027±0.040bc	ขb-0.015±0.011b	กa0.096±0.031a
	24 psu	0.104±0.013	ก0.048±0.003a	ขa0.013±0.002c	คd-0.013±0.002d
แสมทะเล	NW	0.085±0.014	ก0.031±0.002a	ขb-0.006±0.009	ขc-0.005±0.006c
	6 psu	0.098±0.005	ข-0.010±0.003b	กa0.049±0.012a	ขc-0.019±0.012c
	12 psu	0.138±0.015	-0.011±0.026	ab0.021±0.019a	a0.067±0.011ab
	18 psu	0.121±0.028	0.010±0.022ab	b-0.001±0.008b	ab0.054±0.000bc
	24 psu	0.075±0.009	ข0.037±0.000a	คb0.009±0.004c	กb0.045±0.001b
พังกาหัวสุม	NW	0.147±0.012	b0.004±0.017a	bc-0.022±0.024	c0.000±0.006c
	6 psu	0.114±0.010	ab0.021±0.014a	b-0.003±0.011b	b0.032±0.005b
	12 psu	0.076±0.005	ขb0.007±0.001	กa0.059±0.007a	ขc-0.005±0.005c
	18 psu	0.117±0.015	กa0.053±0.005a	ขc-0.052±0.011c	กa0.064±0.002ab
	24 psu	0.139±0.017	ขc-0.070±0.021c	กa0.080±0.021ab	กb0.032±0.006b
โปรงแดง	NW	0.137±0.011	ขb0.004±0.002a	คb-0.019±0.003	กa0.060±0.000a
	6 psu	0.154±0.013	กab0.028±0.003a	ขb-0.041±0.007c	กa0.056±0.020ab
	12 psu	0.108±0.016	กa0.041±0.014	ขb-0.046±0.019b	กab0.050±0.003b
	18 psu	0.187±0.022	คc-0.079±0.014c	กa0.058±0.008a	ขb0.027±0.001c
	24 psu	0.061±0.009	ขab0.027±0.003ab	กa0.055±0.008b	กa0.068±0.005a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

10) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available phosphorus)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.061-0.163 และ 0.048-0.158 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าผันแปร คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.132-0.218, 0.173-0.223, 0.165-0.239, 0.184-0.239 และ 0.186-0.244 mg/g dry weight ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.082-0.164, 0.104-0.164, 0.106-0.176, 0.144-0.163 และ 0.121-0.180 mg/g dry weight ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ก.12 ถึง ตารางที่ ก.13) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงกว่าดินชั้นล่าง ชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่ถูกกักเก็บไว้ในดินชั้นบน สอดคล้องกับ Tam (1998) ที่ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียซึ่งมีความเค็มบริเวณ Sai Keng เขตปกครองพิเศษฮ่องกง พบว่า ที่ระดับความลึก 0-1.5, 1.5-3, 3-4.5 และ มากกว่า 4.5 ซม. จากผิวดิน มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 52.40, 27.67, 22.30 และ 24.51 µg/g dry weight ตามลำดับ

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบ แต่ไม่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช แต่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภายในชุดทดลองที่ปลูกพืชมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5-9 ประกอบกับมีเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่นปริมาณมาก ซึ่งเมื่อเกิดกระบวนการมิเนอรัลไรเซชัน (mineralization) โดยจุลินทรีย์จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปของไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) และโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) สูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา แต่ไม่ชัดเจน ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.36 ถึง ตารางที่ 4.37)

ตารางที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.120±0.020	0.008±0.007[a]	0.053±0.025	0.005±0.021
	6 psu	0.126±0.021	0.020±0.012[a]	0.052±0.010[b]	0.025±0.001[b]
	12 psu	0.123±0.009	0.017±0.002[b]	0.044±0.028	0.054±0.046[ab]
	18 psu	0.098±0.016	0.053±0.038	0.039±0.005	0.049±0.015
	24 psu	0.078±0.012	0.030±0.004[b]	0.059±0.018[b]	0.078±0.042
โกงกางใบใหญ่	NW	0.134±0.008	[ขb]-0.001±0.002[a]	[กab]0.055±0.014	[ขc]0.020±0.005
	6 psu	0.090±0.011	[คc]-0.016±0.003[b]	[กa]0.079±0.008[a]	[ขbc]0.026±0.019[b]
	12 psu	0.078±0.007	[ขa]0.020±0.003[b]	[ขb]0.029±0.003	[กa]0.112±0.006[a]
	18 psu	0.076±0.023	[a]0.023±0.004	[a]0.057±0.013	[b]0.054±0.012
	24 psu	0.091±0.010	[ขa]0.029±0.007[b]	[กa]0.060±0.012[b]	[ขc]0.016±0.006
แสมทะเล	NW	0.163±0.006	[ขcd]-0.035±0.002[b]	[ขb]-0.018±0.005	[ก]0.022±0.010
	6 psu	0.075±0.009	[คd]-0.047±0.014[c]	[กa]0.095±0.005[a]	[ข]0.050±0.002[ab]
	12 psu	0.061±0.019	[ab]0.042±0.005[a]	[b]0.017±0.033	0.045±0.016[ab]
	18 psu	0.120±0.011	[bc]0.002±0.031	[b]0.025±0.043	0.037±0.043
	24 psu	0.069±0.022	[กa]0.079±0.004[a]	[ขb]-0.028±0.002[c]	[ก]0.066±0.007
พังกาหัวสุม	NW	0.151±0.007	[ab]0.003±0.015[a]	[b]0.025±0.006	0.015±0.004
	6 psu	0.156±0.018	[ขa]0.021±0.011[a]	[คc]-0.056±0.013[c]	[ก]0.064±0.008[a]
	12 psu	0.139±0.009	[bc]-0.009±0.005[c]	[ab]0.046±0.028	0.011±0.020[b]
	18 psu	0.108±0.024	[cd]-0.031±0.005	[ab]0.082±0.038	0.057±0.029
	24 psu	0.107±0.008	[ขd]-0.048±0.002[c]	[กa]0.091±0.012[a]	[ก]0.065±0.026
โปรงแดง	NW	0.120±0.022	[b]-0.002±0.003[a]	0.055±0.035	0.045±0.023
	6 psu	0.080±0.006	[a]0.021±0.009[a]	0.054±0.000[b]	0.047±0.010[ab]
	12 psu	0.087±0.027	[ขb]-0.017±0.006[c]	[ก]0.107±0.035	[ข]0.009±0.022[b]
	18 psu	0.128±0.020	[ขb]-0.008±0.014	[ก]0.059±0.015	[ก]0.052±0.001
	24 psu	0.119±0.013	[คc]-0.041±0.003[c]	[ก]0.092±0.007[a]	[ข]0.055±0.004

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่พบในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.114±0.017	ข0.015±0.003^{ab}	คc-0.036±0.001^{b}	กb0.053±0.007^{a}
	6 psu	0.110±0.016	ข0.026±0.012	คc-0.039±0.011^{cd}	กa0.067±0.000^{a}
	12 psu	0.071±0.005	ก0.022±0.004	กb0.031±0.006^{a}	ขd0.003±0.000^{b}
	18 psu	0.129±0.025	ข0.014±0.001^{ab}	คc-0.038±0.008^{c}	กb0.059±0.000
	24 psu	0.091±0.018	ก0.004±0.003^{a}	กa0.069±0.005^{a}	ขc0.016±0.001^{bc}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.158±0.013	ค-0.037±0.000^{c}	ข0.001±0.001^{a}	ก0.043±0.017^{a}
	6 psu	0.082±0.011	กข0.020±0.016	ข-0.014±0.017^{bc}	ก0.050±0.002^{b}
	12 psu	0.094±0.009	ข-0.001±0.019	ข-0.023±0.002^{b}	ก0.071±0.016^{a}
	18 psu	0.113±0.026	-0.016±0.044^{bc}	-0.017±0.001^{b}	0.081±0.039
	24 psu	0.080±0.010	ก0.034±0.003^{a}	ข0.008±0.001^{b}	ข-0.001±0.005^{c}
แสมทะเล	**NW**	0.066±0.008	กab0.024±0.000^{a}	ขbc-0.007±0.010^{a}	ขb-0.001±0.005^{b}
	6 psu	0.075±0.009	คbc-0.003±0.001	กa0.025±0.005^{a}	ขb0.007±0.000^{d}
	12 psu	0.103±0.010	c-0.006±0.022	ab0.015±0.019^{a}	a0.064±0.010^{a}
	18 psu	0.090±0.016	ขabc0.017±0.006^{ab}	คc-0.014±0.001^{b}	กa0.063±0.015
	24 psu	0.054±0.007	ขa0.033±0.002^{a}	คabc0.005±0.001^{b}	กa0.052±0.004^{a}
พังกาหัวสุม	**NW**	0.109±0.027	กb0.014±0.008^{ab}	ขbc-0.027±0.013^{b}	กcd0.008±0.002^{b}
	6 psu	0.088±0.012	ขb0.016±0.004	คb-0.005±0.006^{b}	กab0.040±0.002^{c}
	12 psu	0.058±0.007	b0.009±0.001	a0.040±0.017^{a}	d0.000±0.014^{b}
	18 psu	0.086±0.015	กa0.048±0.005^{a}	ขc-0.048±0.008^{c}	กa0.057±0.006
	24 psu	0.104±0.021	ขc-0.048±0.026^{b}	กa0.057±0.025^{a}	กbc0.026±0.012^{b}
โปรงแดง	**NW**	0.106±0.008	ขb0.010±0.006^{b}	คb-0.027±0.001^{b}	กab0.051±0.007^{a}
	6 psu	0.113±0.015	ขa0.033±0.006	คb-0.042±0.002^{d}	กab0.051±0.001^{b}
	12 psu	0.080±0.006	กa0.036±0.011	ขb-0.038±0.010^{b}	กa0.055±0.007^{a}
	18 psu	0.143±0.014	ขc-0.057±0.001^{c}	กa0.036±0.008^{a}	กb0.033±0.000
	24 psu	0.048±0.006	ขab0.020±0.001^{a}	ขa0.039±0.004^{a}	กa0.068±0.012^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

11) ตะกั่วและทองแดงในดิน (Lead and Copper)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณตะกั่วและทองแดงในดินชั้นบน (0-10 ซม.) ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่า < 0.025 mg/g dry weight ซึ่งเป็นค่า detection limit (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu ที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ มีปริมาณตะกั่วในดิน 0.088 mg/g dry weight และ 0.009-0.014 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่าชุดทดลองส่วนใหญ่มีปริมาณตะกั่วในดินไม่เปลี่ยนแปลง คือ มีค่า < 0.025 mg/g dry weight (ยกเว้นภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3 พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu ที่ปลูกกล้าไม้โกงกาง-ใบใหญ่ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu ที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดง มีปริมาณตะกั่วในดิน 0.030 และ 0.028 mg/g dry weight ตามลำดับ ส่วนภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 6 และ 9 พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW และ 18 psu ที่ไม่ปลูกพืช สามารถตรวจพบปริมาณตะกั่วในดิน คือ ภายหลังครั้งที่ 6 มีปริมาณตะกั่วในดิน 0.049 และ 0.028 mg/g dry weight ตามลำดับ ขณะที่ภายหลังครั้งที่ 9 มีปริมาณตะกั่วในดินเท่ากับ 0.051 และ 0.029 mg/g dry weight ตามลำดับ) ส่วนปริมาณทองแดงในดินสูงขึ้นแต่น้อยมาก คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอยู่ในช่วง 0.015-0.019, 0.020-0.034, 0.025-0.041, 0.024-0.043 และ 0.012-0.035 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ก.14 และ ตารางที่ 4.38) การที่ปริมาณโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดในดินมีค่าน้อยมาก คาดว่าเกิดจากการสะสมของโลหะหนักที่ผิวดินนั้นอาจเป็นเพียงชั้นบางๆ ดังนั้นเมื่อเทียบกับปริมาตรดินชั้นบนทั้งหมดที่สุ่มมาวิเคราะห์จึงมีค่าน้อยกว่ามาก

การที่ทองแดงมีแนวโน้มการสูงขึ้นสูงกว่าตะกั่ว อาจเป็นเพราะดินป่าชายเลนธรรมชาติทั่วไปมีปริมาณทองแดงสะสมอยู่สูงกว่าตะกั่ว เช่นเดียวกับ Tam และคณะ (1995) อ้างถึงใน Che (1999) ที่ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินป่าชายเลน บริเวณเขตอนุรักษ์ธรรมชาติฟูเทียนประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงในดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-63 และ 16-308 µg/g dry weight ตามลำดับ นอกจากนี้ พรรณราย สิทธิวงษ์ (2543) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนชายฝั่งทะเลอ่าวไทย บริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งแต่อำเภอบ้านแหลมถึงหาดแหลมหลวง จังหวัดเพชรบุรี เป็นเวลา 1 ปี (พ.ศ.2542) พบแนวโน้มว่า ดินตะกอนมีความเข้มข้นของทองแดงสูงกว่าตะกั่ว คือ ในช่วงฤดูร้อน (ก.พ.-เม.ย) ฤดูฝน (มิ.ย.-ส.ค.) และฤดูหนาว (พ.ย.-ธ.ค) มีความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 4.830, 6.948 และ 5.510 mg/kg ตามลำดับ ขณะที่มีความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.959, 5.672 และ 6.633 mg/kg ตามลำดับ

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าระดับความเค็มใดและพืชชนิดใดที่ทำให้มีปริมาณทองแดงสูงที่สุด แต่จากการทดลองของ Macfarlane (2002) ที่ได้ทำการศึกษาสมบัติของดินตะกอนในป่าชายเลนที่มีแสมทะเล (*Avicennia marina*) เป็นพันธุ์ไม้เด่น บริเวณปากแม่น้ำ Port Jackson ซึ่งตั้งอยู่ในเขตเมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุในดินตะกอนที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณทองแดงมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยสอดคล้องกับที่ Matagi และคณะ (1998) กล่าวว่า การบำบัดโลหะหนักของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยกระบวนการตกตะกอนสะสมในชั้นตะกอนดินจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อภายในระบบมีสภาวะน้ำนิ่ง น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณสารแขวนลอยสูง และดินมีอนุภาคแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุสูง

อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วและทองแดงในดินภายในชุดทดลองอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพันธุ์ไม้ชายเลน เนื่องจากพันธุ์ไม้ชายเลนมีความทนทานต่อโลหะหนักได้สูง ดังเช่นการทดลองของ Macfarlane และ Burchett (2001) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่มีต่อรงควัตถุและปริมาณเอนไซม์ peroxidase ของกล้าไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) อายุ 6 เดือน โดยทำการทดลองในเรือนกระจก เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงตั้งแต่ 200 mg/kg ขึ้นไป มีปริมาณ chlorophyll a, b และ chlorophyll ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออยู่ในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 400 mg/kg ทำให้ใบเกิดสภาวะ chlorosis และเมื่ออยู่ในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดง 800 mg/kg ทำให้ carotenoids ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของตะกั่วตั้งแต่ 200 mg/kg ขึ้นไป มีปริมาณเอนไซม์ peroxidase สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ มีผลให้กลไกการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่ป้องกันความเป็นพิษจากโลหะหนักในพืชผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.38 ปริมาณทองแดงในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณทองแดง (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.013	0.051	0.016	0.015
	6 psu	0.014	0.065	0.028	0.028
	12 psu	0.011	0.032	0.031	0.030
	18 psu	0.012	0.015	0.035	0.036
	24 psu	0.010	0.015	0.031	0.032
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.011	0.018	0.018	0.018
	6 psu	0.014	0.017	0.033	0.033
	12 psu	0.011	0.066	0.041	0.041
	18 psu	0.009	0.019	0.032	0.032
	24 psu	0.011	0.013	0.029	0.012
แสมทะเล	**NW**	0.014	0.014	0.019	0.019
	6 psu	0.012	0.019	0.023	0.020
	12 psu	0.011	0.020	0.020	0.025
	18 psu	0.014	0.028	0.024	0.024
	24 psu	0.010	0.013	0.030	0.035
พังกาหัวสุม	**NW**	0.014	0.019	0.020	0.019
	6 psu	0.013	0.021	0.033	0.033
	12 psu	0.012	0.023	0.022	0.025
	18 psu	0.013	0.017	0.044	0.043
	24 psu	0.012	0.018	0.026	0.026
โปรงแดง	**NW**	0.013	0.015	0.019	0.019
	6 psu	0.012	0.017	0.029	0.034
	12 psu	0.012	0.020	0.035	0.038
	18 psu	0.013	0.023	0.038	0.043
	24 psu	0.010	0.015	0.015	0.017

หมายเหตุ detection limit ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.005 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้

1) การเจริญเติบโตทางด้านความสูง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 63.17-82.06, 67.86-102.34, 48.29-78.21 และ 42.98-55.21 ซม. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง กล้าไม้ทุกชนิดมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงสูงขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 67.70-90.07, 82.11-120.49, 53.13-87.96 และ 47.19-58.49 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ ก.15 และ รูปที่ 4.15)

ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu และ 12 psu มีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติพันธุ์ไม้ชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำประมาณ 25 % ของน้ำทะเล (เมื่อน้ำทะเลธรรมชาติมีความเค็มประมาณ 30-35 psu) และการที่ความเค็มของน้ำสูงขึ้นทำให้การสะสมโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในใบสูงขึ้นจนมีผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง นอกจากนี้ยังทำให้การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุผ่านทางลำต้นลดลงเนื่องจากความตึงในท่อลำเลียงน้ำมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการเจริญเติบโตในพืชจึงลดลง (Downton และ Millhouse, 1985; Aziz และ Khan, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของแสมขาว (*Avicennia alba*) และพังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ที่ปลูกในเรือนทดลองระยะทดลองนาน 8 เดือน โดยใช้น้ำที่มีระดับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงสูงที่สุดเมื่อได้รับน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 psu คือ แสมขาวที่ได้รับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu มีค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 26.0, 47.3, 40.7, 27.9 และ 18.6 ซม. ตามลำดับ ส่วนพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 33.3, 40.4, 27.9, 21.6 และ 12.3 ซม. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือแสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ พังกาหัวสุมดอกแดง โกงกางใบใหญ่ และโปรงแดง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแสมทะเลมีความทนทานต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างและสามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่บริเวณที่มีความเค็มต่ำจนถึงสูงหรือแปรปรวน (Macnae, 1968 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) สอดคล้องกับ Ye และคณะ (2005) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่ออัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้เหงือกปลาหมอดอกม่วง (*Acanthus ilicifolius*) เล็บมือนาง (*Aegiceras corniculatum*) และแสมทะเล (*Avicennia marina*) ที่ปลูกในเรือนทดลอง ระยะทดลองนาน 3 เดือน โดยให้ระดับความเค็มสูงขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 35

psu พบว่า กล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเพียง 5 % ในขณะที่กล้าไม้เหงือกปลาหมอดอกม่วงและเล็บมือนางมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง 70 และ 56 % ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.39)

เมื่อทำการศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้จากค่าความชันของสมการเส้นตรง (รูปที่ 4.15) ในโกงกางใบใหญ่ พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งแตกต่างกับ Schimper (1903) อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว (2541) ที่กล่าวว่า โกงกางใบใหญ่เป็นพวก stenohaline ซึ่งต้องการความเค็มสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโกงกางใบใหญ่ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีขนาดใหญ่ ทำให้มีการเจริญเติบโตสูงกว่าในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ส่วนในแสมทะเล พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW และ 6 psu มีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น แต่โดยทั่วไปพบว่า แสมทะเลมีการเจริญเติบโตสูงในน้ำเสียทุกระดับความเค็ม (เมื่อเปรียบเทียบกับกล้าไม้ชนิดอื่น) ส่วนในพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพังกาหัวสุมดอกแดงจะมีความทนทานต่อความเค็มระหว่าง 10-20 psu (Jordan, 1964 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อพังกาหัวสุมดอกแดงได้รับน้ำเสียความเค็มตั้งแต่ 18 psu ขึ้นไป ทำให้การเจริญเติบโตลดลง และในโปรงแดง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ 18 psu, 12 psu, 6 psu และ NW ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรงแดงจะขึ้นและเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีความเค็มสูงกว่า 30 psu (Jordan, 1964 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนความสูงต่อเดือนของกล้าไม้

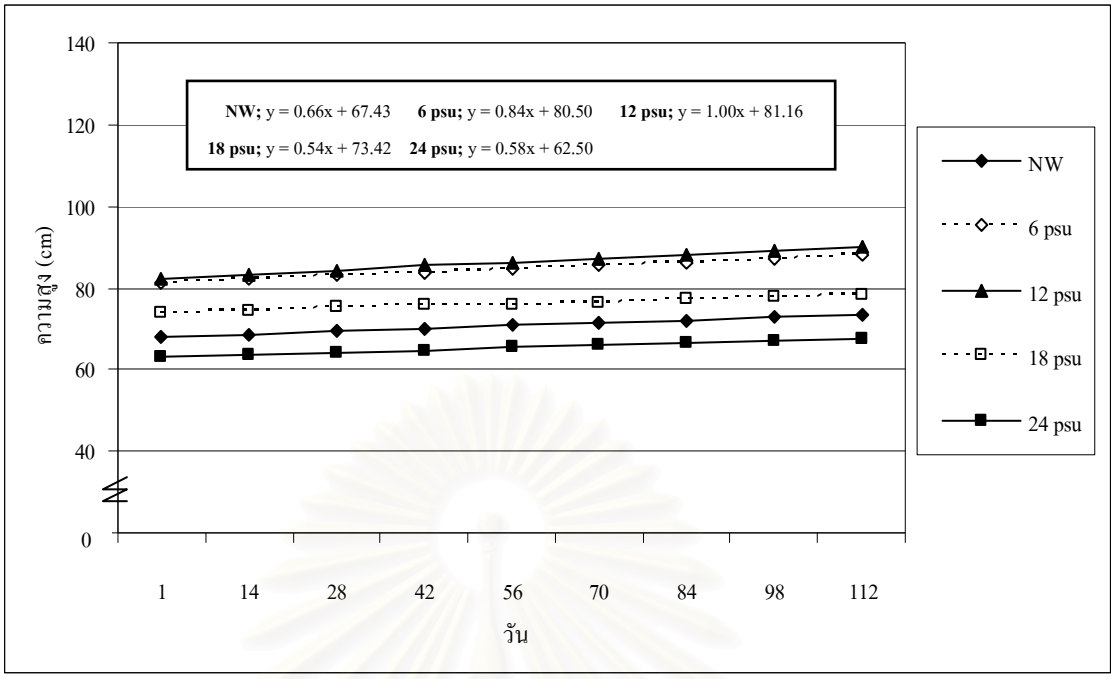
ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความสูง (ซม.)				
		ความสูงก่อนการทดลอง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	68.21±8.02	^{c}1.20±0.59^{c}	^{bc}1.50±0.88^{c}	^{c}1.15±0.44^{c}	^{b}1.36±0.65^{c}
	6 psu	81.40±8.44	^{b}1.61±0.66^{b}	^{b}1.63±0.61^{b}	^{ab}1.57±0.83^{b}	^{a}2.02±0.79^{b}
	12 psu	82.06±10.02	^{a}1.97±0.48^{c}	^{a}2.20±0.69^{b}	^{a}1.83±0.42^{c}	^{a}2.01±0.49^{b}
	18 psu	73.98±11.34	$^{ก c}$1.21±0.40^{bc}	$^{ข d}$0.84±0.33^{c}	$^{ก bc}$1.33±0.44^{b}	$^{ข c}$0.88±0.36^{c}
	24 psu	63.17±7.57	^{c}1.03±0.47^{b}	^{c}1.22±0.45^{b}	^{c}1.23±0.51^{bc}	^{bc}1.06±0.52^{b}
แสมทะเล	NW	99.36±18.78	^{a}3.95±1.82^{a}	4.40±1.54^{a}	^{a}4.70±1.51^{a}	4.14±2.05^{a}
	6 psu	102.34±19.78	^{a}4.55±0.79^{a}	4.47±0.96^{a}	^{a}4.87±1.11^{a}	4.25±0.97^{a}
	12 psu	91.76±17.60	$^{ก a}$4.25±1.11^{a}	^{ข}3.53±1.37^{a}	$^{ก a}$4.55±1.23^{a}	^{ข}3.31±1.16^{a}
	18 psu	73.49±11.59	$^{ข b}$2.09±0.75^{a}	^{ก}3.87±1.10^{a}	$^{ข c}$2.32±0.95^{a}	^{ก}4.13±1.03^{a}
	24 psu	67.86±9.79	$^{ข b}$2.74±0.87^{a}	^{ก}4.14±1.46^{a}	$^{ข b}$3.22±1.32^{a}	^{ก}4.16±1.64^{a}
พังกาหัวสุม	NW	67.68±14.01	$^{ข b}$1.95±0.53^{b}	$^{ก a}$2.61±0.61^{b}	$^{ข bc}$1.69±0.52^{b}	$^{ก a}$2.62±0.69^{b}
	6 psu	60.83±9.76	^{b}1.90±0.41^{b}	^{b}1.83±0.54^{b}	^{b}1.99±0.46^{b}	^{bc}1.90±0.49^{b}
	12 psu	78.21±11.97	^{a}2.54±0.72^{b}	^{a}2.36±0.41^{b}	^{a}2.65±0.76^{b}	^{b}2.20±0.62^{b}
	18 psu	57.05±11.00	$^{ข c}$1.51±0.43^{b}	$^{ก b}$1.86±0.43^{b}	$^{ข c}$1.44±0.40^{b}	$^{ก c}$1.84±0.49^{b}
	24 psu	48.29±8.00	$^{ก c}$1.41±0.54^{b}	$^{ข c}$0.92±0.44^{b}	$^{ก c}$1.52±0.45^{b}	$^{ข d}$0.99±0.32^{b}
โปรงแดง	NW	52.39±5.25	$^{ก ab}$0.90±0.41^{c}	$^{ข c}$0.62±0.26^{d}	$^{ก bc}$0.88±0.27^{c}	$^{ข b}$0.58±0.28^{d}
	6 psu	55.21±6.89	$^{ข b}$0.65±0.32^{c}	$^{ก ข abc}$0.81±0.50^{c}	$^{ก ข bc}$0.82±0.29^{c}	$^{ก a}$1.00±0.44^{c}
	12 psu	48.79±6.22	$^{ก a}$0.95±0.30^{d}	$^{ก ab}$0.94±0.31^{c}	$^{ข c}$0.70±0.32^{d}	$^{ก a}$1.00±0.33^{c}
	18 psu	52.46±7.39	$^{ก a}$0.99±0.49^{c}	$^{ข bc}$0.75±0.30^{c}	$^{ก a}$1.09±0.36^{b}	$^{ข b}$0.70±0.33^{c}
	24 psu	42.98±4.56	^{a}1.04±0.61^{b}	^{a}0.99±0.38^{b}	^{ab}0.99±0.35^{c}	^{a}1.20±0.43^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

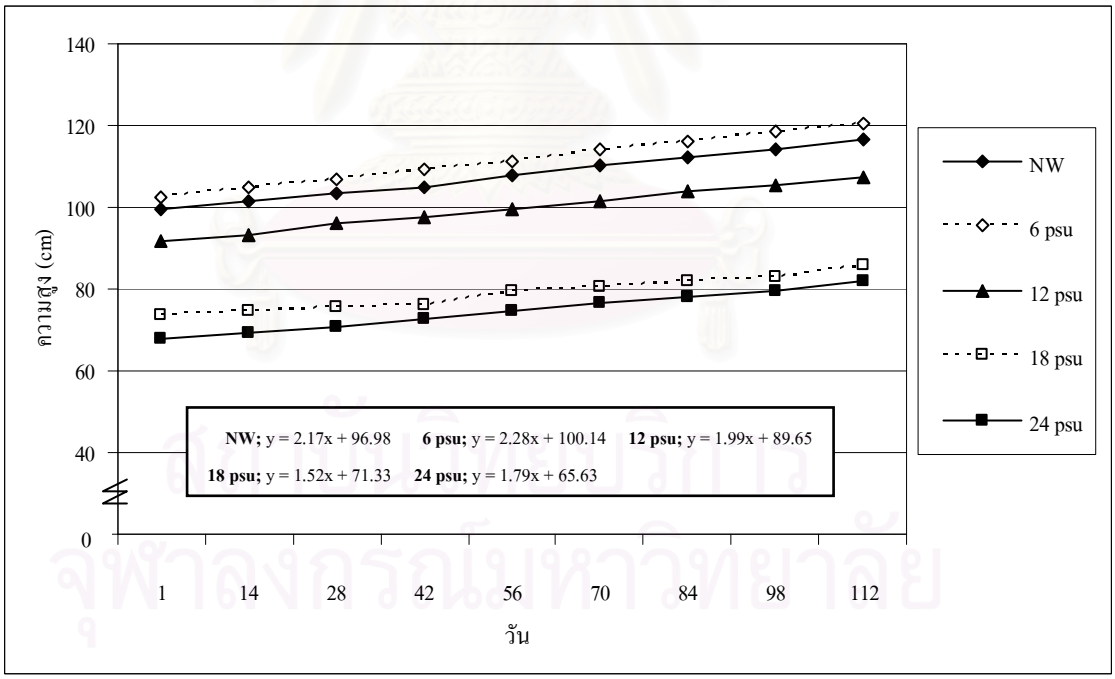
ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

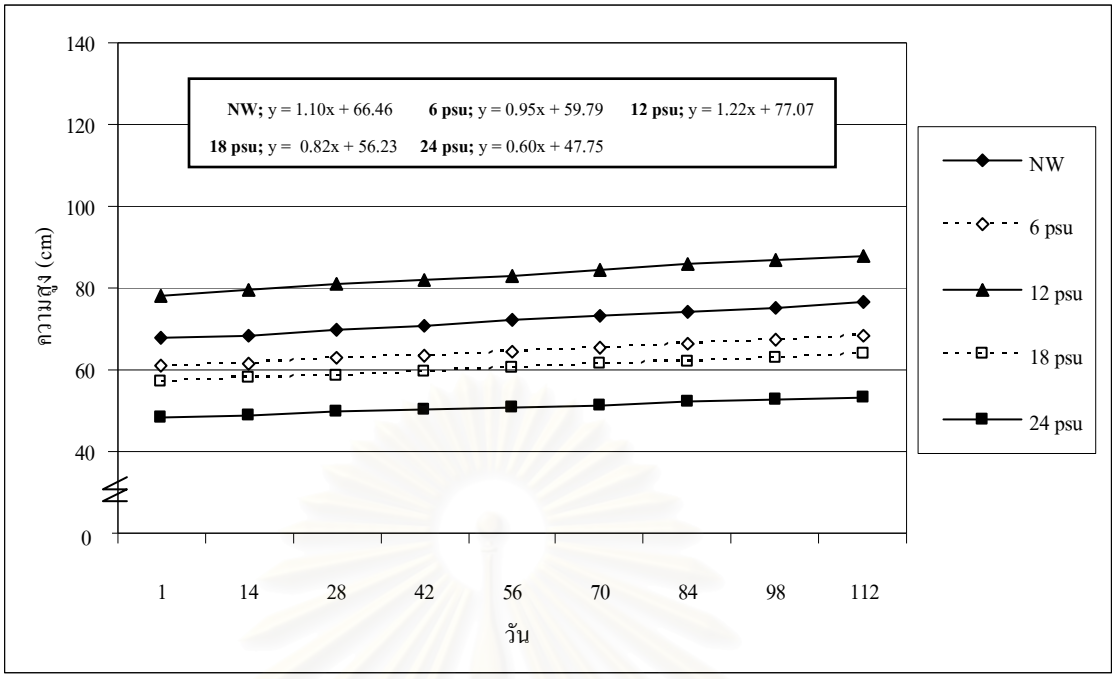


(ก) โกงกางใบใหญ่

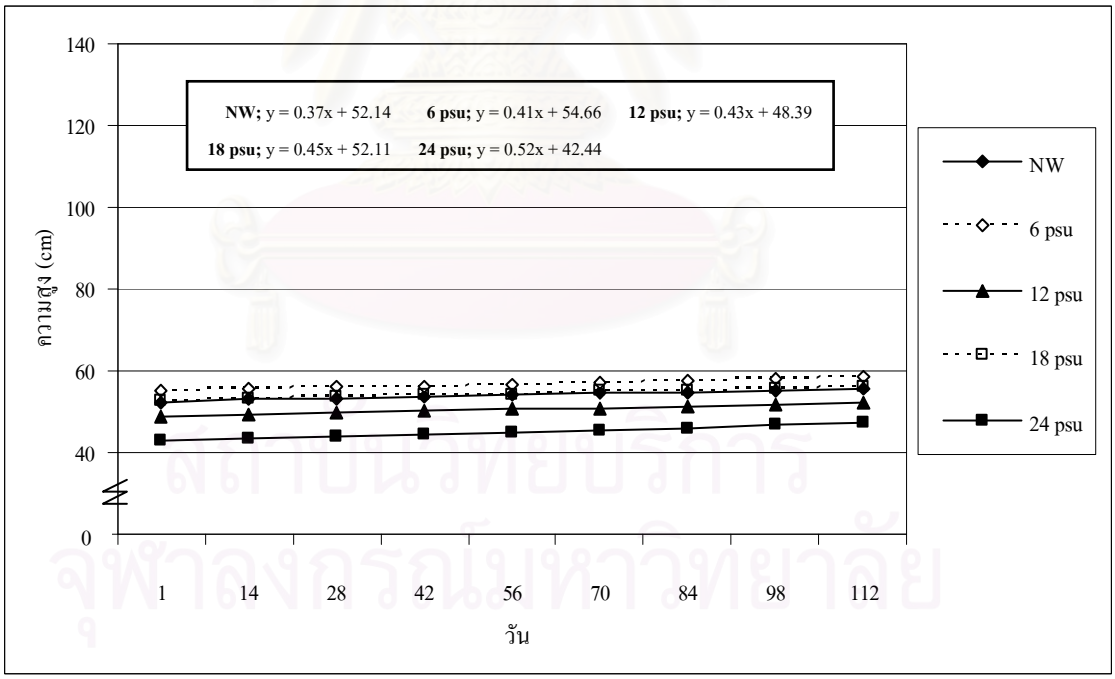


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 4.15 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

รูปที่ 4.15 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

2) การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.81-2.10, 0.75-1.15, 0.87-1.36 และ 0.87-1.09 ซม. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง กล้าไม้ทุกชนิดมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.06-2.34, 0.92-1.36, 1.06-1.59 และ 1.04-1.22 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ ก.16 และ รูปที่ 4.16) เนื่องจากโดยปกติพันธุ์ไม้ชายเลนสามารถขึ้นอยู่และเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำไม่เกิน 30 psu (Takemura และคณะ, 2000)

ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มพูนความสูง ซึ่งสอดคล้องกับ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของแสมขาว (*Avicennia alba*) และพังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ที่ปลูกในเรือนทดลองระยะทดลองนาน 8 เดือน โดยใช้น้ำที่มีระดับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุดเมื่อได้รับน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 psu กล่าวคือ แสมขาวที่ได้รับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.35, 0.44, 0.39, 0.33 และ 0.26 ซม. ตามลำดับ ส่วนพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.68, 0.73, 0.63, 0.50 และ 0.46 ซม. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือโกงกางใบใหญ่มีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ พังกาหัวสุมดอกแดง แสมทะเล และโปรงแดง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ชอบสภาพดินเลนและสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ดี (สนิท อักษรแก้ว, 2541) แต่จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า กล้าไม้ทุกชนิดมีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำและมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากความเค็มมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง ประกอบกับภายในชุดทดลองมีความหนาแน่นของกล้าไม้สูงถึง 36 ต้น/ตารางเมตร (ยกเว้นแสมทะเลมีความหนาแน่นของกล้าไม้ 30 ต้น/ตารางเมตร) ทำให้กล้าไม้มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงอย่างรวดเร็วเพื่อรับแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.40)

เมื่อทำการศึกษาการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้จากค่าความชันของสมการเส้นตรง (รูปที่ 4.16) ในกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง พบว่า มีการเจริญเติบโตต่ำและมีค่าใกล้เคียงกันในน้ำเสียทุกระดับความเค็ม แต่โดยทั่วไปพบแนวโน้มว่า โกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.40 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเดือนของกล้าไม้

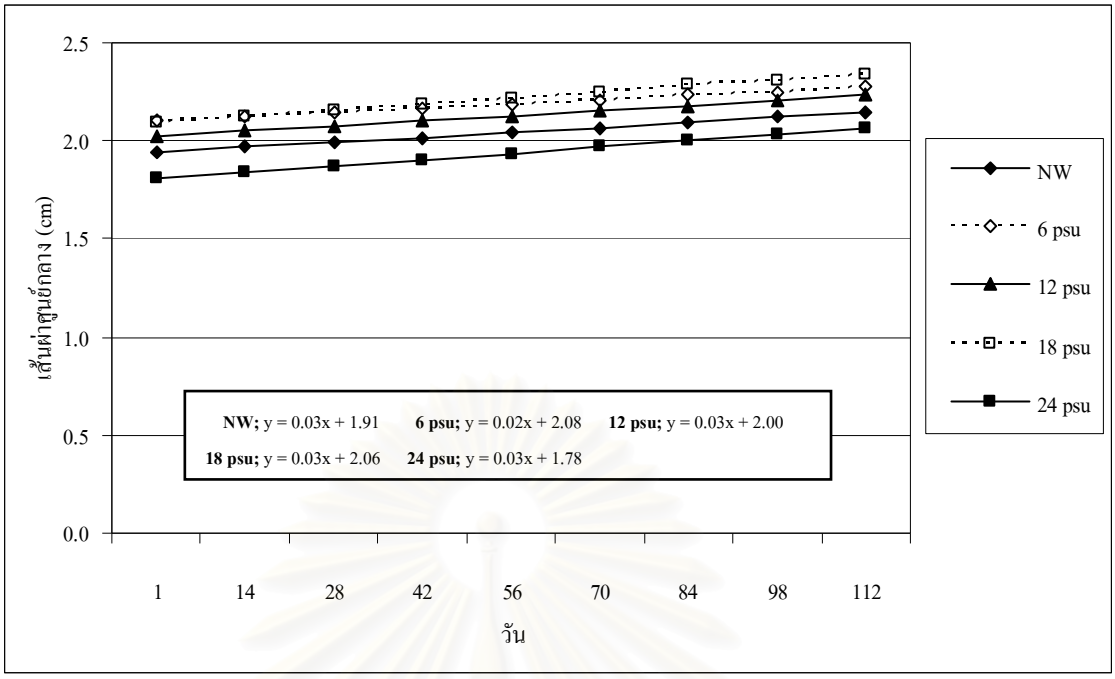
ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)				
		เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการทดลอง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	1.94±0.26	^{bc}0.05±0.02	^{ab}0.05±0.02^{a}	^{ab}0.05±0.02	0.05±0.02^{a}
	6 psu	2.10±0.29	^{c}0.04±0.02^{b}	^{b}0.04±0.02	^{b}0.04±0.02^{a}	0.04±0.02^{b}
	12 psu	2.02±0.29	^{bc}0.05±0.03	^{ab}0.05±0.02^{ab}	^{ab}0.05±0.02^{ab}	0.06±0.02
	18 psu	2.09±0.32	^{a}0.07±0.02^{a}	^{a}0.06±0.03^{a}	^{a}0.06±0.03^{a}	0.06±0.02^{a}
	24 psu	1.81±0.32	^{ab}0.06±0.02^{a}	^{a}0.06±0.03^{a}	^{a}0.06±0.03^{a}	0.06±0.03^{a}
แสมทะเล	NW	1.04±0.15	0.05±0.02	0.05±0.02^{a}	0.04±0.02	^{ab}0.05±0.01^{a}
	6 psu	1.15±0.28	0.05±0.02^{ab}	0.05±0.02	0.05±0.02^{a}	^{a}0.06±0.02^{a}
	12 psu	1.05±0.17	0.04±0.02	0.05±0.02^{b}	0.04±0.02^{b}	^{a}0.05±0.01
	18 psu	0.88±0.18	0.04±0.02^{b}	0.04±0.02^{b}	0.04±0.02^{bc}	^{c}0.04±0.02^{c}
	24 psu	0.75±0.10	0.04±0.02^{b}	0.05±0.02^{b}	0.04±0.02^{b}	^{bc}0.04±0.02^{b}
พังกาหัวสุม	NW	1.15±0.29	0.05±0.02	^{b}0.04±0.02^{ab}	0.04±0.02	0.04±0.02^{ab}
	6 psu	0.99±0.16	0.05±0.02^{a}	^{b}0.05±0.02	0.05±0.02^{a}	0.05±0.02^{b}
	12 psu	1.36±0.22	0.06±0.02	^{a}0.06±0.02^{a}	0.06±0.02^{a}	0.06±0.02
	18 psu	1.06±0.22	0.05±0.02^{b}	^{b}0.05±0.02^{b}	0.05±0.02^{b}	0.05±0.02^{ab}
	24 psu	0.87±0.18	0.05±0.02^{b}	^{b}0.04±0.02^{b}	0.05±0.02^{ab}	0.05±0.02^{b}
โปรงแดง	NW	1.00±0.16	^{a}0.04±0.02	^{b}0.03±0.02^{b}	0.04±0.01	^{ab}0.04±0.02^{b}
	6 psu	1.09±0.20	^{b}0.03±0.01^{c}	^{ab}0.04±0.02	0.03±0.02^{b}	^{b}0.03±0.01^{c}
	12 psu	0.90±0.13	^{a}0.05±0.02	^{ab}0.04±0.02^{b}	0.04±0.02^{b}	^{a}0.05±0.01
	18 psu	1.07±0.20	^{a}0.04±0.02^{b}	^{ab}0.04±0.02^{b}	0.03±0.02^{c}	^{ab}0.04±0.02^{bc}
	24 psu	0.87±0.24	^{a}0.05±0.02^{b}	^{a}0.05±0.01^{b}	0.04±0.02^{b}	^{ab}0.04±0.02^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

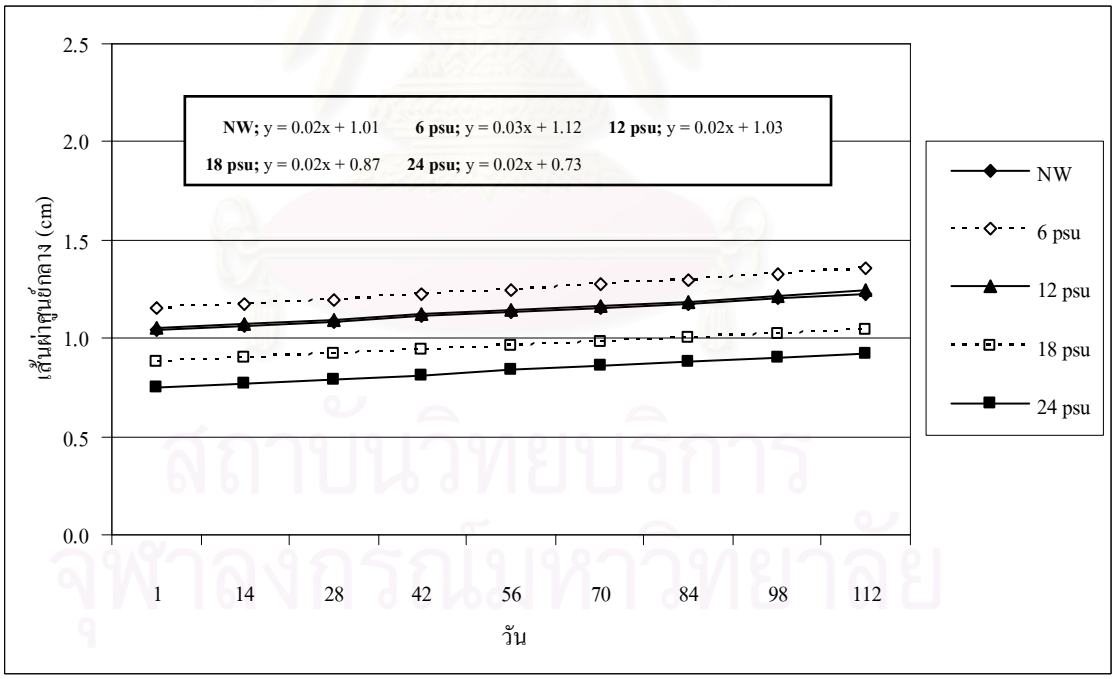
ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

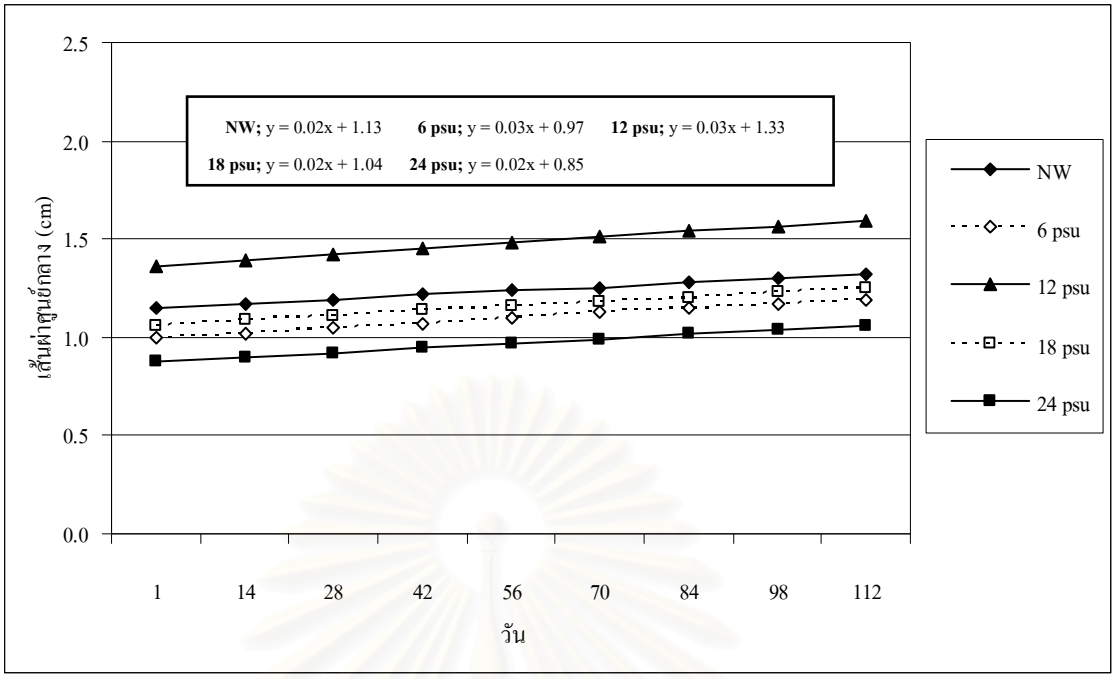


(ก) โกงกางใบใหญ่

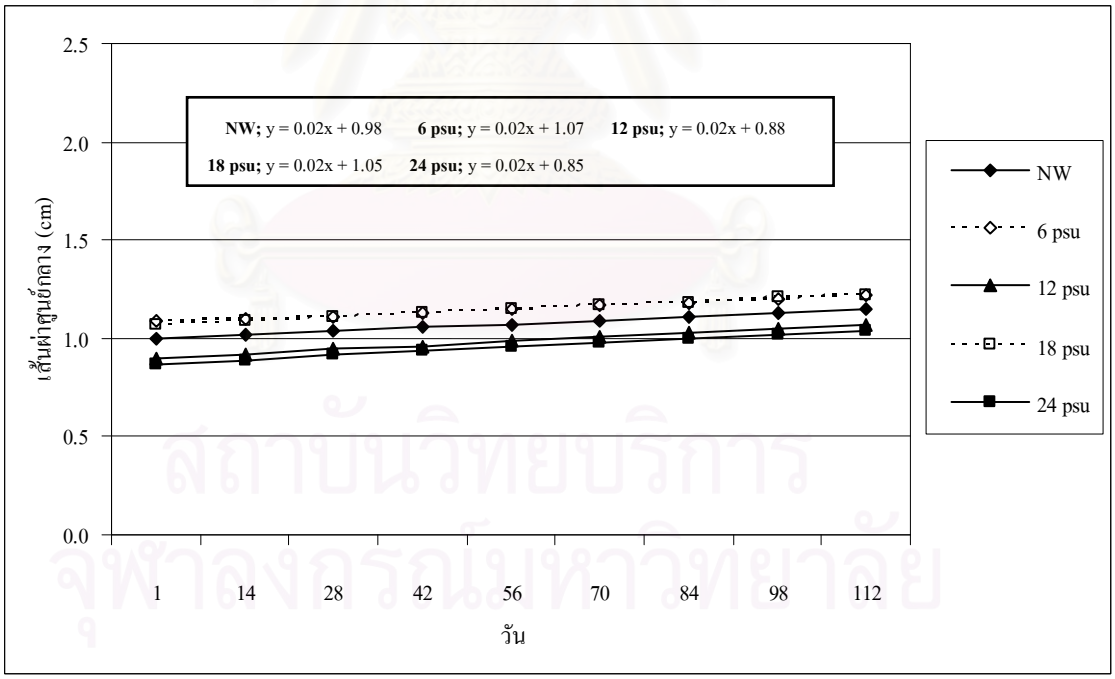


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 4.16 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

รูปที่ 4.16 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

3) การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ

ผลการศึกษามวลชีวภาพส่วนเหนือดิน ของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง กับน้ำหนักแห้ง โดยใช้สมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 สมการ allometric relation สำหรับคำนวณมวลชีวภาพของกล้าไม้

ชนิดพืช	สมการ allometric relation	
	ลำต้น	ใบ
โกงกางใบใหญ่	$y = 0.4611x^{0.8010}$	$y = 0.0010x^{1.5117}$
แสมทะเล	$y = 0.8550x^{0.7224}$	$y = 0.5195x^{0.7087}$
พังกาหัวสุมดอกแดง	$y = 2.1347x^{0.5597}$	$y = 0.8209x^{0.5528}$
โปรงแดง	$y = 0.7863x^{0.7403}$	$y = 0.1014x^{0.6027}$

หมายเหตุ x = ผลลัพธ์ของ (เส้นผ่าศูนย์กลาง)^2 x ความสูง (ซม.^{3})
y = น้ำหนักแห้ง (g)

ใช้สมการที่สร้างขึ้นดังกล่าว มาคำนวณมวลชีวภาพของลำต้นและใบของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ในทุกครั้งที่วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นอยู่ในช่วง 51.32-78.80, 18.21-46.32, 24.44-51.85 และ 15.84-26.51 g/m^2 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบอยู่ในช่วง 5.62-12.17, 10.52-26.25, 9.16-19.26 และ 1.25-1.90 g/m^2 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากล้าไม้ทุกชนิดมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นอยู่ในช่วง 66.07-95.08, 27.90-65.18, 31.89-66.04 และ 22.07-32.63 g/m^2 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบอยู่ในช่วง 8.87-17.26, 15.98-36.72, 11.92-24.46 และ 1.64-2.26 g/m^2 ตามลำดับ (ตารางที่ ก.17 ถึง ตารางที่ ก.18 และ รูปที่ 4.17 ถึง รูปที่ 4.18)

ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu และ 12 psu มีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเดียวกับการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ สอดคล้องกับ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตทางด้าน

มวลชีวภาพของแสมขาว (*Avicennia alba*) และพังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ที่ปลูกในเรือนทดลอง ระยะทดลองนาน 8 เดือน โดยใช้น้ำที่มีระดับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพรวม (ราก+ใบ+ลำต้น) สูงที่สุดเมื่อได้รับน้ำที่มีระดับความเค็ม 10 psu คือ แสมขาวที่ได้รับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 psu มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 5.0, 12.3, 9.0, 5.0 และ 2.4 g/ต้น ตามลำดับ ส่วนพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 43.0, 50.6, 35.5, 25.3 และ 17.2 g/ต้น ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Takemura และคณะ (2000) ที่ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อขนาดใบของกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง ที่ปลูกในเรือนทดลอง ระยะทดลองนาน 4 เดือน โดยใช้ระดับความเค็ม 0, 7.3, 14.6 และ 29.2 psu พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ใบของพังกาหัวสุมดอกแดงมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อได้รับความเค็ม 7.3 psu คือ เมื่อได้รับความเค็ม 0 psu, 7.3 psu, 14.6 psu และ 29.2 psu ใบของพังกาหัวสุมดอกแดงมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 20.1, 20.5, 19.1 และ 10.3 ซม.^{2} ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถสรุปโดยรวมได้ว่ากล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงที่สุด รองลงมาคือ โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุม-ดอกแดง และโปรงแดง ตามลำดับ แต่กล้าไม้แสมทะเลและโกงกางใบใหญ่มีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.42 ถึง ตารางที่ 4.43)

เมื่อทำการศึกษาการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้จากค่าความชันของสมการเส้นตรง (รูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18) ในโกงกางใบใหญ่ พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ นอกจากนี้ยังพบว่าโกงกางใบใหญ่ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเค็มจะมีการเจริญเติบโตสูงกว่าในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW ส่วนในแสมทะเล พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW และ 6 psu มีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ ส่วนในพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ และในโปรงแดง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu มีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น สอดคล้องกับ Irfan และคณะ (2001) ที่ศึกษาความทนทานต่อความเค็มของกล้าไม้โปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยปลูกกล้าไม้ลงในชุดทดลองที่มีน้ำระดับความเค็ม 0, 8.8, 17.5, 26.3 และ 35.0 psu โดยใช้ทรายเป็น

วัสดุปลูกและมีการเติมสารละลายธาตุไนโตรเจนลงไปเพื่อเลี้ยงกล้าไม้ พบว่า กล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำระดับความเค็ม 17.5 psu มีการเจริญเติบโตสูงสุด และการเจริญเติบโตของกล้าไม้ลดลงเมื่อน้ำมีระดับความเค็มสูงขึ้นเป็น 26.3 และ 35.0 psu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นต่อเดือนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพลำต้น (g/m^2)				
		มวลชีวภาพก่อนการทดลอง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	60.12±18.55	^{b}3.26±1.00^{a}	3.74±1.32^{a}	^{b}3.47±1.05^{b}	^{b}3.78±1.25^{b}
	6 psu	78.80±22.64	^{b}3.66±1.42^{a}	3.98±1.74^{a}	^{ab}4.09±1.79^{a}	^{ab}4.56±1.70^{b}
	12 psu	74.42±22.35	^{a}4.53±1.79^{a}	4.94±1.94^{a}	^{ab}4.50±1.68^{a}	^{a}5.28±2.11^{a}
	18 psu	73.08±25.13	^{a}4.70±1.87^{a}	4.28±1.83^{a}	^{a}5.02±2.20^{a}	^{b}4.16±1.56^{a}
	24 psu	51.32±18.77	^{b}3.30±1.19^{a}	3.74±1.79^{a}	^{b}3.84±1.48^{a}	^{b}3.86±1.39^{a}
แสมทะเล	NW	38.01±10.66	^{ab}3.59±1.05^{a}	^{a}4.09±1.53^{a}	^{ab}4.11±1.41^{a}	^{b}4.48±1.48^{a}
	6 psu	46.32±18.46	^{a}4.26±1.60^{a}	^{a}4.46±1.46^{a}	^{a}4.75±1.41^{a}	^{a}5.39±1.82^{a}
	12 psu	36.99±11.00	^{b}3.46±1.53^{b}	^{a}3.73±1.54^{b}	^{b}3.90±1.44^{ab}	^{b}4.22±1.14^{b}
	18 psu	24.28±7.89	$^{ก c}$2.07±0.74^{b}	$^{กข b}$2.60±0.74^{b}	$^{ขค c}$2.18±0.77^{b}	$^{ก c}$2.96±0.94^{b}
	24 psu	18.21±4.69	$^{ข c}$1.89±0.82^{b}	$^{ก b}$2.73±0.95^{b}	$^{กข c}$2.32±0.90^{b}	$^{ก c}$2.75±0.88^{b}
พังกาหัวสุม	NW	40.03±13.72	^{b}2.44±0.76^{b}	^{b}2.57±0.73^{b}	^{b}2.36±0.88^{c}	^{b}2.73±0.83^{c}
	6 psu	31.77±6.88	^{b}2.54±0.82^{b}	^{b}2.42±0.91^{b}	^{b}2.44±0.83^{b}	^{b}2.40±0.73^{c}
	12 psu	51.85±10.55	^{a}3.36±1.00^{b}	^{a}3.68±1.07^{b}	^{a}3.68±1.21^{b}	^{a}3.48±1.18^{b}
	18 psu	33.26±9.94	^{bc}2.21±0.63^{b}	^{b}2.32±0.76^{b}	^{b}2.22±0.66^{b}	^{b}2.60±0.71^{b}
	24 psu	24.44±7.27	^{c}1.86±0.57^{b}	^{c}1.67±0.53^{c}	^{b}2.13.±0.59^{b}	^{c}1.80±0.64^{c}
โปรงแดง	NW	22.37±6.39	^{กข}1.63±0.53^{c}	^{ข}1.30±0.65^{c}	^{ก}1.78±0.54^{c}	^{กข}1.61±0.64^{d}
	6 psu	26.51±8.48	1.26±0.56^{c}	1.62±0.69^{c}	1.54±0.65^{c}	1.70±0.62^{c}
	12 psu	18.28±4.76	^{กข}1.65±0.67^{c}	^{กข}1.60±0.60^{c}	^{ข}1.42±0.54^{c}	^{ก}1.93±0.66^{c}
	18 psu	24.92±7.55	1.76±0.68^{b}	1.60±0.62^{c}	1.70±0.76^{b}	1.84±0.62^{c}
	24 psu	15.84±6.95	1.50±0.63^{b}	1.60±0.70^{c}	1.53±0.56^{c}	1.60±0.55^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.43 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบต่อเดือนของกล้าไม้

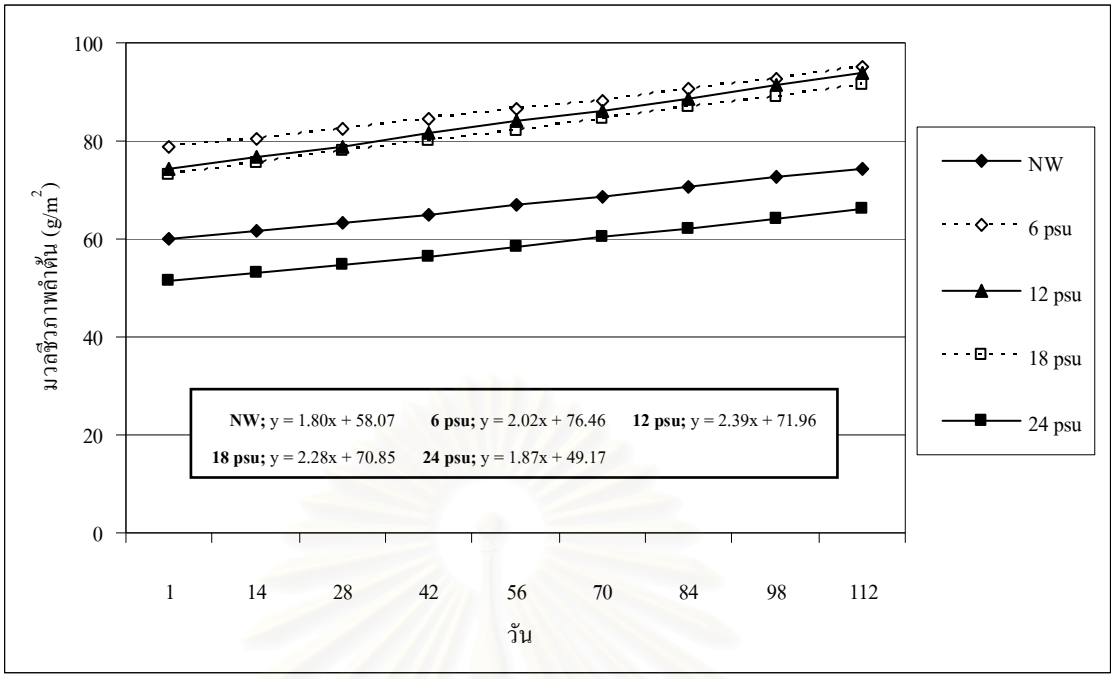
ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพใบ (g/m^2)				
		มวลชีวภาพก่อนการทดลอง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	7.37±4.87	^{bc}0.73±0.40^{b}	^{bc}0.89±0.48^{b}	^{b}0.84±0.33^{b}	^{b}0.93±0.35^{b}
	6 psu	12.17±6.54	^{ab}1.08±0.65^{b}	^{abc}1.22±0.73^{b}	^{ab}1.30±0.85^{b}	^{a}1.49±0.81^{b}
	12 psu	10.99±6.53	^{a}1.25±0.68^{b}	^{a}1.47±0.89^{b}	^{a}1.40±0.84^{b}	^{a}1.75±1.23^{b}
	18 psu	10.84±6.86	^{a}1.33±0.89^{a}	^{ab}1.25±0.81^{a}	^{a}1.61±1.10^{a}	^{ab}1.33±0.76^{b}
	24 psu	5.62±3.98	^{c}0.67±0.47^{b}	^{c}0.80±0.58^{b}	^{b}0.88±0.56^{b}	^{b}0.89±0.42^{b}
แสมทะเล	NW	21.64±5.96	^{ab}2.00±0.58^{a}	^{a}2.28±0.84^{a}	^{ab}2.29±0.77^{a}	^{b}2.49±0.82^{a}
	6 psu	26.25±10.30	^{a}2.37±0.87^{a}	^{a}2.48±0.80^{a}	^{a}2.64±0.78^{a}	^{a}2.98±1.00^{a}
	12 psu	21.07±6.17	^{b}1.93±0.85^{a}	^{a}2.08±0.85^{a}	^{b}2.17±0.80^{a}	^{b}2.34±0.62^{a}
	18 psu	13.94±4.44	$^{ก c}$1.17±0.41^{a}	$^{กข b}$1.46±0.41^{a}	$^{ข ค c}$1.23±0.43^{b}	$^{ก c}$1.66±0.52^{a}
	24 psu	10.52±2.66	$^{ข c}$1.07±0.46^{a}	$^{ก b}$1.54±0.53^{a}	$^{กข c}$1.31±0.50^{a}	$^{ก c}$1.55±0.49^{a}
พังกาหัวสุม	NW	14.91±5.05	^{b}0.90±0.28^{b}	^{b}0.95±0.27^{b}	^{b}0.87±0.32^{b}	^{b}1.00±0.30^{b}
	6 psu	11.87±2.54	^{b}0.94±0.30^{b}	^{b}0.89±0.33^{c}	^{b}0.90±0.31^{c}	^{b}0.88±0.27^{c}
	12 psu	19.26±3.87	^{a}1.23±0.36^{b}	^{a}1.35±0.39^{b}	^{a}1.35±0.44^{b}	^{a}1.27±0.43^{c}
	18 psu	12.42±3.67	^{bc}0.82±0.23^{b}	^{b}0.86±0.28^{b}	^{b}0.82±0.24^{c}	^{b}0.96±0.26^{c}
	24 psu	9.16±2.69	^{c}0.69±0.21^{b}	^{c}0.62±0.20^{b}	^{b}0.79±0.22^{b}	^{c}0.67±0.24^{c}
โปรงแดง	NW	1.66±0.39	$^{ก a}$0.10±0.03^{c}	^{ข}0.08±0.04^{c}	^{ก}0.11±0.03^{c}	^{กข}0.09±0.04^{c}
	6 psu	1.90±0.50	^{b}0.07±0.03^{c}	0.09±0.04^{d}	0.09±0.04^{d}	0.10±0.03^{d}
	12 psu	1.41±0.31	$^{กข a}$0.10±0.04^{c}	^{กข}0.10±0.03^{c}	^{ข}0.09±0.03^{c}	^{ก}0.12±0.04^{d}
	18 psu	1.81±0.46	^{a}0.10±0.04^{c}	0.09±0.04^{c}	0.10±0.04^{d}	0.11±0.03^{d}
	24 psu	1.25±0.42	^{a}0.10±0.04^{c}	0.10±0.04^{c}	0.10±0.04^{c}	0.10±0.03^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

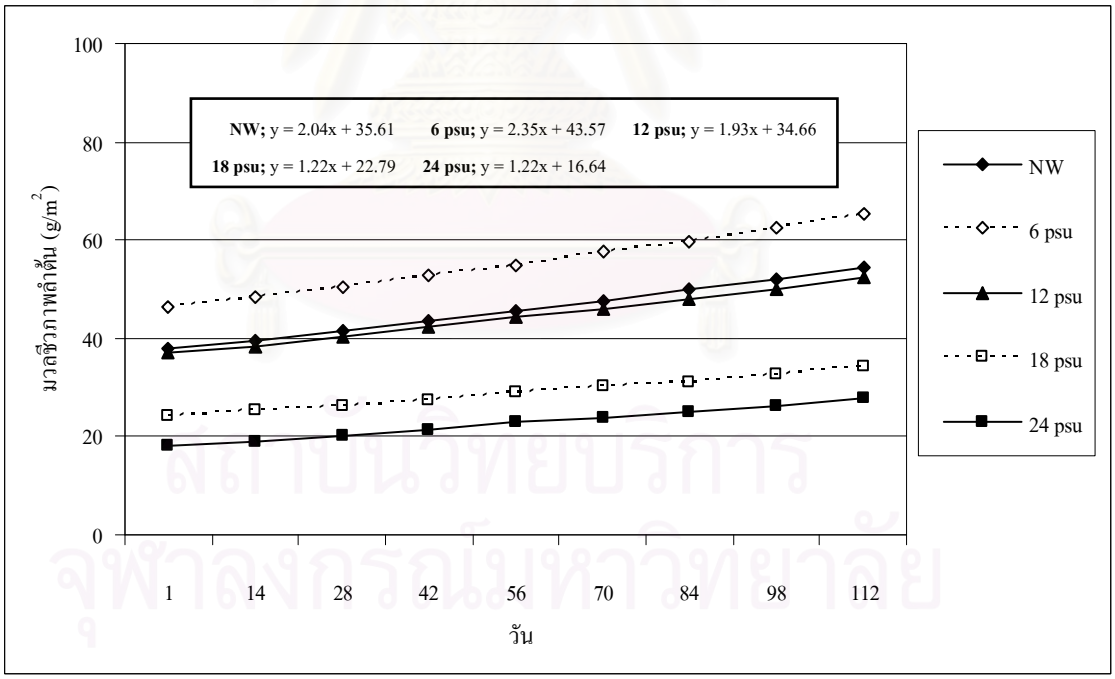
ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

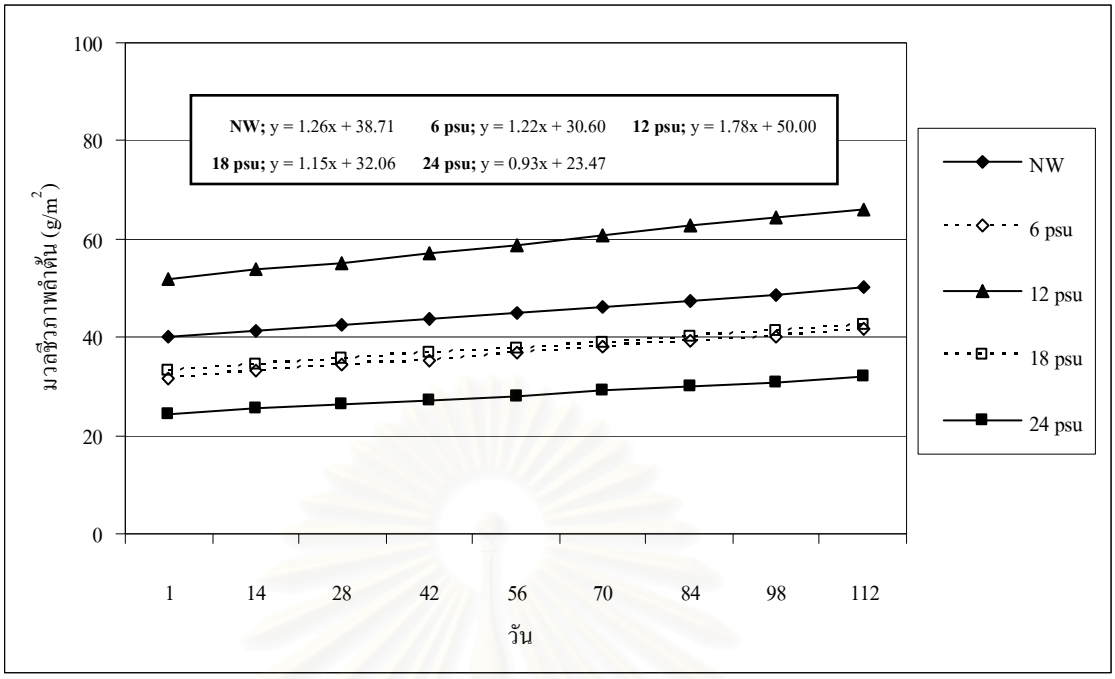


(ก) โกงกางใบใหญ่

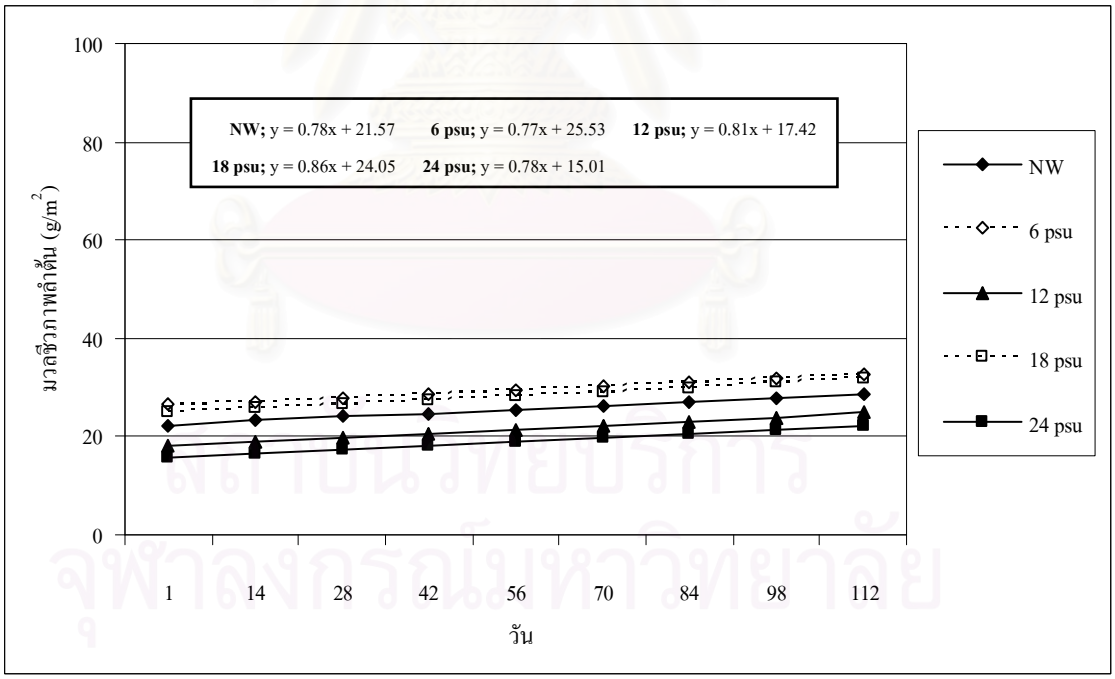


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 4.17 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

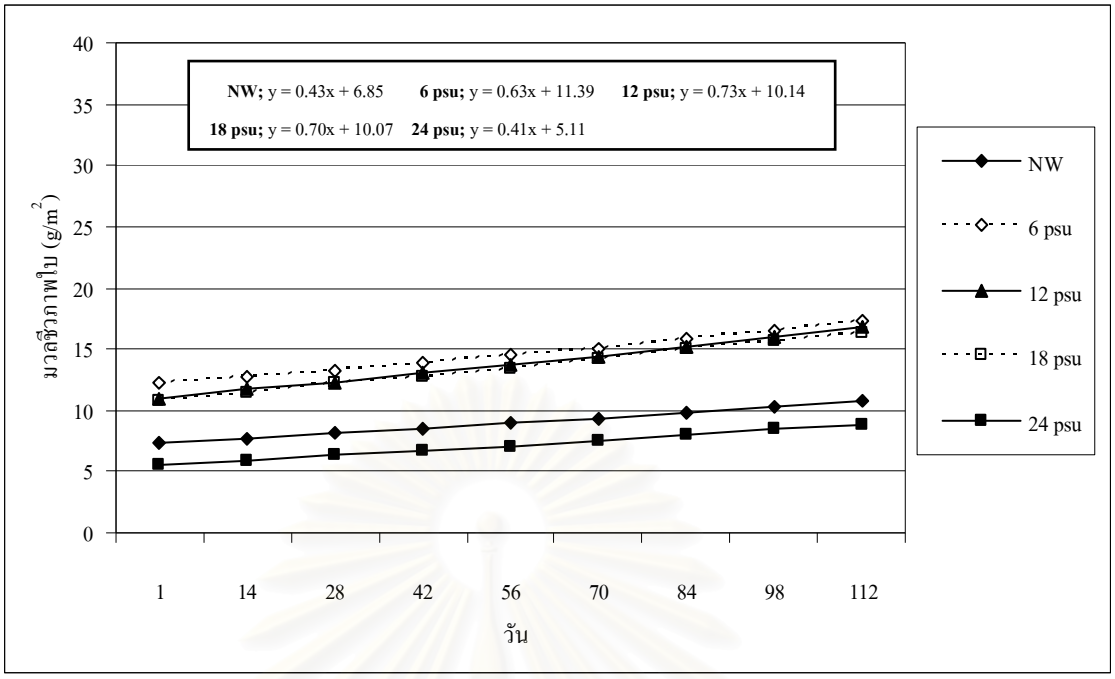


(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง

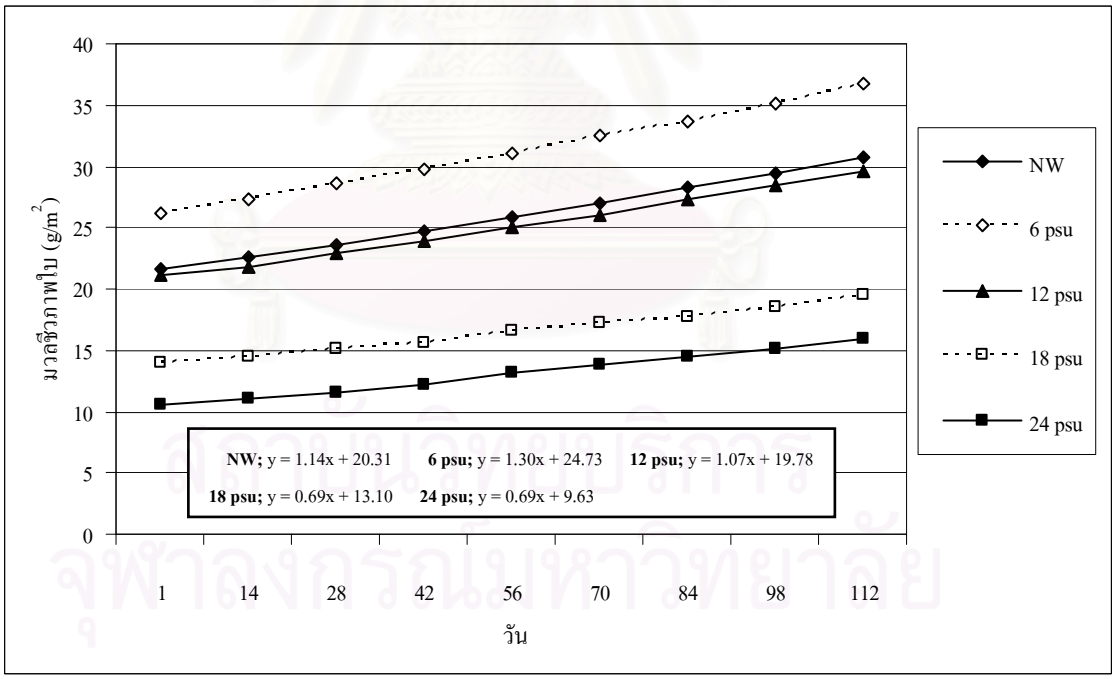


(ง) โปรงแดง

รูปที่ 4.17 (ต่อ) มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

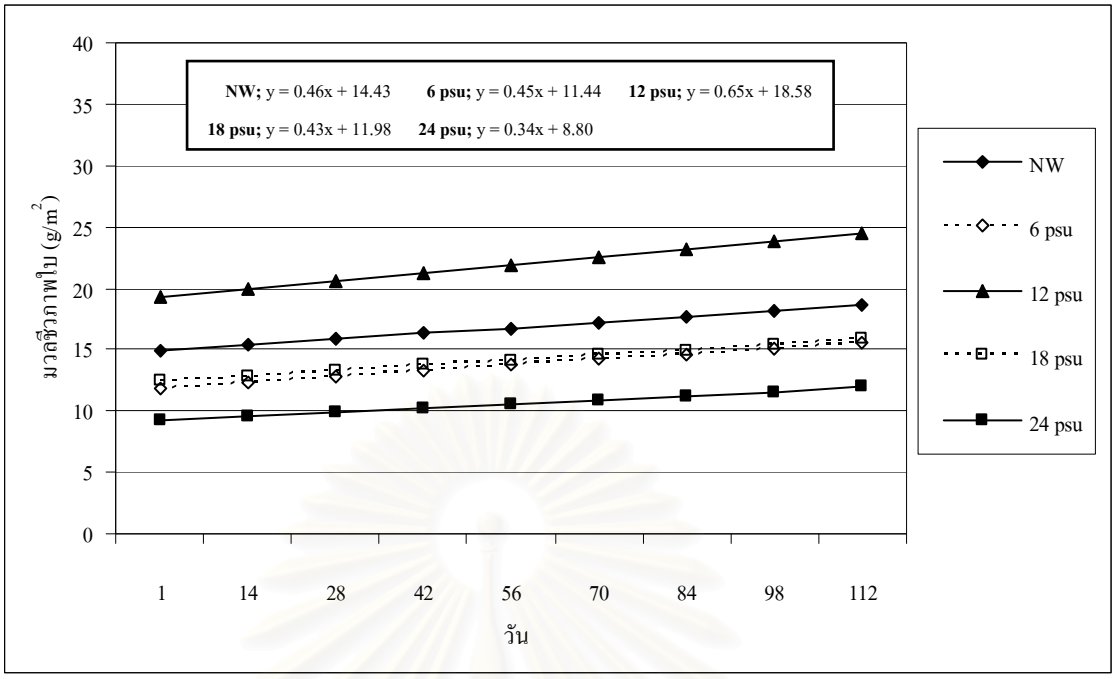


(ก) โกงกางใบใหญ่

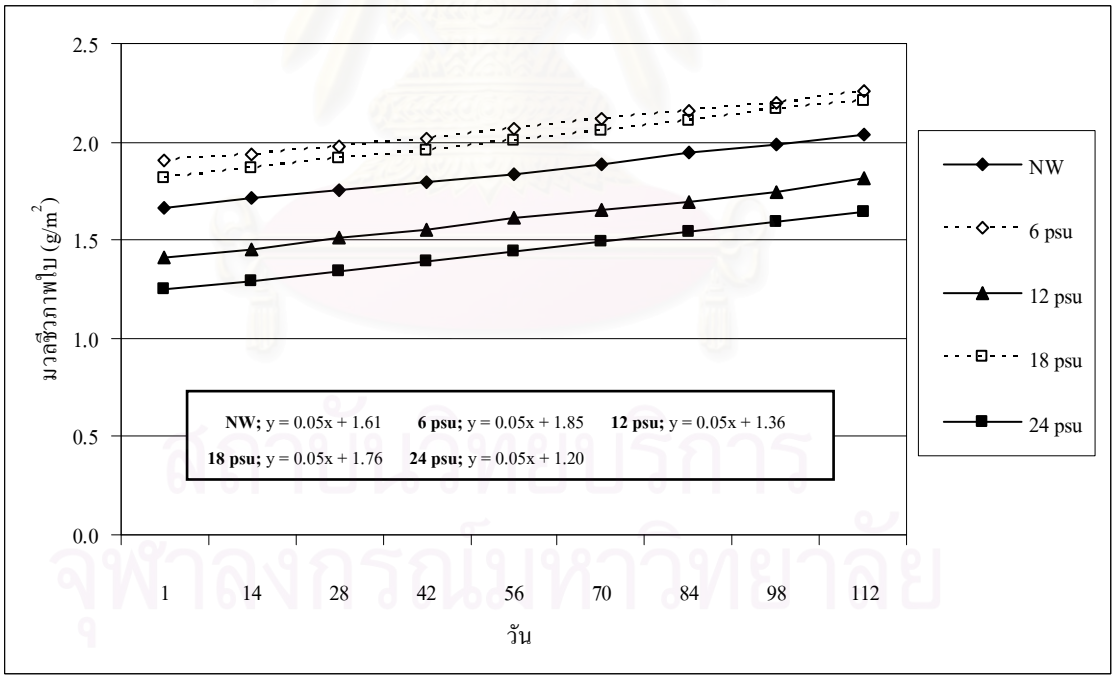


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 4.18 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

รูปที่ 4.18 (ต่อ) มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

4) องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้

4.1) ไนโตรเจนทั้งหมดในใบกล้าไม้

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.865-16.560, 18.015-20.790, 12.910-14.980 และ 10.425-11.945 mg/g dry weight ตามลำดับ และในใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.960-15.185, 15.150-18.955, 11.545-14.225 และ 9.765-11.670 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนและใบแก่ของกล้าไม้ในชุดทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.565-17.715, 23.830-26.655, 13.970-19.530 และ 11.370-31.145 mg/g dry weight ตามลำดับ และในใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.140-15.635, 18.800-21.015, 12.110-17.300 และ 11.205-12.075 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ก.19 ถึง ตารางที่ ก.20) ทั้งนี้เพราะดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุและอนุภาคดินเหนียวสูงขึ้น ทำให้มีธาตุไนโตรเจนสะสมในดินสูงขึ้น เป็นผลให้พืชมีโอกาสดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น ประกอบกับการดูดซึมโดยพืชเป็นกลไกหนึ่งในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก เอนไซม์ในพืช และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบและกิ่งก้าน (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) สอดคล้องกับ Chui และคณะ (1996) ที่ได้ทำการศึกษาสภาวะของธาตุไนโตรเจนในดินป่าชายเลนและการนำไปใช้ประโยชน์ในพืช โดยทำการเพาะเลี้ยงกล้าไม้รังกะแท้ (*Kandelia candel*) ในเรือนกระจก ระยะทดลอง 3 เดือน ในกระถางดินที่ผสมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] กระถางละ 6 mg-N พบว่า เมื่อครบ 1 เดือน เปอร์เซ็นต์การสะสมธาตุไนโตรเจนในพืชมีค่าเท่ากับ 13.1 % และเมื่อครบ 3 เดือน เปอร์เซ็นต์การสะสมธาตุไนโตรเจนในพืชมีค่าเท่ากับ 19.6 % อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าใบอ่อนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าใบแก่ ทั้งนี้เนื่องจากใบอ่อนรวมถึงยอดอ่อนในพืชเป็นแหล่งสะสม (sink) ของธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป (ยงยุทธ โอสถสภา , 2543)

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนสูงกว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง และมีทิศทางเดียวกับการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้ แต่ไม่ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดใดมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนอาจถูกส่งต่อจากใบไปสู่ยอดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของยอดอ่อนและกิ่งก้านต่อไป และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับใบแก่ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบพืชทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสียและช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับใบอ่อน (ตารางที่ 4.44 ถึง ตารางที่ 4.45)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.44 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	16.530±1.867	-1.730±3.437	0.355±1.082	^{ab}2.045±1.124^{a}
	6 psu	13.865±0.403	3.320±1.032	0.875±0.474^{a}	^{b}-0.345±1.110^{b}
	12 psu	15.120±1.061	^{ข}-0.745±0.870^{b}	^{ข}-0.210±1.301	^{กa}3.010±0.396^{a}
	18 psu	16.560±1.245	-0.520±0.537	-0.195±0.233^{bc}	^{b}0.145±1.181^{c}
	24 psu	15.810±0.834	-1.135±0.940	-1.215±0.177	^{b}0.105±0.021^{a}
แสมทะเล	NW	20.445±0.813	^{ab}3.925.±0.304	2.225±1.379	^{c}0.060±0.764^{ab}
	6 psu	18.015±0.332	^{ขb}1.970±0.707	^{ค}-1.150±0.792^{b}	^{กa}4.995±1.195^{a}
	12 psu	20.790±0.905	^{กa}7.645±2.072^{a}	^{ข}0.835±0.318	^{ขd}-2.640±0.184^{c}
	18 psu	18.935±0.544	^{b}1.490±0.269	1.110±0.721^{b}	^{b}2.860±0.311^{b}
	24 psu	19.900±0.537	^{ab}3.910±2.434	0.720±0.495	^{c}-0.370±0.820^{a}
พังกาหัวสุม	NW	13.880±0.933	3.235±1.973	^{ab}1.795±0.403	^{c}-0.695±0.318^{b}
	6 psu	14.390±1.513	3.600±2.744	^{b}0.075±0.502^{ab}	^{bc}0.605±0.389^{b}
	12 psu	14.980±0.608	1.185±1.195^{b}	^{ab}0.975±0.813	^{a}2.390±0.113^{a}
	18 psu	13.255±0.262	1.095±0.827	^{a}2.880±0.410^{a}	^{ab}1.135±0.064^{bc}
	24 psu	12.910±0.622	^{ก}4.215±1.223	^{ขb}-0.340±1.386	^{ขd}-2.815±1.054^{b}
โปรงแดง	NW	11.510±1.315	^{ก}1.080±0.537	^{กa}0.470±0.240	^{ขc}-1.690±0.750^{b}
	6 psu	11.665±0.969	0.180±2.135	^{a}1.540±0.707^{a}	^{c}-1.750±0.467^{b}
	12 psu	11.945±0.247	0.285±1.421^{b}	^{a}1.550±0.467	^{c}-1.685±0.304^{b}
	18 psu	10.875±0.516	^{ข}1.680±1.131	^{กb}-0.880±0.608^{c}	^{กa}19.470±0.269^{a}
	24 psu	10.425±0.785	1.875±1.237	^{a}0.690±0.255	^{b}1.520±0.170^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.45 ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	15.185±0.700	-2.520±1.513^{b}	^{ab}0.310±0.509	^{b}1.380±0.580^{a}
	6 psu	12.960±0.127	^{ข}-0.910±0.552	^{กขab}0.485±0.078	^{กb}1.605±0.728
	12 psu	13.750±0.438	^{กข}0.525±1.648	^{ขc}-2.255±0.898^{b}	^{กa}3.615±0.587^{a}
	18 psu	14.090±0.184	^{ข}-0.125±0.120^{ab}	^{ขb}-0.805±0.134^{b}	^{กb}1.665±0.643^{a}
	24 psu	14.035±0.262	-0.555±1.294^{b}	^{a}0.785±0.403^{a}	^{b}0.710±0.283
แสมทะเล	NW	18.920±1.315	0.705±1.450^{ab}	1.390±1.160	^{c}-1.410±0.127^{bc}
	6 psu	16.255±0.403	2.185±0.714	1.115±0.573	^{b}1.000±0.240
	12 psu	18.955±0.262	1.405±1.563	0.300±0.042^{a}	^{c}-1.215±0.346^{c}
	18 psu	16.220±0.481	1.225±0.870^{a}	0.030±0.198^{ab}	^{b}1.325±0.375^{a}
	24 psu	15.150±0.750	^{ก}4.065±0.148^{a}	^{ค}-0.810±0.156^{b}	^{ขa}2.610±0.735
พังกาหัวสุม	NW	12.695±0.361	^{กa}3.660±0.141^{a}	^{ก}1.770±0.962	^{ขd}-3.280±0.863^{c}
	6 psu	14.225±0.304	^{c}-0.385±0.672	1.125±0.757	^{a}2.335±0.573
	12 psu	13.215±0.460	^{abc}1.735±1.648	-0.320±0.085^{a}	^{ab}1.350±0.608^{b}
	18 psu	12.025±0.757	^{กbc}1.045±0.516^{a}	^{ก}0.545±0.191^{a}	^{ขcd}-1.505±0.714^{b}
	24 psu	11.545±0.799	^{กab}3.530±1.018^{a}	^{ข}0.375±0.106^{a}	^{ขbc}0.110±0.891
โปรงแดง	NW	11.670±0.721	-0.915±1.379^{b}	0.635±0.700	0.540±1.004^{ab}
	6 psu	11.250±0.849	-0.585±2.185	-0.060±0.156	0.600±0.778
	12 psu	11.060±0.410	0.980±0.113	0.650±1.047^{a}	-0.615±0.021^{c}
	18 psu	10.340±1.259	^{ข}-0.890±0.311^{b}	^{ก}0.655±0.643^{a}	^{ก}1.350±0.141^{a}
	24 psu	9.765±0.445	1.740±1.032^{ab}	-0.770±0.354^{b}	0.720±0.721

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2) ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบกล้าไม้

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.557-1.941, 2.272-3.384, 1.486-1.821 และ 0.968-1.855 mg/g dry weight ตามลำดับ และในใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.907-1.473, 1.093-2.186, 0.804-1.236 และ 0.754-1.266 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนและใบแก่ของกล้าไม้ในชุดทดลองมีทั้งสูงขึ้นและต่ำลง โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.254-2.127, 2.284-3.598, 1.255-1.765 และ 1.012-1.973 mg/g dry weight ตามลำดับ และในใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.072-1.400, 1.918-2.617, 0.929-1.316 และ 0.878-1.159 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ก.21 ถึง ตารางที่ ก.22) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าใบอ่อนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าใบแก่เช่นเดียวกับไนโตรเจนทั้งหมด

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าความเค็มระดับใดทำให้ใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงที่สุด เนื่องจากค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบไม่ผันแปรตามระดับความเค็มของน้ำเสียชุมชน เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดใดมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ในพืชถูกจำกัดโดยค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ดินในชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 ทำให้ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในรูปของ PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ มีผลให้ออร์โธฟอสเฟตในรูปดังกล่าวถูกตรึงไว้กับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินสูง ดังนั้นพืชจึงดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ต่ำ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) สอดคล้องกับ Ye และคณะ (2001) ได้ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง *(Bruguiera gymnorrhiza)* และ รังกะแท้ (*Kandelia candel*) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปรับน้ำเสียให้มีระดับความเค็มต่างกัน ใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน เป็นเวลา 48 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ดินในชุดทดลองที่ปลูกพังกาหัวสุมดอกแดงที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึง 88.2 % ส่วนดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึง 95.9 % ขณะที่ดินในชุดทดลองที่ปลูกรังกะแท้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึง 76.6 % ส่วนดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึง 84.2 % และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในขณะที่ใบแก่ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบพืชทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงขึ้นตามช่วงเวลา (ตารางที่ 4.46 ถึงตารางที่ 4.47)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.46 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.557±0.128	^{a}0.213±0.256^{a}	-0198.±0.229	^{bc}-0.140±0.095
	6 psu	1.941±0.336	^{ab}-0.075±0.292^{b}	0.238±0.052^{a}	^{ab}0.023±0.125^{a}
	12 psu	1.840±0.230	^{na}0.419±0.012^{b}	^{ข}-0.006±0.066^{b}	$^{ค c}$-0.372±0.039^{bc}
	18 psu	1.755±0.289	^{b}-0.598±0.330^{b}	-0.059±0.231	^{a}0.156±0.160
	24 psu	1.920±0.525	^{ab}-0.071±0.069	-0.141±0.032	^{bc}-0.124±0.018
แสมทะเล	NW	3.384±0.456	^{ขb}-0.061±0.041^{a}	$^{ก a}$0.145±0.012	$^{ก a}$0.131±0.003
	6 psu	2.272±0.150	$^{ก a}$1.334±0.465^{a}	^{ขb}-0.606±0.235^{b}	^{ขb}-0.716±0.229^{b}
	12 psu	2.541±0.242	$^{ก b}$0.559±0.095^{b}	^{ขb}-0.802±0.202^{c}	$^{ก a}$0.171±0.122^{ab}
	18 psu	2.924±0.099	^{b}0.160±0.141^{a}	^{a}-0.157±0.002	^{ab}-0.276±0.309
	24 psu	2.951±0.124	^{b}0.163±0.339	^{a}-0.006±0.147	^{ab}-0.268±0.229
พังกาหัวสุม	NW	1.614±0.333	^{b}0.217±0.134^{a}	^{ab}-0.351±0.400	0.137±0.269
	6 psu	1.559±0.195	^{c}-0.227±0.162^{b}	^{a}0.118±0.014^{a}	-0.001±0.257^{a}
	12 psu	1.821±0.397	$^{ก a}$1.308±0.157^{a}	^{ขb}-0.751±0.150^{c}	^{ข}-0.614±0.295^{c}
	18 psu	1.503±0.164	^{ขc}-0.311±0.021^{ab}	$^{ก a}$0.039±0.002	^{ก}0.024±0.010
	24 psu	1.486±0.263	^{b}0.372±0.051	^{a}0.008±0.090	-0.219±0.221
โปรงแดง	NW	1.855±0.318	^{ขc}-0.762±0.180^{b}	$^{ก b}$0.037±0.047	^{ก}0.271±0.300
	6 psu	1.203±0.333	^{คab}-0.050±0.044^{b}	$^{ก a}$0.396±0.073^{a}	^{ข}0.156±0.018^{a}
	12 psu	1.077±0.075	^{ab}-0.008±0.130^{c}	^{a}0.392±0.059^{a}	0.513±0.348^{a}
	18 psu	0.968±0.280	^{a}0.152±0.102^{a}	^{ab}0.241±0.240	-0.083±0.008
	24 psu	1.451±0.415	^{b}-0.311±0.250	^{b}-0.033±0.019	-0.094±0.055

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.47 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.473±0.456	-0.456±0.205	0.249±0.130^{b}	-0.052±0.302
	6 psu	1.268±0.227	-0.110±0.153^{ab}	0.142±0.032	0.100±0.026
	12 psu	0.907±0.147	-0.002±0.113^{a}	-0.008±0.190^{b}	0.175±0.048
	18 psu	0.975±0.314	-0.058±0.126^{ab}	0.086±0.091^{ab}	0.218±0.122
	24 psu	1.362±0.156	^{y}-0.471±0.097^{b}	^{n}0.246±0.200	^{n}-0.009±0.107
แสมทะเล	NW	2.162±0.297	^{yd}-1.061±0.156	^{na}0.843±0.053^{a}	^{n}0.673±0.263
	6 psu	2.186±0.227	^{c}-0.570±0.090^{c}	^{b}0.421±0.200	-0.029±0.428
	12 psu	1.093±0.163	^{nb}-0.135±0.025^{a}	^{nab}0.689±0.094^{a}	^{y}0.399±0.007
	18 psu	1.907±0.307	^{a}0.213±0.142^{a}	^{c}-0.165±0.025^{c}	-0.037±0.117
	24 psu	2.097±0.354	^{a}0.377±0.002^{a}	^{c}-0.209±0.161	0.122±0.277
พังกาหัวสุม	NW	1.073±0.166	^{ybc}-0.442±0.041	^{n}0.348±0.075^{b}	^{n}0.231±0.111
	6 psu	1.037±0.265	^{yb}-0.384±0.114^{bc}	^{n}0.133±0.026	^{n}0.143±0.074
	12 psu	1.236±0.263	^{yc}-0.627±0.092^{b}	^{n}0.177±0.005^{b}	^{n}0.197±0.102
	18 psu	0.804±0.060	^{yb}-0.365±0.086^{b}	^{n}0.249±0.017^{a}	^{n}0.352±0.058
	24 psu	0.910±0.278	^{a}0.108±0.095^{a}	0.291±0.215	0.007±0.239
โปรงแดง	NW	1.266±0.412	^{yc}-0.658±0.229	^{n}0.256±0.088^{b}	^{n}0.026±0.131
	6 psu	0.754±0.116	^{a}0.096±0.176^{a}	0.187±0.098	-0.136±0.301
	12 psu	0.886±0.209	^{ybc}-0.423±0.064^{b}	^{n}0.160±0.078^{b}	^{n}0.420±0.197
	18 psu	0.820±0.210	^{ab}-0.088±0.108^{ab}	0.077±0.073^{b}	0.069±0.073
	24 psu	1.184±0.411	^{yc}-0.563±0.227^{b}	^{n}0.118±0.047	^{n}0.419±0.259

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.3) ตะกั่วและทองแดงในใบกล้าไม้

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ใบอ่อนกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีปริมาณตะกั่ว < 0.025 mg/g dry weight ซึ่งเป็นค่า detection limit ทุกชุดทดลอง และมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง 0.006-0.008, 0.007-0.018, 0.008-0.008 และ 0.007-0.008 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 พบแนวโน้มว่า ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้ในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงคือ < 0.025 mg/g dry weight ส่วนปริมาณทองแดงในใบอ่อนสูงขึ้นแต่น้อยมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.009-0.011, 0.015-0.031, 0.007-0.009 และ 0.009-0.010 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ก.23 และ ตารางที่ 4.48) ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วจัดเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นต่อพืช (non-essential elements) และส่วนใหญ่ถูกสะสมอยู่ที่ราก ขณะที่ทองแดงจัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช (essential elements) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 50 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) โดยหน้าที่สำคัญของทองแดงในพืช ได้แก่ ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) สอดคล้องกับที่ Mbeiza (1993) อ้างถึงใน Matagi และคณะ (1998) ที่กล่าวว่า การดูดซึมโลหะหนักในพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในพืชประเภทโผล่พ้นน้ำ (emergent plant) โดยที่ความเข้มข้นของโลหะหนักในใบอ่อนมากกว่าใบแก่

ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าระดับความเค็มใดที่ทำให้มีปริมาณทองแดงในใบอ่อนกล้าไม้สูงที่สุด และเมื่อพิจารณาระหว่างชนิดพืช พบแนวโน้มว่า ใบอ่อนของกล้าไม้แสม-ทะเลมีปริมาณทองแดงสูงขึ้นมากกว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดอื่น แต่ไม่ชัดเจน

อย่างไรก็ตามปริมาณทองแดงในใบพืชในชุดทดลองอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อใบ เพราะจากการทดลองพบว่า มีการเจริญเติบโต ขนาด และมวลชีวภาพใบสูงขึ้น ประกอบกับการที่ปริมาณทองแดงในดินภายในชุดทดลองอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพันธุ์ไม้ชายเลน ดังเช่นการทดลองของ Macfarlane และ Burchett (2002) ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทองแดงกับความเป็นพิษ การเจริญเติบโต และการสะสมโลหะหนักดังกล่าวในกล้าไม้แสมทะเล โดยทำการทดลองในเรือนกระจก เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงสูงจะมีขนาดและมวลชีวภาพใบต่ำ คือ เมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 0, 50, 100, 200 และ 400 mg/kg ทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดใบเท่ากับ 100.3, 73.7, 50.6, 46.8 และ 9.1 ซม.^{2} ตามลำดับ และมีผลให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบเท่ากับ 2.76, 2.35, 2.29, 2.60 และ 1.78 g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.48 ปริมาณทองแดงในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณทองแดง (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	0.008	0.009	0.008	0.010
	6 psu	0.008	0.009	0.009	0.009
	12 psu	0.008	0.008	0.009	0.011
	18 psu	0.006	0.009	0.009	0.010
	24 psu	0.007	0.008	0.008	0.010
แสมทะเล	NW	0.013	0.014	0.014	0.016
	6 psu	0.011	0.021	0.020	0.016
	12 psu	0.014	0.018	0.017	0.015
	18 psu	0.007	0.012	0.012	0.015
	24 psu	0.018	0.014	0.014	0.031
พังกาหัวสุม	NW	0.008	0.008	0.008	0.009
	6 psu	0.008	0.008	0.008	0.007
	12 psu	0.008	0.007	0.007	0.008
	18 psu	0.008	0.008	0.007	0.009
	24 psu	0.008	0.009	0.009	0.009
โปรงแดง	NW	0.007	0.009	0.010	0.009
	6 psu	0.008	0.008	0.008	0.010
	12 psu	0.007	0.010	0.010	0.009
	18 psu	0.008	0.006	0.008	0.010
	24 psu	0.007	0.009	0.008	0.009

หมายเหตุ detection limit ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.005 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ ดำเนินการศึกษา ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RBD) โดยมี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ชนิดพืช (กล้าไม้ 4 ชนิด ได้แก่โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล *(Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยพันธุ์ไม้มีอายุประมาณ 2 ปี และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) กับน้ำเสียชุมชน (น้ำเสียชุมชนปกติ และน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 4 ระดับ คือ 6, 12, 18 และ 24 psu) โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน สลับกับการพักระบบโดยปล่อยให้แห้ง 4 วัน และกักเก็บน้ำทะเล 3 วัน ก่อนปล่อยออกและทดลองครั้งใหม่ ทำการทดลองซ้ำ 9 ครั้ง รวมระยะเวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 126 วัน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 คุณภาพน้ำ

(1) ชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดีให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ก. (อาคารชุด โรงแรม สถานพยาบาล สถานศึกษา ที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือของเอกชน ศูนย์การค้า ตลาด ภัตตาคารหรือร้านอาหารขนาดใหญ่) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20.00 mg/l (ค.พ., 2543) โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช

(2) ชุดทดลองสามารถบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดได้ในปริมาณที่ต่ำ โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพ

การบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

(3) ชุดทดลองสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดให้มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกิน 35 mg/l (ค.พ., 2543) โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu และ 12 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 93.97-95.86, 90.13-93.80 และ 91.06-93.34 % ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช โดยที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโกงกางใบใหญ่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 85.80-95.86, 82.30-95.50, 81.66-95.06 % ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(4) ชุดทดลองสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.09-81.83 % และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช โดยที่ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด โดยมีค่าระหว่าง 62.70-81.83 %

(5) ชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ แต่ปริมาณตะกั่วทั้งในน้ำเสียก่อนทดลองและน้ำเสียหลังทดลองของการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องที่จะวัดได้ จึงไม่สามารถสรุปได้

5.1.2 สมบัติของดิน

(1) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีแนวโน้มสูงขึ้นตามช่วงเวลา และจากการศึกษาในทุกพารามิเตอร์ดังกล่าวมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าดินชั้นล่าง

(2) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินชั้นบนระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และแสมทะเล มีค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่นและชุดควบคุมไม่ปลูกพืช ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินทรียวัตถุที่พบในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(3) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะเดียวกันกับดินชั้นบน

(4) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น สอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินชั้นบนระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช ในขณะที่ดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะเดียวกันกับดินชั้นบน

(5) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ในดินชั้นบน มีแนวโน้มว่าปริมาณทองแดงสูงขึ้น สอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดทองแดงในน้ำเสียซึ่งพบว่าทุกชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ ในขณะที่ปริมาณตะกั่วก่อนและหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง

5.1.3 อัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้

(1) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และมวลชีวภาพของกล้าไม้แต่ละชนิดระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(2) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 6 psu และ 12 psu มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ตามลำดับ โดยที่กล้าไม้แสมทะเลและโกงกางใบใหญ่มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใกล้เคียงกัน

5.1.4 ปริมาณธาตุอาหารในใบกล้าไม้

(1) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบพืชระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงกว่าใบแก่

(2) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูงกว่ากล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น แต่ไม่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดใดมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสูง

ที่สุด ในขณะที่ใบแก่ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในใบพืชระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะเดียวกันกับใบอ่อน

(3) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าระดับความเค็มใดทำให้ใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดใดมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบสูงที่สุด ในขณะที่ใบแก่ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในใบพืชระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(4) ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ในใบอ่อน มีแนวโน้มว่า ปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มว่าในใบอ่อนของกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณทองแดงสูงกว่าใบอ่อนของกล้าไม้ชนิดอื่นเพียงเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การประยุกต์ใช้และขั้นตอนการปฏิบัติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้ระบบกะ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสได้สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ ดังนั้นควรปรับความเค็มของน้ำเสียชุมชนให้มีค่าประมาณ 12 psu เนื่องจากมีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียรวมถึงการเจริญเติบโตของกล้าไม้มากที่สุด และพิจารณาปลูกแสมทะเลอย่างไรก็ตามสามารถเลือกไม้โกงกางใบใหญ่ทดแทนได้

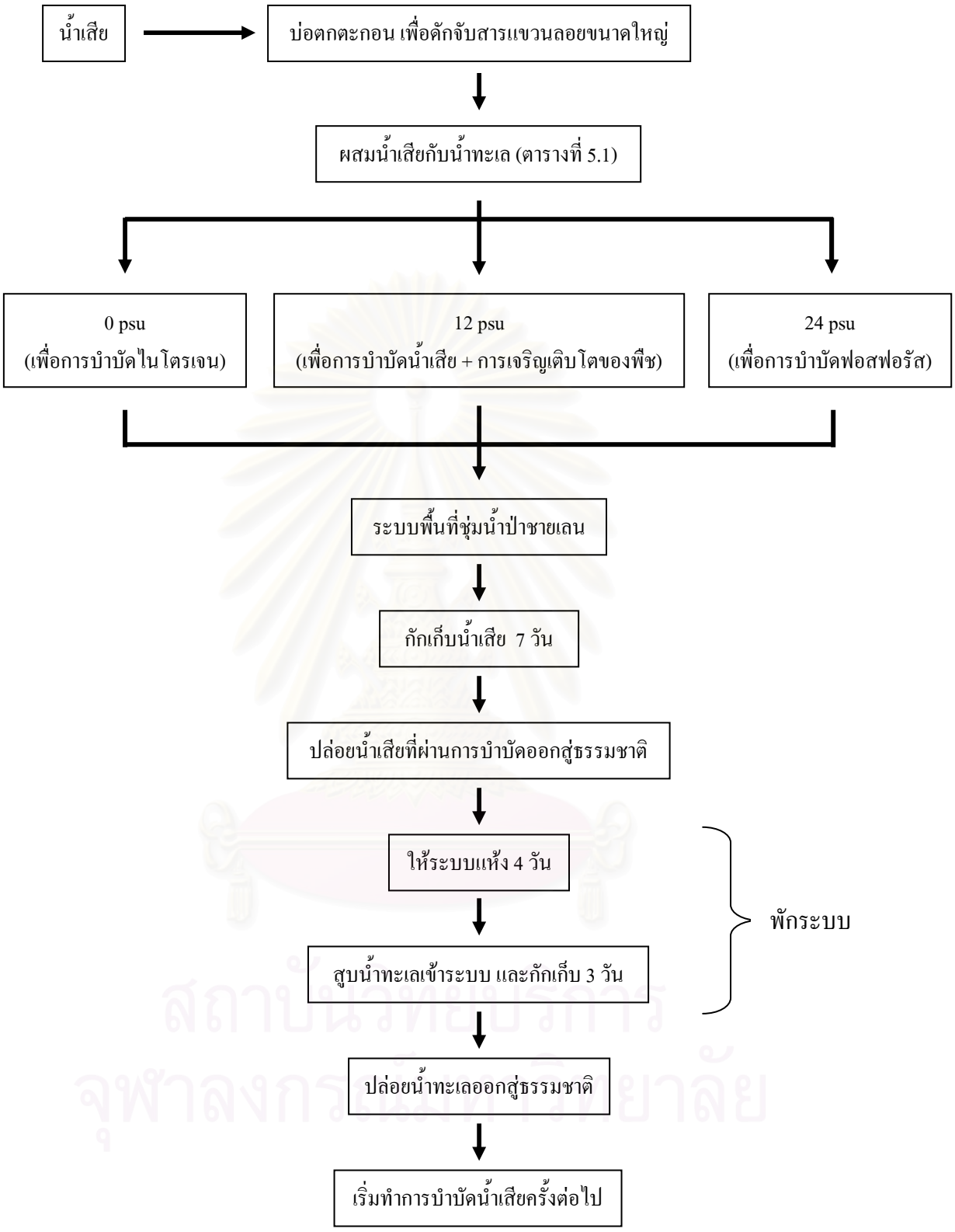
จากผลการศึกษาทำให้สามารถแสดงอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียชุมชนกับน้ำทะเลธรรมชาติให้ได้ระดับความเค็มตามที่กำหนด เพื่อนำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งอาจเป็นน้ำเสียประเภทอื่นๆ ได้แก่ น้ำเสียจากเกษตรกรรม น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นต้น ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียชุมชนกับน้ำทะเลธรรมชาติ

ระดับความเค็ม (psu)	อัตราส่วน	
	น้ำเสียชุมชน	น้ำทะเลธรรมชาติ
0	5	0
6	4	1
12	3	2
18	2	3
24	1	4

หมายเหตุ น้ำเสียชุมชนมีระดับความเค็มประมาณ 0 psu
น้ำทะเลธรรมชาติมีระดับความเค็มประมาณ 30 psu

การนำผลการศึกษาไปใช้จริงควรมีการดัดแปลงให้ป่าชายเลนกลายเป็นระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยปลูกกล้าไม้แสมทะเลหรือโกงกางใบใหญ่ และมีการสร้างคันดินโดยรอบเพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลากักเก็บ ความลึกของน้ำเสียที่ท่วมขังในระบบ ได้สะดวก รวมถึงช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในป่าชายเลน โดยมีขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียดังรูปที่ 5.1



หมายเหตุ เมื่อน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 23-26 และ 7-8 mg/l ตามลำดับ ควรควบคุมให้ระดับน้ำเสียอยู่เหนือผิวดินประมาณ 12 ซม.

รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ตามการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียเป็นเวลานาน อาจมีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ดังนั้นควรลอกดินเลนออกเป็นครั้งคราวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด นอกจากนี้ควรมีการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนดังกล่าวให้มีมากกว่า 1 ระบบ เพื่อการบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

5.2.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยต่อยอด

จากการทดลองครั้งนี้ทำให้มีข้อเสนอแนะเพื่อเพิ่มแนวทางและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน ดังนี้

1) ควรมีการศึกษาช่วงอายุต่างๆ ของพันธุ์ไม้ชายเลน เนื่องจากมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของแปลงป่าชายเลนธรรมชาติที่มีพันธุ์ไม้ชายเลนอายุ 1, 2 และ 3 ปี เป็นต้น

2) ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ระดับความลึกของน้ำเสียที่ท่วมขังอยู่บนผิวหน้าดิน ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และจุลินทรีย์

3) ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียที่มีความเค็ม ควรมีการกำจัดเกลือออกจากน้ำเสียก่อนนำไปวิเคราะห์ เพื่อทำให้ทราบประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. 2544. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กฤติกา ทองสมบัติ. 2546. ผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ *(Rhizophora mucronata* Lamk.). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา รัตนสุทธิพงษ์. 2544. การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอนและต้นแสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: หจก. สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์.

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546ก. น้ำเสียชุมชน[Online]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/WaterQuality/WasteWT/Domestic.htm[11 ตุลาคม 2546].

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546ข. บึงประดิษฐ์[Online]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/WaterQuality/WasteWT/ConstructedWetland.htm[11 ตุลาคม 2546].

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2543. มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

เจนจิรา แก้วรัตน์. 2541. ความสามารถของโกงกางใบเล็ก *Rhizophora apiculata* เพื่อการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนิตา ปาลิยะวุฒิ. 2544. ผลของความเค็มต่อค่าชลศักย์และความเข้มข้นของเกลือในไซเลมของไม้ป่าชายเลน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทียมใจ คมกฤส. 2536. โครงสร้างของไม้ป่าชายเลน. กรุงเทพมหานคร: ฉลองรัตน์.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. กรุงเทพมหานคร: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

ประโสด ธรรมเขต. 2540. การวิเคราะห์ทางเคมีพืช ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

ปริญญา บุญส่งแท้. 2544. การกำจัดตะกั่ว (+2) และซีเลเนียม (+4) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกากตะกรันจากการหลอมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์. 2543. ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. และแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปรมจิตต์ แทนสถิตย์. 2535. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณราย สิทธิวงษ์. 2543. ปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในดินตะกอนชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: บริษัทแซน อี. 68 แลบ จำกัด.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม. 2546. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ระยะที่สอง :รายงานการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2544. การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined constructed wetland ในเขตอากาศร้อน: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สนิท อักษรแก้ว. 2541. ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนิท อักษรแก้ว, สนใจ หะวานนท์ และ ชาตรี มากนวล. 2539. คู่มือการปลูกไม้ป่าชายเลน. โครงการวิจัยป่าชายเลน ITTO/JAM/Thai NATMANCOM Development and Dissemination of Re-afforestation Techniques of mangrove fosrest.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, ผดุงเกียรติ อุทกเสนีย์, ธรพร บุศก์น้ำเพชร, ภารดี คะลา, ลัดดาวัลย์ ปัยจะวิโรจน์ และเสกสรรค์ เทพพิทักษ์. 2543. การศึกษาคุณภาพน้ำในระบบรวบรวมน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี และระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. ในการสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 14(1-11). 24-25 สิงหาคม 2543 ณ. ห้องประชุมชั้น 7 อาคารวิทยพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร, บรรณาธิการ. 2545. การศึกษาชนิด ความชุกชุมของยุงบริเวณบ่อบำบัดน้ำเสียและป่าชายเลน ณ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วารสารสิ่งแวดล้อม มก. 1: 189-191.

ภาษาอังกฤษ

Aksornkoae, S., Maxwell, G. S., Havanond, S., and Panichsuko, S. 1992. Plants in mangroves. 1st ed. Bangkok: Chalongrat Co., Ltd.

AOAC. 2003. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists, Inc.

AWWA, WEF, and APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. American public health association. Washington DC.

Aziz, I., and Khan, M. A. 2001. Experimental assessment of salinity tolerance of *Ceriops tagal* seedlings and saplings from the Indus delta, Pakistan. Aquatic Botany. 70: 259–268.

Berman, E. 1980. Toxic metals and their analysis. London: Hayden.

Black C. A. 1965. Method of soil analysis, part 2. Agronomy No. 9 Am. Agron. Medison, Wisconsin, USA.

Boonsong, K., Piyatiratitivorakul, S., and Patanaponpaiboon, P. 2002a. Effect of wastewater discharge on mangrove soils. Symposium on WCSS 17th 14-21 August 2002 Thailand: 1901 (1-10).

Boonsong, K., Piyatiratitivorakul, S., and Patanaponpaiboon, P. 2002b. The use of mangrove plantation as a constructed wetland for municipal wastewater treatment. The Journal Scientific Research Chulalongkorn University. 27: 43-58.

Brown, J. J., Glenn, E. P., Fitzsimmons, K. M. and Smith, S. E. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent . Aquaculture. 175: 255–268.

Cardoch, L., Day, J. W., Rybczyk, J. M., and Kemp, G. P. 2000. An economic analysis of using wetlands for treatment of shrimp processing wastewater a case study in Dulac, LA. Ecological Economics. 33: 93–101.

Che, R. G. O. 1999. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hong Kong. Marine Pollution Bulletin. 39: 269-279.

Cheevaporn, V., and Menasveta, P. 2003. Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. Marine Pollution Bulletin. 47: 43–51.

Chu, H. Y., Chen, N. C., Yeung, M. C., Tam, N. F. Y., and Wong, Y. S. 1998. Tide-tank system simulating mangrove wetland for remove of nutrient and heavy metals from wastewater. Water Science and Technology. 38: 361-368.

Chiu, C. Y., Lee, S. C., Juang, H. T., Hur, M. T. and Hwang, Y. H. 1996. Nitrogen nutrient status and fate of applied N in mangrove solis. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 37: 191-196.

Clough, B.F., and Scott, K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. Forest Ecology and Management. 27: 117-127.

Crock, J. K., and Fennessy, M. S. 2001. Wetland plants: biology and ecology. Boca Raton: Lewis Publishers.

Downton, W. J. S., and Millhouse, J. 1985. Chlorophyll fluorescence and water relations of salt-stressed plants. Plant Science Letters. 37: 205-212.

Forstner, U. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag.

Hawley, G. G. 1981. The condensed chemical dictionary. 9th ed. New York: Van Nastrand Rernhold.

Jackson, M. L. 1960. Phosphorus determination for soil. Soil chemical analysis. New Jercy, USA: Prentice-Hall.

Jackson, M. L. 1975. Soil chemical analysis. New Delhi: Prentice-Hall of India Private.

Jing, S. R., and Lin, Y. F. 2004. Seasonal effect on ammonia nitrogen removal by constructed wetlands treating polluted river water in southern Taiwan. Environmental Pollution. 127: 291–301.

Kadlec, R. H., and Knight, R. L. 1996. Treatment wetlands. USA.: Lewis publishers.

Kathiresan, K., and Bingham, B. L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. Advances in Marine Biology. 40: 81-251.

Keffala, C., and Ghrabi, A. 2005. Nitrogen and bacterial removal in constructed wetlands treating domestic waste water. Desalination. 185: 383–389.

Koch, M. S., and Snedaker, S. C. 1997. Factors influencing *Rhizophora mangle* L. seedling development in Everglades carbonate soils. Aquatic Botany. 59: 87-98.

Lefebvre, O., Vasudevan, N., Torrijos, M., Thanasekaran, K., and Moletta, R. 2005. Halophilic biological treatment of tannery soak liquor in a sequencing batch reactor. Water Research. 39: 1471–1480.

Lewis, L. V, and Vu, D. Q. 2000. Roots[Online]. Available from: http://www.dec.ctu.edu.vn/sardi/htqt/english/roots.html[23 April 2006].

Lymbery, A. J., Doupe, R. G., Bennett, T., Starcevich, M. R. 2006. Efficacy of a subsurface-flow wetland using the estuarine sedge *Juncus kraussii* to treat effluent from inland saline aquaculture. Aquacultural Engineering. 34: 1–7.

MacFarlane, G. R. 2002. Leaf biochemical parameters in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh as potential biomarkers of heavy metal stress in estuarine ecosystems. Marine Pollution Bulletin. 44: 244–256

MacFarlane, G. R., and Burchett, M. D. 2001. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Marine Pollution Bulletin. 42: 233-240.

MacFarlane, G. R., and Burchett, M. D. 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Marine Environmental Research. 54: 65-84.

MacFarlane, G. R., Pulkownik, A., and Burchett, M. D. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. Environmental Pollution. 123: 139-151.

Marchand, C., Baltzer, F., Verge, E. L., and Alberic, P. 2004. Pore-water chemistry in mangrove sediments: relationship with species composition and developmental stages (French Guiana). Marine Geology. 208: 361–381.

Matagi, S. V., Swai, D., and Mugabe, R. 1998. A review of heavy metal removal mechanism in wetlands. African Journal Hydrobiology Fish. 8: 23-35.

Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G. 2000. Wetlands. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons., Inc.

Panswad, T., and Anan, C. 1999. Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without Inoculation of chloride acclimated seeds. Water Research. 33: 1165-1172.

Park, E. J., Seo, J. K., Kim, M. R., Jung, I. H., Kim, J. Y., and Kim, S.K. 2001. Salinity acclimation of immobilized freshwater denitrifier. Aquacultural Engineering. 24: 169-180.

Parson, T. R., Maita, Y., and Lalli, C. M. 1989. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. 3 rd ed. Oxford: Pergamon press.

Pezeshki, S. R., DeLaune, R. D., and Meeder, J. F. 1997. Carbon assimilation and biomass partitioning in *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle* seedlings in response to soil redox conditions. Environmental and Experimental Botany. 37: 161-171.

Smith, R. T., and Alkinson, K. 1975. Techniques in pedology. A handbook for environmental and resource studies. London.

Steinmann, C. R., Weinhart, S., and Melzer, A. 2003. A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. Water Research. 37: 2035-2042.

Strickland, J. D. H., and Parsons, T. R. 1972. A Practical handbook of seawater analysis. Ottawa: Fisheries research board of Canada.

Takemura, T., Hanagata, N., Sugihara, K., Baba, S., Karube, I., and Dubinsky, Z. 2000. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza*. Aquatic Botany. 68: 15-28.

Tam, N.F.Y. 1998. Effects of wastewater discharge on microbial populations and enzyme activities in mangrove soils. Environmental Pollution. 102: 233-242.

Tam, N. F. Y., and Wong, Y. S. 1996. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving waswater. Environmental Pollution. 94: 283-291.

Tan, K. H. 1996. Soil sampling, preparation and analysis. USA: Marcel Dekker.

Wang, Z. L., and Liu, C. Q. 2003. Distribution and partition behavior of heavy metals between dissolved and acid-soluble fractions along a salinity gradient in the Changjiang estuary, eastern China. Chemical Geology. 202: 383-396.

Ye, Y., Nora, F., Tam, Y., and Wong, Y. S. 2001. Livestock wastewater treatment by a mangrove pot-cultivation system and the effect of salinity on the nutrient removal efficiency. Marine Pollution Bulletin. 42: 513-521.

Ye, Y., Tam, N. F. Y., Lu, C. Y., and Wong, Y. S. 2005. Effects of salinity on germination, seedling growth and physiology of three salt-secreting mangrove species. Aquatic Botany. 83: 193-205.

Yim, M. W., and Tam, N. F. Y. 1999. Effects of wastewater-borne heavy metals on mangrove plants and soil microbial activities. Marine Pollution Bulletin. 39: 179-186.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

^{o}C	หมายถึง	อาศาเซลเซียส
mS/cm	หมายถึง	มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร
psu	หมายถึง	practical salinity unit
mg/l	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/kg	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/g soil	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกรัมของดิน
mg/g dry weight	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง
µg/g dry weight	หมายถึง	ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง
g/m^2	หมายถึง	กรัมต่อตารางเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปริมาณตะกั่วของน้ำเสียก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำเสียหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	0.698
6psu	1.423	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
12psu	1.223	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
18psu	0.876	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
24psu	1.056	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ
detection limit ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.500 mg/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	อินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	งb1.632±0.225c	คc2.124±0.120d	ขc3.459±0.071c	กb4.411±0.079b
	6 psu	a3.769±0.367a	a4.356±0.157a	bc4.086±0.380ab	b4.136±0.153ab
	12 psu	กขa3.662±0.072	ขb3.262±0.069	กbc4.086±0.380a	กb4.358±0.314b
	18 psu	คb1.094±0.105c	ขb3.313±0.278c	กab4.752±0.082a	กa5.168±0.172a
	24 psu	คa3.510±0.142	ขa4.304±0.390	กขa4.929±0.167	กa5.230±0.259
โกงกางใบใหญ่	NW	ขa3.611±0.144a	ขab3.714±0.146c	กa4.583±0.322ab	กa4.929±0.167ab
	6 psu	ขb1.552±0.111b	กb3.121±0.408b	กb3.412±0.281b	กb3.769±0.367b
	12 psu	a3.515±0.427	a4.194±0.385	b3.213±0.137b	b3.510±0.142c
	18 psu	คa2.975±0.200b	กa4.300±0.078b	ขb3.662±0.072b	กขb3.975±0.075b
	24 psu	คa3.119±0.272	ขa4.029±0.151	กขa4.641±0.405	กa4.871±0.249
แสมทะเล	NW	ขab3.561±0.215a	ข4.192±0.231b	กa4.989±0.252a	กa5.050±0.339a
	6 psu	กa4.082±0.076a	ก3.869±0.074a	ขb2.125±0.240c	ขb2.166±0.060c
	12 psu	คc2.834±0.131	ข3.716±0.292	กa4.638±0.243a	กa4.987±0.084a
	18 psu	ขbc3.072±0.338b	ข3.263±0.207c	กa4.251±0.465ab	กa4.695±0.163a
	24 psu	คbc3.361±0.210	ขค3.719±0.438	กขa4.583±0.322	กa4.874±0.415
พังกาหัวสุม	NW	ข3.869±0.074a	กa4.695±0.163a	กa4.356±0.157b	กa4.580±0.161ab
	6 psu	ก3.611±0.144a	ขc2.654±0.385b	กb3.663±0.217b	กa4.361±0.471ab
	12 psu	ก3.415±0.422	กb3.765±0.073	ขc1.874±0.116c	ขb2.209±0.121d
	18 psu	ก3.873±0.371a	กab4.031±0.302b	ขc2.043±0.356c	ขb2.169±0.302c
	24 psu	3.714±0.146	ab4.358±0.314	ab4.136±0.153	a4.301±0.234
โปรงแดง	NW	ขb2.790±0.326b	กbc3.818±0.148bc	กb3.410±0.141c	กc3.611±0.144c
	6 psu	ขa3.818±0.148a	ขb3.976±0.225a	กa4.411±0.079a	กab4.752±0.082a
	12 psu	คb2.650±0.128	คd3.168±0.342	ขab4.083±0.228a	กab4.871±0.249ab
	18 psu	คa3.663±0.217ab	กa5.476±0.089a	ขa4.525±0.240a	กขa4.931±0.334a
	24 psu	ขa3.560±0.072	ขcd3.311±0.139	กขab3.928±0.448	กb4.356±0.157

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	อินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	ข^{a}2.834±0.131^{a}	ข^{a}3.117±0.136^{a}	ก^{a}3.766±0.220^{a}	ก^{a}4.247±0.310^{a}
	6 psu	ข^{c}1.833±0.173^{bc}	ข^{b}2.172±0.422^{d}	ก^{b}3.023±0.269	ก^{b}3.461±0.212
	12 psu	^{ab}2.471±0.125^{b}	^{b}2.125±0.240^{b}	^{b}2.652±0.257^{b}	^{c}2.605±0.064^{b}
	18 psu	^{ab}2.696±0.193^{bc}	^{a}3.263±0.207^{ab}	^{b}2.562±0.254^{b}	^{c}2.472±0.251^{b}
	24 psu	ข^{b}2.296±0.123^{b}	ข^{b}2.209±0.121^{b}	ก^{b}2.741±0.130^{bc}	ก^{c}2.881±0.198^{bc}
โกงกางใบใหญ่	NW	ก^{b}1.956±0.117^{c}	ข^{b}2.834±0.131^{a}	ก3.515±0.427^{a}	ก^{bc}3.611±0.144^{b}
	6 psu	ข^{c}1.437±0.274^{c}	ก^{b}2.929±0.265^{bc}	ก2.975±0.200	ก^{d}3.165±0.068
	12 psu	ข^{a}3.070±0.203^{a}	ก^{a}3.714±0.146^{a}	ก3.714±0.146^{a}	ก^{a}4.083±0.228^{a}
	18 psu	ข^{b}2.209±0.121^{cd}	ข^{b}2.521±0.441^{b}	ก3.461±0.212^{a}	ก^{ab}3.818±0.148^{a}
	24 psu	ข^{a}2.741±0.130^{b}	ก^{a}3.765±0.073^{a}	ก3.666±0.362^{ab}	ก^{cd}3.360±0.070^{b}
แสมทะเล	NW	^{b}2.297±0.245^{bc}	^{c}2.040±0.119^{b}	^{b}2.253±0.183^{b}	^{c}2.082±0.179^{c}
	6 psu	^{a}3.463±0.354^{a}	^{a}4.029±0.151^{a}	^{a}3.311±0.139	^{a}3.716±0.292
	12 psu	ข^{b}1.475±0.220^{c}	ข^{c}1.793±0.230^{b}	ก^{a}3.510±0.142^{a}	ก^{a}3.979±0.376^{a}
	18 psu	ก^{a}3.666±0.362^{a}	ก^{a}3.923±0.149^{a}	ข^{b}2.560±0.127^{b}	ข^{bc}2.384±0.248^{b}
	24 psu	^{a}3.616±0.432^{a}	^{b}3.311±0.139^{a}	^{a}3.415±0.422^{ab}	^{b}2.835±0.262^{bc}
พังกาหัวสุม	NW	^{a}2.743±0.259^{ab}	2.788±0.196^{a}	3.119±0.272^{a}	^{ab}3.561±0.215^{b}
	6 psu	ข^{b}2.003±0.413^{bc}	ก^{b}3.360±0.070^{b}	ก2.883±0.330	ก^{bc}2.929±0.265
	12 psu	ข^{a}2.788±0.196^{ab}	ก^{a}3.510±0.142^{a}	ก^{a}3.512±0.285^{a}	ก^{a}4.031±0.302^{a}
	18 psu	ข^{b}1.793±0.230^{d}	ก^{ab}3.168±0.342^{ab}	ก^{a}3.165±0.068^{a}	ก^{ab}3.461±0.212^{a}
	24 psu	^{a}3.311±0.139^{a}	3.364±0.350^{a}	2.432±0.437^{c}	^{c}2.472±0.251^{c}
โปรงแดง	NW	^{a}3.165±0.068^{a}	^{bc}3.021±0.134^{a}	^{b}3.070±0.203^{a}	^{bc}3.361±0.210^{b}
	6 psu	ค^{b}2.342±0.308^{b}	ขค^{c}2.560±0.127^{cd}	กข^{b}3.313±0.278	ก^{ab}3.873±0.371
	12 psu	ข^{c}1.631±0.112^{c}	ข^{d}1.874±0.116^{b}	ก^{c}2.339±0.062^{b}	ก^{c}2.560±0.127^{b}
	18 psu	^{a}3.213±0.137^{ab}	^{a}3.873±0.371^{a}	^{b}3.361±0.210^{a}	^{ab}3.928±0.448^{a}
	24 psu	ข^{a}3.360±0.070^{a}	ข^{ab}3.666±0.362^{a}	กข^{a}4.086±0.380^{a}	ก^{a}4.697±0.326^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	กa1.855±0.092a	ขd1.495±0.049a	ก1.835±0.106a	กc1.860±0.057a
	6 psu	คb1.305±0.078	กb1.940±0.042a	ข1.730±0.099a	กb2.105±0.064a
	12 psu	ขa1.720±0.071b	กa2.205±0.092a	ข1.830±0.042a	ขc1.735±0.049a
	18 psu	คb1.380±0.057	คd1.355±0.064a	ข1.945±0.064a	กa2.375±0.106a
	24 psu	ขa1.760±0.071a	ขc1.730±0.071b	ข1.610±0.085a	กab2.160±0.127b
โกงกางใบใหญ่	NW	ก1.555±0.134b	กb1.480±0.099a	กbc1.485±0.078b	ขd0.895±0.064c
	6 psu	ข1.365±0.148	กa1.780±0.085a	ขbc1.490±0.099bc	คcd0.970±0.042d
	12 psu	ก1.610±0.057bc	งd0.670±0.057c	ขc1.275±0.049b	คc1.100±0.071b
	18 psu	1.395±0.078	c1.245±0.120a	ab1.595±0.134b	b1.515±0.078b
	24 psu	ค1.280±0.113bc	คbc1.285±0.064c	ขa1.810±0.085a	กa2.140±0.099b
แสมทะเล	NW	กb1.215±0.064c	กc1.170±0.113bc	ขd0.625±0.064d	กb1.235±0.092b
	6 psu	กa1.490±0.085	ขcd0.900±0.127b	กb1.415±0.064c	กa1.580±0.127b
	12 psu	ขa1.610±0.127bc	กa2.155±0.148a	ขa1.720±0.127a	ขa1.730±0.099a
	18 psu	ขa1.485±0.092	คd0.850±0.071b	กa1.750±0.071ab	ขa1.520±0.042b
	24 psu	ขb1.135±0.064c	กb1.715±0.078b	ขc0.995±0.092b	ขb1.150±0.085c
พังกาหัวสุม	NW	ขa1.435±0.049bc	คd1.255±0.092b	กa1.605±0.035b	งc0.925±0.049c
	6 psu	ขa1.545±0.092	กb1.900±0.085a	ขab1.425±0.106c	คc0.960±0.085d
	12 psu	a1.435±0.078c	c1.630±0.141b	b1.315±0.049b	b1.285±0.106b
	18 psu	กb1.245±0.064	ขe0.660±0.057b	กb1.290±0.057c	ขc0.775±0.134c
	24 psu	คb1.245±0.049bc	กa2.520±0.099a	งc0.680±0.141c	ขa2.125±0.078b
โปรงแดง	NW	กa1.850±0.085a	ขc1.005±0.049c	ขb1.065±0.092c	ขc0.970±0.141c
	6 psu	กb1.590±0.057	กa1.785±0.078a	กa1.675±0.078ab	ขb1.260±0.071c
	12 psu	กa1.990±0.085a	ขb1.490±0.085b	กa1.900±0.113a	คb1.240±0.057b
	18 psu	ขคb1.555±0.106	คb1.370±0.042a	ขa1.835±0.148ab	กa2.355±0.078a
	24 psu	คb1.420±0.099b	คc1.125±0.134c	ขa1.720±0.057a	กa2.445±0.120a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	ข^{b}1.585±0.148^{b}	ก^{a}2.035±0.078^{a}	ขค^{abc}1.310±0.127^{abc}	ค^{c}1.135±0.106^{b}
	6 psu	ก^{a}1.995±0.148^{a}	ก^{a}2.290±0.099^{a}	ข$^{}$1.585±0.064	ข^{b}1.535±0.134^{a}
	12 psu	ข^{b}1.350±0.042^{cd}	ข^{b}1.440±0.071	ข$^{}$1.440±0.156	ก^{a}1.870±0.042^{a}
	18 psu	ข^{c}1.030±0.170^{c}	ข^{c}1.120±0.170	ข$^{}$1.170±0.127	ก^{ab}1.665±0.092
	24 psu	ข^{d}0.685±0.049^{c}	ก^{b}1.465±0.035	ก$^{}$1.570±0.226	ก^{ab}1.750±0.184^{ab}
โกงกางใบใหญ่	NW	ข^{c}0.910±0.085^{d}	ข$^{}$1.225±0.035^{c}	ข$^{}$0.950±0.085^{c}	ก^{a}1.955±0.233^{a}
	6 psu	^{ab}1.325±0.219^{b}	1.180±0.042^{c}	1.070±0.240	^{cd}0.905±0.064^{b}
	12 psu	ก^{a}1.465±0.120^{c}	ก$^{}$1.195±0.064	ก$^{}$1.235±0.205	ข^{d}0.810±0.085^{c}
	18 psu	^{a}1.620±0.127^{b}	1.050±0.141	1.350±0.212	^{b}1.400±0.085
	24 psu	^{bc}1.005±0.078^{bc}	1.180±0.057	1.350±0.099	^{bc}1.300±0.226^{bc}
แสมทะเล	NW	^{b}1.415±0.049^{bc}	1.120±0.184^{c}	1.365±0.148^{ab}	1.090±0.127^{b}
	6 psu	^{c}0.910±0.057^{c}	1.375±0.049^{bc}	1.385±0.177	1.490±0.240^{a}
	12 psu	ก^{a}2.125±0.064^{a}	ข$^{}$1.375±0.092	ข$^{}$1.035±0.219	ข$^{}$1.180±0.198^{bc}
	18 psu	^{b}1.325±0.134^{bc}	1.355±0.233	1.485±0.191	1.440±0.057
	24 psu	^{c}0.910±0.099^{bc}	1.225±0.134	1.445±0.191	1.085±0.064^{c}
พังกาหัวสุม	NW	ข^{b}1.085±0.078^{cd}	ก^{a}1.830±0.226^{ab}	กข$^{}$1.535±0.233^{a}	ข^{b}1.210±0.156^{b}
	6 psu	ข^{b}0.885±0.092^{c}	ก^{b}1.240±0.042^{bc}	ก$^{}$1.535±0.078	ก^{b}1.365±0.177^{a}
	12 psu	^{b}1.170±0.057^{d}	^{b}1.185±0.021	1.215±0.106	^{b}1.250±0.198^{b}
	18 psu	^{a}1.600±0.212^{b}	^{b}1.235±0.092	1.250±0.057	^{b}1.250±0.212
	24 psu	ข^{b}1.170±0.156^{b}	ข^{b}1.400±0.240	ข$^{}$1.435±0.035	ก^{a}1.945±0.205^{a}
โปรงแดง	NW	ก^{ab}2.250±0.226^{a}	ข$^{}$1.450±0.141^{bc}	ค^{c}1.025±0.049^{bc}	ขคง^{ab}1.315±0.078^{b}
	6 psu	ก^{c}1.580±0.113^{b}	ก$^{}$1.545±0.247^{b}	ก^{bc}1.300±0.113	ข^{c}0.835±0.078^{b}
	12 psu	ก^{bc}1.840±0.184^{b}	ข$^{}$1.175±0.191	ก^{a}1.690±0.184	ขง^{bc}1.055±0.163^{bc}
	18 psu	ก^{abc}2.055±0.092^{a}	ข$^{}$1.360±0.085	ขง^{ab}1.470±0.099	ข^{a}1.430±0.156
	24 psu	ก^{a}2.325±0.233^{a}	ค$^{}$1.035±0.120	ขคง^{ab}1.435±0.064	ข^{a}1.570±0.170^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	แอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	คิ^{c}0.047±0.000^{b}	ข$^{}$0.210±0.033	ขa$^{}$0.280±0.066^{a}	กb$^{}$0.467±0.066^{a}
	6 psu	คิ^{bc}0.140±0.066	ก$^{}$0.327±0.000	คิ^{b}0.047±0.000^{b}	ขa$^{}$0.607±0.066^{a}
	12 psu	a$^{}$0.397±0.099	0.327±0.066	a$^{}$0.303±0.033^{b}	d$^{}$0.140±0.000^{c}
	18 psu	กab$^{}$0.233±0.066^{abc}	ก$^{}$0.303±0.033^{ab}	กa$^{}$0.210±0.033	ขd$^{}$0.093±0.000^{b}
	24 psu	ab$^{}$0.303±0.033^{b}	0.350±0.033^{a}	a$^{}$0.303±0.033^{b}	c$^{}$0.350±0.033^{b}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	b$^{}$0.117±0.033^{a}	0.303±0.099	c$^{}$0.163±0.033^{ab}	c$^{}$0.187±0.000^{c}
	6 psu	b$^{}$0.140±0.000	0.233±0.066	bc$^{}$0.280±0.066^{a}	b$^{}$0.327±0.066^{b}
	12 psu	คิb$^{}$0.210±0.033	ค$^{}$0.140±0.000	ขb$^{}$0.420±0.066^{a}	กa$^{}$0.700±0.066^{a}
	18 psu	b$^{}$0.163±0.033^{bc}	0.210±0.033^{bc}	c$^{}$0.163±0.033	c$^{}$0.117±0.033^{b}
	24 psu	กขa$^{}$0.513±0.132^{a}	ข$^{}$0.303±0.033^{a}	กa$^{}$0.747±0.132^{a}	กa$^{}$0.793±0.066^{a}
แสมทะเล	**NW**	ขbc$^{}$0.140±0.000^{a}	ขc$^{}$0.140±0.000	คิc$^{}$0.093±0.000^{b}	กc$^{}$0.327±0.000^{b}
	6 psu	ขb$^{}$0.210±0.033	ขc$^{}$0.163±0.033	คิc$^{}$0.047±0.000^{b}	กa$^{}$0.537±0.033^{a}
	12 psu	ขb$^{}$0.210±0.033	กa$^{}$0.350±0.033	ขb$^{}$0.210±0.033^{bc}	กb$^{}$0.397±0.033^{b}
	18 psu	a$^{}$0.397±0.099^{a}	b$^{}$0.280±0.000^{abc}	b$^{}$0.163±0.033	c$^{}$0.303±0.033^{a}
	24 psu	คิc$^{}$0.047±0.000^{c}	กขb$^{}$0.257±0.033^{a}	กa$^{}$0.303±0.033^{b}	ขd$^{}$0.233±0.000^{b}
พังกาหัวสุม	**NW**	ข$^{}$0.117±0.033^{a}	ข$^{}$0.163±0.033	กab$^{}$0.280±0.066^{a}	กb$^{}$0.327±0.000^{b}
	6 psu	0.117±0.033	0.280±0.066	b$^{}$0.117±0.033^{b}	cd$^{}$0.163±0.033^{b}
	12 psu	0.187±0.066	0.420±0.132	b$^{}$0.257±0.033^{b}	bc$^{}$0.303±0.033^{b}
	18 psu	ข$^{}$0.093±0.000^{c}	ก$^{}$0.373±0.066^{a}	ขb$^{}$0.140±0.066	ขd$^{}$0.140±0.066^{b}
	24 psu	คิ$^{}$0.093±0.000^{c}	ขค$^{}$0.280±0.066^{a}	ขa$^{}$0.443±0.099^{b}	กa$^{}$0.677±0.099^{a}
โปรงแดง	**NW**	ข$^{}$0.163±0.033^{a}	กa$^{}$0.257±0.033	คิc$^{}$0.047±0.000^{b}	คิc$^{}$0.070±0.033^{d}
	6 psu	ข$^{}$0.187±0.066	ขa$^{}$0.280±0.000	ขbc$^{}$0.093±0.000^{b}	กa$^{}$0.560±0.132^{a}
	12 psu	กข$^{}$0.163±0.033	กa$^{}$0.303±0.099	ขb$^{}$0.117±0.033^{c}	ขc$^{}$0.470±0.000^{c}
	18 psu	0.280±0.066^{ab}	ab$^{}$0.187±0.000^{c}	a$^{}$0.303±0.033	b$^{}$0.350±0.033^{a}
	24 psu	ค$^{}$0.163±0.033^{bc}	งb$^{}$0.093±0.000^{b}	ขa$^{}$0.280±0.000^{b}	กa$^{}$0.723±0.033^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	แอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.233±0.066	0.187±0.066	^{c}0.140±0.000^{b}	0.280±0.066
	6 psu	^{ข}0.303±0.099	^{ข}0.257±0.099	^{กa}0.700±0.132^{a}	^{ข}0.327±0.066
	12 psu	0.257±0.033	0.350±0.033	^{ab}0.490±0.033	0.327±0.132
	18 psu	^{ข}0.140±0.000	^{กข}0.327±0.066	^{กab}0.513±0.132^{a}	^{ก}0.397±0.033^{a}
	24 psu	0.257±0.099	0.373±0.066	^{b}0.420±0.066	0.397±0.033
โกงกางใบใหญ่	NW	0.280±0.066	0.420±0.132	0.420±0.066^{a}	0.373±0.066
	6 psu	0.210±0.099	0.257±0.099	0.327±0.066^{b}	0.373±0.066
	12 psu	0.233±0.066	0.187±0.066	0.257±0.033	0.163±0.099
	18 psu	^{กข}0.303±0.033	^{ข}0.257±0.033	^{ก}0.397±0.033^{a}	^{ข}0.187±0.066^{b}
	24 psu	0.187±0.066	0.140±0.066	0.350±0.033	0.327±0.066
แสมทะเล	NW	0.210±0.099	0.187±0.000	^{b}0.140±0.000^{b}	0.210±0.033
	6 psu	0.163±0.099	0.280±0.066	^{a}0.490±0.099^{ab}	0.420±0.132
	12 psu	^{ข}0.187±0.000	^{ข}0.163±0.033	^{กa}0.420±0.066	^{ก}0.443±0.033
	18 psu	0.327±0.132	0.350±0.099	^{a}0.443±0.099^{a}	0.373±0.066^{a}
	24 psu	0.327±0.066	0.303±0.033	^{a}0.560±0.132	0.303±0.099
พังกาหัวสุม	NW	^{ข}0.093±0.000	^{ก}0.257±0.033	^{กขb}0.210±0.033^{b}	^{ก}0.350±0.099
	6 psu	0.187±0.066	0.327±0.066	^{ab}0.303±0.033^{b}	0.467±0.132
	12 psu	0.163±0.099	0.303±0.033	^{a}0.443±0.099	0.327±0.066
	18 psu	0.280±0.066	0.163±0.033	^{a}0.490±0.099^{a}	0.350±0.099^{ab}
	24 psu	0.117±0.033	0.187±0.066	^{b}0.233±0.066	0.257±0.033
โปรงแดง	NW	0.210±0.033	0.373±0.132	^{ab}0.397±0.033^{a}	^{a}0.420±0.066
	6 psu	0.303±0.033	0.350±0.099	^{b}0.257±0.099^{b}	^{c}0.140±0.000
	12 psu	0.257±0.033	0.233±0.066	^{ab}0.373±0.066	^{ab}0.303±0.099
	18 psu	^{ก}0.163±0.033	^{ก}0.233±0.066	^{ขc}0.047±0.000^{b}	^{กbc}0.187±0.000^{b}
	24 psu	^{ก}0.140±0.066	^{ขก}0.210±0.099	^{กa}0.467±0.066	^{กขa}0.373±0.066

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	^{กc}0.397±0.099^{b}	^{กcd}0.863±0.099	^{ขกb}0.560±0.066^{a}	^{ขc}0.630±0.033^{a}
	6 psu	^{b}0.957±0.033^{b}	^{ab}1.167±0.132^{a}	^{a}0.167±0.066^{a}	^{b}1.073±0.066^{a}
	12 psu	^{a}1.260±0.066^{ab}	^{a}1.400±0.132^{a}	^{a}1.237±0.099^{a}	^{a}1.470±0.099^{a}
	18 psu	^{ขb}0.957±0.099^{bc}	^{ขbc}1.050±0.033^{a}	^{ขa}1.167±0.132^{b}	^{กa}1.587±0.132^{a}
	24 psu	^{งc}0.397±0.099^{bc}	^{คd}0.723±0.033^{c}	^{ขa}1.097±0.099^{a}	^{กa}1.540±0.066^{a}
โกงกางใบใหญ่	NW	^{ขc}0.397±0.033^{b}	^{กb}0.817±0.099	^{ขb}0.467±0.066^{ab}	^{คd}0.117±0.033^{d}
	6 psu	^{กb}0.933±0.066^{b}	^{กa}1.120±0.132^{a}	^{ขc}0.210±0.033^{c}	^{ขcd}0.257±0.033^{c}
	12 psu	^{กab}1.050±0.033^{bc}	^{ขc}0.303±0.033^{d}	^{ขbc}0.350±0.033^{c}	^{ขc}0.350±0.033^{d}
	18 psu	^{กa}1.073±0.066^{ab}	^{ขb}0.653±0.066^{c}	^{ขa}0.817±0.099^{c}	^{กa}1.120±0.066^{b}
	24 psu	^{คd}0.233±0.000^{c}	^{ขb}0.723±0.033^{c}	^{กa}0.957±0.033^{a}	^{กขb}0.887±0.132^{c}
แสมทะเล	NW	^{ขc}0.350±0.099^{b}	^{กb}0.677±0.099	^{คd}0.093±0.000^{c}	^{คc}0.140±0.000^{d}
	6 psu	^{กa}0.863±0.033^{b}	^{ขc}0.443±0.033^{c}	^{คc}0.257±0.099^{c}	^{คc}0.210±0.033^{c}
	12 psu	^{กa}0.957±0.099^{c}	^{กb}0.793±0.066^{b}	^{ขc}0.373±0.066^{c}	^{ขb}0.490±0.033^{cd}
	18 psu	^{ขa}0.793±0.066^{c}	^{คc}0.303±0.033^{d}	^{กa}1.377±0.033^{a}	^{ขa}0.793±0.066^{c}
	24 psu	^{ขb}0.560±0.066^{b}	^{กa}1.050±0.099^{b}	^{ขb}0.607±0.066^{b}	^{ขb}0.490±0.033^{d}
พังกาหัวสุม	NW	^{กc}0.583±0.033^{b}	^{กbc}0.700±0.066	^{ข}0.373±0.066^{b}	^{ขb}0.420±0.000^{b}
	6 psu	^{กa}1.213±0.132^{a}	^{ขb}0.747±0.066^{b}	^{ค}0.327±0.066^{c}	^{ขb}0.630±0.099^{b}
	12 psu	^{กb}0.910±0.033^{c}	^{ขc}0.513±0.000^{c}	^{ค}0.303±0.099^{c}	^{ขb}0.537±0.033^{c}
	18 psu	^{ขc}0.420±0.000^{d}	^{งd}0.070±0.033^{e}	^{ค}0.303±0.033^{d}	^{กb}0.560±0.066^{d}
	24 psu	^{คb}0.957±0.099^{a}	^{กa}1.773±0.132^{a}	^{ง}0.187±0.132^{c}	^{ขa}1.400±0.132^{ab}
โปรงแดง	NW	^{ก}1.447±0.132^{a}	^{ขc}0.513±0.066	^{คc}0.047±0.000^{c}	^{คd}0.210±0.033^{c}
	6 psu	^{ก}1.167±0.066^{a}	^{กa}1.027±0.132^{a}	^{ขb}0.700±0.132^{b}	^{ขc}0.653±0.066^{b}
	12 psu	^{ก}1.353±0.132^{a}	^{ขคab}0.817±0.099^{b}	^{คb}0.630±0.099^{b}	^{ขb}1.003±0.099^{b}
	18 psu	^{ข}1.190±0.099^{a}	^{คb}0.793±0.066^{b}	^{ขa}1.190±0.033^{ab}	^{กa}1.703±0.099^{a}
	24 psu	^{ก}1.167±0.132^{a}	^{ขb}0.770±0.033^{c}	^{กa}1.027±0.066^{a}	^{กb}1.143±0.099^{bc}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	กb0.957±0.099b	กข0.793±0.132a	ข0.560±0.066a	ขc0.607±0.066b
	6 psu	กa1.423±0.099a	ข0.933±0.066a	ข0.770±0.033a	ขbc0.747±0.066a
	12 psu	c0.653±0.132c	0.933±0.132a	0.933±0.198ab	a1.167±0.198a
	18 psu	bc0.700±0.132b	0.630±0.099a	0.630±0.099bc	ab0.980±0.066a
	24 psu	ขd0.280±0.000c	ก0.677±0.099	ก0.980±0.132a	กab0.957±0.165ab
โกงกางใบใหญ่	NW	ขc0.373±0.066c	ขab0.560±0.066ab	ขbc0.350±0.033b	กa0.933±0.132a
	6 psu	กb0.817±0.099b	กa0.770±0.165ab	ขc0.327±0.066b	ขbc0.467±0.066b
	12 psu	กa1.073±0.132b	ขc0.303±0.033c	ขbc0.373±0.066d	ขc0.257±0.033c
	18 psu	กab0.957±0.033ab	ขbc0.373±0.066bc	ขb0.513±0.066c	กa0.887±0.132a
	24 psu	b0.747±0.066b	ab0.607±0.066	a0.770±0.099ab	ab0.723±0.099bc
แสมทะเล	NW	กb1.003±0.099b	ขb0.513±0.066b	คc0.280±0.066b	ข0.560±0.066b
	6 psu	ขคc0.443±0.033c	คc0.303±0.033c	กa0.723±0.099a	กข0.607±0.066ab
	12 psu	กa1.470±0.099a	คd0.140±0.000c	ขbc0.397±0.033cd	ข0.443±0.099bc
	18 psu	กb0.910±0.033ab	ขbc0.420±0.066b	กa0.817±0.165b	กข0.653±0.066b
	24 psu	c0.560±0.066b	a0.700±0.066	ab0.560±0.066bc	0.490±0.033c
พังกาหัวสุม	NW	c0.303±0.033c	c0.467±0.066b	b0.327±0.066b	b0.467±0.066b
	6 psu	ขbc0.490±0.033c	กb0.630±0.033b	คb0.303±0.033b	กขb0.560±0.066b
	12 psu	คc0.350±0.033d	คd0.327±0.066c	กa0.677±0.033bc	ขb0.490±0.033bc
	18 psu	กa1.003±0.165a	ขd0.210±0.033c	ขb0.490±0.099c	ขb0.397±0.033c
	24 psu	ขb0.677±0.099b	ขa0.770±0.033	กขa0.817±0.099a	กa1.050±0.099a
โปรงแดง	NW	กa1.703±0.099a	ข0.770±0.099a	คbc0.513±0.066a	ขคab0.630±0.033b
	6 psu	กb1.027±0.132b	กข0.817±0.099ab	ขคb0.630±0.099a	คb0.490±0.033b
	12 psu	ขc0.653±0.066c	ข0.630±0.099b	กa1.073±0.132a	ขab0.700±0.132b
	18 psu	คd0.327±0.066c	ข0.630±0.099a	กa1.143±0.033a	ขa0.817±0.099ab
	24 psu	กa1.703±0.165a	ข0.793±0.198	คc0.397±0.033c	ขa0.793±0.066ab

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	ข0.155±0.023^{b}	ข0.152±0.023	ก0.250±0.016^{a}	กb0.233±0.014^{a}
	6 psu	ข0.169±0.015^{ab}	ข0.189±0.025^{a}	ก0.255±0.018^{a}	กa0.278±0.018
	12 psu	ข0.158±0.008^{b}	ข0.178±0.025^{a}	ก0.259±0.022^{a}	กa0.312±0.021^{a}
	18 psu	ค0.132±0.025	ข0.198±0.021^{a}	ก0.260±0.015^{a}	กa0.307±0.009^{a}
	24 psu	ค0.105±0.012^{cd}	ค0.134±0.020^{b}	ข0.224±0.011^{a}	กa0.318±0.020^{a}
โกงกางใบใหญ่	NW	ขa0.173±0.009^{b}	ขa0.179±0.015	กa0.285±0.007^{a}	กab0.261±0.019^{a}
	6 psu	ขb0.120±0.015^{bc}	ขc0.088±0.010^{b}	กbc0.198±0.020^{bc}	กb0.225±0.013
	12 psu	คb0.099±0.005^{c}	คbc0.124±0.009^{bc}	ขc0.174±0.013^{b}	กa0.297±0.014^{a}
	18 psu	คb0.098±0.016	คbc0.124±0.022^{bc}	ขb0.206±0.005^{bc}	กab0.259±0.019^{bc}
	24 psu	ขb0.124±0.019^{bc}	ขab0.147±0.010^{b}	กa0.243±0.008^{a}	กb0.242±0.006^{bc}
แสมทะเล	NW	กa0.227±0.009^{a}	ขab0.161±0.007	ข0.150±0.025^{b}	ข0.165±0.021^{b}
	6 psu	ขc0.104±0.031^{c}	คc0.035±0.005^{c}	ก0.171±0.024^{bc}	ก0.217±0.025
	12 psu	คc0.083±0.021^{c}	ขb0.136±0.023^{ab}	ข0.155±0.010^{b}	ก0.204±0.010^{b}
	18 psu	b0.154±0.013	ab0.164±0.018^{ab}	0.196±0.023^{c}	0.218±0.008^{c}
	24 psu	คc0.090±0.006^{d}	กขa0.192±0.014^{a}	ข0.161±0.027^{b}	ก0.235±0.029^{c}
พังกาหัวสุม	NW	a0.198±0.020^{ab}	ab0.197±0.012	a0.243±0.017^{a}	0.240±0.015^{a}
	6 psu	กa0.206±0.014^{a}	กa0.225±0.006^{a}	ขc0.161±0.005^{c}	ก0.238±0.023
	12 psu	a0.193±0.008^{a}	b0.167±0.018^{ab}	ab0.228±0.021^{a}	0.238±0.022^{b}
	18 psu	ขb0.147±0.022	คc0.095±0.014^{c}	กab0.215±0.009^{bc}	ก0.264±0.024^{b}
	24 psu	คb0.140±0.007^{ab}	งc0.075±0.013^{c}	ขbc0.200±0.019^{ab}	ก0.276±0.007^{abc}
โปรงแดง	NW	คa0.164±0.017^{b}	คa0.147±0.016	ข0.230±0.008^{a}	กabc0.270±0.009^{a}
	6 psu	ขb0.113±0.023^{c}	ขab0.125±0.022^{b}	ก0.208±0.011^{b}	กbc0.247±0.017
	12 psu	ขb0.116±0.017^{c}	ขc0.087±0.006^{c}	ก0.237±0.022^{a}	กc0.227±0.020^{b}
	18 psu	คa0.167±0.014	คa0.150±0.009^{b}	ข0.239±0.016^{ab}	กa0.295±0.013^{ab}
	24 psu	คa0.162±0.007^{a}	งbc0.094±0.007^{c}	ข0.232±0.015^{a}	กab0.288±0.023^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	$^{ab}0.157\pm0.024^{b}$	$^{ab}0.161\pm0.008$	$^{b}0.126\pm0.016$	0.183 ± 0.005^{a}
	6 psu	$^{ขab}0.147\pm0.020^{a}$	$^{กขa}0.165\pm0.018^{ab}$	$^{ขb}0.129\pm0.011$	$^{ก}0.203\pm0.019^{a}$
	12 psu	$^{c}0.096\pm0.018$	$^{c}0.113\pm0.012$	$^{b}0.163\pm0.027^{a}$	0.156 ± 0.011^{bc}
	18 psu	$^{a}0.177\pm0.011$	$^{a}0.184\pm0.025^{a}$	$^{b}0.134\pm0.015^{ab}$	0.206 ± 0.016
	24 psu	$^{ขbc}0.118\pm0.019^{a}$	$^{ขbc}0.120\pm0.010^{b}$	$^{กa}0.211\pm0.005^{a}$	$^{ก}0.219\pm0.021^{a}$
โกงกางใบใหญ่	NW	$^{a}0.208\pm0.014^{a}$	0.155 ± 0.022	$^{a}0.164\pm0.022$	0.187 ± 0.013^{a}
	6 psu	$^{ขc}0.108\pm0.008^{b}$	$^{ข}0.127\pm0.021^{bc}$	$^{ขb}0.118\pm0.007$	$^{ก}0.169\pm0.010^{a}$
	12 psu	$^{ขbc}0.122\pm0.017$	$^{ข}0.119\pm0.018$	$^{ขb}0.093\pm0.010^{c}$	$^{ก}0.182\pm0.006^{ab}$
	18 psu	$^{ขb}0.150\pm0.021$	$^{ข}0.123\pm0.019^{c}$	$^{ขb}0.108\pm0.008^{b}$	$^{ก}0.204\pm0.022$
	24 psu	$^{ขc}0.104\pm0.013^{ab}$	$^{ก}0.152\pm0.016^{a}$	$^{กa}0.165\pm0.014^{b}$	$^{ก}0.151\pm0.012^{b}$
แสมทะเล	NW	$^{bc}0.085\pm0.014^{c}$	0.116 ± 0.016	0.110 ± 0.025	$^{c}0.105\pm0.019^{b}$
	6 psu	$^{ขabc}0.098\pm0.005^{b}$	$^{ข}0.088\pm0.008^{c}$	$^{ก}0.137\pm0.019$	$^{กขc}0.118\pm0.008^{b}$
	12 psu	$^{ขa}0.138\pm0.015$	$^{ข}0.127\pm0.011$	$^{ข}0.148\pm0.008^{a}$	$^{กa}0.215\pm0.019^{a}$
	18 psu	$^{ab}0.121\pm0.028$	0.130 ± 0.006^{bc}	0.129 ± 0.013^{b}	$^{ab}0.182\pm0.013$
	24 psu	$^{กc}0.075\pm0.009^{bc}$	$^{ข}0.112\pm0.009^{bc}$	$^{ข}0.120\pm0.005^{c}$	$^{กb}0.166\pm0.007^{b}$
พังกาหัวสุม	NW	$^{a}0.147\pm0.012^{b}$	$^{a}0.150\pm0.029$	0.129 ± 0.006	$^{c}0.128\pm0.012^{b}$
	6 psu	$^{a}0.114\pm0.010^{b}$	$^{a}0.135\pm0.024^{abc}$	0.131 ± 0.013	$^{ab}0.163\pm0.008^{a}$
	12 psu	$^{ขb}0.076\pm0.005$	$^{ขb}0.083\pm0.006$	$^{ก}0.142\pm0.012^{ab}$	$^{กbc}0.137\pm0.017^{c}$
	18 psu	$^{ขa}0.117\pm0.015$	$^{กa}0.170\pm0.020^{ab}$	$^{ข}0.118\pm0.009^{b}$	$^{กa}0.182\pm0.011$
	24 psu	$^{ขa}0.139\pm0.017^{a}$	$^{คb}0.069\pm0.004^{d}$	$^{กข}0.150\pm0.017^{bc}$	$^{กa}0.182\pm0.012^{ab}$
โปรงแดง	NW	$^{ขbc}0.137\pm0.011^{b}$	$^{ขab}0.140\pm0.009$	$^{ขbc}0.122\pm0.006$	$^{ก}0.182\pm0.006^{a}$
	6 psu	$^{ab}0.154\pm0.013^{a}$	$^{a}0.182\pm0.016^{a}$	$^{ab}0.141\pm0.009$	0.197 ± 0.028^{a}
	12 psu	$^{c}0.108\pm0.016$	$^{ab}0.149\pm0.030$	$^{c}0.103\pm0.012^{bc}$	0.153 ± 0.009^{bc}
	18 psu	$^{กa}0.187\pm0.022$	$^{ขbc}0.108\pm0.008^{c}$	$^{กa}0.166\pm0.016^{a}$	$^{ก}0.192\pm0.015$
	24 psu	$^{คd}0.061\pm0.009^{c}$	$^{คc}0.088\pm0.012^{cd}$	$^{ขab}0.143\pm0.020^{bc}$	$^{ก}0.211\pm0.025^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	ข0.120±0.020	ข0.128±0.013	ก0.181±0.012^{a}	ก0.186±0.009^{a}
	6 psu	ข0.126±0.021^{ab}	ข0.147±0.009^{a}	ก0.198±0.019^{a}	ก0.223±0.019
	12 psu	ค0.123±0.009^{ab}	ขค0.140±0.007^{a}	ข0.184±0.021^{a}	ก0.238±0.025^{a}
	18 psu	ค0.098±0.016	ขค0.151±0.022	กข0.189±0.017	ก0.239±0.031
	24 psu	ค0.078±0.012	ค0.108±0.008^{bc}	ข0.166±0.026	ก0.244±0.016^{a}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	ข^{a}0.134±0.008	ข0.133±0.009	ก^{a}0.188±0.023^{a}	ก0.208±0.018^{a}
	6 psu	ข^{b}0.090±0.011^{bc}	ข0.074±0.015^{b}	กbc0.153±0.007^{b}	ก0.179±0.026
	12 psu	คb0.078±0.007^{c}	ขค0.098±0.011^{ab}	ข^{c}0.127±0.008^{b}	ก0.239±0.014^{a}
	18 psu	คb0.076±0.023	ค0.099±0.019	ขbc0.156±0.006	ก0.210±0.018
	24 psu	ข^{b}0.091±0.010	ข0.120±0.017^{ab}	กab0.181±0.005	ก0.196±0.011^{bc}
แสมทะเล	**NW**	^{a}0.163±0.006	^{a}0.128±0.008	0.110±0.013^{b}	0.132±0.023^{b}
	6 psu	ขคc0.075±0.009^{c}	คb0.028±0.023^{c}	ข0.123±0.018^{b}	ก0.173±0.016
	12 psu	คc0.061±0.019^{c}	ขคa0.103±0.024^{ab}	กข0.121±0.008^{b}	ก0.165±0.007^{b}
	18 psu	^{b}0.120±0.011	^{a}0.122±0.019	0.147±0.024	0.184±0.019
	24 psu	คc0.069±0.022	กขa0.149±0.018^{a}	ข0.121±0.016	ก0.186±0.009^{c}
พังกาหัวสุม	**NW**	0.151±0.007	ab0.154±0.022	0.178±0.016^{a}	0.194±0.020^{a}
	6 psu	กข0.156±0.018^{a}	กa0.176±0.007^{a}	ข0.120±0.020^{b}	ก0.185±0.012
	12 psu	ข0.139±0.009^{a}	ขb0.130±0.014^{a}	ก0.176±0.014^{a}	ก0.187±0.007^{b}
	18 psu	ขค0.108±0.024	คc0.077±0.019	ข0.159±0.019	ก0.216±0.010
	24 psu	ค0.107±0.008	งc0.059±0.006^{d}	ข0.150±0.018	ก0.214±0.008^{abc}
โปรงแดง	**NW**	ข0.120±0.022	ข0.118±0.025	ก0.173±0.011^{a}	ก0.218±0.013^{a}
	6 psu	ค0.080±0.006^{c}	ค0.101±0.015^{b}	ข0.155±0.015^{b}	ก0.202±0.005
	12 psu	ข0.087±0.027^{bc}	ข0.070±0.021^{b}	ก0.177±0.014^{a}	ก0.185±0.008^{b}
	18 psu	ค0.128±0.020	ค0.121±0.006	ข0.180±0.020	ก0.232±0.022
	24 psu	ค0.119±0.013	ง0.078±0.017^{cd}	ข0.170±0.009	ก0.224±0.013^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.114±0.017^{b}	0.129±0.014	^{b}0.092±0.013	0.146±0.006^{a}
	6 psu	0.110±0.016	0.136±0.028	^{b}0.097±0.017	0.164±0.017
	12 psu	^{ค}0.071±0.005^{cd}	^{ขค}0.092±0.009	^{กขb}0.124±0.015^{a}	^{ก}0.127±0.015^{b}
	18 psu	0.129±0.025	0.143±0.023	^{b}0.104±0.015	0.163±0.016
	24 psu	^{ข}0.091±0.018^{a}	^{ข}0.095±0.015^{a}	^{กa}0.164±0.010^{a}	^{ก}0.180±0.011^{a}
โกงกางใบใหญ่	NW	^{a}0.158±0.013^{a}	0.120±0.012	^{ab}0.121±0.012	0.164±0.029^{a}
	6 psu	^{b}0.082±0.011	0.102±0.027	^{bc}0.089±0.009	0.138±0.011
	12 psu	^{ขb}0.094±0.009^{ab}	^{ข}0.093±0.009	^{ขc}0.070±0.008^{c}	^{ก}0.141±0.08^{b}
	18 psu	^{b}0.113±0.026	0.097±0.018	^{c}0.080±0.017	0.161±0.021
	24 psu	^{b}0.080±0.010^{ab}	0.114±0.013^{a}	^{a}0.122±0.014^{b}	0.121±0.010^{c}
แสมทะเล	NW	^{bc}0.066±0.008^{c}	0.090±0.008	0.083±0.018	^{c}0.082±0.013^{c}
	6 psu	^{bc}0.075±0.009	0.072±0.008	0.097±0.013	^{bc}0.104±0.013
	12 psu	^{ขa}0.103±0.010^{a}	^{ข}0.097±0.011	^{ข}0.112±0.007^{ab}	^{กa}0.176±0.017^{a}
	18 psu	^{ab}0.090±0.016	0.107±0.010	0.093±0.011	^{a}0.156±0.026
	24 psu	^{คc}0.054±0.007^{c}	^{ข}0.087±0.009^{ab}	^{ข}0.091±0.008^{b}	^{กab}0.144±0.012^{bc}
พังกาหัวสุม	NW	0.109±0.027^{bc}	^{a}0.123±0.019	0.095±0.006	^{b}0.103±0.008^{bc}
	6 psu	0.088±0.012	^{ab}0.103±0.016	0.099±0.009	^{a}0.139±0.012
	12 psu	^{ข}0.058±0.007^{d}	^{ขbc}0.066±0.006	^{ก}0.106±0.024^{abc}	^{กb}0.106±0.010^{b}
	18 psu	^{ข}0.086±0.015	^{กa}0.135±0.020	^{ข}0.087±0.012	^{กa}0.144±0.005
	24 psu	^{ก}0.104±0.021^{a}	^{ขc}0.056±0.005^{c}	^{ก}0.113±0.021^{b}	^{กa}0.139±0.009^{bc}
โปรงแดง	NW	^{ขbc}0.106±0.008^{bc}	^{กขab}0.117±0.014	^{ข}0.090±0.013	^{ก}0.141±0.006^{ab}
	6 psu	^{b}0.113±0.015	^{a}0.146±0.021	0.104±0.019	0.156±0.018
	12 psu	^{ขc}0.080±0.006^{bc}	^{กab}0.116±0.017	^{ข}0.078±0.007^{bc}	^{ก}0.134±0.014^{b}
	18 psu	^{กขa}0.143±0.014	^{คbc}0.086±0.015	^{ข}0.122±0.006	^{ก}0.156±0.007
	24 psu	^{คd}0.048±0.006^{c}	^{คc}0.068±0.007^{bc}	^{ข}0.107±0.011^{b}	^{ก}0.175±0.023^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.14 ปริมาณตะกั่วในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณตะกั่ว (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	< 0.025	< 0.025	0.049	0.051
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	0.028	0.029
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
โกงกางใบใหญ่	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	0.088	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	0.030	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
แสมทะเล	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
พังกาหัวสุม	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
โปรงแดง	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	0.028	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025

หมายเหตุ detection limit ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.025 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.15 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความสูง (ซม.)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	68.21±8.02	68.60±7.99	69.40±7.86	70.08±7.75	70.91±7.56	71.27±7.60	72.06±7.53	72.73±7.42	73.42±7.32
	6 psu	81.40±8.44	82.23±8.25	83.02±8.16	83.74±8.32	84.65±8.40	85.46±8.57	86.22±8.73	87.11±8.69	88.23±8.78
	12 psu	82.06±10.02	83.13±9.94	84.03±10.00	85.46±9.98	86.23±10.01	87.20±9.95	88.06±10.15	89.13±10.23	90.07±10.30
	18 psu	73.98±11.34	74.44±11.42	75.18±11.54	75.60±11.61	76.02±11.58	76.57±11.48	77.35±11.51	77.83±11.61	78.23±11.48
	24 psu	63.17±7.57	63.66±7.66	64.20±7.77	64.69±7.80	65.42±7.75	65.96±7.87	66.64±7.95	67.15±7.87	67.70±7.96
แสมทะเล	NW	99.36±18.78	101.57±19.30	103.30±19.08	105.11±19.15	107.70±19.35	110.24±19.68	112.41±19.71	114.30±20.07	116.55±20.34
	6 psu	102.34±19.78	104.85±19.91	106.90±20.02	109.15±19.93	111.37±19.87	114.16±19.90	116.24±20.00	118.37±20.11	120.49±20.20
	12 psu	91.76±17.60	93.30±17.72	96.01±17.67	97.44±17.80	99.54±18.08	101.26±17.99	104.09±18.23	105.60±18.09	107.40±17.99
	18 psu	73.49±11.59	74.54±11.63	75.58±11.74	76.29±11.59	79.45±11.80	80.35±11.96	81.77±12.05	82.87±12.20	85.89±12.36
	24 psu	67.86±9.79	69.18±9.56	70.60±9.61	72.51±9.58	74.73±9.35	76.40±9.66	77.95±9.93	79.70±10.04	82.11±10.28
พังกาหัวสุม	NW	67.68±14.01	68.52±13.98	69.62±14.08	70.91±13.99	72.23±14.03	73.08±13.97	73.93±14.04	75.06±14.12	76.54±14.23
	6 psu	60.83±9.76	61.63±9.85	62.73±9.90	63.49±9.88	64.56±9.95	65.43±10.11	66.55±10.07	67.31±10.13	68.46±10.20
	12 psu	78.21±11.97	79.58±12.01	80.75±12.12	81.84±12.03	83.11±11.92	84.53±11.83	85.76±11.78	86.70±11.87	87.96±12.07
	18 psu	57.05±11.00	57.90±10.97	58.57±10.89	59.54±11.01	60.43±10.99	61.26±10.87	61.87±10.91	62.69±10.89	63.71±10.79
	24 psu	48.29±8.00	48.99±7.90	49.70±7.89	50.06±8.06	50.62±7.94	51.38±7.81	52.14±7.93	52.52±7.86	53.13±7.77
โปรงแดง	NW	52.39±5.25	52.98±5.19	53.29±5.12	53.53±5.18	53.91±5.27	54.45±5.30	54.78±5.26	55.03±5.31	55.37±5.40
	6 psu	55.21±6.89	55.50±6.90	55.86±6.88	56.24±6.79	56.67±6.69	56.98±6.78	57.49±6.82	58.04±6.90	58.49±6.89
	12 psu	48.79±6.22	49.26±6.17	49.74±6.20	50.07±6.15	50.68±6.08	50.98±6.11	51.37±5.98	51.75±6.04	52.37±6.11
	18 psu	52.46±7.39	53.08±7.28	53.45±7.31	53.94±7.18	54.20±7.21	54.95±7.31	55.30±7.24	55.77±7.30	56.00±7.22
	24 psu	42.98±4.56	43.57±4.60	44.01±4.70	44.42±4.69	45.00±4.59	45.43±4.60	45.99±4.50	46.60±4.62	47.19±4.57

ตารางที่ ก.16 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ 15 ซม. จากผิวดิน

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	1.94±0.26	1.97±0.26	1.99±0.25	2.02±0.25	2.04±0.26	2.07±0.25	2.09±0.25	2.12±0.24	2.15±0.24
	6 psu	2.10±0.29	2.12±0.30	2.14±0.30	2.16±0.30	2.19±0.31	2.21±0.30	2.23±0.30	2.25±0.31	2.27±0.31
	12 psu	2.02±0.29	2.05±0.30	2.08±0.29	2.10±0.29	2.13±0.30	2.15±0.30	2.18±0.30	2.21±0.31	2.23±0.31
	18 psu	2.09±0.32	2.13±0.32	2.16±0.33	2.19±0.32	2.22±0.33	2.25±0.34	2.28±0.34	2.31±0.35	2.34±0.35
	24 psu	1.81±0.32	1.84±0.32	1.87±0.31	1.91±0.31	1.94±0.31	1.97±0.32	2.00±0.32	2.03±0.31	2.06±0.31
แสมทะเล	NW	1.04±0.15	1.06±0.15	1.09±0.15	1.11±0.15	1.13±0.16	1.16±0.16	1.18±0.16	1.20±0.16	1.23±0.17
	6 psu	1.15±0.28	1.17±0.28	1.20±0.28	1.22±0.28	1.25±0.28	1.27±0.27	1.30±0.27	1.33±0.26	1.36±0.26
	12 psu	1.05±0.17	1.07±0.17	1.10±0.18	1.12±0.19	1.15±0.19	1.17±0.18	1.19±0.18	1.22±0.18	1.24±0.19
	18 psu	0.88±0.18	0.91±0.18	0.92±0.17	0.94±0.17	0.96±0.17	0.98±0.17	1.00±0.16	1.02±0.16	1.04±0.17
	24 psu	0.75±0.10	0.77±0.09	0.79±0.10	0.81±0.10	0.84±0.11	0.86±0.10	0.88±0.10	0.90±0.10	0.92±0.11
พังกาหัวสุม	NW	1.15±0.29	1.17±0.28	1.19±0.29	1.22±0.29	1.24±0.29	1.25±0.28	1.28±0.29	1.30±0.28	1.32±0.29
	6 psu	0.99±0.16	1.02±0.16	1.05±0.16	1.07±0.17	1.10±0.16	1.13±0.16	1.15±0.16	1.17±0.17	1.19±0.17
	12 psu	1.36±0.22	1.39±0.22	1.42±0.22	1.45±0.23	1.48±0.23	1.51±0.23	1.54±0.24	1.57±0.24	1.59±0.25
	18 psu	1.06±0.22	1.09±0.21	1.11±0.21	1.14±0.22	1.16±0.21	1.18±0.21	1.20±0.22	1.23±0.21	1.25±0.22
	24 psu	0.87±0.18	0.90±0.19	0.92±0.18	0.94±0.18	0.97±0.18	0.99±0.17	1.02±0.18	1.04±0.17	1.06±0.17
โปรงแดง	NW	1.00±0.16	1.02±0.16	1.04±0.15	1.05±0.16	1.07±0.16	1.09±0.16	1.11±0.15	1.13±0.15	1.15±0.15
	6 psu	1.09±0.20	1.10±0.19	1.11±0.20	1.13±0.20	1.15±0.19	1.17±0.20	1.18±0.19	1.20±0.20	1.22±0.20
	12 psu	0.90±0.13	0.92±0.14	0.95±0.14	0.96±0.14	0.99±0.15	1.01±0.15	1.02±0.14	1.05±0.15	1.07±0.14
	18 psu	1.07±0.20	1.09±0.20	1.11±0.20	1.13±0.19	1.15±0.19	1.17±0.20	1.18±0.20	1.21±0.20	1.22±0.19
	24 psu	0.87±0.24	0.89±0.25	0.91±0.24	0.93±0.25	0.96±0.25	0.98±0.25	1.00±0.24	1.02±0.24	1.04±0.24

ตารางที่ ก.17 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพลำต้น (g/m^2)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	60.12±18.55	61.65±18.76	63.38±18.88	65.08±18.93	67.11±19.37	68.58±19.17	70.58±19.37	72.59±18.98	74.37±18.80
	6 psu	78.80±22.64	80.57±23.00	82.45±23.57	84.32±23.96	86.44±24.50	88.34±24.91	90.53±25.38	92.58±25.84	95.08±26.16
	12 psu	74.42±22.35	76.92±23.04	78.96±23.09	81.57±23.38	83.90±24.36	86.15±25.09	88.40±25.31	91.24±26.31	93.68±26.82
	18 psu	73.08±25.13	75.51±25.60	77.78±26.51	79.91±26.92	82.06±27.44	84.45±28.26	87.07±29.35	89.16±29.93	91.24±30.11
	24 psu	51.32±18.77	52.91±19.12	54.62±19.47	56.47±19.94	58.36±20.17	60.32±20.63	62.21±21.06	64.27±21.16	66.07±21.30
แสมทะเล	NW	38.01±10.66	39.66±10.82	41.60±11.04	43.57±11.66	45.69±12.13	47.71±12.49	49.80±13.16	51.89±13.61	54.28±14.16
	6 psu	46.32±18.46	48.31±18.82	50.58±19.81	52.64±20.19	55.04±20.38	57.56±20.58	59.79±20.81	62.33±21.16	65.18±21.77
	12 psu	36.99±11.00	38.36±11.37	40.45±11.82	42.18±12.59	44.19±12.94	45.96±13.15	48.08±13.60	50.15±13.70	52.30±14.44
	18 psu	24.28±7.89	25.36±7.95	26.36±8.04	27.24±8.07	28.96±8.37	30.05±8.46	31.14±8.56	32.57±8.74	34.11±9.16
	24 psu	18.21±4.69	19.05±4.78	20.10±5.13	21.28±5.35	22.83±5.68	23.93±5.76	25.15±5.95	26.37±6.11	27.90±6.57
พังกาหัวสุม	NW	40.03±13.72	41.16±13.62	42.48±13.93	43.81±14.26	45.05±14.37	46.03±14.31	47.41±14.70	48.78±14.70	50.14±14.96
	6 psu	31.77±6.88	33.02±7.03	34.31±7.30	35.42±7.50	36.73±7.56	38.04±7.62	39.17±7.64	40.23±7.83	41.56±7.93
	12 psu	51.85±10.55	53.70±10.80	55.21±11.05	57.01±11.40	58.89±11.51	60.69±11.70	62.56±11.93	64.31±12.30	66.04±12.69
	18 psu	33.26±9.94	34.41±9.88	35.47±10.12	36.74±10.32	37.79±10.40	38.96±10.40	40.01±10.69	41.25±10.72	42.61±11.04
	24 psu	24.44±7.27	25.38±7.50	26.29±7.48	27.14±7.64	27.96±7.48	29.02±7.46	30.09±7.68	30.85±7.63	31.89±7.74
โปรงแดง	NW	22.37±6.39	23.22±6.44	24.00±6.51	24.68±6.67	25.30±6.82	26.10±6.86	27.09±6.85	27.89±6.88	28.70±7.07
	6 psu	26.51±8.48	27.01±8.41	27.77±8.64	28.51±8.80	29.39±8.78	30.15±8.96	30.39±9.00	31.66±9.25	32.63±9.37
	12 psu	18.28±4.76	19.00±4.92	19.93±5.08	20.53±5.22	21.53±5.53	22.28±5.62	22.95±5.59	23.79±5.82	24.88±5.98
	18 psu	24.92±7.55	25.81±7.83	26.68±8.00	27.47±7.95	28.28±8.06	29.21±8.32	29.98±8.40	31.04±8.50	31.82±8.59
	24 psu	15.84±6.95	16.54±7.20	17.34±7.27	18.10±7.70	18.94±7.84	19.73±7.90	20.47±7.83	21.25±7.89	22.07±7.96

ตารางที่ ก.18 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพใบ (g/m^2)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	7.37±4.87	7.71±5.05	8.10±5.20	8.49±5.32	8.99±5.58	9.33±5.59	9.83±5.77	10.31±5.74	10.75±5.75
	6 psu	12.17±6.54	12.68±6.77	13.25±7.09	13.81±7.33	14.47±7.64	15.06±7.98	15.77±8.32	16.44±8.64	17.26±8.88
	12 psu	10.99±6.53	11.69±6.89	12.24±7.05	12.99±7.35	13.71±7.85	14.42±8.32	15.11±8.58	16.05±9.22	16.86±9.70
	18 psu	10.84±6.86	11.50±7.16	12.17±7.65	12.79±7.98	13.43±8.30	14.18±8.72	15.04±0.34	15.71±9.76	16.37±9.97
	24 psu	5.62±3.98	5.94±4.18	6.29±4.41	6.69±4.66	7.09±4.80	7.54±5.03	7.97±5.29	8.44±5.42	8.87±5.58
แสมทะเล	NW	21.64±5.96	22.56±6.05	23.65±6.16	24.75±6.50	25.93±6.76	27.05±6.95	28.21±7.32	29.37±7.57	30.70±7.87
	6 psu	26.25±10.30	27.36±10.50	28.62±11.04	29.77±11.24	31.10±11.34	32.50±11.44	33.74±11.55	35.15±11.74	36.72±12.07
	12 psu	21.07±6.17	21.83±6.37	23.00±6.61	23.97±7.04	25.08±7.23	26.07±7.34	27.25±7.59	28.41±7.64	29.60±8.04
	18 psu	13.94±4.44	14.55±4.48	15.11±4.52	15.61±4.54	16.57±4.70	17.19±4.75	17.80±4.80	18.60±4.90	19.46±5.13
	24 psu	10.52±2.66	10.99±2.71	11.58±2.90	12.25±3.02	13.13±3.20	13.75±3.25	14.44±3.35	15.12±3.44	15.98±3.69
พังกาหัวสุม	NW	14.91±5.05	15.33±5.02	15.81±5.13	16.30±5.25	16.76±5.28	17.12±5.26	17.62±5.40	18.13±5.40	18.63±5.49
	6 psu	11.87±2.54	12.34±2.59	12.81±2.69	13.22±2.77	13.70±2.79	14.19±2.81	14.60±2.81	14.99±2.88	15.48±2.92
	12 psu	19.26±3.87	19.94±3.96	20.49±4.05	21.15±4.18	21.84±4.22	22.50±4.29	23.19±4.37	23.83±4.50	24.46±4.64
	18 psu	12.42±3.67	12.84±3.65	13.23±3.73	13.70±3.81	14.09±3.83	14.52±3.83	14.91±3.94	15.37±3.95	15.86±4.06
	24 psu	9.16±2.69	9.51±2.78	9.85±2.77	10.16±2.83	10.46±2.76	10.85±2.76	11.25±0.18	11.53±2.82	11.92±2.86
โปรงแดง	NW	1.66±0.39	1.71±0.39	1.76±0.39	1.80±0.40	1.84±0.40	1.88±0.41	1.94±0.40	1.99±0.40	2.04±0.41
	6 psu	1.90±0.50	1.93±0.49	1.98±0.50	2.02±0.51	2.07±0.51	2.11±0.52	2.16±0.51	2.20±0.53	2.26±0.53
	12 psu	1.41±0.31	1.45±0.32	1.51±0.32	1.55±0.33	1.61±0.35	1.66±0.35	1.70±0.35	1.75±0.36	1.81±0.37
	18 psu	1.81±0.46	1.86±0.47	1.91±0.48	1.96±0.19	2.01±0.48	2.06±0.49	2.11±0.49	2.17±0.49	2.21±0.50
	24 psu	1.25±0.42	1.29±0.44	1.34±0.44	1.39±0.46	1.44±0.46	1.49±0.47	1.54±0.46	1.59±0.46	1.64±0.46

ตารางที่ ก.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	**NW**	16.530±1.867	14.800±1.570	15.155±0.488	17.200±1.612
	6 psu	13.865±0.403	17.185±1.435	18.060±1.909	17.715±0.799
	12 psu	15.120±1.061	14.375±1.930	14.165±0.629	17.175±0.233
	18 psu	16.560±1.245	16.040±1.782	15.845±1.549	15.990±0.368
	24 psu	15.810±0.834	14.675±1.775	13.460±1.952	13.565±1.930
แสมทะเล	**NW**	20.445±0.813	24.370±0.509	26.595±1.888	26.655±1.124
	6 psu	18.015±0.332	19.985±1.039	18.835±0.247	23.830±1.442
	12 psu	20.790±0.905	28.435±1.167	29.270±1.485	26.630±1.301
	18 psu	18.935±0.544	20.425±0.276	21.535±0.997	24.395±0.686
	24 psu	19.900±0.537	23.810±1.895	24.530±1.400	24.160±0.580
พังกาหัวสุม	**NW**	13.880±0.933	17.115±1.039	18.910±1.442	18.215±1.124
	6 psu	14.390±1.513	17.990±1.230	18.065±0.728	18.670±0.339
	12 psu	14.980±0.608	16.165±0.587	17.140±1.400	19.530±1.513
	18 psu	13.255±0.262	14.350±1.089	17.230±1.499	18.365±1.563
	24 psu	12.910±0.622	17.125±1.846	16.785±0.460	13.970±0.594
โปรงแดง	**NW**	11.510±1.315	12.590±0.778	13.060±1.018	11.370±0.269
	6 psu	11.665±0.969	11.845±1.167	13.385±1.874	11.635±1.407
	12 psu	11.945±0.247	12.230±1.174	13.780±1.640	12.095±1.336
	18 psu	10.875±0.516	12.555±1.648	11.675±1.039	31.145±1.308
	24 psu	10.425±0.785	12.300±0.453	12.990±0.707	14.510±0.877

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.20 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	**NW**	15.185±0.700	12.665±0.813	12.975±0.304	14.355±0.884
	6 psu	12.960±0.127	12.050±0.424	12.535±0.346	14.140±1.075
	12 psu	13.750±0.438	14.275±1.209	12.020±0.311	15.635±0.898
	18 psu	14.090±0.184	13.965±0.304	13.160±0.438	14.825±1.082
	24 psu	14.035±0.262	13.480±1.032	14.265±0.629	14.975±0.912
แสมทะเล	**NW**	18.920±1.315	19.625±0.134	21.015±1.294	19.605±1.167
	6 psu	16.255±0.403	18.440±0.311	19.555±0.884	20.555±1.124
	12 psu	18.955±0.262	20.360±1.301	20.660±1.344	19.445±0.997
	18 psu	16.220±0.481	17.445±0.389	17.475±0.191	18.800±0.566
	24 psu	15.150±0.750	19.215±0.601	18.405±0.757	21.015±1.492
พังกาหัวสุม	**NW**	12.695±0.361	16.355±0.502	18.125±1.464	14.845±0.601
	6 psu	14.225±0.304	13.840±0.368	14.965±1.124	17.300±0.552
	12 psu	13.215±0.460	14.950±1.188	14.630±1.273	15.980±1.881
	18 psu	12.025±0.757	13.070±0.240	13.615±0.431	12.110±1.146
	24 psu	11.545±0.799	15.075±0.219	15.450±0.325	15.560±0.566
โปรงแดง	**NW**	11.670±0.721	10.755±0.658	11.390±1.358	11.930±0.354
	6 psu	11.250±0.849	10.665±1.336	10.605±1.181	11.205±0.403
	12 psu	11.060±0.410	12.040±0.297	12.690±1.344	12.075±1.365
	18 psu	10.340±1.259	9.450±0.948	10.105±0.304	11.455±0.163
	24 psu	9.765±0.445	11.505±1.478	10.735±1.124	11.455±0.403

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.21 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	**NW**	1.557±0.128	1.770±0.128	1.572±0.102	1.432±0.197
	6 psu	1.941±0.336	1.866±0.044	2.104±0.096	2.127±0.029
	12 psu	1.840±0.230	2.259±0.218	2.253±0.152	1.881±0.113
	18 psu	1.755±0.289	1.157±0.619	1.098±0.388	1.254±0.548
	24 psu	1.920±0.525	1.849±0.595	1.708±0.563	1.584±0.582
แสมทะเล	**NW**	3.384±0.456	3.322±0.497	3.468±0.486	3.598±0.488
	6 psu	2.272±0.150	3.606±0.615	3.000±0.380	2.284±0.609
	12 psu	2.541±0.242	3.100±0.337	2.297±0.135	2.468±0.257
	18 psu	2.924±0.099	3.084±0.240	2.927±0.238	2.651±0.071
	24 psu	2.951±0.124	3.114±0.215	3.109±0.068	2.841±0.297
พังกาหัวสุม	**NW**	1.614±0.333	1.831±0.466	1.480±0.066	1.617±0.334
	6 psu	1.559±0.195	1.332±0.358	1.451±0.344	1.450±0.087
	12 psu	1.821±0.397	3.129±0.240	2.378±0.090	1.765±0.386
	18 psu	1.503±0.164	1.192±0.143	1.231±0.141	1.255±0.150
	24 psu	1.486±0.263	1.859±0.314	1.867±0.404	1.648±0.183
โปรงแดง	**NW**	1.855±0.318	1.093±0.138	1.130±0.091	1.401±0.390
	6 psu	1.203±0.333	1.153±0.376	1.548±0.303	1.704±0.285
	12 psu	1.077±0.075	1.069±0.205	1.460±0.146	1.973±0.494
	18 psu	0.968±0.280	1.120±0.178	1.361±0.419	1.278±0.411
	24 psu	1.451±0.415	1.140±0.165	1.106±0.184	1.012±0.129

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.22 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	**NW**	1.473±0.456	1.017±0.251	1.266±0.381	1.214±0.079
	6 psu	1.268±0.227	1.158±0.380	1.300±0.348	1.400±0.374
	12 psu	0.907±0.147	0.905±0.260	0.897±0.070	1.072±0.118
	18 psu	0.975±0.314	0.917±0.188	1.003±0.097	1.221±0.219
	24 psu	1.362±0.156	0.890±0.059	1.136±0.259	1.127±0.152
แสมทะเล	**NW**	2.162±0.297	1.101±0.141	1.943±0.194	2.617±0.457
	6 psu	2.186±0.227	1.617±0.317	2.038±0.517	2.009±0.089
	12 psu	1.093±0.163	0.957±0.188	1.647±0.282	2.045±0.289
	18 psu	1.907±0.307	2.120±0.165	1.955±0.141	1.918±0.258
	24 psu	2.097±0.354	2.474±0.356	2.264±0.195	2.386±0.472
พังกาหัวสุม	**NW**	1.073±0.166	0.631±0.125	0.979±0.201	1.210±0.311
	6 psu	1.037±0.265	0.653±0.152	0.786±0.177	0.929±0.252
	12 psu	1.236±0.263	0.609±0.171	0.786±0.175	0.983±0.073
	18 psu	0.804±0.060	0.439±0.146	0.689±0.128	1.041±0.187
	24 psu	0.910±0.278	1.019±0.128	1.309±0.397	1.316±0.158
โปรงแดง	**NW**	1.266±0.412	0.608±0.183	0.864±0.271	0.890±0.139
	6 psu	0.754±0.116	0.850±0.292	1.037±0.390	0.900±0.090
	12 psu	0.886±0.209	0.463±0.146	0.623±0.067	1.043±0.264
	18 psu	0.820±0.210	0.732±0.102	0.809±0.175	0.878±0.248
	24 psu	1.184±0.411	0.621±0.184	0.739±0.137	1.159±0.396

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก.23 ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณตะกั่ว (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
แสมทะเล	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
พังกาหัวสุม	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
โปรงแดง	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025

หมายเหตุ detection limit ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.025 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: % removal BOD

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SALINITY	4	1215.594052	303.898513	2.33	0.0573
PLANTS	4	2391.524825	597.881206	4.58	0.0015
SALINITY*PLANTS	16	8418.728873	526.170555	4.03	0.0001

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TRT
A	87.486	9	NWnon
A			
A	86.884	9	24non
A			
B A	86.064	9	24Av
B A			
B A C	83.572	9	NWBr
B A C			
B D A C	82.524	9	6non
B D A C			
E B D A C	81.752	9	18Br
E B D A C			
E B D A C	81.688	9	18Ce
E B D A C			
E B D A C	81.544	9	24Rh
E B D A C			
E B D A C F	79.492	9	12non
E B D A C F			
E B D A C F	79.480	9	24Ce
E B D A C F			
E B D A C F	78.582	9	12Av
E B D A C F			
E B D A C F	78.428	9	12Br
E B D A C F			
E B D A C F	78.313	9	6Ce
E B D A C F			
E B D A C F	76.772	9	NWAv
E B D A C F			
E B D A C F	76.661	9	6Av
E B D A C F			
E B D A C F	74.744	9	18Av
E B D A C F			
E B D A C F	74.573	9	6Rh
E B D C F			
E B D G C F	73.117	9	12Rh
E D G C F			
E D G C F	70.831	9	NWCe
E D G F			
E D G F	70.029	9	18Rh
E D G F			
E D G F	69.976	9	18non
E G F			
E H G F	69.077	9	24Br
H G F			
H G F	67.746	9	6Br
H G			
H G	62.143	9	NWRh
H			
H	57.834	9	12Ce

หมายเหตุ NW = น้ำเสียชุมชนปกติ
6 = น้ำเสียความเค็ม 6 psu
12 = น้ำเสียความเค็ม 12 psu
18 = น้ำเสียความเค็ม 18 psu
24 = น้ำเสียความเค็ม 24 psu

non = ไม่ปลูกพืช
Rh = โกงกางใบใหญ่
Av = แสมทะเล
Br = พังกาหัวสุมดอกแดง
Ce = โปรงแดง

รูปที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยการวิเคราะห์แบบ interaction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: % removal TN

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SALINITY	4	5173.180278	1293.295069	161.33	0.0001
PLANTS	4	478.787255	119.696814	14.93	0.0001
SALINITY*PLANTS	16	188.792360	11.799523	1.47	0.1129

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TRT
A	95.862	9	NWAv
A			
A	95.498	9	NWBr
A			
B A	95.063	9	NWRh
B A			
B A C	94.280	9	NWnon
B A C			
B D A C	93.973	9	NWCe
B D A C			
B D A C	93.800	9	6Av
B D A C			
B D A C	93.336	9	12Br
B D A C			
B D A C	93.279	9	12Rh
B D A C			
E B D A C	93.170	9	12Av
E B D A C			
E B D A C	92.989	9	6Br
E B D A C			
E B D A C	92.780	9	6Rh
E B D C			
E B D F C	92.076	9	12Ce
E D F C			
E D F C	91.559	9	18Br
E D F C			
E D F C	91.361	9	18Av
E D F			
E D F	91.061	9	12non
E D F			
E D F	91.013	9	6Ce
E F			
E G F	90.132	9	6non
G F			
G F	89.355	9	18Rh
G			
G H	87.982	9	18Ce
G H			
G H	87.962	9	18non
H			
H	85.798	9	24Av
I	82.304	9	24Br
I			
I	81.663	9	24Rh
J	78.700	9	24Ce
J			
J	77.028	9	24non

หมายเหตุ NW = น้ำเสียชุมชนปกติ
6 = น้ำเสียความเค็ม 6 psu
12 = น้ำเสียความเค็ม 12 psu
18 = น้ำเสียความเค็ม 18 psu
24 = น้ำเสียความเค็ม 24 psu
non = ไม่ปลูกพืช
Rh = โกงกางใบใหญ่
Av = แสมทะเล
Br = พังกาหัวสุมดอกแดง
Ce = โปรงแดง

รูปที่ ก.2 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยการวิเคราะห์แบบ interaction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: % removal TP

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SALINITY	4	6833.417547	1708.354387	22.23	0.0001
PLANTS	4	3447.219791	861.804948	11.22	0.0001
SALINITY*PLANTS	16	1317.898081	82.368630	1.07	0.3841

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TRT
A	81.833	9	24Av
A			
A	78.873	9	24Br
A			
B A	75.244	9	24Rh
B A			
B A C	73.878	9	18Av
B C			
B D C	67.730	9	12Av
B D C			
B E D C	67.532	9	24Ce
B E D C			
B E D C	66.878	9	18non
E D C			
E D C	65.817	9	18Br
E D			
F E D	64.578	9	6Br
F E D			
F E D	64.092	9	24non
F E D			
F E D	63.896	9	12Br
F E D			
F E D	63.772	9	18Rh
F E D			
F E D	63.155	9	6Av
F E D			
F E D	62.699	9	NWAv
F E D			
F E D G	61.267	9	12non
F E D G			
F E D G	60.442	9	6non
F E D G			
F E D G	59.748	9	6Rh
F E D G			
F E D G	59.589	9	6Ce
F E D G			
F E D G	58.690	9	NWBr
F E D G			
F E D G	58.617	9	12Rh
F E D G			
F E D G	58.039	9	18Ce
F E G			
F E G	57.625	9	NWRh
F G			
F G	55.132	9	12Ce
F G			
F G	54.800	9	NWnon
G			
G	52.557	9	NWCe

หมายเหตุ NW = น้ำเสียชุมชนปกติ

6 = น้ำเสียความเค็ม 6 psu

12 = น้ำเสียความเค็ม 12 psu

18 = น้ำเสียความเค็ม 18 psu

24 = น้ำเสียความเค็ม 24 psu

non = ไม่ปลูกพืช

Rh = โกงกางใบใหญ่

Av = แสมทะเล

Br = พังกาหัวสุมดอกแดง

Ce = โปรงแดง

รูปที่ ก.3 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช ด้วยการวิเคราะห์แบบ interaction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติของดินทางกายภาพและเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

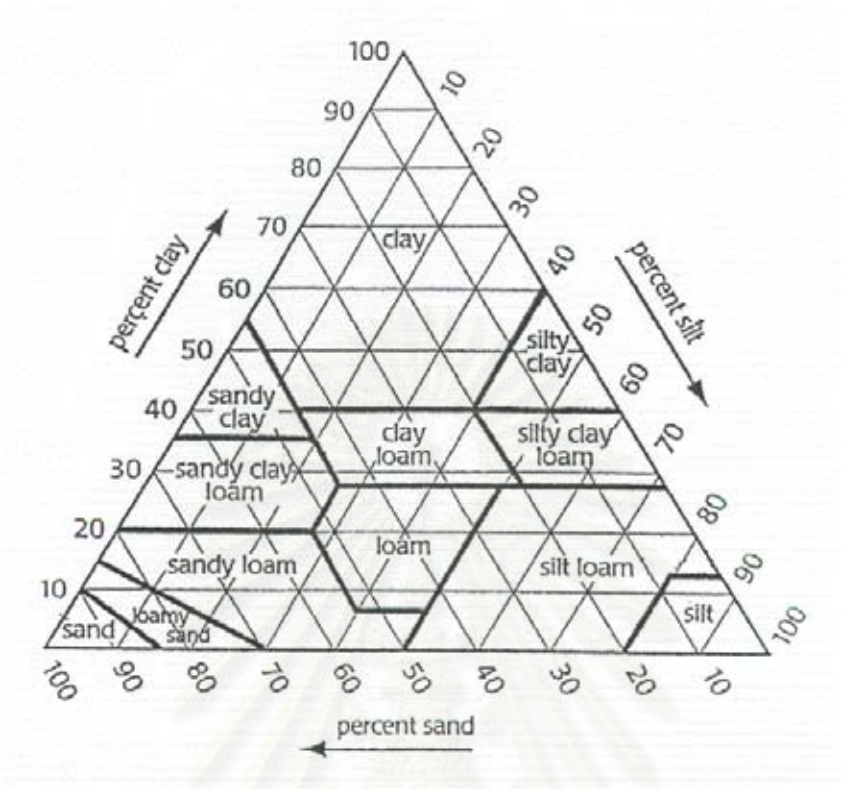
1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

pH	สภาพกรดหรือสภาพด่างของดิน
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5 – 4.5	กรดรุนแรงมาก (extremely acid)
4.6 – 5.0	กรดจัดมาก (very strongly acid)
5.1 – 5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6 – 6.0	กรดจัดปานกลาง (moderately acid)
6.1 – 6.5	กรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6 – 7.3	กลาง (neutral)
7.4 – 7.8	ด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)
7.9 – 8.4	ด่างปานกลาง (moderately alkaline)
8.5 - 9.0	ด่างจัด (strongly alkaline)
> 9.0	ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)

ที่มา: คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2541)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การจัดระบบเนื้อดินตามตารางสามเหลี่ยมเนื้อดินสากลของการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ



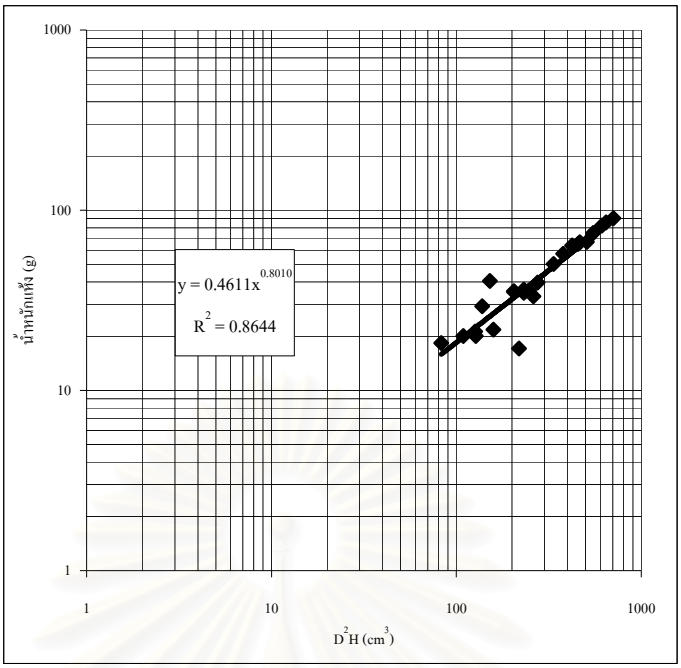
ที่มา: คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2541)

สัญลักษณ์	**Textural class**	**ชนิดของเนื้อดิน**
C	clay	ดินเหนียว
SiC	silty clay	ดินเหนียวปนทรายแป้ง
SiCL	silty clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
CL	clay loam	ดินร่วนเหนียว
SC	sandy clay	ดินเหนียวปนทราย
SCL	sandy clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทราย
Si	silt	ดินทรายแป้ง
SiL	silt loam	ดินร่วนปนทรายแป้ง
L	loam	ดินร่วน
SL	sandy loam	ดินร่วนปนทราย
LS	loamy sand	ดินร่วนปนดินเหนียว
S	sand	ดินทราย

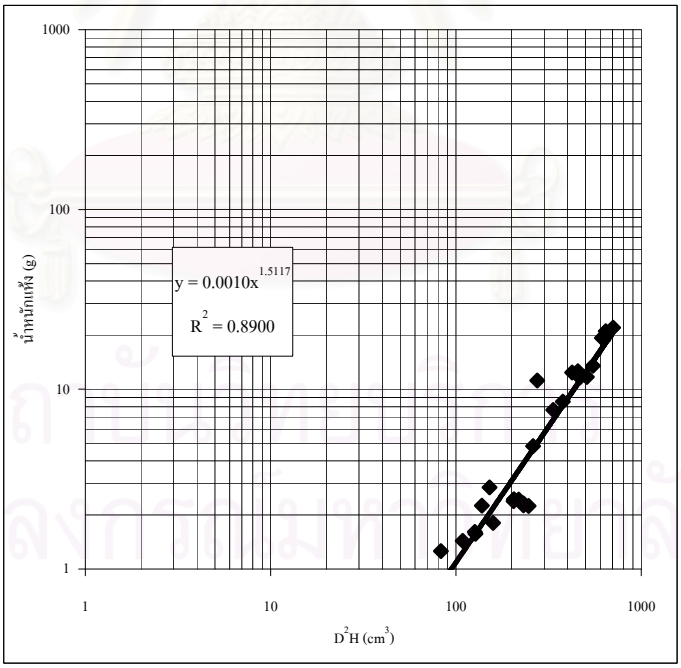
ภาคผนวก ค

สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของกล้าไม้

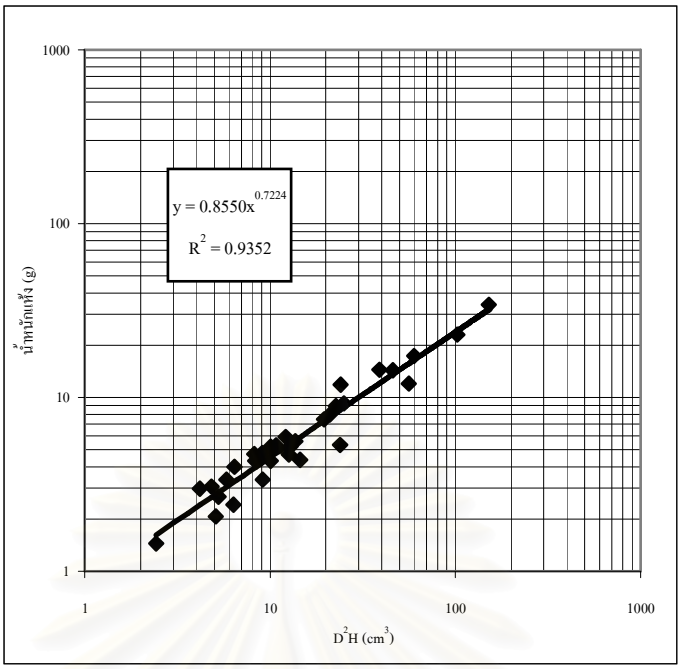
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



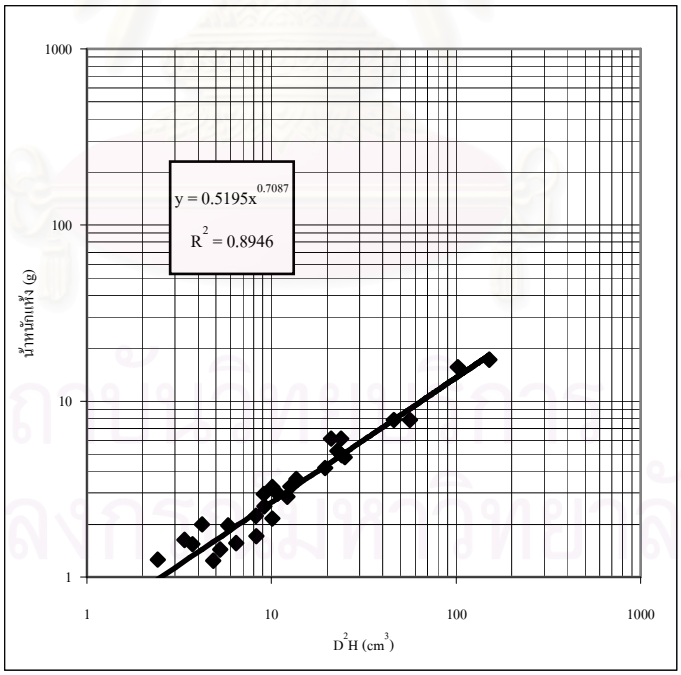
สมการมวลชีวภาพลำต้นโกงกางใบใหญ่



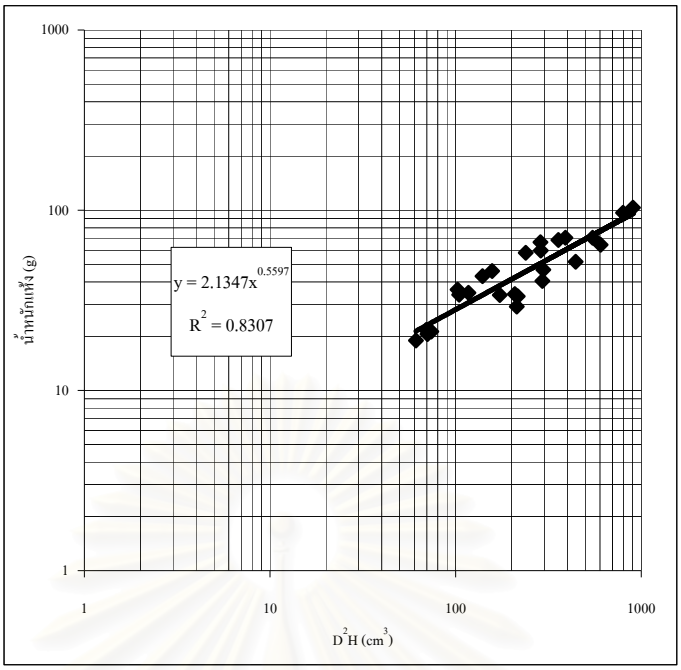
สมการมวลชีวภาพใบโกงกางใบใหญ่



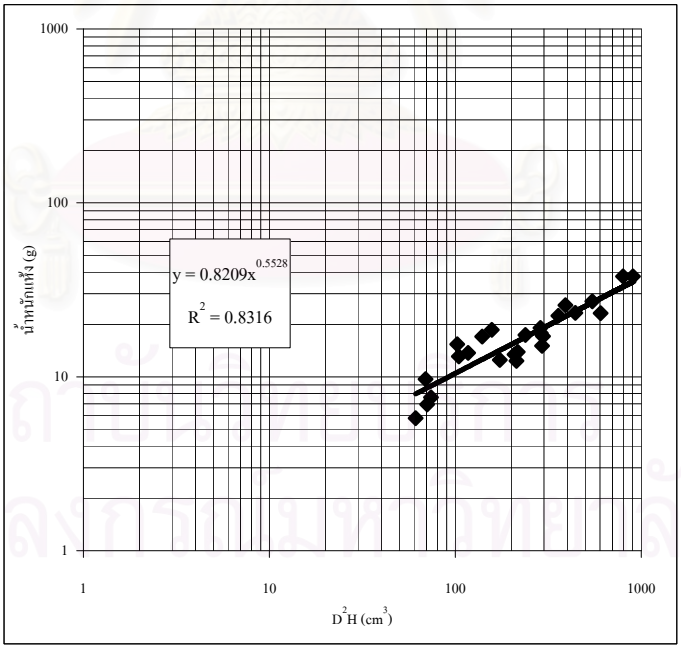
สมการมวลชีวภาพลำต้นแสมทะเล



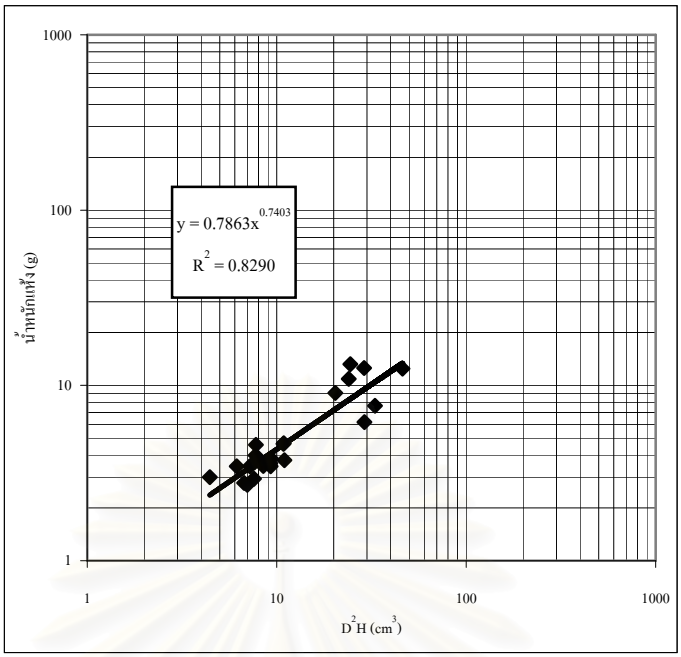
สมการมวลชีวภาพใบแสมทะเล



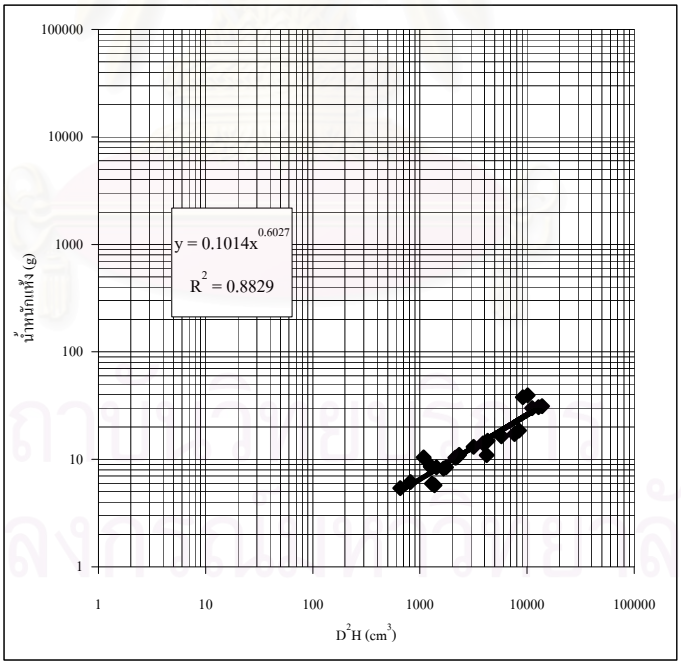
สมการมวลชีวภาพลำต้นพังกาหัวสุมดอกแดง



สมการมวลชีวภาพใบพังกาหัวสุมดอกแดง



สมการมวลชีวภาพลำต้นโปรงแดง



สมการมวลชีวภาพใบโปรงแดง

ภาคผนวก ง

รูปที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดง

ชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

รูปที่ ง.1 ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ก่อนเริ่มทำการทดลอง

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง

ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โปรงแดง

การเก็บตัวอย่างน้ำจากชุดทดลอง

การเก็บตัวอย่างดินจากชุดทดลอง

รูปที่ ง.2 ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง รวมทั้งการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2545 และเข้าศึกษาต่อที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย