ผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สาม
โดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk.

นางสาวกฤติกา ทองสมบัติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5463-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF ALTERNATED FLOODING AND DRYING ON TERTIARY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY BY *Rhizophora mucronata* Lamk. ARTIFICIAL WETLANDS

Miss Krittika Thongsombut

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-departmental)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5463-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk.
โดย	นางสาวกฤติกา ทองสมบัติ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร บุญส่ง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……...คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ สุชาดา กีระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

……...อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

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

……...กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤติกา ทองสมบัติ: ผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. (EFFECTS OF ALTERNATED FLOODING AND DRYING ON TERTIARY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY BY *Rhizophora mucronata* Lamk. ARTIFICIAL WETLANDS)
อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 150 หน้า. ISBN : 974-17-5463-9

การศึกษาผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สาม โดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ แบ่งชุดทดลองตามปัจจัยต่างๆ 4 ปัจจัย คือ ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (5, 7 และ 10 วัน) ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (3, 5 และ 7 วัน) ชนิดดิน (ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1)) และชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 มีผลต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลนมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันปล่อยให้แห้ง 7 วัน สามารถบำบัดทีเคเอ็น แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด 95.96, 98.49, 77.75 และ 77.71% ตามลำดับ และชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลนมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วันปล่อยให้แห้ง 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงสุด คือ 95.39% สำหรับปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 94.20% ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน : ทรายที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วันปล่อยให้แห้ง 3 วัน อย่างไรก็ตามในการเลือกรูปแบบการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ ควรเลือกชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลนมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วันปล่อยให้แห้ง 5 วัน เพราะที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันกล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ด้านสมบัติของดิน พบว่าปริมาณทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในดินเลนจะมีปริมาณสูงกว่าในดินเลน : ทราย ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นภายหลังการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และไม่มีความแตกต่างระหว่างชนิดดิน ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลงภายหลังการทดลองและไม่มีความแตกต่างระหว่างชนิดดิน การศึกษาค่า E_H ในดิน ทำการวัดค่าที่ 2, 7 และ 10 ซ.ม. จากผิวดิน พบว่าในช่วงการกักเก็บน้ำ ค่า E_H ลดลงเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำและระดับความลึกจากผิวดินเพิ่มขึ้น ในช่วงระยะเวลาปล่อยให้แห้งค่า E_H เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาปล่อยให้แห้งเพิ่มขึ้นและลดลงตามระดับความลึกจากผิวดินที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าทั้งหมดไม่แตกต่างกันมากนัก ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ และชุดดินเลน : ทรายจะมีค่า E_H สูงกว่าชุดควบคุม และชุดดินเลน ตามลำดับ สำหรับการศึกษากล้าไม้ พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตทางความสูง สูงที่สุดในดินเลน ที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน และมีปริมาณทีเคเอ็นในใบเพิ่มขึ้นภายหลังการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำและระยะเวลาปล่อยให้แห้งที่เหมาะสม จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนสูง

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต กฤติกา ทองสมบัติ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4489055820 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD : MANGROVE / *Rhizophora mucronata* / MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT / SOIL TEXTURE

KRITTIKA THONGSOMBUT : EFFECTS OF ALTERNATED FLOODING AND DRYING ON TERTIARY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY BY *Rhizophora mucronata* Lamk. ARTIFICIAL WETLANDS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. KANOKPORN BOONSONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D. 150 pp. ISBN 974-17-5463-9

Effects of alternated flooding and drying on tertiary municipal wastewater treatment efficiency by *Rhizophora mucronata* Lamk. artificial wetlands was designed by dividing into 4 factors; retention time (5, 7 and 10 days), drying time (3, 5 and 7 days), soil textures (soil and soil : sand (1:1)) and plant (planted with *R. mucronata* seedings and a control without plant). The results showed that ability of municipal wastewater treatment significantly effected by all factors ($p<0.05$). The best experimental set was found in retention time of 10 days, drying time of 7 days and planted with *R. mucronata* with the romoval percentage of total Kjeldahl nitrogen (TKN), ammonia-nitrogen total phosphorus and ortho-phosphate of 95.96, 98.49, 77.75 and 77.71 respectively. For the highest BOD removal (95.39%) was found in experimental set of retention time of 7 days, drying time of 5 days and planted with *R. mucronata* in soil. The highest TSS removal (94.20%) was found in experimental set of retention time of 7 days, drying time of 3 days and planted with *R. mucronata* in soil : sand. However, the growth rate of *R. mucronata* was lowest at 10 days retention time. Thus, the 7 days retention time would be the best experimental set. The TKN and total phosphorus had no change after the experiment. However, the higher concentration was found in soil than in soil : sand. Nitrate-nitrogen significantly increased after the experiment ($p<0.05$), whereas ammonia-nitrogen in all soil textures significantly decreased after the experiment. According to the measurements of redox potentials (E_H) at 2, 7 and 10 centimeters soil depth, the results indicated that E_H decreased as the retention time and soil depth increased and E_H increased as the drying time increased. The highest growth rate of *R. mucronata* was found in experimental set using mangrove soil with 3 days retention time. The TKN in leaf significantly increased after the experiment ($p<0.05$). The results suggested that *R. mucronata* planted in suitable soil texture and appropriate alternated flooding and drying time showed high efficiency of municipal wastewater treatment.

Department Inter-department of Environmental Science ..... Student's signature .....
Field of study Environmental Science ..... Advisor's signature .....
Academic year 2003 ..... Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำสั่งสอน ตลอดจนความคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ และคอยให้กำลังใจตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สนิท อักษรแก้ว และ รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ หัวหน้าหน่วยพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมทั้งอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ โครงการ “การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน” สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่วางชุดทดลอง บริเวณบ้านเด็ก

ขอขอบพระคุณ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง ครูปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป และ คุณเสรี ดอนเหนือ เจ้าหน้าที่หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่คอยให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ คุณประธาน สังวรณ์ หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการป่าชายเลนที่ พบ.1 สำนักงานป่าไม้เขตเพชรบุรี ที่อนุเคราะห์กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ที่ใช้ในการทดลอง และคุณสุวัฒน์ ศรีสุวรรณ เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน จังหวัดเพชรบุรี ที่กรุณาสนับสนุน และให้ความช่วยเหลืออย่างมาก

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่กรุณาให้เงินทุนการศึกษา พร้อมทั้งให้ความรัก ความห่วงใย และให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดี และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

1.บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์..... 2

ขอบเขตของการศึกษา..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2.การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 น้ำเสียชุมชน..... 5

2.2 ป่าชายเลน..... 8

2.3 พื้นที่ชุ่มน้ำ..... 11

2.4 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม 22

2.5 หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบการกักเก็บน้ำสลับกับการปล่อยให้แห้ง..... 22

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 24

3. วิธีการดำเนินการศึกษา..... 27

3.1 การวางแผนการทดลอง..... 27

3.2 ขอบเขตการทดลอง..... 28

3.3 วิธีการดำเนินการ..... 29

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล	35
4.1 สมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง	35
4.2 คุณภาพน้ำ	36
4.3 สมบัติของดิน	62
4.4 อัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่	84
4.5 ปริมาณธาตุอาหารในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่	88
5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	92
5.1 สรุปผลการศึกษา	92
5.2 ข้อเสนอแนะ	99
รายการอ้างอิง	101
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก	107
ภาคผนวก ข	142
ภาคผนวก ค	144
ภาคผนวก ง	146
ภาคผนวก จ	148
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	150

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน..... 6

2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชัน..... 16

3.1 ระบบทดลองปัจจัยการกักเก็บน้ำปล่อยการระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้แห้ง..... 27

3.2 ชุดทดลองตามปัจจัยการทดลอง..... 28

3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... 30

3.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน..... 32

3.5 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้..... 33

4.1 สมบัติของดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) เฉลี่ยในช่วงก่อนการทดลอง..... 35

4.2 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง..... 37

4.3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 40

4.4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 44

4.5 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 47

4.6 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 51

4.7 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 56

4.8 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในแต่ละปัจจัยการทดลอง
ของการทดลองรอบที่ 1-4..... 60

4.9 ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) ในดิน..... 64

4.10 ความเป็นกรด–ด่างในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 70

4.11 ความเค็มในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 71

4.12 ค่าการนำไฟฟ้าของดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 72

4.13 ปริมาณทีเคเอ็นในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 74

4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 77

4.15 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ..... 79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.16 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ……..... 82

4.17 อัตราการเจริญเติบโตทางความสูงต่อสัปดาห์ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย หลังการทดลองทั้ง 4 รอบ.....……..... 85

4.18 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ.....……..... 86

4.19 ปริมาณทีเคเอ็นของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ.....……..... 89

4.20 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ.....……..... 91

5.1 รูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย ในน้ำเสียชุมชน ……...…...….. 94

5.2 รูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดีและธาตุอาหาร ในน้ำเสียชุมชน……...…… 95

5.3 การคาดประมาณพื้นที่ป่าชายเลนที่ต้องการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน……...…… 96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนการทดลอง	3
2.1 กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ	12
2.2 ลำดับของการเปลี่ยนแปลงสภาพในดิน หลังจากเกิดสภาวะน้ำท่วมขัง	18
3.1 ระบบทดลอง	29
4.1 เปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	41
4.2 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี	45
4.3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น	48
4.4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	52
4.5 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด	57
4.6 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต	61
4.7 ค่า E_H ของช่วงระยะเวลากักเก็บน้ำและช่วงระยะเวลาการปล่อยให้แห้ง	67
4.8 ปริมาณทีเคเอ็นในดินเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ	75
4.9 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ	80
4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ	83
4.11 อัตราการเจริญเติบโตทางความสูงต่อสัปดาห์ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่	86
4.12 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 0 และ 15 จากผิวดิน	87
4.13 ปริมาณทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ	89
4.14 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ	91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเพิ่มของจำนวนประชากร ทำให้มีการขยายตัวของชุมชน เป็นผลให้ปริมาณน้ำเสียจากชุมชนเพิ่มขึ้นด้วย การบำบัดน้ำเสียชุมชนทำได้หลายวิธี แต่การใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) นั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประหยัด และต้องการการดูแลรักษาน้อย แต่ข้อจำกัดของการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำเสีย คือ น้ำเสียที่นำมาบำบัดจะเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาแล้วบางส่วน ป่าชายเลนซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติที่พบบริเวณชายฝั่งทะเล ปากอ่าว และริมฝั่งแม่น้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล เป็นแหล่งที่ช่วยบำบัดน้ำเสียได้ ดังนั้นหากมีการสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในบริเวณดังกล่าว โดยใช้พืชและดินป่าชายเลน ก็จะสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนปล่อยลงสู่ทะเล กลไกการบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับ บทบาทของพืช ดิน และจุลินทรีย์ โดยบทบาทของพืช พบว่า การบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียขึ้นกับความสามารถของพืชที่จะดูดดึง (uptake) สารต่างๆ รากพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และเคลื่อนย้าย (transfer) ก๊าซต่างๆ รวมทั้งออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ทำให้ออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มบางๆ รอบรากเรียกว่า rhizosphere ซึ่งเป็นบริเวณที่จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนรูป (transformation) ธาตุอาหาร ไอออนโลหะ และสารประกอบอื่นๆ ได้ บทบาทของดิน พบว่า ดินจะเป็นแหล่งดูดซับ (adsorption) ธาตุอาหารจากน้ำเสียชุมชนไว้ แล้วเกิดกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การก่อตะกอนผลึก (precipitation) และการเชื่อมต่อ (binding) กับอินทรียวัตถุในดิน นอกจากนี้ดินยังเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ชนิดของดินจึงมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบ ส่วนบทบาทของจุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์จะช่วยบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียทั้งในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนรูป การออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) ในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารในน้ำเสียของจุลินทรีย์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (oxidation-reduction potential; E_H) ในดิน (Gosselink และ Mitsch, 2000) ในสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic state) และสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic state) ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะให้ค่า E_H ในดินแตกต่างกัน และจุลินทรีย์จะเปลี่ยนรูปธาตุอาหารในดินตามสภาวะที่มีค่า E_H แตกต่างกันไป

ดังนั้นระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งที่ต่างกันของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม จึงมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนั้นพืชในระบบ ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเช่นกัน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของความแตกต่างของช่วงระยะเวลาน้ำท่วมขังสลับแห้ง ชนิดดิน และอิทธิพลของพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lamk.) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้หาแนวทางที่เหมาะสม ในการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมป่าชายเลนเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูง

1.2 วัตถุประสงค์

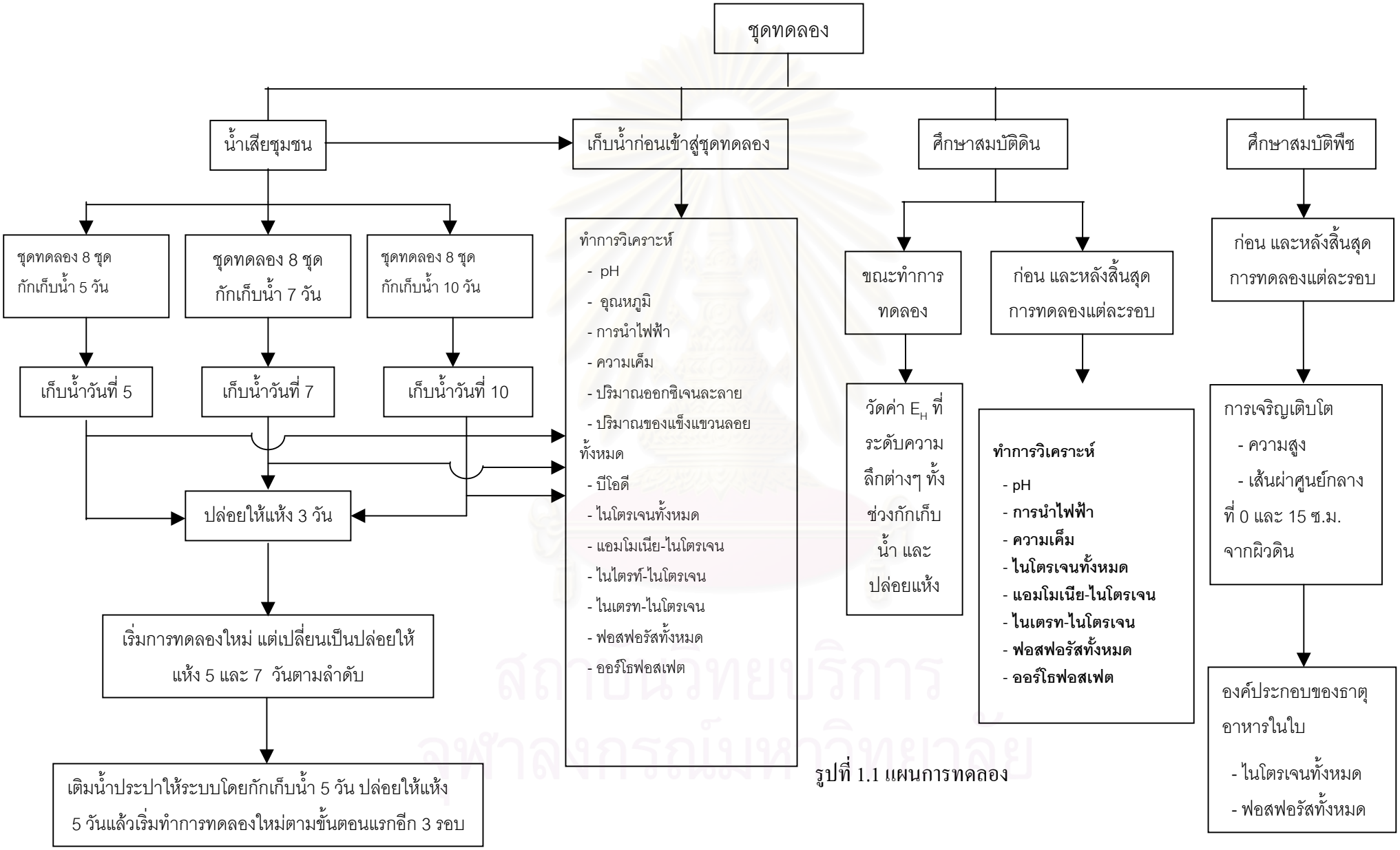
1) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lamk.) ต่อประสิทธิภาพการลดธาตุอาหารและบีโอดีจากน้ำเสียชุมชน

2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดดินและพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมต่อประสิทธิภาพการลดธาตุอาหารและบีโอดีจากน้ำเสียชุมชน

3) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล ในดินของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งที่ต่างกัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lamk.) ดำเนินการศึกษา ณ พื้นที่ปฏิบัติการของภาควิชาพฤกษศาสตร์ บริเวณบ้านเด็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการศึกษาโดยให้น้ำเสียชุมชนแก่ชุดทดลอง ซึ่งมีปัจจัยในการทดลองที่แตกต่างกัน คือระยะเวลากักเก็บน้ำ ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง ชนิดดิน และพืช (ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และไม่ปลูกพืช (ควบคุม)) สามารถแบ่งชุดทดลองได้เป็น 24 ชุดทดลอง โดยสรุปแผนการทดลองได้ ตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารและบีโอดี จากน้ำเสียชุมชน

2) ทราบถึงอิทธิพลของชนิดดินและพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมต่อประสิทธิภาพการลดธาตุอาหารและบีโอดีจากน้ำเสียชุมชน

3) ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชี่ยล ของน้ำในดิน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งที่ต่างกัน

4) สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการตัดสินใจหาทางเลือกที่เหมาะสมในการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน

2.1.1 ความหมายและลักษณะน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater, sewage) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้แล้วจากแหล่งชุมชนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ต่างๆ ในรูปของของแข็งขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองด้วยตาเปล่า ในน้ำเสียยังมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปะปนอยู่ด้วย ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว โดยธาตุอาหารในน้ำเสียจะเป็นแหล่งอาหารสำหรับแบคทีเรีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536)

ปริมาณน้ำ (water content) ในน้ำเสียมีสูงกว่า 99.9% ซึ่งชี้ให้เห็นว่าของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียมีเพียงประมาณ 0.1% ของแข็งเหล่านี้ประกอบด้วย เศษอาหาร สบู่ ไขมันต่างๆ เยื่อกระดาษ และอื่นๆ รวมถึงสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ ทราย กรวดและหิน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536)

ปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่พักอาศัย จะแตกต่างกันออกไปตามประเภทต่างๆ ของอาคารและลักษณะของระบบประปา ในบ้านพักแบบทันสมัยที่มีมาตรฐานการครองชีพสูงจะมีการใช้น้ำมากกว่าในบ้านพักแบบเก่าที่มีมาตรฐานการครองชีพต่ำ ปริมาณน้ำเสียอาจคำนวณได้ตามข้อมูลการใช้น้ำ กล่าวคือ ปริมาณร้อยละ 70-90 ของน้ำประปาที่ใช้จะกลายเป็นน้ำเสีย (อภิชัย เชียร์ศิริกุล, 2533) และปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ย่อมมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของชุมชน สภาพความเป็นอยู่และอุปนิสัยที่ต่างกัน ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

องค์ประกอบ	mg l^{-1}	กรัม / (คน·วัน)
BOD_5	110-440	80-120
COD	1.75 x BOD_5	1.75 x BOD_5
TOC	0.8 x BOD_5	0.8 x BOD_5
total solids (TS)	350-1200	170-220
total suspended solids (TSS)	100-350	70-145
total dissolved solid	100-300	-
total nitrogen , as N	20-85	6-12
- organic nitrogen	0.4 x Total - N	0.4 x Total - N
- ammonia nitrogen	0.6 x Total - N	0.6 x Total - N
- nitrate nitrogen	(0.0-0.05) x Total - N	(0.0-0.05) x Total - N
total phosphorus , as P	4-15	0.6-4.5
- organic phosphorus	0.3 x Total - P	0.3 x Total - P
- inorganic phosphorus (ortho-P และ poly-P)	0.7 x Total - P	0.7 x Total - P
total alkalinity , as $CaCO_3$	50-200	20-30
chlorides, as Cl	20-50	4-8
sulfates, as SO_4	15-30	-
nitrate, as NO_3	20-40	-
phosphates, as PO_4	20-40	-

หมายเหตุ : แสดงค่าในช่วงต่ำสุดถึงสูงสุด ในสภาพที่ไม่มีน้ำฝนปะปน

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน

ธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และสารประกอบฟอสฟอรัส (phosphorus compounds)

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) เช่น แอมโมเนีย (ammonia) ไนไตรท์ (nitrite) และไนเตรท (nitrate) สารเหล่านี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ย หรือเกลือในปัสสาวะ ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) เช่น โปรตีน (protein) กรดอะมิโน (amino acid) และกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) สารดังกล่าวเป็นส่วนประกอบของพืชและสัตว์ อุจจาระ ปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เป็นต้น (สุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ซึ่งน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนปะปนอยู่ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติหลายประการ คือ

1)เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สารประกอบไนโตรเจนที่อาจมีพิษต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH_4^+ เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 จะไม่แสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในทางตรงกันข้ามหากระดับความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น พบว่าแอมโมเนียอิสระในปริมาณ 0.01–2.00 mg l^{-1} หรือมากกว่า จะแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

นอกจากนี้ไนโตรเจนก๊าซที่ละลายในน้ำยังแสดงความเป็นพิษกับปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดโรคฟองก๊าซในเลือด (gas bubble disease) เมื่อปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ อาศัยในแหล่งน้ำที่มีก๊าซไนโตรเจนเกินจุดอิ่มตัวปกติ กระแสเลือดจะดูดซึม (absorption) ก๊าซไนโตรเจนจากน้ำ เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างก๊าซไนโตรเจนในน้ำและเลือด ปลาจึงมีก๊าซไนโตรเจนละลายในเลือดมากเกินปกติ หากมีการเปลี่ยนแปลงจนมีผลทำให้ก๊าซไนโตรเจนบางส่วนในเลือดกลายเป็นฟองก๊าซ จะเกิดการอุดตันในหลอดเลือด ทำให้การหมุนเวียนเลือดติดขัด ในที่สุดปลาจะตาย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2545)

2) ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ลดต่ำลง เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 4H^+ + 2H_2O + 2NO_2^-$$

$$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow 2H^+ + H_2O + NO_3^-$$

3) ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) สารประกอบไนโตรเจนโดยเฉพาะไนเตรท เมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำที่ขังอยู่นิ่ง เช่น ทะเลสาบและหนองบึง จะทำให้สาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นเติบโตอย่างรวดเร็วและมากเกินไป จนทำให้แหล่งน้ำมีสีเขียวคล้ำ และไม่อาจใช้ประโยชน์จากน้ำได้อย่างเหมาะสม

4) เป็นอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยของเด็กและทารก น้ำที่มีปริมาณไนไตรท์และไนเตรทสูงเกินไป อาจทำให้เกิดโรค methemoglobinemia หรือ blue babies

กับทารก โดยไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือดเกิด methemoglobin เลือดจึงไม่สามารถรับออกซิเจนได้ ทำให้เด็กมีอาการหายใจไม่ออกและตัวเขียว (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนนั้น แบ่งเป็น สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ทั้งในรูปที่ละลายและไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฟอสเฟต (phosphate) รวมถึงออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) และ condensed phosphate

กฤษดา วิยาภรณ์ (2538) อ้างถึงใน พรทิพย์ งามสกุล (2535) กล่าวว่า ฟอสฟอรัสบางส่วนสิ่งมีชีวิตก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่วนฟอสฟอรัสที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ มีทั้งรูปของสารละลาย ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ (adsorption) อยู่กับสารแขวนลอย ซึ่งจะเกิดการดูดซับที่ระดับความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4-6 และฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตะกอนดินของแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญมากธาตุหนึ่ง และถูกจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมผลผลิตทางชีวภาพในแหล่งน้ำ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและสาหร่าย (กฤษดา วิยาภรณ์, 2538) ฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนมาจากที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม กิจกรรมหลักที่ระบายน้ำเสียประเภทนี้มักเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ได้แก่ การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การประกอบอาหาร และการซักล้าง เป็นต้น การระบายน้ำเสียที่มีสารประกอบฟอสฟอรัสปะปนอยู่ลงสู่แหล่งน้ำ โดยเฉพาะแหล่งน้ำนิ่ง อาจเป็นตัวการทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ โดยสาหร่ายในแหล่งน้ำจะใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเช่นเดียวกับไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ (2545) กล่าวว่า แหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.05-0.10 mg l^{-1} หรือมากกว่า หรือมีปริมาณออร์โธฟอสเฟต 0.005 mg l^{-1} ถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีโอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันได้

2.2 ป่าชายเลน

2.2.1 ความหมายและประโยชน์ของป่าชายเลน

ป่าชายเลน (mangrove forest) หมายถึง สังคมพืชที่ขึ้นอยู่ตามชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำหรืออ่าว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุด

ป่าชายเลนจะพบทั่วไปตามพื้นที่ชายฝั่งทะเล บริเวณปากน้ำอ่าว ทะเลสาบ และเกาะซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำทะเลท่วมถึงของประเทศในแถบโซนร้อน (tropical region) ส่วนบริเวณกึ่งร้อนหรือเขตเหนือและใต้โซนร้อน (sub-tropical region) จะพบป่าชายเลนอยู่บ้างเป็นส่วนน้อย เนื่องจากสภาวะภูมิอากาศไม่เหมาะสมนัก ป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด มักจะพบในกลุ่มประเทศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย พม่า และไทย เป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ป่าชายเลนในประเทศไทยจะขึ้นกระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ และจากข้อมูลการสำรวจเมื่อปี พ.ศ. 2543 พบว่ามีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดประมาณ 2,411.61 ตารางกิโลเมตร (กรมป่าไม้, 2547)

ป่าชายเลนนับเป็นระบบนิเวศที่มีคุณค่ามหาศาล มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์หลายรูปแบบ เช่น การใช้ประโยชน์ด้านป่าไม้ โดยการนำไม้จากป่าชายเลนมาเผาถ่าน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้โกงกาง เพราะถ่านที่ได้จากไม้โกงกางถือเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีให้ความร้อนสูง เมื่อเผาแล้วมีปริมาณขี้เถ้าต่ำ เปลือกของไม้ป่าชายเลนหลายชนิด ยังเป็นแหล่งของแทนนิน ซึ่งนำมาใช้ทำสี ย้อมอวน และฟอกหนัง ด้านการประมง ป่าชายเลนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ เป็นที่อยู่อาศัยและที่อนุบาลสัตว์น้ำในระยะตัวอ่อน และมีบทบาทที่สำคัญในการป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลจากคลื่นลมแรง และการกัดเซาะชายฝั่ง (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

บทบาทของป่าชายเลนในการรักษาสมดุลของระบบนิเวศก็มีความสำคัญมาก ป่าชายเลนช่วยรักษาและปรับปรุงคุณภาพน้ำชายฝั่ง ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสม (accumulation) เปลี่ยนรูป (transformation) ธาตุอาหารและบำบัดสารเคมีที่ปนเปื้อน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของระบบนิเวศ (Reddy และ Patrick, 1993 อ้างถึงใน สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538) และจากสมบัติของป่าชายเลนที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารนี้ จึงมีการใช้ป่าชายเลนเพื่อบำบัดน้ำเสีย ทั้งจากชุมชนและนากุ้ง (Tam และคณะ, 2001 อ้างถึงใน Boonsong และคณะ, 2002, Monroy และคณะ, 1999, Robertson และ Philips, 1995) เนื่องจากในน้ำเสียทั้งสองแหล่งมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

2.2.2 พันธุ์ไม้ป่าชายเลน

Santisuk (1983) ได้รายงานว่าในประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน 35 วงศ์ 53 สกุล และ 74 ชนิด โดยพันธุ์ไม้ที่เด่นและเป็นชนิดที่สำคัญ ส่วนใหญ่จะอยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae โดยเฉพาะในสกุลไม้โกงกาง (*Rhizophora*) สกุลไม้โปรง (*Ceriops*) และไม้ถั่ว (*Bruguiera*) นอกจากนี้มีไม้ในวงศ์ Sonneratiaceae ได้แก่ ไม้ลำพู ลำแพน (*Sonneratia*) ไม้ในวงศ์ Verbenaceae ได้แก่ ไม้แสม (*Avicennia*)

พันธุ์ไม้ป่าชายส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบ มีลักษณะทางสรีระวิทยาที่คล้ายคลึงกัน เช่น (1) ราก เนื่องจากป่าชายเลนอยู่ภายใต้อิทธิพลของการท่วมถึงของน้ำทะเลในระบบน้ำขึ้น-น้ำลง พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจึงต้องมีการปรับตัว โดยไม้ในสกุลโกงกางมีรากค้ำจุน (stilt roots หรือ prop roots) เพื่อพยุงลำต้น ไม้แสมมีรากแขนงรอบโคนต้นเป็นรากหายใจ (pneumatophore) ส่วนไม้ถั่วตามโคนต้นมีรากในลักษณะที่เป็นพูพอน (buttress) เตี้ยๆ และมีรากที่โผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดินเป็นรากหายใจ ลักษณะคล้ายเข่า (knee roots) (2) ใบ ใบของพันธุ์ไม้ในป่า

ชายเลนเป็นใบพวก hypostomatic คือ มีปากใบ (stomata) เฉพาะทางด้านล่างเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำจากส่วนของปากใบ นอกจากนี้ไม้แสมที่ผิวใบจะมีต่อมขับเกลือด้วย (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะขึ้นเป็นแนวเขตหรือเป็นโซนค่อนข้างแน่นอน คือ จากบริเวณชายฝั่งน้ำจนลึกเข้าไปในป่าด้านใน เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพและเคมีของดิน ความเค็มของน้ำในดิน การระบายน้ำและกระแสน้ำ ความเปียกชื้นของดิน และความถี่ของน้ำทะเลท่วมถึง (Chapman, 1975 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542)

Watson's (1928) อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว (2542) ได้แบ่งเขตพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยใช้ความถี่ของน้ำทะเลท่วมถึงเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 5 เขตพื้นที่ เริ่มจากบริเวณนอกสุดจากชายฝั่ง พื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมถึงทุกครั้ง จะไม่มีพันธุ์ไม้ชนิดใดขึ้นได้ ยกเว้นไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata)* ถัดเข้ามาเป็นเขตที่ 2 พื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมขณะที่มีน้ำขึ้นสูงปานกลาง พันธุ์ไม้ที่ขึ้นในบริเวณนี้ ได้แก่ ไม้โกงกางใบใหญ่ ไม้แสมขาว (*Avicennia alba*) และไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) เขตที่ 3 พื้นที่บริเวณนี้ถูกน้ำท่วมขังขณะที่น้ำขึ้นสูงตามปกติ บริเวณนี้พันธุ์ไม้ป่าชายเลนเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะไม้โกงกางจะขึ้นหนาแน่น นอกจากนี้มีไม้ถั่วดำ (*Bruguiera cylindrica*) และไม้โปรงแดง (*Ceriops tagal*) เป็นต้น เขตที่ 4 พื้นที่บริเวณนี้จะถูกน้ำท่วมถึงเมื่อน้ำขึ้นสูงสุดเท่านั้น บริเวณนี้จะมีสภาพแห้งเกินไปสำหรับไม้โกงกางที่จะขึ้นได้ แต่จะเหมาะกับไม้ถั่ว (*Bruguiera*) และไม้ตะบูน (*Xylocarpus*) เขตสุดท้าย เป็นเขตที่อยู่ขอบด้านในสุดของป่าชายเลน พื้นที่บริเวณนี้จะถูกน้ำท่วมก็ต่อเมื่อน้ำขึ้นสูงสุดเป็นพิเศษเท่านั้น พันธุ์ไม้ที่ขึ้นในบริเวณนี้ได้แก่ ไม้จาก (*Nypa fruticans*) และไม้หงอนไก่ทะเล (*Heritiera littoralis*) เป็นต้น

จากการแบ่งแนวเขตของป่าชายเลนข้างต้น จะเห็นว่าโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในหลายพื้นที่ ประกอบมีอัตราการเจริญเติบโตสูงในดินเลน และมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย ตามการศึกษาของ ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) ซึ่งได้ศึกษาความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และแสมทะเล ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน โดยแบ่งชุดการทดลองดินเป็น 4 อัตราส่วน คือ ดินเลน ดินเลน:ดินทราย (3:1) ดินเลน:ทราย (2:2) ดินเลน:ทราย (1:3) และในแต่ละชุดทำการปลูกกล้าไม้ 2 ชนิด คือ แสมทะเล โกงกางใบใหญ่ และชุดควบคุมซึ่งไม่ปลูกพืช โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียนาน 7 วัน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเล และชุดทดลองที่ปลูกโกงกางใบใหญ่ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยสามารถบำบัดบีโอดีได้ 59.06-72.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ปลูกพืชซึ่งสามารถบำบัดบีโอดีได้ 48.53-57.58 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการศึกษากล้าไม้ พบว่าโกงกางใบใหญ่มีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงที่สุดในดินเลน

จากเหตุผลข้างต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้สร้างระบบทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เพื่อทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชน

2.2.3 โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata)*

โกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่มักขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นเลน บริเวณนอกสุดจากชายฝั่ง (Steenis, 1958 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีรากค้ำจุน เนื่องจากเป็นพันธุ์ไม้ที่มักพบบริเวณนอกสุดหรือริมฝั่งทะเล และแม่น้ำที่เป็นดินเลน จึงต้องมีรากค้ำจุนช่วยให้สามารถต้านลมพายุและคลื่นได้ โครงสร้างภายในของรากใต้ดินจะมีช่องอากาศใหญ่อยู่ทางด้านใน ใบของโกงกางใบใหญ่มีลักษณะอวบน้ำและเป็นมัน ใบอ่อนจะมีหูใบร่วม (interpetiolar stipule) หุ้มไว้ด้วย ผลของโกงกางเป็นแบบ berry มีเมล็ดเป็นแบบ viviparous คือ ขณะที่ผลยังติดอยู่บนต้น ส่วน radicle ของเมล็ดจะงอกออกมาทางปลายผล ตามด้วยส่วนของ hypocotyl ซึ่งเจริญยาวออกมาเรื่อยๆ มีลักษณะปลายแหลมยาว เรียกว่า seedling (ชาวบ้านเรียกฝัก) เมื่อ seedling แก่เต็มที่จะหล่นปักเลนหรือลอยไปตามน้ำ แล้วเจริญเป็นต้นใหม่
ต่อไป (พูนศรี เมืองส่ง และ สนิท อักษรแก้ว, 2540)

2.3 พื้นที่ชุ่มน้ำ

2.3.1 ความหมายและความสำคัญ

พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) หมายถึง ระบบนิเวศที่ได้รับอิทธิพลของการท่วมถึงของน้ำหรืออิ่มตัวด้วยน้ำ ดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน พืชโดยเฉพาะส่วนรากสามารถปรับตัวเป็นปกติและทนทานต่อสภาวะที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้น (Keddy, 2002) พื้นที่ชุ่มน้ำมักจะตั้งอยู่ในภูมิทัศน์ระหว่างแผ่นดิน (terrestial system) และแหล่งน้ำ (aquatic system) (Reddy และ Patrick, 1993 อ้างถึงใน สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538)

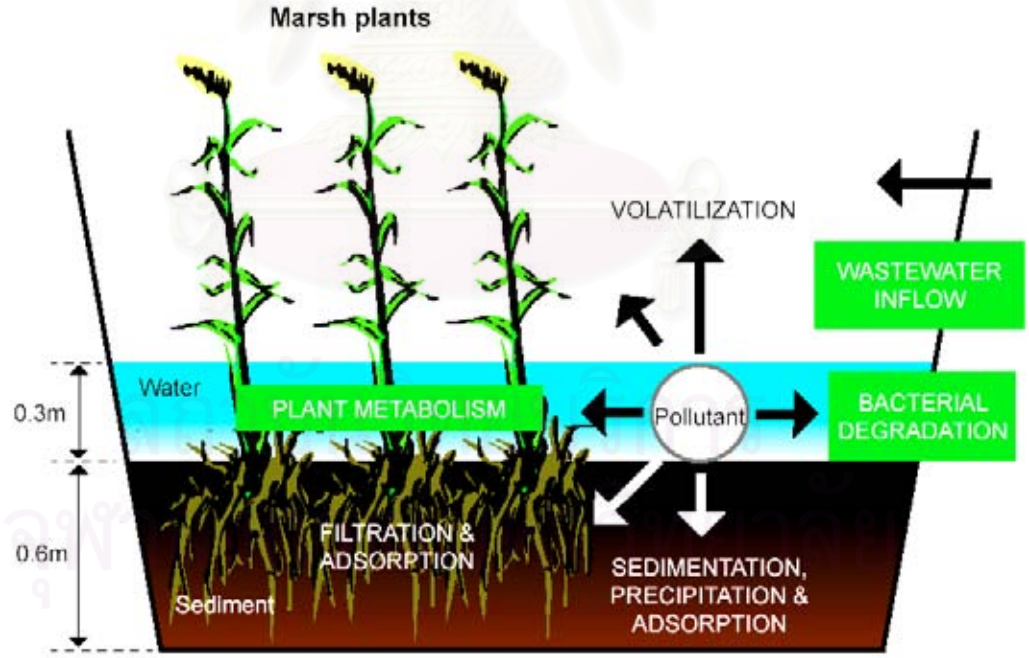
หน้าที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ (1) เป็นแหล่งกักเก็บน้ำ และส่งผ่านน้ำจากบนบกสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งกักเก็บน้ำไว้สำหรับในฤดูที่ขาดแคลน (2) พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนช่วยลดการกัดกร่อนของพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยเมื่อเกิดอุทกภัย จะเป็นแหล่งที่ช่วยลดความเร็วและความรุนแรงของน้ำจากทะเลสู่บนบก และยังช่วยรับแรงปะทะของลมพายุ ไว้ก่อนที่จะเข้าสู่ฝั่ง (3) เป็นที่อยู่อาศัยและดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ (4) เป็นแหล่งท่องเที่ยว และนันทนาการ (5) ช่วยบำบัดสารมลพิษต่างๆ เพราะพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นที่กักเก็บ (retention) และเปลี่ยนรูปธาตุอาหารรวมทั้งบำบัดสารปนเปื้อน จึงใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเป็นแหล่งบำบัดน้ำเสีย (Novotny และ Olem, 1994)

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีหลายประการดังนี้ (1) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่ำ (2) สามารถควบคุมดูแลง่าย (3) สามารถให้ผลประโยชน์ทางอ้อม เช่น ป่าไม้ การเพิ่มพื้นที่สีเขียว เป็นแหล่งพักผ่อน เป็นแหล่งรวมความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นแหล่งรายได้ให้เกษตรกร หากสามารถเก็บเกี่ยวพืชไปขาย เช่น ธูปฤาษี (*Typha angustifolia)* และกก (*Cyperus corymbosus*) เป็นต้น (Hammer และ Bastian, 1989)

อย่างไรก็ตามการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสียมีข้อจำกัดคือ น้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำต้องผ่านการบำบัดในขั้นต้นมาแล้ว (Kedlec และ Knight, 1995)

2.3.2 กลไกการบำบัดธาตุอาหารของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะอาศัยการทำงานของ ดิน พืช และจุลินทรีย์ร่วมกัน โดยอาศัยกลไกทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชและผลผลิตขั้นปฐมภูมิ สมบัติของดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืช ดินและน้ำ (Wong และคณะ, 1995) โดยกลไกการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา : Wetland International Report (2003)

2.3.3 บทบาทของพืช ดิน และจุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ

1) บทบาทของพืช

บทบาทของพืชทางกายภาพ คือ พืชจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองอนุภาคต่างๆ ในน้ำเสีย โดยรากพืชจะจับ (trapping) กับอนุภาคต่างๆ ในน้ำเสียไว้ นอกจากนี้พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำจะเปรียบเหมือน biofilm ทำหน้าที่กั้นระหว่างผิวน้ำหรือผิวดินกับบรรยากาศ ทำให้ความเร็วและความแรงของลมก่อนที่จะพัดมาถึงผิวน้ำหรือผิวดินลดกำลังลง และเมื่อสารแขวนลอยเกิดการตกตะกอนแล้ว จะไม่ฟุ้งกระจายขึ้นมาอีก (resuspension) ทำให้ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำลดลง (Brix, 1997)

การบำบัดธาตุอาหารขึ้นอยู่กับความสามารถของรากพืชที่จะดูดดึง (uptake) สารต่างๆ และเกิดกระบวนการทางชีวเคมีภายในของพืช รากพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะให้จุลินทรีย์ ช่วยเคลื่อนย้าย (transfer) ก๊าซต่างๆ รวมทั้งออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก ทำให้ออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มบางๆ เรียกว่า rhizosphere รอบๆ ราก จุลินทรีย์จึงสามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหารไอออนโลหะ และสารประกอบอื่นๆ ได้ (Kadlec และ Knight, 1995) และรากพืชสามารถดูดดึงเอาธาตุอาหารของพืชในรูปไอออนต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโต และการเพิ่มมวลชีวภาพของพืช (สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538)

Gersberg และคณะ (1986) อ้างถึงใน Wathugala (1987) กล่าวว่า การเคลื่อนย้ายออกซิเจนลงสู่รากของพืชที่โผล่พ้นน้ำ (emerged macrophytes) จะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของ nitrifying bacteria และไนเตรทจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนที่มีออกซิเจนน้อย และถูกบำบัดภายในระบบโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification)

พืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ดินไร้ออกซิเจน โดยมีการพัฒนาช่องว่างภายใน สำหรับเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดสู่ราก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย การเคลื่อนย้ายออกซิเจนสู่ส่วนราก มีบทบาทสำคัญในการบำบัดบีโอดี และแอมโมเนีย โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ในระบบรากใต้ดิน (Reddy และ D'Angelo, 1997 อ้างถึงใน ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543)

สมบัติของพืชที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียมีดังนี้ (1) สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่นนั้นๆ และสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (2) มีอัตราการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตสูง (3) มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศเข้ามาทางใบแล้วส่งผ่านมาตามลำต้นและราก (4) สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษได้ในช่วงกว้าง (5) มีความสามารถในการดูดดึงและสะสมสารต่างๆ ได้ดี (6) มีความทนทานต่อโรคและแมลง (7) สามารถเก็บเกี่ยวออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากหากมีพืชในระบบหนาแน่นเกินไปจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำและพืชที่เก็บเกี่ยวออกไปควรนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ (ประภาภรณ์ เคารพ, 2543)

2) บทบาทของดิน

ดินมีบทบาทเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์ที่ต้องการยึดเกาะ เป็นตัวกลางให้พืชเจริญเติบโต และช่วยบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี

กระบวนการที่สำคัญในการบำบัดธาตุอาหารของดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การก่อตะกอนผลึก (precipitation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (Kadlec และ Knight, 1996 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541) ลักษณะทางกายภาพของดินจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยชนิดดินที่เหมาะสม ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วนเหนียว (clay loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) และดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) (Cooper, 1990 อ้างถึงใน ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543)

ดินโดยเฉพาะดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก จะเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยจะเกิดการดูดซับกับไอออนโลหะต่างๆ ที่อยู่ในดิน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม เป็นต้น (Okurut และคณะ, 1999)

นอกจากชนิดของดินแล้ว องค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในดิน เช่น ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน แร่ธาตุต่างๆ ทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษต่อพืชและจุลินทรีย์ในดิน นับเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในดินก่อนจะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียก็มีความสำคัญยิ่ง เพราะหากถ้าดินเดิมมีการสะสมธาตุอาหารในดินสูงจนอิ่มตัวแล้ว ประสิทธิภาพในการบำบัดจะต่ำ เนื่องจากดินจะไม่มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำเสียได้อีก และธาตุอาหารที่อยู่ในดินอาจละลายออกมากับน้ำเสียที่ออกจากระบบด้วย (Kadlec, 1995)

3) บทบาทของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทั้งที่ยึดเกาะบนตัวกลางและจุลินทรีย์ที่ลอยอิสระ จะช่วยบำบัดสารมลพิษในน้ำเสียโดยทำให้เกิดกระบวนการทั้งในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยการแอสซิมิเลชัน (assimilation) การเปลี่ยนรูปและการหมุนเวียน (circulation) ของสารในน้ำเสีย (Kadlec และ Knight, 1996 อ้างถึงใน เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

จุลินทรีย์ต้องการแหล่งคาร์บอนและแร่ธาตุบางชนิดในการสร้างเซลล์ จุลินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งของคาร์บอนที่ใช้ คือ (1) จุลินทรีย์ในกลุ่มออโตโทรพ (autotrophs) จะใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ (2) จุลินทรีย์ในกลุ่มเฮทเทอโรโทรพ (heterotrophs) ใช้คาร์บอนจากสารอินทรีย์ มีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มออโตโทรพ ทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย

ในสภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เร็วกว่าสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับผิวของของแข็ง เช่น ดิน ทราย ลำต้นและรากของพืช ผลของการย่อยสลายที่ใช้ออกซิเจนจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะแบ่งเป็น 2 ระยะ ในระยะแรกจะได้ผลผลิตเป็นกรดไขมัน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ขั้นต่อมาเป็นการสร้างมีเทน โดยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สร้างมีเทนจะทำงานได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.5 จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนที่ส่ง (transport) มาทางรากพืชและจากการแพร่ (diffuse) ลงสู่ผิวดิน ดังนั้นความลึกของดินและความยาวของรากพืชจึงมีส่วนในการกำหนดลักษณะของการย่อยสลายที่จะเกิดขึ้น (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีในดิน ภายหลังน้ำท่วมขัง

การเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีในดิน คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพของดิน ซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนรูป และเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารและไอออนต่างๆ ที่อยู่ในดิน โดยภายหลังน้ำท่วมขังจะเกิดสภาวะที่ดินไม่มีออกซิเจน ทำให้กลไกการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร และไอออนต่างๆ ในดินของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งธาตุอาหารและไอออนต่างๆ ในดินจะเกิดการเปลี่ยนรูปในสภาวะที่มีความเฉพาะสำหรับธาตุและไอออนนั้นๆ การเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีในดินนี้จะสัมพันธ์กับค่าออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียล (oxidation-reduction potential) ในดิน

2.3.5 ออกซิเดชัน – รีดักชัน (oxidation-reduction potential) โพเทนเชียล, รีดอกซ์ โพเทนเชียล (redox potential) หรือศักย์ออกซิเดชัน–รีดักชัน

กระบวนการออกซิเดชัน คือ กระบวนการที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอน (e^-) หรือการสูญเสียไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือการได้มาซึ่งออกซิเจน และในปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต้องมีกระบวนการรีดักชันเกิดขึ้นด้วยเสมอ ซึ่งในการรีดักชันเกิดตรงข้ามกับออกซิเดชัน นั่นคือ มีการได้อิเล็กตรอน การได้ไฮโดรเจนไอออน หรือการสูญเสียออกซิเจนเกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้เราเรียกตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ว่าเป็นสารออกซิไดเซอร์ (oxidizer) และเรียกตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) ว่าเป็นสารรีดิวเซอร์ (reducer) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) สรุปปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชัน ตามตารางที่ 2.2

ออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียล หรือ รีดอกซ์ โพเทนเชียล แสดงถึงแนวโน้มในการให้หรือรับอิเล็กตรอน และเป็นการบอกถึงสภาพทางไฟฟ้าเคมีของดิน ถ้าค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียลเป็นบวก แสดงว่าระบบมีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอน ซึ่งหมายความว่าในระบบมีสารที่แสดงแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2545)

ตารางที่ 2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชัน

กระบวนการออกซิเดชัน	กระบวนการรีดักชัน
- การสูญเสียอิเล็กตรอน เช่น	- การได้มาซึ่งอิเล็กตรอน เช่น
$Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$	$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$
Fe^{2+} ถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+}	Fe^{3+} ถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{2+}
Fe^{2+} เป็นสารรีดิวเซอร์	Fe^{2+} เป็นสารรีดิวเซอร์
Fe^{3+} เป็นสารออกซิไดเซอร์	Fe^{3+} เป็นสารออกซิไดเซอร์
- การสูญเสียไฮโดรเจนไอออน เช่น	- การได้มาซึ่งไฮโดรเจนไอออน เช่น
$[CH_2O]_n + nH_20 \longrightarrow nCO_2 + 4ne^- + 4nH^+$	$nCO_2 + 4ne^- + 4nH^+ \longrightarrow [CH_2O]_n + n\,H_20$
organic substrate เป็นสารรีดิวเซอร์	organic substrate เป็นสารรีดิวเซอร์
CO_2 เป็นสารออกซิไดเซอร์	CO_2 เป็นสารออกซิไดเซอร์
- การได้มาซึ่งออกซิเจน เช่น	- การสูญเสียออกซิเจน เช่น
$CH_2O + O \longrightarrow HCOOH$	$HCOO \longrightarrow CH_2O + O$

หมายเหตุ : สารออกซิไดเซอร์เมื่อถูกรีดิวซ์จะมีสถานะออกซิเดชันลดลงและมีเลขออกซิเดชันลดลงด้วย

ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2545)

ค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียล (E_H) เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารออกซิไดเซอร์และสารรีดิวเซอร์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ ตามสมการของเนริ์ธ (Nernst equation)

$$E_H = E^0 + 2.3[RT/n\,F]\log[\{ox\}/\{red\}] \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ E^0 คือ ศักย์ของสารละลายอ้างอิง, potential of reference (mV)

R คือ gas constant = 81.987 cal deg $^{-1}$mole $^{-1}$

T คือ อุณหภูมิ (K)

n คือ จำนวนโมลของอิเล็กตรอนในการแลกเปลี่ยน

F คือ Faraday constant = 23,061 cal mole^{-1}volt $^{-1}$

{ox} คือ ความเข้มข้นของสารออกซิไดเซอร์

{red} คือ ความเข้มข้นของสารรีดิวเซอร์

ค่าออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) สามารถวัดโดยแพลทตินัม อิเล็คโทรด (platinum electrode) มีหน่วยเป็นมิลลิโวทล์ (mV) (Gosselink และ Mitsch, 2000)

สำหรับในพื้นที่ชุ่มน้ำ ปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น โดยเริ่มในสภาวะที่มีออกซิเจน ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากการย่อยสลายของ organic substrate โดยจะมีค่า E_H ระหว่าง 400–600 mV ตามสมการที่ 2.2

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

ต่อมาเมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไป ระบบจะเปลี่ยนเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไนเตรทจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวต่อไป โดยจะมีค่า E_H ประมาณ 250 mV ตามสมการที่ 2.3

$$2NO_3 + 10e^- + 12H^+ \longrightarrow N_2 + 6H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

จากนั้นค่า E_H จะลดลงเรื่อยๆ แมงกานีสจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวต่อไป โดยจะมีค่า E_H ประมาณ 225 mV ตามสมการที่ 2.4

$$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

เหล็กจะเปลี่ยนจากเฟอร์ริก ไปเป็นเฟอร์รัส ที่ E_H +100 ถึง (-100) mV แล้วซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ที่ E_H (-100) ถึง (-200) mV ตามสมการที่ 2.5

$$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ \longrightarrow Fe^{2+} + 3H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

$$SO_4^{2-} + 8e^- + 9H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

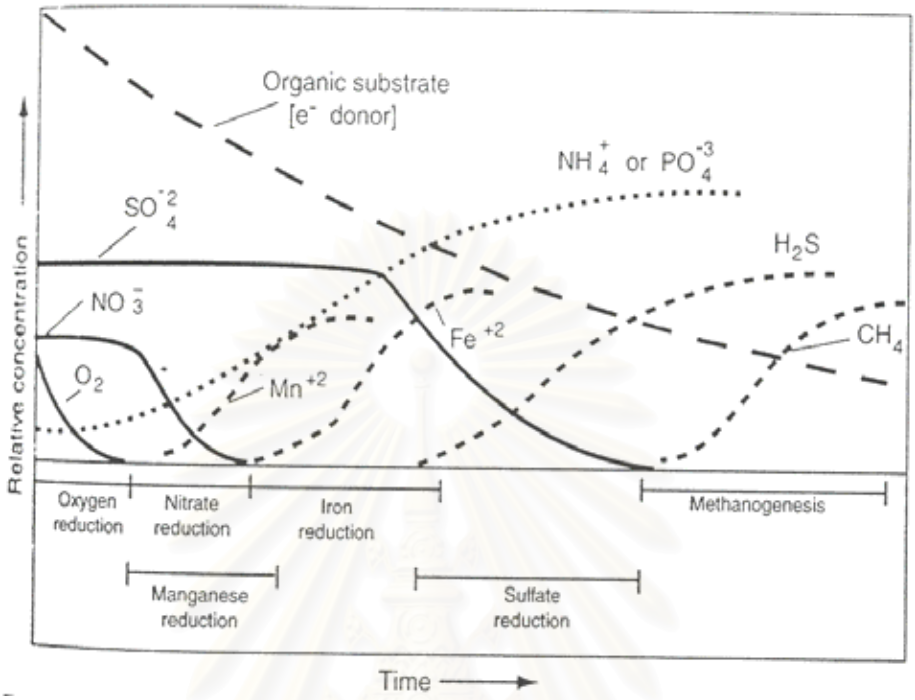
ท้ายสุด อินทรียวัตถุหรือคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายที่ E_H ต่ำกว่า -200 mV เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีโมเลกุลต่ำๆ และก๊าซมีเทน ตามสมการที่ 2.7

$$CO_2 + 8e^- + 8H^+ \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

ค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียล ในดินจะแตกต่างกันตามสภาพของดิน เช่น สภาพที่ดินอิ่มตัวไปด้วยออกซิเจน หรือดินแห้ง E_H จะมีค่าสูงและเป็นบวกแต่ถ้าดินมีน้ำท่วมขัง E_H จะมีค่าต่ำหรืออาจมีค่าเป็นลบ แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของระบบ (Gosselink และ Mitsch, 2000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับของการเปลี่ยนแปลงสภาพในดิน ภายหลังการเกิดสภาวะน้ำท่วมขัง ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ในดิน เมื่อเวลาผ่านไป แสดงใน รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลำดับของการเปลี่ยนแปลงสภาพในดิน ภายหลังการเกิดสภาวะน้ำท่วมขัง

ที่มา : Gosselink และ Mitsch, 2000

2.3.6 การบำบัดธาตุอาหารในระบบบำบัดพื้นที่ชุ่มน้ำ

การบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น เกิดได้ 3 รูปแบบ คือ (1) ธาตุอาหารจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในสถานะก๊าซและระเหยออกไปในบรรยากาศ (2) การระบายน้ำของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (3) การสะสมไว้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำโดยการสะสมในดิน การตกตะกอน และพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Bolton และ Greenway, 1999) โดยกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมี ดังนี้

ก. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนที่เป็นของแข็งแขวนลอยจะวัดในรูปปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid; TSS) ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยการตกตะกอนในบริเวณใกล้กับทางน้ำเข้า ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะวัดในรูปของบีโอดี (biological oxygen demand; BOD) ซึ่งจะอยู่ในน้ำเสีย ในรูปน้ำตาล แป้ง หรือเซลลูโลสโมเลกุลเล็กๆ จากซากพืชจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน เปลี่ยนคาร์บอนกลับสู่

บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน หรือการเก็บสะสมในรูปของมวลชีวภาพของพืช (Kadlec, 1995)

อัตราการลดค่าบีโอดีขึ้นกับชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบและชนิดพืช และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง ธาตุอาหารและดินในระบบ (ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล, 2539)

ข. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ไปเป็นสารอนินทรีย์ในรูปที่ละลายน้ำโดยกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ซึ่งมีแบคทีเรียทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สารอนินทรีย์ในรูปต่างๆ ก็อาจเกิดการเปลี่ยนรูปโดยแบคทีเรียเช่นกัน กระบวนการดังกล่าวมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่น แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้มีความสำคัญในวัฏจักรของน้ำเสีย เพราะทำให้เกิดธาตุอาหารซึ่งพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ สามารถนำไปใช้ได้ การบำบัดไนโตรเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เกิดกระบวนการต่างๆ คือ ไนโตรเจนในรูปอนุภาคจะถูกบำบัดโดยกระบวนการตกตะกอน ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปที่ละลายน้ำ ทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจน จะถูกบำบัดโดยอาศัยบทบาทของพืช ดิน และจุลินทรีย์ร่วมกัน โดยอินทรีย์ไนโตรเจน จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันได้เป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ และแอมโมเนียมไอออนก็สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียระเหยสู่บรรยากาศได้บางส่วนจะจับกับประจุลบของดินเลนแล้วสะสมในดินชั้นล่างซึ่งมีออกซิเจนต่ำกว่าดินชั้นบน เนื่องจากออกซิเจนสามารถซึมลงสู่ดินชั้นบนได้ดีกว่าดินชั้นล่าง ประกอบกับอัตราการแพร่ของแอมโมเนียมไอออนจากดินชั้นล่างขึ้นมาสู่ดินชั้นบนช้ามาก แอมโมเนียมไอออนจึงมีความเข้มข้นสูงในดินชั้นล่าง นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดในดินชั้นบนสามารถใช้แอมโมเนียมไอออนในการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ได้เป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไนเตรทไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของรากพืชด้วย (Robutson และ Alongi, 1992)

ไนเตรทจะอยู่ในสภาวะที่เคลื่อนย้าย (mobile) ได้ในระบบ จึงมีไนเตรทส่วนหนึ่งถูกแบคทีเรีย *Pseudomonas denitrificans* นำไปใช้ในกระบวนการหายใจในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนระเหยไปในบรรยากาศ โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีปัจจัยบางอย่างเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดกระบวนการดังกล่าว เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียล (น้อยกว่า +747 mV (Schlesinger, 1997)) ปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนเตรทที่สามารถนำไปใช้ในการะบวนการได้ (Johnston, 1991)

นอกจากนี้ก๊าซไนโตรเจนบางส่วน จะถูกแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดดึงไปใช้ได้ ก๊าซไนโตรเจนจึงเปลี่ยนมาอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนของเซลล์ (Gosselink และ Mitsch, 2000)

Brix (1997) กล่าวว่า ความสามารถของพืชในการนำไนโตรเจนไปใช้นั้น จะมีประสิทธิภาพ ก็ต่อเมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชออกจากระบบบ้าง

ค ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสจะถูกบำบัดในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเกิดกระบวนการทั้งทางกายภาพและเคมี คือ (1) การดูดซับ (adsorption) ของไอออนฟอสเฟตกับออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมที่ผิวของอนุภาคของดินเลนหรืออินทรียวัตถุ โดยการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี แต่โดยทั่วๆ ไปจะเกิดกระบวนการทางกายภาพมากกว่า ซึ่งมีผลให้ไอออนฟอสเฟตรวมอัดตัว (condensation) อยู่รอบๆ ผิวของอนุภาคดินเลน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) (2) การก่อตะกอนผลึกของฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำกับเหล็ก แคลเซียมและอลูมิเนียม ในสภาวะที่มีออกซิเจน (3) การเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ซึ่งมีประจุลบกับไอออนของเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม หรือแมกนีเซียมไอออน ที่ละลายอยู่ในน้ำตามช่องว่างในดิน ซึ่งมีประจุบวก (4) พืชดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่กระบวนการนี้เกิดได้น้อย (Gosselink และ Mitsch, 2000)

ดังนั้นดินจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัส ดินที่มีส่วนประกอบของเหล็ก แคลเซียมและอลูมิเนียมจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการบำบัด พื้นที่ชุ่มน้ำบางแห่งจึงไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส (Gosselink และ Mitsch, 2000)

การบำบัดฟอสฟอรัสทางเคมีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียล ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ปริมาณเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และอนุภาคดินเหนียวในดิน เป็นต้น (Keddy, 2002) โดยที่เมื่อดินในระบบเป็นกรด ฟอสฟอรัสจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอลูมิเนียมเกิดเป็นอลูมินัมฟอสเฟต หรือเหล็กฟอสเฟตแล้วตกตะกอน แต่ถ้าดินในระบบเป็นด่างฟอสฟอรัสจะดูดซับกับแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้วตกตะกอน (Gosselink และ Mitsch, 2000)

2.4 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) เป็นระบบที่ถูกสร้างขึ้นเลียนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ โดยจำลองระบบนิเวศตามแบบธรรมชาติ พืช และดินในระบบเป็นชนิดเดียวกับในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะ (Novotny และ Olem, 1994) น้ำเสียที่

เหมาะสมในการบำบัดโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเป็นน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของธาตุอาหารของพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากเกษตรกรรม และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นต้น

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

(1) ระบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (free water surface system, FWS) ระบบนี้ประกอบด้วยบ่อดินที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อย มีระดับน้ำลึกประมาณ 10-60 ซ.ม. น้ำเสียควรไหลลงบ่อช้าๆ และควรปรับพื้นให้น้ำเสียไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน โครงสร้างของระบบมีหลายส่วน ได้แก่ ส่วนที่ปลูกพืชที่มีลักษณะโผล่พ้นน้ำและรากพืชยึดเกาะดิน เพื่อช่วยในการกรอง และการตกตะกอนของสารแขวนลอย รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้บำบัดสารแขวนลอย และบีโอดีได้บางส่วน ในส่วนนี้มีออกซิเจนละลายน้อย ทำให้เกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งสามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจนได้ ส่วนที่มีพืชชนิดที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน น้ำเสียจะได้สัมผัสกับอากาศและแสงแดด ทำให้มีการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลาย จึงสามารถบำบัดบีโอดี และสารประกอบไนโตรเจนส่วนที่เหลือได้ ระบบนี้ควรมีระยะเวลากักเก็บน้ำประมาณ 4-15 วัน

(2) ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow system, SFS) ระบบนี้ต้องปรับส่วนก้นบ่อให้มีความลาดประมาณ 0.5-1.0% เพื่อไม่ให้เกิดการขังของน้ำเสียในบ่อ ระบบนี้อาศัยการเติมอากาศโดยพืชเป็นหลัก และตัวกลางอาจจะเป็นดิน กรวด หรือหิน ช่วยทำให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบ การรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก และการกรองสารแขวนลอยต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547 และ เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

2.5 หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบการกักเก็บน้ำสลับกับการปล่อยให้แห้ง

หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบการกักเก็บน้ำสลับกับการปล่อยให้แห้ง (alternated flooding and drying system) ในการศึกษาครั้งนี้ อาศัยหลักของน้ำขึ้น-น้ำลง ในพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในสภาพธรรมชาติ ซึ่งการขึ้นและลงของน้ำก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำ กล่าวคือ ในช่วงเวลาน้ำขึ้นจะเกิดการท่วมขังของน้ำเกิดสภาพรีดักชัน และในช่วงเวลาน้ำลงจะเกิดสภาพออกซิเดชัน (Catallo, 1999) การบำบัดน้ำเสียโดยการเลียนแบบระบบการขึ้นลงของน้ำทะเลนี้หากมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำและปล่อยให้แห้งที่เหมาะสมแล้ว จุลินทรีย์ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้ามีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำและปล่อยให้แห้งไม่เหมาะสม นอกจากประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารต่ำแล้ว อาจมีผลเสียต่อสภาพดินและพืชในระบบด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของดิน ชนิดพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ โดยสามารถสรุปหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบดังนี้

2.5.1 การเกิดสภาพไร้ออกซิเจน

ดินที่อยู่ในสภาพน้ำท่วมขังจะเกิดการลดลงของออกซิเจน เพราะน้ำที่ท่วมขังอยู่หน้าดินจะทำให้ออกซิเจนจากบรรยากาศซึมผ่านลงไปในดินได้น้อย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านน้ำนิ่งช้ากว่าในอากาศ 10,000 เท่า จากนั้นออกซิเจนที่อยู่ตามช่องว่างในดิน จะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) นำไปใช้ในกระบวนการหายใจ จึงเกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ ในดิน องค์ประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปในดินย่อมก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพของระบบได้ (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528 อ้างถึงใน สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538)

2.5.2 การเกิดรีดักชันและปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องในระบบบำบัด

การมีน้ำท่วมขังจะทำให้ออกซิเจนถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว โดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (faculative bacteria) และที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic bacteria) จะยังคงมีกิจกรรมต่อไป โดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดิน ซึ่งได้มาจากอินทรียวัตถุและมีระดับออกซิเดชันสูงเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันต่างๆ ขึ้น สารประกอบอินทรีย์ที่มีความสามารถในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในดิน ได้แก่ ไนเตรท แมงกานีสออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ ซัลเฟต และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งได้มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ โดยที่เคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชัน และชนิดตลอดจนปริมาณของสารที่ได้จากการเกิดรีดักชัน ขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือ (1) ธรรมชาติและปริมาณของอาหารของจุลินทรีย์ (อินทรียวัตถุ) หรือตัวให้อิเล็กตรอน (2) อุณหภูมิ (3) ความเป็นกรด-ด่าง (4) ชนิดและปริมาณของตัวรับอิเล็กตรอน และระยะเวลาของการกักเก็บน้ำในระบบ

กรณีที่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมีสารอินทรีย์ที่สามารถถูกใช้ได้ทันที มีอุณหภูมิประมาณ 40 °C ความเป็นกรด-ด่างใกล้สภาพที่เป็นกลาง และมีตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถสูงไม่มาก หรือไม่มีเลย การเกิดรีดักชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้สารประกอบซึ่งมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนสูง ในขณะที่ดินมีน้ำท่วมขังอนุมูลไนเตรทจะเป็นอนุมูลตัวแรกที่ทำหน้าที่ต่อจากออกซิเจน และชะลอการเกิดรีดักชันของดิน โดยรักษาระดับ E_H ระหว่าง 200-400 mV ซึ่งเมื่ออนุมูลไนเตรทถูกใช้ไปจนหมด อนุมูลเฟอรัส (Fe_2^+) อนุมูลแมงกานัส (Mn_2^+) และสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538)

2.5.3 การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินที่มีน้ำท่วมขังเพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารต่างๆ สามารถนำระบบการกักเก็บน้ำสลับกับการปล่อยให้แห้งมาประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม เพราะสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปธาตุอาหารทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน การกักเก็บน้ำสลับกับการปล่อยให้แห้งนั้น เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากเมื่อจุลินทรีย์ได้รับพลังงาน จากการใช้สารอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยารีดักชันแล้ว กิจกรรมของจุลินทรีย์จะน้อยลง เนื่องจากจุลินทรีย์ขาดพลังงาน แต่ถ้าระบบมีการระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้ดินแห้งระยะหนึ่งให้ออกซิเจนในบรรยากาศสามารถแพร่ลงในดินได้ จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนีย ไปเป็นไนเตรท และไนเตรทจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดักชันในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนต่อไป (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528 อ้างถึงใน สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2538)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กนกพร บุญส่ง และอภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ (2538) ได้ทำการศึกษาการอนุรักษ์ป่าชายเลนควบคู่กับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่างคุ้งกระเบน อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี พบว่าป่าชายเลนบริเวณอ่าวคุ้งกระเบนมีไม้โกงกางเป็นพันธุ์ไม้เด่น กระจายครอบคลุมพื้นที่รอบอ่าว เป็นแนวกว้าง 40-120 เมตร สำหรับบทบาทในการรองรับน้ำเสียจากนากุ้ง จากการคาดประมาณธาตุอาหารที่พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนสามารถนำไปใช้ พบว่าพันธุ์ไม้ทั้งหมดสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้ประมาณ 34.848 กก./ไร่/ปี และฟอสฟอรัส 4.650 กก./ไร่/ปี ตามลำดับ (คาดประมาณจากค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิและองค์ประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ ของพืช) แต่ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากนากุ้งในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบนมีประมาณ 162.624 และ 30.4 กก./ไร่/ปี ตามลำดับซึ่งเมื่อเทียบสัดส่วน พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดในอ่าวคุ้งกระเบนซึ่งมีประมาณ 1,000 ไร่ ไม่เพียงพอที่จะบำบัดของเสียจากนากุ้งในบริเวณดังกล่าวซึ่งมีพื้นที่ 582.32 ไร่ได้

จันทวรรณ วรรธนะพงษ์ (2539) ศึกษาการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำท่วมขังสลับแห้งร่วมกับพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3, 5 และ 7 วัน สลับแห้ง 3 วัน โดยใช้พืช 2 ชนิด คือ กกกลม *(Cyperus corymbosus)* ธูปฤาษี (*Typha* spp.) และระบบควบคุมซึ่งไม่ปลูกพืช พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วันและ 7 วัน ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่าระยะเวลากักเก็บ 3 วัน แต่สำหรับฟอสฟอรัส พบว่าระยะเวลากักเก็บน้ำไม่มีผลต่อการบำบัดธาตุอาหารดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าระบบที่ปลูกพืชสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่าระบบที่ไม่ปลูกพืช เมื่อพิจารณาการสะสมของธาตุอาหารในดิน พบว่า

ระยะเวลากักเก็บน้ำและชนิดพืช มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัด

พูนศรี เมืองส่ง และสนิท อักษรแก้ว (2540) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง อ.เมือง จ.ระนอง โดยทำการเก็บข้อมูลพันธุ์ไม้ 4 ชนิด อายุประมาณ 2 ปี ในแปลงปลูก ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) พบว่าโกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและมวลชีวภาพรวม (มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก) ดีที่สุด รองลงมาคือโกงกางใบเล็ก ถั่วขาว และโปรงแดง ตามลำดับ

สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ศึกษาการใช้ป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสีย บริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี ทดลองโดยวางแปลงทดลอง 3 ประเภท คือ 1) แปลงป่าธรรมชาติ ซึ่งมีไม้แสมทะเล *(Avicennia marina)* และแสมขาว *(Avicennia alba)* เป็นพันธุ์ไม้เด่น 2) แปลงป่าธรรมชาติรวมกับแปลงปลูก และ 3) แปลงปลูกใหม่ ซึ่งมีพันธุ์ไม้ 4 ชนิด คือ โกงกางใบเล็ก แสม (*Avicennia* spp.) ถั่วขาว และโปรงแดง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ ภายหลังระยะเวลากักเก็บ 2 สัปดาห์ พบว่าป่าชายเลนธรรมชาติสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด คือ มีการลดลงของค่า BOD และ COD มากที่สุด ในขณะเดียวกัน DO ก็เพิ่มมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในป่าธรรมชาติมีไม้แสมเป็นพันธุ์ไม้เด่น ดังนั้นจึงมีระบบรากกระจายไปตามผิวดิน สามารถทำให้เกิดการแพร่ของออกซิเจนในน้ำซึ่งเป็นผลจากการสังเคราะห์แสงได้สูง และรากสามารถตรึงออกซิเจนได้มาก ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง นอกจากนี้รากไม้พวกนี้มี multi epidermis ทำหน้าที่ดูดดึงน้ำและแร่ธาตุ และยังทำหน้าที่เป็น ultrafilter ในการกรองธาตุอาหารจากน้ำเสียด้วย

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2538) ศึกษาการใช้ดินเลน ในสภาพน้ำท่วมขังสลับแห้งร่วมกับพืชเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทำการทดลอง 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 เพื่อหาชนิดพืชที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในอัตราส่วนของดินเลน : ทรายที่แตกต่างกัน โดยใช้ดินเลนผสมทราย 5 ระดับคือทรายร้อยละ 0, 25, 20, 75 และ 100 ใช้พืช 3 ชนิดคือ กกกลม (*Cyperus corymbosus*) หญ้าคาร่า (*Leptoschlosa fusca*) และธูปฤาษี (*Typha* spp.) และกักเก็บน้ำเสียจากบึงมักกะสันที่ระดับ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันแล้วปล่อยให้แห้ง 2 วัน ในสภาพเรือนทดลอง พบว่าดินเลนที่ผสมทรายร้อยละ 25 ทำให้กกกลมเจริญเติบโตดีที่สุด ระยะที่ 2 ใช้พืชและเนื้อดินในอัตราส่วนดังกล่าวเพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่อ โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วันปล่อยให้แห้ง 3 วัน ที่ระดับน้ำท่วมขัง 15 เซนติเมตรจากผิวดิน จากนั้นกักเก็บน้ำใหม่แล้วปล่อยให้แห้งอีก ตลอดช่วงระยะเวลา 3 เดือน พบว่ากกกลมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุด และระบบดังกล่าวก็ยังคงมีประสิทธิภาพสูงโดยตลอดช่วงการทดลอง และพบว่าถ้าตัดพืชทุกๆ 3 เดือน จะสามารถลดระยะเวลากักเก็บน้ำเหลือเพียง 5 วันแล้วปล่อยให้แห้ง 2 วันโดยที่ระบบยังมีประสิทธิภาพสูงเหมือนเดิม

อาภรณ์ ยิ่งยง (2539) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี และซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3, 5 และ 7 วัน สลับแห้ง 3 วัน ใช้พืช 2 ชนิด คือ กกกลม และธูปฤาษี พบว่าระยะเวลากักเก็บน้ำมีผลต่อการบำบัดบีโอดี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน สามารถบำบัดบีโอดีได้ 94.9 และ 93.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ซึ่งสามารถบำบัดบีโอดีได้ 90.1 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า กกกลมและธูปฤาษี สามารถบำบัดบีโอดีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการบำบัดซีโอดี ระยะเวลากักเก็บน้ำไม่มีผลต่อการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Limon และคณะ (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า E_H กับปริมาณออกซิเจนละลายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยทำการทดลองในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร แบ่งเป็น 2 ชุดทดลอง คือ ชุดที่ปลูกธูปฤาษี (*Typha latifolia*) และชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) แต่ละชุดทดลองเติมน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำสะอาด ให้มีระยะเวลากักเก็บน้ำประมาณ 4 วัน ทำการวัดค่า E_H ที่ระดับ 2, 10 และ 30 เซนติเมตร จากผิวดิน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกธูปฤาษีและเติมน้ำเสียสังเคราะห์ จะมีค่า E_H สูงที่ระดับ 2 เซนติเมตรจากผิวดิน เพราะพืชสามารถเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดสู่ราก ทำให้ออกซิเจนแพร่ในดินได้ ส่วนที่ระดับ 10 และ 30 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นส่วนรากพืชจะมีค่า E_H ต่ำ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในส่วนรากพืชลดลง เพราะจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารจากน้ำเสีย แต่สำหรับชุดควบคุมซึ่งไม่ปลูกพืชจะมีค่า E_H ต่ำ และเป็นค่าลบในทุกระดับความลึกจากผิวดิน สำหรับการให้น้ำสะอาดซึ่งไม่มีธาตุอาหาร พบว่าทั้งชุดทดลองที่ปลูกธูปฤาษีและชุดควบคุมจะมีค่า E_H สูงเพราะไม่มีธาตุอาหาร ดังนั้นจุลินทรีย์จึงไม่ต้องการออกซิเจนในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร

Okurut และคณะ (1999) ศึกษาอัตราการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมซึ่งสร้างด้วยคอนกรีต โดยใช้พืช 2 ชนิด คือ พืชจำพวกกก *Cyperus papyrus* และพืชจำพวกอ้อ *Phragmites maurutianu* พบว่า บีโอดีและปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่า 20 และ 25 mg l^{-1}ตามลำดับ นอกจากนี้ระบบที่ปลูกพืชจำพวกกกมีอัตราการลดซีโอดี แอมโมเนียและออร์โธฟอสเฟตได้ 3.75, 1.01 และ 0.05 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และระบบที่ปลูกพืชจำพวกอ้อ มีอัตราการลดค่าดังกล่าวได้ 1.52, 0.97 และ 0.068 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

Richardson และ Sherwood (2001) ศึกษาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงค่า E_H กับระดับความลึกของดิน และเปรียบเทียบค่า E_H ระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติที่มีสภาพปกติกับพื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดยูโทรฟิเคชัน โดยทำการศึกษาในบริเวณตอนเหนือของรัฐฟลอริด้า สหรัฐอเมริกา พบว่าค่า E_H จะลดลงตามการเพิ่มของระดับความลึกจากผิวดินลงมาประมาณ 10 เมตร สำหรับที่ระดับความลึกมากกว่า 10 เมตร ค่า E_H ลดลงเล็กน้อยถึงค่อนข้างคงที่ และในบริเวณที่เกิดยูโทรฟิเคชันจะมีค่า E_H ในทุกระดับความลึกต่ำกว่าบริเวณที่ไม่เกิดยูโทรฟิเคชัน

Tam และ Wong (1996) ทดลองผ่านน้ำเสียลงในคอลัมน์ดินป่าชายเลน 2 ชนิด คือ ดินจากประเทศฮ่องกงซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย และดินจากประเทศจีนซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว แล้วประเมินธาตุอาหารและโลหะหนักที่ถูกเก็บไว้ในดินทั้ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งใช้น้ำทะเลสังเคราะห์ พบว่าดินทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณอินทรียวัตถุ อนินทรีย์ไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าชุดควบคุม แสดงว่าดินป่าชายแลนมีความจุในการกักเก็บธาตุอาหารได้สูงมาก นอกจากนี้ยังพบว่า ดินจากประเทศฮ่องกงซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายมีอินทรียวัตถุและธาตุอาหารต่างๆ ต่ำกว่าดินจากประเทศจีนซึ่งเป็นดินเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าความสามารถของดินป่าชายเลนในการกักเก็บอินทรียวัตถุและธาตุอาหารแตกต่างกันตามชนิดของดิน

Toet (2003) ศึกษาความสามารถของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นที่ 3 โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาแล้ว 2 ขั้นตอน คือ การบำบัดฟอสเฟตโดยใช้ $FeSO_4$ และผ่านบ่อเติมอากาศ แต่เนื่องจากคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้ง 2 ขั้นตอน มีคุณภาพไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศเนเธอร์แลนด์ จึงได้ใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจาก 2 ขั้นตอนแรกต่อ เริ่มทำการทดลองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2541 โดยแปรผันระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย ตั้งแต่ 1 วัน ถึง 12 วัน พบว่าน้ำที่ออกจากระบบมีออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย ซึ่งจะเห็นชัดในฤดูหนาวที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสูง และความเข้มข้นของไนเตรท ก็มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียเช่นกัน แต่โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างตามฤดูกาล สำหรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียในช่วงฤดูหนาว และฤดูใบไม้ร่วง แต่จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียในฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อน ซึ่งอาจเป็นผลจากน้ำในระบบได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจากการร่วงหล่น และเกิดการย่อยสลายของพืช เพราะมวลชีวภาพของพืชในระบบลดลงในฤดูกาลนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาผลของสภาพน้ำท่วมขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. ดำเนินการศึกษา ณ พื้นที่ปฏิบัติการของภาควิชาพฤกษศาสตร์ บริเวณบ้านเด็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้น้ำเสียชุมชนแก่ชุดทดลองที่มีปัจจัยในการทดลองแตกต่างกัน 4 ปัจจัย คือ

1) ปัจจัยระยะเวลาการกักเก็บน้ำ

2) ปัจจัยระยะเวลาการปล่อยให้แห้ง ภายหลังจากการกักเก็บน้ำเสียในระบบ

โดยแบ่งระบบทดลอง โดยรวมปัจจัยที่ 1 และ 2 ได้เป็น 3 ระบบทดลอง คือ ระบบที่ 1 กักเก็บน้ำ 5 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วันตามลำดับ ระบบที่ 2 กักเก็บน้ำ 7 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ และระบบที่ 3 กักเก็บน้ำ 10 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ระบบทดลองตามปัจจัยระยะเวลาการกักเก็บน้ำและปัจจัยระยะเวลาการปล่อยให้แห้ง

การกักเก็บน้ำ	ระบบทดลอง		
	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3
กักเก็บน้ำ	5 วัน ปล่อยให้แห้ง 3 วัน	7 วัน ปล่อยให้แห้ง 3 วัน	10 วัน ปล่อยให้แห้ง 3 วัน
กักเก็บน้ำใหม่	5 วัน ปล่อยให้แห้ง 5 วัน	7 วัน ปล่อยให้แห้ง 5 วัน	10 วัน ปล่อยให้แห้ง 5 วัน
กักเก็บน้ำใหม่	5 วัน ปล่อยให้แห้ง 7 วัน	7 วัน ปล่อยให้แห้ง 7 วัน	10 วัน ปล่อยให้แห้ง 7 วัน

3) ปัจจัยชนิดดิน แต่ละระบบทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ดินเลน และกลุ่มที่ 2 ดินเลน : ทราย (1:1)

4) ปัจจัยของพืช แต่ละกลุ่มชนิดดินแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มย่อยที่ 1 ปลูกพืช (โกงกางใบใหญ่) และกลุ่มย่อยที่ 2 ไม่ปลูกพืช (ควบคุม)

แต่ละชุดทดลองจะมี 2 ซ้ำ (replicate) ดังนั้นจำนวนชุดทดลองทั้งสิ้นมี 24 ชุด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชุดทดลองตามปัจจัยการทดลอง

ระบบทดลอง	ชุดทดลอง			
	ดินเลน (A1)		ดินเลน : ทราย (A2)	
	ปลูกพืช (B1)	ไม่ปลูกพืช (B2)	ปลูกพืช (B1)	ไม่ปลูกพืช (B2)
ระบบที่ 1 กักเก็บน้ำ 5 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (C1)	A1,B1,C1	A1,B2,C1	A2,B2,C1	A2,B2,C1
ระบบที่ 2 กักเก็บน้ำ 7 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (C2)	A1,B1,C2	A1,B2,C2	A2,B2,C2	A2,B2,C2
ระบบที่ 3 กักเก็บน้ำ 10 วัน ปล่อยแห้ง 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (C3)	A1,B1,C3	A1,B2,C3	A2,B2,C3	A2,B2,C3

หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองทุกรอบ จะใส่น้ำประปาลงในทุกชุดทดลองและกักเก็บไว้นาน 5 วัน จากนั้นระบายน้ำออกและปล่อยให้แห้งอีก 5 วัน แล้วเริ่มการทดลองรอบที่ 2 โดยให้น้ำเสียชุมชนแก่ชุดทดลองชุดเดิม แล้วดำเนินการทดลองตามขั้นตอนเดิม (ตารางที่ 3.1) ทำการทดลองทั้งหมด 4 รอบ รวมระยะเวลาทดลอง 6 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง เดือนธันวาคม 2546

3.2 ขอบเขตการทดลอง

3.2.1 สถานที่ทำการทดลอง

พื้นที่วางชุดทดลองขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 10 เมตร อยู่ในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการของภาควิชาพฤกษศาสตร์ บริเวณบ้านเด็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการก่อสร้างโรงเรือนไม้ไผ่ มุงหลังคาด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้ชุดทดลองได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน ดังแสดงในภาคผนวก จ รูปที่ ผ1

3.2.2 น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียในบ่อพักน้ำเสียของอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ผ่านการบำบัดขั้นที่ 1 โดยบ่อตกตะกอน และขั้นที่ 2 โดยระบบโปรยกรอง (trickling filter) จากนั้นเข้าสู่บ่อพักน้ำเสีย ซึ่งมีระบบท่อน้ำล้น เมื่อน้ำเสียถึงระดับจะระบายออกสู่คลองบริเวณหน้าอาคาร

การสูบน้ำเข้าสู่ชุดทดลอง โดยต่อท่อยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาวประมาณ 50 เมตร จากบ่อพักน้ำเสียไปยังถังพักน้ำเสีย ขนาดความจุ 2,000 ลิตร บริเวณสถานที่ทำการทดลอง

3.2.3 ดินที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองใช้ดิน 2 ประเภท คือ ดินเลน และดินเลนผสมทราย ในอัตราส่วน 1:1 โดยดินที่ใช้เป็นดินเลนจากพื้นที่โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ส่วนทรายที่ใช้ผสมเป็นทรายหยาบที่ใช้ในการก่อสร้าง

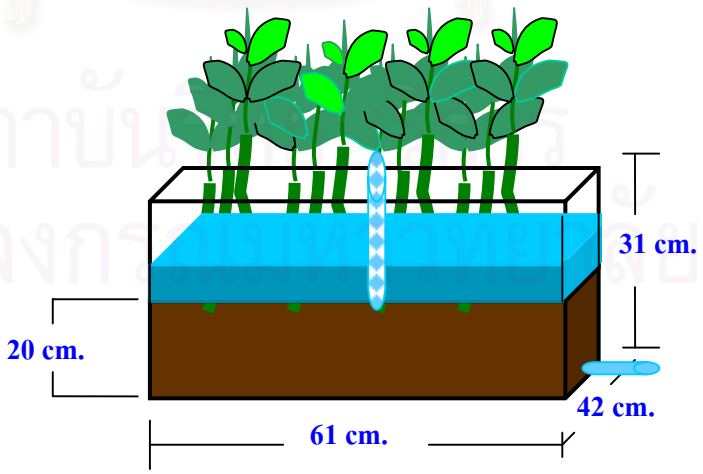
3.2.4 พืชที่ใช้ในการทดลอง

พันธุ์ไม้ที่ใช้ในการทดลองคือ กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. อายุประมาณ 7 เดือน จากสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 (เพชรบุรี) ตำบลบางขุนไทร อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 การจัดสร้างระบบทดลอง

1) เตรียมกระบะพลาสติกขนาด กว้าง 42 เซนติเมตร ยาว 61 เซนติเมตร สูง 31 เซนติเมตร ตรงกลางกระบะต่อท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มายังท่อน้ำออกที่อยู่กลางก้นกระบะทางด้านข้าง ซึ่งท่อ PVC ที่อยู่กลางกระบะจะเจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร โดยรอบ และหุ้มท่อด้วยผ้ากรอง เพื่อกันการอุดตันจากเศษดินและใบไม้ จากนั้นใส่ดินจนถึงระดับความสูง 20 เซนติเมตร จากก้นกระบะ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3.1 ระบบทดลอง

2) ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ กระบะละ 12 ต้น โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 15x15 เซนติเมตร

3) ให้น้ำทะเลเจือจาง ที่มีความเค็มประมาณ 15 ppt แก่กล้าไม้กระบะละ 30 ลิตร เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้กล้าไม้ตั้งตัวและปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ได้ โดยน้ำทะเลเจือจางเตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ จังหวัดสมุทรสาคร หลังจากนั้นให้น้ำจืดแก่กล้าไม้กระบะละ 30 ลิตร ทุกระยะประมาณ 10 วัน แล้วเริ่มทำการทดลองบำบัดน้ำเสีย เมื่อกล้าไม้มีอายุประมาณ 17 เดือน

4) ให้น้ำเสียชุมชนแก่ชุดทดลองตามแผนการทดลองข้างต้น โดยเติมน้ำเสียชุดทดลองละ 30 ลิตร ซึ่งระดับน้ำจะอยู่ที่ประมาณ 10 เซนติเมตร จากผิวดิน

3.3.2 การศึกษาคุณภาพน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำ ทำการเก็บทั้งตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าและออกจากชุดทดลอง โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองจะเก็บในถังพักน้ำเสียจำนวน 3 ตัวอย่าง และน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองจะเก็บที่ปลายท่อน้ำออกจากชุดทดลองทุกชุด โดยปล่อยน้ำเสียในช่วงแรกทิ้ง เก็บน้ำเสียใส่ขวดพลาสติก PET (polyethylene telephatalate) ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป โดยมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. การนำไฟฟ้า (conductivity)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI instrument model 55
2. อุณหภูมิ (temperature)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI instrument model 55
3. ความเค็ม (salinity)	ตรวจวัดภาคสนามโดย YSI instrument model 55
4. ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH)	ตรวจวัดภาคสนามโดย pH meter
5. ออกซิเจนละลาย (DO)	azide modification method (AWWA, 1995)
6. ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids, TSS)	dried at 103 - 105°C (AWWA, 1995)
7. บีโอดี (BOD)	5-day BOD test
8. ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)	Kjeldahl method (Stickland and Parson, 1972)

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
9. แอมโมเนีย–ไนโตรเจน(NH_3-N)	titrimetric method (AWWA, 1995)
10. ไนไตรท์–ไนโตรเจน (NO_2-N)	colorimetric method (Stickland and Parson, 1972)
11. ไนเตรท–ไนโตรเจน (NO_3-N)	cadmium reduction (Stickland and Parson, 1972)
12. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	perchloric digestion และ ascorbic acid method (Stickland and Parson, 1972)
13. ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P)	ascorbic acid method (Stickland and Parson, 1972)

3.3.3 การศึกษาคุณภาพดิน

1) การศึกษาค่าออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียลในดิน ทำการวัดค่าในภาคสนามทั้งในระยะที่มีการกักเก็บน้ำ และระยะปล่อยให้แห้ง โดยทำการวัดเฉพาะในการทดลองรอบที่ 2 โดยวัดค่าที่ระดับความลึก 2, 7 และ 10 เซนติเมตรจากผิวดิน ทุกวันเว้นวัน (ยกตัวอย่างเช่น ในระบบกักเก็บน้ำ 7 วันปล่อยแห้ง 3 วัน ทำการวัดค่าออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียล ในวันที่ 1, 3, 5, และ 7 ของช่วงกักเก็บน้ำ และวันที่ 1 และ 3 ของช่วงการปล่อยให้แห้งภายหลังการระบายน้ำออก)

2) การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

2.1) เก็บตัวอย่างดินจากชุดทดลองทั้ง 24 ชุดก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย และหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละรอบ (ทำการทดลอง 4 รอบ) รวมเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 5 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างที่ผิวหน้าดินถึงลึกลงไปจากผิวดินประมาณ 5 เซนติเมตร

2.2) นำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งประกอบด้วยไนเตรท–ไนโตรเจน (NO_3-N) และแอมโมเนีย–ไนโตรเจน (NH_3-N) ทันที ตัวอย่างดินที่เหลือนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air-dry) แล้วบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ pH การนำไฟฟ้า และปริมาณขนาดอนุภาคดิน อีกส่วนหนึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน โดยมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ออกซิเดชัน–รีดักชัน โพเทนเชียล (oxidation-reduction potential; ORP)	ตรวจวัดภาคสนามโดย ORP Meter
2. ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH)	1:1 soil : water extract, pH meter
3. การนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC)	1:1 soil : water extract, glass electrode
4. ปริมาณขนาดอนุภาคดิน (%sand, %silt, %clay)	hydrometer method (Smith และ Atkinson, 1975)
5. เนื้อดิน (texture)	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ขนาดอนุภาคดินกับตารางชั้นเนื้อดิน
6. ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)	Kjeldahl method (Tan, 1996)
7. แอมโมเนีย–ไนโตรเจน (NH_3-N)	extract with KCl และ steam distillation (Black, 1965)
8. ไนเตรท–ไนโตรเจน (NO_3-N)	extract with KCl และ steam distillation (Black, 1965)
9. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	perchloric acid method โดยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) (Jackson, 1975)

3.3.4 การศึกษากล้าไม้

การศึกษากล้าไม้ แบ่งเป็นการศึกษาการเจริญเติบโต และการศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ โดยทำการศึกษาในช่วงก่อนการทดลอง และหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละรอบ รวมการศึกษาพืชทั้งหมด 5 ครั้ง

1) การศึกษาการเจริญเติบโต

บันทึกการเจริญเติบโตของกล้าไม้ทุกต้นของแต่ละชุดทดลอง โดยใช้ไม้เมตรในการวัดความสูงและใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น ที่ตำแหน่ง 0 และ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน

2) การศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ

เก็บตัวอย่างใบพืชในทุกชุดทดลอง โดยเก็บจากทุกต้นของแต่ละชุดทดลอง แล้วนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air-dry) บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60-70°C เก็บตัวอย่างพืชที่อบแล้วไว้ใน descicator แล้วนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารดังพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)	Kjeldahl method (Jackson, 1967)
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	ammonium metavanadate (Reuter และ Robinson, 1986 อ้างถึงใน ประโสด ธรรมเขต, 2540)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.4.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองแต่ละครั้งและแต่ละรอบการทดลอง วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำเข้าและคุณภาพน้ำที่ออกจากชุดทดลอง วิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี pair t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำที่ออกจากทุกชุดทดลอง รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และธาตุอาหารจากน้ำเสีย ทุกชุดทดลอง ตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลองในแต่ละรอบ และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดของการทดลองทั้ง 4 รอบ วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.4.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพและธาตุอาหารในดินทุกชุดทดลอง ตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลองในแต่ละรอบ และเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดลอง และหลังสิ้นสุดการทดลองทั้ง 4 รอบ วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี one-way

ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.4.5 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ทุกชุดทดลอง ตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลองในแต่ละรอบ และเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดลอง และหลังสิ้นสุดการทดลองทั้ง 4 รอบ วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.4.6 เปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุอาหารในกล้าไม้ทุกชุดทดลอง ตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลองในแต่ละรอบ และเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดลอง และหลังสิ้นสุดการทดลองทั้ง 4 รอบ วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 สมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาสมบัติของดินทั้ง 2 ประเภท ที่ใช้ในการทดลอง คือ ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) ในช่วงก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หลังการเตรียมชุดทดลองและให้น้ำทะเลเจือจางแก่ชุดทดลองเพื่อให้กล้าไม้ตั้งตัวและปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่เป็นเวลา 1 เดือนและให้น้ำจืดอีก 8 เดือน รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 9 เดือนแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้ ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีอนุภาคทราย (sand) ระหว่าง 29.70-38.77% อนุภาคทรายแป้ง (silt) ระหว่าง 24.14-33.18% และอนุภาคดินเหนียว (clay) ระหว่าง 35.12-39.30% มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) ส่วนชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) มีอนุภาคทรายระหว่าง 62.70-74.88% อนุภาคทรายแป้งระหว่าง 1.75-14.18% และอนุภาคดินเหนียวระหว่าง 20.94-26.01% มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ผ12) ความเป็นกรด-ด่างของดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 7.95-8.22 และ 8.03-8.20 ตามลำดับ ความเค็ม 4.00-6.85 และ 0.45-2.10 ppt การนำไฟฟ้า 2.00-11.95 และ 0.95-3.91 ms cm^{-1} ทีเคเอ็น 1.46-1.79 และ 0.59-0.75 mg g^{-1} แอมโมเนีย 0.012-0.028 และ 0.010-0.028 mg g^{-1} ไนเตรท 0.007-0.025 และ 0.010-0.028 mg g^{-1} และฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.237-1.330 และ 0.124-0.846 mg g^{-1} โดยตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของดินก่อนการทดลอง

ตารางที่ 4.1 สมบัติของดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) เฉลี่ยในช่วงก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
ความเป็นกรด-ด่าง	8.108±0.111	8.128±0.062
ความเค็ม (ppt)	5.150±1.111	1.075±0.621
การนำไฟฟ้า (ms cm^{-1})	5.040±3.625	2.097±1.112
ทีเคเอ็น (mg g^{-1})	1.607±0.113	0.657±0.061
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg g^{-1})	0.019±0.006	0.020±0.008
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg g^{-1})	0.020±0.007	0.020±0.006
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg g^{-1})	0.765±0.467	0.412±0.296

4.2 คุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำเสียชุมชนและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ภายหลังผ่านการบำบัดโดยชุดทดลอง และการคำนวณเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD (biochemical oxygen demand หรือ ค่าความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์) ธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

4.2.1 คุณภาพน้ำเสียชุมชน

คุณภาพน้ำเสียชุมชนที่เข้าสู่ชุดทดลองแต่ละครั้ง ในแต่ละรอบการทดลองมีค่าผันแปร โดยคุณภาพน้ำเสียชุมชนเฉลี่ย (ตารางที่ 4.2) มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 7.33-7.74 การนำไฟฟ้า 0.66-0.79 ms cm^{-1} ปริมาณออกซิเจนละลาย 0.22-0.42 mg l^{-1} ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 0.02-0.04 mg l^{-1} บีโอดี 40.17-65.31 mg l^{-1} ทีเคเอ็น 39.95-46.91 mg l^{-1} ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย 32.83-36.87 mg l^{-1} ไนไตรท์ 0.00-0.01 mg l^{-1} และไนเตรท 0.00-0.04 mg l^{-1} ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าระหว่าง 0.42-0.58 mg l^{-1} และเป็นออร์โธฟอสเฟต 0.08-0.16 mg l^{-1} จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบความแตกต่างระหว่างน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองแต่ละครั้ง และแต่ละรอบการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่าคุณภาพน้ำเสียแต่ละครั้งและแต่ละรอบที่เข้าสู่ชุดทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลาย บีโอดี ไนเตรท และทีเคเอ็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ชุดทดลองกับลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป (ตารางที่ 2.1) พบว่าน้ำเสียชุมชนที่ศึกษา มีคุณภาพน้ำในทุกองค์ประกอบต่ำกว่าน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไปมาก ทั้งนี้เพราะเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยผ่านบ่อตกตะกอน และระบบโปรยกรอง (trickling filter) มาแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง

พารามิเตอร์	ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 5 วัน			ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 7 วัน			ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 10 วัน			เฉลี่ย
	แห้ง 3	แห้ง5	แห้ง7	แห้ง 3	แห้ง5	แห้ง7	แห้ง 3	แห้ง5	แห้ง7	
pH	7.72 ±0.14	7.73 ±0.64	7.55 ±0.18	7.65 ±0.02	7.59 ±0.42	7.74 ±0.03	7.54 ±0.22	7.33 ±0.25	7.56 ±0.11	7.60 ±0.13
cond. ($ms\ cm^{-1}$)	^{c}0.79 ±0.08	^{b}0.71 ±0.04	^{a}0.69 ±0.02	^{bc}0.76 ±0.02	^{abc}0.73 ±0.02	^{a}0.66 ±0.02	^{ab}0.70 ±0.06	^{a}0.68 ±0.01	^{b}0.71 ±0.02	0.72 ±0.04
DO ($mg\ l^{-1}$)	^{a}0.22 ±0.15	^{a}0.31 ±0.02	^{ab}0.36 ±0.02	^{ab}0.37 ±0.04	^{ab}0.35 ±0.04	^{c}0.42 ±0.06	^{a}0.33 ±0.06	^{a}0.32 ±0.03	^{bc}0.39 ±0.03	0.34 ±0.06
TSS ($mg\ l^{-1}$)	0.02 ±0.02	0.03 ±0.02	0.02 ±0.01	0.04 ±0.00	0.03 ±0.01	0.04 ±0.00	0.02 ±0.01	0.02 ±0.02	0.02 ±0.01	0.02 ±0.01
BOD ($mg\ l^{-1}$)	^{b}62.33 ±7.32	^{abc}57.13 ±10.92	^{ab}47.38 ±7.97	^{abc}58.92 ±5.44	^{c}74.69 ±5.04	^{b}65.31 ±0.99	^{a}40.17 ±6.05	^{ab}49.63 ±13.42	^{abc}56.00 ±13.70	56.84 ±10.30
TKN ($mg\ l^{-1}$)	^{b}47.34 ±4.63	^{ab}43.38 ±3.41	^{a}41.25 ±1.24	^{c}50.37 ±6.60	^{ab}44.01 ±2.87	^{a}40.04 ±2.58	^{ab}41.67 ±1.48	^{ab}43.07 ±3.51	^{a}39.76 ±2.70	43.43 ±3.48
NH_4-N ($mg\ l^{-1}$)	35.09 ±3.68	33.06 ±5.28	32.83 ±0.65	36.87 ±4.50	35.53 ±2.25	34.17 ±2.15	34.07 ±1.87	34.00 ±2.02	33.93 ±0.77	34.39 ±1.26
NO_2-N ($mg\ l^{-1}$)	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.01	0.01 ±0.00	0.00 ±0.00	0.01 ±0.01	0.01 ±0.00
NO_3-N ($mg\ l^{-1}$)	^{ab}0.02 ±0.00	^{ab}0.03 ±0.03	^{ab}0.02 ±0.01	^{ab}0.02 ±0.01	^{ab}0.03 ±0.03	^{ab}0.02 ±0.01	^{ab}0.02 ±0.01	^{b}0.04 ±0.02	^{a}0.00 ±0.00	0.02 ±0.01
TP ($mg\ l^{-1}$)	0.42 ±0.01	0.70 ±0.51	0.45 ±0.04	0.50 ±0.07	0.48 ±0.03	0.48 ±0.05	0.51 ±0.06	0.44 ±0.04	0.50 ±0.07	0.50 ±0.08
PO_4-P ($mg\ l^{-1}$)	0.08 ±0.01	0.23 ±0.27	0.10 ±0.02	0.13 ±0.03	0.11 ±0.02	0.11 ±0.03	0.13 ±0.03	0.09 ±0.02	0.13 ±0.04	0.12 ±0.04

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของคุณภาพน้ำแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง และเปอร์เซ็นต์การบำบัด

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ1) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางถึงด่างปานกลางและมีค่าผันแปรระหว่าง 7.17-9.23 ขณะที่น้ำเข้ามีค่าระหว่าง 7.33-7.74 และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากชุดทดลอง โดยวิธี pair t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการนำน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหาร ทำให้แพลงค์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดี มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง มีผลให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลให้สมดุลของคาร์บอเนตเปลี่ยนไป ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจึงสูงขึ้น (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535)

การนำไฟฟ้า (conductivity)

การนำไฟฟ้าของน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ เช่น กรดอนินทรีย์ ด่างและเกลือ ซึ่งสามารถแตกตัวให้ไอออน ได้แก่ คาร์บอเนต ซัลเฟต ออร์โธฟอสเฟต และไนเตรท เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ2) พบว่ามีความผันแปรสูง โดยมีค่าระหว่าง 0.84-9.07 $ms\ cm^{-1}$ ขณะที่น้ำเข้ามีค่าระหว่าง 0.66-0.79 $ms\ cm^{-1}$ และจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากชุดทดลอง โดยวิธี pair t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำที่ออกจากชุดทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น และจากการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากดินเลนมีความเค็มสูงกว่า (ตารางที่ 4.1) จึงมีปริมาณเกลือสูงกว่า ดังนั้นเมื่อเกลือในดินละลายออกมากับน้ำที่ออกจากชุดทดลอง ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินเลน : ทราย (1:1) ด้วย

ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO)

ผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ3) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเข้ามีค่าระหว่าง 0.22-0.42 $mg\ l^{-1}$ ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 1.68-6.50 $mg\ l^{-1}$ ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองเป็นน้ำเสียที่มาจากบ่อพักน้ำเสียจึงมีออกซิเจนละลายต่ำมาก และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองซึ่งเป็นระบบเปิด และในระบบมีการเติมอากาศโดยลม และ

การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับชุดทดลองด้วย เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำแตกต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 7 วัน ปริมาณออกซิเจนละลายจะสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกพืชมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ผลการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ4) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเข้ามีค่าระหว่าง 0.020-0.040 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.001-0.023 mg l^{-1} นอกจากนี้จะเห็นว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีความผันแปรสูง เนื่องมาจากบางชุดทดลองจะมีสาหร่ายเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มขึ้นได้

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เฉลี่ยในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ4) มีดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่าง 31.11-96.92% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 51.84-92.36% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 45.19-96.61% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 45.19-95.76% และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.3) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช แต่ชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน และชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 วันจะแตกต่างกันระหว่างรอบการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของแต่ละปัจจัยการทดลองต่อเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของชุดทดลองต่างๆ (ตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.1) พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหากระยะเวลากักเก็บน้ำสั้นเกินไปของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะตกตะกอนเพียงบางส่วน และเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำนานถึง 10 วัน อาจเกิดกระบวนการ resuspension กล่าวคือ ตะกอนที่ผิวดิน

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	^{b}80.52±14.77^{b}	76.29±15.74^{b}	^{a}57.07±15.90^{a}	^{a}59.02±18.30^{a}
7	^{a}66.31±21.25^{a}	79.14±17.90^{b}	^{c}86.28±10.41^{b}	^{c}87.07±8.15^{b}
10	^{a}68.97±14.12	71.37±14.96	^{b}67.91±10.82	^{b}67.23±10.83

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	75.94±15.83^{ab}	^{b}84.15±10.89^{ab}	^{c}76.00±16.88^{ab}	68.30±23.22^{a}
5	70.16±17.54	^{a}74.14±15.24	^{a}64.62±16.09	74.11±10.86
7	69.70±20.12	^{a}68.55±18.53	^{b}70.63±17.92	70.91±16.68

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	^{a}69.30±20.51	^{a}68.04±14.18	71.10±15.46	70.84±16.45
ดินเลน : ทราย	^{b}74.57±14.65	^{b}73.19±18.13	69.74±19.32	71.38±18.85

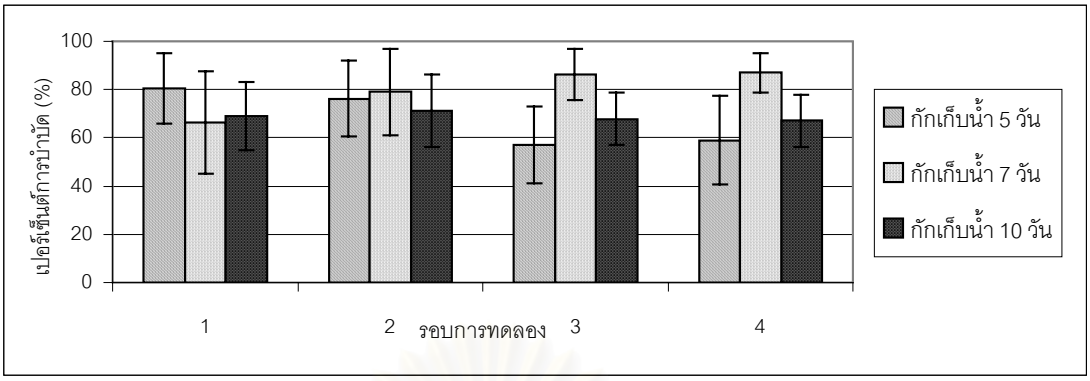
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	^{b}76.06±16.96	^{b}77.84±18.27	^{b}71.63±14.90	70.89±16.91
ไม่ปลูกพืช	^{a}67.81±18.02	^{a}73.38±14.06	^{a}69.21±19.70	71.33±18.44

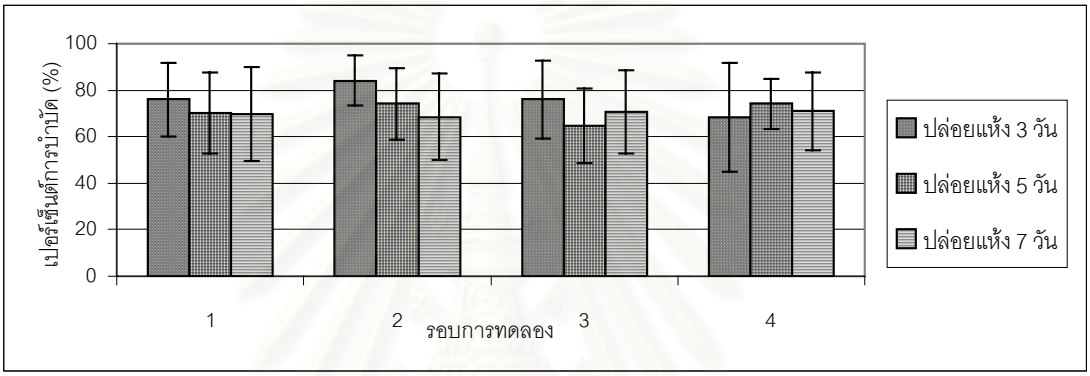
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

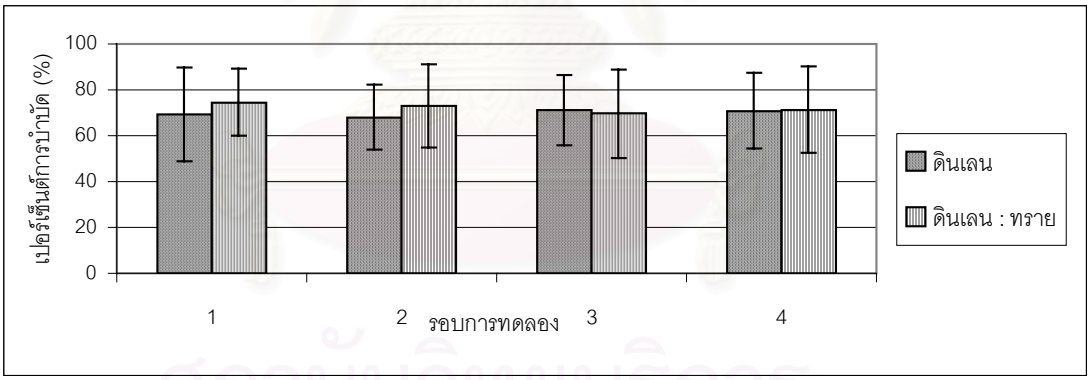
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



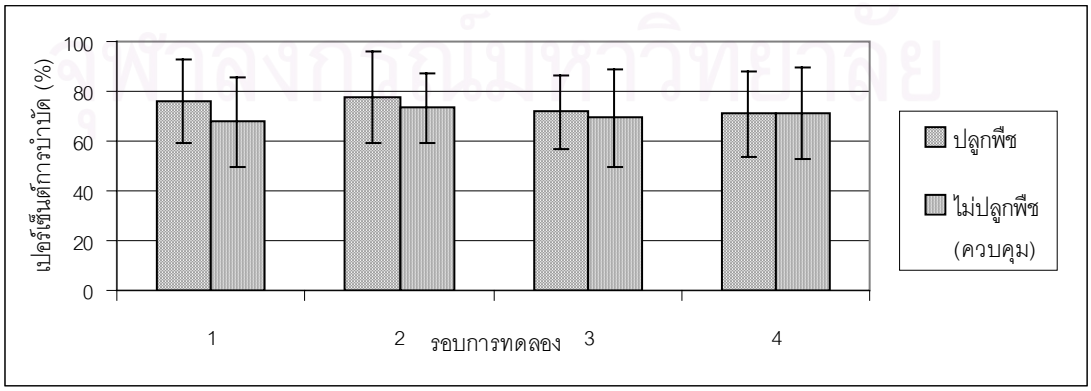
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ฟุ้งกระจายกลับขึ้นมาในน้ำ เนื่องจากเกิดการรบกวนตะกอน (bioturbation) โดยลม หรือก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในดิน เช่น ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ลอยผุดขึ้นมาจากดิน ทำให้ตะกอนที่อยู่ผิวดินเกิดการฟุ้งกระจาย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำจึงเพิ่มขึ้น (Kadlec, 1995)

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดลองรอบที่ 2 และ 3 โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าปล่อยให้แห้ง 5 และ 7 วัน แต่ในการทดลองรอบที่ 1 และ 4 จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) ในการทดลองทั้ง 4 รอบ พบว่าในการทดลอง 2 รอบแรก ชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองดินเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในการทดลองรอบที่ 3 และ 4 จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในรอบแรกๆ อนุภาคของดินเลนในชุดทดลองยังจับตัวกันไม่แน่น อนุภาคบางส่วนจึงสามารถฟุ้งกระจายและปะปนออกมากับน้ำที่ออกจากชุดทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืช และไม่ปลูกพืช พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เพราะกลไกสำคัญในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด คือ การตกตะกอนและการจับไว้โดยรากพืช (Kadlec, 1995) นอกจากนี้พืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะเปรียบเหมือน biofilm ทำหน้าที่กั้นระหว่างผิวน้ำหรือผิวดินกับบรรยากาศ ทำให้ความเร็วและความแรงของลมก่อนที่จะพัดมาถึงผิวน้ำหรือผิวดินลดกำลังลง โดยเมื่อสารแขวนลอยในน้ำเกิดการตกตะกอนแล้วจะไม่ฟุ้งกระจายขึ้นมาอีก (Brix, 1997)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.3) พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกันและระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1)

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 94.20 เปอร์เซ็นต์

บีโอดี (BOD)

บีโอดีเป็นดัชนีใช้บ่งชี้คุณภาพน้ำ แสดงให้เห็นถึงปริมาณการย่อยสลายอินทรียสาร โดยวัดจากระดับความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรีย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) จากผลการศึกษาค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ5) พบว่าค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากชุดทดลองต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเข้ามีค่าบีโอดีระหว่าง 40.17-65.31 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 1.30-13.88 mg l^{-1}

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีเฉลี่ยในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ5) มีดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีระหว่าง 74.54-97.95% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 74.54-97.37% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 83.86-97.12% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 82.91-97.08% พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีค่อนข้างมีความผันแปรระหว่างชุดทดลองในแต่ละรอบ และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.4) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช แต่ชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำแตกต่างกันและชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 และ 5 วันจะมีความแตกต่างระหว่างรอบการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองแต่ละชุดไม่พร้อมกันและใช้เวลาในการทดลองนาน ทำให้ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณบีโอดีในน้ำเข้าของแต่ละชุดทดลองแตกต่างกันจึงมีผลให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีค่อนข้างผันแปรตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี (ตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.2) โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วันมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 และ 7 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดลองรอบที่ 4 เท่านั้น โดยชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1)

เมื่อเปรียบเทียบชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้น่าจะเป็น

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	^{a}83.69±7.66^{a}	^{a}86.66±8.80^{a}	^{a}92.08±4.38^{b}	^{a}91.23±4.41^{b}
7	^{b}94.52±3.15^{ab}	^{c}95.45±1.53^{b}	^{b}95.17±1.19^{b}	^{b}93.44±2.47^{a}
10	^{b}95.51±3.19^{b}	^{b}93.05±4.29^{a}	^{a}92.57±3.88^{a}	^{a}91.64±3.54^{a}

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	^{a}88.29±9.33^{a}	^{a}87.65±9.24^{a}	^{b}94.75±3.12^{b}	^{b}94.14±2.95^{b}
5	^{c}94.30±4.59^{b}	^{b}94.08±3.38^{b}	^{a}92.83±3.16^{ab}	^{a}91.14±2.87^{a}
7	^{b}91.12±6.44	^{b}93.43±4.29	^{a}92.26±4.26	^{a}91.03±4.18

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	90.87±7.54	92.12±6.76	93.16±3.75	^{b}92.49±3.97
ดินเลน : ทราย	91.61±7.32	91.32±6.84	93.38±3.62	^{a}91.71±3.29

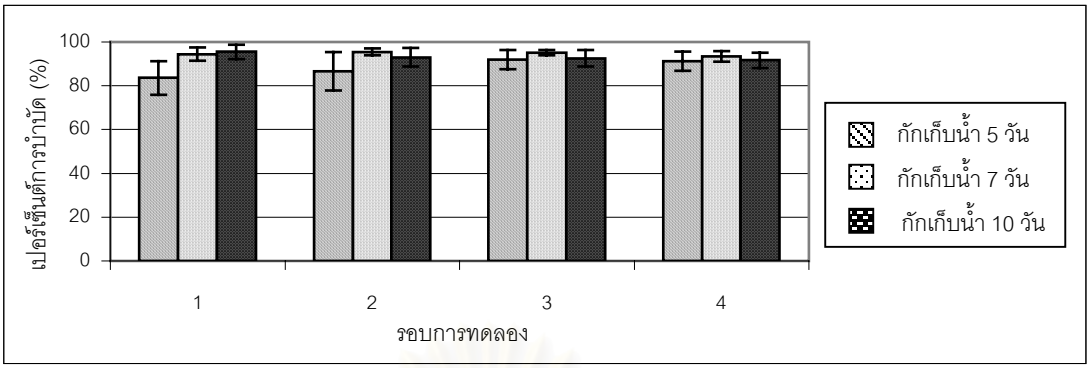
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	^{b}93.01±6.67	^{b}92.95±6.45	^{b}95.18±1.91	^{b}94.04±2.26
ไม่ปลูกพืช	^{a}89.47±7.74	^{a}90.48±6.94	^{a}91.36±4.01	^{a}90.16±3.75

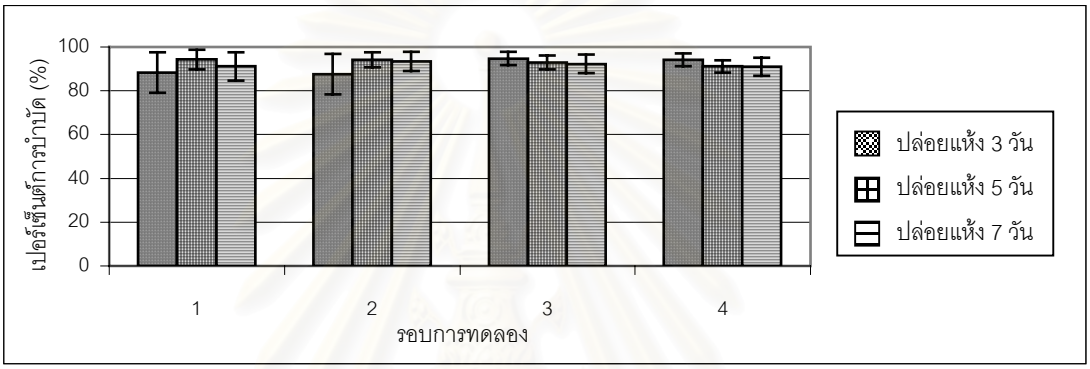
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

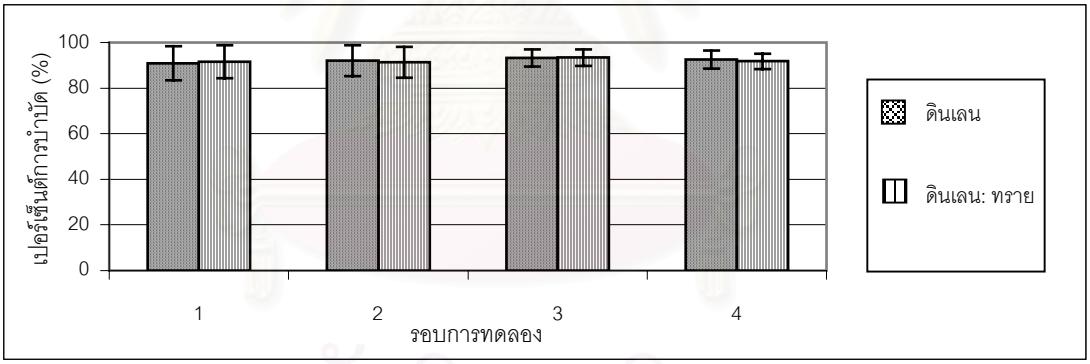
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



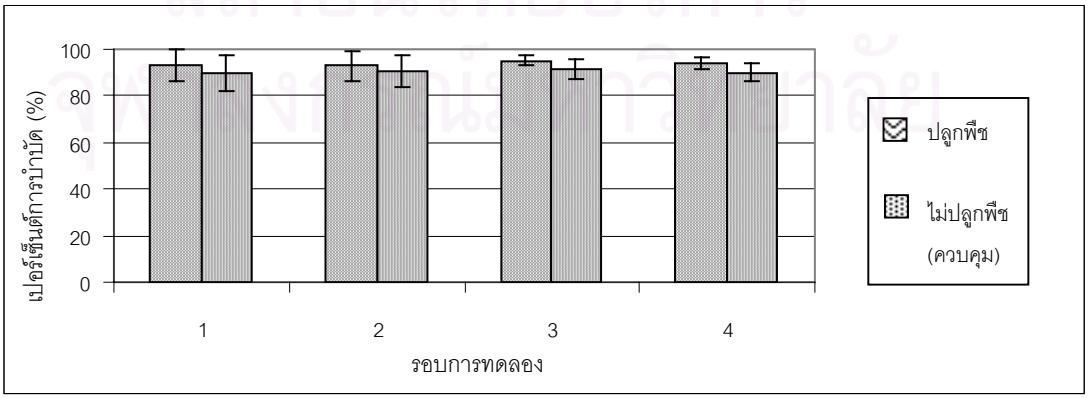
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี

เพราะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบรากใต้ดิน ซึ่งนับเป็นบทบาทสำคัญในการบำบัดบีโอดีและแอมโมเนีย (Reddy และ D'Angelo, 1997)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกันและชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช แต่เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1)

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดบีโอดี เพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 95.39 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน ปริมาณออกซิเจนในดินมีมากพอ โดย E_H มีค่าประมาณ 100 mV (พิจารณาจากค่า E_H ในดินที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.3.1) ซึ่งจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนได้ โดยกระบวนการย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจนนี้ จะเกิดได้เร็วกว่าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ออกซิเจนในดินจะต่ำลงมาก โดย E_H มีค่าประมาณต่ำกว่า 50 mV (พิจารณาจากค่า E_H ในดินที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.3.1) ทำให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการย่อยสลายในสภาวะนี้จะต่ำกว่ากระบวนการย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)

ผลการศึกษาปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ6) พบว่าปริมาณทีเคเอ็นของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่เข้าชุดทดลองมีปริมาณทีเคเอ็นระหว่าง 39.95-46.91 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.63-12.88 mg l^{-1}

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ6) มีผลดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่าง 79.05-97.89% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 73.37-96.55% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 71.25-98.32% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 71.55-98.64% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.5) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืช แต่ชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5, 7 และ 10 วัน และชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วันจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรอบการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.3) ระหว่างชุดทดลองที่มี

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	^{a}88.96±7.99^{b}	^{a}85.36±6.40^{b}	^{a}81.50±5.97^{a}	^{a}79.49±5.37^{a}
7	^{a}90.82±3.88^{b}	^{b}90.89±4.30^{b}	^{b}88.88±4.00^{ab}	^{b}87.95±3.55^{a}
10	^{b}93.53±2.30^{a}	^{c}95.21±2.47^{b}	^{c}95.87±1.73^{b}	^{c}95.61±2.12^{b}

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	^{a}89.98±5.83	^{ab}90.04±6.10	^{a}87.02±7.58	^{a}85.82±8.56
5	^{b}93.66±3.19^{b}	^{a}89.49±7.77^{ab}	^{a}88.36±8.61^{a}	^{b}87.60±8.72^{a}
7	^{a}89.56±6.36	^{b}91.94±5.64	^{b}90.84±4.77	^{c}89.63±4.99

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	91.27±5.29	^{b}92.27±4.06	^{b}89.84±7.41	^{b}88.66±7.60
ดินเลน : ทราย	90.86±5.87	^{a}88.71±7.31	^{a}87.64±7.01	^{a}86.71±7.73

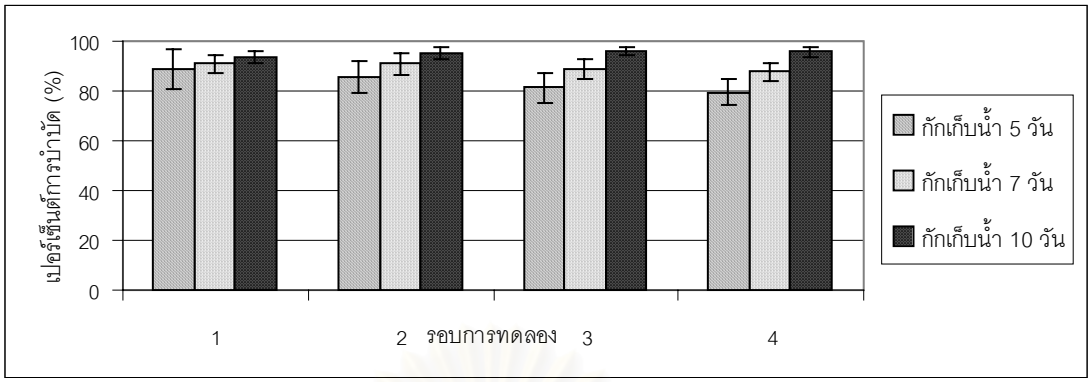
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	91.51±5.43	90.81±5.68	^{b}89.73±7.35	^{b}89.66±7.14
ไม่ปลูกพืช	90.61±5.72^{b}	90.16±6.62^{b}	^{a}87.76±7.11^{ab}	^{a}85.70±7.77^{a}

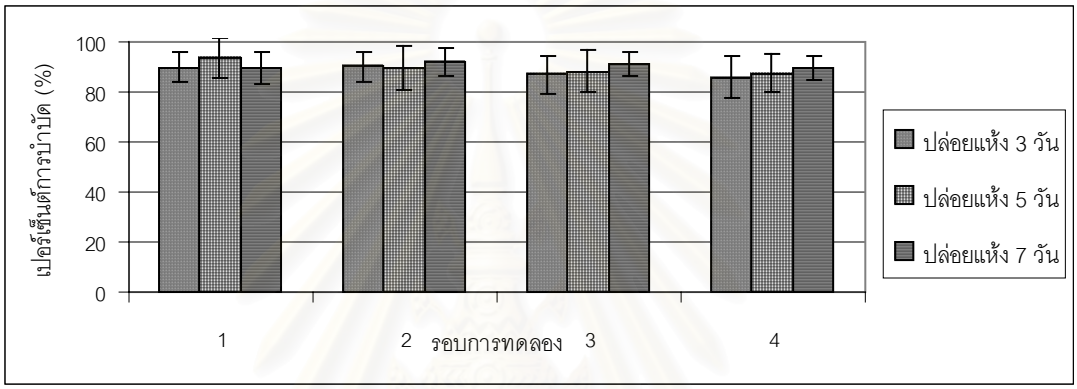
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

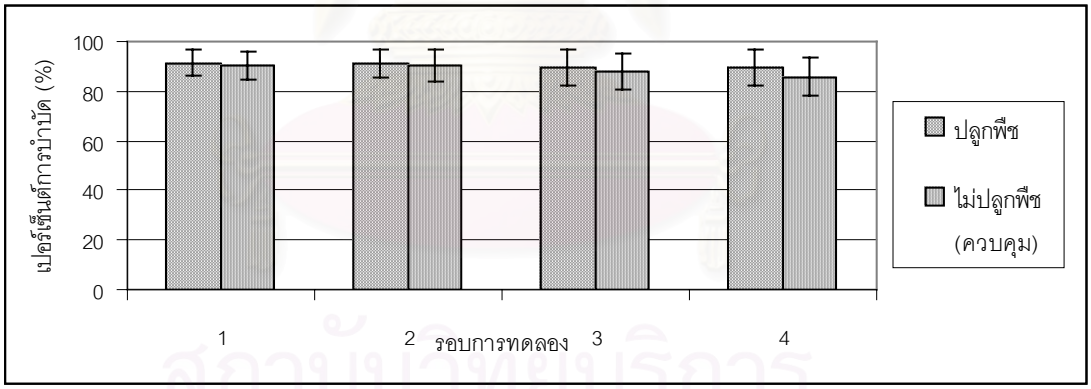
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



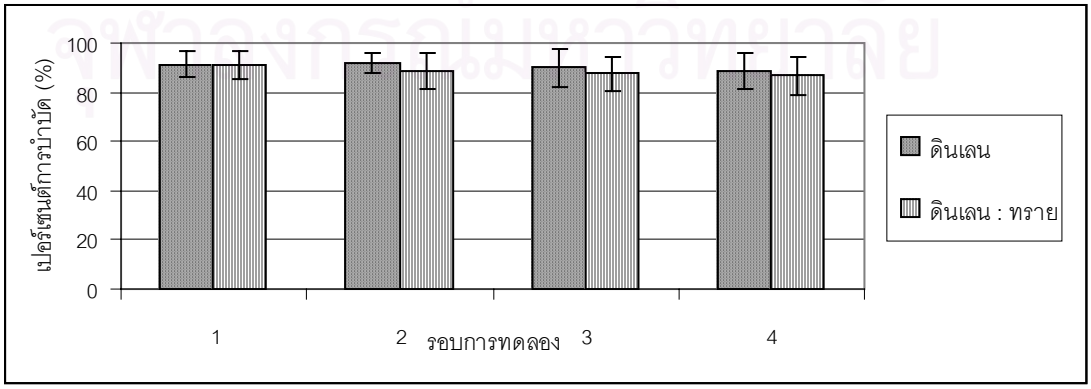
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น

ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดต่ำสุด และชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด ในช่วงระยะเวลากักเก็บน้ำ เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจนหมด จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์และเปลี่ยนรูปธาตุอาหารในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่การย่อยสลายในสภาวะนี้จะเกิดได้ช้ากว่าการย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นจุลินทรีย์บางชนิดจึงต้องการออกซิเจนมาใช้สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ ระบบจำเป็นต้องมีช่วงระยะเวลาการปล่อยให้แห้ง สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่า ชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 และ 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดต่ำกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน ทั้งนี้เพราะในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำกระบวนการบำบัดไนโตรเจนในรูปสารละลายได้แก่ ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) การกลายเป็นไอของแอมโมเนีย และการดูดดึงไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยในกรณีที่มีน้ำท่วมขังจะมีชั้นออกซิเจนอยู่สูงกว่าระดับดิน แอมโมเนียในชั้นที่ขาดออกซิเจนจะแพร่สู่ชั้นที่มีออกซิเจน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทโดย nitrifying bacteria และไนเตรทจะแพร่กลับสู่ชั้นที่ขาดออกซิเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนโตรเจน และไนตรัสออกไซด์ซึ่งสูญหายไปจากดินได้ และนอกจากนี้ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ก๊าซแอมโมเนียจะระเหยได้ง่ายขึ้น ทำให้สูญเสียไนโตรเจนได้อีกทางหนึ่ง (Boto, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับ Novotny และ Olem (1994) ที่กล่าวไว้ว่า การให้น้ำเสียแก่ระบบในรูปแบบการกักเก็บน้ำ สลับการระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้แห้งในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเพื่อการบำบัดน้ำเสีย จะสามารถเพิ่มอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ นอกจากนี้อัตราการบำบัดทีเคเอ็นยังขึ้นอยู่กับระยะเวลากักเก็บน้ำ โดยระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำน้อยกว่า 5 วัน อัตราการบำบัดทีเคเอ็นจะต่ำกว่าระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำมากกว่า 5 วัน โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำมากกว่า 5 วัน ไนเตรททั้งหมดจะถูกบำบัดโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในสภาวะไม่มีออกซิเจน ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ที่พบว่า ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นสูงที่สุด สำหรับการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการบำบัดไนโตรเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ จะถูกจำกัดโดยปัจจัยต่างๆ เช่น ค่า E_H (Johnston, 1991) โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ปริมาณออกซิเจนในระบบลดลงจนเกิดสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ค่า E_H จึงลดต่ำลงด้วย (พิจารณาจากค่า E_H ในดินที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.3.1) ทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ โดยไนเตรทถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรก จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ระเหยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งในสภาวะนี้จะมีค่า E_H ในดินประมาณ 250 mV ไนโตรเจนจึงถูกบำบัดออกจากระบบได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าชุดทดลองดินเลนมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงกว่า จึงสามารถดูดซับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไอออนได้ดีกว่า ทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะพืชสามารถดูดดึง (uptake) ไนโตรเจนไปใช้ได้

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.5) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน ชนิดดินต่างกัน และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดทีเคเอ็น เพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 95.90 เปอร์เซ็นต์

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

ผลการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ7) พบว่าปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าแอมโมเนียระหว่าง 32.83-36.87 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.00-8.40 mg l^{-1}

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ7) มีผลดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่าง 77.92-100% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 81.16-100% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 74.27-100% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 74.45-100% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.6) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 วัน ชุดทดลองดินเลน และชุดทดลองที่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.4) ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	$^{a}88.82\pm8.72^{bc}$	$^{a}89.96\pm7.27^{c}$	$^{a}82.76\pm9.53^{a}$	$^{a}84.54\pm7.26^{ab}$
7	$^{b}98.02\pm2.90^{b}$	$^{b}96.14\pm4.49^{b}$	$^{b}92.88\pm6.41^{b}$	$^{b}92.31\pm5.11^{b}$
10	$^{c}100.00\pm0.00$	$^{c}99.58\pm1.00$	$^{c}99.75\pm0.50$	$^{c}99.77\pm0.55$

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	$^{a}92.89\pm7.52^{b}$	$^{a}93.31\pm7.03^{a}$	$^{a}88.68\pm9.78^{a}$	$^{a}88.27\pm9.77^{a}$
5	$^{b}99.46\pm1.28$	$^{a}94.75\pm7.22$	$^{a}90.10\pm11.79$	$^{b}92.25\pm7.69$
7	$^{a}94.49\pm8.73$	$^{b}97.63\pm3.47$	$^{b}96.60\pm3.56$	$^{c}96.10\pm3.70$

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	$^{b}96.39\pm6.21^{ab}$	$^{b}97.12\pm4.11^{b}$	$^{b}93.11\pm9.39^{a}$	$^{b}93.25\pm7.50^{a}$
ดินเลน : ทราย	$^{a}94.83\pm8.04$	$^{a}93.34\pm7.56$	$^{a}90.49\pm9.76$	$^{a}91.16\pm8.54$

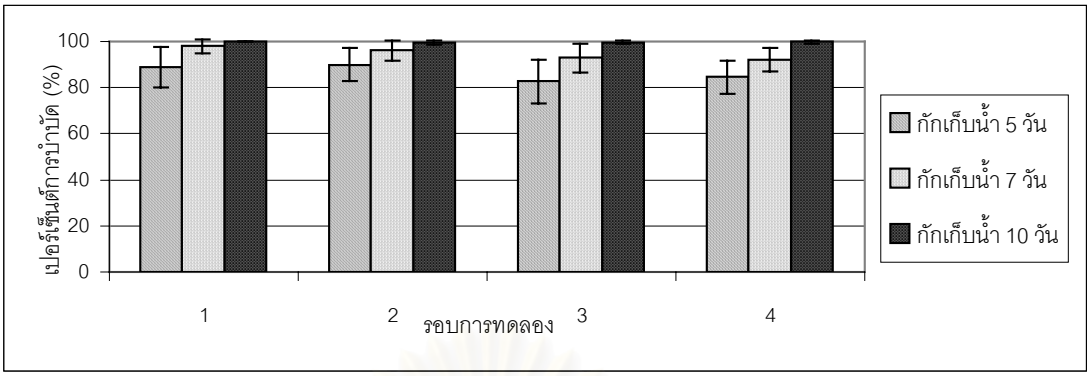
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	95.60 ± 7.22^{b}	95.60 ± 5.85^{b}	92.47 ± 9.91^{a}	$^{b}93.45\pm8.06^{a}$
ไม่ปลูกพืช	95.63 ± 7.22	94.86 ± 6.84	91.12 ± 9.37	$^{a}90.96\pm7.97$

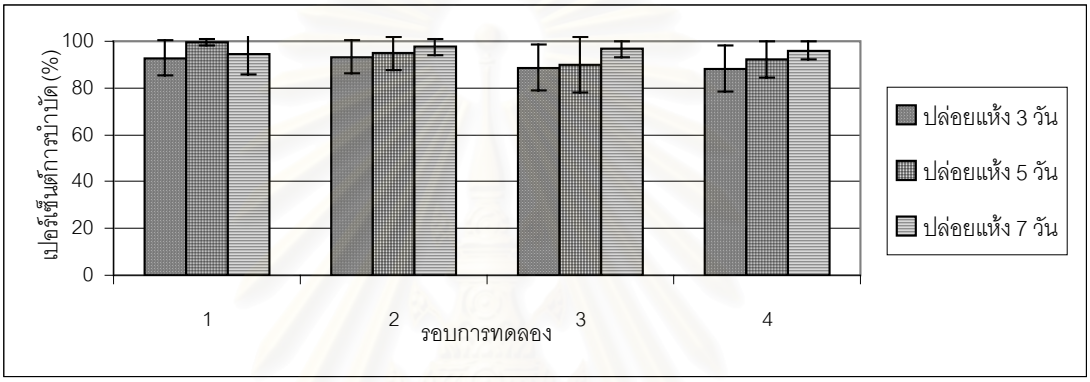
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

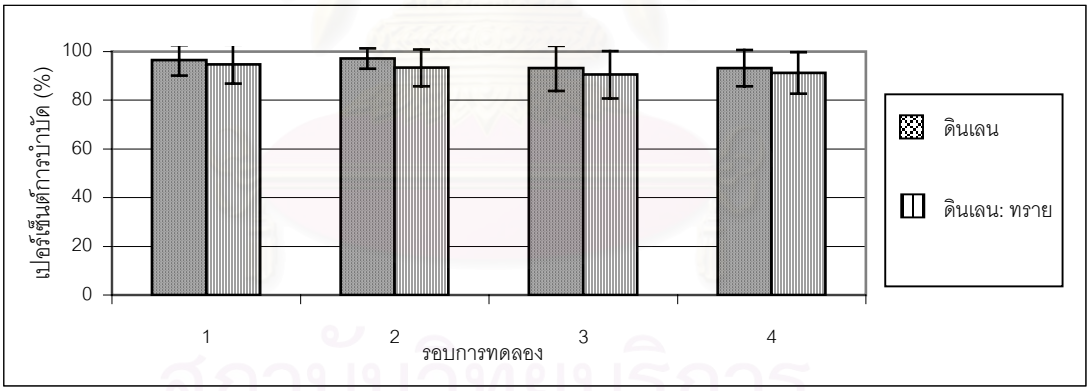
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



