ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้การเติมน้ำต่อเนื่อง

นายกิตติภูมิ พุ่มแดง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING CONTINUOUS FLOW ADDED

Mr. Kittipoom pomedang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้การเติมน้ำต่อเนื่อง
โดย	นายกิตติภูมิ พุ่มแดง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล

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 ปิยะธีรธิติวรกุล)

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติภูมิ พุ่มแดง: ผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้การเติมน้ำต่อเนื่อง (EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING CONTINUOUS FLOW ADDED) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.กนกพร บุญส่ง, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 185 หน้า

การทดลองนี้ทำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่สร้างด้วยบ่อซีเมนต์ ขนาดกว้าง 100 ซม. ยาว 200 ซม. และสูง 60 ซม. จำนวน 25 บ่อ โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเค็มของน้ำเสียได้แก่ น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu และน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่ไม่มีการปรับความเค็มเป็นชุดควบคุม และชนิดพืช ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และไม่ปลูกพืช เป็นชุดควบคุม พืชดังกล่าวมีอายุประมาณ 2 ปี ใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน ชุดทดลองทั้งหมดจัดสร้างภายใต้หลังคาพลาสติก ในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ผลการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็มมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสามารถบำบัดได้ในช่วง 81.38-89.50% ส่วนชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสามารถบำบัดได้ในช่วง 57.76-71.59% และชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดทุกพารามิเตอร์ (ยกเว้นบีโอดีและสารแขวนลอยทั้งหมด) สูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาสมบัติของดินภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด) สูงขึ้น โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง มีการสะสมอินทรียวัตถุต่ำกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ ในขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง มีการสะสมธาตุอาหารสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ และดินชั้นบนมีการสะสมอินทรียวัตถุและธาตุอาหารสูงกว่าดินชั้นล่าง ส่วนการสะสมธาตุอาหารในกล้าไม้ ภายหลังการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ใบอ่อนมีการสะสมธาตุอาหารสูงกว่าใบแก่ และกล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพสูงที่สุด ในขณะที่กล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพใบสูงที่สุด การศึกษาปริมาณโลหะหนักในชุดทดลอง พบว่า ทุกชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ และภายหลังการบำบัดน้ำเสีย ดินและใบของกล้าไม้มีปริมาณทองแดงสูงขึ้น โดยที่กล้าไม้แสมทะเลมีการสะสมทองแดงสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น ในขณะที่ปริมาณตะกั่วทั้งในน้ำเสีย ดิน และกล้าไม้มีปริมาณต่ำกว่าค่า detection limit จึงไม่สามารถตรวจวัดได้ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดี ดังนั้นการใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ก่อนปล่อยลงสู่ทะเลจึงมีความเหมาะสม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต กิตติภูมิ พุ่มแดง

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

#4689055020: MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: DOMESTIC WASTEWATER/CONSTRUCTED WETLAND/MANGROVE/HEAVY METAL

KITTIPOOM POMEDANG: EFFECT OF SALINITY ON NUTRIENT AND HEAVY METAL TREATMENT IN DOMESTIC WASTEWATER OF CONSTRUCTED WETLAND PLANTED WITH MANGROVE SPECIES USING CONTINUOUS FLOW ADDED. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. KANOKPORN BOONSONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: ASSOC.PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D., 185 pp.

The experiment was conducted in 25 cement blocks 100×200×60 $(cm.)^3$. The study was designed by varying 2 factors, wastewater salinities (6, 12, 18 and 24 psu and normal wastewater (NW) as a control) and mangrove species approximately 2 year old (*Rhizophora mucronata, Avicennia marina, Bruguiera gymnorrhiza* and *Ceriops tagal* and without plant as a control). The 7-day detention time was applied. All cement blocks were constructed under plastic roof at Royal Leam Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi province. The results indicated that the removal percentage of total nitrogen in experiment units received different salinities was significantly different ($p<0.05$) but no obvious trend was observed. The removal percentage of total nitrogen in experiment units planted with *A. marina* was 81.38-89.50% which was significantly higher than other species. The removal percentage of total phosphorus in experiment units received 24 psu wastewater was the highest, ranging from 57.56 to 71.59%. Furthermore, the results indicated that all experiment units planted with mangrove species showed higher removal percentage in all parameters (excepted BOD and total suspended solid) than control units (without plant) ($p<0.05$). After the experiment, organic matter and nutrients (total nitrogen and total phosphorus) accumulation in surface soil layer were increased. Soil in experiment units received high salinity wastewater had lower organic matter accumulation than those received low salinity wastewater. In contrast, soil in experiment units received high salinity wastewater had higher nutrients than those received low salinity wastewater. Moreover, organic matter and nutrients were accumulated higher in surface soil than the subsurface soil. At the end of the experiment, nutrients were accumulated in young leaves higher than old leaves. In addition, the results indicated that the highest stem and leaf biomass increment rate were found in *R. mucronata* and *A. marina*, respectively. According to the heavy metals, after treatment experiment the copper concentrations in soil and plants were slightly increase. Comparing among mangrove species, *A. marina* showed the highest accumulation rate. The concentrations of lead in water, soil and plants were lower than detection limit. The results suggested that the constructed wetland planted with mangrove species was effective for removing nutrients from wastewater. Therefore, the use of mangrove plantations for domestic wastewater treatment is suitable.

Field of study Environmental Science ..... Student's signature Kittipoom Pomedang

Academic year 2006 ..... Advisor's signature Kanokporn Boonsong

Co-advisor's signature Somkiat Piyatiratitivorakul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ นอกจากนี้ยังคอยให้ความเอาใจใส่ ห่วงใย และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ และศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการศึกษาทดลอง รวมทั้งอนุเคราะห์ในด้านที่พัก และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณโครงการ “การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน” สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนิยม นกน่วม และเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณประธาน สังวร หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการป่าชายเลน พบ.1สำนักงานป่าไม้เขตเพชรบุรี ที่อนุเคราะห์กล้าไม้แสมทะเลและโปรงแดง และคุณสมชาย ดิษฐศร หัวหน้างานป่าไม้ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ที่อนุเคราะห์กล้าไม้โกงกางใบใหญ่และพังกาหัวสุมดอกแดงที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และญาติพี่น้องทุกคนที่กรุณาให้การอุปการะทั้งด้านทุนการศึกษา ความรัก ความห่วงใย และกำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 ข้อจำกัดทางการศึกษา 3

2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 น้ำเสียชุมชนและธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน 4

2.2 โลหะหนัก 6

2.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น 9

2.4 ป่าชายเลน 17

2.5 ป่าชายเลนกับการบำบัดน้ำเสีย 21

3 วิธีดำเนินการศึกษา 25

3.1 สถานที่ทำการทดลอง 25

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 26

3.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง 26

3.4 วิธีการทดลอง 26

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 32

4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 34

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ 34

4.2 ผลการศึกษาสมบัติของดิน 72

4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ 110

5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 137
5.1 สรุปผลการศึกษา 137
5.2 ข้อเสนอแนะ 143
รายการอ้างอิง 145
ภาคผนวก 152
ภาคผนวก ก 153
ภาคผนวก ข 174
ภาคผนวก ค 177
ภาคผนวก ง 182
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 185

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป	4
3.1	ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และโลหะหนักที่เติมลงในน้ำเสียปริมาตร 1,000 ลิตร	26
3.2	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	29
3.3	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน	30
3.4	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช	32
4.1	คุณภาพน้ำเสียชุมชนปกติและน้ำเสียที่ปรับความเค็มที่เข้าสู่ชุดทดลอง	36
4.2	ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม และการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนและหลังทดลอง	39
4.3	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังทดลอง	41
4.4	ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังทดลอง	43
4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี	43
4.6	ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง	47
4.7	ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมด	47
4.8	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง	52
4.9	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด	52
4.10	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังทดลอง	56
4.11	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย	56
4.12	ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังทดลอง	60
4.13	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง	63
4.14	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด	63
4.15	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังทดลอง	67
4.16	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต	67
4.17	ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังทดลอง	71
4.18	ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังทดลอง	71
4.19	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบน (0-10 ซม.)	74
4.20	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)	75
4.21	ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นบน (0-10 ซม.)	77
4.22	ค่าเฉลี่ยความเค็มในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)	78
4.23	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นบน (0-10 ซม.)	80
4.24	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)	81

4.25 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 83
4.26 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 85
4.27 ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 88
4.28 ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 89
4.29 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 91
4.30 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 92
4.31 ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 94
4.32 ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 95
4.33 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 97
4.34 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 98
4.35 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 101
4.36 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 102
4.37 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 104
4.38 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 105
4.39 ปริมาณตะกั่วในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 108
4.40 ปริมาณทองแดงในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 109
4.41 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ 112
4.42 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ 116
4.43 สมการ allometric relation สำหรับคำนวณมวลชีวภาพของกล้าไม้ 119
4.44 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ 121
4.45 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบของกล้าไม้ 122
4.46 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 128
4.47 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 129
4.48 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 131
4.49 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 132
4.50 ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้ 135
4.51 ปริมาณทองแดงในใบอ่อนของกล้าไม้ 136
ผ1 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 154
ผ2 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 155
ผ3 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 156
ผ4 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 157
ผ5 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 158

ผ6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 159
ผ7 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 160
ผ8 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 161
ผ9 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 162
ผ10 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 163
ผ11 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.) 164
ผ12 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) 165
ผ13 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้ 166
ผ14 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ 15 ซม. 167
ผ15 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ 168
ผ16 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบของกล้าไม้ 169
ผ17 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 170
ผ18 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 171
ผ19 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้ 172
ผ20 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้ 173

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	ระบบน้ำไหลเหนือผิวดิน	10
2.2	ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	10
2.3	การส่งผ่านออกซิเจนบริเวณรากพืช	12
2.4	การบำบัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ	14
2.5	การบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ	15
3.1	พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริและที่ตั้งชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น	25
3.2	แสดงตำรับทดลอง	27
4.1	ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	41
4.2	ปริมาณบีโอดีของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	44
4.3	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของชุดทดลอง	45
4.4	ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	48
4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดของชุดทดลอง	49
4.6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	53
4.7	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลอง	54
4.8	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	57
4.9	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของชุดทดลอง	58
4.10	ปริมาณไนเตรทของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	60
4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	64
4.12	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลอง	65
4.13	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง	68
4.14	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลอง	69
4.15	การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม	113
4.16	การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม	117
4.17	มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม	123
4.18	มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม	125
ง.1	ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ. พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ก่อนเริ่มทำการทดลอง	183

ง.2 ชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ณ พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง รวมทั้งการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน 184

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันน้ำเสียจากชุมชนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการขยายตัวของจำนวนประชากร ซึ่งน้ำเสียจากชุมชนโดยทั่วไปเกิดจากกิจกรรมการซักล้างและการชำระร่างกาย ดังนั้นสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนจะมีทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และธาตุอาหารพืช นอกจากนี้อาจมีโลหะหนักบางชนิดปนเปื้อนมาด้วยจากกิจกรรมบางประเภท เช่น การล้างเครื่องยนต์ การเกษตรกรรม เป็นต้น หากน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดย่อมก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำขึ้นได้

การบำบัดน้ำเสียชุมชนในปัจจุบันสามารถทำได้ทั้งกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งกระบวนการบำบัดทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมใช้กันวิธีหนึ่ง คือ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยสามารถใช้บำบัดได้ทั้งน้ำเสียจากชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นระบบที่มีค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาต่ำ สามารถบำบัดธาตุอาหาร สารอินทรีย์ และสารมลพิษอื่นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lim และคณะ, 2003) โดยอาศัยกลไกในการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยกลไกทางกายภาพ กลไกทางเคมี และกลไกทางชีวภาพ ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดจากปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างดิน จุลินทรีย์ และพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยดินจะเป็นตัวดูดซับมลสารในน้ำเสียและสะสมไว้ในดินตะกอน ส่วนบทบาทของพืช คือ การดูดดึง (uptake) ธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และจุลินทรีย์สามารถบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสีย โดยทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนเพื่อบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชนที่ตั้งอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลก่อนปล่อยทิ้งจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากน้ำเสียชุมชนมีธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้มีอยู่อย่างจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (Boto และ Wellington, 1983) อย่างไรก็ตามพันธุ์ไม้ชายเลนแต่ละชนิดจะมีการกระจายตามระดับความเค็มของน้ำทะเลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จากชายฝั่งทะเลไปจนถึงแผ่นดิน ทำให้พันธุ์ไม้ชายเลนมีความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารได้ต่างกัน เช่น พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) สามารถบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่น้ำทะเลมีความเค็มประมาณ 5 psu (Naidoo, 1990) แต่ทั้งนี้พันธุ์ไม้ชายเลนส่วนใหญ่จะเป็นไม้ยืนต้นที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทำให้สามารถนำธาตุอาหารปริมาณ

มากไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ อีกทั้งยังสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ผันแปรรุนแรงได้ดีและมีระบบรากหายใจที่โผล่พ้นผิวดินซึ่งช่วยให้ของแข็งขนาดเล็กตกตะกอน (Boonsong และคณะ, 2002) นอกจากนี้สภาพดินป่าชายเลนที่มีความเข้มข้นของซัลไฟด์และเหล็กสูงทำให้สามารถกักเก็บธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัส รวมทั้งโลหะหนักได้ดี (Tam, 1998) ดังนั้นการศึกษานี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมป่าชายเลน เมื่อได้รับน้ำเสียที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน โดยใช้พันธุ์ไม้ 4 ชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้เด่นและเป็นชนิดที่สำคัญในป่าชายเลนของประเทศไทย (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปลูกป่าชายเลนเพื่อช่วยบำบัดมลพิษบริเวณชายฝั่งทะเล

1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนต่างชนิด ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง เมื่อใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบเติมต่อเนื่อง

(2) เพื่อศึกษาการสะสมธาตุอาหาร และโลหะหนัก ในดินและพันธุ์ไม้ชายเลนที่ได้รับน้ำเสียความเค็มแตกต่างกันในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

(1) ชุดทดลองจัดสร้างภายใต้โรงเรือนในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

(2) ชนิดของกล้าไม้ที่ใช้มี 4 ชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ซึ่งกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิดมีอายุประมาณ 2 ปี

(3) น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีและเขตใกล้เคียง ซึ่งได้รวบรวมส่งตามแนวท่อมายังพื้นที่โครงการฯ ด้วยระยะทางประมาณ 18.5 กิโลเมตร และน้ำเสียชุมชนซึ่งปรับให้มีความเค็มต่างกัน 4 ระดับ คือ 6, 12, 18 และ 24 psu โดยการผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ทราบถึงผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนต่างชนิดกัน

(2) ทราบถึงการสะสมธาตุอาหารรวมทั้งโลหะหนักในดินและพันธุ์ไม้ชายเลน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ได้รับน้ำเสียความเค็มแตกต่างกัน

(3) ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปลูกป่าชายเลนเพื่อช่วยบำบัดมลพิษบริเวณชายฝั่งทะเล

1.5 ข้อจำกัดทางการศึกษา

(1) ชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ขนาดจำกัด คือ กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 100×200×60 เซนติเมตร ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองโดยใช้กล้าไม้ชายเลนขนาดเล็กรวมทั้งใช้ระยะปลูกเท่ากับ 15×15 เซนติเมตร (72 ต้น/ชุดทดลอง) ซึ่งค่อนข้างหนาแน่น อาจเป็นผลให้การเจริญเติบโตของกล้าไม้เป็นไปอย่างจำกัด ทำให้กล้าไม้เร่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เพื่อแย่งรับแสงแดด ในขณะที่การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำ นอกจากนี้ดินที่ใช้ในการทดลองแม้ว่าจะเป็นดินป่าชายเลน แต่การขุดดินเพื่อย้ายลงในบ่อทดลอง อาจมีการพลิกกลับหน้าดิน ทำให้โครงสร้างของดินสูญเสียไป เป็นผลให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเปลี่ยนไป เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อินทรียวัตถุ ธาตุอาหาร และเนื้อดิน เป็นผลให้ประจุและพื้นที่ผิวของอนุภาคดินเปลี่ยนไปด้วย โดยสมบัติของดินดังกล่าวมีผลต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การตกตะกอน (precipitation) การดูดซับ (adsorption) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) ของดิน ซึ่งปัจจัยทั้งหมดนี้มีผลต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสีย

(2) โดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนมีปริมาณโลหะหนักต่ำ จากการศึกษาคุณภาพน้ำในท่อระบายน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า มีปริมาณปรอท นิกเกิล ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม เท่ากับ 0.138, 0.041, 0.037, 0.024 และ 0.007 mg/l ตามลำดับ (สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และคณะ, 2543) ซึ่งต่ำกว่าค่า detection limit ของเครื่อง atomic absorption ที่ใช้ตรวจวัด คือ ค่า detection limit ของทองแดงและตะกั่วเท่ากับ 0.100 และ 0.500 mg/l ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงปรับเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่วและทองแดง) อีก 2 mg/l เพื่อให้สามารถวัดปริมาณโลหะหนักดังกล่าวได้และสามารถหาประสิทธิภาพการบำบัดได้ชัดเจนขึ้น

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชนและธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน

2.1.1 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (municipal wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกในครัวเรือนและอาคารประเภทต่างๆรวมถึงน้ำเสียจากกิจกรรมที่เป็นอาชีพ เช่น น้ำเสียจากโรงแรม โรงพยาบาล ร้านอาหาร เป็นต้น (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2546)

น้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประชากร และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำจากครัวเรือน โดยน้ำเสียชุมชนจากครัวเรือนที่เกิดจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 150-216 ลิตร/คน/วัน หรือเฉลี่ยประมาณ 180 ลิตร/คน/วัน ซึ่งจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ ไขมัน และเชื้อโรคปะปนอยู่ด้วย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) นอกจากนี้ปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะแตกต่างกันออกไปตามประเภทต่างๆของอาคารและลักษณะของระบบประปา ในบ้านพักแบบทันสมัยที่มีมาตรฐานการครองชีพสูงจะมีอัตราการใช้น้ำมากกว่าในบ้านพักแบบเก่าที่มีมาตรฐานการครองชีพต่ำ ปริมาณน้ำเสียอาจคำนวณได้จากข้อมูลการใช้น้ำ กล่าวคือ ประมาณร้อยละ 70-90 ของปริมาณน้ำประปาที่ใช้จะกลายเป็นน้ำเสีย (อภิชัย เชียร์ศิริกุล, 2533) โดยลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

องค์ประกอบ	มก./ลิตร	กรัม/คน/วัน
บีโอดี (BOD)	110-400	80-120
ซีโอดี (COD)	$1.75\times BOD_5$	$1.75\times BOD_5$
ของแข็งทั้งหมด	350-1200	170-220
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	100-350	70-145
ไนโตรเจนทั้งหมด	20-85	6-12
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	4-15	0.6-4.5
ปริมาณสารละลายทั้งหมด	100-300	-
ไขมัน (Grease)	50-150	10-30

ดัดแปลงจาก : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2542)

2.1.2 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน

2.1.2.1 ไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน มี 2 ประเภท คือสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือเป็นของแข็งแขวนลอย เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยูเรีย โดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการขับถ่ายของเสียของมนุษย์และสัตว์ ในรูปของปัสสาวะและอุจจาระ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตตายลง ทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อถูกย่อยสลายกลายเป็นของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ชัยพร ภู่ประเสริฐ, 2538) และสารอินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) เช่น แอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เป็นต้น โดยสารเหล่านี้อาจอยู่ในรูปของปุ๋ยและเกลือในปัสสาวะ ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และรีดักชัน (reduction) เปลี่ยนรูปไปมาตามวัฏจักรของไนโตรเจนในน้ำ และไนโตรเจนอาจถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen gas) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide) และไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) ได้ (Johnston, 1993)

เนื่องจากน้ำเสียชุมชนมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ โดยไม่ผ่านการบำบัดย่อมก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งทำให้ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ในน้ำลดลง ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

2.1.2.2 ฟอสฟอรัส

สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลได้ 3 รูปแบบ (US.EPA, 2000) คือ

(1) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates) จะเป็นพวกอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผงซักฟอกต่างๆ

(2)โพลีฟอสเฟต (polyphosphate) เกิดจากการรวมตัวของฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไปกับอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจน

(3) ฟอสฟอรัสอินทรีย์ (organic phosphorus) ส่วนมากพบในรูปของของเสียจากมนุษย์และสัตว์ เศษอาหาร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

โดยสารประกอบฟอสฟอรัสสองรูปแบบแรกเป็นอนินทรียสารที่ส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ดี และออร์โธฟอสเฟตเป็นฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ สาหร่ายและพืชที่มีระบบท่อลำเลียงสามารถดูดดึงไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมได้ (Mitsch และ Gosselink, 2000) ส่วนโพลีฟอสเฟตสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส และฟอสเฟตอินทรีย์อาจจะเป็นพวกที่ละลายน้ำได้หรือแขวนลอยในน้ำก็ได้

ถ้าสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีมากและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ อาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันโดยเฉพาะแหล่งน้ำนิ่ง เนื่องจากสาหร่ายและพืชน้ำใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกับไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

2.2 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 22-34 และ 40-52 ในตารางธาตุ รวมทั้งธาตุในอนุกรมแลนทาไนด์และแอกติไนด์ (อธิษฐาน ทิมแย้มประเสริฐ, 2544) ซึ่งโลหะหนักที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น ไททาเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส ดีบุก เหล็ก เงิน นิเกิล ตะกั่ว ปรอท ทองแดง สังกะสี และสารหนู (Murphy และคณะ, 1982)

2.2.1 ชนิดของโลหะหนัก

2.2.1.1 ตะกั่ว

(1) ลักษณะและสมบัติ

ตะกั่วเป็นธาตุในหมู่ 4A มีเลขอะตอม 82 เลขมวล 207.2 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 และ 4 มีไอโซโทปที่เสถียร 4 ไอโซโทป มีความถ่วงจำเพาะ 11.33 จุดหลอมเหลว 327.4 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,755 องศาเซลเซียส เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของยูเรเนียม (206) ทอเรียม (208) และ แอคทีเนียม (207) ซึ่งเป็นธาตุหนัก ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ช้าๆ ในน้ำที่เป็นกรดอย่างอ่อน (Hawley, 1977)

(2) แหล่งกำเนิดและการใช้ประโยชน์

ตะกั่วในธรรมชาติจะมีแหล่งกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปร เป็นธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยพบในรูปของสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) และตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ตะกั่วนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่างทั้งในรูปของโลหะและในรูปของสารประกอบทางเคมี เช่น ใช้ทำแบตเตอรี่ ตัวพิมพ์ ส่วนประกอบในสีเพื่อป้องกันสนิม เป็นต้น โดยพบว่าตะกั่วจะถูกนำมาใช้ปริมาณที่มากกว่าโลหะหนักตัวอื่นๆ เช่น แมงกานีส แคดเมียม เป็นต้น (อธิษฐาน ทิมแย้มประเสริฐ, 2544)

(3) การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษ

ตะกั่วสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งจากการพังทลายของแผ่นเปลือกโลก และการนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนและชุมชน และยาปราบศัตรูพืชจากการเกษตรกรรม เป็นต้น โดยตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ สัตว์ และพืช มนุษย์สามารถรับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหาร ทางผิวหนังและการหายใจ และจะสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น ฟัน โลหิต กระดูก และกล้ามเนื้อ เป็นต้น พิษของตะกั่วมีทั้งพิษเฉียบพลัน คือ มีอาการ

ปวดท้องรุนแรง ท้องร่วง กล้ามเนื้อ ตับ ไต หัวใจล้มเหลวถึงตายได้ และพิษเรื้อรังคือ เกิดโรคโลหิตจาง เนื้องอกและมะเร็ง (อธิษฐาน ทิมแย้มประเสริฐ, 2544)

2.2.1.2 ทองแดง

(1) ลักษณะและสมบัติ

ทองแดงเป็นโลหะสีส้มอยู่ในหมู่ 1B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.9 จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,730 องศาเซลเซียส มีความเหนียว เป็นมันวาว มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก ทองแดงมีเลขออกซิเดชัน 2 ค่า คือ +1 และ +2 (Hawley, 1977)

(2) แหล่งกำเนิดและการใช้ประโยชน์

ทองแดงเป็นสินแร่ที่มีมากในธรรมชาติ ซึ่งพบหลายรูปด้วยกันแต่ที่พบมากจะอยู่ในรูปซัลไฟด์ โดยพบได้ทั่วๆ ไปในสิ่งแวดล้อมต่างๆ แต่พบมากในแหล่งน้ำดิบ ทองแดงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า ชุบและเคลือบโลหะ เป็นต้น (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

(3) การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษ

ทองแดงที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมมักมาจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช สารฆ่าเชื้อราและจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำเป็นส่วนใหญ่ ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน และมีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของพืช แต่สิ่งมีชีวิตต้องการเพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น หากได้รับมากเกินไปทำให้อาจเกิดความเป็นพิษขึ้นได้ โดยเฉพาะหากมีการปนเปื้อนปริมาณมากในแหล่งน้ำ อาจส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและทำให้ตายได้ (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

2.2.2 แหล่งกำเนิดโลหะหนักในน้ำเสียชุมชน

โลหะหนักในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มีที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ

2.2.2.1 แหล่งเกษตรกรรม ที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งหลายชนิดจะมีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ เช่น สารกำจัดเชื้อรามีทองแดง เป็นต้น ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชส่วนใหญ่สลายตัวยาก และสารพิษตกค้างเหล่านี้เมื่อเกิดการกัดเซาะหน้าดินโดยน้ำฝนจะถูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำ

2.2.2.2 แหล่งชุมชน ชุมชนเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำได้มาก โดยส่วนใหญ่เป็นโลหะหนักที่ปนอยู่กับขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลต่างๆ ซึ่งมีชิ้นส่วนวัสดุที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบอยู่ เช่น กระดาษ สีทาบ้าน ถ่านไฟฉาย กากหม้อแบตเตอรี่รถยนต์ และเศษภาชนะที่เคลือบด้วยโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้ยานพาหนะยังเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้มีการกระจายตัวของตะกั่วในบรรยากาศในแหล่งชุมชนอีกด้วย

2.2.3 การสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

โลหะหนักชนิดต่างๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำ สามารถสะสมตัวอยู่กับตัวกลาง เช่น ดินตะกอน พืชน้ำ สัตว์น้ำ หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างอิสระในปริมาณต่างกัน ซึ่งโลหะหนักที่ปะปนหรือสะสมอยู่ในตัวกลางเหล่านี้ สามารถเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายไปตามห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งลักษณะการสะสมและการเคลื่อนย้ายในตัวกลางแต่ละชนิดในแหล่งน้ำสามารถแบ่งได้ดังนี้ (สุภาภรณ์ เพ็ญธิสาร, 2544)

2.2.3.1 การสะสมของโลหะหนักในน้ำ

โลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำมีทั้งในรูปที่ละลายน้ำ (dissolved) และรูปสารแขวนลอย (suspended solid) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของสารแขวนลอยและพวกที่ละลายน้ำแตกต่างกัน โดยพวกที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยจะมีระยะเวลาในน้ำทะเล (residence time) นานกว่าพวกที่ละลายน้ำ โดย Aston (1973) อ้างถึงใน สุภาภรณ์ เพ็ญธิสาร (2544) ได้กล่าวว่า ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมผสานของน้ำในแม่น้ำและน้ำทะเล อาจนำไปสู่การกำจัดหรือการเพิ่มของธาตุที่ละลายน้ำ ยิ่งกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมินั้นยังมีผลต่อการละลายของธาตุเหล่านั้นอีกด้วย

2.2.3.2 การสะสมโลหะหนักในดินตะกอน

การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอนนั้น ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการสะสมตามธรรมชาติ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลจากการใช้และปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ โดยทั่วไปโลหะหนักสามารถสะสมในดินตะกอนในปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าในน้ำมาก องค์ประกอบในดินตะกอนที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ พวกคาร์บอเนตและออกไซด์ของแมงกานีสและเหล็ก ตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต่างศักย์รีดอกซ์ (redox potential) ที่เกิดขึ้นในดินตะกอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนด้วย (Tessier และคณะ, 1979)

2.2.3.3 การสะสมโลหะหนักในพืช

การสะสมโลหะหนักในพืชเกิดขึ้นโดยการดูดซับจากน้ำโดยตรง ซึ่งพืชน้ำจะไม่สามารถควบคุมปริมาณโลหะหนักที่สะสมได้ ปริมาณการสะสมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายหรือแขวนลอยในแหล่งน้ำเป็นสำคัญ รวมถึงอายุของพืช พืชน้ำต่างชนิดมีความสามารถในการสะสมปริมาณโลหะหนักได้แตกต่างกัน โดย Alloway (1990) กล่าวว่า การดูดซับโลหะหนักโดยพืชจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นและชนิดของโลหะหนักในสารละลายดิน การเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากดินสู่บริเวณผิวราก (rhizosphere) การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากผิวรากไปยังราก และการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากรากสู่ลำต้น

2.2.3.4 การสะสมโลหะหนักในสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำส่วนใหญ่สะสมโลหะหนักโดยการกินอาหารในลักษณะต่างๆ ตามชนิดของสัตว์น้ำนั้นๆ การสะสมโลหะหนักโดยการดูดซึมจากน้ำเข้าไปโดยตรงเกิดขึ้นน้อยมาก และการสะสมโลหะหนักในสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นตามลำดับการบริโภคในห่วงโซ่อาหาร

2.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น (constructed wetland system)

2.3.1 ความหมายและประเภทของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น หมายถึง พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการบำบัดน้ำเสีย การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียจะแตกต่างกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติตรงที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น โดยอาศัยกฎเกณฑ์การออกแบบต่างๆ แต่มีหลักการเบื้องต้นเหมือนกัน (Bastain, 1989) ซึ่งกลไกในการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นจะเลียนแบบกลไกการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติคือ อาศัยดิน น้ำ พืชและจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย (Mitsch และ Gosselink, 2000)

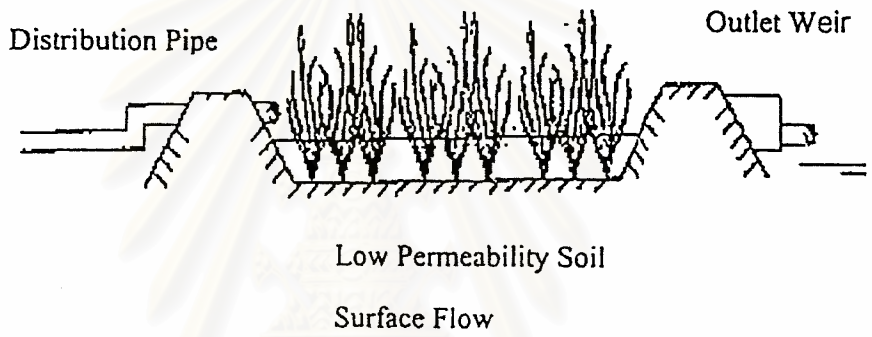
ในปัจจุบันพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการออกแบบก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาระบบทำได้ง่ายไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีสูง ประกอบกับมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ (Clough และคณะ, 1983) อีกทั้งระบบยังมีความยืดหยุ่นสูง โดยการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ของระบบให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ มีการควบคุมระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (hydraulic detention time) คัดเลือกชนิดของตัวกลาง รวมทั้งชนิดพืชที่จะใช้ปลูกในระบบให้เหมาะสมกับการรองรับมลสารในน้ำเสีย เช่น บีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ธาตุอาหาร และโลหะหนัก เป็นต้น (Poh-eng และ Polprasert, 1998) โดยทั่วไปจะแบ่งพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วๆ ไปคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่รูปแบบของการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ คือ

2.3.1.1 ระบบน้ำไหลผ่านพื้นผิว (free water surface; FWS หรือ surface flow wetlands)

มีลักษณะการทำงานเหมือนพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ประกอบด้วยตัวกลางและพืชน้ำหลายชนิด น้ำเสียจะไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลางแล้วไหลซึมลงสู่พื้นบ่อโดยน้ำเสียจะสัมผัสกับอากาศโดยตรง พืชที่ใช้ปลูกจะเป็นพืชโผล่พ้นน้ำ (emergent plant) ที่มีส่วนทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยรากพืชที่ยึดเกาะกับดินจะช่วยในการตกตะกอนและกรองสารแขวนลอย และสารอินทรีย์ต่างๆ อีกทั้งยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ซึ่งจะอาศัยออกซิเจนที่ส่งผ่านมาทางรากพืชในการทำปฏิกิริยาเพื่อย่อยสลายอินทรียสารและสารประกอบอื่นๆ เป็นบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น (Reed และคณะ, 1995) ดังภาพที่ 2.1

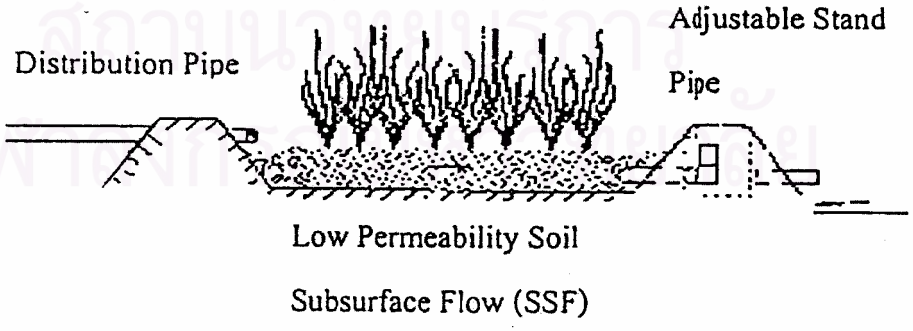
2.3.1.2 ระบบน้ำไหลใต้ผิวตัวกลาง (subsurface flow wetlands; SF)

เป็นระบบที่แตกต่างจากพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากไม่มีน้ำที่สัมผัสกับอากาศโดยตรง เป็นการบำบัดโดยผ่านน้ำเสียลงไปในชั้นตัวกลางซึ่งได้แก่ หิน กรวด ดิน และทราย โดยด้านล่างของระบบจะปูด้วยแผ่นโพลีเอธิลีน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมสู่น้ำใต้ดิน และต้องมีความลาดชันเล็กน้อยเพื่อป้องกันน้ำขัง น้ำเสียจะถูกบำบัดภายใต้ตัวกลางระหว่างสัมผัสกับผิวของตัวกลางและรากพืช ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศของพืชเป็นหลัก โดยจุลินทรีย์จะอาศัยออกซิเจนที่ส่งจากยอดมาสู่รากพืชในการดำรงชีวิต และย่อยสลายมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมศิลป์โรจน์, 2542) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ระบบน้ำไหลเหนือผิวดิน (free water surface system; FWS)

ที่มา: Kadlec และ Knight (1996)



ภาพที่ 2.2 ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน(subsurface flow system; SFS)

ที่มา: Kadlec และ Knight (1996)

2.3.2 บทบาทของดิน พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำ

2.3.2.1 บทบาทของดิน

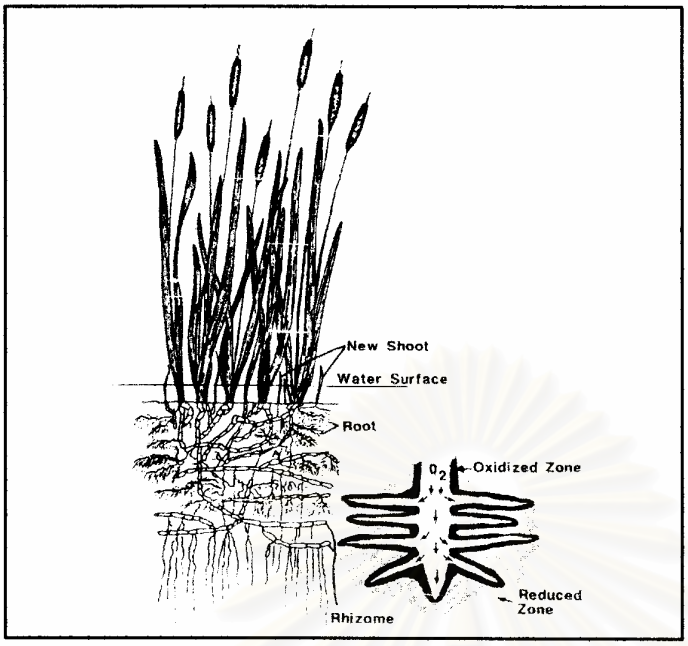
ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ เนื่องจากถูกน้ำขังเป็นเวลานานทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้น ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำจึงแตกต่างจากดินทั่วไป คือ เป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และเป็นดินที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ (ลักษณี คณานิธินันท์, 2539) โดยลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาในการท่วมขังของน้ำ อัตราการย่อยสลายของดิน และการเกิดออกซิเดชันของดิน ซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยา จึงเป็นสาเหตุให้ดินขาดออกซิเจนในที่สุด (Mitsch และ Gosselink, 2000)

ดินมีบทบาทในการเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์และเป็นที่ยึดเกาะของรากพืช เพื่อให้พืชเจริญเติบโต และช่วยบำบัดโดยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี (ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล, 2539) โดยลักษณะทางภายภาพของดินจะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกันกล่าวคือ ดินทรายหรือดินเม็ดใหญ่จะมีระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำกับดินน้อย ในขณะที่ดินเหนียวที่มีอนุภาคดินเล็กกว่าทำให้มีระยะเวลาสัมผัสนานกว่า แต่รากพืชจะเติบโตหรือชอนไชผ่านได้ยาก (Adcock และคณะ, 1995 อ้างถึงใน ลักษณี คณานิธินันท์, 2539) โดยดินที่เหมาะสำหรับการบำบัดธาตุอาหาร คือ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วนเหนียว (clay loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) และดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) (Cooper, 1990 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

ส่วนลักษณะทางเคมีของดินเป็นความสามารถในการบำบัดหรือเคลื่อนย้ายมลสารต่างๆ ในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับประจุของอนุภาคดิน และพื้นที่ผิวของอนุภาค ซึ่งโดยส่วนใหญ่อนุภาคดินจะมีประจุลบทำให้ประจุบวกสามารถยึดเกาะได้ ซึ่งกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การตกตะกอน (precipitation) การดูดซับ (adsorption) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

2.3.2.2 บทบาทของพืช

พืชจะมีบทบาททั้งทางตรงและทางอ้อมในการบำบัดน้ำเสียกล่าวคือ ในทางตรงการบำบัดจะขึ้นอยู่กับความสามารถของรากพืชที่จะดูดดึง (uptake) มลสารต่างๆ และกระบวนการทางชีวเคมีภายในของพืชเอง ส่วนทางอ้อมพืชจะช่วยในการชะลอความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ (Cronk และ Fennessy, 2001) อีกทั้งรากพืชยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่ช่วยบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้รากพืชยังเป็นทางลำเลียงออกซิเจนจากยอดลงมาทำให้เกิดออกซิเจนเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เรียกว่า rhizosphere บริเวณรอบๆ รากพืช ดังภาพที่ 2.3 ทำให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร ไอออนโลหะ และสารประกอบอื่นๆ ได้ (Kadlec และ Knight, 1996)



ภาพที่ 2.3 การส่งผ่านออกซิเจนบริเวณรากพืช
ที่มา: Hammer (1989)

พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดในที่ที่มีน้ำท่วมขัง โดยการพัฒนาเซลล์พวก aerenchyma ขึ้นมาทำหน้าที่ในการลำเลียงออกซิเจนระหว่างรากและยอด การมีรากค้ำจุน (adventitious root) ของพืชชายเลนก็เป็นวิธีการหนึ่งในการปรับตัว เพื่อดูดดึงออกซิเจนและธาตุอาหารจากน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเซลล์พวก lucanae และ lenticel บริเวณลำต้นอีกด้วย (Guntenspergen และคณะ, 1989)

2.3.2.3 บทบาทของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญ 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียและพวกราต่างๆ โดยมีทั้งประเภทที่เกาะอยู่กับตัวกลาง เช่น ดิน ลำต้นหรือรากพืช เป็นต้น และประเภทที่ลอยอิสระอยู่ในน้ำ โดยจุลินทรีย์ทั้ง 2 ประเภท จะมีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียได้ทั้งในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ คือ กระบวนการเปลี่ยนรูป (transformation) กระบวนการดูดซึม (assimilation) และการหมุนเวียนสาร (circulation)

2.3.3 การบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

การบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น จะอาศัยทั้งกระบวนการทางภายภาพ เคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นในดินและน้ำ โดยการบำบัดดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ คือ (1) ธาตุอาหารจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในสภาวะก๊าซและระเหยออกไปในบรรยากาศ (2) การระบายน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำออกจากระบบ (3) การสะสมไว้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำโดย

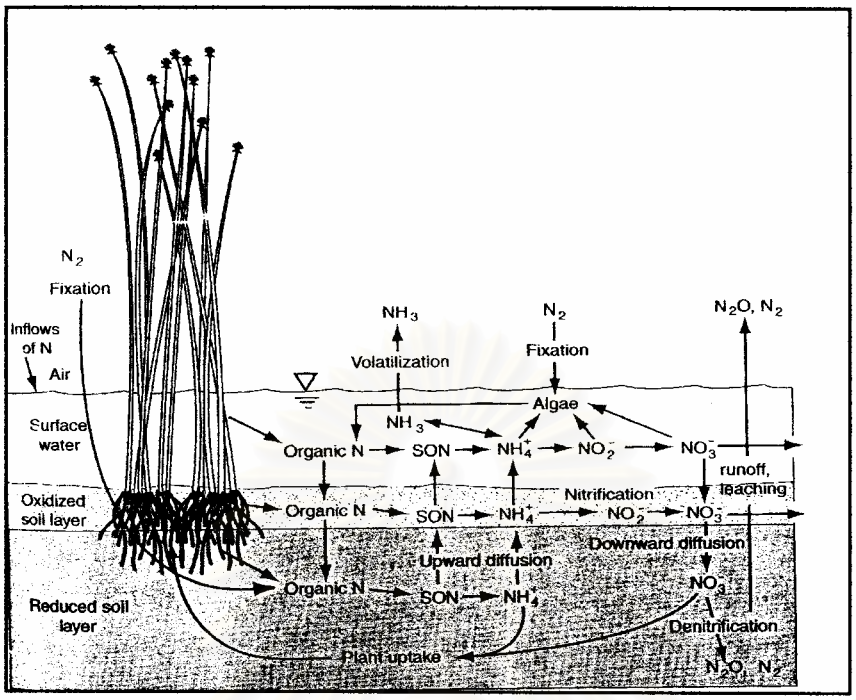
การตกตะกอนและสะสมอยู่ในดิน รวมทั้งพืชที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Bolton และ Greenway, 1999) โดยมลสารที่สามารถบำบัดได้โดยพื้นที่ชุ่มน้ำได้แก่

2.3.3.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนโตรเจนอินทรีย์เป็นส่วนมาก ซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาค (particle) และในรูปที่ละลายน้ำ (dissolved) โดยสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆ จะขึ้นกับประเภทของน้ำเสียและการบำบัดเบื้องต้น โดยการบำบัดไนโตรเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเกิดกระบวนการต่างๆ คือ

ไนโตรเจนในรูปอนุภาคจะถูกบำบัดโดยกระบวนการตกตะกอน ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำจะถูกแบคทีเรียเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอนินทรีย์ในรูปที่ละลายน้ำได้ โดยผ่านกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ทั้งอินทรีย์ไนโตรเจนและอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้จะถูกบำบัดโดยอาศัยการทำงานร่วมกันของดิน พืช และจุลินทรีย์ โดยอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ตามลำดับ โดยกระบวนการแอมโมนิฟีเคชัน ซึ่งแอมโมเนียมไอออน จะถูกพืชดูดดึงไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ประกอบกับจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารอินทรีย์ได้ นอกจากนี้แอมโมเนียมไอออนยังสามารถระเหยออกไปสู่บรรยากาศได้เมื่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอีกด้วย และบางส่วนจะจับกับประจุลบของดินและสะสมในดินชั้นล่างมากกว่าดินชั้นบน เนื่องจากดินชั้นล่างมีออกซิเจนต่ำกว่า

แอมโมเนียมไอออนในบริเวณที่มีออกซิเจน จะถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์พวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไนเตรทไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ได้ โดยกระบวนการนี้จะเกิดที่บริเวณผิวของรากพืชด้วย (Robuston และ Alongi, 1992 อ้างถึงใน กฤติกา ทองสมบัติ, 2546) ส่วนไนเตรทที่ไม่ถูกพืชดูดดึงไปใช้และอยู่ในสภาวะไร้อากาศจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในกระบวนการหายใจแบบไร้ออกซิเจน โดยการเกิดรีดักชันได้เป็นแอมโมเนีย ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในที่สุด โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และระเหยออกสู่บรรยากาศ (Mitsch และ Gosselink, 2000) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การบำบัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา: Mitsch และ Gosselink (2000)

2.3.3.2 ฟอสฟอรัส

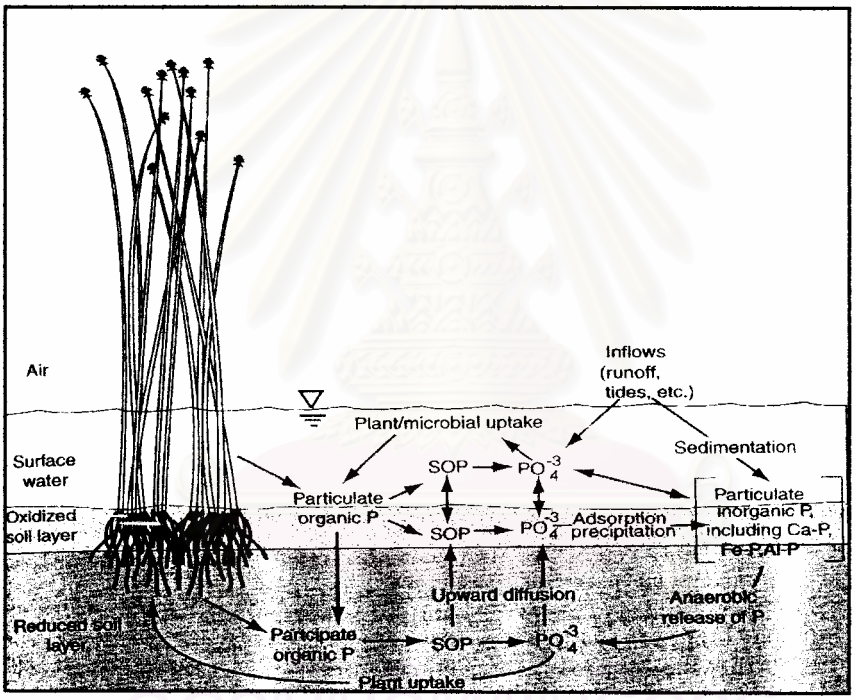
ฟอสฟอรัสทั้งในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ มักเกิดการบำบัดในชั้นดินเป็นส่วนใหญ่ โดยจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางภายภาพ เคมี และชีวภาพ แต่โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสในปริมาณที่มีนัยสำคัญได้ ดังนั้นกระบวนการทางกายภาพจึงเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส (Reddy และ D' Angelo, 1997)

การบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น ฟอสเฟตจะสะสมอยู่ในตะกอนดินโดยการดูดซับกับอนุภาคดินเลนหรือสารอินทรีย์ ซึ่งไอออนฟอสเฟต (PO_4^{3-}) จะรวมตัวอัดแน่น (condensation) อยู่รอบๆ ผิวของอนุภาคดินเลน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังสามารถก่อตะกอนผลึกร่วมกับเหล็ก (Fe^{3+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แมงกานีส (Mn^{2+}) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนและตกตะกอนสะสมอยู่ในดินของระบบ

นอกจากการดูดซับและการก่อตะกอนผลึกซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียแล้ว พืช แพลงค์ตอนพืช และจุลินทรีย์ต่างๆ ยังสามารถช่วยบำบัดฟอสฟอรัสได้อีกด้วย กล่าวคือ จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดต่างๆ ทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ไนเตรท และซัลเฟต กรดต่างๆเหล่านี้จะมีผลไปละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ทำให้เกิด

ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ และอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟตที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ และเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลง ฟอสฟอรัสก็จะถูกปลดปล่อยออกมาสู่ระบบอีกครั้งหนึ่ง

แม้ว่าการบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นจะอาศัยกระบวนการทางกายภาพและเคมีเป็นส่วนใหญ่ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น แต่ในฤดูกาลเติบโตซึ่งพืชต้องการธาตุอาหารต่างๆ ในปริมาณมาก การบำบัดฟอสฟอรัสจะเกิดจากการดูดดึงไปใช้ของพืชมากกว่ากระบวนการดังกล่าว โดยรากพืชจะดูดดึงฟอสฟอรัสจากดินโดยเฉพาะดินชั้นบน โดยกระบวนการดูดซึม (absorption) กระบวนการดูดซับ (adsorption) และการแพร่ผ่านน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งรากจะเป็นส่วนสำคัญในการสะสมฟอสฟอรัสของพืช (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา: Mitsch และ Gosselink (2000)

2.3.3.3 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ในน้ำเสียประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ (1) ส่วนที่เป็นของแข็งแขวนลอย วัดในรูปของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid; TSS) ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การตกตะกอน โดยเฉพาะเมื่ออัตราการไหลของน้ำเข้าที่ค่อนข้างช้า และระยะเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสมจะทำให้มีการตกตะกอนได้มากขึ้น (วงศ์พงา เสิ่งสาย, 2544) การจับกลุ่ม การดูดซับ การกรอง การย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลชีพที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (Brix, 1993) และ (2) ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ วัดในรูปของบีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD) ซึ่งจะอยู่ในรูปของแป้ง น้ำตาล หรือเซลลูโลสโมเลกุลเล็กๆ จากซากพืช ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ คือ การเปลี่ยนคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศในรูปของมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจนจุลินทรีย์จะอาศัยออกซิเจนที่มาจากการพัฒนาช่องว่างภายใน สำหรับเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดลงสู่รากของพืช (Kadlec และ Knight, 1996) โดยในสภาวะที่มีออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) โดยอัตราการลดของค่าบีโอดีขึ้นกับชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบ ชนิดของพืช อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรดด่าง ธาตุอาหาร และดินในระบบ (Shalk, 1978 อ้างถึงใน ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล, 2539)

2.3.3.4 โลหะหนัก

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักนั้น น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบควรเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำจะประกอบไปด้วย โลหะหนักที่อยู่ในรูปละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ซึ่งโลหะหนักบางชนิดพืชและสัตว์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง เป็นต้น ส่วนโลหะหนักบางชนิดแม้จะมีความเข้มข้นต่ำแต่มีความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ เช่น อาร์เซนิก แคดเมียม ตะกั่ว (Crites และคณะ, 1997 อ้างถึงใน US. EPA, 2000)

กระบวนการที่สำคัญที่เกิดขึ้นในการกำจัดโลหะหนักในพื้นที่ชุ่มน้ำประกอบด้วย 4 กระบวนการคือ

(1) การแลกเปลี่ยนไอออน (cation exchange) และการเกิด chelation กับอนุภาคของดินตะกอน และสารอินทรีย์

(2) การตกตะกอน (precipitation) ถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงกว่าค่าการละลายได้ (solubility) ของสารประกอบที่ละลายได้ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับไอออนลบ (anion) ในน้ำ พวกคาร์บอเนต ซัลไฟด์คลอไรด์ไฮดรอกไซด์ จะทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปของเกลือที่ไม่ละลายน้ำดังกล่าวขึ้น ถ้าแหล่งน้ำที่มีสภาวะมลพิษอัน

เนื่องมาจากในน้ำมีสารอินทรีย์อยู่มากทำให้น้ำในบริเวณนั้นมีออกซิเจนละลายอยู่น้อย โลหะหนัก พวก สังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และเงิน จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำ เกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก การตกตะกอนก็จะเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้ในสภาพที่น้ำเป็นด่าง การตกตะกอนของโลหะหนักเหล่านี้จะเกิดได้ดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามหากมีการเคลื่อนย้ายหรือรบกวนตะกอนไปสู่สภาวะที่มีออกซิเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ ตะกอนของโลหะหนักจะมีโอกาสกลับมาละลายน้ำได้อีก

(3) การดูดซับ (adsorption) โลหะหนักที่เกิดการตกตะกอนลงสู่ดินของระบบพื้นชุ่มน้ำจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคดิน ซึ่งได้แก่ อนุภาคsand อนุภาค silt และอนุภาค clay โดยเฉพาะอนุภาค clay สามารถยึดติดกับอนุภาคของโลหะหนักได้ดีเนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง

(4) การดูดซึม (absorption) โดยสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นกระบวนการทางชีววิทยาในการกำจัดโลหะหนัก โดยพวกสัตว์ในดินจะช่วยเร่งให้อนุภาคต่างๆ ของโลหะหนัก เกิดการรวมตัวกัน โดยการกินเข้าไปแล้วแพร่กระจายออกมาใหม่ด้วยการถ่ายออกมากับอุจจาระ หรือโดยการลอกคราบทิ้ง รวมทั้งซากพืชซากสัตว์ที่ตายในทะเล ในส่วนของพืชจะมีการดูดดึง (uptake) โลหะหนักเข้าสู่ต้นทางรากเสมอ และส่วนใหญ่จะมีการสะสมโลหะหนักไว้ที่รากมากกว่าลำต้น โดยขีดจำกัดของการดูดดึงของพืชจะขึ้นกับชนิดของโลหะและชนิดของพืช (วงศ์พงา เส็งสาย, 2544)

2.4 ป่าชายเลน

2.4.1 ความหมายและความสำคัญของป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่ประกอบด้วยพืชพรรณและสัตว์นานาชนิด ดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันในสภาพแวดล้อมที่เป็นดินเลน น้ำกร่อยหรือมีน้ำทะเลท่วมถึงสม่ำเสมอพบทั่วไปตามที่ราบปากแม่น้ำ ชายฝั่งทะเล ทะเลสาบ และบริเวณรอบเกาะแก่งต่างๆ โดยป่าชายเลนจัดเป็นป่าไม่ผลัดใบจำพวกทนแล้งได้ เนื่องจากไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำเค็มได้ (เทียมใจ คมกฤส, 2536)

เอกลักษณ์ของป่าชายเลนที่สำคัญซึ่งแตกต่างจากป่าบกอย่างชัดเจน คือ การแพร่กระจายของพันธุ์พืชที่มีลักษณะจัดแบ่งออกเป็นแนวเขต (zonation) โดยพันธุ์ไม้แต่ละชนิดจะขึ้นเป็นแนวเขตที่ค่อนข้างแน่นอน แต่จะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน ความเค็มของน้ำใต้ดิน ความถี่ของการท่วมถึงของน้ำทะเล การระบายน้ำและกระแสน้ำ (Chapman, 1975 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญและมีคุณค่ามากมายทั้งต่อมนุษย์และสัตว์ กล่าวคือ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์จะใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนในหลายๆ รูปแบบเช่น การใช้ประโยชน์ด้านป่าไม้ โดยการนำไม้จากป่าชายเลนมาเผาถ่านโดยเฉพาะไม้โกงกางซึ่งจะให้

ถ่านที่มีคุณภาพดี การนำเปลือกของไม้ชายเลนหลายชนิดมาทำสีย้อม การประมง เป็นต้น นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งอาหารและแหล่งอนุบาลตัวอ่อนที่สำคัญของสัตว์น้ำหลายชนิด รวมทั้งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์บกอื่นๆ เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ปีก และแมลงต่างๆ เป็นต้น

ในด้านสิ่งแวดล้อม ป่าชายเลนมีบทบาทในการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ โดยการช่วยรักษาและปรับปรุงคุณภาพน้ำชายฝั่ง ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสม (accumulation) เปลี่ยนรูป (transformation) ของธาตุอาหาร และบำบัดสารเคมีที่ปนเปื้อน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของระบบนิเวศ (Reddy และ Patrick, 1993 อ้างถึงใน สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลจากคลื่นลมแรงและการกัดเซาะชายฝั่ง (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

2.4.2 พันธุ์ไม้ชายเลน

ประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ชายเลนทั้งหมด 35 วงศ์ 53 สกุล และ 74 ชนิด โดยพันธุ์ไม้ที่เด่นและเป็นชนิดที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae โดยเฉพาะในสกุลไม้โกงกาง (*Rhizophora*) สกุลไม้โปรง (*Ceriops*) และไม้ถั่ว (*Bruguiera*) นอกจากนี้ยังมีไม้ในวงศ์ Sonneratiaceae ได้แก่ ไม้ลำพู ลำแพน (*Sonneratia*) ไม้ในวงศ์ Verbenaceae ได้แก่ ไม้แสม (*Avicennia*)

เนื่องจากป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณที่มีความผันแปรของสภาพแวดล้อมสูง เช่น การขึ้นลงของน้ำทะเล น้ำที่มีความเค็มสูง และลมพัดแรง เป็นต้น ทำให้พันธุ์ไม้ที่อยู่ในบริเวณนั้นต้องมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอด เช่น การมีต่อมขับเกลือ (salt grand) บริเวณใบเพื่อควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเนื้อเยื่อ การมีใบอวบน้ำ ผนังหนา และเป็นมันเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ รวมทั้งการมีระบบรากหายใจที่โผล่พ้นดินและรากค้ำจุน เป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

2.4.2.1 โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*)

โกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ชายเลนที่อยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae มีชื่อสามัญว่า Red mangrove เป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดใหญ่ สูงประมาณ 30-40 เมตร มีรากค้ำจุนโดยรอบลำต้น รากแตกจากโคนต้นและโค้งจรดดิน ไม่หักเป็นมุม เรือนยอดเป็นรูปกรวยคว่ำแคบๆ (ธวัชชัย สันติสุข, 2538) ใบของโกงกางจะมีลักษณะอวบน้ำและเป็นมัน ผลเป็นแบบ berry มีเมล็ดแบบ viviparous โดยเมล็ดจะงอกออกมาทางปลายผล ซึ่งชาวบ้านจะเรียกว่า ฝัก เมื่อผลแก่จะหล่นลงมาปักเลนหรือลอยไปกับกระแสน้ำเพื่อเจริญเป็นต้นใหม่ต่อไป (พูลศรี เมืองสง, 2541) โดยโกงกางใบใหญ่จะขึ้นได้ดี โดยโกงกางใบใหญ่จะขึ้นได้ดีในดินที่มีลักษณะเป็นเลนอ่อนและลึก สีดำ และมีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า พบทั่วไปบริเวณริมชายฝั่งทะเลที่มีน้ำเค็มท่วมถึงเป็นระยะเวลายาวนาน (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2535)

2.4.2.2 แสมทะเล (*Avicennia marina*)

แสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนในวงศ์ Avicenniaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 5-8 เมตร มีลักษณะเป็นพุ่ม ส่วนใหญ่จะพบว่ามี 2 ลำต้นหรือมากกว่า ลำต้นมีสีขาวอมเทาเล็กน้อย ผลมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ดอกมีสีเหลืองถึงเหลืองแสด (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2535) มีรากหายใจยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร แสมทะเลสามารถทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังได้นานๆ เนื่องจากมีระบบรากหายใจ (pneumatophore) ซึ่งเจริญมาจาก cable root หรือ horizontal root โดยจะตั้งชูขึ้นมาเหนือผิวดินในแนวตั้งฉากรอบๆ ต้น (เทียมใจ คมกฤส, 2536) แสมทะเลมักพบโดยทั่วไปบริเวณดินเลนงอกใหม่ที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำหรือชายฝั่งทะเล

2.4.2.3 พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*)

พังกาหัวสุมดอกแดงเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนในวงศ์ Rhizophoraceae เป็นไม้ยืนต้นที่มีพูพอน ต้นสูงประมาณ 25-35 เมตร มีสีดำ มีรากหายใจคล้ายเข่า โผล่ขึ้นมาจากผิวดิน ใบรีหลังใบเป็นสีเขียวเข้ม ท้องใบเป็นสีเหลือง มองเห็นเป็นพุ่มและเป็นชั้นเหมือนฉัตร มีลักษณะเด่นคือ มีดอกสีแดงสด ออกดอกตลอดปี พังกาหัวสุมดอกแดงมักจะขึ้นในบริเวณที่เป็นดินเลนแข็ง และน้ำทะเลท่วมถึงเพียงครั้งคราว (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2535)

2.4.2.4 โปรงแดง (*Ceriops tagal*)

โปรงแดงเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนในวงศ์ Rhizophoraceae เช่นเดียวกับพังกาหัวสุมดอกแดง เป็นไม้ขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความสูง 15-25 เมตร ลำต้นกลมถึงเป็นเหลี่ยมเล็กน้อย เปลือกของลำต้นจะขรุขระมีสีเหลืองอ่อนถึงอมสีปูนแห้ง โคนต้นจะมีพูพอนเล็กน้อย มีรากหายใจคล้ายรูปเข่า ใบหนาขอบใบเรียบ ออกดอกเป็นกระจุก มีลักษณะเด่นคือ ฝักจะเป็นเหลี่ยมสันนูน โปรงแดงมักขึ้นปะปนกับไม้ถั่วดำ หรือขึ้นเป็นป่าโปรงแดงล้วน โดยขึ้นได้ทุกสภาพของป่าชายเลน และสามารถขึ้นได้ในดินเลนที่มีสภาพเป็นกรด หรือพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ค่อยดี (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2535)

2.4.3 ดินในป่าชายเลน

ดินในป่าชายเลนเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอน จากการกัดเซาะชายฝั่งหรือการพังทลายของดินบนภูเขาที่ไหลมาตามแม่น้ำ ลำคลอง และการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำ ตลอดจนการสลายตัวของอินทรีย์สารตามช่วงระยะเวลาที่ทับถมต่างๆ กัน โดยลักษณะของตะกอนดินที่มาทับถมในบริเวณชายฝั่งและป่าชายเลนนั้นจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดของตะกอนดังกล่าว (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ดินในป่าชายเลนมักมีสภาพเป็นกรด มีความเค็มสูง เนื่องจากป่าชายเลนมีน้ำขึ้นน้ำลงตลอดเวลา ทำให้ความเค็มของดินแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลและอิทธิพลของน้ำทะเล โดยในบริเวณใกล้ชายฝั่งจะมีความเค็มสูงกว่าบริเวณที่ไกลออกมา (Mitsch และ Gosselink, 2000) นอกจากนี้ดินในป่าชายเลนมักเกิดสภาพขาดออกซิเจนในช่วงที่มีน้ำท่วมขัง และจะมีการเติม

ออกซิเจนในช่วงที่หน้าดินสัมผัสกับอากาศตอนน้ำลง หรือได้รับจากพืชโดยการส่งถ่ายออกซิเจนจากอากาศมาทางช่องอากาศในลำต้นสู่รากโดยการแพร่ (Cronk และ Fennessy, 2001) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินจะมีทั้งที่เป็นออกซิเดชัน (oxidation) และรีดักชัน (reduction) ทั้งสองปฏิกิริยา จะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารในป่าชายเลน 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (1) ธาตุอาหารประเภทอนินทรีย์สารที่จำเป็นในการรักษาความสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม (2) ธาตุอาหารประเภทอินทรีย์สาร ซึ่งเป็นสารอาหารอินทรีย์ที่มีต้นกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิต โดยผ่านการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และยังก่อให้เกิดการถ่ายเทแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างป่าชายเลนและน้ำทะเลชายฝั่งซึ่งเป็นไปตามวัฏจักรการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยทั่วไปจะมีการขนถ่ายธาตุอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากป่าชายเลนสู่น้ำทะเลชายฝั่ง (กัลยา วัฒยากร และสนิท อักษรแก้ว, 2538 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

สำหรับเนื้อดินในป่าชายเลนส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียว (clay) และดินร่วนเหนียว (clay loam) ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์และธาตุอาหารสูง นอกจากนี้ดินในป่าชายเลนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การกระจายตัวของพันธุ์ไม้และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลน โดยลักษณะหรือสมบัติของดินทั้งทางกายภาพและเคมีจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับแนวเขตที่พันธุ์ไม้ขึ้นอยู่ (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

2.4.4 ความเค็มของน้ำในป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีสภาพน้ำท่วมขังสลับกับสภาพแห้ง เนื่องจากอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำทะเล ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำและความเค็มของน้ำในดิน กล่าวคือ ขณะที่น้ำทะเลขึ้นหรือน้ำทะเลหนุน ความเค็มของน้ำห่างจากชายฝั่งหรือตลอดลำแม่น้ำจะสูงขึ้นด้วย และในทางตรงกันข้ามเมื่อน้ำทะเลลดลงความเค็มของน้ำตลอดลำแม่น้ำจะลดต่ำลงด้วย นอกจากนี้ช่วงน้ำเกิดและน้ำตายก็จะมีผลต่อความเค็มในพื้นที่ป่าชายเลนด้วยกล่าวคือ ช่วงน้ำเกิดน้ำทะเลจะไหลเข้าสู่พื้นที่ป่าได้เป็นระยะทางไกลกว่าช่วงน้ำตาย (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำและความเค็มของน้ำในดิน จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงดังกล่าวนี้ จะจำกัดการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนและเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแบ่งเขต การขึ้นอยู่ของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน ซึ่งปกติป่าชายเลนสามารถขึ้นอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มของน้ำระหว่าง 10-30 psu (Aksornkoae และคณะ, 1989 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) โดยความเค็มของน้ำในดินมีความแปรผันสูงกว่าน้ำที่อยู่ผิวดิน (Mitsch และ Gosselink, 2000) อย่างไรก็ตามพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนหลายชนิดสามารถขึ้นอยู่และทนทานได้ในพื้นที่ซึ่งมีค่าความเค็มของน้ำสูงมาก เช่น ไม้แสมทะเล ไม้โปรง ไม้โกงกางใบใหญ่ เป็นต้น โดย Macnae (1968) กล่าวว่าไม้แสมทะเลมีความทนทานต่อความเค็มในช่วงกว้าง โดยจะเจริญเติบโตได้ตั้งแต่บริเวณที่มีความเค็มต่ำจนถึงสูง

หรือแปรปรวนได้ การที่ความเค็มเป็นสิ่งสำคัญนั้นไม่ใช่เกลือจำเป็นต่อการเจริญเติบโต แต่ความเค็มมีอิทธิพลต่อการลดการแก่งแย่งของพันธุ์ไม้ต่างชนิดกัน Ye และคณะ (2001) รายงานว่าสภาพความเค็มมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในใบพืชกล่าวคือ พืชในป่าชายเลนที่ได้รับน้ำที่มีความเค็มสูงกว่าจะพบไนโตรเจนในใบพืชต่ำกว่าในพืชที่ได้รับน้ำจืด ซึ่งอาจเป็นเพราะความเค็มเป็นปัจจัยที่ทำให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ได้จำกัด

2.5 ป่าชายเลนกับการบำบัดน้ำเสีย

ป่าชายเลนเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงของน้ำทะเลเป็นประจำวัน เป็นแหล่งรองรับมลสารต่างๆที่ไหลรวมมากับน้ำท่า (stream flow) ก่อนไหลลงสู่ทะเล ป่าชายเลนจึงเปรียบเสมือนระบบบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติขนาดใหญ่ เนื่องจากระบบป่าชายเลนประกอบด้วยดิน พืช และน้ำที่อยู่ในสภาพ aerobic/anaerobic ซึ่งสามารถลดสารมลพิษต่างๆในน้ำเสียได้ (Tam และ Wong, 1995) โดยเฉพาะน้ำเสียชุมชนซึ่งมีธาตุอาหารสูง การใช้ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ โดย Boonsong และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษา โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น 2 ระบบ คือ ระบบป่าปลูกใหม่ซึ่งปลูกกล้าไม้โกงกาง (*Rhizophora* spp.) แสมทะเล (*Avicennia marina*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) กับระบบป่าธรรมชาติที่มีแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้เด่น (ระบบควบคุม) โดยใช้ระยะกักเก็บน้ำในระบบนาน 3 และ 7 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัด TSS, BOD, TN, NO_3-N, NH_4-N, ortho-PO_4-P และ TP ในระบบป่าปลูกใหม่และระบบป่าธรรมชาติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่างระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 3 และ 7 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TSS, PO_4 และ TP ที่ระยะกักเก็บน้ำ 7 วัน มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการศึกษาโดยรวมชี้ให้เห็นว่า ป่าชายเลนปลูกใหม่สามารถใช้เป็นระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีเช่นเดียวกับป่าชายเลนธรรมชาติ เช่นเดียวกับ ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) ที่ทำการศึกษาความสามารถของโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) และแสมทะเล (*Avicennia marina*) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกโกงกางใบใหญ่และชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลสามารถบำบัดบีโอดีได้ 72% และ 66% ตามลำดับ บำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ 72% และ 70% ตามลำดับ และบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 63% เท่ากัน โดยประสิทธิภาพดังกล่าวสูงกว่าระบบควบคุมที่ไม่ปลูกพืชซึ่งบำบัดบีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้เท่ากับ 58%, 59% และ 59% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน โดยปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์ (2547) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ โดยทำการสังเคราะห์น้ำเสียให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดเป็น 5 และ 25 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (5NW และ 25NW) โดยทำการกักเก็บน้ำเสียเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ชุดทดลองที่

ได้รับน้ำเสีย 5NW มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีและทีเคเอ็นสูงที่สุด คือ 97.35 % และ 88.97 % ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ดินและกล้าไม้ในทุกชุดทดลองมีธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมสูงขึ้น

เนื่องจากระบบนิเวศป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล ทำให้เกิดสภาพเปียกสลับแห้งของดินขึ้น โดยในช่วงที่น้ำขึ้นจะเกิดการท่วมขังของน้ำเกิดสภาพรีดักชัน และในช่วงเวลาน้ำลงจะเกิดสภาพออกซิเดชัน (Catallo, 1999 อ้างถึงใน กฤติกา ทองสมบัติ, 2546) ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีของดินและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในดินโดยเฉพาะจุลินทรีย์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะมีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำทั้งสิ้น ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยการเลียนแบบระบบการขึ้นลงของน้ำทะเลนี้หากมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำและปล่อยให้แห้งที่เหมาะสมแล้ว ย่อมทำให้การบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกฤติกา ทองสมบัติ (2546) ได้ศึกษาผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่โดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (5, 7 และ 10 วัน) และระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (3, 5 และ 7 วัน) พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันและปล่อยให้แห้ง 7 วัน สามารถบำบัดทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดเท่ากับ 95.96 และ 77.75% ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองที่ใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และปล่อยให้แห้ง 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงที่สุดคือ 95.39% นอกจากนี้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงของน้ำทะเลยังส่งผลต่อความเค็มของน้ำและความเค็มของน้ำในดินในบริเวณต่างๆของป่าชายเลนด้วย โดยความเค็มดังกล่าวจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การอยู่รอดของพันธุ์ไม้และสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ต่างๆที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ เนื่องจากระดับความเค็มของน้ำทะเลที่ต่างกันในแต่ละบริเวณดังกล่าวแล้ว อาจมีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย Ye และคณะ (2001) จึงได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการทำปศุสัตว์ โดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน 2 ชนิด คือ รังกระแท้ (*Kandelia candel*) และพังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน คือ สภาวะที่เป็นน้ำจืดและสภาวะที่เป็นน้ำเค็ม พบว่า ภายใต้สภาวะที่เป็นน้ำจืด ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบที่ปลูกพันธุ์ไม้ 2 ชนิดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 84.3% และ 95.5% ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เป็นน้ำเค็มมีค่าเท่ากับ 92.7% และ 98% ตามลำดับ และภายใต้สภาวะที่เป็นน้ำจืดประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบที่ปลูกพันธุ์ไม้ 2 ชนิดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 79.2% และ 91.8% ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เป็นน้ำเค็มมีค่าเท่ากับ 88% และ 97.8% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าระบบที่มีสภาวะน้ำเค็มบำบัดธาตุอาหารดังกล่าวได้ดีกว่าสภาวะน้ำจืด โดยเฉพาะระบบที่ปลูกพังกาหัวสุมดอกแดง แสดงว่าความเค็มมีส่วนช่วยให้การบำบัดธาตุอาหารที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียได้สูงขึ้น รวมทั้งยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความเค็มต่อการบำบัดน้ำเสียของดินป่าชายเลนอีกด้วย โดย Tam (1998) ได้ศึกษาผลกระทบของน้ำเสียต่อจำนวนจุลินทรีย์และปฏิกิริยา

ของเอนไซม์ต่างๆในดินป่าชายเลน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ 0 psu และ 15 psu พบว่า ดินในป่าชายเลนสามารถบำบัดมลสารต่างๆในน้ำเสียเช่น ทองแดง สังกะสี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียทั้ง 2 ระดับความเค็มมีจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์มากกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับน้ำเสียและชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเค็ม 0 psu จะมีจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์มากกว่าส่งผลให้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่างๆในดินของชุดทดลองดังกล่าวสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเค็ม 15 psu ด้วย แสดงว่าความเค็มมีผลต่อจำนวน ชนิด และปฏิกิริยาต่างๆของจุลินทรีย์ในดินป่าชายเลน

นอกจากนี้ในน้ำเสียชุมชนยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดด้วย โดยสิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในระบบรวบรวมน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี และระบบบ่อบำบัดน้ำเสียภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า น้ำเสียในท่อระบายน้ำเสียชุมชนในเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีตะกั่วปนเปื้อนสูงที่สุด เฉลี่ยตลอดปี 0.138 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ นิกเกิล ปรอท โครเมียม และแคดเมียม มีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.041, 0.037, 0.024 และ 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งแล้วพบว่าส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานซึ่งกำหนดให้มีค่าได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นแคดเมียมซึ่งกำหนดให้มีค่าได้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2543) ซึ่งเมื่อน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวผ่านการบำบัดด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแล้วจะทำให้มีปริมาณลดลงได้ จากการศึกษาของ Chu และคณะ (2000) ที่ทำการศึกษาการกักเก็บสารมลพิษของดินป่าชายเลนและผลกระทบของสารมลพิษต่อรังกระแท้ ที่ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน (NW, 5NW และ 25NW) โดย NW จะมีสมบัติเหมือนกับน้ำเสียปกติ ขณะที่ 5NW และ 25NW มีความเข้มข้นเป็น 5 และ 25 เท่าของน้ำเสียปกติตามลำดับ พบว่าปริมาณโลหะหนัก (Cr, Cu, Ni และ Zn) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณชั้นผิวดิน (0-5 ซม.) ของระบบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากได้รับน้ำเสียเป็นเวลานาน 16 สัปดาห์ เมื่อทำการล้างระบบด้วยน้ำทะเลเป็นเวลานาน 38 สัปดาห์ ปริมาณสารมลพิษต่างๆในระบบที่บำบัด NW และ 5NW ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระบบที่บำบัด 25NW จะมีการลดลงของสารมลพิษอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเจริญเติบโตของรังกระแท้จะเจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะระบบที่บำบัด 25NW และการปลดปล่อยสารมลพิษออกจากระบบยังเห็นไม่ชัดเจน ประกอบกับ Tam และ Wong (1996) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคงตัวและการกระจายตัวของโลหะหนักในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียโดยทดลองผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทองแดง สังกะสี แมงกานีส และแคดเมียมผสมอยู่ ลงในคอลัมน์ดินป่าชายเลน 2 ชนิด คือ ดินจากประเทศฮ่องกง ซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาค sand อนุภาค silt และอนุภาค clay เท่ากับ 73.6 %, 14.8 % และ 11.6 % ตามลำดับและดินจากประเทศจีน ซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาค sand อนุภาค silt และอนุภาค clay เท่ากับ 12.9 %, 32.4 %

และ 54.7 % ตามลำดับ พบว่าที่ระดับผิวดิน (0-1 เซนติเมตร) ของคอลัมน์ดินทั้ง 2 ชนิด จะพบปริมาณทองแดง สังกะสี แมงกานีส และแคดเมียม สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าวจะลดลงตามความลึกของดินอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยทองแดงจะสามารถยึดติดผิวกับอนุภาคดินป่าชายเลนได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ซึ่งการคงตัวของโลหะหนักในดินป่าชายเลนจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักและชนิดของดินป่าชายเลน ผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ดินป่าชายเลนสามารถกักเก็บธาตุอาหารและโลหะหนักได้ดี เป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลน

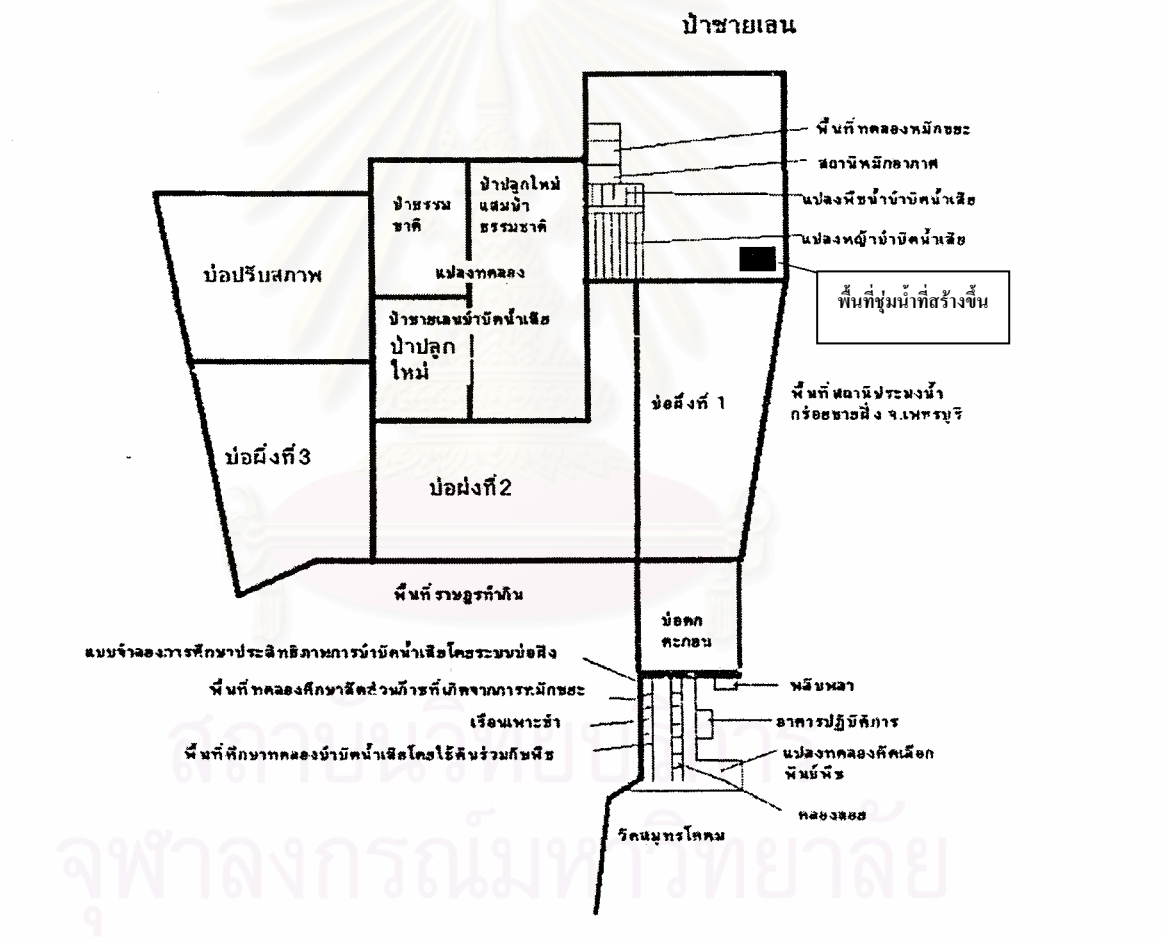
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลองตั้งอยู่ภายในพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และที่ตั้งชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

ที่มา: อิทธิพล ราศีเกรียงไกร, บรรณาธิการ (2545)

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียชุมชนที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่รวบรวมมาจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีและพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีท่อรวบรวมน้ำเสียส่งน้ำเสียไปยังบ่อรวมน้ำเสียของสถานีสูบน้ำเสีย ซึ่งตั้งอยู่ที่บ้านคลองยาง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี บ่อรวมน้ำเสียจะทำหน้าที่ในการตกตะกอน ดักกรวดทราย รวมถึงขยะที่มากับน้ำเสีย ก่อนที่จะถูกสูบเข้าสู่ท่อพลาสติก HDPE (high density polyethylene) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร เป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ไปยังพื้นที่โครงการฯ (ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์, 2548)

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่ใช้ในการทดลองสูบมาจากบริเวณแปลงหญ้ากรองบำบัดน้ำเสียในโครงการฯซึ่งได้รับน้ำเสียโดยตรงจากท่อส่งน้ำของโครงการฯ และน้ำเสียชุมชนที่ปรับระดับความเค็มให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) นอกจากนี้ได้เติมตะกั่ว ($PbCl_2$) และทองแดง ($CuCl_2 \bullet 2H_2O$) ลงไปในน้ำเสียทุกระดับความเค็มให้มีความเข้มข้นชนิดละ 2 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับปริมาณสารที่ใช้ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และโลหะหนักที่เติมลงในน้ำเสียปริมาตร 1,000 ลิตร

ระดับความเค็ม	ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (kg)	ปริมาณ $PbCl_2$ (g)	ปริมาณ $CuCl_2 \bullet 2H_2O$ (g)
NW	0	2.6853	5.3701
6 psu	6	2.6853	5.3701
12 psu	12	2.6853	5.3701
18 psu	18	2.6853	5.3701
24 psu	24	2.6853	5.3701

3.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเลนจากบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งชุดทดลองบำบัดน้ำเสียภายในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมถึงเป็นครั้งคราวตามการขึ้นลงของน้ำทะเล และมีต้นชะคราม (*Sueda maritima*) ขึ้นปกคลุมอยู่ โดยใช้เฉพาะบริเวณดินผิวหน้าลึกลงไปประมาณ 50 เซนติเมตร

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วางแผนการทดลอง

แผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) โดยมี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

(1) ชนิดของกล้าไม้

กล้าไม้ 4 ชนิด คือโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) ซึ่งมีอายุประมาณ 2 ปี และชุดควบคุมไม่ปลูกกล้าไม้

(2) ระดับความเค็มของน้ำเสีย

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม และน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 4 ระดับ คือ 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ตามลำดับ

ดังนั้นสามารถจัดสร้างชุดทดลองได้ 5 ชุด ดังนี้

ชุดที่1 ชุดควบคุม NW ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

ชุดที่ 2 ความเค็ม 6 psu ปลูกกล้าไม้และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 3 ความเค็ม 12 psu ปลูกกล้าไม้และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 4 ความเค็ม 18 psu ปลูกกล้าไม้และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ชุดที่ 5 ความเค็ม 24 psu ปลูกกล้าไม้และทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดที่ 1

ดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 แสดงตำรับทดลอง

3.4.2 จัดสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร จำนวน 25 บ่อมีท่อน้ำเข้าบริเวณด้านบนของบ่อ ซึ่งมีวาล์วปิด-เปิดที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ โดยท่อดังกล่าวเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) และน้ำเสียชุมชนที่

ปรับระดับความเค็มต่างกัน 4 ระดับ จากถังสำรองน้ำที่เป็นพลาสติกขนาด 1,000 ลิตร และด้านล่างของบ่อจะเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด ภายในชุดทดลองบรรจุดินเลนสูงจากพื้น 40 เซนติเมตร และปลูกกล้าไม้โดยใช้ระยะการปลูกเท่ากับ 15×15 เซนติเมตร (72 ต้น/ชุดทดลอง) ยกเว้นแสมทะเล ซึ่งมีการเจริญเติบโตสูงมาก ทำให้ชุดทดลองแน่นทึบจนเกินไป จึงต้องถอนออกสลับแถวเว้นแถว ทำให้มีระยะการปลูกเท่ากับ 30×15 เซนติเมตร (60 ต้น/ชุดทดลอง) ชุดทดลองจัดสร้างภายใต้โรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกใสคลุม เพื่อป้องกันผลกระทบจากน้ำฝนต่อการทดลอง

ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ผ่านการใช้ทำการทดลองด้านผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดมาแล้ว ดังนั้นก่อนนำมาใช้ จึงได้ล้างด้วยน้ำทะเล โดยสูบน้ำทะเลธรรมชาติจากคลองบริเวณด้านข้างโครงการฯ ซึ่งติดกับสถานีประมงน้ำกร่อยชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี มากักเก็บในชุดทดลองเป็นเวลา 7 วัน แล้วปล่อยออกให้แห้งเป็นเวลา 4 วัน ทั้งหมด 9 ครั้ง เพื่อชะล้างธาตุอาหารและสารปนเปื้อนที่ตกค้างอยู่ออกไปจากนั้นเติมดินเลนลงในชุดทดลองทุกชุดให้สูงจากพื้น 40 เซนติเมตร เท่ากับเมื่อเริ่มทำการปลูกกล้าไม้พร้อมทั้งปรับระดับให้เรียบ หลังจากนั้นจึงล้างชุดทดลองด้วยน้ำทะเลด้วยวิธีการเดิมอีก 3 ครั้ง ก่อนเริ่มทำการทดลอง

3.4.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) สำรองน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) และน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวได้เติมตะกั่วและทองแดงชนิดละ 2 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังสำรองน้ำเสียขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 5 ถัง

(2) ใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำเสียจากถังสำรองน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลอง โดยใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบเติมต่อเนื่อง (continuous added flow system) ปรับอัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 20 มิลลิลิตร/นาที เมื่อครบระยะกักเก็บน้ำเสีย 7 วันระดับน้ำในชุดทดลองจะอยู่เหนือผิวดินเท่ากับ 12 เซนติเมตร

(3) เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองจากถังสำรองน้ำเสีย โดยแบ่งการเก็บเป็น 2 ระดับ คือ ที่ระดับบนของถังสำรองน้ำเสียโดยใช้การจ้วงตัก และที่ระดับล่างของถังสำรองน้ำเสีย เก็บที่ท่อน้ำเข้าของชุดทดลองที่อยู่ใกล้กับถังสำรองน้ำเสีย โดยใช้ขวดพลาสติกและขวดบีโอดี เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

(4) กักเก็บน้ำเสียในชุดทดลองเป็นเวลา 7 วัน ปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออก และทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำออกของทุกชุดทดลองโดยใช้ขวดพลาสติกและขวดบีโอดี เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกัน

(5) ปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากชุดทดลองจนหมด จากนั้นปล่อยให้แห้งเป็นเวลา4 วัน แล้วจึงสูบน้ำทะเลเข้าสู่ชุดทดลอง กักเก็บเป็นเวลา 3 วันแล้วจึงปล่อยออก จากนั้นจึงเริ่มทำการ

ทดลองครั้งต่อไป ซึ่งใช้เวลา 14 วัน ต่อการทดลอง 1 ครั้ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง รวมระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 126 วัน

3.4.4 การศึกษาสมบัติของน้ำ

ทำการศึกษาน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในภาคสนาม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า และความเค็ม สำหรับน้ำตัวอย่างที่จะต้องนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจะเก็บรักษาไว้ในลังโฟมที่มีน้ำแข็งบรรจุอยู่ และเมื่อถึงห้องปฏิบัติการจะนำไปแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ทันที เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

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

3.4.5 การศึกษาสมบัติของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินในช่วงก่อนการทดลอง และภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 รวมทั้งสิ้น 4 ครั้ง ด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างดิน

ชั้นบน (0-10 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (10-20 เซนติเมตร) ซึ่งในแต่ละชุดทดลองทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 3 จุด ตามเส้นทแยงมุมของบ่อ แล้วนำดินมาผสมรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างดินเปียกที่ได้นำไปวิเคราะห์แอมโมเนียและไนเตรทในดินทันที ตัวอย่างดินที่เหลือนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) จนแห้ง จากนั้นบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ตะกั่วและทองแดง ดินอีกส่วนหนึ่งนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับใช้วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (conductivity) ความเค็ม (salinity) และปริมาณขนาดอนุภาคดิน (%sand, %silt, %clay) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	1:5 soil and water extract, pH meter
2. การนำไฟฟ้า (conductivity)	1:5 soil and water extract, glass electrode
3. ความเค็ม (salinity)	1:5 soil and water extract, glass electrode
4. ปริมาณขนาดอนุภาคดิน (% sand, %silt, %clay)	hydrometer method (Smith และ Alkinson, 1975)
5. เนื้อดิน (texture)	เปรียบเทียบ%ของขนาดอนุภาคดินกับตารางชั้นเนื้อดิน
6. อินทรียวัตถุ (organic matter)	Walkley and Black rapid titration (Tan, 1996)
7. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Tan, 1996)
8. แอมโมเนีย (ammonia- 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)

3.4.6 การศึกษากล้าไม้

(1) การเจริญเติบโตของกล้าไม้

ทำการวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้แต่ละชนิดก่อนทำการทดลองบำบัดน้ำเสีย และภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 10 ครั้ง โดยความสูงวัดจากโคนถึง

ฐานยอดด้วยไม้เมตร และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูงจากพื้นดิน 15 เซนติเมตร ด้วยเวอร์เนียร์แคลิปเปอร์ โดยทำการสุ่มวัดชุดทดลองละ 24 ต้น

(2) การศึกษามวลชีวภาพของกล้าไม้

ทำการศึกษามวลชีวภาพส่วนเหนือดิน (above ground biomass) ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง โดยใช้วิธีการสร้างสมการ allometric โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ก่อนทำการทดลองบำบัดน้ำเสีย ทำการสุ่มเลือกกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 20 ต้น (ชุดทดลองละ 4 ต้น) โดยเลือกต้นที่มีขนาดต่างกัน นำมาวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางทุกต้น จากนั้นแยกกล้าไม้ออกเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ นำไปชั่งหาน้ำหนักสด (wet weight) แล้วหาน้ำหนักแห้ง (dry weight) โดยนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

ช่วงที่ 2 หลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 ทำการศึกษาซ้ำอีกหนึ่งครั้ง ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับช่วงที่ 1

การประมาณหามวลชีวภาพส่วนต่างๆของกล้าไม้แต่ละชนิด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางกับน้ำหนักแห้ง ด้วยสมการความสัมพันธ์ในรูป 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 (จุดตัดของกราฟ)

b คือ ค่าคงที่ (ความชันของกราฟ)

นำสมการที่ได้มาใช้คำนวณการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของลำต้น และใบ ของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ในแต่ละครั้งที่วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

(3) ธาตุอาหารและโลหะหนัก

สุ่มเก็บตัวอย่างใบของกล้าไม้ทั้งใบอ่อน (ตั้งแต่ใบยอดลงไปจนถึงใบคู่ที่ 3 ของกิ่ง) และใบแก่ (ตั้งแต่ใบคู่ที่ 3 จากยอดลงไป) (กัลยา รัตนสุทธิพงษ์, 2544) จากทุกชุดทดลองในช่วงก่อนการทดลอง และภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) จากนั้นจึงปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร. นำไปอบที่

อุณหภูมิ 105 °C เพื่อใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป โดยพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
การเจริญเติบโตของพืช	
1. ความสูง (height)	วัดด้วยไม้เมตร
2. เส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter)	วัดด้วยแคลิปเปอร์ (caliper)
3. มวลชีวภาพ (biomass)	allometric relation method
ธาตุอาหารและโลหะหนัก	
1. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Jackson, 1975)
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	ammonium metavanadate (ประโสด ธรรมเขต, 2540)
3. ตะกั่วและทองแดง (lead and copper)	extract by conc. HNO_3 and conc. $HClO_4$ (AOAC, 2003)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.5.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test

3.5.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดในแต่ละครั้ง และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) ด้วยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test

3.5.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ การสะสมธาตุอาหารในดินในแต่ละชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) ด้วยวิธี three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test

3.5.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้ในแต่ละชุดทดลอง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) ด้วยวิธี

three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test

3.5.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุอาหารของกล้าไม้ในแต่ละชุดทดลองโดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) ด้วยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียชุมชนที่ปรับระดับความเค็มโดยเปรียบเทียบระหว่างคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง และคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยชุดทดลอง รวมทั้งประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด ธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ตะกั่วและทองแดง) สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 คุณภาพน้ำเสียชุมชน

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง พบว่า น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด–ด่าง (pH) 7.28 อุณหภูมิ 28.02 $^{\circ}$C การนำไฟฟ้า 1.23 mS/cm ความเค็ม 0.60 psu ออกซิเจนละลาย (DO) 0.00 mg/l บีโอดี (BOD) 29.67 mg/l สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) 51.47 ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) 24.294 mg/l แอมโมเนีย (NH_3) 12.785 mg/l ไนเตรท 0.054 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) 7.452 mg/l ออร์โธฟอสเฟต (ortho – PO_4) 5.278 mg/l ตะกั่ว (Pb) ต่ำกว่า 0.5000 mg/l และทองแดง (Cu) 0.150 mg/l เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ชุดทดลองกับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไปซึ่งมีค่าบีโอดีประมาณ 110 – 440 mg/l ไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 20 – 85 mg/l และฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 4.15 mg/l (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) จะเห็นว่า น้ำเสียชุมชนที่ทำการศึกษามีค่าบีโอดีและปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ต่ำกว่าแหล่งน้ำเสียชุมชนทั่วไปมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการศึกษาได้ผ่านการตกตะกอนขั้นต้นและการกักเก็บในบ่อรวมน้ำเสียมาก่อนส่งผ่านท่อส่งจากสถานีสูบน้ำเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร มายังโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

น้ำเสียชุมชนที่ปรับระดับความเค็มเป็น 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ใช้น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) มาปรับความเค็มโดยเติมเกลือ (NaCl) ปริมาณ 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม ตามลำดับ และเติมตะกั่วและทองแดงปริมาณ 2.6853 และ 5.3707 กรัม ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่เตรียมได้มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.20, 7.30, 7.19 และ 7.19 ตามลำดับ การนำไฟฟ้าเท่ากับ 12.98, 21.86, 31.09 และ 38.46 mS/cm ตามลำดับความเค็มเท่ากับ 6.87, 12.37, 18.49 และ 25.10 psu ตามลำดับ ออกซิเจนละลายเท่ากับ 0.00 mg/l ทุกระดับความเค็ม บีโอดีเท่ากับ 25.20, 24.87, 22.40 และ 20.12 mg/l ตามลำดับ สารแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 115.64, 119.64, 147.85 และ

168.11 mg/l ตามลำดับ ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 24.528, 26.517, 25.650 และ 28.250 mg/l ตามลำดับ แอมโมเนียเท่ากับ 12.689, 12.512, 12.471และ 12.648 mg/l ตามลำดับ ไนเตรทเท่ากับ 0.039, 0.048, 0.027 และ 0.072 mg/l ตามลำดับ ฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 7.120, 6.788, 6.822 และ 7.850 mg/l ตามลำดับ ออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 5.141, 5.091, 4.897 และ 5.558 mg/l ตามลำดับ ตะกั่วเท่ากับ 2.658, 1.477, 1.913 และ 1.993 mg/l ตามลำดับ และทองแดงเท่ากับ 4.230, 2.165, 1.527 และ 1.799 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองในแต่ละครั้งโดยใช้ one – way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย แอมโมเนีย ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม บีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นกับความเข้มข้น ชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิขณะที่ทำการวัด (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าและความเค็มของน้ำเสียแปรผันตามกัน เนื่องจากเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่านำไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย และนอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเกลือทำให้อนุภาคเกลือในรูปสารแขวนลอยสูงขึ้น และนอกจากนี้ที่ระดับความเค็มสูงขึ้นค่าบีโอดีจะลดลง เนื่องจากออกซิเจนละลายได้ลดลงเมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้น ทำให้บีโอดีซึ่งก็คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544) ลดลงด้วย นอกจากนี้ที่ระดับความเค็มสูงมีปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด) สูงกว่าที่ระดับความเค็มต่ำ เนื่องจากการที่น้ำมีความเค็มสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนลดลง (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543) เกิดภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายธาตุอาหารของแบคทีเรียลดลง จึงมีปริมาณธาตุอาหารเหลืออยู่มาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำเสียชุมชนปกติและน้ำเสียที่ปรับความเค็มที่เข้าสู่ชุดทดลอง

พารามิเตอร์	NW	6 psu	12 psu	18 psu	24 psu
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.28±0.13	7.20±0.09	7.30±0.20	7.19±0.12	7.19±0.07
อุณหภูมิ (°C)	28.02±1.50	28.36±1.79	28.20±1.74	28.15±1.87	28.10±1.93
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	^{e}1.23±1.38	^{d}12.98±0.71	^{c}21.86±0.91	^{b}31.09±0.75	^{a}38.46±1.53
ความเค็ม (psu)	^{e}0.60±0.00	^{d}6.87±0.28	^{c}12.37±0.24	^{b}18.49±0.45	^{a}25.10±0.34
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)	^{a}29.67±7.81	^{ab}25.20±6.33	^{ab}24.87±5.39	^{b}22.40±5.49	^{b}20.18±5.53
สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (mg/l)	^{c}51.47±7.09	^{b}115.64±30.43	^{b}119.64±27.01	^{a}147.85±30.66	^{a}168.11±30.42
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	^{d}24.294±1.167	^{cd}24.528±1.690	^{b}26.517±0.541	^{bc}25.650±1.488	^{a}28.250±0.959
แอมโมเนีย (NH_3-N) (mg/l)	12.785±2.720	12.689±2.231	12.512±1.904	12.471±2.396	12.648±1.661
ไนเตรต (NO_3-N) (mg/l)	0.054±0.108	0.039±0.086	0.048±0.095	0.027±0.032	0.072±0.139
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	^{ab}7.452±1.047	^{ab}7.120±0.549	^{b}6.788±0.959	^{b}6.822±0.519	^{a}7.850±0.438
ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-PO_4) (mg/l)	5.278±0.704	5.141±0.142	5.091±0.179	4.897±0.376	5.558±0.207
ตะกั่ว (Pb) (mg/l)	< 0.500	2.658±1.751	1.477±0.262	1.913±1.137	1.993±0.246
ทองแดง (Cu) (mg/l)	0.150±0.070	4.230±2.646	2.165±0.552	1.527±0.371	1.799±0.240

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

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดและเปอร์เซ็นต์การบำบัด

(1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.19 – 7.30 น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าความเป็นกรด – ด่างอยู่ในช่วง 7.72–8.75, 7.71–8.28, 7.75–8.55, 7.58-8.55 และ 7.85–8.28 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.2) จะเห็นว่า มีค่าสูงขึ้นและมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย เนื่องจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองเป็นการเพิ่มธาตุอาหาร ทำให้แพลงค์ตอนพืชและสาหร่ายเจริญเติบโตดี ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้สมดุลของคาร์บอเนตในน้ำเปลี่ยนไป (คณิต ไชยาคำ และ พุทธ ส่องแสงจินดา, 2535) ประกอบกับการละลายของแร่ธาตุต่างๆที่อยู่ในดินอาจส่งผลให้ความเป็นกรด – ด่างของน้ำสูงขึ้นได้อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด – ด่างในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าความเป็นกรด – ด่างสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชเนื่องจากชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวน้ำได้มากกว่า ดังนั้นจึงเกิดการสังเคราะห์แสง และมีอัตราการหายใจของแพลงค์ตอนพืชที่สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างสูงกว่าดังที่กล่าวแล้ว

(2) อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.02 – 28.36 °C น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอุณหภูมิลดลงทุกชุดทดลองและมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 26.06 – 27.50, 26.74 – 27.78, 26.34 – 27.86, 26.72 – 27.60 และ 26.97 – 27.63 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) เนื่องจากชุดทดลองมีพันธุ์ไม้ปกคลุมทำให้เกิดร่มเงา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยอุณหภูมิของน้ำเสียขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง และช่วงเวลาขณะเก็บตัวอย่างน้ำ

(3) การนำไฟฟ้า (conductivity)

การนำไฟฟ้า หมายถึง ความสามารถของน้ำในการเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าซึ่งตัวการที่เป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าในน้ำ คือ ไอออน (ion) ของสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอนินทรีย์ ด่าง และเกลือ เป็นต้น โดยการนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของไอออนในน้ำ เช่น คาร์บอเนต ซัลเฟต และไนเตรท (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) รวมทั้งยังขึ้นกับอุณหภูมิขณะทำการวัดอีกด้วย โดยสารละลายอนินทรีย์จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีกว่าสารอินทรีย์เนื่องจากสามารถแตกตัวให้ไอออนบวกและลบได้ (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์, 2543)

การนำไฟฟ้าของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23, 12.98, 21.86, 31.09 และ 38.46 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 10.86–17.46, 22.51–28.70, 23.99 – 27.67, 30.15 – 39.24 และ 33.98 – 47.30 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากน้ำที่มีความเค็มสูงจะมีความเข้มข้นของโซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออน สูงกว่าน้ำที่มีความเค็มต่ำ โดยการนำไฟฟ้าจะแปรผันตามระดับความเค็ม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน

(4) ความเค็ม (salinity)

ความเค็มของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60, 6.87, 12.37, 18.49 และ 25.10 psu ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าความเค็มสูงขึ้น อยู่ในช่วง 5.39 – 10.02, 12.82 – 16.63, 14.19 – 16.62, 17.97 – 23.86 และ 25.21 – 29.91 psu ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งความเค็มของน้ำที่สูงขึ้นนั้นเกิดจากการระเหยของน้ำและการละลายของอนุภาคเกลือที่สะสมอยู่ในดิน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงจะมีค่าความเค็มสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็มและการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนและหลังทดลอง

พารามิเตอร์	ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง	น้ำหลังทดลอง				
			โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
pH	**NW**	7.28±0.13	^{b}7.82±0.20^{b}	7.72±0.17^{b}	^{ab}7.88±0.20^{b}	^{a}8.04±0.32^{b}	8.75±0.69^{a}
	6 psu	7.20±0.09	^{a}8.08±0.34^{ab}	7.71±0.14^{b}	^{ab}7.95±0.71^{ab}	^{ab}7.84±0.13^{b}	8.28±0.40^{a}
	12 psu	7.30±0.20	^{a}8.15±0.29^{b}	7.99±0.26^{bc}	^{b}7.75±0.26^{c}	^{b}7.80±0.29^{c}	8.55±0.250^{a}
	18 psu	7.19±0.12	^{b}7.75±.015^{bc}	7.82±.019^{b}	^{b}7.58±0.18^{c}	^{b}7.72±0.17^{bc}	8.55±0.29^{a}
	24 psu	7.19±0.07	^{a}8.08±0.17^{ab}	7.85±0.30^{b}	^{a}8.28±0.46^{a}	^{a}8.07±0.21^{ab}	8.24±0.19^{a}
temp	**NW**	28.02±1.50	26.54±2.39	26.22±2.80	26.06±2.72	26.08±2.83	27.50±2.50
(°C)	**6 psu**	28.36±1.79	26.74±2.08	26.79±2.62	27.06±2.11	27.03±1.96	27.78±1.96
	12 psu	28.20±1.74	26.92±2.20	26.61±2.20	26.49±2.13	26.34±2.38	27.86±1.79
	18 psu	28.15±1.87	26.91±2.00	27.28±1.85	26.93±2.02	26.72±2.15	27.60±2.16
	24 psu	28.10±1.93	27.10±2.43	27.63±2.59	26.97±2.40	27.00±2.38	27.01±2.37
salinity	**NW**	^{e}0.60±0.00	^{d}10.02±1.99^{a}	^{d}10.02±1.45^{a}	^{c}9.02±2.92^{a}	^{d}5.39±2.03^{b}	^{c}8.16±1.34^{a}
(psu)	**6 psu**	^{d}6.87±0.28	^{c}13.61±1.65	^{c}14.58±4.70	^{b}16.63±4.85	^{c}12.82±2.67	^{b}15.78±2.24
	12 psu	^{c}12.37±0.24	^{bc}16.62±2.39	^{bc}15.90±2.79	^{b}14.44±3.19	^{c}16.12±3.89	^{b}14.19±2.96
	18 psu	^{b}18.49±0.45	^{b}17.97±7.02	^{b}19.23±4.54	^{a}23.04±3.01	^{b}20.80±5.39	^{a}23.86±4.60
	24 psu	^{a}25.10±0.34	^{a}25.21±2.13	^{a}29.91±4.10	^{a}25.01±4.95	^{a}27.39±5.26	^{a}25.22±4.23
conductivity	**NW**	^{e}1.23±1.38	^{d}17.20±3.35^{ab}	^{d}17.46±2.27^{a}	^{c}15.55±4.75^{ab}	^{d}10.86±4.49^{c}	^{c}13.76±2.24^{bc}
(mS/cm)	**6 psu**	^{d}12.98±0.71	^{cd}22.56±3.05^{b}	^{c}24.20±6.84^{ab}	^{b}28.70±6.18^{a}	^{c}22.51±3.90^{b}	^{b}26.38±3.04^{ab}
	12 psu	^{c}21.86±0.91	^{bc}27.67±4.00	^{c}25.69±4.46	^{b}24.10±5.07	^{c}26.76±6.43	^{b}23.99±4.42
	18 psu	^{b}31.09±0.75	^{b}30.15±11.52	^{b}31.42±6.79	^{a}37.82±4.46	^{b}33.91±7.61	^{a}39.24±6.67
	24 psu	^{a}38.46±1.53	^{a}41.01±2.44^{b}	^{a}47.30±7.05^{a}	^{a}39.78±6.17^{b}	^{a}40.53±2.02^{b}	^{a}33.98±8.98^{c}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(5) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen; DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.00 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นทุกชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 4.49 – 14.06, 2.88 – 9.84, 3.86 – 9.80, 2.09 – 9.09 และ 4.83 – 7.11 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะชุดทดลองตั้งอยู่ในโรงเรือนซึ่งเป็นระบบเปิด มีการเติมอากาศโดยลมและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงค์ตอนพืช รวมทั้งการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ซึ่งทำให้มีออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มบางรอบๆ ราก เรียกว่า rhizosphere (Kadlec และ Knight, 1995)

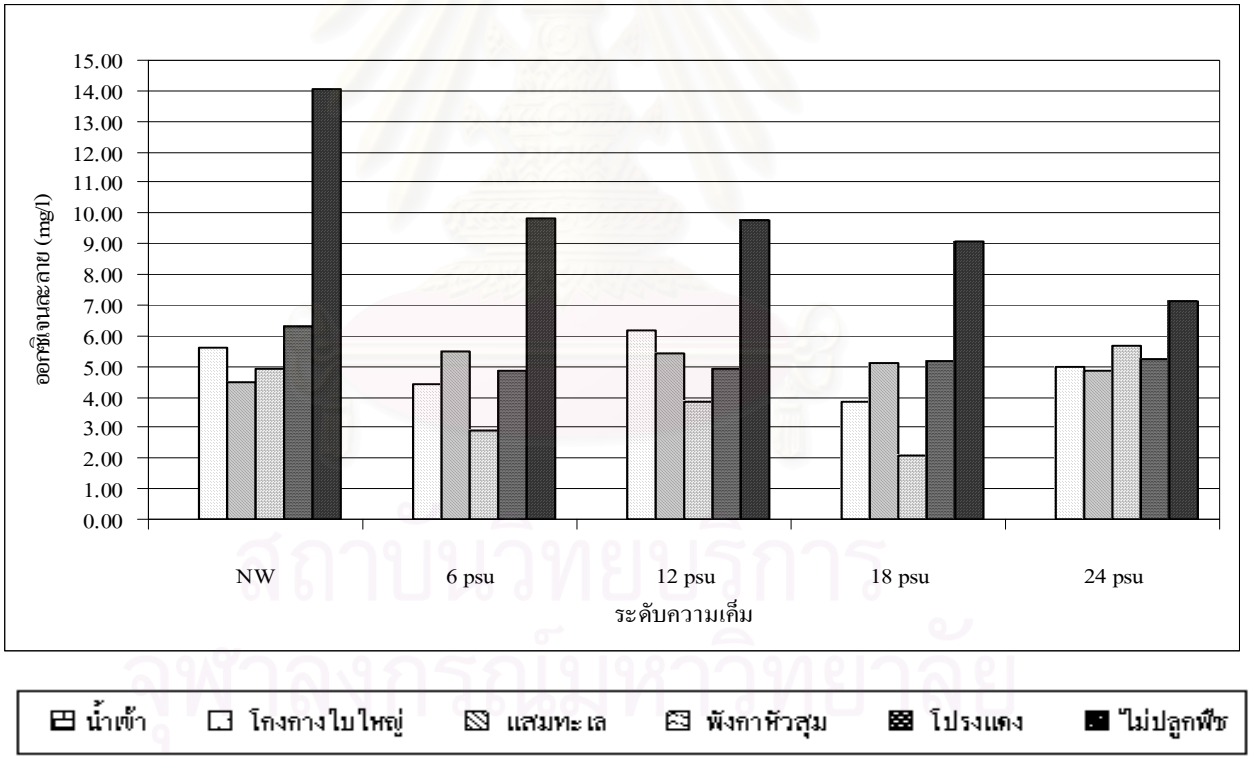
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชไม่มีต้นไม้ปกคลุม ทำให้มีการเติมออกซิเจนโดยลมได้มากกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช ประกอบกับแสงแดดสามารถส่องผ่านได้มากกว่าทำให้สาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าด้วย (ภาพที่ 4.1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.00±0.00	5.60±2.56^{b}	4.49±1.71^{b}	^{ab}4.94±1.26^{b}	6.28±1.17^{b}	^{a}14.06±2.82^{a}
6 psu	0.00±0.00	4.41±2.06^{bc}	5.46±1.90^{b}	^{cd}2.88±1.33^{c}	4.83±1.46^{b}	^{b}9.84±1.86^{a}
12 psu	0.00±0.00	6.19±2.22^{b}	5.43±1.58^{bc}	^{bc}3.86±1.45^{c}	4.90±1.29^{bc}	^{b}9.80±2.03^{a}
18 psu	0.00±0.00	3.87±2.60^{bc}	5.09±1.19^{b}	^{d}2.09±1.20^{c}	5.14±1.46^{b}	^{bc}9.09±2.46^{a}
24 psu	0.00±0.00	4.99±1.02^{b}	4.83±2.75^{b}	^{a}5.66±1.11^{ab}	5.24±1.81^{b}	^{c}7.11±0.97^{a}

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



ภาพที่ 4.1 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

(6) ปริมาณบีโอดี (Biochemioal Oxygen Demand; BOD)

ปริมาณบีโอดีของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20.18 – 29.67mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณบีโอดีต่ำลงมีค่าอยู่ในช่วง 5.53 – 8.03 , 6.23 – 9.20 , 6.17 – 8.37 , 7.03 – 9.90 และ 5.97 – 7.87 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.2) เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน ประกอบกับมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ส่งผลให้ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (glycolysis) และเมทาโนจีเนซิส (methanogenesis) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากทุกชุดทดลองในทุกระดับความเค็มของน้ำเสียมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ซึ่งกำหนดให้มีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 mg/l (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณบีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสียและระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 71.30 – 80.87, 60.16 – 73.48, 63.77 – 71.42, 56.71 – 65.47 และ 59.09 – 67.65% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.09 – 73.48, 56.71 – 73.29, 61.63 – 80.87, 60.85 – 75.20 และ 59.25 – 76.85% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสียและระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ทั้งนี้เพราะชุดทดลองที่ปลูกพืชสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชันในระบบรากใต้ดินซึ่งนับเป็นบทบาทสำคัญในการบำบัดบีโอดีและแอมโมเนีย (Reddy และ D'Angelo, 1997 อ้างถึงในกฤติกา ทองสมบัติ, 2546) ส่วนชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชเกิดการเติมออกซิเจนโดยลมและการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช ทำให้แบคทีเรียสามารถใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	[a]29.67±7.81	8.03±5.62	7.93±4.59	5.53±3.41	6.97±4.60	6.80±2.80
6 psu	[ab]25.20±6.33	6.23±2.85	9.20±4.17	8.67±5.69	6.77±4.11	7.23±4.09
12 psu	[ab]24.87±5.39	7.63±4.70	7.77±5.06	6.17±4.47	7.97±2.65	8.37±3.14
18 psu	[b]22.40±5.49	8.17±3.67	9.90±3.57	8.07±2.97	7.03±2.54	8.47±3.71
24 psu	[b]20.18±5.53	7.87±5.94	6.97±3.12	6.93±3.80	7.70±3.59	5.97±2.55

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี

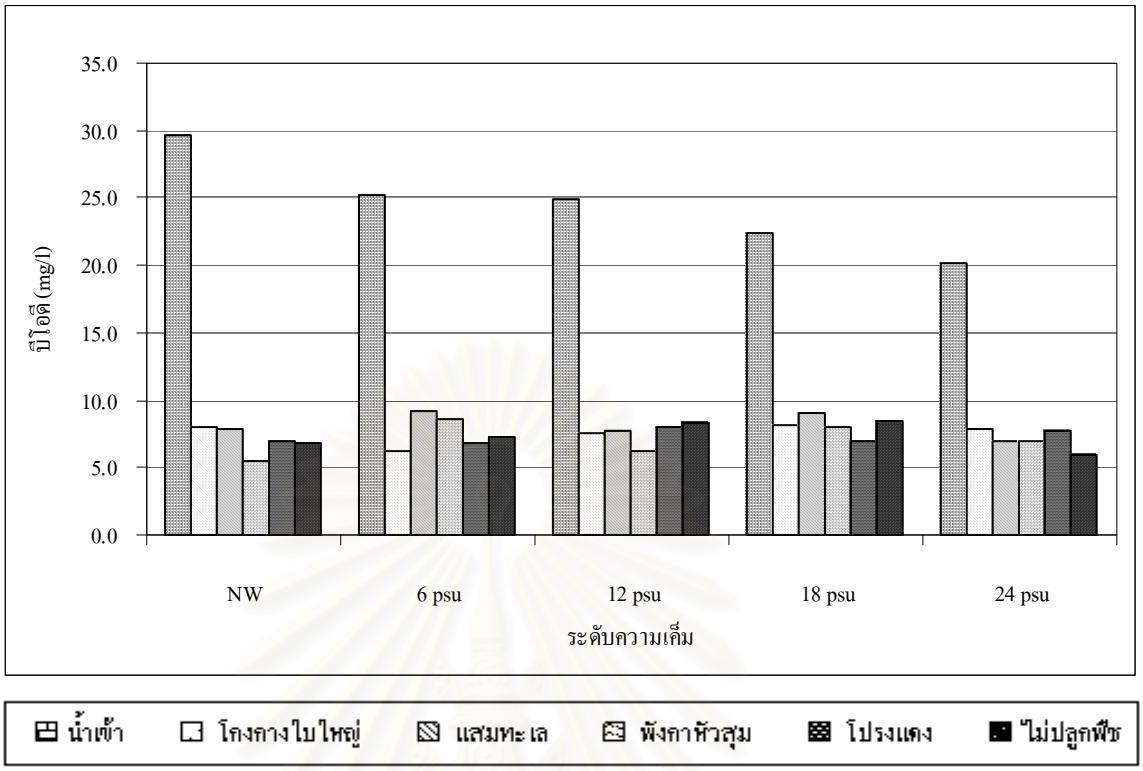
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	71.30±24.35	73.29±15.12	80.87±12.61	75.20±19.51	76.85±10.05
6 psu	73.48±13.24	60.16±23.49	64.98±23.14	72.00±17.29	68.62±21.61
12 psu	65.99±27.35	67.57±19.76	71.42±25.23	64.88±20.26	63.77±18.64
18 psu	61.84±17.05	56.71±20.29	61.63±18.11	65.47±18.47	59.25±21.67
24 psu	59.09±30.26	64.60±13.95	64.67±16.94	60.85±16.08	67.65±18.81

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

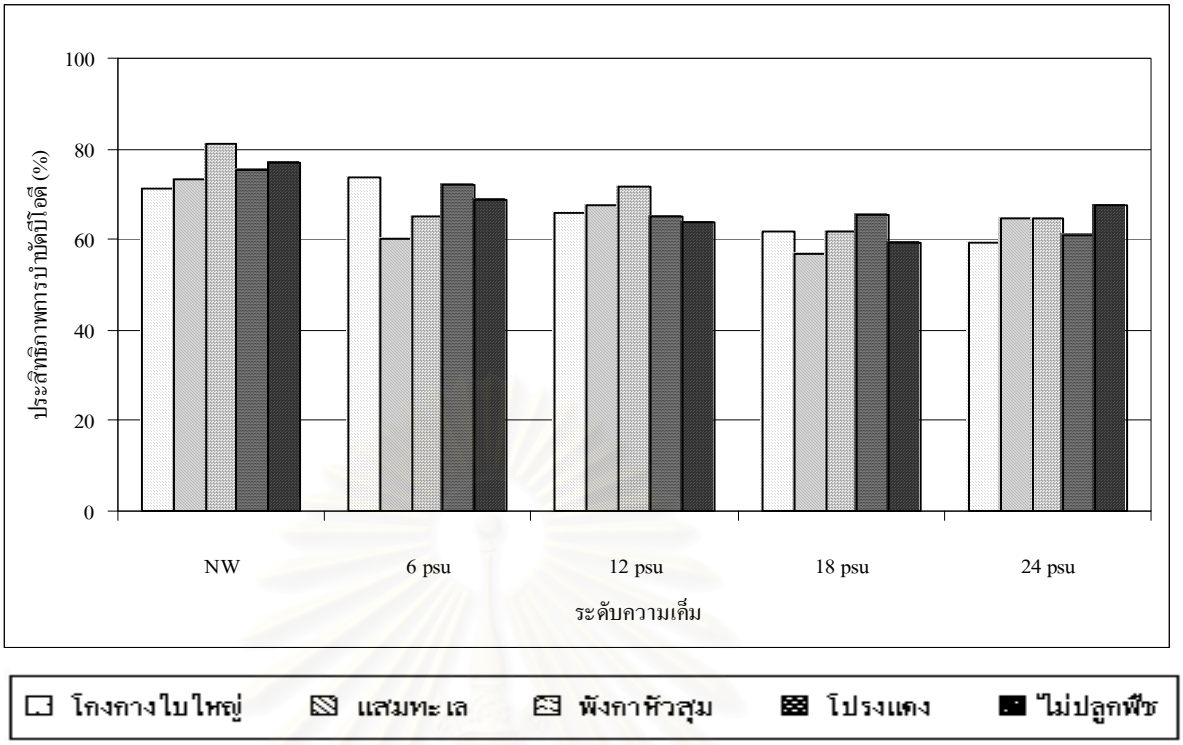
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

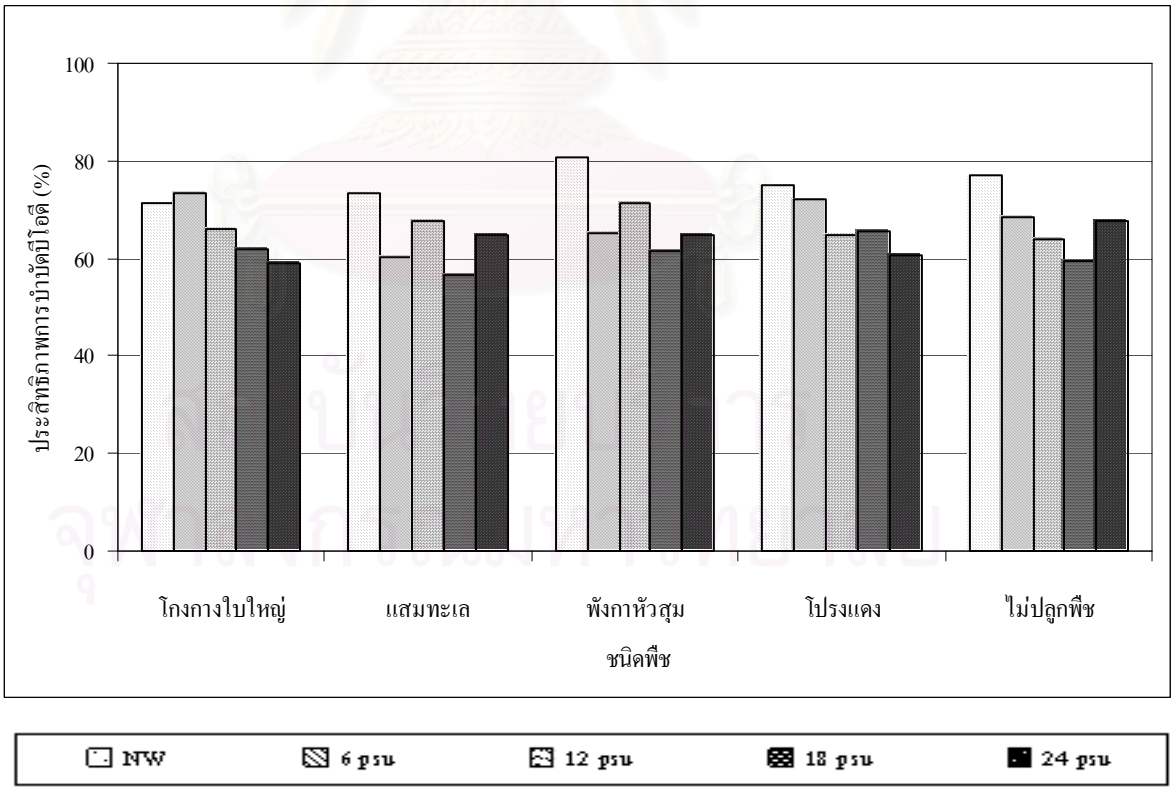


ภาพที่ 4.2 ปริมาณบีโอดีของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของชุดทดลอง

(7) ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS)

ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าผันแปรตามระดับความเค็ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.47, 115.64, 119.64, 147.85 และ 168.11 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดลดลงทุกชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 24.41 – 37.90, 43.54 – 59.67, 48.46 – 65.68, 60.69 – 79.82 และ 66.06 – 89.53 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นแนวโน้มว่า โดยทั่วไปชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชมีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืช เนื่องจากพันธุ์ไม้ชายเลนส่วนใหญ่มีระบบรากหายใจ ซึ่งทำหน้าที่ในการช่วยกรองและดักจับสารแขวนลอยต่างๆในน้ำเสียได้

ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.46 – 53.41, 43.26 – 55.99, 39.68 – 54.20, 44.37 – 57.10 และ 49.81 – 59.66% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดงโปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.46 – 55.24, 37.88 – 57.10, 34.42 – 59.66, 52.96 – 55.94 และ 29.74 – 50.47% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.5)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องจากกลไกสำคัญในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด คือ การตกตะกอนและการจับไว้โดยรากพืช (Kadlec และ Knight, 1996) ซึ่งพันธุ์ไม้ชายเลนมีระบบรากหายใจที่สามารถกรองและดักจับสารแขวนลอยต่างๆในน้ำเสียได้ดี

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{c}51.47±7.09	^{d}37.90±5.55	^{c}32.33±10.48	^{b}33.58±9.75	^{d}24.41±10.78	^{c}34.73±13.39
6 psu	^{b}115.64±30.43	^{cd}47.84±10.43	^{b}56.28±19.20	^{a}59.67±16.00	^{c}43.54±12.67	^{b}57.06±23.35
12 psu	^{b}119.64±27.01	^{bc}56.71±17.99	^{b}48.46±19.43	^{a}65.68±18.12	^{bc}55.00±17.67	^{b}56.10±19.34
18 psu	^{a}147.85±30.66	^{ab}66.21±19.17	^{b}60.09±12.26	^{a}66.12±11.04	^{b}62.76±14.76	^{a}79.82±12.39
24 psu	^{a}168.11±30.42	^{a}73.59±14.90	^{a}81.29±7.33	^{a}66.06±12.85	^{a}77.23±12.78	^{a}81.53±11.05

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมด

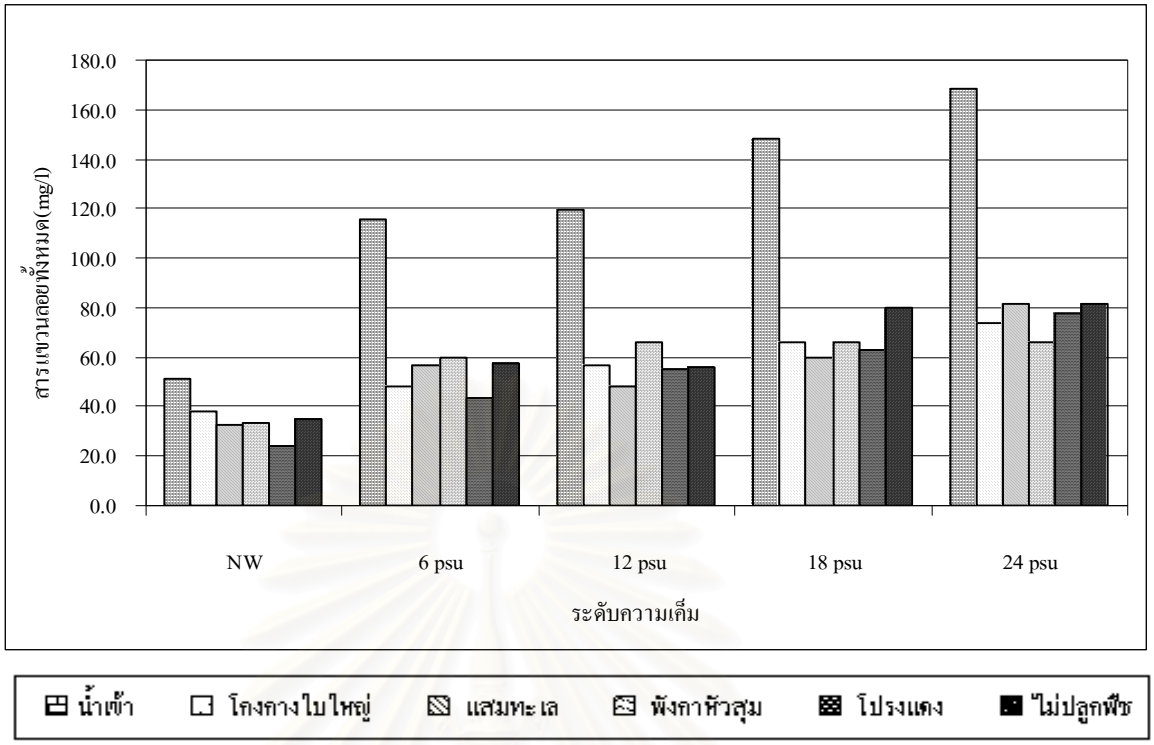
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{b}25.46±12.34	37.88±15.88	34.42±17.46	53.41±19.08	29.74±36.96
6 psu	^{a}54.79±17.82	47.58±23.37	43.26±24.80	55.94±30.31	44.76±31.51
12 psu	^{a}52.33±13.16	54.20±34.96	39.68±33.51	52.54±15.99	50.24±23.16
18 psu	^{a}53.87±14.23	57.10±15.74	54.21±7.95	55.46±15.11	44.37±12.43
24 psu	^{a}55.24±9.55	49.81±12.15	59.66±9.35	52.96±8.98	50.47±7.49

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

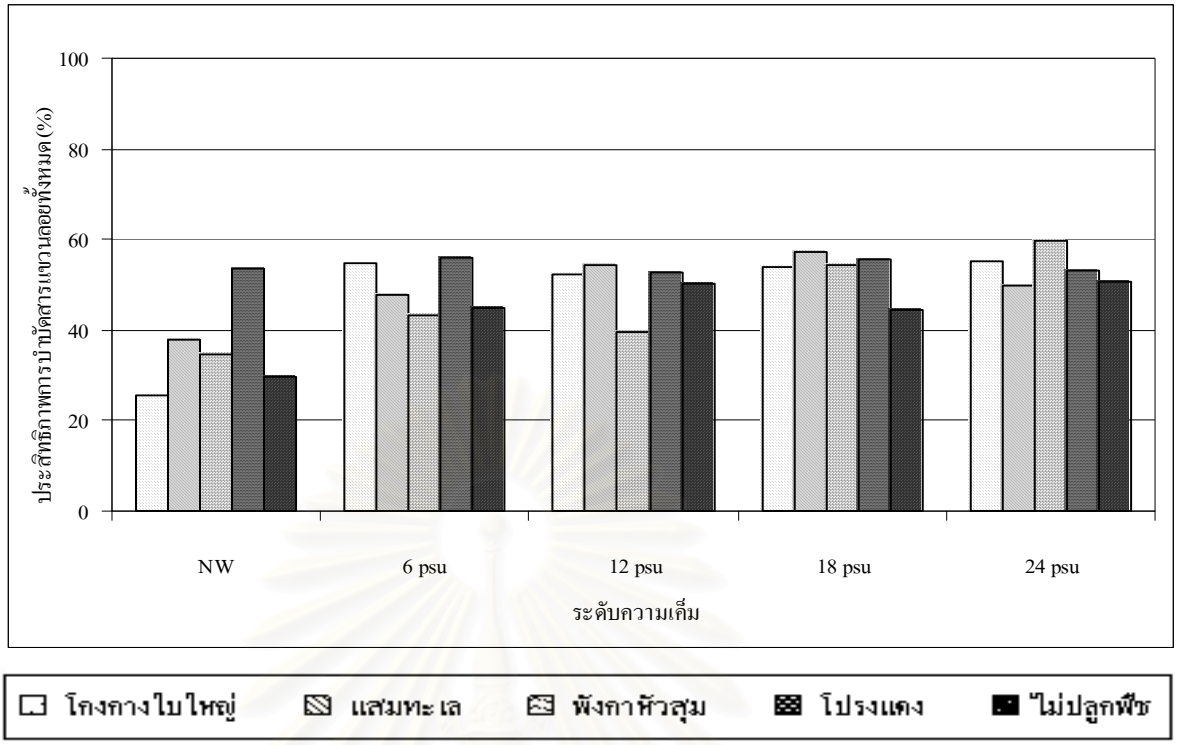
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

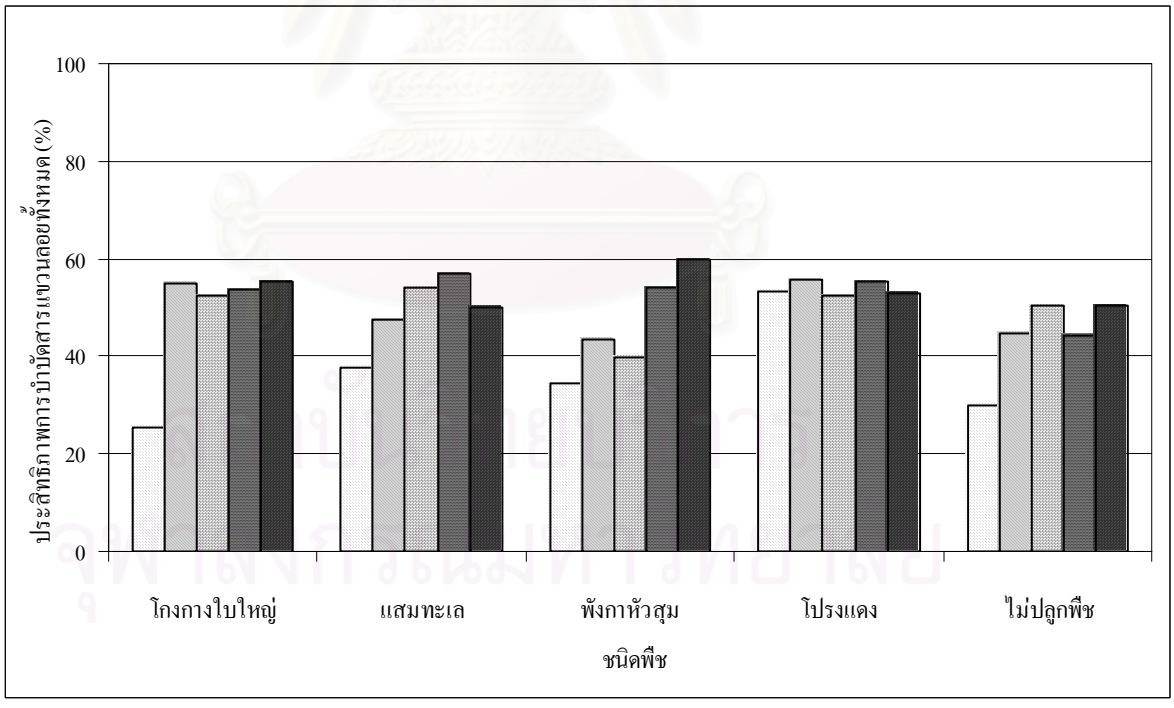


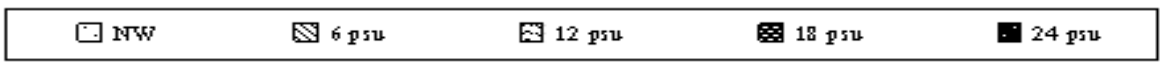
ภาพที่ 4.4 ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม





(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดของชุดทดลอง

(8) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.294 – 28.250 mg/l น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงทุกชุดทดลอง คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.533 – 9.972, 3.861 – 7.483, 3.083 – 9.417, 2.683 – 8.478 และ3.900 – 9.511 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.6) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำที่ผ่านการบำบัดในทุกระดับความเค็มมีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสมทะเลสามารถดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดไปใช้ในปริมาณสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.78 – 81.38, 69.38 – 84.23, 64.46 – 88.35, 66.90 – 89.50 และ 66.30 – 86.19% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 69.38 – 76.48, 81.38 – 89.50, 64.46 – 80.96, 59.72 – 81.33 และ 71.73 – 85.17% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.7)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน มีความผันแปรสูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด คือ มีค่าอยู่ในช่วง 81.38 – 89.50% เนื่องจากพืชมีบทบาทในการบำบัดไนโตรเจนโดยการดูดดึงไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และส่งเสริมสภาพแวดล้อมบริเวณรากให้เหมาะสมสำหรับการเกิดไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งแสมทะเลในชุดทดลองมีระบบรากหายใจแบบ pneumatophores สามารถรับออกซิเจนจากบรรยากาศโดยตรง (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันบริเวณโดยรอบรากพืชเกิดได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของทุกชุดทดลองมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะน้ำเสียในชุดทดลอง มีค่าความเป็นกรด – ด่างอยู่ในช่วง 7.58

– 8.75 ซึ่งทำให้มีการระเหยของแอมโมเนียสูง สอดคล้องกับที่สุวศา กานตวนิชกูร (2544) กล่าวไว้ว่า ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่มีค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่า 7 การระเหยของแอมโมเนียอาจเป็นกระบวนการสำคัญในการบำบัดไนโตรเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{d}24.294±1.167	5.722±1.774^{b}	^{a}4.533±1.464^{b}	^{b}4.628±1.586^{b}	^{a}9.772±1.650^{a}	^{a}9.972±1.487^{a}
6 psu	^{cd}24.528±1.690	7.483±2.546^{a}	^{ab}3.861±1.120^{c}	^{b}4.744±1.372^{bc}	^{b}6.400±1.685^{ab}	^{b}4.806±1.908^{bc}
12 psu	^{b}26.517±0.541	8.111±2.952^{a}	^{bc}3.083±0.932^{c}	^{a}9.417±2.054^{a}	^{b}6.139±2.299^{b}	^{b}3.939±1.423^{c}
18 psu	^{bc}25.650±1.488	6.217±2.835^{b}	^{c}2.683±0.575^{c}	^{b}4.878±2.269^{b}	^{a}8.478±1.702^{a}	^{b}5.639±2.368^{b}
24 psu	^{a}28.250±0.959	7.839±2.452^{a}	^{ab}3.900±0.882^{b}	^{a}9.511±1.478^{a}	^{b}5.261±2.016^{b}	^{b}5.483±2.430^{b}

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

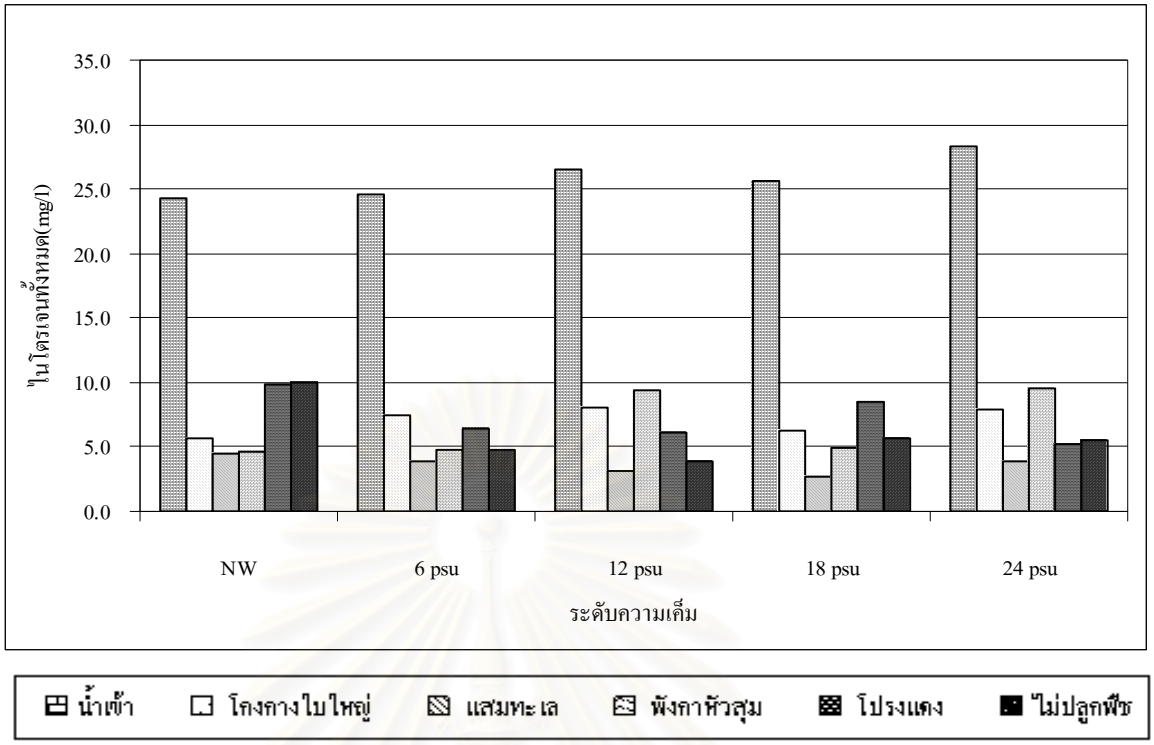
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	76.48±7.01^{a}	^{c}81.38±5.87^{a}	^{a}80.94±6.48^{a}	^{d}59.72±6.85^{b}	^{b}58.89±6.02^{b}
6 psu	69.38±10.79^{c}	^{bc}84.23±4.73^{a}	^{a}80.53±6.08^{ab}	^{b}73.97±6.44^{bc}	^{a}80.25±8.27^{ab}
12 psu	69.46±10.93^{c}	^{ab}88.35±3.57^{a}	^{b}64.46±7.84^{c}	^{ab}76.82±8.70^{b}	^{a}85.17±5.27^{a}
18 psu	75.94±10.66^{b}	^{a}89.50±2.40^{a}	^{a}80.96±8.85^{b}	^{c}66.90±6.68^{c}	^{a}78.00±9.31^{b}
24 psu	72.39±8.09^{b}	^{ab}86.19±3.13^{a}	^{b}66.30±5.28^{b}	^{a}81.33±7.27^{a}	^{a}80.69±8.19^{a}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

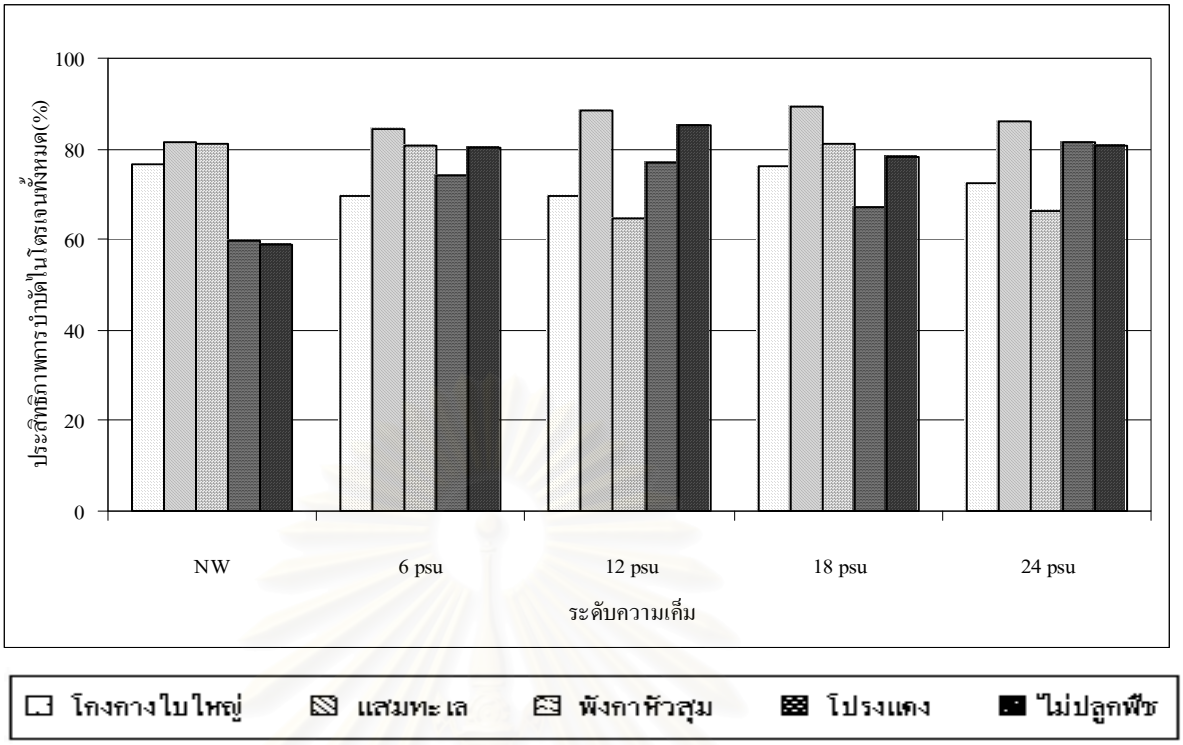
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

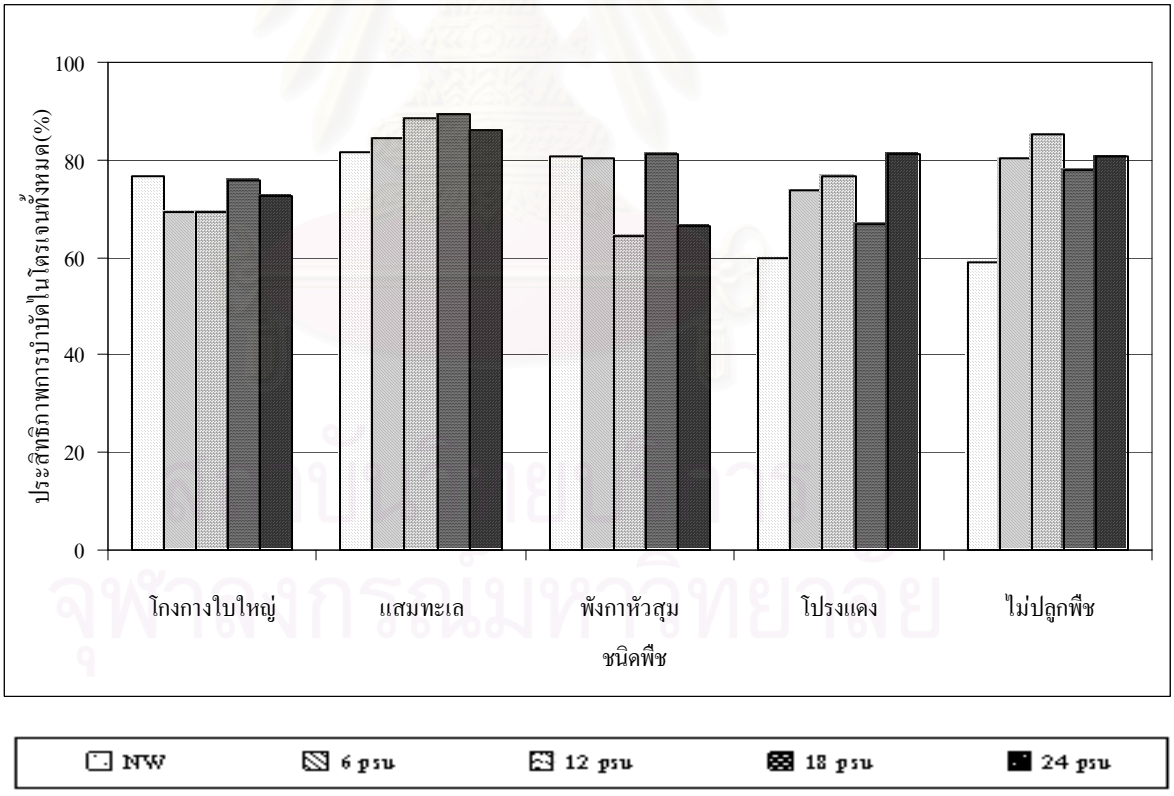


ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลอง

(9) แอมโมเนีย (Ammonia; NH_3 – N)

ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.471 – 12.785 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณแอมโมเนียลดต่ำลงทุกชุดทดลอง คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.742 – 3.399, 0.888 – 2.689, 1.023 – 3.888, 1.155 – 3.835 และ 1.606 – 3.429 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.8)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียของน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากมีความผันแปรสูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu) โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 71.71 – 94.01, 77.42 – 95.75, 68.55 – 92.06, 68.96 – 87.71 และ 72.77 – 87.00% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 72.77 – 87.84, 87.24 – 94.01, 68.55, 68.96 – 84.07 และ 74.93 – 87.82% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.9)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด คือ มีค่าอยู่ในช่วง 87.24 – 94.01% เนื่องจากการดูดดึงไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไปใช้ในปริมาณมาก

กระบวนการบำบัดแอมโมเนียในพื้นที่ชุ่มน้ำมีหลายกระบวนการ เช่น การดูดซึมโดยพืชและจุลินทรีย์ กระบวนการไนตริฟิเคชันให้กลายเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ เป็นต้น (Nedwell, 1975 อ้างถึงใน ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543) นอกจากนี้ในสภาวะน้ำท่วมขัง แอมโมเนียอาจสูญหายไปโดยการระเหยเป็นไอได้ โดยการระเหยถูกควบคุมโดยอุณหภูมิ ความหนาแน่นของพืช อากาศเหนือผิวน้ำการผันแปรของค่าความเป็นกรด – ด่าง และความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Reddy และ D'Angelo, 1997)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	12.785±2.720	^{c}1.597±1.401^{c}	^{b}0.742±0.167^{d}	^{b}2.417±0.488^{b}	^{ab}3.399±1.038^{a}	3.013±0.429^{ab}
6 psu	12.689±2.231	^{ab}2.552±0.53^{a}	^{b}0.888±0.147^{b}	^{b}2.547±0.910^{a}	^{bc}2.656±0.874^{a}	2.689±0.471^{a}
12 psu	12.512±1.904	^{a}3.215±1.096^{a}	^{b}1.023±0.453^{c}	^{a}3.869±0.673^{a}	^{c}2.106±0.426^{b}	1.342±1.236^{bc}
18 psu	12.471±2.396	^{bc}1.855±0.292^{c}	^{ab}1.155±0.744^{d}	^{ab}3.046±0.799^{b}	^{a}3.835±1.101^{a}	2.960±0.216^{b}
24 psu	12.648±1.661	^{a}3.429±0.958	^{a}1.606±0.640	^{b}2.393±1.411	^{c}1.975±0.599	2.939±3.170^{a}

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย

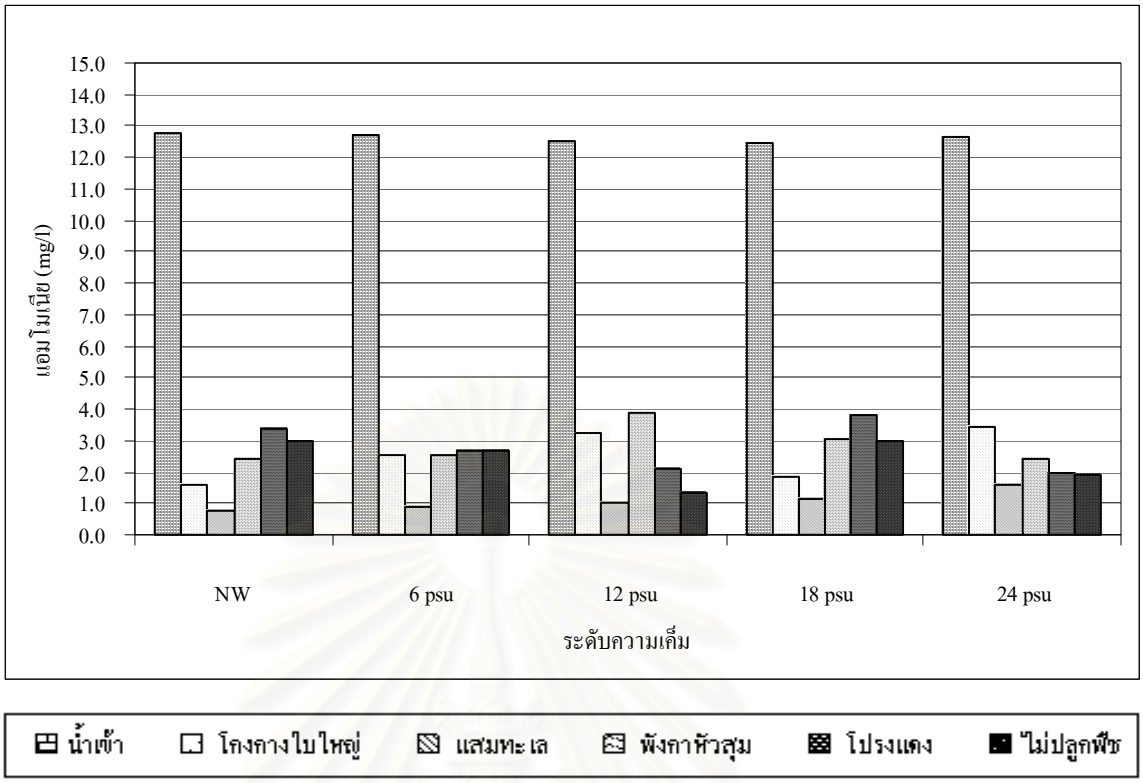
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{a}87.84±8.86^{ab}	^{a}94.01±1.81^{a}	^{a}80.49±5.32^{bc}	^{b}71.71±12.97^{d}	^{c}74.93±8.99^{cd}
6 psu	^{bc}79.83±3.05^{b}	^{a}92.75±2.07^{a}	^{a}79.82±6.61^{b}	^{ab}77.42±11.19^{b}	^{bc}78.44±4.21^{b}
12 psu	^{cd}74.60±6.56^{cd}	^{a}92.06±2.68^{a}	^{b}68.55±6.51^{d}	^{a}82.31±6.93^{bc}	^{a}87.82±13.78^{ab}
18 psu	^{ab}84.42±5.00^{a}	^{ab}89.71±7.65^{a}	^{ab}74.97±8.41^{b}	^{b}68.96±8.92^{b}	^{c}75.55±4.46^{b}
24 psu	^{c}72.77±7.63^{b}	^{b}87.24±5.25^{a}	^{a}80.24±12.50^{a}	^{a}84.07±5.34^{a}	^{ab}77.36±21.91^{a}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

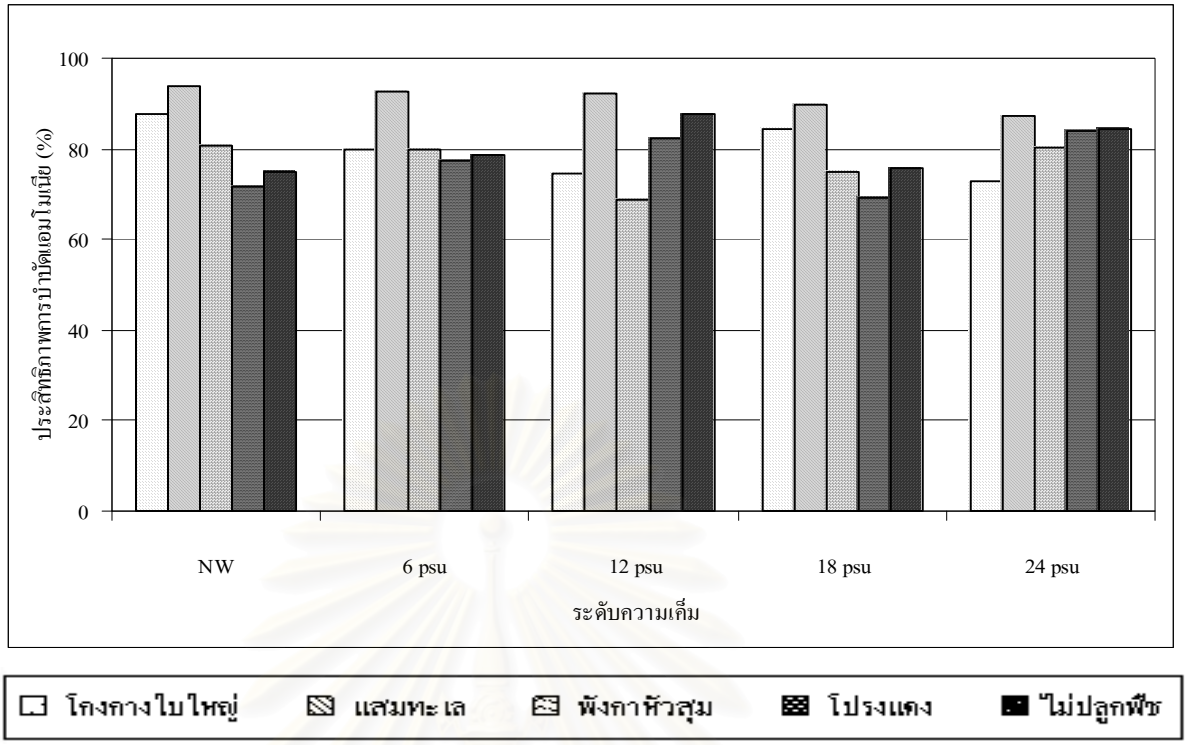
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

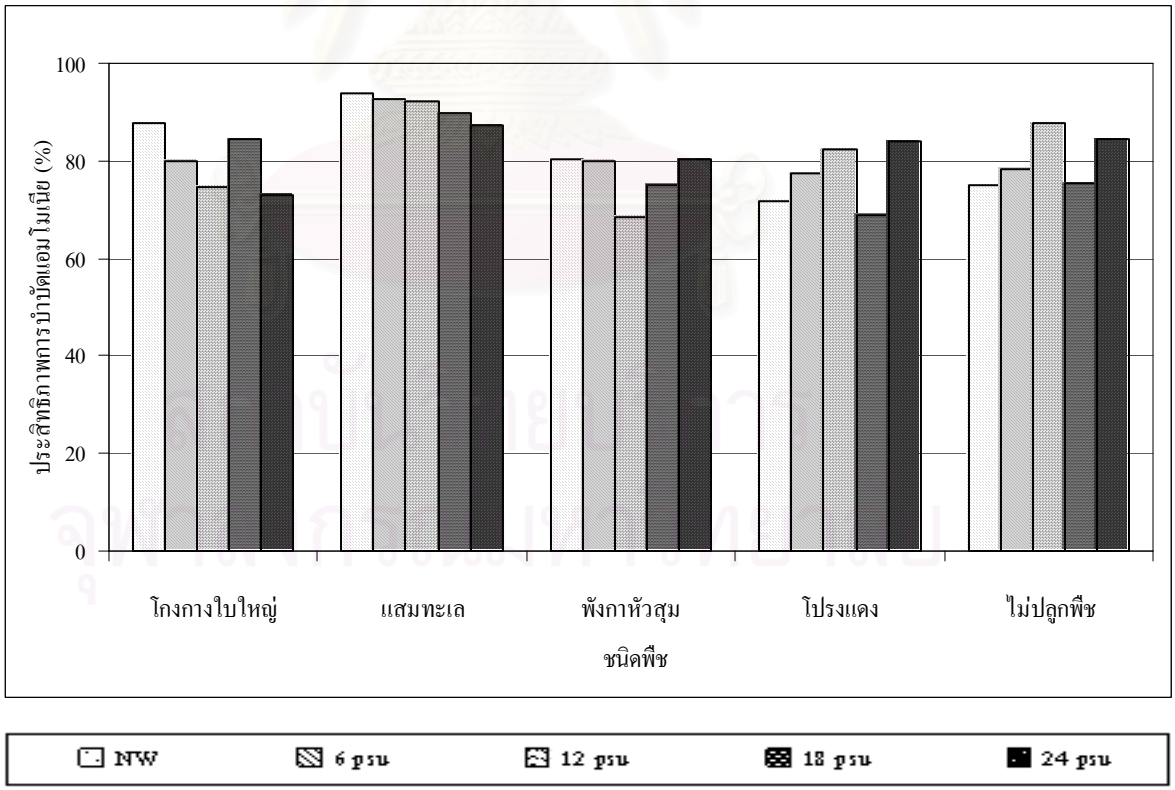


ภาพที่ 4.8 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของชุดทดลอง

(10) ไนเตรท (Nitrate Nitrogen; NO_3 – N)

ปริมาณไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.027 – 0.072 mg/l ซึ่งต่ำมากทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้จำกัด เป็นผลให้ทั้งปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนเตรทมีค่าต่ำ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นทุกชุดทดลอง คือชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง0.073 – 0.116, 0.042 – 0.090, 0.055 – 0.085, 0.040 – 0.070 และ 0.039 – 0.057 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.10) เนื่องจากน้ำเสียในชุดทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้ดีขึ้น เป็นผลให้แอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์พวกไนตริฟายอิงแบคทีเรียไปเป็นไนเตรทได้มากขึ้น (Mitsch และ Gosselink, 2000)

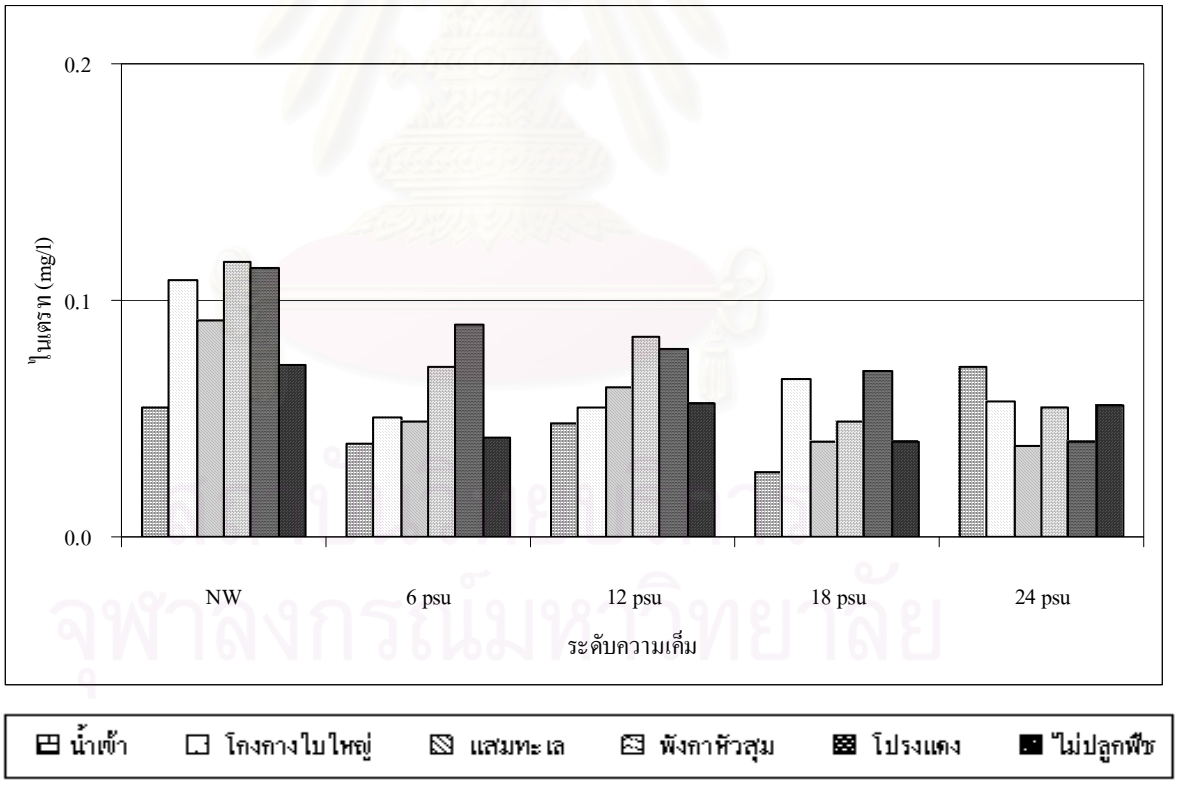
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช) โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.054±0.108	0.109±0.110	^{a}0.092±0.043	^{a}0.116±0.048	^{a}0.114±0.045	0.073±0.025
6 psu	0.039±0.086	0.051±0.019	^{b}0.049±0.019	^{bc}0.072±0.033	^{ab}0.090±0.042	0.042±0.011
12 psu	0.048±0.095	0.055±0.020	^{b}0.063±0.021	^{b}0.085±0.030	^{b}0.079±0.035	0.057±0.030
18 psu	0.027±0.032	0.067±0.049	^{b}0.040±0.016	^{c}0.049±0.011	^{bc}0.070±0.019	0.040±0.022
24 psu	0.072±0.139	0.057±0.036	^{b}0.039±0.022	^{bc}0.055±0.026	^{c}0.040±0.020	0.055±0.034

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



ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนเตรทของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

(11) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus; TP)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.788 – 7.850 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำลงทุกชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.315 – 3.875, 2.585 – 3.273, 2.829 – 3.449, 2.564 – 3.275 และ 2.226 – 3.299 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.11) โดยมีแนวโน้มว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจะลดลงเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น แต่แนวโน้มไม่ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 47.18 – 54.66, 53.79 – 63.51, 48.30 – 57.58, 51.97 – 62.39 และ 57.76 – 71.59% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 51.97 – 64.15, 48.30 – 71.59, 49.00 – 62.07, 47.18 – 63.30 และ 53.85 – 65.52% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.12)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 57.76 – 71.59% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้น จะมีปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เหล็ก (Fe^{3+}) อะลูมิเนียม(Al^{3+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ในดินเลน อยู่ในรูปของเกลือโลหะ เช่น $FeCl_3$ เพิ่มขึ้น มีผลให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสฟอรัส เช่น เฟอริกฟอสเฟต ($FePO_4$) ได้ดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับ Ye และคณะ (2001) ที่ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ในการบำบัดน้ำเสียจากปศุสัตว์ โดยใช้น้ำเสียที่มีระดับความเค็ม 2 ระดับ คือ 0 psu และ 30 psu พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพังกาหัวสุมดอกแดงและรังกะแท้ ที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 30 psu สามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 97.8 % และ 88.0% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu โดยสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ดี 91.8% และ79.2% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน

เนื่องจากการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียนั้น ดินจะเป็นปัจจัยในการบำบัด โดยเฉพาะดินที่มีส่วนประกอบของเหล็ก อะลูมิเนียมและแคลเซียมในปริมาณมาก โดยฟอสฟอรัสจะตกตะกอนกับธาตุเหล่านี้และถูกดูดซับไว้ในดิน (U.S.EPA., 2000) ซึ่งดินที่ใช้ทดลองครั้งนี้เป็นดินเลน ดังนั้นจึงสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าดินประเภทอื่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{ab}7.452±1.047	^{a}3.451±0.223^{b}	^{a}3.525±0.291^{b}	^{a}3.315±0.344^{b}	^{a}3.875±0.225^{a}	^{a}3.376±0.385^{b}
6 psu	^{ab}7.120±0.549	^{b}2.585±0.181^{c}	^{c}2.844±0.388^{b}	^{b}2.800±0.240^{bc}	^{b}3.273±0.221^{a}	^{b}2.700±0.295^{bc}
12 psu	^{b}6.788±0.959	^{b}2.849±0.226^{b}	^{ab}3.449±0.275^{a}	^{a}3.411±0.347^{a}	^{b}2.829±0.381^{b}	^{a}3.300±0.645^{a}
18 psu	^{b}6.822±0.519	^{a}3.275±0.389^{a}	^{bc}3.116±0.551^{a}	^{b}2.574±0.293^{b}	^{b}2.887±0.760^{ab}	^{b}2.564±0.475^{b}
24 psu	^{a}7.850±0.438	^{b}2.807±0.316^{b}	^{d}2.226±0.328^{c}	^{a}3.299±0.555^{a}	^{b}2.869±0.363^{b}	^{b}2.690±0.466^{b}

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

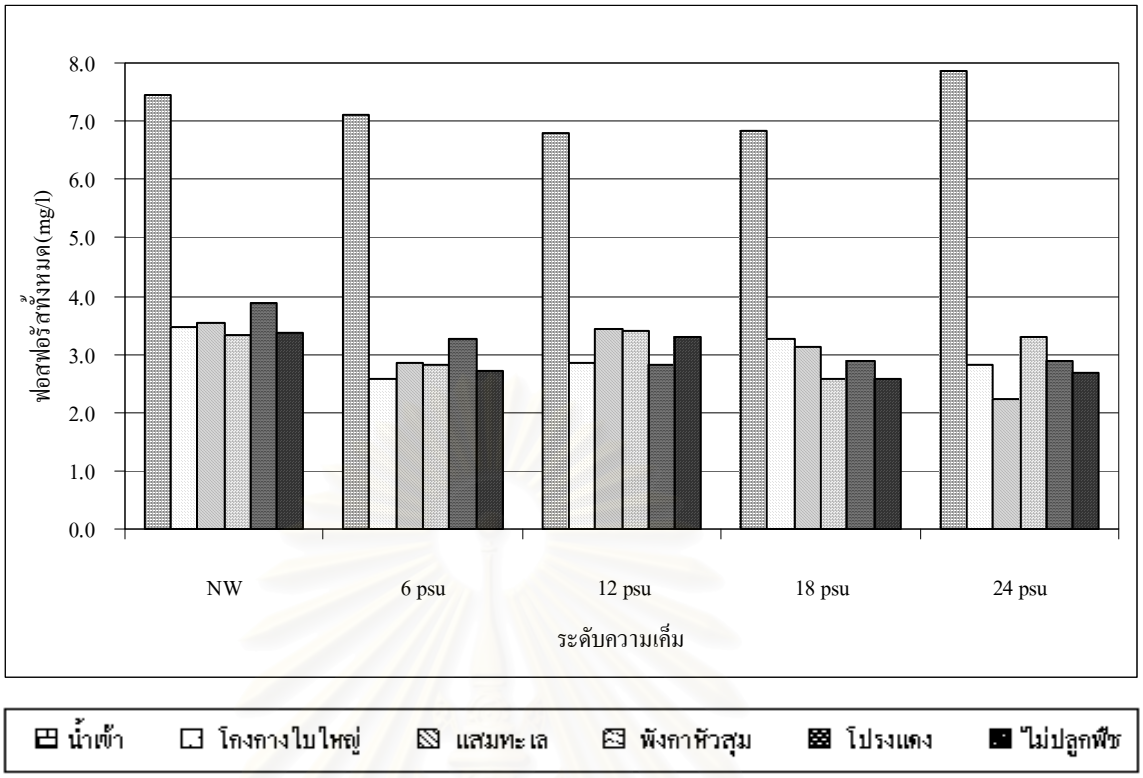
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{bc}52.95±6.75	^{c}52.10±6.21	^{c}54.66±8.34	^{c}47.18±7.43	^{b}53.85±8.68
6 psu	^{a}63.51±3.76^{a}	^{b}59.83±6.25^{a}	^{ab}60.57±3.35^{a}	^{bc}53.79±4.69^{b}	^{a}61.87±5.22^{a}
12 psu	^{b}57.41±5.77^{a}	^{c}48.30±8.08^{b}	^{c}49.00±7.81^{b}	^{ab}57.58±8.27^{a}	^{b}51.02±9.38^{ab}
18 psu	^{c}51.97±4.81^{b}	^{bc}54.17±8.25^{b}	^{a}62.07±5.25^{a}	^{ab}57.30±11.86^{ab}	^{a}62.39±6.55^{a}
24 psu	^{a}64.15±4.48^{b}	^{a}71.59±4.33^{a}	^{ab}57.76±8.08^{c}	^{a}63.30±5.46^{bc}	^{a}65.52±7.17^{b}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

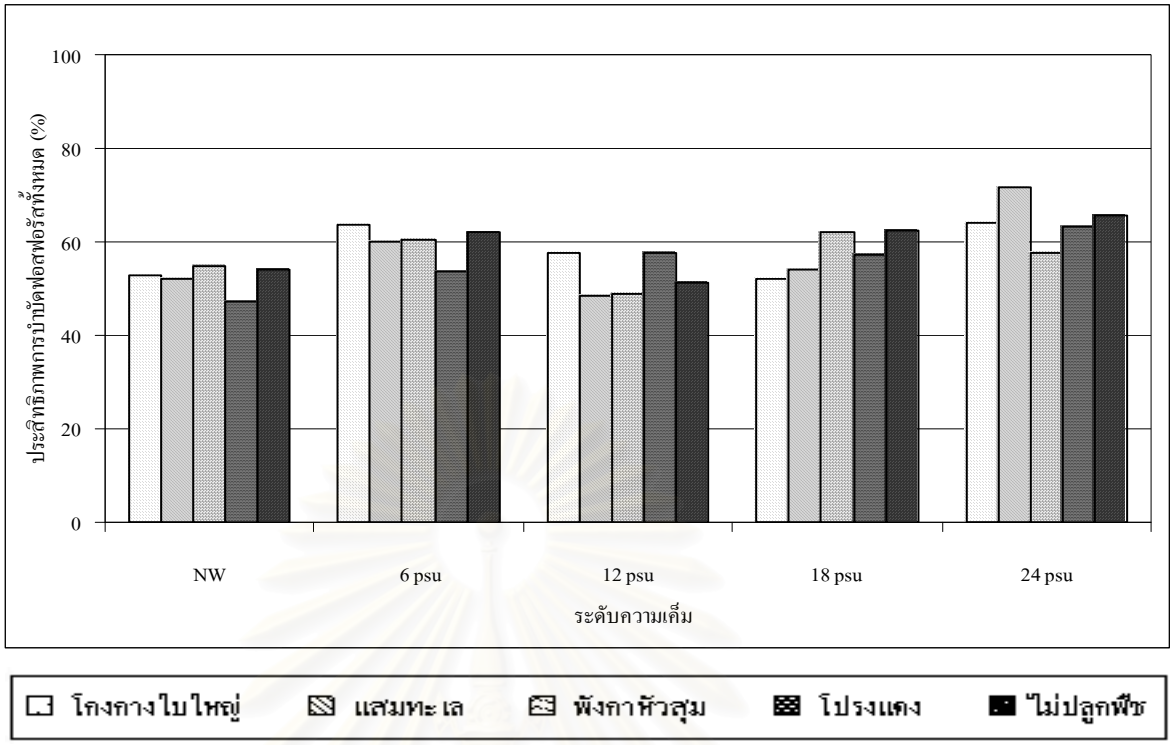
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

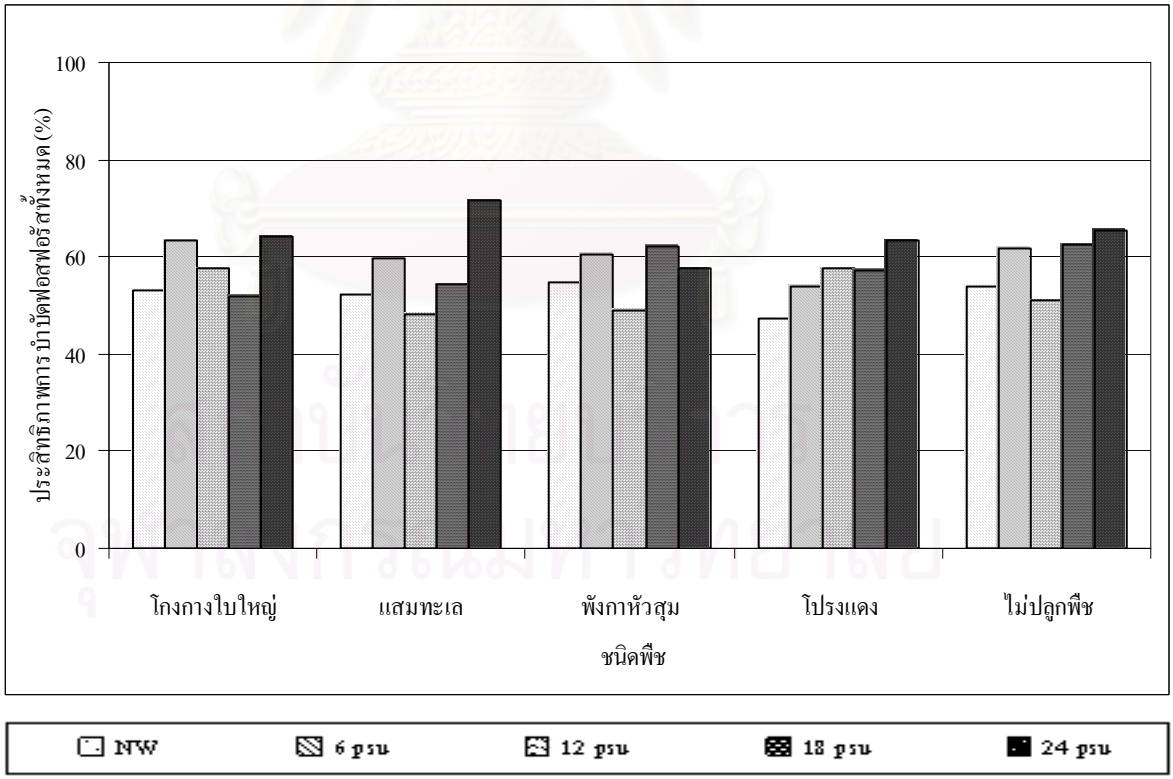


ภาพที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลอง

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

ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.897 – 5.558 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่ำลงทุกชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.327 – 2.811, 1.929 – 2.367, 2.078 – 2.518, 1.801 – 2.331 และ 1.654 – 2.400 mg/lตามลำดับ (ตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.13) โดยมีแนวโน้มว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟตจะลดลงเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น แต่แนวโน้มไม่ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอยู่ในช่วง 46.11 – 55.19, 53.67 –62.19, 49.68 – 58.55, 52.36 – 63.21 และ 56.76 – 70.27% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50.12 – 62.70, 49.68 – 70.27, 50.36 – 63.01, 46.11 – 62.27 และ 52.33 – 63.60% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.14)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 56.76 – 70.27% ซึ่งจะเห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับฟอสฟอรัสทั้งหมดและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม NW) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถึงแม้ออร์โธฟอสเฟตจะเป็นสารประกอบฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ แต่ปริมาณที่นำไปใช้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีการปรับความเค็มโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ทำให้มีปริมาณโซเดียมไอออนสูงขึ้น และมีสภาพเป็นด่าง ทำให้ฟอสเฟตสามารถรวมตัวกับโซเดียมไอออน (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543) เกิดการตกตะกอนและถูกดูดซับไว้ในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ตารางที่ 4.15 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	5.278±0.704	^{a}2.591±0.209^{b}	^{a}2.526±0.188^{ab}	^{a} 2.444±0.240^{ab}	^{a}2.811±0.169^{a}	^{ab}2.327±0.309^{c}
6 psu	5.141±0.142	^{c}2.013±0.144^{bc}	^{b}2.217±0.312^{ab}	^{b}2.043±0.175^{bc}	^{b}2.367±0.188^{a}	^{c}1.929±0.227^{c}
12 psu	5.091±0.179	^{c}2.080±0.165^{b}	^{a}2.518±0.201^{a}	^{a}2.490±0.253^{a}	^{b}2.078±0.278^{b}	^{a}2.409±0.470^{a}
18 psu	4.897±0.376	^{b}2.331±0.297^{a}	^{b}2.181±0.385^{ab}	^{b}1.801±0.205^{b}	^{b}2.079±0.547^{ab}	^{c}1.801±0.335^{b}
24 psu	5.558±0.207	^{c}2.073±0.231^{b}	^{c}1.654±0.239^{c}	^{a}2.400±0.398^{a}	^{b}2.095±0.265^{b}	^{bc}2.017±0.350^{b}

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต

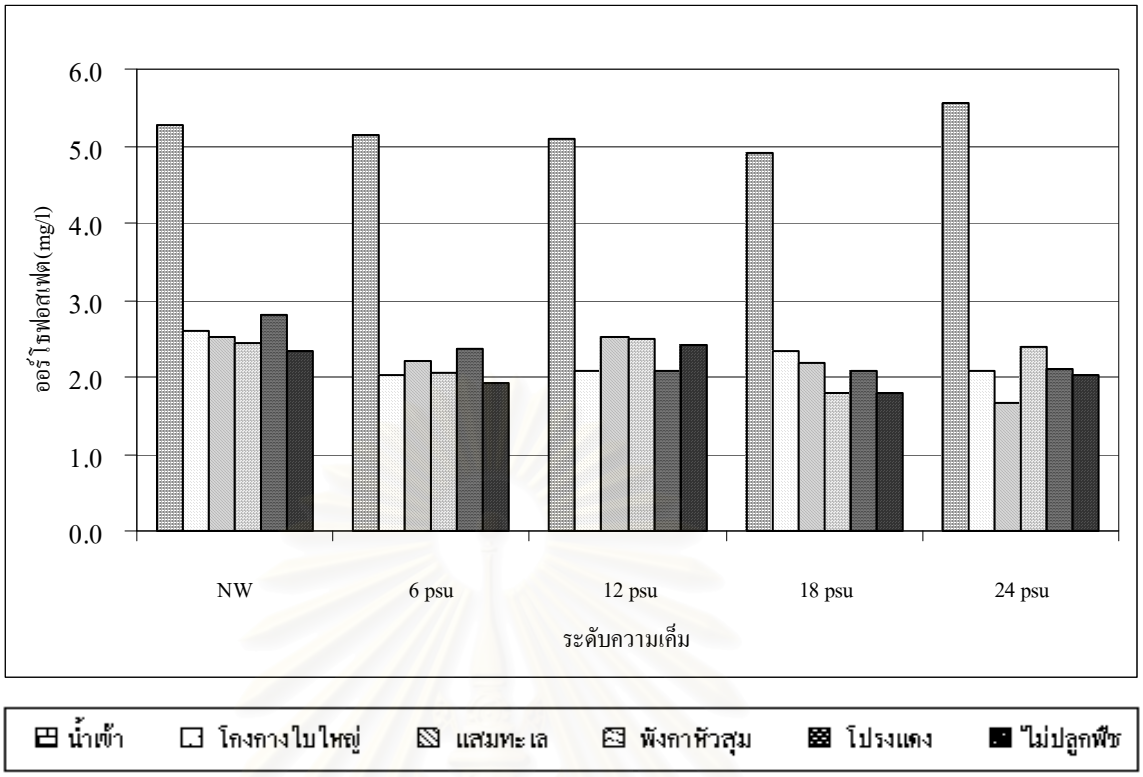
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
	โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{b}50.12±7.94	^{bc}51.63±5.59	^{bc}53.04±7.09	^{c}46.11±6.37	^{bc}55.19±8.50
6 psu	^{a}60.65±3.88^{ab}	^{b}56.73±6.06^{bc}	^{a}60.12±3.52^{ab}	^{b}53.67±5.38^{c}	^{ab}62.19±5.98^{a}
12 psu	^{a}58.55±5.61^{a}	^{c}49.68±7.87^{b}	^{c}50.36±7.60^{b}	^{ab}58.46±8.08^{a}	^{c}52.33±9.13^{ab}
18 psu	^{b}52.36±5.50^{b}	^{bc}55.31±7.96^{ab}	^{a}63.01±5.05^{a}	^{ab}57.15±11.97^{ab}	^{a}63.21±6.41^{a}
24 psu	^{a}62.70±4.02^{b}	^{a}70.27±4.00^{a}	^{ab}56.76±7.40^{c}	^{a}62.27±4.99^{b}	^{a}63.60±6.79^{b}

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 18 ซ้ำ

ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

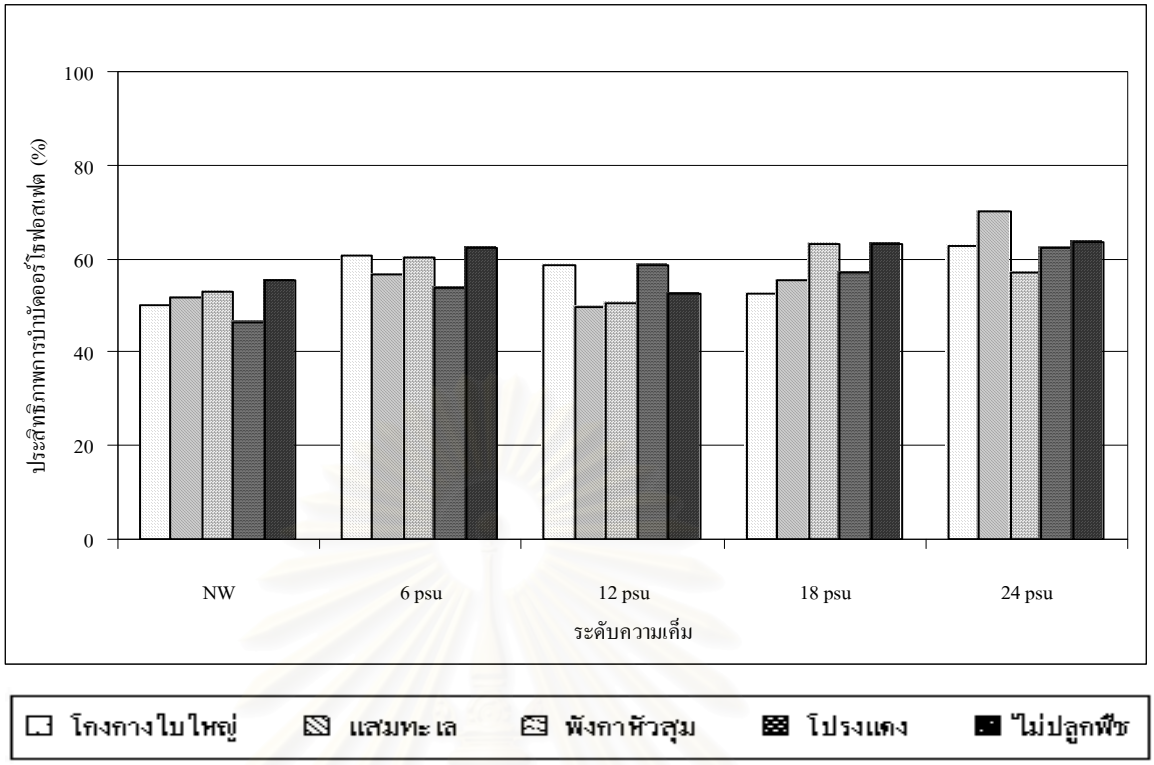
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

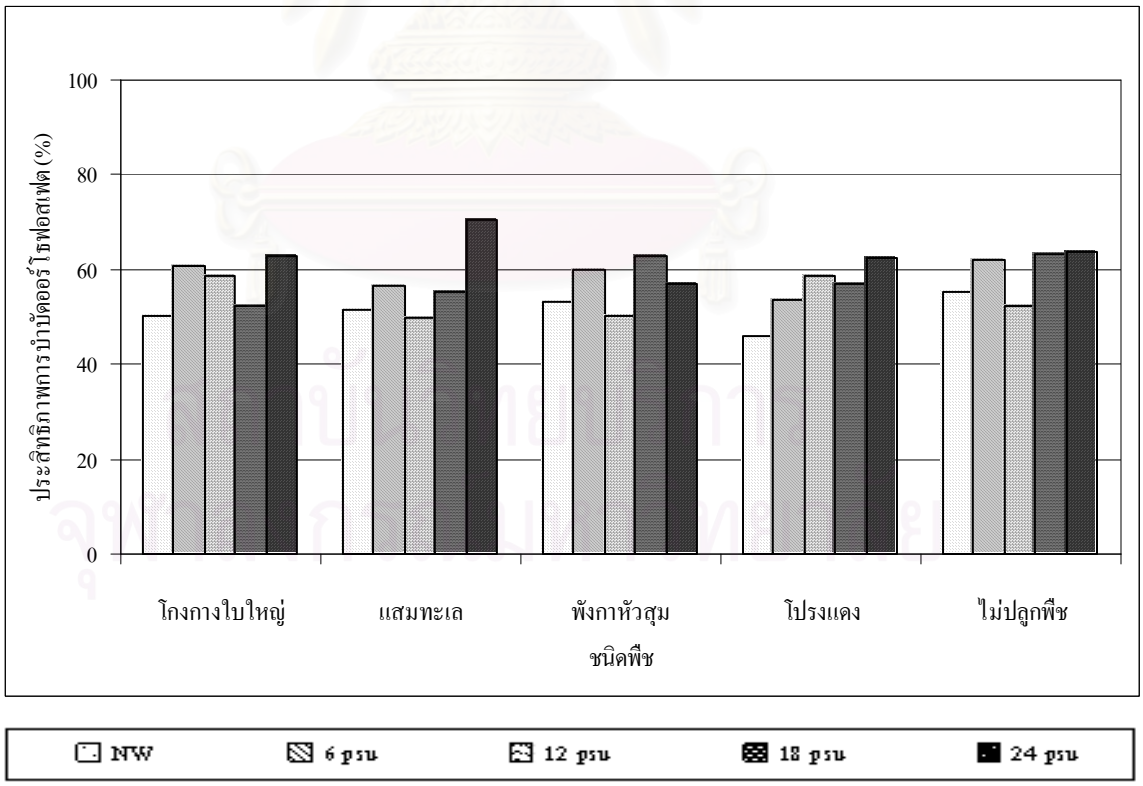


ภาพที่ 4.13 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำต่างระดับความเค็ม ก่อนและหลังทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เปรียบเทียบระหว่างระดับความเค็ม



(ข) เปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช

ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลอง

(13) ตะกั่ว (Lead) และทองแดง (Copper)

ปริมาณตะกั่วและทองแดงของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงต่ำกว่า 0.500 – 2.658 mg/l และ0.150 – 4.230 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดในน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองบางชุดทดลองมีค่าต่ำกว่า 2 mg/l ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปรับความเข้มข้นของโลหะหนักซึ่งใช้ตะกั่วและทองแดง ปริมาณ 2.6853 และ 5.3701 g ตามลำดับ ผสมกับน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ในถังสำรองขนาด 1,000 ลิตร ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำ 1,000 ลิตร จึงทำให้การกระจายตัวของโลหะหนักไม่ทั่วทั้งถังสำรองน้ำและบางส่วนอาจตะกอนอยู่ที่ก้นถังสำรองในรูปของเกลือของโลหะได้อีกด้วย ส่วนบางชุดทดลองที่มีค่าสูงกว่า 2 mg/l อาจเนื่องจากในน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ที่นำมาใช้ทดลองมีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดอยู่ด้วย น้ำที่ผ่านการบำบัด พบว่า ในทุกชุดทดลองมีค่าตะกั่วไม่เปลี่ยนแปลง แต่ทองแดงมีปริมาณลดลง คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าตะกั่วเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า detection limit คือ 0.500 mg/l (ตารางที่ 4.17) ในขณะที่มีค่าทองแดงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.136 – 0.202, 0.170 – 0.387, 0.208 – 0.349, 0.245 – 0.378 และ 0.181 – 0.256 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
6 psu	2.658±1.751	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
12 psu	1.477±0.262	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1.069
18 psu	1.913±1.137	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
24 psu	1.993±0.246	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.807

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.500 mg/l

ตารางที่ 4.18 ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังทดลอง

ชุดทดลอง	น้ำเสียก่อนทดลอง (mg/l)	น้ำหลังทดลอง (mg/l)				
		โกงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.150±0.070	0.147	0.155	0.136	0.143	0.202
6 psu	4.230±2.646	0.239±0.173	0.258	0.215±0.057	0.387	0.170±0.093
12 psu	2.165±0.552	0.264±0.129	0.230±0.094	0.208±0.104	0.349±0.176	0.264±0.070
18 psu	1.527±0.371	0.273±0.138	0.345±0.201	0.378±0.227	0.245±0.173	0.364±0.097
24 psu	1.799±0.240	0.256±0.094	0.231±0.062	0.236±0.042	0.181±0.103	0.234±0.119

หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.100 mg/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการศึกษาสมบัติของดิน

(1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

ความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย มีค่าอยู่ในช่วง 7.52-8.50 และ 7.56-8.01 ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 8.67-8.83, 8.25-8.91, 8.72-8.80, 8.71-8.86 และ 8.44-8.70 ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 8.63-8.80, 8.21-8.87, 8.70-8.78, 8.66-8.81 และ 8.40-8.65 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20)

การที่ความเป็นกรด-ด่างของดินในชุดทดลองมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากดินในป่าชายเลนทั่วไปซึ่งมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากดินในป่าชายเลนในสภาพธรรมชาติมีการท่วมขังของน้ำทะเลเป็นเวลานานกว่าช่วงที่ไม่มีน้ำท่วมขัง ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในดินต่ำ จุลินทรีย์จึงย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน จนกระทั่งซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ จึงทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ประกอบกับการร่วงหล่นของเศษใบไม้กิ่งไม้และสะสมอยู่มาก เมื่อเกิดการย่อยสลายในช่วงที่ไม่มีน้ำท่วมขังจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดด้วย (ปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์, 2547) ในขณะที่ดินในชุดทดลองภายหลังการกักเก็บน้ำ จะระบายน้ำออกและปล่อยน้ำและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 4 วัน ทำให้ดินมีการระบายอากาศดีได้รับออกซิเจนมากขึ้น ทำให้มีออกซิเจนเพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ และไม่เกิดซัลไฟด์ขึ้น ดินในทุกชุดทดลองจึงไม่มีสภาพเป็นกรด นอกจากนี้การเติมน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มสูงแก่ชุดทดลอง อาจทำให้ชุดทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นน้อยลง ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจึงน้อยลงไปด้วย สอดคล้องกับที่ Tam (1998) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำเสียต่อจำนวนจุลินทรีย์และปฏิกิริยาต่างๆในดินป่าชายเลน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ 0 psu และ 15 psu พบว่า ดินที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 0 psu มีจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์มากกว่าดินที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 15 psu ส่งผลให้ปฏิกิริยาต่างๆของเอนไซม์ในดินสูงกว่าด้วย รวมทั้งการเติมน้ำทะเลที่มีสภาพเป็นด่างลงไปในชุดทดลองและกักเก็บเป็นระยะเวลา 3 วัน ซึ่งอาจส่งผลให้ดินมีความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้น และจากการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบนมีแนวโน้มสูงกว่าดินชั้นล่าง

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืชพบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ

ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นล่างระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับดินชั้นบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	7.90±0.01	8.05±0.14	8.32±0.10	8.67±0.11
	6 psu	7.89±0.08	8.15±0.29	8.42±0.33	8.65±0.14[a]
	12 psu	7.89±0.10	8.12±0.18	8.52±0.10	8.77±0.13
	18 psu	7.99±0.15	7.81±0.04	8.40±0.22	8.79±0.06
	24 psu	7.59±0.13	8.12±0.18	8.19±0.07	8.51±0.46
โกงกางใบใหญ่	**NW**	7.90±0.07	8.07±0.21	8.38±0.23	8.83±0.07
	6 psu	7.74±0.12	8.19±0.07	8.35±0.13	8.25±0.14[b]
	12 psu	7.88±0.05	8.13±0.40	8.42±0.27	8.77±0.03
	18 psu	8.01±0.23	8.02±0.25	8.19±0.17	8.71±0.20
	24 psu	7.70±0.16	8.06±0.11	8.26±0.09	8.63±0.21
แสมทะเล	**NW**	7.97±0.03	8.05±0.13	8.34±0.15	8.72±0.32
	6 psu	7.69±0.28	7.99±0.15	8.26±0.18	8.91±0.06[a]
	12 psu	7.94±0.21	8.18±0.09	8.32±0.13	8.75±0.29
	18 psu	7.95±0.06	7.89±0.10	8.18±0.10	8.86±0.13
	24 psu	7.89±0.05	8.07±0.26	8.17±0.02	8.63±0.05
พังกาหัวสุม	**NW**	7.77±0.11	7.97±0.18	8.29±0.23	8.68±0.15
	6 psu	8.50±0.93	8.13±0.06	8.20±0.13	8.71±0.19[a]
	12 psu	7.97±0.04	8.14±0.26	8.24±0.18	8.72±0.06
	18 psu	7.90±0.04	7.86±0.07	8.26±0.02	8.83±0.05
	24 psu	7.89±0.10	8.18±0.47	8.29±0.23	8.70±0.08
โปรงแดง	**NW**	[b]7.97±0.21	7.89±0.13	8.24±0.13	8.71±0.09
	6 psu	[b]7.88±0.06	7.92±0.10	8.30±0.07	8.83±0.06[a]
	12 psu	[b]8.06±0.11	8.00±0.25	8.27±0.25	8.80±0.01
	18 psu	[b]7.91±0.06	7.99±0.15	8.23±0.25	8.81±0.14
	24 psu	[a]7.52±0.09	8.07±0.22	8.16±0.04	8.44±0.21

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	7.90±0.08	8.00±0.14	8.26±0.08	8.63±0.11
	6 psu	7.89±0.08	8.13±0.26	8.38±0.33	8.61±0.16[a]
	12 psu	7.88±0.08	8.08±0.17	8.49±0.08	8.73±0.13
	18 psu	8.00±0.23	7.80±0.06	8.36±0.22	8.75±0.07
	24 psu	7.56±0.17	8.10±0.14	8.17±0.08	8.48±0.46
โกงกางใบใหญ่	NW	7.89±0.06	8.03±0.21	8.34±0.23	8.80±0.06
	6 psu	7.75±0.13	8.17±0.04	8.32±0.12	8.21±0.14[b]
	12 psu	7.88±0.00	8.61±0.29	8.39±0.30	8.74±0.02
	18 psu	7.92±0.05	7.96±0.23	8.14±0.16	8.66±0.21
	24 psu	7.91±0.04	8.02±0.12	8.23±0.08	8.58±0.20
แสมทะเล	NW	7.97±0.02	8.02±0.13	8.30±0.13	8.68±0.32
	6 psu	7.67±0.26	7.97±0.13	8.22±0.17	8.87±0.06[a]
	12 psu	7.91±0.20	8.14±0.08	8.29±0.12	8.71±0.29
	18 psu	7.90±0.07	7.86±0.06	8.15±0.09	8.81±0.13
	24 psu	7.90±0.06	8.04±0.27	8.12±0.01	8.58±0.05
พังกาหัวสุม	NW	7.77±0.10	7.93±0.18	8.24±0.23	8.63±0.16
	6 psu	7.94±0.08	8.12±0.06	8.17±0.11	8.67±0.22[a]
	12 psu	7.57±0.59	8.09±0.26	8.19±0.17	8.70±0.08
	18 psu	7.89±0.04	7.83±0.06	8.21±0.01	8.78±0.06
	24 psu	7.80±0.04	8.15±0.49	8.25±0.21	8.65±0.07
โปรงแดง	NW	7.98±0.13	7.84±0.12	8.20±0.14	8.69±0.09
	6 psu	7.90±0.06	7.91±0.10	8.26±0.08	8.78±0.06[a]
	12 psu	8.01±0.10	7.98±0.25	8.23±0.25	8.78±0.04
	18 psu	7.56±0.15	7.95±0.15	8.18±0.24	8.77±0.13
	24 psu	7.65±0.29	8.04±0.19	8.13±0.03	8.40±0.18

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) ความเค็มของดิน (salinity)

ความเค็มของดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1.10-2.30 และ 1.15-1.95 psu ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ความเค็มของดินมีค่าสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าความเค็มของดินชั้นบนอยู่ในช่วง 4.05-4.45, 4.15-4.65, 4.35-4.65, 4.45-4.95 และ 4.95-5.50 psu ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 4.40-4.85, 4.90-5.15, 5.00-5.25, 5.15-5.50 และ 5.75-6.15 psu ตามลำดับ (ตาราง 4.21 และตารางที่ 4.22)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง มีค่าความเค็มสูงกว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ ประกอบกับการพักระบบแต่ละครั้ง มีการเติมน้ำทะเลแก่ชุดทดลองทำให้มีการสะสมของเกลือสูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นล่าง ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับดินชั้นบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเค็ม (psu)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	^{b}1.15±0.07	2.40±0.42	3.20±0.71	4.45±0.21
	6 psu	^{b}1.40±0.14	2.65±0.21	3.30±0.42	4.25±0.21
	12 psu	^{b}1.40±0.28	2.80±0.42	3.55±0.92	4.35±0.21
	18 psu	^{ab}1.80±0.00	3.35±0.64	3.75±0.64	4.45±0.49
	24 psu	^{a}1.90±0.28	3.45±0.49	4.35±1.20	4.95±0.21
โกงกางใบใหญ่	NW	^{b}1.10±0.14	2.30±0.28	3.15±0.78	4.15±0.21
	6 psu	^{b}1.45±0.07	2.85±1.06	3.45±0.49	4.30±0.14
	12 psu	^{b}1.35±0.35	2.85±0.35	3.80±0.71	4.65±0.21
	18 psu	^{ab}1.65±0.21	3.20±0.71	3.90±1.13	4.70±0.14
	24 psu	^{a}2.20±0.28	3.90±0.71	4.15±1.77	5.15±0.64
แสมทะเล	NW	^{b}1.35±0.07	2.40±0.28	3.25±0.64	4.05±0.35
	6 psu	^{b}1.55±0.07	2.40±0.42	3.40±0.42	4.15±0.35
	12 psu	^{b}1.60±0.14	2.95±0.49	3.90±0.71	4.60±0.14
	18 psu	^{b}1.60±0.28	3.45±0.92	4.10±1.98	4.95±0.21
	24 psu	^{a}2.25±0.07	3.95±0.35	4.20±1.27	5.00±0.99
พังกาหัวสุม	NW	^{c}1.30±0.14	2.50±0.42	3.40±0.71	4.10±0.28
	6 psu	^{bc}1.65±0.21	2.75±0.21	3.70±0.57	4.15±0.35
	12 psu	^{bc}1.60±0.14	2.80±0.42	3.80±0.99	4.25±0.35
	18 psu	^{b}1.80±0.14	3.30±0.28	4.00±1.70	4.55±0.49
	24 psu	^{a}2.30±0.14	3.80±0.99	4.40±1.70	5.30±0.28
โปรงแดง	NW	^{b}1.40±0.00	2.15±0.35	3.30±0.71	^{b}4.15±0.21
	6 psu	^{b}1.65±0.07	2.70±0.42	3.40±0.57	^{b}4.65±0.35
	12 psu	^{b}1.50±0.28	3.05±0.49	3.85±1.06	^{b}4.65±0.21
	18 psu	^{b}1.75±0.21	3.60±0.57	3.95±1.48	^{b}4.65±0.35
	24 psu	^{a}2.25±0.07	3.90±0.42	4.55±0.78	^{a}5.50±0.14

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยความเค็มของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความเค็ม (psu)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	1.30±0.14	[c] 2.35±0.35	3.45±0.78	[c] 4.60±0.14
	6 psu	1.20±0.14	[bc] 2.65±0.21	3.75±0.35	[bc] 4.90±0.14
	12 psu	1.50±0.28	[ab] 3.30±0.42	4.10±0.85	[bc] 5.00±0.28
	18 psu	1.55±0.07	[a] 3.75±0.21	4.45±0.35	[b] 5.15±0.21
	24 psu	1.70±0.28	[a] 3.95±0.49	4.85±1.20	[a] 5.80±0.14
โกงกางใบใหญ่	**NW**	1.35±0.07	2.35±0.21	3.00±0.14	[c] 4.45±0.21
	6 psu	1.15±0.07	3.35±1.06	4.00±0.42	[bc] 4.95±0.21
	12 psu	1.45±0.35	3.35±0.35	4.30±0.71	[ab] 5.20±0.28
	18 psu	1.55±0.21	3.55±0.21	4.40±1.13	[ab] 5.25±0.07
	24 psu	1.75±0.35	4.20±0.28	4.70±1.70	[a] 5.75±0.35
แสมทะเล	**NW**	1.45±0.07	2.45±0.35	3.35±0.64	[c] 4.40±0.28
	6 psu	1.35±0.07	2.90±0.42	4.10±0.57	[bc] 4.90±0.28
	12 psu	1.65±0.07	3.50±0.42	4.35±0.64	[b] 5.15±0.21
	18 psu	1.45±0.35	3.70±0.57	4.65±1.77	[ab] 5.45±0.21
	24 psu	1.70±0.42	4.05±0.21	4.70±1.27	[a] 6.00±0.28
พังกาหัวสุม	**NW**	1.40±0.14	2.55±0.49	3.55±0.78	[b] 4.75±0.21
	6 psu	1.40±0.14	3.35±0.35	4.20±0.57	[b] 4.95±0.35
	12 psu	1.65±0.07	3.70±0.28	4.30±0.99	[b] 5.25±0.35
	18 psu	1.60±0.14	3.80±0.28	4.60±1.41	[ab] 5.40±0.14
	24 psu	1.95±0.49	3.75±0.92	4.85±1.91	[a] 6.05±0.21
โปรงแดง	**NW**	1.55±0.07	[b] 2.20±0.28	3.35±0.78	[c] 4.85±0.21
	6 psu	1.45±0.07	[a] 3.30±0.57	3.95±0.49	[bc] 5.15±0.35
	12 psu	1.55±0.21	[a] 3.60±0.57	4.35±1.06	[bc] 5.20±0.14
	18 psu	1.60±0.28	[a] 3.85±0.21	4.50±1.41	[b] 5.50±0.14
	24 psu	1.90±0.14	[a] 3.95±0.35	5.05±0.64	[a] 6.15±0.07

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

(3) การนำไฟฟ้าของดิน (conductivity)

การนำไฟฟ้าของดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 3.83-6.49 และ 4.09-5.35 mS/cm ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า การนำไฟฟ้าของดินมีค่าสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าการนำไฟฟ้าของดินชั้นบนอยู่ในช่วง 9.22-9.66, 9.60-10.37, 10.39-10.87, 10.97-11.44 และ 12.07-18.51 mS/cm ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 9.46-9.75, 10.37-10.87, 10.81-11.02, 10.98-11.98 และ 12.70-13.00 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.24) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าดินชั้นล่าง เนื่องจากเกลือจากดินชั้นบนชะลงมาสู่ดินชั้นล่าง โดยค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือที่จะละลายได้ในดินด้วย กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณเกลือละลายอยู่ในดินมากค่าการนำไฟฟ้าจะสูง และถ้าปริมาณเกลือในดินลดลงค่าการนำไฟฟ้าในดินก็จะลดลงด้วย (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954 อ้างถึงใน กฤติกา ทองสมบัติ, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นล่าง ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับดินชั้นบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	การนำไฟฟ้า (mS/cm)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	3.89±0.33	^{c}4.49±0.54	^{b}6.15±1.00	^{c}9.62±0.52
	6 psu	4.54±0.45	^{bc}4.85±0.23	^{b}6.44±0.61	^{c}9.95±0.84
	12 psu	3.94±1.17	^{bc}5.44±0.45	^{b}6.88±0.33	^{bc}10.44±0.30
	18 psu	5.43±0.20	^{ab}5.95±0.43	^{ab}7.68±0.79	^{ab}11.41±0.24
	24 psu	6.27±0.67	^{a}6.85±0.43	^{a}8.97±0.40	^{a}12.20±0.46
โกงกางใบใหญ่	NW	^{c}3.95±0.24	4.67±0.59	^{c}6.16±0.69	^{d}9.32±0.47
	6 psu	^{bc}4.85±0.23	5.01±0.33	^{bc}6.45±0.48	^{cd}9.60±0.39
	12 psu	^{bc}4.23±0.83	5.63±0.54	^{bc}7.46±0.74	^{bc}10.61±0.40
	18 psu	^{ab}5.52±0.52	5.79±0.62	^{ab}8.00±0.49	^{ab}10.97±0.17
	24 psu	^{a}6.11±0.52	6.89±0.64	^{a}9.15±0.56	^{a}12.07±0.72
แสมทะเล	NW	3.83±1.01	^{c}4.76±0.30	^{d}6.11±0.61	^{c}9.22±0.46
	6 psu	4.69±0.62	^{bc}4.83±0.44	^{cd}6.63±0.59	^{c}9.88±0.28
	12 psu	4.24±0.99	^{bc}5.61±0.40	^{bc}7.57±0.40	^{bc}10.39±0.41
	18 psu	5.93±0.45	^{ab}6.01±0.24	^{ab}8.10±0.45	^{ab}11.36±0.54
	24 psu	6.49±0.54	^{a}6.84±0.52	^{a}9.00±0.47	^{a}12.48±0.71
พังกาหัวสุม	NW	4.95±0.42	^{c}4.81±0.47	^{c}6.01±0.33	^{c}9.66±0.25
	6 psu	4.95±0.42	^{bc}5.07±0.26	^{bc}6.45±0.71	^{bc}10.20±0.39
	12 psu	4.00±1.26	^{bc}5.61±0.47	^{bc}7.48±0.52	^{bc}10.42±0.47
	18 psu	5.61±0.32	^{ab}5.97±0.44	^{ab}8.07±1.15	^{ab}11.30±0.49
	24 psu	6.40±0.63	^{a}6.95±0.23	^{a}9.45±0.57	^{a}12.47±0.73
โปรงแดง	NW	4.43±0.44	^{b}4.78±0.61	^{c}5.96±0.26	^{d}9.45±0.29
	6 psu	5.35±0.71	^{b}4.97±0.21	^{bc}6.47±0.63	^{cd}10.37±0.45
	12 psu	5.41±0.34	^{b}5.50±0.55	^{bc}7.42±0.47	^{bc}10.87±0.40
	18 psu	5.28±0.41	^{ab}5.98±0.34	^{ab}8.11±1.15	^{b}11.44±0.46
	24 psu	6.12±0.99	^{a}6.97±0.44	^{a}9.38±0.38	^{a}12.51±0.38

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	การนำไฟฟ้า (mS/cm)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	4.09±0.33	^{d}4.28±0.24	^{c} 6.26±1.01	^{b} 9.73±0.54
	6 psu	4.33±0.45	^{c}4.90±0.16	^{bc} 6.83±0.41	^{b} 10.40±0.77
	12 psu	4.78±0.16	^{c}5.38±0.25	^{bc} 7.36±0.43	^{b} 10.87±0.28
	18 psu	4.86±0.13	^{b}6.11±0.20	^{b} 8.13±0.72	^{b} 10.98±0.14
	24 psu	5.15±0.10	^{a}6.99±0.04	^{a} 9.77±0.26	^{a} 12.70±0.46
โกงกางใบใหญ่	**NW**	4.14±0.26	^{c} 4.15±0.10	^{c} 6.24±0.66	^{d} 9.60±0.49
	6 psu	4.18±0.14	^{b} 5.24±0.30	^{bc} 6.89±0.31	^{cd} 10.43±0.35
	12 psu	4.45±0.82	^{b} 5.50±0.35	^{b} 7.91±0.81	^{b} 10.96±0.18
	18 psu	4.93±0.26	^{b} 5.93±0.41	^{ab} 8.45±0.57	^{b} 11.10±0.30
	24 psu	5.35±0.19	^{a} 7.11±0.33	^{a} 9.65±0.60	^{a} 12.73±0.66
แสมทะเล	**NW**	4.19±0.78	^{c} 4.83±0.40	^{d} 6.26±0.64	^{d} 9.46±0.58
	6 psu	4.47±0.64	^{c} 5.07±0.21	^{cd} 7.03±0.59	^{cd} 10.37±0.30
	12 psu	4.76±0.25	^{b} 5.99±0.37	^{bc} 7.90±0.35	^{bc} 10.81±0.27
	18 psu	4.92±0.19	^{b} 6.16±0.03	^{ab} 8.59±0.42	^{ab} 11.89±0.49
	24 psu	5.16±0.07	^{a} 7.00±0.29	^{a} 9.47±0.52	^{a} 12.81±0.42
พังกาหัวสุม	**NW**	4.17±0.16	4.91±0.62	^{d}6.44±0.06	^{c} 9.68±0.33
	6 psu	4.72±0.40	5.54±0.30	^{cd} 7.12±0.59	^{bc} 10.47±0.30
	12 psu	4.79±0.14	5.81±0.32	^{bc} 7.88±0.35	^{bc} 11.02±0.47
	18 psu	5.02±0.36	6.37±0.45	^{ab} 8.83±0.53	^{ab} 11.80±0.49
	24 psu	5.33±0.31	6.48±0.14	^{a} 9.81±0.32	^{a} 12.92±0.80
โปรงแดง	**NW**	4.64±0.43	^{d} 4.18±0.10	^{d} 6.12±0.25	^{d} 9.75±0.24
	6 psu	4.95±0.15	^{c} 5.35±0.37	^{cd} 6.85±0.38	^{d} 10.87±0.30
	12 psu	4.71±0.06	^{bc} 5.93±0.54	^{bc} 7.89±0.49	^{c} 11.00±0.43
	18 psu	5.04±0.33	^{ab} 6.43±0.07	^{ab} 8.62±1.17	^{b}11.98±0.40
	24 psu	5.29±0.14	^{a} 7.07±0.30	^{a} 10.05±0.33	^{a} 13.00±0.36

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

(4) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและประเภทเนื้อดิน (partice size distribution and soil texture)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ดินในชุดทดลองส่วนใหญ่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) และมีบางชุดทดลองที่เป็นดินร่วน (loam) โดยดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) มีเปอร์เซ็นต์ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ผันแปรในช่วงกว้าง อยู่ในช่วง 24-43, 28-44 และ 21-37% ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ลักษณะเนื้อดินในชุดทดลองส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง ยังคงเป็นดินร่วนเหนียว และมีบางชุดทดลองเท่านั้นที่เป็นดินร่วน มีเปอร์เซ็นต์ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวอยู่ในช่วง 27-45, 24-46 และ 23-41% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25 และตารางที่ 4.26) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูงขึ้นทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ส่วนเปอร์เซ็นต์ทรายของดินชั้นบนมีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่ของดินชั้นล่างมีแนวโน้มต่ำลง และเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งของดินชั้นบนมีแนวโน้มต่ำลง ในขณะที่ของดินชั้นล่างมีแนวโน้มสูงขึ้น และนอกจากนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อดินในบางชุดทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นบน (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	27	38	35	29	38	33	34	36	30	34	36	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	29	40	31	33	38	29	33	39	28	33	37	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	28	43	29	32	39	29	34	38	28	36	35	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	41	28	31	39	28	33	32	36	32	28	41	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	43	36	21	42	35	23	40	30	30	43	27	30
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โคงกาง ใบใหญ่	NW	24	39	37	26	37	37	35	35	30	31	37	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	33	31	36	31	36	33	31	39	30	31	35	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	29	40	31	30	37	33	41	33	26	43	34	23
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)		
	18 psu	37	34	29	40	33	27	32	38	30	31	39	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	40	37	23	44	31	25	42	32	26	45	32	23
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)		
แสมทะเล	NW	31	36	33	29	42	29	32	34	34	31	39	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	32	35	33	30	41	29	34	30	36	35	24	41
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	27	44	29	29	42	29	32	44	24	31	46	23
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วน (loam)		
	18 psu	38	32	30	36	35	29	31	38	31	32	38	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	35	36	29	39	33	28	31	37	32	32	34	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นบน (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		
พังกาหัวสุม	NW	29	40	31	34	37	29	34	36	30	34	34	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	27	38	35	34	35	31	29	35	36	32	32	36
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	29	40	31	33	38	29	29	39	32	33	36	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	35	32	33	37	32	31	29	41	30	29	37	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	35	35	30	36	35	29	29	37	34	27	36	37
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โปรงแดง	NW	27	38	35	29	36	35	31	37	32	36	32	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	27	37	36	31	35	34	31	33	36	31	29	40
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	33	38	29	31	38	31	30	38	32	31	39	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	39	32	29	42	27	31	31	37	32	30	38	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	38	31	31	33	38	29	29	41	30	29	37	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นล่าง (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	35	32	33	34	32	34	33	38	29	33	37	30
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	32	37	31	32	35	33	32	39	29	33	34	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	32	37	31	34	34	32	33	38	29	33	36	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	38	33	29	37	31	32	30	41	29	34	35	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	42	29	29	37	36	27	39	32	29	37	34	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โคกกางใบใหญ่	NW	32	35	33	30	37	33	35	36	29	29	40	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	27	42	31	34	31	35	30	38	32	33	38	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	33	32	35	33	38	29	34	35	31	35	34	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	36	37	27	33	38	29	33	36	31	33	34	33
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	39	34	27	36	33	31	37	33	30	39	34	27
		ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)		
แสมทะเล	NW	30	35	35	31	39	31	30	34	36	33	33	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	33	36	31	32	36	32	32	38	30	33	31	36
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	32	39	29	34	33	33	35	38	27	32	36	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	33	35	32	34	37	29	32	38	30	32	36	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	34	35	31	37	32	31	32	40	28	34	37	29
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) ปริมาณขนาดอนุภาคดินและเนื้อดินของดินชั้นล่าง (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	35	34	31	32	37	31	31	39	30	31	34	35
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	35	33	32	32	38	30	30	38	32	29	38	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	30	40	30	31	39	30	33	37	30	31	41	28
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	35	35	30	33	37	30	33	38	29	32	36	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	39	29	32	39	31	30	30	39	31	31	36	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
โปรงแดง	NW	33	36	31	31	34	35	35	34	31	31	35	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	6 psu	32	33	35	30	39	31	33	35	32	30	36	34
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	12 psu	32	39	29	32	41	27	33	36	31	30	37	33
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วน (loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	18 psu	33	35	32	36	32	32	32	38	30	32	36	32
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		
	24 psu	37	33	30	34	35	31	34	36	30	31	38	31
		ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)			ดินร่วนเหนียว (clay loam)		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(5) อินทรียวัตถุในดิน (organic matter; OM)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1.552-3.674 และ 1.960-3.663% ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 3.213-4.928, 2.890-4.817, 3.069-3.873, 3.311-4.811 และ 3.459-4.871% ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 1.956-4.296, 2.842-4.467, 2.169-3.882, 2.564-4.415 และ 2.696-4.186 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ1 และตารางที่ ผ2) โดยปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากการตกตะกอนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และการสลายตัวของเศษไม้และใบไม้ที่ร่วงหล่นทับถมกัน จากผลการทดลองมีแนวโน้มว่า ส่วนใหญ่ดินชั้นบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินชั้นล่าง สอดคล้องกับที่ Nguyen (2000) ได้ทำการศึกษาการสะสมอินทรียวัตถุของดิน รวมทั้งมวลชีวภาพ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มโคนม พบว่า ดินที่ระดับผิวดิน (5-6.5 ซม.) มีการสะสมของอินทรียวัตถุสูงที่สุด และที่ระดับ 0-10 ซม. และ 10-40 ซม.มีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของชั้นดิน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมอินทรียวัตถุต่ำกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากความเค็มของน้ำที่สูงขึ้นทำให้ จำนวน ชนิด ของจุลินทรีย์ลดลง เป็นผลให้กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าการสะสมอินทรียวัตถุสูงขึ้นตามช่วงเวลาแต่ไม่ชัดเจน ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.27 และตารางที่ 4.28)

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	2.834±0.131	ก^{d}0.528±0.341	ข^{ab}-1.510±0.542	ก$^{}$1.363±0.889
	6 psu	3.361±0.210	ก^{b}2.305±0.391^{a}	ข^{c}-3.949±0.274	ก$^{}$3.096±0.785
	12 psu	2.560±0.127	ก^{bc}1.798±0.187	ข^{a}-1.429±0.048^{ab}	ก$^{}$0.787±0.557^{c}
	18 psu	2.312±0.737	^{c}1.314±0.016^{b}	^{a}-1.286±0.906^{a}	1.871±1.033
	24 psu	2.743±0.25	ก^{a}3.318±0.118^{a}	ข^{bc}-2.989±0.715^{b}	ก$^{}$1.799±0.587^{bc}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	2.790±0.326	ข$^{}$1.457±0.636	ค$^{}$-3.583±0.507	ก^{a}3.747±0.434
	6 psu	2.475±0.376	ก$^{}$1.453±0.825^{ab}	ข$^{}$-2.115±1.254	ก^{b}1.597±0.946
	12 psu	2.749±0.519	ก$^{}$2.367±0.078	ข$^{}$-3.757±0.868^{c}	ก^{ab}2.460±0.024^{a}
	18 psu	2.838±0.394	ก$^{}$2.337±0.909^{ab}	ข$^{}$-3.969±0.568^{b}	ก^{a}3.605±0.218
	24 psu	1.552±0.111	ก$^{}$3.560±0.315^{a}	ข$^{}$-3.071±0.189^{b}	ก^{ab}2.656±0.563^{ab}
แสมทะเล	**NW**	3.119±0.272	ก$^{}$1.127±0.117	ข$^{}$-2.757±0.816	ก$^{}$2.557±1.418
	6 psu	3.510±0.142	ข$^{}$0.580±0.390^{b}	ค$^{}$-2.613±0.202	ก$^{}$1.984±0.543
	12 psu	2.695±0.064	ก$^{}$0.817±0.349	ข$^{}$-2.114±0.503^{ab}	ก$^{}$1.671±0.150^{ab}
	18 psu	2.846±0.656	กข$^{}$0.515±0.866^{b}	ข$^{}$-1.401±0.142^{a}	ก$^{}$1.690±0.803
	24 psu	3.364±0.350	ก$^{}$0.302±0.712^{b}	ข$^{}$-1.791±0.130^{a}	ก$^{}$1.585±0.303^{c}
พังกาหัวสุม	**NW**	2.432±0.437	ก$^{}$2.499±0.771	ข^{b}-3.171±0.849	ก^{b}1.725±0.407
	6 psu	3.263±0.207	ก$^{}$0.353±0.640^{b}	ข^{ab}-1.865±0.489	ก^{b}1.139±0.537
	12 psu	2.516±0.189	ก$^{}$1.412±0.259	ข^{a}-1.092±0.186^{a}	ก^{b}0.987±0.180^{bc}
	18 psu	3.674±0.653	ก$^{}$0.795±0.970^{b}	ข^{b}-2.554±0.493^{a}	ก^{b}1.396±0.036
	24 psu	2.266±0.671	ก$^{}$2.607±1.087^{a}	ข^{b}-3.122±0.358^{b}	ก^{a}3.119±0.192^{a}
โปรงแดง	**NW**	3.263±0.207	ก$^{}$2.030±0.555	ข^{b}-2.951±0.656	ก$^{}$2.586±0.308
	6 psu	2.741±0.130	ก$^{}$2.551±0.218^{a}	ข^{b}-3.035±0.079	ก$^{}$2.559±0.068
	12 psu	3.620±0.702	ก$^{}$2.021±1.107	ข^{ab}-2.475±0.465^{bc}	ก$^{}$1.707±0.311^{ab}
	18 psu	3.467±0.495	ก$^{}$3.645±0.600^{a}	ข^{c}-5.030±0.045^{b}	ก$^{}$2.534±1.188
	24 psu	1.857±0.232	ก$^{}$2.706±0.393^{a}	ก^{a}-1.885±0.096^{a}	ข$^{}$1.227±0.064^{c}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมอินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	2.516±0.189	กa 2.471±0.105 a	ขc -3.887±0.334 d	ก 3.196±2.355
	6 psu	2.931±0.398	ขb 0.529±0.610	คab -2.353±0.416	ก 3.197±1.018
	12 psu	2.702±0.452	b 0.561±0.244 a	a -1.260±0.621 a	1.879±1.082
	18 psu	2.472±0.251	กa 2.225±0.075 a	ขbc -2.697±0.621 bc	ก 2.247±0.605
	24 psu	2.842±0.525	กb 0.573±0.103 ab	ขa -1.075±0.607 a	ก 1.483±0.628
โกงกางใบใหญ่	**NW**	2.695±0.064	ขbc 0.279±0.265 bc	ค -2.648±0.482 c	ก 2.936±0.489
	6 psu	3.070±0.203	bc -0.095±0.002	-1.445±0.921	1.312±1.245
	12 psu	2.927±0.133	ขab 0.686±0.421 a	ค-2.773±0.440 b	ก 2.928±0.518
	18 psu	2.977±0.334	ขc -0.461±0.145 d	ข-1.490±0.225 ab	ก 1.538±0.795
	24 psu	2.608±0.319	ขa 1.421±0.470 b	ข-2.857±0.468 b	ก 2.807±0.693
แสมทะเล	**NW**	2.696±0.193	ขb -1.065±0.306 c	ขa -0.573±0.044 a	ก 0.898±0.039
	6 psu	2.886±0.462	กa 0.828±0.608	ขc -2.792±0.707	ก 2.005±0.429
	12 psu	2.696±0.193	ขb -1.065±0.306 b	ขa -0.720±0.061 a	ก 1.258±0.353
	18 psu	2.521±0.441	ขa 0.840±0.232 b	คbc -2.267±0.105 ab	ก 1.927±0.239
	24 psu	2.927±0.133	ขb -0.231±0.326 c	คb-1.820±0.009 ab	ก 1.911±0.399
พังกาหัวสุม	**NW**	2.303±0.491	กข 0.261±0.871 bc	ข-1.165±0.053 ab	ก 1.765±0.259
	6 psu	3.663±0.217	ข -0.780±0.547	ข-1.815±0.903	ก 1.863±0.971
	12 psu	2.743±0.259	ข 0.520±0.052 a	ค-1.222±0.030 a	ก 1.469±0.095
	18 psu	2.741±0.130	ข 0.330±0.208 c	ค-1.400±0.507 a	ก 1.591±0.038
	24 psu	2.339±0.062	ก 1.377±0.230 b	ข-2.621±0.396 b	ก 1.602±0.089
โปรงแดง	**NW**	2.977±0.334	กbc 0.843±0.629 b	ข-2.017±0.870 bc	ก 2.125±1.023
	6 psu	2.975±0.200	ขc 0.585±0.272	ค-2.313±0.249	ก 3.221±0.161
	12 psu	3.263±0.207	ขc -0.382±0.405 b	ข-1.438±0.295 a	ก 1.869±0.632
	18 psu	2.793±0.457	กab 2.080±0.041 a	ข-3.553±0.631 c	ก 3.094±0.611
	24 psu	1.960±0.352	กa 2.857±0.848 a	ข-2.735±0.316 b	ก 2.104±1.734

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(6) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen; TN)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย มีค่าอยู่ในช่วง 1.015-1.760 และ 0.915-1.475 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินชั้นบนอยู่ในช่วง 1.380-1.565, 1.265-1.710, 1.325-1.940, 1.495-1.695 และ 1.410-1.840 mg/g dry weight ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 1.110-1.405, 1.065-1.495, 1.310-1.735, 1.365-1.550 และ 1.125-1.705 mg/g dry wt. ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ3 และตารางที่ ผ4) และจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าดินชั้นล่าง สอดคล้องกับที่ Chu และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาการกักเก็บสารมลพิษโดยดินป่าชายเลนและผลกระทบของสารมลพิษต่อต้นรังกะแท้ พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้น 25 เท่าของน้ำเสียปกติ (25NW) ดินที่ระดับ 0-5 ซม.จากผิวหน้ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าที่ระดับความลึก 5-10 ซม. และที่ระดับลึกกว่า 10 ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียงครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ อาจเนื่องจากความเค็มมีผลทำให้ชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันลดลง ซึ่งทั้งหมดเป็นกลไกหลักในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ทำให้กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความเค็มอาจยับยั้งการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ของพืช และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	1.745±0.134	-0.250±0.014[b]	0.055±0.346	0.015±0.120
	6 psu	1.695±0.021	-0.235±0.078[b]	-0.005±0.233	0.255±0.021
	12 psu	1.690±0.042	-0.065±0.134	0.010±0.523	-0.225±0.318
	18 psu	1.685±0.134	-0.165±0.035	-0.050±0.382	0.225±0.177
	24 psu	1.485±0.106	0.045±0.064[bc]	-0.050±0.297	0.360±0.255
โกงกางใบใหญ่	**NW**	1.385±0.049	0.265±0.049 [a]	-0.130±0.255	-0.135±0.191
	6 psu	1.335±0.064	0.215±0.134[a]	0.125±0.276	-0.360±0.000
	12 psu	1.510±0.085	-0.095±0.106	0.090±0.410	-0.180±0.297
	18 psu	1.245±0.049	0.305±0.361	0.045±0.092	-0.075±0.148
	24 psu	1.170±0.057	0.425±0.191[ab]	0.040±0.523	-0.225±0.318
แสมทะเล	**NW**	1.165±0.064	[กa] 0.325±0.021[a]	[ค]-0.060±0.028	[ข]0.030±0.014
	6 psu	1.390±0.057	[ab]0.135±0.021[a]	-0.025±0.304	-0.235±0.460
	12 psu	1.505±0.064	[a]0.180±0.028	-0.280±0.325	0.175±0.262
	18 psu	1.550±0.042	[ค]c-0.180±0.057	[ก]0.120±0.014	[ข]0.005±0.007
	24 psu	1.540±0.017	[bc]-0.110±0.212[c]	0.035±0.134	0.030±0.042
พังกาหัวสุม	**NW**	1.475±0.049	0.285±0.064 [a]	-0.330±0.269	0.085±0.247
	6 psu	1.415±0.064	-0.030±0.000[ab]	-0.005±0.021	0.075±0.163
	12 psu	1.530±0.028	0.060±0.226	0.000±0.113	0.350±0.283
	18 psu	1.015±0.02	0.330±0.297	0.155±0.544	0.160±0.170
	24 psu	1.155±0.092	[ก]0.615±0.205[a]	[ข]-0.210±0.071	[ข]-0.025±0.064
โปรงแดง	**NW**	1.655±0.092	0.015±0.247[ab]	-0.215±0.007	-0.075±0.092
	6 psu	1.760±0.071	-0.260±0.14[b]	0.210±0.127	-0.025±0.163
	12 psu	1.365±0.078	0.120±0.396	-0.155±0.219	0.250±0.240
	18 psu	1.465±0.035	-0.095±0.092	0.145±0.035	0.080±0.014
	24 psu	1.645±0.134	-0.225±0.007[c]	0.130±0.368	0.120±0.311

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	1.195±0.035	0.040±0.127	0.055±0.148	0.115±0.120
	6 psu	1.205±0.049	0.075±0.078	0.130±0.071 [a]	0.035±0.134
	12 psu	1.280±0.014	0.050±0.099	-0.015±0.148 [bc]	0.035±0.148
	18 psu	1.225±0.021	0.000±0.113	0.220±0.269	-0.035±0.078
	24 psu	1.185±0.021	0.095±0.064 [ab]	0.025±0.007	0.400±0.339
โกงกางใบใหญ่	**NW**	1.240±0.042	-0.220±0.283	0.440±0.368	-0.185±0.219
	6 psu	1.115±0.092	0.040±0.255	0.240±0.184	-0.305±0.092
	12 psu	1.130±0.057	-0.090±0.226	0.390±0.099	-0.120±0.311
	18 psu	1.015±0.035	0.110±0.099	0.215±0.064	0.090±0.438
	24 psu	0.915±0.092	[ก] 0.335±0.021 [a]	[ก] 0.335±0.346	[ข] -0.460±0.099
แสมทะเล	**NW**	1.040±0.028	0.260±0.099	[ab] -0.050±0.028	-0.140±0.184
	6 psu	1.095±0.035	0.475±0.148	[b] -0.230±0.000 [b]	-0.275±0.304
	12 psu	1.080±0.099	0.205±0.219	[a] 0.090±0.071 [bc]	0.175±0.516
	18 psu	1.150±0.057	0.040±0.170	[a] 0.145±0.035	0.030±0.071
	24 psu	1.475±0.049	-0.290±0.071 [c]	[a] 0.030±0.156	0.095±0.148
พังกาหัวสุม	**NW**	1.180±0.057	0.250±0.226	-0.195±0.375	-0.040±0.085
	6 psu	1.200±0.113	[ก] 0.430±0.000	[ข] -0.480±0.212 [b]	[ก] 0.130±0.170
	12 psu	1.210±0.028	-0.030±0.127	0.190±0.240 [ab]	0.365±0.205
	18 psu	1.080±0.042	0.220±0.014	0.020±0.042	0.230±0.184
	24 psu	1.085±0.106	0.115±0.007 [ab]	0.140±0.099	0.000±0.297
โปรงแดง	**NW**	1.380±0.198	0.085±0.304	-0.040±0.127	-0.305±0.120
	6 psu	1.195±0.064	0.100±0.000	0.150±0.113 [a]	0.050±0.255
	12 psu	1.010±0.028	[ก] 0.355±0.035	[ข] -0.235±0.021 [c]	[ก] 0.320±0.085
	18 psu	1.240±0.057	-0.015±0.007	0.115±0.177	0.155±0.106
	24 psu	1.330±0.156	-0.150±0.297 [bc]	0.280±0.453	0.015±0.403

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(7) แอมโมเนียมไอออนในดิน (ammonium ion; NH_4^+)

ปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0.10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.070-0.280 และ 0.070-0.280 mg/g soil ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมไอออนของดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.257-0.350, 0.210-0.350, 0.233-0.373, 0.210-0.420 และ 0.210-0.537 mg/g soil ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 0.187-0.327, 0.163-0.280, 0.187-0.303, 0.187-0.303 และ 0.163-0.303 mg/g soil ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์ในน้ำเสียจะย่อยสลายไนโตรเจนให้เปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนตามลำดับ โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Mitsch และ Gosselink, 2000) ซึ่งแอมโมเนียมไอออนจะมีประจุบวกสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับอนุภาคของดินเหนียวได้และถูกดูดซับไว้ในดิน ประกอบกับน้ำเสียและดินในชุดทดลองมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย ทำให้กระบวนการดังกล่าวเกิดได้ดีขึ้น ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินจึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืชและช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ5 และตารางที่ ผ6) จากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณแอมโมเนียมไอออนใกล้เคียงกับดินชั้นล่าง และมีปริมาณค่อนข้างต่ำทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกัน โดยดินชั้นบนได้รับออกซิเจนจากอากาศเหนือผิวดิน ในขณะที่ดินชั้นล่างได้รับออกซิเจนจากการส่งมาจากยอดสู่รากบริเวณ lenticel ของรากหายใจ ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันหรือการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทเกิดได้ดี ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณไนเตรทในดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีปริมาณสูงกว่าแอมโมเนียมไอออน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 9 ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเล) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืชและช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืชและช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.31 และตารางที่ 4.32)

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.210±0.099	[ข]0.000±0.066	[ก]0.187±0.066	[ข]-0.117±0.033
	6 psu	0.187±0.066	0.093±0.132	0.000±0.264	0.000±0.264
	12 psu	0.163±0.033	0.140±0.132	-0.070±0.231	0.140±0.264
	18 psu	0.093±0.066	0.233±0.066	-0.023±0.231	0.047±0.132
	24 psu	0.140±0.066	0.093±0.066	-0.023±0.099	0.093±0.000[ab]
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.093±0.132	0.070±0.033	0.163±0.165	-0.047±0.198
	6 psu	0.093±0.066	0.093±0.066	0.070±0.165	0.093±0.066
	12 psu	0.210±0.099	0.093±0.264	-0.047±0.198	0.117±0.033
	18 psu	0.140±0.066	[ก]0.140±0.066	[ก]0.070±0.033	[ข]-0.140±0.066
	24 psu	0.117±0.033	[ก]0.093±0.066	[ก]0.117±0.033	[ข]-0.117±0.033[c]
แสมทะเล	**NW**	0.187±0.066	[ข]-0.070±0.033	[ก]0.140±0.066	[ขb]0.000±0.000
	6 psu	0.070±0.433	0.117±0.099	0.117±0.033	[b]-0.093±0.066
	12 psu	0.117±0.033	[ก]0.163±0.033	[ข]-0.023±0.033	[ขb]0.047±0.000
	18 psu	0.117±0.033	0.163±0.165	0.093±0.000	[b]-0.047±0.066
	24 psu	0.210±0.099	-0.070±0.033	0.117±0.099	[a]0.280±0.132[a]
พังกาหัวสุม	**NW**	0.280±0.132	-0.093±0.132	0.047±0.066	0.070±0.099
	6 psu	0.140±0.066	0.070±0.099	0.023±0.165	0.023±0.033
	12 psu	0.187±0.066	0.023±0.165	0.023±0.165	0.070±0.033
	18 psu	0.140±0.066	0.047±0.000	0.093±0.198	0.117±0.099
	24 psu	0.163±0.033	0.117±0.099	0.047±0.198	0.023±0.099[bc]
โปรงแดง	**NW**	0.117±0.433	0.117±0.099	0.093±0.066	0.023±0.099
	6 psu	0.1117±0.033	0.070±0.099	0.093±0.000	-0.070±0.033
	12 psu	0.257±0.099	0.000±0.132	0.047±0.066	-0.007±0.033
	18 psu	0.140±0.066	-0.023±0.165	0.163±0.033	0.140±0.198
	24 psu	0.140±0.066	-0.023±0.099	0.117±0.033	0.163±0.033[ab]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมแอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.163±0.033	-0.047±0.000	0.047±0.066	0.023±0.099
	6 psu	0.140±0.132	0.070±0.165	0.023±0.099	-0.023±0.033
	12 psu	0.93±0.066	0.140±0.000	-0.023±0.099	0.093±0.066
	18 psu	0.070±0.033	0.140±0.000	0.000±0.066	0.047±0.132
	24 psu	0.210±0.033	-0.047±0.000	0.023±0.165	-0.023±0.033
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.280±0.066	-0.163±0.165	0.070±0.033	0.047±0.198
	6 psu	0.093±0.066	ก 0.117±0.033	ข -0.070±0.033	ก 0.117±0.033
	12 psu	0.187±0.066	-0.023±0.099	0.140±0.132	-0.070±0.165
	18 psu	0.093±0.066	0.117±0.033	0.000±0.198	-0.023±0.033
	24 psu	0.140±0.066	0.000±0.000	0.070±0.165	-0.047±0.066
แสมทะเล	**NW**	0.163±0.033	0.047±0.132	0.000±0.066	0.023±0.099
	6 psu	0.163±0.033	0.000±0.000	0.023±0.033	-0.023±0.033
	12 psu	0.257±0.033	-0.070±0.099	0.023±0.165	0.047±0.132
	18 psu	0.093±0.066	0.070±0.033	0.047±0.066	0.047±0.066
	24 psu	0.093±0.000	0.070±0.033	0.140±0.264	-0.023±0.165
พังกาหัวสุม	**NW**	0.187±0.066	0.023±0.033	-0.023±0.033	0.000±0.000
	6 psu	0.280±0.066	-0.093±0.132	0.023±0.099	0.070±0.099
	12 psu	0.140±0.066	0.047±0.000	-0.023±0.099	0.023±0.033
	18 psu	0.070±0.033	0.140±0.066	-0.023±0.099	0.117±0.033
	24 psu	0.117±0.099	0.070±0.165	0.023±0.033	0.000±0.066
โปรงแดง	**NW**	0.140±0.066	0.047±0.132	0.000±0.132	0.140±0.132
	6 psu	0.093±0.000	0.023±0.033	0.117±0.099	-0.070±0.165
	12 psu	0.093±0.066	0.093±0.066	0.023±0.033	0.000±0.132
	18 psu	0.187±0.066	-0.070±0.099	0.093±0.066	0.023±0.033
	24 psu	0.257±0.033	-0.187±0.000	0.280±0.264	-0.047±0.264

หมายเหตุ อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(8) ไนเตรทในดิน (nirtrate; No_3)

ปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.630-1.750 และ 0.420-1.423 mg/g soil ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 พบว่า ปริมาณไนเตรทในดินมีแนวโน้มลดลง คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าปริมาณไนเตรทในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.327-1.330, 0.397-0.630, 0.677-1.377, 0.420-1.003 และ 0.257-1.050 mg/g soil ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 0.397-0.700, 0.327-0.677, 0.653-0.723, 0.373-0.537 และ 0.233-0.653 mg/g soil ตามลำดับ เนื่องจากไนเตรทมีประจุเป็นลบจึงไม่สามารถยึดติดกับอนุภาคของดินซึ่งมีประจุลบเช่นเดียวกันได้ ทำให้ไนเตรทไม่สามารถสะสมในดินโดยการดูดซับได้ดีต่างจากแอมโมเนียมไอออน ประกอบกับอาจเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย และก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน ระเหยออกสู่บรรยากาศได้ (Mitsch และ Gosselink, 2000) นอกจากนี้ไนเตรทยังเป็นธาตุอาหารพืชอีกรูปหนึ่งที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทันทีอีกด้วย (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ7 และตารางที่ ผ8) และจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่า ดินชั้นบนมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าดินชั้นล่าง เนื่องจากดินชั้นบนมีปริมาณออกซิเจนสูง ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการบำบัดไนโตรเจนโดยการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทได้ดีกว่าดินชั้นล่าง ที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า (Mitsch และ Gosselink, 2000) สอดคล้องกับที่ Tam (1998) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำเสียต่อจำนวนจุลินทรีย์และปฏิกิริยาต่างๆในดินป่าชายเลน พบว่าจำนวนไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของชั้นดิน (ระดับความลึก 0-1.5, 1.5-3, 3-4.5 และมากกว่า 4.5 ซม.)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอิทธิพลของความเค็มอาจยับยั้งการดูดดึงไนเตรทไปใช้โดยพืช ซึ่งถ้าไนเตรทไม่ถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว ประกอบกับในสภาพน้ำท่วมขังทำให้ออกซิเจนในดินลดน้อยลง ทำให้ไนเตรทเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียและก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือ ก๊าซไนโตรเจน ระเหยออกจากระบบโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน หรืออาจถูกชะละลายออกมากับน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างพบว่าไม่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.33 และตารางที่ 4.34)

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.747±0.132	-0.023±0.297	-0.233±0.066	-0.093±0.132
	6 psu	0.957±0.033	-0.303±0.099	-0.187±0.066	-0.373±0.066
	12 psu	1.283±0.033	ข-0.560±0.000	ข-0.537±0.165	ก0.373±0.198
	18 psu	1.120±0.066	-0.070±0.099	-0.257±0.231	0.140±0.330
	24 psu	1.307±0.132	ข-0.233±0.066[b]	ค-0.560±0.000[a]	ก-0.070±0.033[b]
โกงกางใบใหญ่	NW	1.050±0.099	กa-0.117±0.033	ข-0.397±0.033	ข-0.327±0.000
	6 psu	1.003±0.033	a-0.303±0.165	-0.350±0.297	-0.140±0.264
	12 psu	1.120±0.132	a-0.327±0.198	-0.420±0.198	0.350±0.363
	18 psu	1.330±0.099	ขb-0.933±0.132	ข-0.747±0.198	ก-0.163±0.033
	24 psu	1.283±0.165	a-0.350±0.231[c]	-0.537±0.099[a]	-0.490±0.033[b]
แสมทะเล	NW	1.097±0.033	-0.257±0.099	-0.467±0.066	-0.187±0.264
	6 psu	0.747±0.066	0.023±0.033	-0.070±0.363	-0.117±0.231
	12 psu	0.630±0.165	-0.140±0.264	-0.023±0.099	0.070±0.099
	18 psu	0.957±0.033	ข-0.187±0.000	ข-0.303±0.099	ก0.210±0.033
	24 psu	1.073±0.066	-0.257±0.033[b]	-0.350±0.165[a]	-0.163±0.165[b]
พังกาหัวสุม	NW	0.840±0.066	ab0.140±0.264	a-0.093±0.132	-0.280±0.000
	6 psu	1.440±0.330	bc-0.467±0.396	bc-0.863±0.297	0.093±0.132
	12 psu	1.120±0.264	bc-0.490±0.297	ab-0.373±0.198	-0.023±0.561
	18 psu	0.887±0.066	a0.327±0.198	ab-0.373±0.198	0.047±0.066
	24 psu	1.750±0.033	ขc-0.817±0.099[a]	ขc-1.120±0.132[b]	ก-0.163±0.099[b]
โปรงแดง	NW	1.097±0.297	-0.140±0.396	-0.513±0.528	0.747±0.726
	6 psu	1.727±0.132	ข-0.770±0.033	ข-0.980±0.198	ก-0.163±0.231
	12 psu	0.747±0.000	0.000±0.066	-0.023±0.297	0.653±0.924
	18 psu	0.653±0.132	0.280±0.066	-0.023±0.231	-0.093±0.264
	24 psu	1.073±0.132	0.140±0.726[a]	-0.537±0.231[a]	0.513±0.396[a]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.677±0.033	[a] -0.140±0.198	[a] -0.350±0.099	0.117±0.231
	6 psu	0.817±0.033	[ab] -0.327±0.132	[a] -0.210±0.099	-0.280±0.198
	12 psu	1.050±0.099	[ข b] -0.443±0.033	[ข a] -0.397±0.165	[ก] 0.070±0.099
	18 psu	1.003±0.033	[ab] -0.327±0.000	[a] -0.327±0.066 [b]	-0.187±0.330
	24 psu	1.423±0.099	[ข c] -1.073±0.000 [d]	[ข b] -0.933±0.132	[ก] 0.163±0.033 [a]
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.420±0.066	0.490±0.429	0.187±0.396	-0.070±0.363
	6 psu	0.910±0.099	-0.443±0.099	-0.490±0.297	0.047±0.132
	12 psu	0.910±0.033	[ข] -0.327±0.000	[ข] -0.373±0.198	[ก] 0.163±0.099
	18 psu	1.143±0.033	-0.467±0.462	-0.747±0.000 [c]	-0.023±0.165
	24 psu	0.980±0.066	-0.350±0.033 [b]	-0.467±0.066	-0.280±0.066 [b]
แสมทะเล	**NW**	0.723±0.033	-0.187±0.132	-0.187±0.264	-0.070±0.363
	6 psu	0.560±0.066	-0.117±0.429	0.000±0.066	-0.047±0.198
	12 psu	0.560±0.198	-0.117±0.099	-0.210±0.033	0.303±0.231
	18 psu	0.863±0.033	-0.163±0.033	-0.257±0.165 [b]	-0.093±0.066
	24 psu	1.003±0.033	-0.257±0.033 [ab]	-0.303±0.099	-0.280±0.198 [b]
พังกาหัวสุม	**NW**	0.467±0.066	[a] 0.070±0.231	[a] 0.187±0.132	-0.257±0.099
	6 psu	0.420±0.066	[ก a] 0.303±0.099	[ก a] 0.303±0.033	[ข] -0.047±0.066
	12 psu	0.933±0.132	[ab] -0.280±0.198	[b] -0.303±0.033	0.047±0.000
	18 psu	0.817±0.099	[a] 0.257±0.363	[b] -0.257±0.231 [b]	-0.023±0.231
	24 psu	1.400±0.132	[b] -0.723±0.231 [c]	[c] -0.793±0.264	-0.210±0.033 [b]
โปรงแดง	**NW**	1.003±0.033	[ข] -0.280±0.000	[ข] -0.583±0.231	[ก] 0.280±0.000
	6 psu	1.003±0.231	-0.443±0.363	-0.467±0.462	0.000±0.198
	12 psu	0.653±0.132	-0.093±0.132	-0.070±0.231	0.140±0.198
	18 psu	0.303±0.099	0.443±0.231	0.187±0.198 [a]	0.047±0.000
	24 psu	0.933±0.066	[ก] 0.070±0.165 [a]	[ข] -0.630±0.165	[ก] 0.327±0.132 [a]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(9) ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (total phosphoros; TP)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0.10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย มีค่าอยู่ในช่วง 0.085-0.258 และ 0.083-0.215 mg/g dry weight. ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.302-0.338, 0.345-0.385, 0.269-0.368, 0.321-0.359 และ 0.324-0.368 mg/g dry weight ตามลำดับ และดินชั้นล่างอยู่ในช่วง 0.280-0.326, 0.284-0.319, 0.282-0.316, 0.257-0.312 และ 0.260-0.304 mg/g dry weigh ตามลำดับ โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากดินเลนสามารถดูดซับฟอสฟอรัสไว้ที่ผิวของอนุภาคได้ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังสามารถก่อผลึกเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น ได้ และสะสมตัวอยู่ในดิน (Jones และคณะ, 1993 อ้างถึงใน Sundareshwar และ Morris, 1999) ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ9 และตารางที่ ผ10) และจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าดินชั้นล่าง สอดคล้องกับ Tam (1998) ที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการบำบัดน้ำเสียต่อจำนวนและปฏิกิริยาเอนไซม์ต่างๆของจุลินทรีย์ในดินป่าชายเลน โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-1.5, 1.5-3, 3-4.5 และมากกว่า 4.5 ซม. ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเค็มเท่ากับ 0 และ 15 psu พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 0 psu มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.48, 0.33, 0.30 และ 0.35 mg/g dry weight ตามลำดับ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 15 psu มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.51, 0.33, 0.30 และ 0.33 mg/g dry weight ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง มีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากการที่ความเค็มสูงขึ้นทำให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้น ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ทำให้อนุภาคของเหล็ก (Fe^{3+}) อะลูมิเนียม (Al^{3+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ที่อยู่ในดินเลนจับตัวกับไอออนดังกล่าวเป็นสารประกอบในรูปของเกลือโลหะ เช่น $FeCl_3$ ได้มากขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสารประกอบเหล่านั้นจะละลาย แตกตัวให้ไอออนบวกของโลหะดังกล่าวสะสมอยู่ในดิน และเมื่อมาพบกับไอออนฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากยิ่งขึ้น และจะตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟต เช่น อะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) เหล็กฟอสเฟต ($FePO_4$) และจะถูกดูดซับโดยอนุภาคของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มี

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากกลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ ที่สร้างขึ้น ได้แก่ การตกตะกอน และการดูดซับโดยอนุภาคดิน ส่วนการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ของพืชนั้นเกิดได้น้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน ส่วนดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเช่นเดียวกับดินชั้นบน (ตารางที่ 4.35 และตารางที่ 4.36)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.116±0.018	กa0.080±0.013b	คd-0.325±0.010d	ข0.016±0.023
	6 psu	0.245±0.006	bc0.017±0.009c	bc0.087±0.034bc	0.022±0.031
	12 psu	0.198±0.005	ab0.056±0.012b	c0.060±0.003b	0.049±0.009
	18 psu	0.137±0.005	ab0.050±0.025a	ab0.136±0.042	0.029±0.042
	24 psu	0.173±0.019	ขc0.010±0.012b	กa0.166±0.025a	ข0.017±0.025
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.169±0.005	กa0.155±0.001a	ขd0.005±0.002c	ค-0.026±0.005
	6 psu	0.160±0.007	กb0.118±0.002b	กขc0.050±0.019c	ข0.030±0.042
	12 psu	0.171±0.000	ขd-0.036±0.012c	กab0.140±0.007a	ข-0.007±0.009
	18 psu	0.105±0.015	ขc0.047±0.012a	กa0.160±0.006	ค0.008±0.012
	24 psu	0.165±0.000	กb0.099±0.013a	กb0.109±0.032bc	ข-0.005±0.007
แสมทะเล	**NW**	0.252±0.007	คc-0.097±0.010e	กa0.169±0.025a	ข0.009±0.013
	6 psu	0.142±0.001	ขb0.041±0.018c	กab0.154±0.014ab	ข0.009±0.006
	12 psu	0.147±0.004	กa0.116±0.015a	กขc0.053±0.016b	ข-0.034±0.048
	18 psu	0.175±0.007	ขb0.044±0.002a	กb0.122±0.009	ข0.018±0.025
	24 psu	0.085±0.011	กa0.121±0.026a	กab0.143±0.001ab	ข0.001±0.002
พังกาหัวสุม	**NW**	0.204±0.013	ขb0.000±0.008d	กa0.117±0.000b	ข0.002±0.002
	6 psu	0.170±0.003	กa0.232±0.015a	คb-0.052±0.010d	ข-0.004±0.005
	12 psu	0.196±0.004	ขbc-0.001±0.011c	กa0.139±0.015a	ข0.034±0.016
	18 psu	0.202±0.020	ขc-0.033±0.014b	กa0.138±0.019	ข0.030±0.044
	24 psu	0.205±0.006	ขbc-0.021±0.014b	กa0.147±0.005ab	ข-0.006±0.009
โปรงแดง	**NW**	0.175±0.002	ขb0.039±0.008c	กab0.141±0.023ab	ข-0.017±0.023
	6 psu	0.258±0.022	คc-0.122±0.014d	กa0.213±0.053a	ข0.036±0.057
	12 psu	0.092±0.007	a0.102±0.027a	bc0.103±0.036ab	0.015±0.021
	18 psu	0.164±0.004	ขb0.004±0.005b	กab0.167±0.013	ข0.023±0.043
	24 psu	0.248±0.012	ขb0.012±0.009b	กc0.070±0.007c	ข0.009±0.013

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.083±0.004	กa 0.112±0.013a	ก 0.113±0.027	ข -0.009±0.012
	6 psu	0.137±0.010	b 0.054±0.001a	0.065±0.014 c	0.029±0.041
	12 psu	0.181±0.006	ข -0.041±0.015	ก 0.122±0.024	ข 0.019±0.027
	18 psu	0.114±0.004	ข -0.001±0.010 c	ก 0.129±0.011	ข 0.019±0.027
	24 psu	0.163±0.006	คd -0.059±0.001d	ก 0.144±0.008 a	ข 0.020±0.028
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.151±0.001	ขb 0.011±0.000 b	กc 0.108±0.012	ข 0.011±0.004
	6 psu	0.130±0.005	ขb 0.015±0.010 b	กa 0.168±0.016 ab	ข -0.009±0.013
	12 psu	0.152±0.004	ขc -0.014±0.014	กab 0.146±0.007	ข 0.017±0.024
	18 psu	0.089±0.004	ขa 0.045±0.009 ab	กbc 0.128±0.007 a	ข 0.022±0.031
	24 psu	0.156±0.002	ขc -0.024±0.006 c	กc 0.111±0.006	ข 0.022±0.032
แสมทะเล	**NW**	0.215±0.015	คc -0.070±0.021 c	กb 0.157±0.016	ข 0.008±0.013
	6 psu	0.123±0.004	ขb -0.008±0.011 c	กa 0.204±0.004 a	ข -0.005±0.006
	12 psu	0.099±0.001	ขb 0.013±0.022	กab 0.178±0.011	ข -0.005±0.007
	18 psu	0.154±0.003	ขb 0.023±0.003 bc	กc 0.106±0.012 a	ค -0.007±0.010
	24 psu	0.090±0.003	กa 0.073±0.009 a	กc 0.111±0.007	ข -0.014±0.020
พังกาหัวสุม	**NW**	0.145±0.005	ขb -0.017±0.020 b	ก 0.177±0.006	ข 0.021±0.030
	6 psu	0.148±0.006	ขbc -0.038±0.000 d	ก 0.199±0.021 ab	ข -0.006±0.008
	12 psu	0.174±0.013	ขc -0.065±0.031	ก 0.179±0.043	ข 0.027±0.018
	18 psu	0.120±0.003	ขa 0.074±0.007 a	ก 0.133±0.005 a	ค -0.015±0.022
	24 psu	0.203±0.003	คbc -0.048±0.002 d	ก 0.125±0.019	ข 0.012±0.016
โปรงแดง	**NW**	0.123±0.012	ข 0.009±0.001b	กa 0.165±0.046	ข -0.006±0.009
	6 psu	0.104±0.011	ข 0.028±0.004b	กa 0.165±0.011 b	ข 0.022±0.032
	12 psu	0.113±0.020	0.021±0.039	a 0.130±0.036	0.020±0.008
	18 psu	0.158±0.002	0.053±0.023 ab	b 0.033±0.040 b	0.013±0.018
	24 psu	0.136±0.003	ข 0.010±0.003b	กa 0.149±0.013	ข 0.009±0.013

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(10) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available phosphorus)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.) และดินชั้นล่าง (10-20 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 0.053-0.160 และ 0.052-0.129 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 0.187-0.203, 0.214-0.238, 0.167-0.224, 0.202-0.223 และ 0.203-0.224 mg/g dry weight ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.174-0.196, 0.176-0.198, 0.172-0.193, 0.154-0.187 และ 0.160-0.182 mg/g dry weight ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ผ11 และตารางที่ ผ12) และจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงกว่าดินชั้นล่างซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบนระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงจะมีการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เช่นเดียวกับการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดแต่แนวโน้มไม่ชัดเจนเท่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเท่าการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด เนื่องจากฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ $H_3PO_4^-$, $H_2PO_4^{2-}$ และ PO_4^{3-} ซึ่งจะสะสมโดยกระบวนการดูดซับและก่อตะกอนผลึกในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้พืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ ถ้าความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าต่ำกว่า 6.8 พืชสามารถนำออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้ดีที่สุด แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงกว่า 7.2 พืชจะดูดดึงออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548 ; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) และจากผลการทดลองครั้งนี้ดินในทุกชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 ดังนั้นการบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยการดูดดึงไปใช้โดยพืชจึงต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเช่นเดียวกัน ส่วนดินชั้นล่าง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.37 และตารางที่ 4.38)

ตารางที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.072±0.011	^{a}0.050±0.008^{b}	0.086±0.031^{a}	-0.006±0.034
	6 psu	0.152±0.004	^{bc}0.010±0.006^{c}	0.076±0.010^{bc}	-0.009±0.012
	12 psu	0.119±0.003	$^{ข ab}$0.033±0.007^{b}	^{ก}0.070±0.003^{a}	^{ค}-0.004±0.006
	18 psu	0.082±0.003	^{ab}0.030±0.015^{a}	0.093±0.026	0.005±0.026
	24 psu	0.104±0.012	^{ขc}0.006±0.007^{b}	^{ก}0.118±0.010^{a}	^{ข}-0.007±0.010
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.105±0.003	^{กa}0.096±0.001^{a}	^{ขb}-0.031±0.030^{b}	^{ข}0.018±0.026
	6 psu	0.099±0.004	^{กb}0.073±0.001^{b}	^{กa}0.070±0.016^{c}	^{ข}-0.021±0.030
	12 psu	0.106±0.000	^{ขd}-0.022±0.007^{c}	^{กa}0.093±0.018^{a}	^{ข}-0.010±0.008
	18 psu	0.066±0.010	^{ขc}0.030±0.008^{a}	^{กa}0.097±0.002	^{ข}0.009±0.009
	24 psu	0.101±0.002	^{กb}0.060±0.009^{a}	^{กa}0.058±0.022^{b}	^{ข}0.005±0.000
แสมทะเล	**NW**	0.151±0.004	^{ขc}-0.058±0.006^{e}	^{กa}0.107±0.025^{a}	^{ข}-0.001±0.032
	6 psu	0.088±0.000	^{ขb}0.025±0.011^{c}	^{กa}0.121±0.023^{ab}	^{ข}-0.020±0.028
	12 psu	0.091±0.002	^{a}0.072±0.009^{a}	^{b}0.008±0.037^{b}	0.003±0.017
	18 psu	0.109±0.004	^{b}0.027±0.001^{a}	^{a}0.078±0.022	0.009±0.031
	24 psu	0.053±0.007	^{กa}0.075±0.016^{a}	^{กa}0.082±0.001^{ab}	^{ข}0.008±0.003
พังกาหัวสุม	**NW**	0.122±0.008	^{ขb}0.000±0.005^{d}	^{กa}0.069±0.019^{a}	^{ข}0.002±0.018
	6 psu	0.106±0.002	^{กa}0.144±0.009^{a}	^{ขb}-0.015±0.026^{d}	^{ข}-0.020±0.029
	12 psu	0.119±0.002	^{ขb}-0.001±0.006^{c}	^{กa}0.111±0.008^{a}	^{ข}-0.006±0.008
	18 psu	0.125±0.013	^{ขb}-0.021±0.009^{b}	^{กa}0.099±0.024	^{ข}0.005±0.008
	24 psu	0.133±0.004	^{ขb}-0.014±0.009^{b}	^{กa}0.108±0.027^{a}	^{ข}-0.017±0.024
โปรงแดง	**NW**	0.105±0.001	^{กขb}0.023±0.005^{c}	^{กbc}0.083±0.025^{a}	^{ข}-0.009±0.025
	6 psu	0.160±0.014	^{คc}-0.076±0.009^{d}	^{กa}0.160±0.010^{a}	^{ข}-0.005±0.008
	12 psu	0.056±0.004	^{กa}0.062±0.016^{a}	^{กc}0.063±0.003^{a}	^{ข}0.009±0.012
	18 psu	0.099±0.003	^{ขb}0.002±0.003^{b}	^{กab}0.119±0.026	^{ข}-0.005±0.008
	24 psu	0.149±0.007	^{ขb}0.007±0.005^{b}	^{กc}0.054±0.006^{b}	^{ข}-0.006±0.009

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.052±0.002	[a] 0.070±0.008 [a]	0.028±0.027	0.036±0.037
	6 psu	0.085±0.006	[b] 0.033±0.001 [a]	[ก] 0.034±0.024	0.024±0.007
	12 psu	0.110±0.006	[ข d] -0.025±0.009	0.067±0.020	[กข] 0.019±0.019
	18 psu	0.072±0.003	[c] -0.001±0.006 [c]	0.064±0.022	0.029±0.032
	24 psu	0.098±0.004	[คd] -0.036±0.001 [d]	[ก] 0.086±0.005 [ab]	[ข] 0.012±0.017
โกงกางใบใหญ่	NW	0.093±0.001	[b] 0.007±0.000 [b]	0.047±0.029	0.027±0.024
	6 psu	0.081±0.003	[b] 0.010±0.006 [b]	0.068±0.027	0.030±0.026
	12 psu	0.094±0.002	[c] -0.009±0.008	0.067±0.030	0.035±0.040
	18 psu	0.056±0.003	[a] 0.028±0.005 [ab]	0.050±0.029	0.045±0.013
	24 psu	0.097±0.001	[ขc] -0.015±0.004 [c]	[ก] 0.064±0.004 [c]	[ข] 0.018±0.019
แสมทะเล	NW	0.129±0.009	[ขc] -0.042±0.013 [c]	[ก] 0.051±0.006	[ก] 0.049±0.008
	6 psu	0.076±0.002	[b] -0.005±0.007 [c]	0.072±0.046	0.052±0.045
	12 psu	0.061±0.000	[ขb] 0.008±0.013	[ก] 0.091±0.011	[ข] 0.015±0.021
	18 psu	0.096±0.002	[b] 0.014±0.002 [bc]	0.037±0.040	0.025±0.039
	24 psu	0.058±0.002	[กa] 0.047±0.006 [a]	[ก] 0.058±0.003 [c]	[ข] 0.005±0.011
พังกาหัวสุม	NW	0.087±0.003	[ขb] -0.010±0.012 [b]	[ก] 0.105±0.001	[ข] 0.014±0.020
	6 psu	0.092±0.004	[ขbc] -0.024±0.000 [d]	[ก] 0.063±0.027	[ก] 0.056±0.018
	12 psu	0.106±0.008	[ขc] -0.040±0.019	[ก] 0.099±0.014	[ข] 0.027±0.030
	18 psu	0.072±0.002	[a] 0.045±0.004 [a]	0.040±0.032	0.031±0.022
	24 psu	0.127±0.005	[คbc] -0.003±0.003 [d]	[ก] 0.071±0.006 [bc]	[ข] 0.014±0.000
โปรงแดง	NW	0.074±0.007	0.005±0.000 [b]	0.083±0.033	0.013±0.011
	6 psu	0.064±0.007	0.017±0.002 [b]	0.066±0.036	0.049±0.023
	12 psu	0.069±0.013	0.013±0.024	0.055±0.034	0.038±0.016
	18 psu	0.095±0.001	0.032±0.014 [ab]	0.009±0.009	0.019±0.005
	24 psu	0.081±0.002	[ข] 0.006±0.002 [b]	[ก] 0.089±0.008 [a]	[ข] 0.006±0.008

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(11) ตะกั่วและทองแดงในดิน (Lead and Copper)

ปริมาณตะกั่วและทองแดงในดินชั้นบน (0-10 ซม.) ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ไปบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่า 0.025-0.039 และ 0.012-0.019 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินในชุดทดลองส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ มีค่าต่ำกว่า 0.025 mg/g dry weight ซึ่งเป็นค่า detection limit ของเครื่อง atomic absorption ที่ใช้วัดปริมาณตะกั่วในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนปริมาณทองแดงในดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มสูงขึ้น คือ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu มีค่าอยู่ในช่วง 0.018-0.022, 0.017-0.020, 0.017-0.023, 0.008-0.024 และ 0.020-0.031 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ 4.39 และตารางที่ 4.40) ซึ่งการที่โลหะหนักทั้ง 2 ชนิดในดินมีปริมาณน้อย เนื่องมาจากโลหะหนักอาจจะสะสมตัวอยู่ในบริเวณผิวดิน ซึ่งเป็นเพียงชั้นบาง ๆ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณดินชั้นบนทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์จึงมีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับที่ Tam และ Wong (1996) ศึกษาเกี่ยวกับการกักเก็บและการกระจายตัวของโลหะหนักในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสีย พบว่า ดินที่ใช้ทดลองทุกชุดสามารถกักเก็บโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง สังกะสี แมงกานีส และแคดเมียมไว้ได้ โดยโลหะหนักเหล่านั้นจะสะสมตัวอยู่ที่ผิวดิน (0-1 ซม.) มากที่สุด และจะมีปริมาณลดลงตามความลึกของชั้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณทองแดงมีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงกว่าปริมาณตะกั่ว อาจเนื่องจากทองแดงเป็นสินแร่ที่มีมากในธรรมชาติ และมักจะอยู่ในรูปซัลไฟด์เป็นจำนวนมาก ซึ่งแร่เหล่านี้สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่เป็นกรด ทำให้ทองแดงถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของไอออน โดยทองแดงเป็นพวกที่ค่อนข้างไม่เคลื่อนที่ในดิน (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543) ในขณะที่ตะกั่วจะพบน้อยในธรรมชาติ หากไม่เกิดการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การใช้สารเคมีในการเกษตรกรรม เป็นต้น สำหรับในเขตชุมชนอาจมีตะกั่วปนเปื้อนมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ เป็นต้น แต่มีปริมาณน้อย

เมื่อพิจารณาทองแดงในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ทุกชุดทดลองมีปริมาณทองแดงในดินใกล้เคียงกัน ไม่สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเค็มของน้ำเสียเท่าใดที่มีการสะสมของทองแดงมากที่สุด แต่จากการศึกษาของ Defew และคณะ (2005) ที่ทำการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนัก (แมงกานีส, คอปเปอร์, สังกะสี, นิเกิล, ตะกั่ว, โครเมียม, เหล็ก และแคดเมียม) ในดินตะกอนและใบไม้ป่าชายเลนจากอ่าว Punta Mala ประเทศปานามา โดยสุ่มตัวอย่างดินตะกอนจากพื้นที่แปลงขนาด 10 m x 10 m มาวิเคราะห์ พบว่า ดินในบริเวณดังกล่าวมีการปนเปื้อนของเหล็กสูงที่สุด รองลงมาคือ แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว นิกเกิล โครเมียม และแคดเมียม โดยมีปริมาณเท่ากับ 9827, 296, 105, 78.2, 56.3, 27.3, 23.3 และน้อยกว่า 10 ppm ตามลำดับ แสดงว่าดินตะกอนป่าชายเลนสามารถกักเก็บโลหะหนักดังกล่าวไว้ได้

โดยศักยภาพในการกักเก็บโลหะหนักของดินนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของดินหลายประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณดินเหนียว ปฏิกิริยารีดอกซ์ ความเค็ม ปริมาณออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส สภาวะที่มีหรือไร้ออกซิเจน และปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ (Orson และคณะ, 1992) เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในดินระหว่างชนิดพืช พบว่า ทุกชุดทดลองมีปริมาณทองแดงใกล้เคียง และไม่สามารถระบุได้ว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชชนิดใดที่มีการสะสมของทองแดงมากที่สุด เนื่องจากถึงแม้ว่าทองแดงจะเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทองแดงมีความสำคัญต่อกระบวนการต่างๆในพืช เช่น ปฏิกิริยาที่เกิดในไมโตคอนเดรีย และ คลอโรพลาสต์ ระบบเอนไซม์ที่สัมพันธ์กับการส่งถ่ายอิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสง การสร้างลิกนินของผนังเซลล์ เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และการสังเคราะห์โปรตีน เป็นต้น (Verkleij และ Schat, 1990 อ้างถึงใน Macfarlanc และ Burchett, 2002) แต่ปริมาณที่ต้องการนั้นน้อยมาก นอกจากนี้ปริมาณตะกั่วและทองแดงที่สะสมในดินของทุกชุดทดลองอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพันธุ์ไม้ชายเลน เนื่องจากพันธุ์ไม้ชายเลนมีความทนทานต่อโลหะหนักได้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.39 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	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	12 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	18 psu	0.039	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	24 psu	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
โกงกางใบใหญ่	NW	< 0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025
	6 psu	< 0.025	0.046	< 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	0.042	0.054
	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 ของตะกั่วเท่ากับ 0.025 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.40 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	0.016	0.018	0.022
	6 psu	0.016	0.019	0.018	0.020
	12 psu	0.013	0.013	0.021	0.020
	18 psu	0.013	0.057	0.023	0.022
	24 psu	0.013	0.030	0.032	0.031
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.018	0.030	0.019	0.018
	6 psu	0.016	0.035	0.017	0.017
	12 psu	0.014	0.025	0.018	0.018
	18 psu	0.014	0.023	0.020	0.019
	24 psu	0.016	0.015	0.020	0.020
แสมทะเล	**NW**	0.014	0.015	0.022	0.019
	6 psu	0.015	0.085	0.020	0.017
	12 psu	0.013	0.015	0.020	0.019
	18 psu	0.012	0.014	0.020	0.008
	24 psu	0.013	0.026	0.020	0.021
พังกาหัวสุม	**NW**	0.019	0.013	0.022	0.018
	6 psu	0.013	0.032	0.020	0.020
	12 psu	0.014	0.015	0.023	0.023
	18 psu	0.015	0.019	0.025	0.024
	24 psu	0.014	0.015	0.024	0.023
โปรงแดง	**NW**	0.017	0.013	0.042	0.021
	6 psu	0.012	0.014	0.020	0.020
	12 psu	0.014	0.015	0.024	0.017
	18 psu	0.012	0.035	0.020	0.019
	24 psu	0.014	0.023	0.022	0.022

หมายเหตุ Detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.005 mg/g dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้

(1) การเจริญเติบโตทางด้านความสูง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุม ดอกแดง และโปรงแดง มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.60-75.63, 69.55-105.94, 46.98-75.75 และ 44.43-57.67 ซม. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้ทุกชนิดมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 71.90-81.74, 81.77-117.30, 52.53-83.50 และ 49.76-62.85 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ ผ13 และภาพที่ 4.15)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการทดลองเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากพันธุ์ไม้ชายเลนสามารถขึ้นและเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำระหว่าง 10-30 psu แต่ขึ้นกับชนิดของพันธุ์ไม้ด้วย (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ประกอบกับพืชชายเลนมีต่อมเกลือ (salt gland) ที่ทำหน้าที่ขับเกลือออกมาในกรณีที่ปริมาณเกลือในเซลล์พืชสูงเกินไป และการที่ความเค็มของน้ำสูงขึ้น ทำให้มีการสะสมของโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในพืชสูงขึ้น มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ทำให้อัตราการขยายตัวของพื้นที่ผิวใบลดลง น้ำหนักสดและแห้งของใบ ราก และลำต้นลดลง จำนวนใบลดลง และอัตราการเพิ่มพูนความสูงของพืชลดลง เป็นต้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนยังมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})โพแทสเซียมไอออน (K^{2+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในใบพืชลดลง ส่งผลให้คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบพืชลดลงด้วย การสังเคราะห์แสงจึงเกิดได้ไม่ดี ทำให้ใบแก่เริ่มมีอาการคลอโรซิส คือ มีสีเหลือง เหี่ยวเฉา และร่วงหล่นลงมา (Wang และ Nil, 2000; Chartzoulakis และ Kalpaki, 2000; Khan, 2001; Agastian และคณะ, 2000 อ้างถึงใน Parida และ Das, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ที่ทำการศึกษาผลของความเค็มของน้ำต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ป่าชายเลนบางชนิด โดยปลูกกล้าไม้แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดง ในชุดทดลองที่มีความเค็มเท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 60 psu เป็นเวลา 8 เดือน ภายใต้โรงเรือน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กล้าไม้แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงสูงที่สุดที่ความเค็ม 10 psu โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 47.3 และ 40.4 ซม. ตามลำดับ และเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ความสูงจะลดลง โดยกล้าไม้ที่ได้รับความเค็ม 60 psu ตายทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ แสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ พังกาหัวสุมดอกแดง โกงกางใบใหญ่ และโปรงแดง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนที่มีความทนทานต่อความเค็มได้ในช่วงกว้าง และสามารถ

เจริญเติบโตได้ตั้งแต่บริเวณที่มีความเค็มต่ำจนถึงสูง และบริเวณที่มีความเค็มแปรปรวนได้ดี (Macnae, 1968 อ้างถึงในสนิท อักษรแก้ว, 2542) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.41)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.41 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้

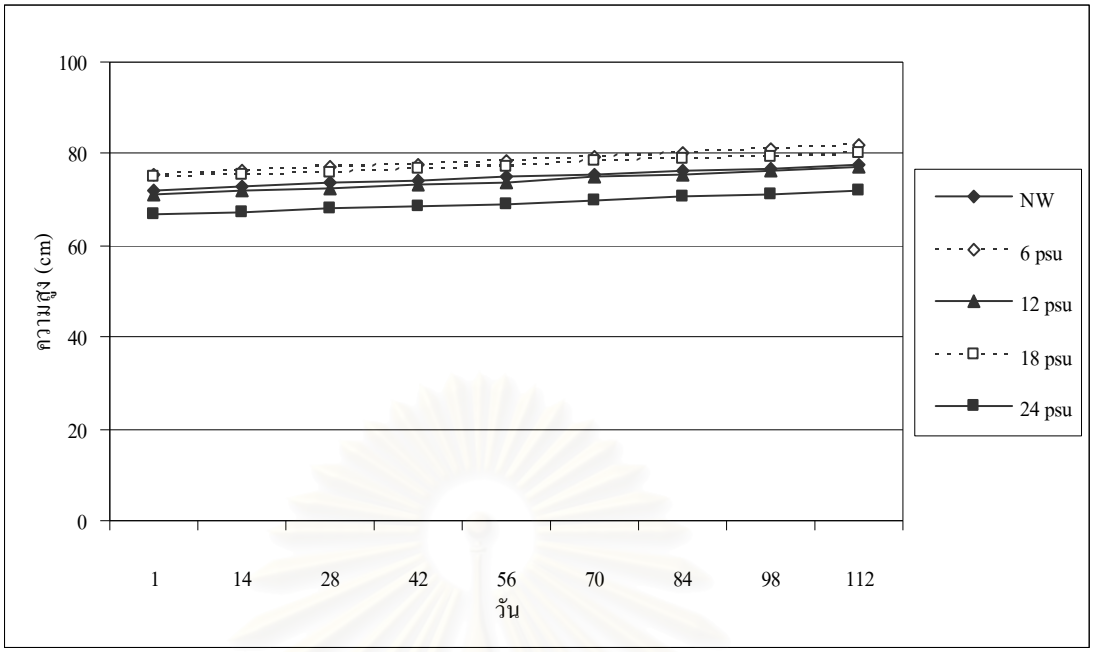
ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความสูงก่อนการทดลอง (ซม.)	อัตราการเพิ่มพูนความสูงต่อเดือน (cm.)			
			เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	72.13±11.62	1..69±1.14^{bc}	1.08±0.91^{b}	1.36±0.61^{c}	1.13±0.65^{b}
	6 psu	75.63±8.89	1.46±0.88^{bc}	1.38±0.82^{b}	1.66±0.67^{b}	1.61±0.55^{b}
	12 psu	70.99±9.81	1.58±1.08^{bc}	1.35±1.01^{c}	1.60±0.50^{c}	1.46±0.56^{c}
	18 psu	74.88±9.13	1.20±0.88^{b}	1.15±0.67^{b}	1.59±0.51^{bc}	1.40±0.57^{b}
	24 psu	66.60±9.30	ก1.49±0.75^{b}	ข1.03±0.65^{b}	ก1.45±0.46^{b}	กข1.31±0.46^{b}
แสมทะเล	NW	105.94±14.49	3.18±1.68^{a}	3.13±1.87^{a}	^{b}2.43±1.19^{a}	2.62±1.42^{a}
	6 psu	89.85±23.83	2.50±1.20^{a}	2.97±1.21^{a}	^{ab}2.71±0.94^{a}	2.79±1.01^{a}
	12 psu	89.15±16.33	ข2.34±1.34^{a}	ก3.24±1.05^{a}	กข^{ab}2.86±0.99^{a}	กข2.90±0.96^{a}
	18 psu	85.45±13.93	ข2.20±1.61^{a}	ก3.43±1.31^{a}	ก^{a}3.25±1.32^{a}	ก3.22±1.28^{a}
	24 psu	69.55±12.65	2.63±1.41^{a}	3.17±1.31^{a}	^{a}3.22±0.88^{a}	3.20±0.95^{a}
พังกาหัวสุม	NW	61.30±14.72	ก1.94±1.31^{b}	ข^{b}1.08±0.90^{b}	ก1.86±0.88^{b}	ก^{ab}1.73±0.81^{b}
	6 psu	61.50±13.36	1.80±1.18^{b}	^{ab}1.45±0.96^{b}	1.57±0.70^{bc}	^{b}1.59±0.69^{b}
	12 psu	75.75±18.08	1.79±0.85^{ab}	^{a}1.85±0.84^{b}	2.06±0.68^{b}	^{a}2.05±0.60^{b}
	18 psu	60.45±10.44	1.60±0.87^{ab}	^{ab}1.42±0.85^{b}	1.86±0.63^{b}	^{ab}1.70±0.67^{b}
	24 psu	46.98±7.12	1.31±0.98^{b}	^{b}1.31±0.77^{b}	1.54±0.54^{b}	^{b}1.40±0.52^{b}
โปรงแดง	NW	46.76±6.05	1.13±0.57^{c}	1.22±0.54^{b}	1.25±0.53^{c}	1.23±0.52^{b}
	6 psu	52.75±4.99	1.16±0.61^{c}	1.34±0.86^{b}	1.21±0.53^{c}	1.28±0.67^{b}
	12 psu	51.97±7.18	1.11±0.56^{c}	1.07±0.56^{c}	1.11±0.56^{d}	1.11±0.56^{c}
	18 psu	57.67±6.46	1.23±0.40^{b}	1.35±0.47^{b}	1.30±0.31^{c}	1.30±0.31^{b}
	24 psu	44.43±4.10	1.28±0.25^{b}	1.36±0.35^{b}	1.34±0.29^{b}	1.35±0.29^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

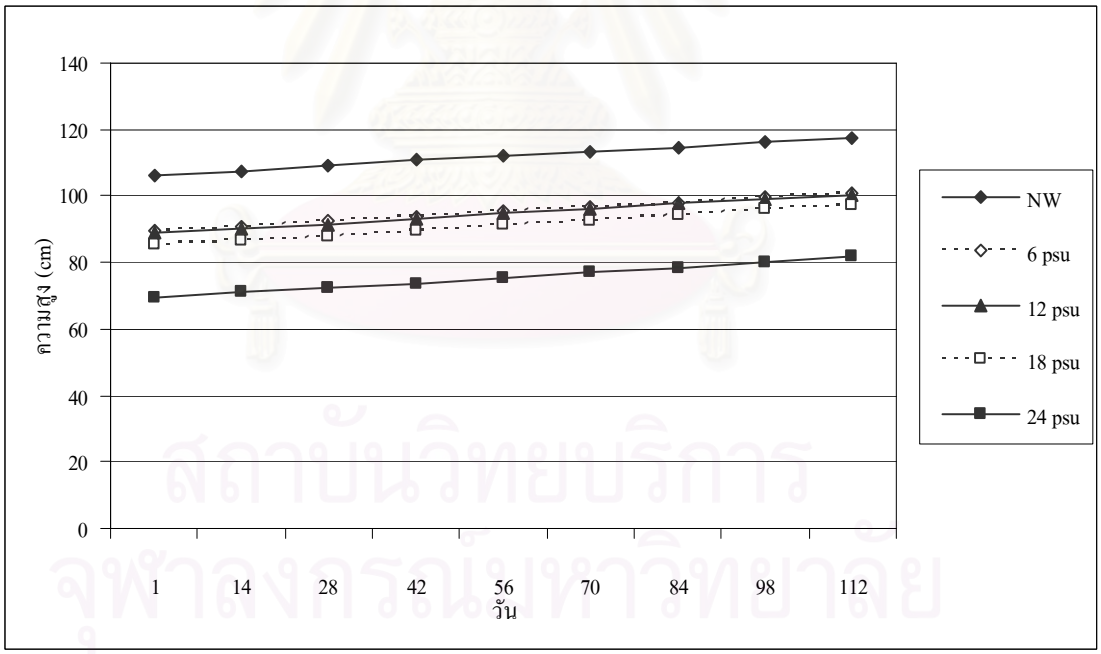
ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

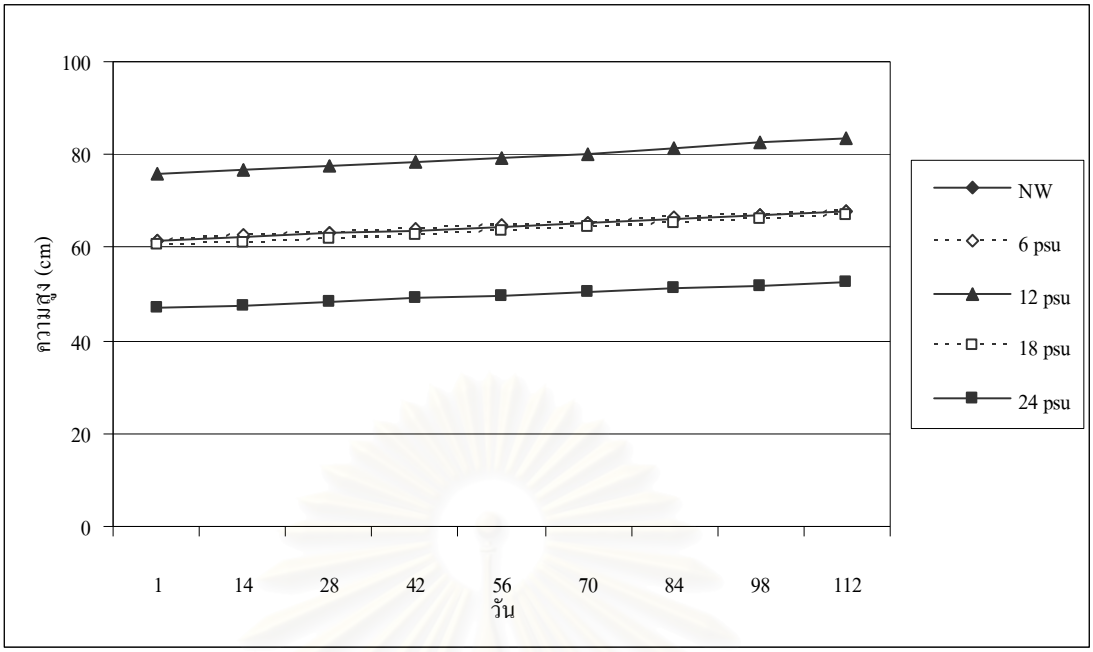


(ก) โกงกางใบใหญ่

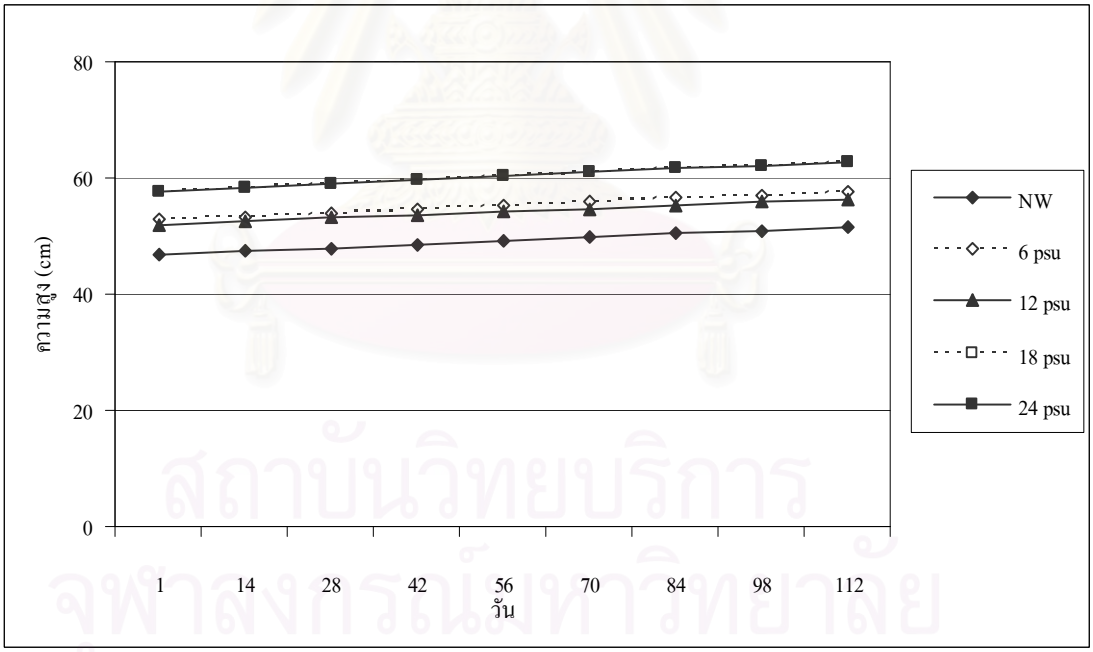


(ข) แสมทะเล

ภาพที่ 4.15 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

ภาพที่ 4.15 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

(2) การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.94-2.10, 0.76-1.10, 0.80-1.16 และ 0.86-1.10 ซม. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้ทุกชนิดมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.14-2.34, 1.02-1.28, 1.01-1.40 และ 1.09-1.36 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ ผ14 และภาพที่ 4.16) จะเห็นว่ากล้าไม้ทุกชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากการปลูกกล้าไม้อย่างหนาแน่นในชุดทดลอง ทำให้กล้าไม้เร่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เพื่อแย่งรับแสงแดด อัตราการเพิ่มพูนความสูงจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าต่ำ (ปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์, 2547)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสียภายหลังการทดลองเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกล้าไม้เร่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูงดังที่กล่าวแล้ว ทำให้มีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย และมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละชุดทดลอง ประกอบกับพันธุ์ไม้ชายเลนสามารถขึ้นและเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำไม่เกิน 30 psu (Takamura และคณะ, 2000) และจากการทดลองมีการปรับระดับความเค็มของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 6, 12, 18 และ 24 psu ซึ่งค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่พันธุ์ไม้ชายเลนสามารถทนทานได้ แต่ถ้าความเค็มของน้ำสูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ได้ สอดคล้องกับที่ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ทำการศึกษาผลของความเค็มของน้ำต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้แสมขาว และพังกาหัวสุมดอกแดง โดยปลูกกล้าไม้ในชุดทดลองที่มีความเค็มเท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 60 psu เป็นเวลา 8 เดือน ภายใต้โรงเรือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้แสมขาว และพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด ที่ความเค็ม 10 psu โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.44 และ 0.73 ซม. ตามลำดับ และเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะลดลง

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นนั้นน้อยมาก ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.42)

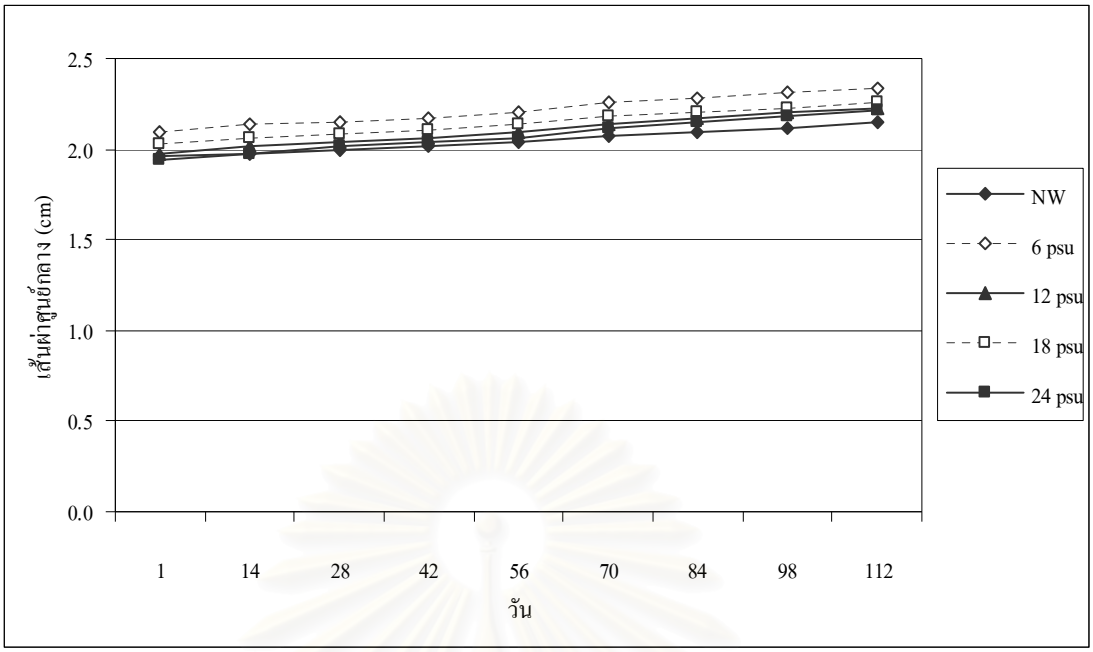
ตารางที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการทดลอง (ซม.)	อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเดือน (cm.)			
			เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	1.96±0.29	0.04±0.04	0.04±0.03	0.05±0.05	0.05±0.05
	6 psu	2.10±0.24	0.05±0.04	0.06±0.05[a]	0.07±0.03	0.06±0.03
	12 psu	1.97±0.28	0.07±0.08	0.06±0.04	0.07±0.04	0.06±0.03
	18 psu	2.03±0.31	0.05±0.04	0.05±0.03	0.07±0.02[a]	0.06±0.03
	24 psu	1.94±0.25	[ก]0.08±0.06	[ข]0.04±0.03	[ก]0.09±0.03	[ก]0.07±0.03[a]
แสมทะเล	NW	1.10±0.18	0.06±0.07	0.03±0.02	0.05±0.03	0.04±0.03
	6 psu	1.00±0.22	[ก]0.07±0.05	[ก]0.03±0.03[b]	[กข]0.06±0.02	[ขค]0.05±0.02
	12 psu	0.97±0.16	0.05±0.04	0.06±0.04	0.05±0.02	0.05±0.02
	18 psu	0.93±0.14	0.06±0.04	0.04±0.05	0.06±0.03[ab]	0.06±0.03
	24 psu	0.76±0.11	0.08±0.04	0.05±0.03	0.07±0.04	0.06±0.03[ab]
พังกาหัวสุม	NW	1.13±0.25	[ข]0.03±0.04	[ข ab]0.04±0.02	[ก]0.06±0.03	[กข]0.05±0.02
	6 psu	1.00±0.27	0.09±0.15	[ab]0.04±0.03[b]	0.07±0.06	0.06±0.05
	12 psu	1.16±0.38	0.06±0.04	[a]0.05±0.03	0.07±0.03	0.06±0.03
	18 psu	1.01±0.14	[ก]0.08±0.04	[ค b]0.03±0.02	[กข]0.06±0.02[b]	[ข]0.05±0.02
	24 psu	0.80±0.14	[ก]0.07±0.04	[ค b]0.03±0.02	[กข]0.06±0.02	[ข]0.05±0.02[b]
โปรงแดง	NW	0.90±0.15	0.06±0.06	[b]0.04±0.02	[ab]0.06±0.03	[b]0.05±0.02
	6 psu	1.02±0.024	0.04±0.05	[b]0.04±0.03[b]	[b]0.05±0.03	[b]0.04±0.02
	12 psu	0.93±0.16	[ก]0.09±0.07	[ค ab]0.04±0.03	[กข a]0.07±0.03	[ขค a]0.06±0.03
	18 psu	1.10±0.19	0.07±0.06	[a]0.06±0.03	[a]0.07±0.03[a]	[a]0.06±0.03
	24 psu	0.86±0.14	[ก]0.08±0.05	[ค b]0.03±0.02	[กข a]0.07±0.03	[ข ab]0.06±0.02[b]

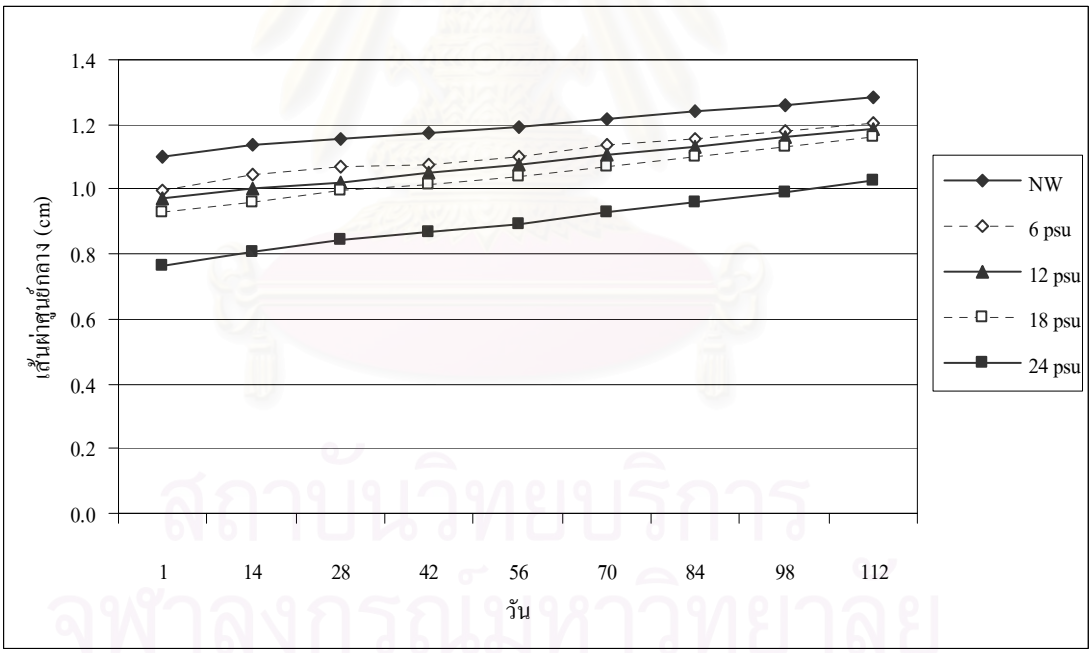
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

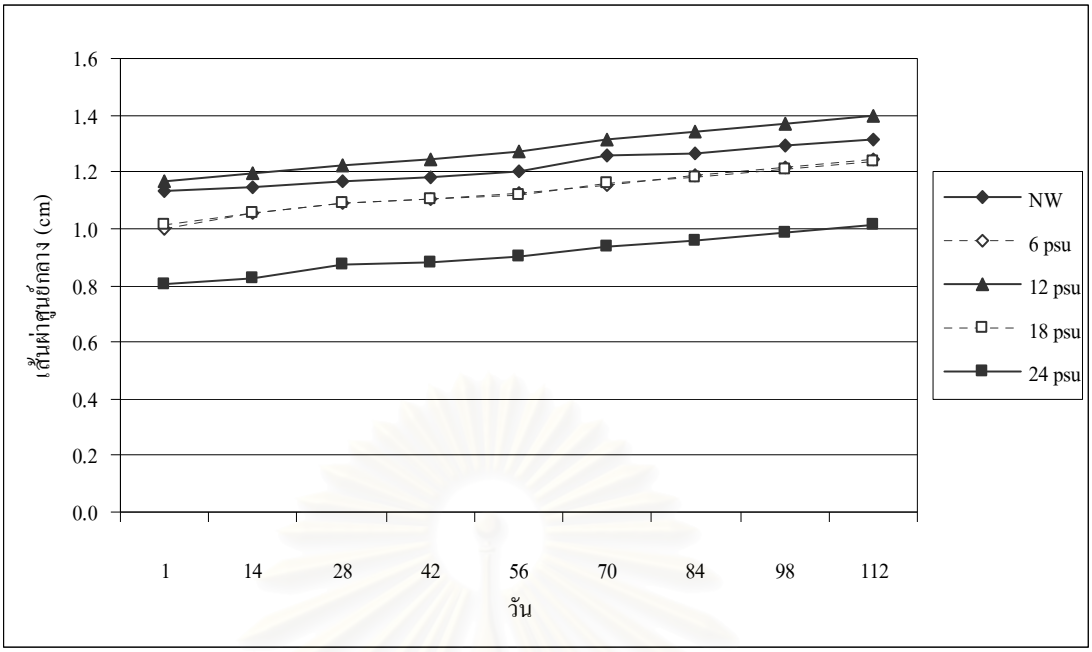


(ก) โกงกางใบใหญ่

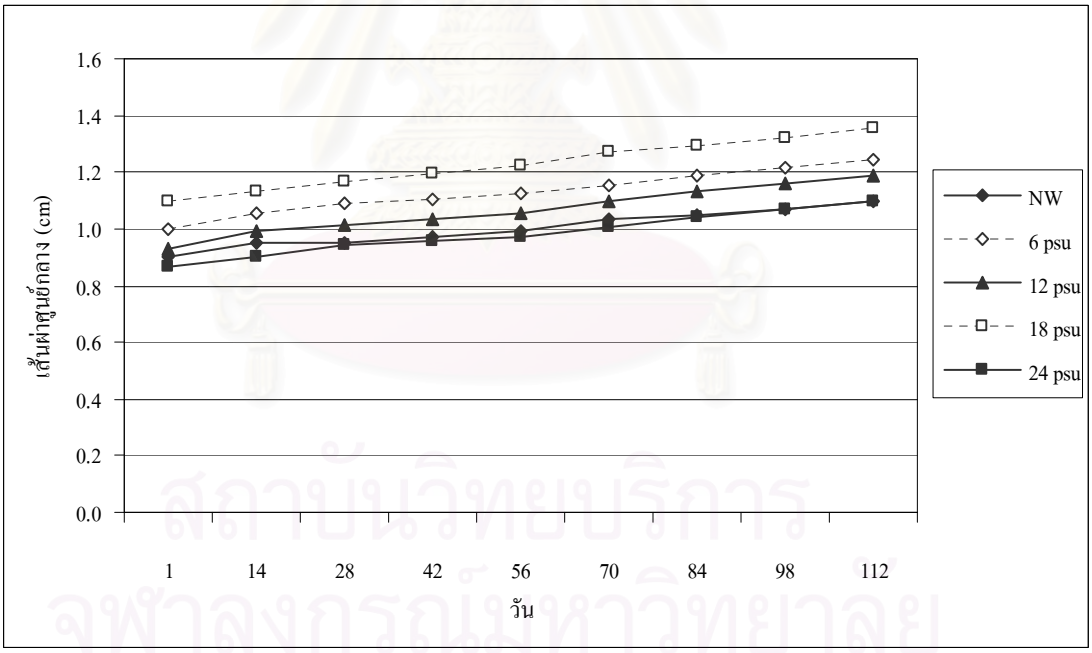


(ข) แสมทะเล

ภาพที่ 4.16 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

ภาพที่ 4.16 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

(3) การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ

ผลการศึกษามวลชีวภาพส่วนเหนือดิน ของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง กับน้ำหนักแห้ง โดยใช้สมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 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 (กรัม)

ใช้สมการที่สร้างขึ้นดังกล่าว มาคำนวณมวลชีวภาพของลำต้นและใบของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ทุกครั้งที่วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นอยู่ในช่วง 59.01-73.81, 18.78-43.22, 21.75-43.87 และ 15.96-27.78 g/m^2 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบอยู่ในช่วง 7.02-10.65, 10.84-24.55, 8.17-16.32 และ 2.52-3.96 g/m^2 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้ทุกชนิดมีมวลชีวภาพลำต้นและใบเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพลำต้นอยู่ในช่วง 77.17-93.20, 32.49-58.07, 29.88-56.60 และ 24.68-40.47 g/m^2 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบอยู่ในช่วง 11.59-16.39, 18.55-32.80, 11.18-20.99 และ 3.60-5.37 g/m^2 ตามลำดับ (ตารางที่ ผ15 และตารางที่ ผ16 และภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการทดลองเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง และจากการทดลองของ ชนิตา ปาลิยะวุฒิ (2544) ยังพบว่า ความเค็มที่สูงเกินไปนอกจากจะมีผลกระทบต่อความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพืชแล้ว ยังมีผลต่อมวลชีวภาพ

ของพืชด้วย โดยทำการศึกษาผลของความเค็มของน้ำต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้แสมขาว และพังกาหัวสุมดอกแดง โดยปลูกกล้าไม้ในชุดทดลองที่มีความเค็มเท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 60 psu เป็นเวลา 8 เดือน ภายใต้โรงเรือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้แสมขาวและพังกาหัวสุมดอกแดงมีการเจริญเติบโตทางด้านมวลชีวภาพรวม (ผลรวมของมวลชีวภาพของราก ใบ และลำต้น) สูงที่สุด ที่ความเค็ม 10 psu โดยมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 12.3 และ 50.6 g/m^2 ตามลำดับ และเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมจะลดลง

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่ากล้าไม้โกงกางใบใหญ่ จะมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ตามลำดับ ในขณะที่แสมทะเลจะมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นและใบของกล้าไม้ระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.44 และตารางที่ 4.45)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.44 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพก่อนการทดลอง (g/m^2)	อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่อเดือน (g/m^2)			
			เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	64.17±21.12	3.30±2.89^{ab}	^{b}3.05±2.64^{a}	4.08±2.84^{a}	3.98±3.19^{a}
	6 psu	73.81±19.39	3.87±2.10	^{a}4.65±2.96^{a}	5.65±2.31^{a}	5.21±2.22^{a}
	12 psu	63.81±18.91	4.80±4.71	^{ab}3.91±2.07^{a}	5.29±2.49^{a}	^{กข}4.95±2.30^{a}
	18 psu	69.78±20.91	^{ข}3.73±2.14	$^{ข\ ab}$3.80±1.62^{a}	^{ก}5.14±1.31^{a}	^{กข}4.54±1.61^{a}
	24 psu	59.01±16.33	^{ก}4.81±2.86^{a}	$^{ข\ b}$2.81±1.77^{a}	^{ก}5.69±2.19^{a}	^{ก}4.85±1.97^{a}
แสมทะเล	NW	43.22±11.92	4.36±4.07^{a}	2.93±1.71^{a}	3.80±2.05^{a}	3.75±1.97^{a}
	6 psu	34.61±16.65	^{ก}4.35±2.96	^{ข}2.47±1.76^{b}	^{ก}4.04±1.93^{b}	^{ก}3.76±1.81^{b}
	12 psu	32.41±12.09	3.05±2.07	3.72±1.97^{ab}	3.75±1.51^{b}	3.93±1.72^{ab}
	18 psu	29.12±8.28	^{ข}3.50±1.94	^{ข}2.99±2.82^{a}	^{กข}4.17±1.74^{b}	^{ก}4.18±2.24^{ab}
	24 psu	18.78±5.12	^{ข}3.51±1.85^{b}	^{ข}2.71±1.64^{a}	^{กข}3.73±2.30^{b}	^{ก}3.76±1.81^{b}
พังกาหัวสุม	NW	37.23±11.91	^{ข}1.98±1.87^{b}	$^{ข\ b}$1.72±1.04^{b}	^{ก}3.10±1.34^{ab}	^{กข}2.51±1.36^{b}
	6 psu	32.83±12.68	3.89±6.63	^{b}1.83±1.53^{b}	3.18±2.95^{bc}	2.86±2.82^{bc}
	12 psu	43.87±19.47	2.88±1.75	^{a}2.77±1.39^{bc}	3.65±1.82^{b}	3.43±1.59^{bc}
	18 psu	32.36±6.54	^{ก}3.23±1.54	$^{ข\ b}$1.53±0.93^{b}	^{ก}3.03±0.93^{c}	^{ก}2.64±0.88^{c}
	24 psu	21.75±5.63	^{ก}2.49±1.13^{b}	$^{ข\ b}$1.29±0.79^{b}	^{ก}2.27±0.61^{c}	^{ก}2.08±0.62^{c}
โปรงแดง	NW	17.65±5.28	1.96±1.80^{b}	^{b}1.53±0.76^{b}	^{c}2.22±1.06^{b}	^{c}1.99±0.91^{b}
	6 psu	23.46±9.04	1.81±2.00	^{b}1.82±1.09^{b}	^{c}2.17±1.17^{c}	^{bc}2.13±1.12^{c}
	12 psu	20.18±6.73	^{ก}3.28±2.48	$^{ข\ b}$1.87±1.15^{c}	$^{ก\ ab}$3.03±1.54^{b}	$^{กข\ ab}$2.79±1.42^{c}
	18 psu	27.78±8.24	3.08±2.71	^{a}2.78±1.47^{a}	^{a}3.51±1.56^{bc}	^{a}3.32±1.47^{bc}
	24 psu	15.96±4.22	^{ก}2.63±1.64^{b}	$^{ข\ b}$1.26±0.59^{b}	$^{ก\ bc}$2.47±1.02^{c}	$^{ก\ bc}$2.36±0.89^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.45 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบของกล้าไม้

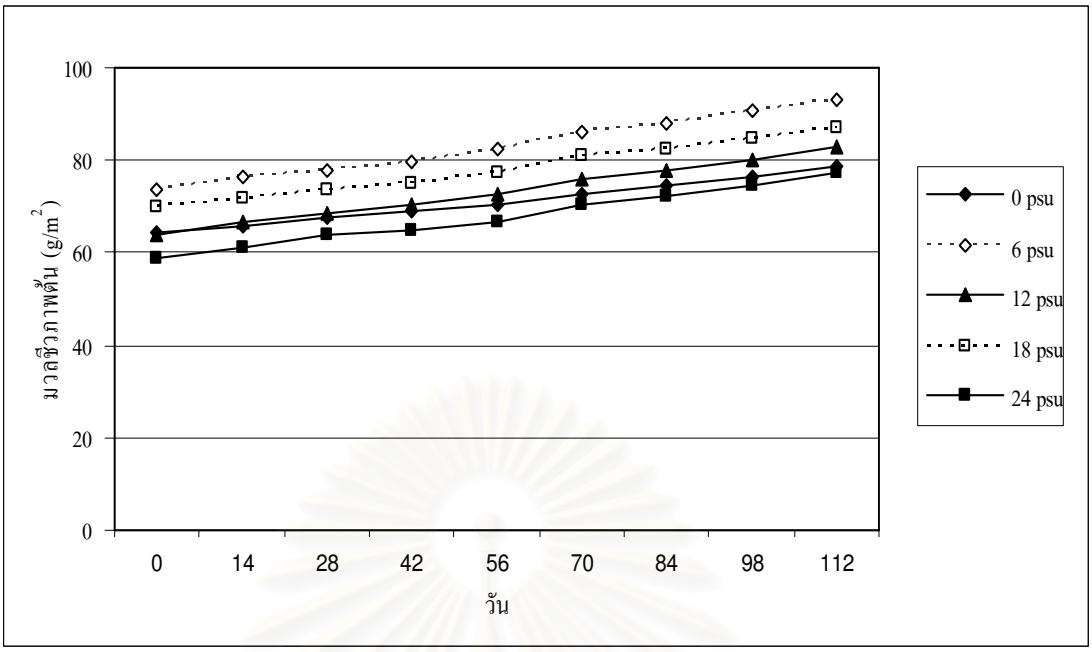
ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพก่อนการทดลอง (g/m^2)	อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่อเดือน (g/m^2)			
			เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
โกงกางใบใหญ่	NW	8.42±5.09	0.83±1.02^{b}	^{b}0.85±0.94^{b}	1.11±0.97^{b}	1.19±1.25^{b}
	6 psu	10.65±5.25	^{ข}1.06±0.69^{b}	$^{กข\ a}$1.30±0.86^{a}	^{ก}1.70±0.89^{b}	^{ก}1.68±0.91^{a}
	12 psu	8.21±4.35	1.21±1.40^{ab}	^{ab}1.01±0.06^{b}	1.47±1.00^{b}	1.47±1.00^{b}
	18 psu	9.73±5.33	^{ค}0.95±0.68^{b}	$^{ขค\ ab}$1.04±0.06^{b}	^{ก}1.47±0.71^{b}	^{กข}1.38±0.76^{b}
	24 psu	7.02±3.54	^{กข}1.08±0.75^{b}	$^{ข\ b}$0.69±0.49^{b}	^{ก}1.46±0.81^{b}	^{ก}1.34±0.76^{b}
แสมทะเล	NW	24.55±6.65	2.43±2.26^{a}	1.63±0.95^{a}	2.11±1.13^{a}	2.08±1.08^{a}
	6 psu	19.71±9.30	^{ก}2.43±1.64^{a}	^{ข}1.38±0.98^{a}	^{ก}2.25±1.06^{a}	^{ก}2.09±0.99^{a}
	12 psu	18.50±6.76	1.71±1.15^{a}	2.08±1.10^{a}	2.09±0.84^{a}	2.19±0.95^{a}
	18 psu	16.67±4.65	1.96±1.09^{a}	1.68±1.58^{a}	2.33±0.97^{a}	2.33±1.24^{a}
	24 psu	10.84±2.90	1.98±1.04^{a}	1.53±0.92^{a}	2.10±1.28^{a}	2.11±1.01^{a}
พังกาหัวสุม	NW	13.88±4.39	^{ข}0.73±0.69^{b}	$^{ข\ b}$0.63±0.38^{b}	^{ก}1.14±0.49^{b}	^{กข}0.92±0.50^{b}
	6 psu	12.26±4.68	1.43±2.44^{b}	^{b}0.67±0.56^{b}	1.17±1.08^{c}	1.05±1.03^{b}
	12 psu	16.32±7.16	1.06±0.64^{b}	^{a}1.02±0.51^{b}	1.34±0.66^{b}	1.26±0.58^{b}
	18 psu	12.09±2.41	^{ก}1.19±0.57^{b}	$^{ข\ b}$0.56±0.34^{bc}	^{ก}1.12±0.34^{b}	^{ก}0.97±0.32^{b}
	24 psu	8.17±2.09	^{ก}0.92±0.42^{b}	$^{ข\ b}$0.48±0.29^{b}	^{ก}0.84±0.23^{c}	^{ก}0.77±0.23^{c}
โปรงแดง	NW	2.73±0.67	0.12±0.11^{b}	^{b}0.09±0.05^{c}	^{c}0.13±0.06^{c}	^{c}0.12±0.05^{c}
	6 psu	3.43±1.08	0.11±0.11^{c}	^{b}0.11±0.06^{c}	^{c}0.13±0.06^{d}	^{bc}0.12±0.06^{c}
	12 psu	3.05±0.83	^{ก}0.20±0.14^{c}	$^{ข\ b}$0.11±0.06^{c}	$^{ก\ ab}$0.18±0.08^{c}	^{กขab}0.16±0.07^{c}
	18 psu	3.96±0.97	0.18±0.15^{c}	^{a}0.16±0.08^{c}	^{a}0.19±0.08^{c}	^{a}0.18±0.07^{c}
	24 psu	2.52±0.55	^{ก}0.17±0.10^{c}	$^{ข\ b}$0.08±0.04^{c}	$^{ก\ bc}$0.15±0.06^{d}	$^{ก\ bc}$0.14±0.05^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

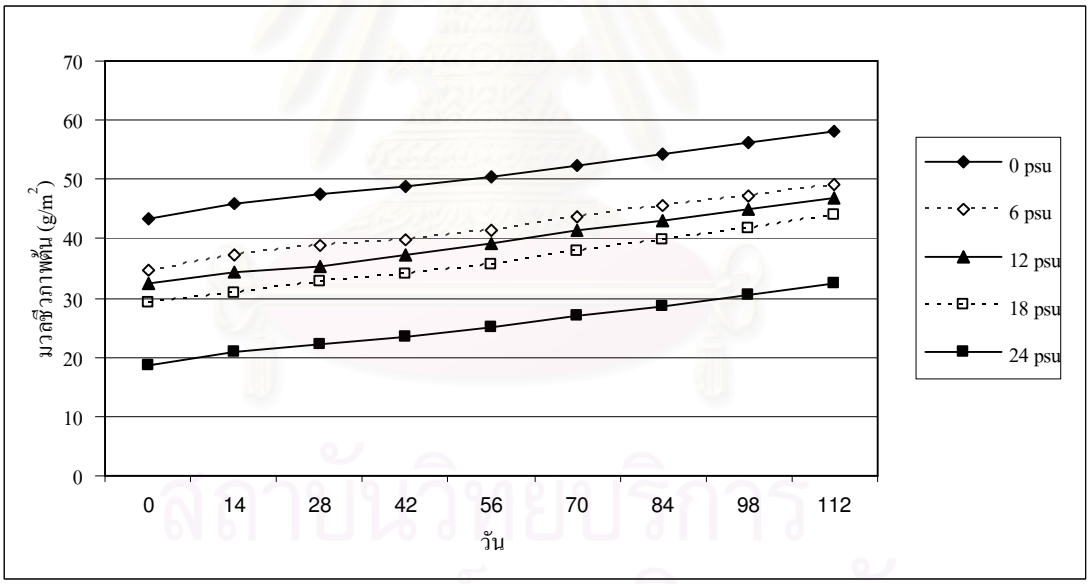
ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

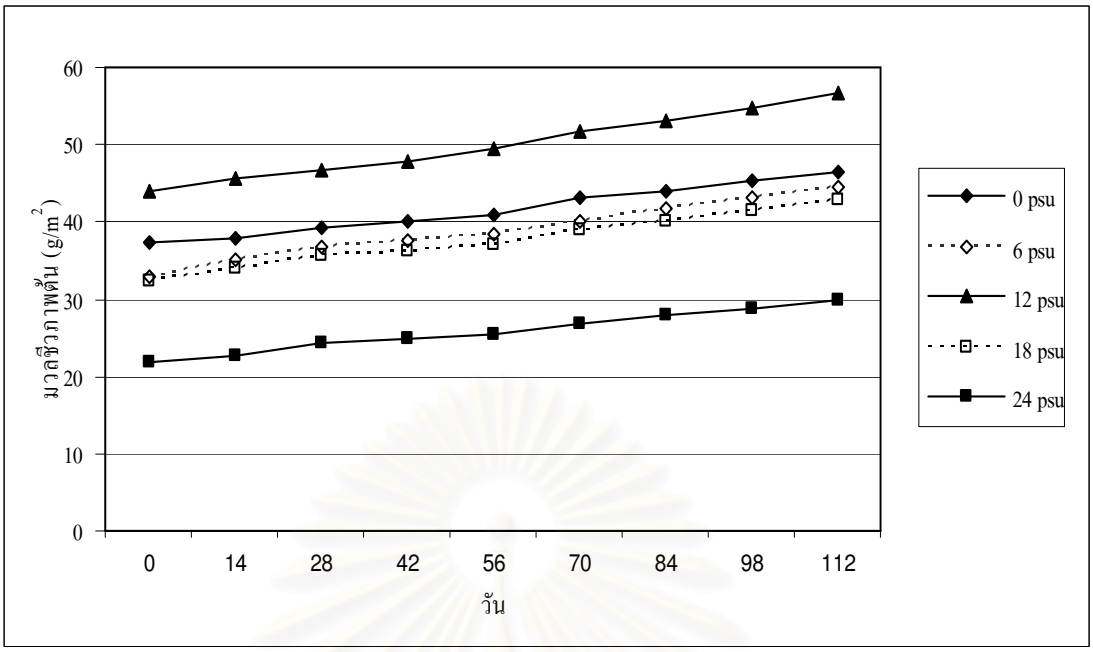


(ก) โกงกางใบใหญ่

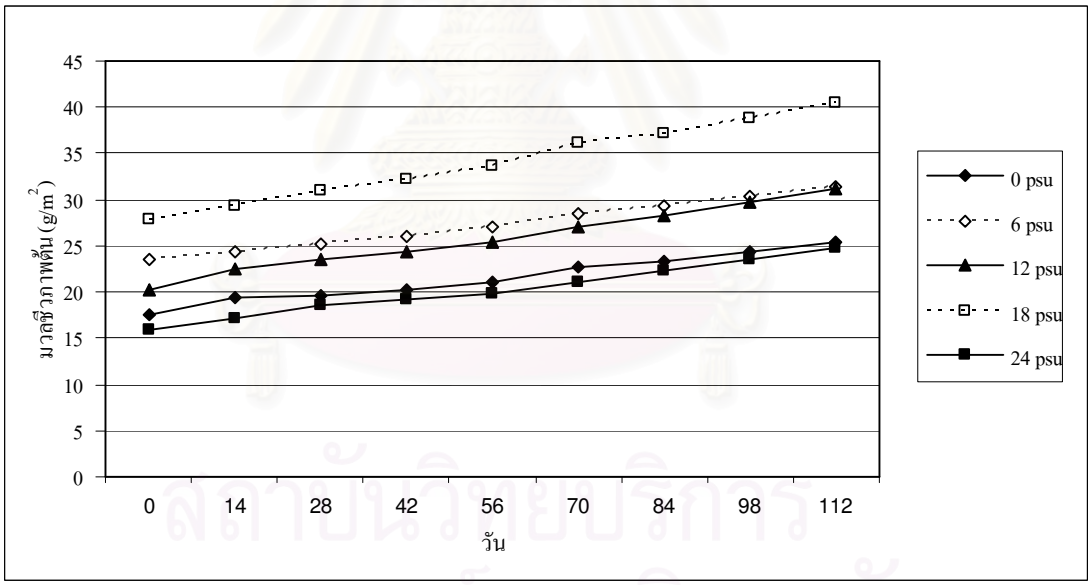


(ข) แสมทะเล

ภาพที่ 4.17 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

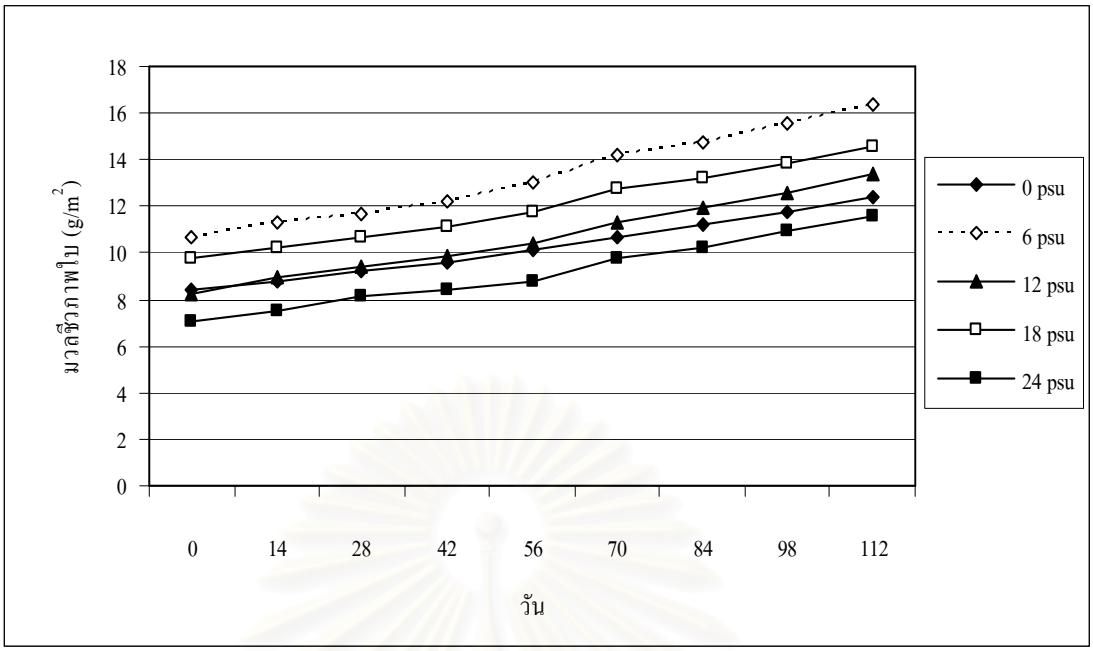


(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง

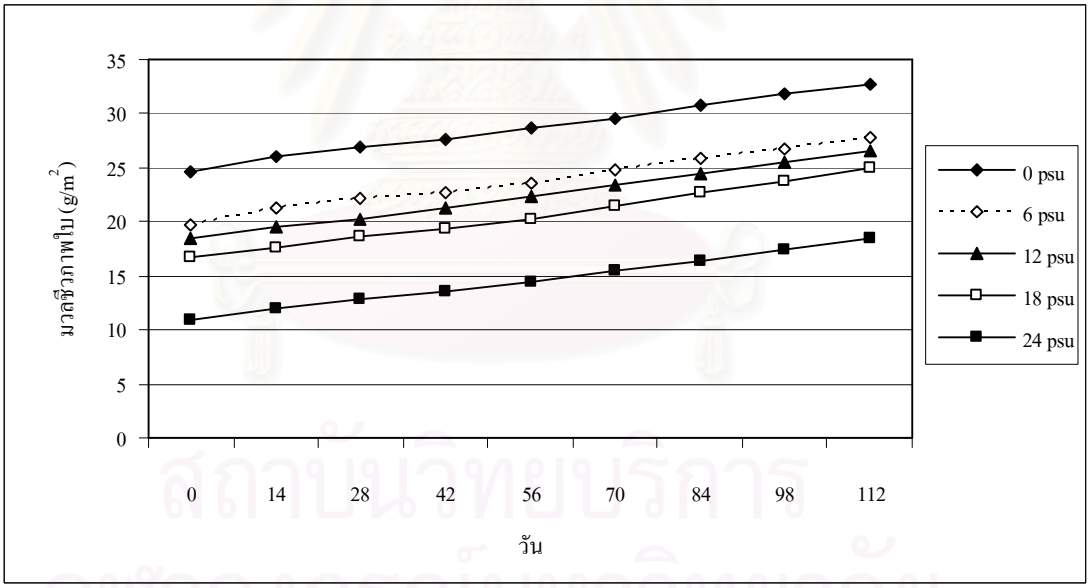


(ง) โปรงแดง

ภาพที่ 4.17 (ต่อ) มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

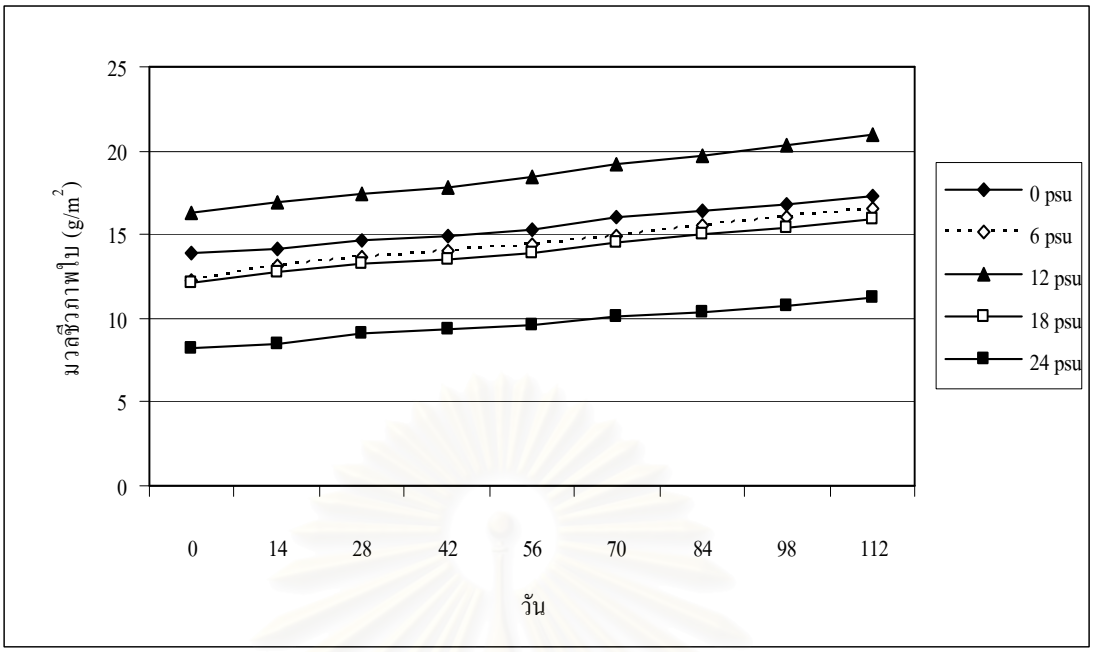


(ก) โกงกางใบใหญ่

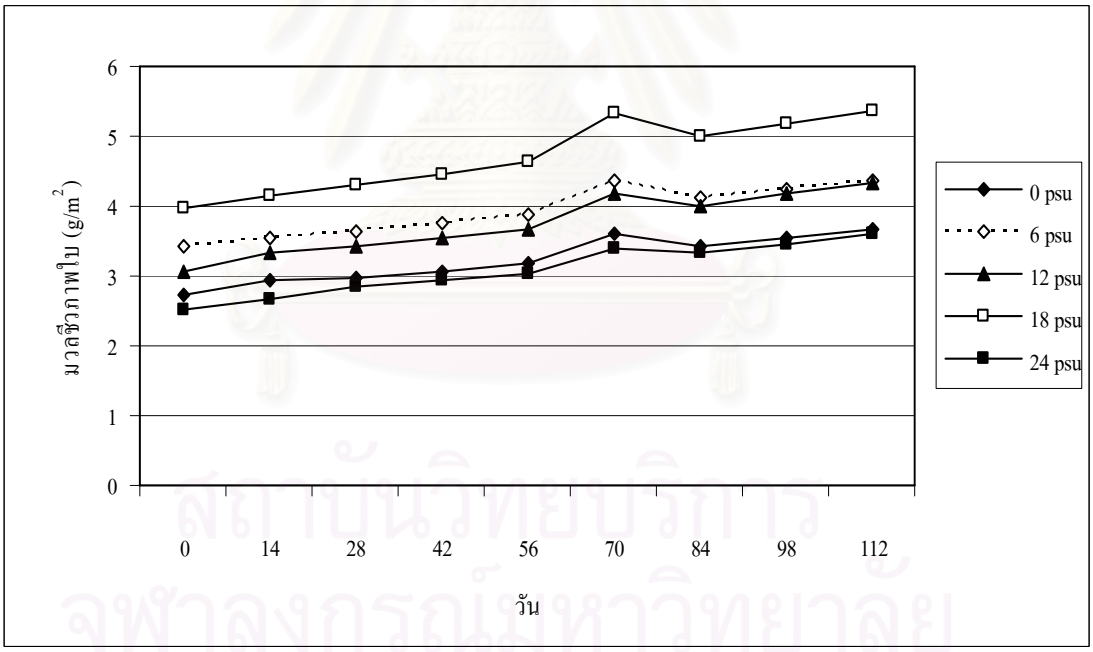


(ข) แสมทะเล

ภาพที่ 4.18 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม



(ค) พังกาหัวสุมดอกแดง



(ง) โปรงแดง

ภาพที่ 4.18 (ต่อ) มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเค็ม

(4) องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้

(4.1) ไนโตรเจนทั้งหมดในใบกล้าไม้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 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 ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบทั้งใบอ่อนและใบแก่ของกล้าไม้ในชุดทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.110-17.110, 21.195-24.400, 14.165-16.505 และ 11.915-13.055 mg/g dry weight ตามลำดับ และใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.575-15.990, 19.320-22.745, 13.640-15.845 และ 10.215-13.865 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ผ17 และตารางที่ ผ18) การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทั้งในใบอ่อนและใบแก่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง ประกอบกับกล้าไม้มีการเจริญเติบโตดี ทำให้สามารถดูดดึงไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้มาก ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบและกิ่งก้าน เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิก เอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้การดูดดึงไนโตรเจนของพืชเป็นกลไกหนึ่งในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) และจากผลการทดลอง พบว่า ใบอ่อนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าใบแก่ เนื่องจากใบอ่อนและยอดอ่อนของพืชเป็นแหล่งสะสมของธาตุอาหารต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสียภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของพืช จึงอาจถูกส่งต่อจากใบไปสู่ยอดและส่วนต่างๆ ของพืช และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ส่วนใบแก่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบพืชทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกับใบอ่อน (ตารางที่ 4.46 และตารางที่ 4.47)

ตารางที่ 4.46 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	16.530±1.867	-1.750±0.919	-1.700±0.665^{c}	1.720±1.188
	6 psu	13.865±0.403	1.935±0.940	-0.960±1.697	-0.730±1.810
	12 psu	15.120±1.061	0.655±1.478	-1.525±0.856^{c}	0.945±1.039
	18 psu	16.560±1.245	-2.010±0.481	0.915±0.256	1.645±0.856^{a}
	24 psu	15.810±0.834	-0.080±1.570	0.250±0.580^{a}	0.165±0.219
แสมทะเล	NW	20.445±0.813	0.810±1.230	1.830±0.354^{a}	1.255±0.474
	6 psu	18.015±0.332	ก3.065±0.134	ข0.480±0.311	ข-0.365±1.266
	12 psu	20.790±0.905	-0.745±1.153	1.500±1.047^{a}	0.675±0.332
	18 psu	18.935±0.544	6.445±5.494	-3.645±5.353	2.100±0.283^{a}
	24 psu	19.900±0.537	ก5.415±0.148^{b}	ข-0.270±0.509^{a}	ข-0.645±0.308
พังกาหัวสุม	NW	13.880±0.933	^{c} -0.770±1.414	^{a} 1.625±0.205^{ab}	-0.400±1.174
	6 psu	14.390±1.513	ก^{b} 3.600±1.358	ข^{b} -1.195±1.025	ข-0.290±0.467
	12 psu	14.980±0.608	^{c} 1.110±1.245	^{b} -1.150±0.028 ^{bc}	-0.660±0.184
	18 psu	13.255±0.262	ก^{c} 0.580±0.000	ข^{b} -0.800±0.424	ก1.130±0.170 ^{a}
	24 psu	12.910±0.622	ก^{a} 7.995±0.219	ค^{c}-8.195±0.219 ^{b}	ข0.290±0.792
โปรงแดง	NW	11.510±1.315	-0.290±0.806	0.615±0.177 ^{b}	1.075±0.177
	6 psu	11.665±0.969	-0.640±1.259	0.525±0.021	1.505±0.431
	12 psu	11.945±0.247	-0.995±0.672	0.885±0.672^{ab}	1.080±0.226
	18 psu	10.875±0.516	ก2.175±0.799	ข-0.795±0.700	ข-0.340±0.368 ^{b}
	24 psu	10.425±0.785	0.630±0.552^{c}	0.490±0.552 ^{a}	0.655±1.704

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.47 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	15.185±0.700	-0.130±0.141	-2.315±0.884	0.835±1.365
	6 psu	12.960±0.127	0.975±0.799	0.900±1.541[a]	0.420±1.471
	12 psu	13.750±0.438	-0.315±0.163[ab]	1.185±1.464	0.365±1.195
	18 psu	14.090±0.184	[ข]-0.370±0.184	[ก]1.100±0.099[a]	[ข]-0.830±0.339[b]
	24 psu	14.035±0.262	0.090±0.184[b]	0.960±1.117	0.905±0.064
แสมทะเล	NW	18.920±1.315	[b] 0.980±0.396	1.165±0.516	0.870±0.933
	6 psu	16.255±0.403	[b] 1.645±0.700	0.510±1.047[a]	0.910±1.230
	12 psu	18.955±0.262	[b] 0.375±0.375[a]	0.280±0.240	1.465±0.898
	18 psu	16.220±0.481	[กขb] 1.125±0.658	[ข]-0.325±0.559[b]	[ก]2.755±0.219[a]
	24 psu	15.150±0.750	[กa] 6.710±0.198[a]	[ข]-0.165±1.280	[ข]1.050±1.287
พังกาหัวสุม	NW	12.695±0.361	[b] 0.360±1.075	[a] 0.900±1.754	0.325±0.460
	6 psu	14.225±0.304	[กb] 3.000±1.047	[ขb] -4.900±1.188[b]	[ก]1.055±0.219
	12 psu	13.215±0.460	[b] 0.995±0.827[a]	[a] 0.470±0.382	-0.565±1.365
	18 psu	12.025±0.757	[b] 1.085±1.365	[a] 0.045±0.262[b]	0.485±1.464[b]
	24 psu	11.545±0.799	[กa] 6.610±1.768[a]	[ขab]-2.035±1.633	[ข]-0.275±1.237
โปรงแดง	NW	11.670±0.721	[b] -0.560±1.612	0.435±0.120	0.920±1.655
	6 psu	11.250±0.849	[กa] 2.915±0.969	[กข]1.030±1.216[a]	[ข]-1.330±0.212
	12 psu	11.060±0.410	[คb]-1.055±0.106[b]	[ข]0.150±0.269	[ก]1.480±0.113
	18 psu	10.340±1.259	[b] -0.160±0.693	0.200±0.099[b]	-0.165±0.177[b]
	24 psu	9.765±0.445	[b] -545±0.021[b]	0.995±0.955	0.830±0.735

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(4.2) ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบกล้าไม้

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 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 ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบทั้งใบอ่อนและใบแก่ของกล้าไม้ในชุดทดลองส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง โดยในใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.505-1.845, 1.428-3.081, 1.196-1.767 และ 1.062-1.221 mg/g dry weight ตามลำดับ และใบแก่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.992-1.108, 0.825-2.374, 0.772-1.082 และ 0.586-1.139 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ ผ19 และตารางที่ ผ20) การที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งในใบอ่อนและใบแก่ลดลง อาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในการเจริญเติบโต ดังนั้นฟอสฟอรัสจะถูกส่งจากใบไปยังยอดและส่วนต่างๆ ของพืชต่อไป ประกอบกับการดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ของพืชขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ดินในชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงกว่า 7.8 ทำให้ออร์โธฟอสเฟตสะสมอยู่ในดินในรูปของ PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ และออร์โธฟอสเฟตในรูปดังกล่าวจะถูกตรึงไว้กับอนุภาคของแมกนีเซียมและแคลเซียมสะสมอยู่ในดิน พืชจึงดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ส่งผลให้การสะสมของฟอสฟอรัสทั้งหมดใบของกล้าไม้ลดลงด้วย

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนระหว่างความเค็มของน้ำเสียภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การตกตะกอนและดูดซับไว้โดยอนุภาคของดิน การดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้โดยพืชนั้นเกิดขึ้นได้ต่ำประกอบกับความเป็นกรด-ด่างของดินในชุดทดลองมีค่าสูงดังกล่าวไปแล้ว ทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในใบพืชมีปริมาณต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนใบแก่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ชนิดพืช และช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกับใบอ่อน (ตารางที่ 4.48 และตารางที่ 4.49)

ตารางที่ 4.48 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.557±0.128	0.005±0.377	0.282±0.092[a]	-0.163±0.163
	6 psu	1.941±0.336	-0.181±0.081	0.091±0.270	-0.005±0.223
	12 psu	1.840±0.230	-0.338±0.055	0.008±0.545	-0.005±0.196
	18 psu	1.755±0.289	0.034±0.473	0.013±0.448	-0.180±0.393
	24 psu	1.920±0.525	-0.090±0.426	-0.124±0.065	0.056±0.068
แสมทะเล	NW	3.384±0.456	[ขbc]-0.248±0.228	[ขb]-0.404±0.119[b]	[ก]0.348±0.031
	6 psu	2.272±0.150	[a]0.776±0.714	[c]-0.982±0.355	0.903±0.487
	12 psu	2.541±0.242	[กab]0.529±0.006[a]	[ขbc]-0.634±0.053	[ก]0.360±0.346
	18 psu	2.924±0.099	[c]-0.943±0.326	[a]0.480±0.201	-1.033±0.929
	24 psu	2.951±0.124	[bc]-0.611±0.556	[a]0.307±0.096	-0.177±0.066
พังกาหัวสุม	NW	1.614±0.333	0.234±0.510	-0.506±0.282[b]	0.228±0.203
	6 psu	1.559±0.195	-0.114±0.575	0.155±0.716	-0.038±0.054
	12 psu	1.821±0.397	0.453±0.103	0.170±0.195	-0.677±0.537
	18 psu	1.503±0.164	0.204±0.255	0.016±0.029	-0.529±0.221
	24 psu	1.486±0.263	0.460±0.013	-0.258±0.555	-0.396±0.371
โปรงแดง	NW	1.855±0.318	[ข]-0.803±0.065	[ก]0.451±0.178[a]	[กข]-0.283±0.369
	6 psu	1.203±0.333	0.178±0.901	-0.485±0.821	0.321±0.099
	12 psu	1.077±0.075	-0.046±0.277	0.105±0.218	-0.008±0.040
	18 psu	0.968±0.280	0.354±0.624	-0.252±0.323	0.022±0.140
	24 psu	1.451±0.415	-0.189±0.550	0.302±0.550	-0.501±0.549

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.49 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.473±0.456	-0.653±0.266	-0.005±0.297^{b}	^{ab}0.177±0.052
	6 psu	1.268±0.227	-0.220±0.295	0.027±0.136	^{ab}0.006±0.182
	12 psu	0.907±0.147	-0.126±0.391	0.280±0.188^{b}	^{b}-0.019±0.081^{b}
	18 psu	0.975±0.314	-0.084±0.390	-0.025±0.220	^{a}0.242±0.038^{a}
	24 psu	1.362±0.156	^{ค}-0.601±0.048	^{ก}0.599±0.020^{a}	^{ขc}-0.354±0.013
แสมทะเล	NW	2.162±0.297	^{คb}-1.423±0.173	^{กa} 1.177±0.051^{a}	^{ขa}0.458±0.201
	6 psu	2.186±0.227	^{ขab}-0.856±0.051	^{กbc}0.611±0.340	^{กab} 0.285±0.064
	12 psu	1.093±0.163	^{คa}-0.191±0.070	^{กab} 0.893±0.062^{a}	^{ขa} 0.533±0.123^{a}
	18 psu	1.907±0.307	^{กa}-0.136±0.145	^{กc}0.127±0.257	^{ขc} -1.074±0.217^{b}
	24 psu	2.097±0.354	^{a} -0.129±0.572	^{c}0.212±0.149^{ab}	^{b} -0.017±0.129
พังกาหัวสุม	NW	1.073±0.166	-0.418±0.327	0.157±0.054^{b}	0.213±0.099
	6 psu	1.037±0.265	-0.614±0.342	0.259±0.228	0.400±0.264
	12 psu	1.236±0.263	^{ข}-0.639±0.092	^{ก}0.334±0.247^{b}	^{ก}-0.033±0.167^{b}
	18 psu	0.804±0.060	0.009±0.155	0.043±0.153	-0.084±0.155^{a}
	24 psu	0.910±0.278	0.160±0.379	-0.120±0.266^{b}	0.003±0.256
โปรงแดง	NW	1.266±0.412	-0.826±0.279	0.342±0.458^{b}	0.356±0.511
	6 psu	0.754±0.116	-0.042±0.201	0.032±0.013	0.049±0.084
	12 psu	0.886±0.209	^{ข}-0.380±0.029	^{ก}0.149±0.156^{b}	^{ก}-0.069±0.025^{b}
	18 psu	0.820±0.210	-0.146±0.102	0.069±0.036	0.050±0.281^{a}
	24 psu	1.184±0.411	-0.450±0.267	0.340±0.086^{a}	-0.241±0.173

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

(4.3) ตะกั่วและทองแดงในใบกล้าไม้

ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุม ดอกแดง และโปรงแดง ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย มีค่าต่ำกว่า 0.025 mg/g dry weight ซึ่งเป็นค่า detection limit ของเครื่อง atomic absorption ที่ใช้วัดปริมาณตะกั่วในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.006-0.008, 0.007-0.018, 0.008-0.008 และ 0.007-0.008 mg/g dry weight ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง ปริมาณตะกั่วในใบอ่อนของกล้าไม้ในทุกชุดทดลองมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง คือ ต่ำกว่า 0.025 mg/g dry weight ส่วนปริมาณทองแดงในใบอ่อนของกล้าส่วนใหญ่มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.009-0.010, 0.011-0.015, 0.008-0.009 และต่ำกว่า 0.005-0.010 mg/g dry weight ตามลำดับ (ตารางที่ 4.50 และตารางที่ 4.51) การที่ตะกั่วมีการสะสมในปริมาณที่ต่ำกว่าทองแดง เนื่องจากตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นต่อพืช (non-essential elements) ทำให้พืชดูดดึงเข้าสู่รากในปริมาณน้อย ส่วนทองแดงแม้ว่าจะเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช (essential elements) แต่พืชต้องการในปริมาณต่ำ เมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลัก ประกอบกับพันธุ์ไม้ชายเลนทั่วไปจะมีปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของใบต่ำกว่าเนื้อเยื่อของลำต้นและราก (Yim และ Tam, 1999 อ้างถึงใน Defew และคณะ, 2005) โดยเฉพาะ feeding roots มีปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่สูง นอกจากนี้โลหะหนักที่สะสมอยู่ในใบของพืชยังอาจถูกขับออกมาทางต่อมเกลือที่อยู่บริเวณรอบใบพืช (Weis และ Weis, 2004) โดยเฉพาะพันธุ์ไม้ชายเลนที่มีต่อมเกลือมากกว่าพืชชนิดอื่น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงระหว่างความเค็มของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า มีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่สามารถระบุได้ว่าที่ระดับความเค็มใด มีการสะสมของทองแดงในใบอ่อนสูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ใบอ่อนของกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณทองแดงสูงขึ้นและสูงกว่าใบอ่อนของกล้าชนิดอื่น แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปริมาณทองแดงที่สะสมอยู่ในใบอ่อนของกล้าไม้ในทุกชุดทดลองอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดพิษต่อใบ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ สอดคล้องกับที่ Macfarlane และ Burchett (2002) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทองแดงกับความเป็นพิษ การเจริญเติบโต และการสะสมโลหะหนักดังกล่าวในกล้าไม้แสมทะเล พบว่า กล้าไม้แสมทะเลที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงสูงมีขนาดและมวลชีวภาพต่ำ คือ กล้าไม้ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 0, 50, 100, 200 และ 400 μg/g มีขนาดใบเฉลี่ยเท่ากับ 100.3, 73.7, 50.6, 46.8 และ 9.1 ซม.^{2} ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพใบเท่ากับ 2.76, 2.35, 2.29, 2.60 และ 1.78 g/m^2 ตามลำดับ การที่พันธุ์ไม้ชายเลนมีความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักสูง เนื่องจากมีกลไกสำคัญได้แก่ การไม่ยอมให้ผ่านของผนังเซลล์ การจำกัดไอออนของโลหะเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยา การสร้างเซลล์ epidermis ห่อหุ้ม การขับไอออนโลหะออกจากเซลล์ และการเหนี่ยวนำของเอนไซม์ peroxidase (Baker และ Walker, 1990; Walsh และคณะ,

1979; Didtz และคณะ, 1999 อ้างถึงใน Defew และคณะ, 2005) แต่ถ้าปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่นั้นมีปริมาณมากเกินกว่าที่พืชจะทนทานได้ พืชจะแสดงอาการเป็นพิษ หยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Yim และ Tam (1999) ที่ทำการทดลองถึงผลกระทบของน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักต่อพังกาหัวสุมดอกแดง โดยทดลองปล่อยน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดง สังกะสี แคดเมียม โครเมียม และนิเกิล เท่ากับ 30, 50, 2.0, 20 และ 30 mg/1 ตามลำดับ เข้าสู่ชุดทดลอง พบว่า ภายหลังการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 63 วัน จำนวนใบและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นของพังกาหัวสุมดอกแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ใบแก่ยังมีลักษณะเป็นสีเหลืองและร่วงหล่นลงมา ในขณะที่ใบอ่อนยังคงอยู่ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.50 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 ของตะกั่วเท่ากับ 0.025 mg/g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.51 ปริมาณทองแดงในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณทองแดง (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.008	0.010	0.008	0.009
	6 psu	0.008	0.009	0.007	0.009
	12 psu	0.008	0.008	0.008	0.009
	18 psu	0.006	0.008	0.008	0.010
	24 psu	0.007	0.008	0.007	0.010
แสมทะเล	**NW**	0.013	0.014	0.013	0.015
	6 psu	0.011	0.009	0.008	0.012
	12 psu	0.014	0.011	0.010	0.014
	18 psu	0.007	0.013	0.012	0.011
	24 psu	0.018	0.014	0.014	0.013
พังกาหัวสุม	**NW**	0.008	0.008	0.006	0.008
	6 psu	0.008	0.008	0.008	0.009
	12 psu	0.008	0.008	0.008	0.009
	18 psu	0.008	0.008	0.007	0.008
	24 psu	0.008	0.007	0.007	0.008
โปรงแดง	**NW**	0.007	0.007	0.006	0.007
	6 psu	0.008	0.008	0.007	0.009
	12 psu	0.007	0.007	0.006	< 0.005
	18 psu	0.008	0.008	0.008	0.010
	24 psu	0.007	0.007	0.007	0.009

หมายเหตุ Detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.005 mg/g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้การเติมน้ำต่อเนื่อง ดำเนินการ ณ พื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) ซึ่งมี 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ระดับความเค็มของน้ำเสียชุมชน คือ น้ำเสียชุมชนปกติ และน้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีระดับความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ตามลำดับ กับชนิดพืช คือ กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) ซึ่งทุกชนิดมีอายุประมาณ 2 ปี และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน สลับกับการพักระบบโดยปล่อยให้แห้ง 4 วัน และกักเก็บน้ำทะเล 3 วัน ก่อนปล่อยออกและทดลองครั้งใหม่ ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 9 ครั้ง รวมระยะเวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 126 วัน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 คุณภาพน้ำ

(1) ชุดทดลองทุกชุดสามารถบำบัดบีโอดีให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพืชแต่ละชนิดเป็นพืชชายเลนที่มีระบบรากหายใจ ซึ่งแม้จะมีลักษณะแตกต่างกัน คือ โกงกางใบใหญ่มีรากแบบรากค้ำจุน (stilt roots) แสมทะเลมีระบบรากที่เรียกว่า pneumatophores ส่วนพังกาหัวสุมดอกแดงและโปรงแดงมีรากลักษณะคล้ายเข่า (knee roots) ระบบรากดังกล่าวช่วยทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชันเกิดได้ดีขึ้นในระบบรากใต้ดิน ซึ่งเป็นบทบาทสำคัญในการบำบัดบีโอดีและแอมโมเนีย ส่วนระบบที่ไม่ปลูกพืช สามารถเติมออกซิเจนโดยลมและการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช ประกอบกับปริมาณบีโอดีในน้ำเข้าของแต่ละชุดทดลองแตกต่างกัน จึงมีผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีค่อนข้างแปรผัน

(2) ชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดได้ต่ำ มีค่าระหว่าง 25.46-59.66 % ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การร่วงหล่นของเศษใบไม้ กิ่งไม้ และการฟุ้งของ

ตะกอนดินเลนในชุดทดลอง โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืช เนื่องจากกลไกสำคัญในการบำบัดสารแขวนลอย คือ การตกตะกอนและการจับไว้โดยรากพืช (Kadlec, 1995)

(3) ชุดทดลองทุกชุดสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดค่าไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกิน 35 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากมีความผันแปรสูง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด คือ มีค่าอยู่ในช่วง 81.38 – 89.50 % เนื่องจากการดูดซึมของพืชเป็นกลไกหนึ่งในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ประกอบกับเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและมวลชีวภาพ พบว่า แสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงและมวลชีวภาพสูงกว่าพืชชนิดอื่น เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ไนโตรเจนมาก

(4) ชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ค่อนข้างสูง มีค่าระหว่าง 48.30-71.59 % โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่าง 57.76-71.59 % ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่น ซึ่งมีค่าระหว่าง 48.30-63.51 % เนื่องจากเมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้นจะมีปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl^-) สูงขึ้น ทำให้เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) ในดินเลนอยู่ในรูปของเกลือโลหะฟอสเฟต เช่น $FeCl_3$ เพิ่มขึ้น มีผลให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอยตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟต เช่น เฟอริกฟอสเฟต ($FePO_4$) ได้ดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW) แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียนั้นดินจะเป็นปัจจัยสำคัญในการบำบัด

(5) ชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงและตะกั่วในน้ำเสียได้ เนื่องจากน้ำเสียมีสารแขวนลอยสูง ประกอบกับชุดทดลองที่มีการปรับระดับความเค็มของน้ำเสียให้มีความเค็มสูงขึ้น

ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสภาพดังกล่าวทำให้ทองแดงและตะกั่วจับกับอนุภาคต่างๆและตกตะกอนได้ดีขึ้น (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544) นอกจากนี้ดินในระบบมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุสูง ทำให้ทองแดงและตะกั่วสะสมอยู่ในดินได้ดีขึ้นอีกด้วย

5.1.2 สมบัติของดิน

(1) เมื่อเปรียบเทียบการสะสมอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า มีแนวโน้มสูงขึ้นตามช่วงเวลา นอกจากนี้ยังพบว่า ดินชั้นบนมีแนวโน้มการสะสมสูงกว่าดินชั้นล่างในทุกพารามิเตอร์ดังกล่าว

(2) เมื่อเปรียบเทียบการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นบนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า การสะสมอินทรียวัตถุจะลดลงตามระดับความเค็มของน้ำเสียที่สูงขึ้น เนื่องจากความเค็มอาจมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการสะสมอินทรียวัตถุในดินชั้นบนระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบการสะสมอินทรียวัตถุในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับดินชั้นบน

(3) เมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ทั้งระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเค็มมีผลต่อชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน รวมทั้งอาจยับยั้งการดูดดึงสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ของพืช ซึ่งทั้งหมดเป็นกลไกหลักในการบำบัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับดินชั้นบน

(4) เมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมของฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบนระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากกลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้แก่ การตกตะกอน และการดูดซับโดยอนุภาคดิน ส่วนการดูดดึงไปใช้ประโยชน์โดยพืช

นั้นเกิดได้น้อย ส่วนดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(5) ปริมาณทองแดงในดินชั้นบนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 มีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับการบำบัดทองแดงในน้ำเสียของทุกชุดทดลองที่สามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ แต่ปริมาณตะกั่วในดินชั้นบนก่อนและหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง

5.1.3 อัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในกล้าไม้

(1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และมวลชีวภาพของกล้าไม้แต่ละชนิด ภายหลังการทดลองเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างช่วงเวลา

(2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ ภายหลังการทดลองเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากพืชชายเลนสามารถขึ้นและเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำระหว่าง 10-30 psu ขึ้นกับชนิดพืช (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ประกอบกับพืชชายเลนมีต่อมเกลือ ซึ่งทำหน้าที่ขับเกลือหากปริมาณเกลือในเซลล์พืชสูงเกินไป เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพระหว่างชนิดพืช พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด ในขณะที่การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของแสมทะเลและโกงกางใบใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างชนิดพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.4 ปริมาณธาตุอาหารในใบกล้าไม้

(1) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบพืชภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3, 6 และ 9 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างช่วงเวลา นอกจากนี้พบว่า ใบอ่อนมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าใบแก่

(2) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของพืช จึงอาจถูกส่งต่อไปยังยอดและส่วนต่างๆของพืช ส่วนในใบแก่ เมื่อ

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับใบอ่อน

(3) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 ระหว่างความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนระหว่างชนิดพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน เนื่องจากการดูดดึงธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ของพืช ถูกจำกัดด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งดินในชุดทดลองที่ทำการศึกษานี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 7.2 ทำให้ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในรูป PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่และถูกตรึงไว้กับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ส่วนในใบแก่ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างความเค็มของน้ำเสียและชนิดพืช พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับใบอ่อน

(4) ปริมาณทองแดงในใบอ่อนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3, 6 และ 9 มีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย และจากการศึกษา พบว่า ในใบอ่อนของกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณทองแดงสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน แต่ปริมาณตะกั่วก่อนและหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนต่างชนิดกัน ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง เมื่อใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบเติมต่อเนื่อง สามารถสรุปในภาพรวมได้ดังนี้ คือ ในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า ไม่สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเค็มเท่าใดที่สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีที่สุด แต่ทุกชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างสูง คือ มีค่าอยู่ในช่วง 59.78-89.50 % เมื่อพิจารณาด้านชนิดพืช พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ มีค่าอยู่ในช่วง 81.38-89.50 % เนื่องจากกล้าไม้แสมทะเลมีระบบรากแบบ pneumatophore สามารถรับออกซิเจนจากบรรยากาศได้โดยตรง (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันบริเวณรากเกิดได้ดีขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดจึงสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น ประกอบกับเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตด้านความสูงและมวลชีวภาพ พบว่า กล้าไม้แสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงและมวลชีวภาพสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น ทำให้สามารถดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตสูง สอดคล้องกับผลการศึกษาด้านการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในใบของกล้าไม้ ซึ่งพบว่า ใบของกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ากล้าไม้อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดิน มีแนวโน้มว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมไนโตรเจน

ทั้งหมดสูงกว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ อาจเนื่องมาจากความเค็มมีผลทำให้ชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันลดลง แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมจะอาศัยบทบาทของพืชและจุลินทรีย์มากกว่าบทบาทของดิน

การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 24 psu มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ มีค่าอยู่ในช่วง 57.76-71.59 % สอดคล้องกับผลการศึกษาด้านการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ซึ่งพบว่า ดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ เนื่องจากความเค็มที่สูงขึ้นทำให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้น ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ทำให้อนุภาคของเหล็ก (Fe^{3+}) อะลูมิเนียม (Al^{3+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ที่อยู่ในดินเลนจับตัวกับไอออนดังกล่าวเป็นสารประกอบในรูปของเกลือโลหะ เช่น $FeCl_3$ ได้มากขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสารประกอบเหล่านั้นจะละลาย แตกตัวให้ไอออนบวกของโลหะดังกล่าวสะสมอยู่ในดิน และเมื่อมาพบกับไอออนฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากยิ่งขึ้น และจะตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟต เช่น อะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) เหล็กฟอสเฟต ($FePO_4$) และจะถูกดูดซับโดยอนุภาคของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยดินในชุดทดลองส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) มีอนุภาคดินเหนียวค่อนข้างสูง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 ทำให้ฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต ($H_3PO_4^-$, $H_2PO_4^{2-}$ และPO_4^{3-}) ซึ่งถูกสะสมโดยกระบวนการดูดซับและก่อตะกอนผลึกในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้พืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548 ; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) สอดคล้องกับผลการศึกษาด้านการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ ซึ่งพบว่า มีปริมาณต่ำและไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การตกตะกอนและการดูดซับโดยอนุภาคดิน

ชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงและตะกั่วในน้ำเสียได้ เนื่องจากน้ำเสียมีสารแขวนลอยสูง ประกอบกับชุดทดลองที่มีการปรับระดับความเค็มของน้ำเสียให้มีความเค็มสูงขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสูงขึ้น ซึ่งสภาพดังกล่าวทำให้ทองแดงและตะกั่วจับกับอนุภาคต่างๆและตกตะกอนได้ดีขึ้น (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544) นอกจากนี้ดินในระบบมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุสูง ทำให้ทองแดงและตะกั่วสะสมอยู่ในดินได้ดีขึ้น ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุมีประจุลบ สามารถจับกับทองแดงและตะกั่วที่มีประจุบวกได้ เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในดินชั้นบนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย มีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับการบำบัดทองแดงในน้ำเสียของทุกชุดทดลองที่สามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ แต่ปริมาณตะกั่วในดินชั้นบนก่อนและหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนปริมาณ

ทองแดงในใบอ่อนภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียมีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย และจากการศึกษา พบว่า ในใบอ่อนของกล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณทองแดงสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่น แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนว่าที่ระดับความเค็มใดที่กล้าไม้แสมทะเลมีปริมาณทองแดงสูงสุด ส่วนปริมาณตะกั่วก่อนและหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักทั้งสองชนิดอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดพิษต่อกล้าไม้ เนื่องจากพันธุ์ไม้ชายเลนมีความทนทานต่อโลหะหนักได้ดี ประกอบกับมีกลไกสำคัญในการกำจัดโลหะหนัก เช่น การขับไอออนโลหะออกจากเซลล์ทางต่อมเกลือบริเวณรอบใบ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน เมื่อใช้การเติมน้ำต่อเนื่อง เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการปลูกป่าชายเลนเพื่อช่วยบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปรับระดับความเค็ม 4 ระดับ คือ 6, 12, 18 และ 24 psu พบว่า สามารถบำบัดบีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ก. ได้ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ ในขณะที่ไม่สามารถระบุได้ว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มเท่าใดสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่า ทุกชุดทดลองสามารถลดปริมาณทองแดงในน้ำเสียได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการศึกษาทั้งหมดแล้ว มีข้อเสนอแนะว่า ควรใช้ระดับความเค็มของน้ำเสียในช่วง 10-30 psu โดยต้องขึ้นอยู่กับชนิดพืชด้วย รวมทั้งควรพิจารณาใช้กล้าไม้แสมทะเลในการปลูกป่าชายเลนเพื่อบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตและทนทานต่อความเค็มได้ในช่วงกว้าง มีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูง หรืออาจใช้กล้าไม้โกงกางใบใหญ่แทนได้ เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียใกล้เคียงกัน นอกจากนี้โกงกางใบใหญ่ยังเป็นไม้ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสามารถใช้ผลิตถ่านที่ให้ความร้อนสูงอีกด้วย อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนยังมีปัจจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้องอีกมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจึงควรมีการศึกษาด้านอื่นเพิ่มเติมดังนี้

(1) ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ชนิดและปริมาณของสาหร่าย แพลงค์ตอนพืช และจุลินทรีย์ ระดับความลึกของน้ำเสียเมื่อขังอยู่ในระบบ ปริมาณน้ำฝนที่อาจมีผลต่อความเข้มข้นของน้ำเสียและความเค็ม เป็นต้น

(2) ช่วงอายุของพันธุ์ไม้ชายเลนที่เหมาะสมในการนำมาบำบัดน้ำเสียมากที่สุด เนื่องจากพืชในแต่ละช่วงอายุมีอัตราการเจริญเติบโตต่างกัน ทำให้มีการดูดดึงธาตุอาหารไปใช้และมีโครงสร้าง

ส่วนต่างๆ เช่น ราก กิ่ง และใบ เป็นต้น ต่างกันซึ่งมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำโดยตรง โดยทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องในระยะยาว

(3) ควรมีการศึกษาสมบัติดินในระบบอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่ป่าชายเลนเป็นเวลานานทำให้เกิดการสะสมของมลสารต่างๆ โดยเฉพาะอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ดินเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งในที่สุดจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในด้านอื่นๆ ซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่ป่าชายเลน เช่นการดำรงชีวิตและการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตอื่น ได้แก่ สัตว์หน้าดิน สัตว์น้ำ สัตว์บก และพืชน้ำ เนื่องจากป่าชายเลนนอกจากจะมีความสำคัญในด้านของการเป็นระบบนิเวศแล้ว ยังมีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจ คือ เป็นแหล่งสำหรับประกอบอาชีพประมงอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

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

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

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

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สยามสเตชั่นเนอรี่ซับพลายส์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่10 . กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต ไชยาคำ และ พุทธ ส่องแสงจินดา. 2535. คุณสมบัติและปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2538. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 26 หน้า.

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

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546. เกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน. กรุงเทพมหานคร.

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

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

ชัยพร ภู่ประเสริฐ. 2538. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์. 2548. ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเมื่อใช้ระบบกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทียมใจ คมกฤส. 2536. โครงสร้างของไม้ป่าชายเลน. กรุงเทพมหานคร: ฉลองรัตน์.

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

ธวัชชัย สันติสุข. 2538. โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Poir. ในอนุกรมวิธานพืช อักษร ก. ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เพื่อนพิมพ์.

ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ *Potamogeton malaianus* และสาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla Verticillata* ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาสาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์. 2547. ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

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

พูลศรี เมืองสง. 2541. การเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

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

ลักษณี คณานิธินันท์. 2539. ประสิทธิภาพของกกกลม *Cyperus corymbosus* ธูปฤาษี *Typha angustifolia* อ้อ *Phragmites australis* และแห้วทรงกระเทียม *Eleocharis dulcis* ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พงา เส็งสาย. 2544. ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash และหญ้าแฝกดอน *Vetiveria nemoralis* A. Camus ในการกำจัดโครเมียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงฟอกหนัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

สนิท อักษรแก้ว. 2542. ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนิท อักษรแก้ว, กอร์ดอน เอส แมกซ์เวลล์, สนใจ หะวานนท์ และสงบ พานิชชาติ. 2535. พันธุ์ไม้ป่าชายเลน. กรุงเทพมหานคร: ฉลองรัตน.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำแข็งสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สุภาภรณ์ เพ็ญธิสาร. 2544. ศักยภาพของป่าชายเลนต่อการรองรับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิทาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อธิษฐาน ทิมแย้มประเสริฐ. 2544. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

อิทธิพล ราศีเกรียงไกร. 2545. การศึกษาชนิด ความชุกชุมของยุงบริเวรบ่อบำบัดน้ำเสียและป่าชายเลน ณ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วารสารสิ่งแวดล้อม มก 1: 189-191.

ภาษาอังกฤษ

Alloway, B. J. 1990. Heavy metals in soils. New York: Halsted Press.

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.

Bastian, R. B., Shanaghum, P. E. and Thomson, B. P. 1989. Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal regulatory issues and EPA policies. In D.A. Hammer (ed.), Constructed wetland for wastewater treatment municipal, industrial and agricultural, pp. 265-278. U.S.A.: Lewis Publishers.

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

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

Boto, K. G. and Wellington, J.T. 1983. Nitrogen and phosphorus nutritional status of a northern Australian mangrove forest. Marine Ecology Progress Series 11: 63-69.

Bolton, K. G. E. and Greenway, M. 1999. A feasibility study of *Melaleuca* wetland receiving secondary treated effluent. Water Science and Technology 35(5): 247-254.

Brix, H. 1993. Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetland: transport mechanisms and rates. In G.A. Moshiri (ed.), Constructed wetland for water quality improvement, pp391-398. London: Lewis.

Chu, H. Y., Tam, N. F. Y., Lam, S. K. S. and Wong, Y. S. 2000. Retention of pollutants by mangrove soil and the effects of pollutants on *Kandelia candel*. Environmental Technology 21: 755-764.

Clough, B. F., Boto, K. G. and Attiwill, P. M. 1983. Nutrients and mangroves. In Connel D. W. and D. W. Hawker (eds), Pollution in tropical aquatic systems, pp. 129-145. London: CRC press Inc.

Cronk, J. K. and fennessy, M. S. 2001. Wetland plants: Biology and ecology. Imprint Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.

Defew,L.H., Mair,J.M. and Guzman, H.M. 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. Marine Pollution Bulletin 50: 547-552.

Guntenspergen,G.R., Stern, F. and Kadlec, J.A. 1989. Wetland vegetation. In D.A.Hammer (ed.),Constructed Wetland for Wastewater Treatment Municipal, Industrial and Agricultural, pp.73-88. The United States of America.

Hammer, D.A. and Bastian, R.K. 1989. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Michigan: Liwis publighers.

Hawley, G. G. 1977. The condensed chemical dictionary. 9th ed. New York: Van Nostrand Reinhold.

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

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

Johnston, C.A. 1993. Mechanism of wetland-water quality interaction. In G.A. Moshiri (ed.), Constructed wetland for water quality improvement, pp391-398. London: Lewis.

Kadlec, R. H. and Knight, R. L. 1996. Treatment wetlands. U.S.A.: Lewis.

Lim, P.E., Tay, M.G., Mak, K.Y. and Mohamed, N. 2003. The effect of heavy metals on nitrogen and oxygen demand removal in constructed wetlands. The Science of the total Environment 301: 13-21.

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

Macnae, W. 1968. A general account of the fauna and flora of mangrove swamp and forest in the indo-west pacific region. Advance Marine Biology 6: 73-270.

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

Murphy, C. B., Stuart, J. and Spiegel, J. 1982. Bioaccumulation and toxicity of heavy metals and related trace elements. Journal of WPCF. 54(6): 849-854.

Naidoo, G. 1990. Effect of nitrate, ammonium and salinity on growth of the mangrove *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lam. Aquatic Botany 38: 209-219.

Nguyen, L.M. 2000. Organic matter composition, microbial biomass and microbial activity in gravel-bed constructed wetlands treating farm dairy wastewater. Ecological Engineering 16: 199-221.

Orson, R.A., Simpson, R.L. and Good,R.E. 1992. A mechanism for the accumulation and retention of heavy metals in tidal freshwater marshes of the upper Delaware River estuary. Estuarine Coastal and Shelf Science 34: 171-186.

Parida,A.K. and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

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

Poh-eng, L. and Polprasert, C. 1998. Constructed wetland for wastewater treatment and resource recovery. Pathumthani, Thailand: Environmental Systems information Center Asian Institute of Technology.

Reddy, K. R., D'Angelo, E. M. 1997. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. Water Science and Technology 35(5): 1-10.

Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J. 1995. Natural System for Waste Management and Treatment. 2ed ed. New York: McGraw-Hill.

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

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

Sundareshwar, P. V. and Morris, J. T. 1999. Phosphorus sorption characteristics of intertidal marsh sediments along an estuarine salinity gradient. Limnology Oceanography 44(7): 1693-1701.

Takamura,T. and others. 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. 1995. Mangrove soils and sinks for wastewater-borne pollutants. Hydrobiologia 295: 231-241.

Tam, N. F.Y. and Wong, Y. S. 1996. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. Environmental Pollution 94(3): 283-291.

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

Tessier, A., Cambell, P. G. and Bission, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analysis Chemistry 15: 444-451.

United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA.), 2000. Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. National risk management research laboratory, Ohio: Office of research and development.

Weis, J.S. and Weis, P. 2004. Metal uptake , transport and release by wetland plants : implications for phytoremediation and restoration. Environmental International 30 : 685-700 (review)

Ye, Y., Tam, N. F. 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(6): 513-521.

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

$^{\circ}C$	หมายถึง	องศาเซลเซียส
mS/cm	หมายถึง	มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร
psu	หมายถึง	practical salinity unit
mg/g soil	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกรัมของดิน
mg/g dry weight	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง
g/m^2	หมายถึง	กรัมต่อตารางเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ1 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	2.834±0.131	ข3.361±0.210ค	1.851±0.752	3.213±0.137
	6 psu	ข3.361±0.210ก	กก5.667±0.181ก	ค1.717±0.455	ก4.813±0.330ก
	12 psu	ข2.560±0.127	กข4.358±0.314	ข2.929±0.265ก	ก3.716±0.292
	18 psu	2.312±0.737	ข3.626±0.721ค	2.340±0.185ก	4.211±0.848
	24 psu	ค2.743±0.25กข	กก6.061±0.377ก	ค3.072±0.338ก	ข4.871±0.249ก
โกงกางใบใหญ่	NW	ข2.790±0.326	ก4.247±0.310ข	ค0.665±0.197	กกข4.412±0.237
	6 psu	ขค2.475±0.376ค	ก3.928±0.448ข	ค1.813±0.805	กขค3.410±0.141ข
	12 psu	ข2.749±0.519	ก5.116±0.597	ค1.360±0.271ข	ขขค3.819±0.295
	18 psu	ข2.838±0.394	ก5.174±0.515ข	ค1.206±0.053ข	กก4.811±0.165
	24 psu	ข1.552±0.111ค	ก5.112±0.426ข	ข2.041±0.237ข	กก4.697±0.326ก
แสมทะเล	NW	ก3.119±0.272	ก4.245±0.155ข	ข1.488±0.661	ก4.045±0.757
	6 psu	ก3.510±0.142ก	ก4.090±0.533ข	ข1.477±0.330	ก3.461±0.212ข
	12 psu	ข2.695±0.064	ก3.512±0.285	ค1.397±0.218ข	กข3.069±0.068
	18 psu	2.846±0.656	3.361±0.210ค	1.960±0.352ก	3.650±1.155
	24 psu	ก3.364±0.350ก	ก3.666±0.362ค	ข1.875±0.232ข	ก3.459±0.071ข
พังกาหัวสุม	NW	ขค2.432±0.437	ก4.931±0.334กข	คข1.760±0.515	กข3.484±0.931
	6 psu	ก3.263±0.207กข	ก3.616±0.432ข	ขข1.751±0.057	ก2.890±0.594ข
	12 psu	ข2.516±0.189	ก3.928±0.448	ขก2.835±0.262ก	ก3.823±0.443
	18 psu	กข3.674±0.653	ก4.469±0.318ขค	คข1.915±0.175ก	ข3.311±0.139
	24 psu	ข2.266±0.671ขค	ก4.874±0.415ข	ขข1.751±0.057ข	ก4.871±0.249ก
โปรงแดง	NW	ข3.263±0.207	กข5.293±0.348ก	ค2.342±0.308	ก4.928±0.000
	6 psu	ข2.741±0.130ขค	กข5.293±0.348ก	ข2.258±0.427	ก4.817±0.495ก
	12 psu	ข3.620±0.702	กข4.641±0.405	ข2.166±0.060ก	ก3.873±0.371
	18 psu	ขค3.467±0.495	กก7.111±0.105ก	ค2.081±0.060ก	ข4.615±1.129
	24 psu	ง1.857±0.232ขค	กข4.580±0.161ขค	ค2.695±0.064ก	ข3.922±0.000ข

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ2 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	2.516±0.189	^{a}4.987±0.084^{a}	1.100±0.418	4.296±1.937
	6 psu	^{ข}2.931±0.398	$^{กข b}$3.461±0.212^{ab}	^{ค}1.107±0.628	^{ก}4.304±0.390^{a}
	12 psu	2.702±0.452	^{b}3.263±0.207^{ab}	2.003±0.413^{a}	3.882±0.669^{a}
	18 psu	^{ข}2.472±0.251	^{กa}4.697±0.326^{a}	^{ข}2.000±0.295	^{ก}4.247±0.310^{a}
	24 psu	2.842±0.525	^{b}3.415±0.422^{bc}	2.340±0.185^{a}	3.823±0.443
โกงกางใบใหญ่	NW	^{ก}2.695±0.064	^{กb}2.975±0.200^{c}	^{ข}0.327±0.281	^{ก}3.263±0.207
	6 psu	3.070±0.203	^{b}2.975±0.200^{bc}	1.530±0.720	2.842±0.525^{b}
	12 psu	^{ข}2.927±0.133	^{กขa}3.613±0.288^{a}	^{ค}0.840±0.151^{b}	^{ก}3.769±0.367^{a}
	18 psu	^{ก}2.977±0.334	^{กb}2.516±0.189^{c}	^{ข}1.026±0.414	^{ก}2.564±0.381^{b}
	24 psu	^{ข}2.608±0.319	^{กa}4.029±0.151^{ab}	^{ค}1.172±0.317^{b}	^{ก}3.979±0.376
แสมทะเล	NW	^{ก}2.696±0.193	^{ขc}1.631±0.112^{d}	^{ค}1.058±0.156	^{ขb}1.956±0.117
	6 psu	^{ก}2.886±0.462	^{กa}3.714±0.146^{a}	^{ข}0.922±0.561	^{กa}2.927±0.133^{b}
	12 psu	^{ก}2.696±0.193	^{คc}1.631±0.112^{c}	^{ง}0.911±0.051^{b}	^{ขb}2.169±0.302^{b}
	18 psu	^{ข}2.521±0.441	^{กa}3.361±0.210^{b}	^{ค}1.094±0.105	^{กขa}3.021±0.134^{b}
	24 psu	^{ก}2.927±0.133	^{กb}2.696±0.193^{c}	^{ข}0.877±0.203^{b}	^{กa}2.788±0.196
พังกาหัวสุม	NW	^{กขb}2.303±0.491	^{ก}2.564±0.381^{c}	^{ข}1.399±0.327	^{ก}3.165±0.068
	6 psu	^{กa}3.663±0.217	^{ก}2.883±0.330^{a}	^{ข}1.068±0.573	^{ก}2.931±0.398^{b}
	12 psu	^{ขb} 2.743±0.259	^{กข}3.263±0.207^{ab}	^{ค}2.041±0.237^{a}	^{ก}3.510±0.142^{a}
	18 psu	^{กb}2.741±0.130	^{ก}3.072±0.338^{ab}	^{ข}1.672±0.170	^{ก}3.263±0.207^{b}
	24 psu	^{ขb}2.339±0.062	^{ก}3.716±0.292^{b}	^{ค}1.094±0.105^{b}	^{ข}2.696±0.193
โปรงแดง	NW	^{กข}2.977±0.334	^{กb} 3.819±0.295^{b}	^{ข}1.802±0.575	^{ก}3.928±0.448
	6 psu	^{ค}2.975±0.200	^{ขbc}3.560±0.072^{a}	^{ง}1.247±0.320	^{ก}4.467±0.159^{a}
	12 psu	^{ก}3.263±0.207	^{ขc}2.881±0.198^{b}	^{ก}1.443±0.493^{ab}	^{ก}3.311±0.139^{a}
	18 psu	^{ข}2.793±0.457	^{กa}4.874±0.415^{a}	^{ค}1.321±0.216	^{ก}4.415±0.395^{a}
	24 psu	1.960±0.352	^{a}4.817±0.495^{a}	2.082±0.179^{a}	4.186±1.913

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ3 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	1.745±0.134^{a}	1.495±0.148	1.550±0.198	1.565±0.078
	6 psu	1.695±0.021^{a}	1.460±0.099	1.455±0.134	1.710±0.113^{a}
	12 psu	1.690±0.042^{a}	1.625±0.092	1.635±0.431	1.410±0.113^{bc}
	18 psu	1.685±0.134^{a}	1.520±0.099	1.470±0.283	1.695±0.106
	24 psu	1.485±0.106^{a}	1.530±0.170	1.480±0.127	1.840±0.127^{a}
โกงกางใบใหญ่	NW	^{ab}1.385±0.049^{c}	1.650±0.099	1.520±0.156	1.385±0.035
	6 psu	^{b}1.335±0.064^{b}	1.550±0.198	1.675±0.078	1.315±0.078^{b}
	12 psu	^{a}1.510±0.085^{b}	1.415±0.191	1.505±0.219	1.325±0.078^{c}
	18 psu	^{bc}1.245±0.049^{c}	1.550±0.311	1.595±0.219	1.520±0.071
	24 psu	^{c}1.170±0.057^{b}	1.595±0.247	1.635±0.276	1.410±0.042^{b}
แสมทะเล	NW	$^{ข c}$1.165±0.064^{d}	^{ก}1.490±0.042	^{ก}1.430±0.071	^{ก}1.460±0.085
	6 psu	^{b}1.390±0.057^{b}	1.525±0.078	1.500±0.382	1.265±0.078^{b}
	12 psu	^{ab}1.505±0.064^{b}	1.685±0.035	1.405±0.361	1.580±0.099^{bc}
	18 psu	^{a}1.550±0.042^{ab}	1.370±0.099	1.490±0.113	1.495±0.120
	24 psu	^{a}1.540±0.017^{a}	1.430±0.198	1.465±0.064	1.495±0.106^{b}
พังกาหัวสุม	NW	^{a}1.475±0.049^{bc}	1.760±0.113	1.430±0.156	^{b}1.515±0.092
	6 psu	^{a}1.415±0.064^{b}	1.385±0.064	1.380±0.085	^{b}1.455±0.078^{b}
	12 psu	^{a}1.530±0.028^{ab}	1.590±0.255	1.590±0.368	^{a}1.940±0.085^{a}
	18 psu	^{b}1.015±0.02^{d}	1.345±0.318	1.500±0.226	^{b}1.660±0.057
	24 psu	$^{ข b}$1.155±0.092^{b}	^{ก}1.730±0.113	^{ก}1.520±0.184	$^{ก b}$1.495±0.120^{b}
โปรงแดง	NW	^{ab}1.655±0.092 ^{ab}	1.670±0.156	1.455±0.163	1.380±0.071
	6 psu	^{a}1.760±0.071^{a}	1.500±0.212	1.710±0.085	1.685±0.078^{a}
	12 psu	^{c}1.365±0.078^{b}	1.515±0.318	1.360±0.099	1.610±0.141^{b}
	18 psu	^{bc}1.465±0.035^{b}	1.370±0.127	1.515±0.092	1.595±0.106
	24 psu	^{ab}1.645±0.134^{a}	1.420±0.127	1.550±0.240	1.670±0.071^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ4 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	1.195±0.035	1.235±0.092	1.290±0.057	1.405±0.064
	6 psu	1.205±0.049	1.280±0.127	1.410±0.057	1.445±0.191
	12 psu	1.280±0.014 [a]	1.330±0.113	1.315±0.035	1.350±0.184
	18 psu	1.225±0.021 [a]	1.225±0.134	1.445±0.134	1.410±0.057
	24 psu	1.185±0.021 [b]	1.280±0.085	1.305±0.092	1.705±0.247
โกงกางใบใหญ่	NW	[a] 1.240±0.042	1.020±0.240	1.460±0.127	1.275±0.092
	6 psu	[ab] 1.115±0.092	1.155±0.163	1.395±0.021	1.090±0.113
	12 psu	[ab] 1.130±0.057 [bc]	1.040±0.170	1.430±0.071	1.310±0.240
	18 psu	[bc] 1.015±0.035 [c]	1.125±0.064	1.340±0.127	1.430±0.311
	24 psu	[ขc] 0.915±0.092 [c]	[กข] 1.250±0.113	[ก] 1.585±0.233	[ข] 1.125±0.134
แสมทะเล	NW	[b] 1.040±0.028	1.300±0.071	1.250±0.099	1.110±0.085
	6 psu	[b] 1.095±0.035	1.570±0.184	1.340±0.184	1.065±0.120
	12 psu	[b] 1.080±0.099 [bc]	1.285±0.120	1.375±0.191	1.550±0.325
	18 psu	[b] 1.150±0.057 [ab]	1.190±0.113	1.335±0.148	1.365±0.078
	24 psu	[a] 1.475±0.049 [a]	1.185±0.120	1.215±0.035	1.310±0.184
พังกาหัวสุม	NW	1.180±0.057	[ab] 1.430±0.170	1.235±0.205	1.195±0.120
	6 psu	[ข] 1.200±0.113	[กa] 1.630±0.113	[ข] 1.150±0.099	[ข] 1.280±0.071
	12 psu	[ข] 1.210±0.028 [ab]	[ขb] 1.180±0.099	[ข] 1.370±0.141	[ก] 1.735±0.064
	18 psu	1.080±0.042 [bc]	[b] 1.300±0.057	1.320±0.099	1.550±0.283
	24 psu	1.085±0.106 [bc]	[b] 1.200±0.099	1.340±0.198	1.340±0.099
โปรงแดง	NW	1.380±0.198	1.465±0.106	1.425±0.021	1.120±0.141
	6 psu	1.195±0.064	1.295±0.064	1.445±0.177	1.495±0.078
	12 psu	[ค] 1.010±0.028 [a]	[กข] 1.365±0.064	[ขค] 1.130±0.085	[ก] 1.450±0.170
	18 psu	1.240±0.057 [a]	1.225±0.049	1.340±0.127	1.495±0.233
	24 psu	1.330±0.156 [ab]	1.180±0.141	1.460±0.311	1.475±0.092

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ5 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณแอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	0.210±0.099	0.210±0.033	0.397±0.033	0.280±0.066
	6 psu	0.187±0.066	0.280±0.066	0.280±0.198	0.280±0.066
	12 psu	0.163±0.033	0.303±0.099	0.233±0.132	0.373±0.132
	18 psu	0.093±0.066	0.327±0.132	0.303±0.099	0.350±0.033
	24 psu	0.140±0.066	0.233±0.132	0.210±0.033	0.303 ± 0.033^{bc}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	0.093±0.132	0.163±0.099	0.327±0.066	0.280±0.132
	6 psu	0.093±0.066	0.187±0.132	0.257±0.033	0.350±0.033
	12 psu	0.210±0.099	0.303±0.165	0.257±0.033	0.373±0.066
	18 psu	0.140±0.066	0.280±0.132	0.350±0.099	0.210±0.033
	24 psu	$^{ข}0.117\pm0.033$	$^{กข}0.210\pm0.033$	$^{ก}0.327\pm0.066$	$^{กข}0.210\pm0.033^{c}$
แสมทะเล	**NW**	0.187±0.066	0.117±0.033	0.257±0.033	$^{b}0.257\pm0.033$
	6 psu	0.070±0.433	0.187±0.132	0.303±0.099	$^{b}0.210\pm0.033$
	12 psu	$^{ข}0.117\pm0.033$	$^{ก}0.280\pm0.066$	$^{ก}0.257\pm0.033$	$^{กb}0.303\pm0.033$
	18 psu	0.117±0.033	0.280±0.132	0.373±0.132	$^{b}0.327\pm0.066$
	24 psu	$^{ข}0.210\pm0.099$	$^{ข}0.140\pm0.066$	$^{ข}0.257\pm0.033$	$^{กa}0.537\pm0.099^{a}$
พังกาหัวสุม	**NW**	0.280±0.132	0.187±0.000	0.233±0.066	0.303±0.033
	6 psu	0.140±0.066	0.210±0.033	0.233±0.132	0.257±0.165
	12 psu	0.187±0.066	0.210±0.099	0.233±0.066	0.303±0.099
	18 psu	0.140±0.066	0.187±0.066	0.280±0.132	0.397±0.033
	24 psu	0.163±0.033	0.280±0.066	0.327±0.132	0.350 ± 0.033^{bc}
โปรงแดง	**NW**	0.117±0.433	0.233±0.132	0.327±0.066	0.350±0.165
	6 psu	0.117±0.033	0.187±0.066	0.280±0.066	0.210±0.033
	12 psu	0.257±0.099	0.257±0.033	0.303±0.033	0.233±0.000
	18 psu	0.140±0.066	0.117±0.099	0.280±0.066	0.420±0.132
	24 psu	$^{ขค}0.140\pm0.066$	$^{ค}0.117\pm0.033$	$^{ข}0.233\pm0.000$	$^{ก}0.397\pm0.033^{b}$

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียมไอออนในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณแอมโมเนียมไอออน (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	0.163±0.033	0.117±0.033	0.163±0.033	0.187±0.066
	6 psu	0.140±0.132	0.210±0.033	0.233±0.066	0.210±0.099
	12 psu	0.093±0.066	0.233±0.066	0.210±0.033	0.303±0.033
	18 psu	0.070±0.033	0.210±0.033	0.210±0.099	0.257±0.033
	24 psu	0.210±0.033	0.163±0.033	0.187±0.132	0.163±0.099
โกงกางใบใหญ่	NW	0.280±0.066	0.117±0.099	0.187±0.066	0.233±0.132
	6 psu	0.093±0.066	0.210±0.033	0.140±0.000	0.257±0.033
	12 psu	0.187±0.066	0.163±0.033	0.303±0.165	0.233±0.000
	18 psu	0.093±0.066	0.210±0.099	0.210±0.099	0.187±0.132
	24 psu	0.140±0.066	0.140±0.066	0.210±0.099	0.163±0.033
แสมทะเล	NW	[ab] 0.163±0.033	0.210±0.099	0.210±0.033	0.233±0.066
	6 psu	[ab] 0.163±0.033	0.163±0.033	0.187±0.066	0.163±0.099
	12 psu	[a]0.257±0.033	0.187±0.066	0.210±0.099	0.257±0.033
	18 psu	[b]0.093±0.066	0.163±0.033	0.210±0.033	0.257±0.033
	24 psu	[b]0.093±0.000	0.163±0.033	0.303±0.231	0.280±0.066
พังกาหัวสุม	NW	0.187±0.066	0.210±0.033	0.187±0.066	0.187±0.066
	6 psu	0.280±0.066	0.187±0.066	0.210±0.165	0.280±0.066
	12 psu	0.140±0.066	0.187±0.066	0.163±0.033	0.187±0.066
	18 psu	[ข]0.070±0.033	[ก]0.210±0.033	[กข]0.187±0.066	[ก]0.303±0.033
	24 psu	0.117±0.099	0.187±0.066	0.210±0.099	0.210±0.033
โปรงแดง	NW	0.140±0.066	0.187±0.066	0.187±0.066	0.327±0.066
	6 psu	0.093±0.000	0.117±0.033	0.233±0.132	0.163±0.033
	12 psu	0.093±0.066	0.187±0.000	0.210±0.033	0.210±0.033
	18 psu	0.187±0.066	0.117±0.033	0.210±0.033	0.233±0.066
	24 psu	0.257±0.033	0.070±0.033	0.350±0.231	0.303±0.033

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ7 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	^{c}0.747±0.132	^{b}0.723±0.165	0.513±0.066	^{c}0.420±0.198
	6 psu	^{กbc}0.957±0.033^{c}	^{ขb}0.653±0.132	^{กข}0.770±0.033	^{คc}0.397±0.033
	12 psu	^{กa}1.283±0.033^{a}	^{ขb}0.723±0.033^{a}	^{ข}0.747±0.132	^{a}1.120±0.066
	18 psu	^{ab}1.120±0.066^{ab}	^{a}1.050±0.033^{ab}	0.863±0.165	^{ab}1.003±0.165^{a}
	24 psu	^{กa}1.307±0.132^{b}	^{กa}1.073±0.066	^{ข}0.747±0.132	^{ขbc}0.677±0.099^{ab}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	^{ก}1.050±0.099	^{กขa}0.933±0.066	^{ข}0.653±0.132	^{คb}0.327±0.132
	6 psu	1.003±0.033^{bc}	^{a}0.700±0.198	0.653±0.264	^{b}0.513±0.000
	12 psu	1.120±0.132^{ab}	^{a}0.793±0.066^{a}	0.700±0.066	^{a}1.050±0.297
	18 psu	^{ก}1.330±0.099^{a}	^{ขb}0.397±0.033^{d}	^{ข}0.583±0.099	^{ขb}0.420±0.132^{c}
	24 psu	^{ก}1.283±0.165^{b}	^{ขa}0.933±0.066	^{ข}0.747±0.066	^{คb}0.257±0.033^{c}
แสมทะเล	**NW**	^{a}1.097±0.033	0.840±0.132	0.630±0.033	0.443±0.297
	6 psu	^{bc}0.747±0.066^{c}	0.770±0.099	0.677±0.297	0.560±0.066
	12 psu	^{c}0.630±0.165^{c}	0.490±0.099^{b}	0.607±0.066	0.677±0.033
	18 psu	^{กab}0.957±0.033^{bc}	0.770±0.033^{c}	0.653±0.066	^{กข}0.863±0.033^{ab}
	24 psu	^{กa}1.073±0.066^{b}	^{ข}0.817±0.099	^{ขค}0.723±0.099	^{ก}0.560±0.066^{bc}
พังกาหัวสุม	**NW**	^{กc}0.840±0.066	^{a}0.980±0.198	^{กข}0.747±0.066	^{ข}0.467±0.066
	6 psu	^{กab}1.440±0.330^{ab}	^{กขab}0.933±0.066	^{ข}0.537±0.033	^{ข}0.630±0.499
	12 psu	^{bc}1.120±0.264^{ab}	^{b}0.630±0.033^{ab}	0.747±0.462	0.723±0.099
	18 psu	^{bc}0.887±0.066^{c}	^{a}1.213±0.132^{a}	0.513±0.264	0.560±0.198^{bc}
	24 psu	^{กa}1.750±0.033^{a}	^{ขab}0.933±0.132	^{ขค}0.630±0.165	^{ก}0.467±0.066^{bc}
โปรงแดง	**NW**	^{b}1.097±0.297	0.957±0.099	0.583±0.231	1.330±0.495
	6 psu	^{กa}1.727±0.132^{a}	^{ข}0.957±0.099	^{ขค}0.747±0.066	^{ก}0.583±0.165
	12 psu	^{b}0.747±0.000^{bc}	0.747±0.066^{a}	0.723±0.297	1.377±0.627
	18 psu	^{b}0.653±0.132^{d}	0.933±0.066^{bc}	0.630±0.099	0.537±0.165^{bc}
	24 psu	^{b}1.073±0.132^{b}	1.213±0.858	0.537±0.099	1.050±0.297^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ8 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณไนเตรท (mg/g soil)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	^{c} 0.677±0.033 ^{b}	0.537±0.231	^{b} 0.327±0.066	0.443±0.165
	6 psu	^{กc} 0.817±0.033 ^{ab}	^{ขค}0.490±0.099	^{กขa} 0.607±0.132	^{ค}0.327±0.066 ^{c}
	12 psu	^{กb} 1.050±0.099	^{ข}0.607±0.066	^{ขa} 0.653±0.066	^{ข}0.723±0.033
	18 psu	^{b} 1.003±0.033 ^{ab}	0.677±0.033	^{a} 0.677±0.033	0.490±0.297
	24 psu	^{กa}1.423±0.099^{a}	^{ค}0.350±0.099 ^{c}	^{ขคab} 0.490±0.033	^{ข}0.653±0.000 ^{a}
โกงกางใบใหญ่	**NW**	^{c} 0.420±0.066 ^{c}	0.910±0.363	0.607±0.033	^{ab} 0.537±0.033
	6 psu	^{กb} 0.910±0.099 ^{a}	^{ข}0.467±0.000	^{ข}0.420±0.198	^{ขb} 0.467±0.066 ^{bc}
	12 psu	^{b} 0.910±0.033	0.583±0.033	0.537±0.165	^{a} 0.700±0.066
	18 psu	^{a} 1.143±0.033 ^{a}	0.677±0.429	0.397±0.033	^{bc} 0.373±0.132
	24 psu	^{กab} 0.980±0.066 ^{b}	^{ข}0.630±0.033 ^{bc}	^{ข}0.513±0.000	^{คc} 0.233±0.066 ^{c}
แสมทะเล	**NW**	^{bc} 0.723±0.033 ^{b}	0.537±0.099	0.537±0.231	0.467±0.132
	6 psu	^{c} 0.560±0.066 ^{bc}	0.443±0.363	0.560±0.132	0.513±0.066
	12 psu	^{c} 0.560±0.198	0.443±0.099	0.350±0.165	0.653±0.066
	18 psu	^{กab} 0.863±0.033 ^{bc}	^{กข}0.700±0.000	^{ข}0.067±0.132	^{ข}0.513±0.066
	24 psu	^{กa} 1.003±0.033 ^{b}	^{ข}0.747±0.066 ^{ab}	^{ข}0.700±0.132	^{ค}0.420±0.066^{b}
พังกาหัวสุม	**NW**	^{c} 0.467±0.066 ^{c}	0.537±0.165	0.653±0.066	0.397±0.165
	6 psu	^{ขc}0.420±0.066 ^{c}	0.723±0.033	^{ก}0.723±0.033	^{ก}0.677±0.099 ^{a}
	12 psu	^{b} 0.933±0.132	0.653±0.330	0.630±0.165	0.677±0.165
	18 psu	^{b} 0.817±0.099 ^{c}	1.073±0.462	0.560±0.132	0.537±0.099
	24 psu	^{a} 1.400±0.132 ^{a}	0.677±0.099 ^{bc}	0.607±0.132	0.397±0.099 ^{b}
โปรงแดง	**NW**	^{a} 1.003±0.033 ^{a}	0.723±0.033	0.420±0.198	0.700±0.198
	6 psu	^{a} 1.003±0.231 ^{a}	0.560±0.132	0.537±0.231	0.537±0.033 ^{ab}
	12 psu	^{a} 0.653±0.132	0.560±0.264	0.583±0.099	0.723±0.099
	18 psu	^{b} 0.303±0.099^{d}	0.747±0.132	0.490±0.099	0.537±0.099
	24 psu	^{กขa} 0.933±0.066 ^{b}	^{ก}1.003±0.231^{a}	^{ค}0.303±0.099	^{ขค}0.630±0.033 ^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ9 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	$^{ค ก c}$0.116±0.018^{d}	$^{ข ง b}$0.197±0.005^{c}	^{ก}0.309±0.033	$^{ก b}$0.325±0.010
	6 psu	$^{ข ง a}$0.245±0.006^{a}	$^{ข ง a}$0.262±0.003^{b}	^{ก}0.349±0.038	$^{ก a}$0.371±0.007
	12 psu	$^{ง b}$0.198±0.005^{a}	$^{ค ก a}$0.253±0.007^{a}	^{ข}0.313±0.010	$^{ก a}$0.362±0.000^{a}
	18 psu	$^{ข c}$0.137±0.005^{c}	$^{ข ง b}$0.187±0.021^{b}	^{ก}0.323±0.021	$^{ก ab}$0.351±0.020
	24 psu	$^{ข ง b}$0.173±0.019^{c}	$^{ข ง b}$0.182±0.007^{b}	^{ก}0.349±0.032	$^{ก a}$0.366±0.007
โกงกางใบใหญ่	NW	$^{ค ก a}$0.169±0.005^{c}	$^{ก a}$0.324±0.003^{a}	$^{ก b}$0.329±0.002	$^{ข cd}$0.302±0.004
	6 psu	$^{ค ก a}$0.160±0.007^{b}	$^{ข ง b}$0.278±0.009^{b}	$^{ก b}$0.327±0.028	$^{ก ab}$0.357±0.014
	12 psu	$^{ข ง a}$0.171±0.000^{b}	$^{ค c}$0.135±0.011^{c}	$^{ก c}$0.275±0.004	$^{ก d}$0.269±0.005^{c}
	18 psu	$^{ค ก b}$0.105±0.015^{d}	$^{ข c}$0.153±0.003^{c}	$^{ก bc}$0.313±0.009	$^{ก bc}$0.321±0.021
	24 psu	$^{ค ก a}$0.165±0.000^{c}	$^{ข ง b}$0.264±0.012^{a}	$^{ก a}$0.370±0.020	$^{ก a}$0.368±0.027
แสมทะเล	NW	$^{ข ง a}$0.252±0.007^{a}	$^{ค c}$0.155±0.004^{d}	^{ก}0.323±0.028	$^{ก a}$0.332±0.016
	6 psu	$^{ข c}$0.142±0.001^{b}	$^{ข bc}$0.182±0.019^{c}	^{ก}0.337±0.033	$^{ก a}$0.345±0.027
	12 psu	$^{ข c}$0.147±0.004^{c}	$^{ก a}$0.263±0.019^{a}	^{ก}0.316±0.035	$^{ก b}$0.282±0.014^{c}
	18 psu	$^{ค ก b}$0.175±0.007^{ab}	$^{ข ง b}$0.219±0.005^{a}	^{ก}0.341±0.014	$^{ก a}$0.359±0.011
	24 psu	$^{ค ก d}$0.085±0.011^{d}	$^{ข ง b}$0.205±0.011^{b}	^{ก}0.348±0.014	$^{ก a}$0.350±0.012
พังกาหัวสุม	NW	$^{ข ง a}$0.204±0.013^{b}	$^{ข ง b}$0.204±0.006^{bc}	^{ก}0.321±0.006	$^{ก b}$0.323±0.004
	6 psu	$^{ค ก b}$0.170±0.003^{b}	$^{ก a}$0.402±0.011^{a}	^{ข}0.350±0.021	$^{ข ง ab}$0.346±0.016
	12 psu	^{ab}0.196±0.004^{a}	$^{ค ก b}$0.194±0.007^{b}	^{ข}0.334±0.009	$^{ก a}$0.368±0.007^{a}
	18 psu	$^{ข ง a}$0.202±0.020^{a}	$^{ข c}$0.169±0.006^{bc}	^{ก}0.306±0.025	$^{ก b}$0.337±0.019
	24 psu	$^{ข ง a}$0.205±0.006^{b}	$^{ข ง bc}$0.183±0.008^{b}	^{ก}0.330±0.013	$^{ก b}$0.324±0.003
โปรงแดง	NW	$^{ค ก b}$0.175±0.002^{c}	$^{ข ง b}$0.214±0.005^{b}	^{ก}0.355±0.018	$^{ก bc}$0.338±0.005
	6 psu	$^{ข ง a}$0.258±0.022^{a}	$^{ค ก d}$0.136±0.009^{d}	^{ก}0.349±0.044	$^{ก a}$0.385±0.012
	12 psu	$^{ค c}$0.092±0.007^{d}	$^{ข ง b}$0.194±0.019^{b}	^{ก}0.296±0.017	$^{ก c}$0.311±0.004^{b}
	18 psu	$^{ข ง b}$0.164±0.004^{bc}	$^{ข c}$0.168±0.001^{bc}	^{ก}0.335±0.012	$^{ก ab}$0.357±0.031
	24 psu	$^{ข ง a}$0.248±0.012^{a}	$^{ข ง a}$0.260±0.003^{a}	^{ก}0.329±0.010	$^{ก bc}$0.339±0.002

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ10 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	คc 0.083±0.004 d	ขa 0.196±0.009 a	กn 0.308±0.018	กn 0.300±0.006
	6 psu	คc 0.137±0.010 ab	ขa 0.191±0.011 a	กn 0.255±0.025	กn 0.284±0.016
	12 psu	ขa 0.181±0.006 a	คb 0.140±0.009	กn 0.262±0.016	กn 0.282±0.011 b
	18 psu	ขd 0.114±0.004 b	ขc 0.113±0.006 b	กn 0.242±0.006 c	กn 0.261±0.021 b
	24 psu	ขb 0.163±0.006 b	คc 0.104±0.005 c	กn 0.247±0.014	กn 0.267±0.015
โกงกางใบใหญ่	NW	ขa 0.151±0.001 b	ข 0.161±0.002 b	กn 0.269±0.014	กn 0.280±0.010
	6 psu	ขb 0.130±0.005 ab	ข 0.145±0.004 b	กn 0.313±0.020	กn 0.303±0.007
	12 psu	ขa 0.152±0.004 b	ข 0.138±0.010	กn 0.284±0.017	กn 0.301±0.007 ab
	18 psu	คc 0.089±0.004 c	ข 0.134±0.013 b	กn 0.262±0.020 bc	กn 0.284±0.012 ab
	24 psu	ขa 0.156±0.002 b	ข 0.132±0.004 b	กn 0.243±0.010	กn 0.265±0.022
แสมทะเล	NW	ขa 0.215±0.015 a	คab 0.145±0.007 b	กn 0.302±0.009	กa 0.311±0.003
	6 psu	ขc 0.123±0.004 bc	ขb 0.115±0.015 c	กn 0.319±0.018	กa 0.314±0.013
	12 psu	ขd 0.099±0.001 c	ขb 0.112±0.021	กn 0.290±0.010	กb 0.285±0.03 b
	18 psu	ขb 0.154±0.003 a	ขa 0.177±0.006 a	กn 0.283±0.018 b	กbc 0.277±0.008 b
	24 psu	คd 0.090±0.003 d	ขa 0.163±0.011 a	กn 0.274±0.019	กc 0.260±0.001
พังกาหัวสุม	NW	ขc 0.145±0.005 bc	ขbc 0.128±0.025 b	กn 0.305±0.019	กa 0.326±0.011
	6 psu	ขc 0.148±0.006 a	ขc 0.110±0.005 c	กn 0.309±0.016	กbc 0.303±0.008
	12 psu	ขb 0.174±0.013 ab	คc 0.110±0.018	กn 0.289±0.025	กab 0.316±0.007 a
	18 psu	ขd 0.120±0.003 b	ขa 0.194±0.010 a	กn 0.328±0.015 a	กab 0.312±0.006 a
	24 psu	ขa 0.203±0.003 a	ขb 0.155±0.005 a	กn 0.279±0.014	กc 0.291±0.002
โปรงแดง	NW	ขb 0.123±0.012 c	ขb 0.132±0.012 b	กn 0.297±0.034	กab 0.291±0.025
	6 psu	ขb 0.104±0.011 c	ขb 0.132±0.015 bc	กn 0.296±0.025	กa 0.319±0.007
	12 psu	ขb 0.113±0.020 c	ขb 0.133±0.019	กn 0.263±0.017	กbc 0.284±0.009 b
	18 psu	กa 0.158±0.002 a	ขa 0.211±0.025 a	กข 0.244±0.016 bc	กc 0.257±0.002 b
	24 psu	ขab 0.136±0.003 c	ขb 0.146±0.006 ab	กn 0.294±0.019	กab 0.304±0.006

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ11 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบน (0-10 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	**NW**	ฉc0.072±0.011 d	ชb0.122±0.003 b	ก0.208±0.028	ก0.202±0.006
	6 psu	ชa0.152±0.004 a	ชa0.162±0.002 b	ก0.239±0.008	ก0.230±0.004
	12 psu	ฉb0.119±0.003 a	ชa0.152±0.004 a	ก0.222±0.007 a	ก0.217±0.010 a
	18 psu	ชc0.082±0.003 cd	ชb0.112±0.012 b	ก0.206±0.014	ก0.211±0.012
	24 psu	ชb0.104±0.012 b	ชb0.109±0.004 b	ก0.227±0.006	ก0.220±0.004
โกงกางใบใหญ่	**NW**	ชa0.105±0.003 c	กa0.201±0.002 a	กc0.169±0.028	กbc0.187±0.002
	6 psu	ชa0.099±0.004 b	ชb0.172±0.005 b	กa0.243±0.022	กa0.221±0.008
	12 psu	ชa0.106±0.000 b	ฉc0.084±0.007 c	กbc0.176±0.011 b	กc0.167±0.003 b
	18 psu	ฉb0.066±0.010 d	ชc0.096±0.002 b	ฉbc0.193±0.004	ฉab0.202±0.013
	24 psu	ฉa0.101±0.002 b	ชb0.161±0.011 a	กab0.220±0.011	กa0.224±0.011
แสมทะเล	**NW**	ชa0.151±0.004 a	กd0.093±0.002 c	ก0.200±0.023	ฉab0.199±0.009
	6 psu	ชc0.088±0.000 b	ชcd0.113±0.012 c	ก0.234±0.012	กa0.214±0.017
	12 psu	ชc0.091±0.002 c	กa0.163±0.012 a	ก0.171±0.025 b	กb0.175±0.008 b
	18 psu	ชb0.109±0.004 ab	ชb0.136±0.003 a	ก0.214±0.025	กa0.223±0.007
	24 psu	ฉd0.053±0.007 c	ชbc0.127±0.009 b	ก0.209±0.010	กa0.217±0.007
พังกาหัวสุม	**NW**	ช0.122±0.008 b	ชb0.122±0.003 b	ก0.191±0.016	ก0.194±0.002
	6 psu	ฉ0.106±0.002 b	กa0.250±0.007 a	กช0.235±0.019	ช0.215±0.010
	12 psu	ช0.119±0.002 a	ชb0.119±0.004 b	ก0.230±0.012 a	ก0.224±0.004 a
	18 psu	ช0.125±0.013 a	ชc0.105±0.004 b	ก0.203±0.020	ก0.209±0.012
	24 psu	ช0.133±0.004 a	ชb0.119±0.005 b	ก0.228±0.022	ก0.211±0.002
โปรงแดง	**NW**	ชb0.105±0.001 c	ชb0.129±0.003 b	ก0.212±0.028	กb0.203±0.003
	6 psu	ชa0.160±0.014 a	ฉd0.084±0.005 d	ก0.244±0.015	กa0.238±0.008
	12 psu	ฉc0.056±0.004 d	ชb0.118±0.012 b	ก0.181±0.014 b	กb0.190±0.002 b
	18 psu	ชb0.099±0.003 bc	ชc0.101±0.000 b	ก0.220±0.026	กab0.214±0.018
	24 psu	ชa0.149±0.007 a	ชa0.156±0.002 a	ก0.210±0.008	กb0.203±0.001

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ12 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นล่าง (10-20 ซม.)

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
ไม่ปลูกพืช	NW	^{คc} 0.052±0.002 ^{d}	^{ขa} 0.121±0.006^{a}	^{กข}0.149±0.033	^{ก}0.186±0.004
	6 psu	^{คc} 0.085±0.006^{ab}	^{ขa} 0.118±0.007^{a}	^{ก}0.152±0.017	^{ก}0.176±0.010
	12 psu	^{ขa}0.110±0.006^{a}	^{ขb} 0.085±0.003	^{ก}0.153±0.017	^{ก}0.172±0.003 ^{c}
	18 psu	^{ขd} 0.072±0.003^{b}	^{ขc} 0.071±0.004 ^{b}	^{ก}0.135±0.018	^{ก}0.164±0.014^{ab}
	24 psu	^{ขb}0.098±0.004^{b}	^{คc} 0.062±0.003 ^{d}	^{ก}0.148±0.008	^{ก}0.160±0.009
โกงกางใบใหญ่	NW	^{ขa} 0.093±0.001 ^{b}	^{ข}0.100±0.001 ^{b}	^{ก}0.146±0.030	^{ก}0.174±0.006
	6 psu	^{ขb} 0.081±0.003^{ab}	^{ข}0.090±0.003 ^{b}	^{ก}0.158±0.030	^{ก}0.188±0.004
	12 psu	^{ขa} 0.094±0.002^{a}	^{ข}0.085±0.006	^{ก}0.152±0.036	^{ก}0.187±0.004^{ab}
	18 psu	^{คc} 0.056±0.003^{c}	^{ก}0.084±0.008 ^{b}	^{ข}0.135±0.020	^{ก}0.179±0.007^{ab}
	24 psu	^{ขa} 0.097±0.001^{b}	^{ข}0.082±0.002^{c}	^{ก}0.146±0.006	^{ก}0.164±0.013
แสมทะเล	NW	^{ขa} 0.129±0.009^{a}	^{คab}0.087±0.004 ^{bc}	^{ข}0.138±0.010	^{กab} 0.187±0.002
	6 psu	^{ขc}0.076±0.002 ^{bc}	^{ขb} 0.071±0.009^{c}	^{ก}0.143±0.037	^{กa}0.195±0.008
	12 psu	^{ขd} 0.061±0.000 ^{b}	^{ขb} 0.069±0.014	^{ก}0.160±0.025	^{กbc} 0.175±0.004 ^{bc}
	18 psu	^{คb}0.096±0.002^{a}	^{ขคa}0.110±0.004^{a}	^{กข}0.146±0.044	^{กc} 0.171±0.005 ^{bc}
	24 psu	^{คd}0.058±0.002 ^{d}	^{ขa} 0.106±0.007^{a}	^{ก}0.164±0.011	^{กc} 0.169±0.001
พังกาหัวสุม	NW	^{ขc} 0.087±0.003 ^{bc}	^{ขbc} 0.077±0.015 ^{c}	^{ก}0.181±0.013	^{ก}0.196±0.007
	6 psu	^{คc} 0.092±0.004^{a}	^{คc} 0.068±0.003 ^{c}	^{ข}0.131±0.023	^{ก}0.188±0.005
	12 psu	^{ขb} 0.106±0.008^{a}	^{ขc} 0.067±0.011	^{ก}0.166±0.025	^{ก}0.193±0.004^{a}
	18 psu	^{คd} 0.072±0.002 ^{b}	^{ขa} 0.117±0.006^{a}	^{ก}0.156±0.026	^{ก}0.187±0.004^{a}
	24 psu	^{ขa} 0.127±0.005^{a}	^{คab}0.097±0.002^{ab}	^{ก}0.168±0.009	^{ก}0.182±0.009
โปรงแดง	NW	^{ข}0.074±0.007^{c}	^{ขb} 0.079±0.007 ^{bc}	^{ก}0.162±0.025	^{กbc} 0.174±0.015
	6 psu	^{ค}0.064±0.007^{c}	^{คb}0.082±0.009 ^{bc}	^{ข}0.148±0.027	^{กa} 0.198±0.004
	12 psu	^{ข}0.069±0.013 ^{b}	^{ขb} 0.082±0.011	^{ก}0.137±0.024	^{กbc} 0.174±0.007 ^{bc}
	18 psu	^{ค}0.095±0.001^{a}	^{ขa} 0.127±0.015^{a}	^{กข}0.135±0.006	^{กc} 0.154±0.001^{a}
	24 psu	^{ข}0.081±0.002^{c}	^{ขb} 0.087±0.004 ^{bc}	^{ก}0.177±0.012	^{กab} 0.182±0.004

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ13 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ความสูง (cm.)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	72.13±11.62	72.93±11.67	73.82±11.82	74.33±11.99	74.90±12.14	75.50±12.16	76.26±12.37	76.93±12.52	77.59±12.68
	6 psu	75.63±8.89	76.44±8.92	77.09±8.82	77.72±8.96	78.47±9.09	79.41±9.12	80.14±9.23	80.94±9.35	81.74±9.45
	12 psu	70.99±9.81	72.05±9.94	72.56±9.88	73.29±9.98	73.91±10.09	74.83±10.12	75.51±10.21	76.24±10.30	76.98±10.40
	18 psu	74.88±9.13	75.40±9.26	76.07±9.56	76.69±9.53	77.23±9.66	78.29±9.67	78.81±9.92	79.50±10.07	80.21±10.23
	24 psu	66.60±9.30	67.28±9.37	68.10±9.38	68.60±9.48	69.13±9.57	70.00±9.66	70.58±9.73	71.24±9.82	71.90±9.92
แสมทะเล	NW	105.94±14.49	107.60±14.93	109.12±15.27	110.65±15.50	112.25±15.82	113.28±15.73	114.68±15.97	115.99±16.17	117.30±16.40
	6 psu	89.85±23.83	90.97±23.85	92.35±23.81	93.72±24.04	95.32±24.19	96.71±24.08	98.03±24.27	99.41±24.37	100.82±24.50
	12 psu	89.15±16.33	90.29±16.55	91.49±16.37	93.15±16.38	94.73±16.70	96.30±16.94	97.59±16.96	99.04±17.12	100.49±17.28
	18 psu	85.45±13.93	86.85±13.80	87.65±13.95	89.45±14.18	91.08±14.20	92.73±14.09	94.32±14.46	95.94±14.67	97.55±14.91
	24 psu	69.55±12.65	71.23±13.13	72.18±13.16	73.75±13.20	75.35±13.25	76.89±13.24	78.57±13.48	80.17±13.62	81.77±13.78
พังกาหัวสุม	NW	61.30±14.72	62.22±15.07	63.24±15.42	63.75±15.44	64.31±15.45	65.05±15.41	66.17±15.86	67.04±16.08	67.90±16.30
	6 psu	61.50±13.36	62.50±13.49	63.34±13.74	64.04±13.93	64.68±14.20	65.46±14.28	66.32±14.60	67.11±14.84	67.91±15.05
	12 psu	75.75±18.08	76.83±18.20	77.54±18.23	78.39±18.35	79.39±18.45	80.27±18.53	81.46±18.55	82.48±18.62	83.50±18.70
	18 psu	60.45±10.44	61.14±10.59	62.05±10.75	62.72±10.83	63.47±10.91	64.53±10.92	65.32±11.27	66.17±11.46	67.02±11.66
	24 psu	46.98±7.12	47.50±7.14	48.28±7.31	48.98±7.34	49.59±7.51	50.55±7.48	51.14±7.65	51.83±7.77	52.53±7.89
โปรงแดง	NW	46.76±6.05	47.43±6.01	47.89±6.12	48.52±6.12	49.12±6.16	49.76±6.16	50.36±6.21	50.98±6.26	51.59±6.32
	6 psu	52.75±4.99	53.22±4.89	53.91±4.80	54.55±4.76	55.25±4.75	55.83±4.70	55.46±4.72	57.10±4.75	57.74±4.81
	12 psu	51.97±7.18	52.40±7.13	53.08±7.14	53.59±7.12	54.15±7.13	54.71±7.15	55.26±7.18	55.82±7.22	56.37±7.27
	18 psu	57.67±6.46	58.21±6.42	58.90±6.48	59.59±6.54	60.25±6.58	60.91±6.64	61.55±6.68	62.20±6.72	62.85±6.77
	24 psu	44.43±4.10	45.01±4.17	45.70±4.12	46.38±4.16	47.07±4.18	47.73±4.19	48.41±4.22	49.09±4.25	49.76±4.28

ตารางที่ ผ14 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ 15 ซม. จากผิวดิน

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)								
		ก่อนการทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 42	วันที่ 56	วันที่ 70	วันที่ 84	วันที่ 98	วันที่ 112
โกงกางใบใหญ่	NW	1.96±0.29	1.98±0.29	2.00±0.29	2.02±0.30	2.04±0.30	2.07±0.30	2.09±0.31	2.12±0.32	2.14±0.33
	6 psu	2.10±0.24	2.13±0.24	2.15±0.24	2.17±0.24	2.21±0.24	2.26±0.24	2.28±0.24	2.31±0.25	2.34±0.25
	12 psu	1.97±0.28	2.02±0.29	2.04±0.29	2.06±0.28	2.10±0.28	2.14±0.29	2.17±0.29	2.20±0.30	2.23±0.31
	18 psu	2.03±0.31	2.06±0.30	2.08±0.30	2.11±0.31	2.14±0.31	2.18±0.31	2.20±0.31	2.23±0.31	2.26±0.32
	24 psu	1.94±0.25	1.98±0.26	2.02±0.26	2.04±0.26	2.06±0.26	2.12±0.27	2.15±0.27	2.18±0.28	2.21±0.29
แสมทะเล	NW	1.10±0.18	1.14±0.19	1.16±0.18	1.17±0.18	1.19±0.19	1.22±0.19	1.24±0.20	1.26±0.21	1.28±0.21
	6 psu	1.00±0.22	1.04±0.22	1.07±0.22	1.08±0.22	1.10±0.22	1.13±0.23	1.16±0.23	1.18±0.23	1.21±0.23
	12 psu	0.97±0.16	1.00±0.16	1.02±0.17	1.05±0.17	1.08±0.17	1.11±0.17	1.13±0.17	1.16±0.17	1.19±0.18
	18 psu	0.93±0.14	0.96±0.15	1.00±0.14	1.02±0.14	1.04±0.15	1.07±0.15	1.10±0.16	1.13±0.17	1.16±0.17
	24 psu	0.76±0.11	0.81±0.12	0.84±0.12	0.87±0.12	0.89±0.13	0.93±0.15	0.96±0.15	0.99±0.16	1.02±0.18
พังกาหัวสุม	NW	1.13±0.25	1.14±0.25	1.17±0.26	1.18±0.26	1.20±0.26	1.25±0.26	1.27±0.27	1.29±0.27	1.31±0.28
	6 psu	1.00±0.27	1.05±0.28	1.09±0.29	1.10±0.30	1.12±0.30	1.16±0.31	1.19±0.33	1.22±0.35	1.24±0.37
	12 psu	1.16±0.38	1.20±0.39	1.22±0.38	1.24±0.39	1.27±0.39	1.32±0.39	1.34±0.40	1.37±0.41	1.40±0.41
	18 psu	1.01±0.14	1.06±0.14	1.09±0.15	1.10±0.15	1.12±0.16	1.16±0.16	1.18±0.17	1.21±0.17	1.24±0.18
	24 psu	0.80±0.14	0.83±0.13	0.87±0.12	0.88±0.12	0.90±0.12	0.93±0.12	0.96±0.12	0.98±0.12	1.01±0.12
โปรงแดง	NW	0.90±0.15	0.95±0.17	0.95±0.17	0.97±0.17	0.99±0.17	1.03±0.18	1.05±0.19	1.07±0.20	1.09±0.20
	6 psu	1.02±0.24	1.04±0.26	1.06±0.26	1.08±0.26	1.10±0.26	1.13±0.26	1.15±0.27	1.17±0.27	1.19±0.28
	12 psu	0.93±0.16	0.99±0.18	1.01±0.19	1.03±0.20	1.06±0.20	1.10±0.21	1.13±0.22	1.16±0.23	1.19±0.24
	18 psu	1.10±0.19	1.13±0.21	1.17±0.21	1.19±0.22	1.22±0.22	1.27±0.22	1.29±0.23	1.32±0.23	1.36±0.24
	24 psu	0.86±0.14	0.90±0.14	0.94±0.14	0.96±0.14	0.97±0.14	1.01±0.13	1.04±0.14	1.07±0.15	1.10±0.15

ตารางที่ ผ15 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	64.17±21.12	65.59±21.31	67.47±22.08	68.85±22.81	70.52±32.67	72.59±24.01	74.60±24.82	76.56±25.67	78.58±26.60
	6 psu	73.81±19.39	76.33±19.56	77.68±20.18	79.66±19.99	82.33±20.43	86.26±21.06	87.98±21.35	90.53±21.85	93.20±22.38
	12 psu	63.81±18.91	66.87±19.89	68.61±20.49	70.39±20.60	72.52±21.14	75.84±21.74	77.82±22.56	80.26±23.29	82.77±24.06
	18 psu	69.78±20.91	71.84±20.67	73.52±21.25	75.17±21.59	77.31±22.03	80.96±22.59	82.45±22.89	84.66±23.33	86.99±23.79
	24 psu	59.01±16.33	61.04±16.80	63.82±16.99	64.97±17.33	66.63±17.71	70.53±18.72	72.32±19.10	74.72±19.75	77.17±20.44
แสมทะเล	NW	43.22±11.92	45.82±12.49	47.58±12.81	48.82±12.84	50.51±13.43	52.31±13.62	54.31±14.25	56.17±14.79	58.07±15.39
	6 psu	34.61±16.65	37.39±17.60	38.96±18.13	39.89±18.27	41.42±18.76	43.82±19.66	45.46±20.19	47.29±20.81	49.22±21.51
	12 psu	32.41±12.09	34.24±11.97	35.46±12.69	37.27±12.93	39.18±13.39	41.26±13.87	42.93±14.18	44.86±14.66	46.87±15.15
	18 psu	29.12±8.28	30.90±8.78	32.62±8.61	34.05±9.04	35.61±9.56	37.77±10.04	39.78±10.64	41.85±11.31	43.97±12.08
	24 psu	18.78±5.12	20.82±5.91	22.28±5.95	23.59±6.33	24.99±6.83	26.92±8.08	28.73±8.37	30.57±9.13	32.49±9.93
พังกาหัวสุม	NW	37.23±11.91	37.87±12.18	39.21±12.87	39.97±13.08	40.93±13.25	43.10±13.38	44.02±14.04	45.26±14.50	46.53±14.96
	6 psu	32.83±12.68	35.11±13.48	36.72±14.44	37.48±14.71	38.55±15.32	40.05±15.65	41.73±17.23	43.15±18.26	44.59±19.36
	12 psu	43.87±19.47	45.62±20.02	46.75±19.85	47.91±20.18	49.52±20.49	51.74±21.00	53.17±21.66	54.87±22.21	56.60±22.78
	18 psu	32.36±6.54	34.12±6.56	35.60±7.12	36.22±7.24	37.13±7.44	38.92±7.58	40.16±7.93	41.47±8.20	42.80±8.50
	24 psu	21.75±5.63	22.67±5.66	24.24±5.57	24.77±5.62	25.53±5.69	26.81±5.66	27.80±5.73	28.83±5.80	29.88±5.88
โปรงแดง	NW	17.65±5.28	19.40±5.91	19.61±6.08	20.28±6.25	21.14±6.31	22.71±6.74	23.36±7.09	24.35±7.43	25.35±7.79
	6 psu	23.46±9.04	24.41±9.76	25.27±9.73	26.11±9.92	27.09±10.06	28.47±10.25	29.26±10.63	30.31±10.94	31.39±11.25
	12 psu	20.18±6.73	22.54±8.01	23.46±8.29	24.31±8.55	25.33±8.96	27.05±9.53	28.36±10.23	29.75±10.88	31.15±11.50
	18 psu	27.78±8.24	29.36±8.91	30.86±9.34	32.24±9.66	33.65±10.01	36.06±10.50	37.16±10.95	38.78±11.46	40.47±11.99
	24 psu	15.96±4.22	17.12±4.40	18.59±4.71	19.13±4.68	19.85±4.73	21.09±4.85	22.32±5.24	23.48±5.51	24.68±5.82

ตารางที่ ผ16 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	8.42±5.09	8.76±5.23	9.25±5.64	9.63±5.94	10.09±6.37	10.63±6.59	11.20±7.05	11.78±7.51	12.39±8.01
	6 psu	10.65±5.25	5.47±8.97	11.71±5.71	12.24±5.77	13.01±6.05	14.19±6.45	14.72±6.63	15.53±6.95	16.39±7.28
	12 psu	8.21±4.35	4.71±10.23	9.42±4.99	9.86±5.15	10.43±5.45	11.32±5.82	11.90±6.22	12.62±6.62	13.37±7.06
	18 psu	9.73±5.33	5.32±7.48	10.69±5.73	11.13±5.95	11.73±6.22	12.76±6.65	13.20±6.88	13.87±7.21	14.58±7.55
	24 psu	7.02±3.54	3.78±9.25	8.10±3.89	8.39±4.03	8.79±4.19	9.79±4.65	10.25±4.85	10.91±5.15	11.59±5.48
แสมทะเล	NW	24.55±6.65	26.00±6.96	26.98±7.13	27.67±7.15	28.61±7.47	29.61±7.57	30.72±7.92	31.75±8.21	32.80±8.54
	6 psu	19.71±9.30	21.27±9.82	22.15±10.11	22.66±10.19	23.52±10.45	24.86±10.94	25.77±11.23	26.79±11.57	27.86±11.94
	12 psu	18.50±6.76	19.53±6.68	20.21±7.08	21.23±7.21	22.29±7.46	23.45±7.72	24.38±7.89	25.46±8.15	26.58±8.41
	18 psu	16.67±4.65	17.67±4.92	18.63±4.82	19.43±5.06	20.30±5.35	21.51±5.61	22.63±5.94	23.78±6.31	24.97±6.73
	24 psu	10.84±2.90	11.99±3.34	12.82±3.36	13.56±3.57	14.34±3.85	15.43±4.54	16.44±4.70	17.47±5.13	18.55±5.57
พังกาหัวสุม	NW	13.88±4.39	14.12±4.49	14.61±4.74	14.89±4.82	15.24±4.88	16.04±4.92	16.38±5.16	16.83±5.33	17.30±5.50
	6 psu	12.26±4.68	13.10±4.97	13.69±5.32	13.97±5.42	14.36±5.64	14.92±5.76	15.53±6.34	16.05±6.71	16.58±7.11
	12 psu	16.32±7.16	16.96±7.35	17.38±7.29	17.80±7.41	18.39±7.52	19.21±7.70	19.73±7.94	20.36±8.14	20.99±8.34
	18 psu	12.09±2.41	12.74±2.42	13.29±2.63	13.52±2.67	13.85±2.74	14.51±2.79	14.97±2.92	15.45±3.02	15.94±3.13
	24 psu	8.17±2.09	8.51±2.10	9.09±2.06	9.29±2.08	9.57±2.10	10.04±2.09	10.41±2.12	10.79±2.14	11.18±2.17
โปรงแดง	NW	2.73±0.67	2.95±0.74	2.98±0.76	3.06±0.77	3.17±0.77	3.61±0.90	3.44±0.85	3.55±0.88	3.67±0.92
	6 psu	3.43±1.08	3.55±1.14	3.65±1.14	3.75±1.15	3.86±1.16	4.35±1.31	4.12±1.12	4.24±1.23	4.36±1.26
	12 psu	3.05±0.83	3.33±0.96	3.44±1.00	3.54±1.02	3.66±1.06	4.17±1.24	4.01±1.18	4.17±1.25	4.33±1.31
	18 psu	3.96±0.97	4.14±1.04	4.31±1.08	4.47±1.11	4.62±1.14	5.32±1.32	5.01±1.22	5.19±1.27	5.37±1.32
	24 psu	2.52±0.55	2.67±0.56	2.86±0.59	2.93±0.59	3.02±0.59	3.40±0.66	3.32±0.64	3.46±0.66	3.60±0.69

ตารางที่ ผ17 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	16.530±1.867^{b}	14.780±0.948^{b}	13.080±0.283^{bc}	^{bc}14.800±0.905^{b}
	6 psu	13.865±0.403^{bc}	15.800±0.537^{c}	14.840±1.160^{b}	^{c}14.110±0.651^{bc}
	12 psu	15.120±1.061^{b}	15.775±0.417^{b}	14.250±0.438^{b}	^{bc}15.195±0.601^{b}
	18 psu	16.560±1.245^{b}	14.550±0.764^{b}	14.465±1.492^{b}	^{a}17.110±0.636^{b}
	24 psu	15.810±0.834^{b}	15.730±0.735^{c}	15.980±0.156^{b}	^{ab}16.145±0.375^{b}
แสมทะเล	NW	^{กab}20.445±0.813^{a}	^{ขค}21.255±0.417^{a}	^{กขab}23.085±0.771^{a}	^{กa} 24.340±1.245^{a}
	6 psu	^{ขc}18.015±0.332^{a}	^{ก}21.080±0.467^{a}	^{กb} 21.560±0.778^{a}	^{กc}21.195±0.488^{a}
	12 psu	^{a} 20.790±0.905^{a}	20.045±0.247^{a}	^{b} 21.545±0.799^{a}	^{bc} 22.220±0.467^{a}
	18 psu	^{bc} 18.935±0.544^{a}	25.380±6.039^{a}	^{b} 21.735±0.686^{a}	^{ab} 23.835±0.403^{a}
	24 psu	^{ขab}19.900±0.537^{a}	^{ก}25.315±0.389^{a}	^{กa} 25.045±0.898^{a}	^{กa} 24.400±0.410^{a}
พังกาหัวสุม	NW	13.880±0.933^{bc}	^{d} 13.110±0.481^{b}	^{bc} 14.735±0.686^{b}	14.335±0.488^{b}
	6 psu	14.390±1.513^{b}	^{b} 17.990±0.156^{b}	^{a}16.795±0.870^{b}	16.505±1.336^{b}
	12 psu	14.980±0.608^{b}	^{c}16.090±0.636^{b}	^{b} 14.940±0.665^{b}	14.280±0.849^{bc}
	18 psu	13.255±0.262^{c}	^{d} 13.835±0.262^{b}	^{cd}13.035±0.686^{bc}	14.165±0.856^{c}
	24 psu	^{ข}12.910±0.622^{c}	^{กa} 20.905±0.403^{b}	^{ขd} 12.710±0.622^{c}	^{ข}13.000±0.170^{c}
โปรงแดง	NW	11.510±1.315^{c}	^{b} 11.220±0.509^{c}	11.835±0.686^{c}	12.910±0.509^{b}
	6 psu	11.665±0.969^{c}	^{b} 11.025±0.209^{d}	11.550±0.311^{c}	13.055±0.742^{c}
	12 psu	^{กข}11.945±0.247^{c}	^{ขb} 10.950±0.424^{c}	^{ข}11.835±0.247^{c}	^{ก}12.915±0.474^{c}
	18 psu	10.875±0.516^{d}	^{a} 13.050±0.283^{b}	12.255±0.417^{c}	11.915±0.785^{d}
	24 psu	10.425±0.785^{d}	^{b} 11.055±0.233^{d}	11.545±0.785^{c}	12.200±0.919^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ18 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	^{a}15.185±0.700^{b}	15.055±0.559^{b}	12.740±0.325^{b}	13.575±1.690^{b}
	6 psu	^{c}12.960±0.127^{b}	13.935±0.672^{b}	14.835±0.870^{b}	15.255±0.601^{b}
	12 psu	^{bc}13.750±0.438^{b}	13.435±0.601^{b}	14.620±0.863^{b}	14.985±0.332^{b}
	18 psu	^{b}14.090±0.184^{ab}	13.720±0.368^{b}	14.820±0.269^{b}	13.990±0.608^{b}
	24 psu	^{b}14.035±0.262^{a}	14.125±0.445^{c}	15.085±0.672^{b}	15.990±0.608^{b}
แสมทะเล	NW	^{a} 18.920±1.315 ^{a}	^{b} 19.900±0.919 ^{a}	^{ab} 21.065±0.403 ^{a}	21.935±1.336 ^{a}
	6 psu	^{ขb} 16.255±0.403 ^{a}	^{กcd}17.900±0.297 ^{a}	^{กcd} 18.410±0.750 ^{a}	^{ก}19.320±0.481 ^{a}
	12 psu	^{a} 18.955±0.262 ^{a}	^{bc}19.330±0.636 ^{a}	^{bc} 19.610±0.877 ^{a}	21.075±1.775 ^{a}
	18 psu	^{ขb} 16.220±0.481 ^{a}	^{ขd}17.345±0.177 ^{a}	^{ขd} 17.020±0.735 ^{a}	^{ก}19.775±0.516 ^{a}
	24 psu	^{ขb} 15.150±0.750 ^{a}	^{กa} 21.860±0.552 ^{a}	^{กa} 21.695±0.728 ^{a}	^{ก}22.745±0.559 ^{a}
พังกาหัวสุม	NW	^{bc} 12.695±0.361 ^{c}	^{b} 13.055±0.714 ^{bc}	^{bc} 13.955±1.039 ^{b}	14.280±0.580 ^{b}
	6 psu	^{ขa}14.225±0.304 ^{b}	^{กa} 17.225±0.742 ^{a}	^{คc} 12.325±0.445^{c}	^{ขค}13.380±0.665 ^{c}
	12 psu	^{ab} 13.215±0.460 ^{b}	^{b} 14.210±0.368 ^{b}	^{ab} 14.680±0.750 ^{b}	14.115±0.615 ^{bc}
	18 psu	^{bc} 12.025±0.757 ^{bc}	^{b} 13.110±0.608 ^{b}	^{bc} 13.155±0.870 ^{b}	13.640±0.594 ^{b}
	24 psu	^{คc}11.545±0.799 ^{b}	^{กa} 18.155±0.969 ^{b}	^{กขa} 16.120±0.665 ^{b}	^{ข}15.845±0.573 ^{b}
โปรงแดง	NW	11.670±0.721 ^{c}	^{b} 11.110±0.891 ^{c}	^{b} 10.675±0.771 ^{c}	^{b} 11.595±0.884 ^{b}
	6 psu	11.250±0.849 ^{c}	^{a} 14.165±1.817 ^{b}	^{a} 15.195±0.601 ^{b}	^{a} 13.865±0.813 ^{bc}
	12 psu	11.060±0.410 ^{c}	^{b} 10.005±0.304 ^{c}	^{b} 10.155±0.573 ^{c}	^{b} 11.635±0.460 ^{c}
	18 psu	10.340±1.259 ^{c}	^{b} 10.180±0.566 ^{c}	^{b} 10.380±0.665 ^{c}	^{b} 10.215±0.488 ^{c}
	24 psu	^{ข}9.765±0.445 ^{c}	^{ขb} 9.220±0.467^{d}	^{กขb} 10.215±0.488 ^{c}	^{กb} 11.045±0.247 ^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ19 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ่อนของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลัง การบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.557±0.128 [b]	1.561±0.505 [b]	1.843±0.413 [b]	1.680±0.250 [b]
	6 psu	1.941±0.336	1.759±0.417 [bc]	1.851±0.147 [a]	1.845±0.370 [b]
	12 psu	1.840±0.230	1.502±0.285	1.510±0.260 [b]	1.505±0.064 [b]
	18 psu	1.755±0.289 [b]	1.790±0.184	1.803±0.264	1.623±0.129
	24 psu	1.920±0.525 [b]	1.830±0.100	1.706±0.164	1.762±0.233 [b]
แสมทะเล	NW	[a]3.384±0.456 [a]	3.136±0.229 [a]	2.732±0.110 [a]	[a]3.081±0.141 [a]
	6 psu	[c]2.272±0.150	3.048±0.563	2.066±0.208 [a]	[a]2.696±0.279 [a]
	12 psu	[bc] 2.541±0.242 [a]	3.069±0.248 [a]	2.436±0.195 [a]	[a]2.796±0.541 [a]
	18 psu	[กab]2.924±0.099 [a]	[กข]1.981±0.227	[ก]2.461±0.428	[ขb] 1.428±0.501
	24 psu	[ab]2.951±0.124 [a]	2.341±0.432	2.648±0.336	[a]2.471±0.402 [a]
พังกาหัวสุม	NW	1.614±0.333 [b]	1.849±0.178 [b]	1.343±0.104 [b]	1.571±0.099 [b]
	6 psu	1.559±0.195	1.445±0.770	1.600±0.054 [a]	1.562±0.107 [b]
	12 psu	1.821±0.397 [a]	2.274±0.500 [ab]	2.444±0.306 [a]	1.767±0.231
	18 psu	1.503±0.164 [bc]	1.708±0.419	1.724±0.390	1.196±0.169
	24 psu	1.486±0.263 [b]	1.947±0.275	1.688±0.280	1.293±0.091 [bc]
โปรงแดง	NW	1.855±0.318 [b]	1.053±0.383 [b]	1.504±0.205 [b]	1.221±0.164 [b]
	6 psu	1.203±0.333	1.380±0.569	0.896±0.252 [b]	1.217±0.153 [b]
	12 psu	1.077±0.075 [b]	1.031±0.352 [c]	1.136±0.134 [b]	1.128±0.094 [b]
	18 psu	0.968±0.280 [c]	1.322±0.344	1.070±0.021	1.092±0.161
	24 psu	1.451±0.415 [b]	1.262±0.135	1.564±0.415	1.062±0.134 [c]

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ผ20 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบแก่ของกล้าไม้

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry weight)			
		ก่อนการทดลอง	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 3	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 6	ภายหลังการบำบัดครั้งที่ 9
โกงกางใบใหญ่	NW	1.473±0.456	0.820±0.191	[b] 0.815±0.106 [b]	0.992±0.054 [b]
	6 psu	1.268±0.227 [b]	1.048±0.068 [a]	[b] 1.075±0.068 [b]	1.081±0.114 [b]
	12 psu	0.907±0.147	0.781±0.244	[b] 1.061±0.056 [b]	1.043±0.138 [b]
	18 psu	0.975±0.314 [b]	0.891±0.076 [b]	[b] 0.866±0.144 [b]	1.108±0.106
	24 psu	[ก] 1.362±0.156	[ข] 0.761±0.108 [b]	[กa] 1.360±0.128 [b]	[กข] 1.006±0.115 [b]
แสมทะเล	NW	[กa] 2.162±0.297	[ขc] 0.739±0.124	[ก] 1.916±0.073 [a]	[กa] 2.374±0.274 [a]
	6 psu	[กa] 2.186±0.227 [a]	[ขb] 1.331±0.176 [a]	[ก] 1.942±0.164 [a]	[กa] 2.227±0.229 [a]
	12 psu	[กb] 1.093±0.163	[กc] 0.902±0.093	[ข] 1.794±0.155 [a]	[กa] 2.327±0.278 [a]
	18 psu	[กa] 1.907±0.307 [a]	[กa] 1.771±0.162 [a]	[ก] 1.898±0.095 [a]	[ขb] 0.825±0.122
	24 psu	[a] 2.097±0.354	[a] 1.968±0.218 [a]	2.179±0.069 [a]	[a] 2.162±0.198 [a]
พังกาหัวสุม	NW	1.073±0.166	0.655±0.161	0.812±0.215 [b]	1.026±0.116 [b]
	6 psu	1.037±0.265 [b]	0.423±0.077 [b]	0.682±0.305 [b]	1.082±0.041 [b]
	12 psu	1.236±0.263	0.597±0.171	0.931±0.076 [bc]	0.898±0.091 [b]
	18 psu	0.804±0.060 [b]	0.813±0.215 [b]	0.856±0.063 [b]	0.772±0.093
	24 psu	0.910±0.278	1.070±0.101 [b]	0.950±0.165 [c]	0.953±0.091 [b]
โปรงแดง	NW	1.266±0.412	0.441±0.132	0.782±0.326 [b]	1.139±0.185 [b]
	6 psu	0.754±0.116 [b]	0.712±0.085 [b]	0.743±0.098 [b]	0.792±0.183 [b]
	12 psu	0.886±0.209	0.506±0.239	0.655±0.083 [c]	0.586±0.108 [b]
	18 psu	0.820±0.210 [b]	0.674±0.109 [b]	0.743±0.144 [b]	0.793±0.137
	24 psu	1.184±0.411	0.733±0.144 [b]	1.073±0.058 [bc]	0.832±0.115 [b]

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาคผนวก ข

เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติของดินทางกายภาพและเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

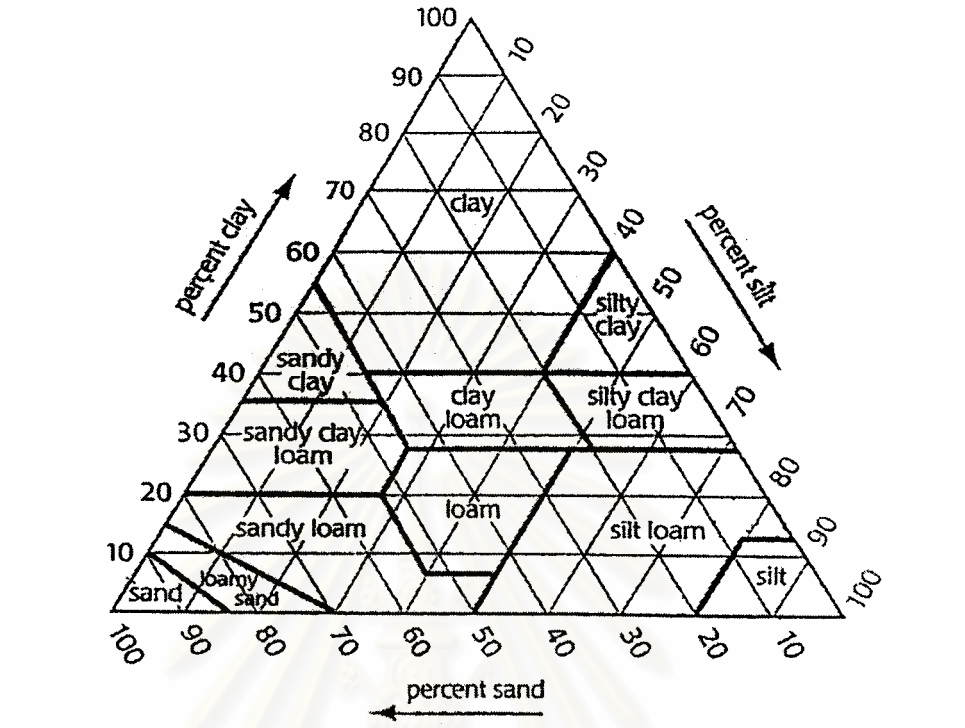
1.ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

pH	สภาพกรดหรือสภาพด่างของดิน
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5-4.5	กรดรุนแรงมาก (extreamly acid)
4.6-5.0	กรดจัดมาก (very strongly scid)
5.1-5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6-6.0	กรดจัดปานกลาง (moderately acid)
6.1-6.5	กรดเล็กน้อย (slightly scid)
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: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.การจัดระบบเนื้อดินตามตารางสามเหลี่ยมเนื้อดินสากลของการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ



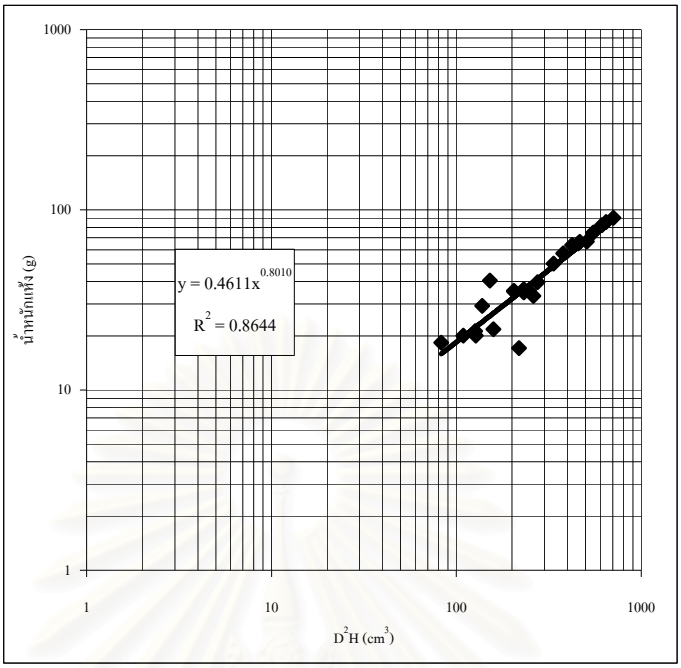
ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

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

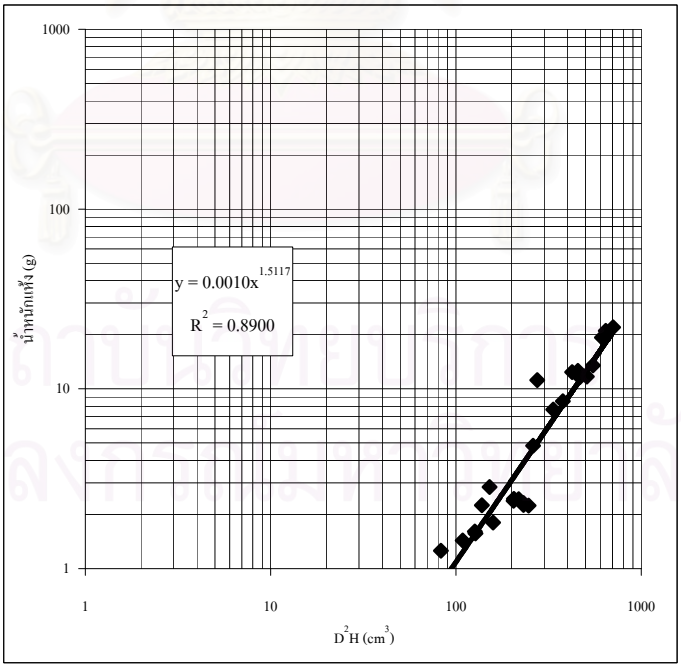
ภาคผนวก ค

สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของกล้าไม้

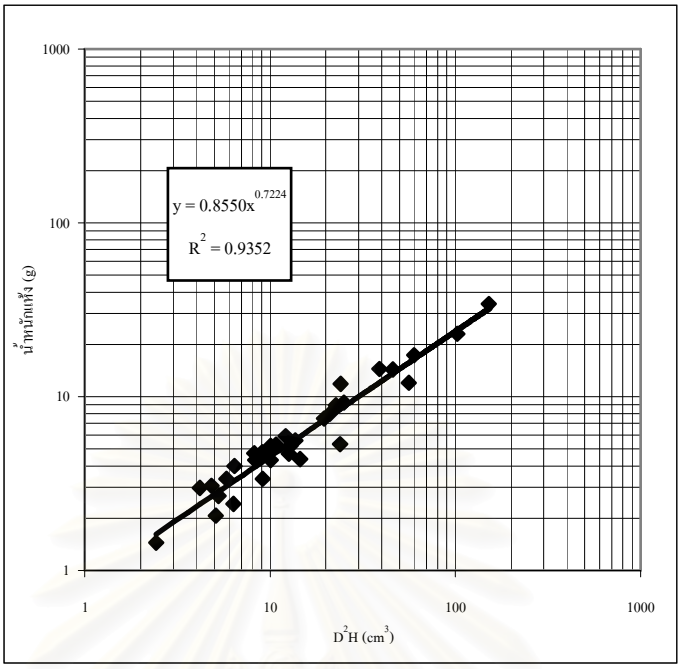
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



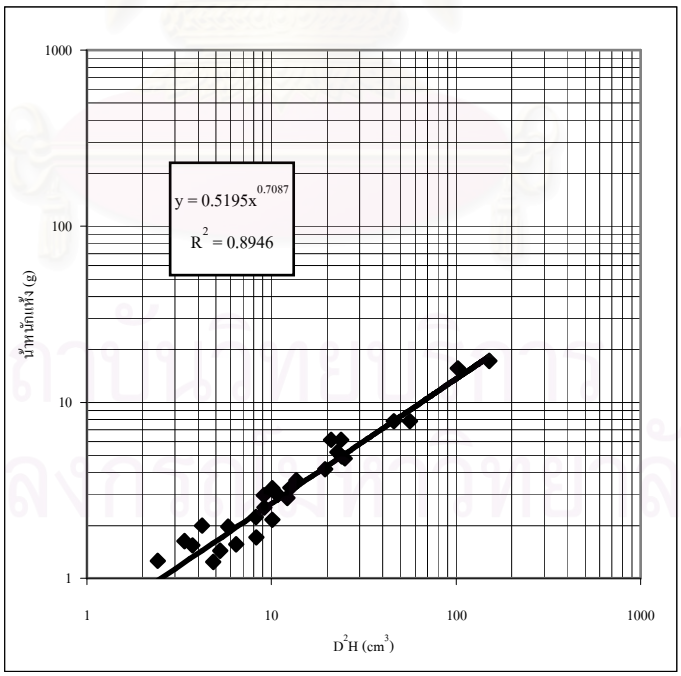
สมการมวลชีวภาพลำต้นโกงกางใบใหญ่



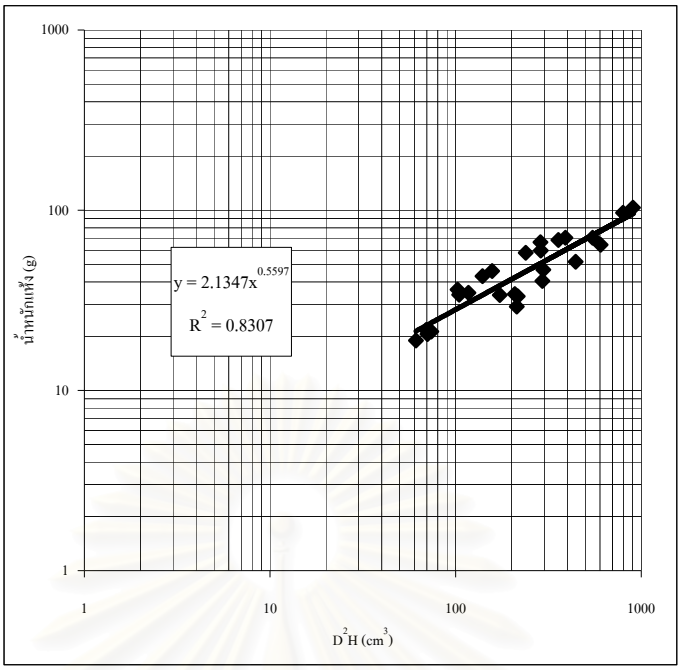
สมการมวลชีวภาพใบโกงกางใบใหญ่



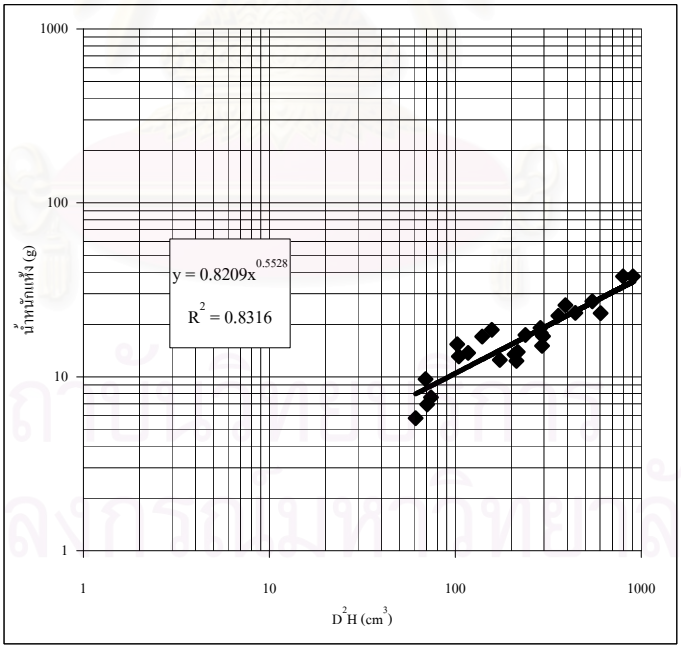
สมการมวลชีวภาพลำต้นแสมทะเล



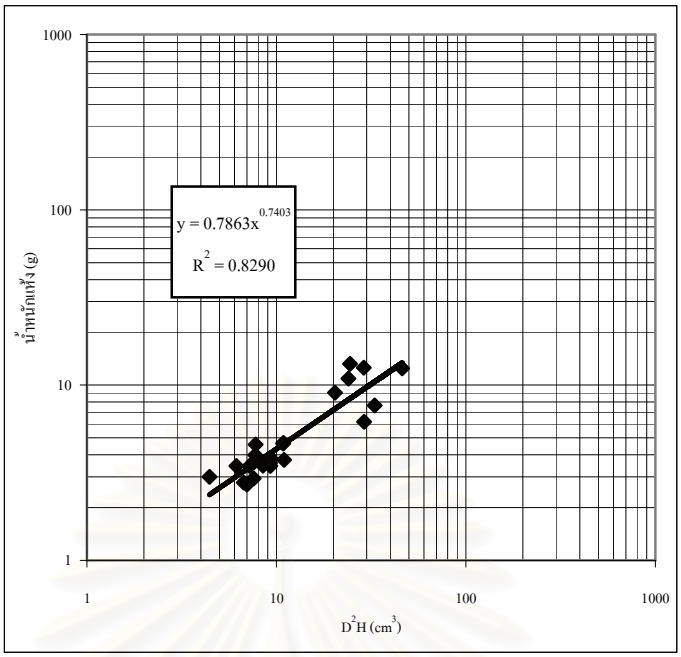
สมการมวลชีวภาพใบแสมทะเล



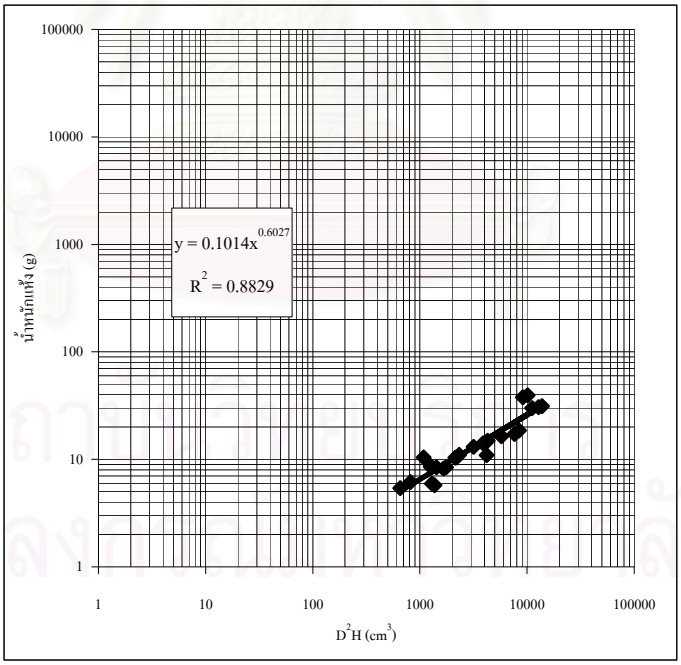
สมการมวลชีวภาพลำต้นพังกาหัวสุมดอกแดง



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

นายกิตติภูมิ พุ่มแดง เกิดเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดนครนายก สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย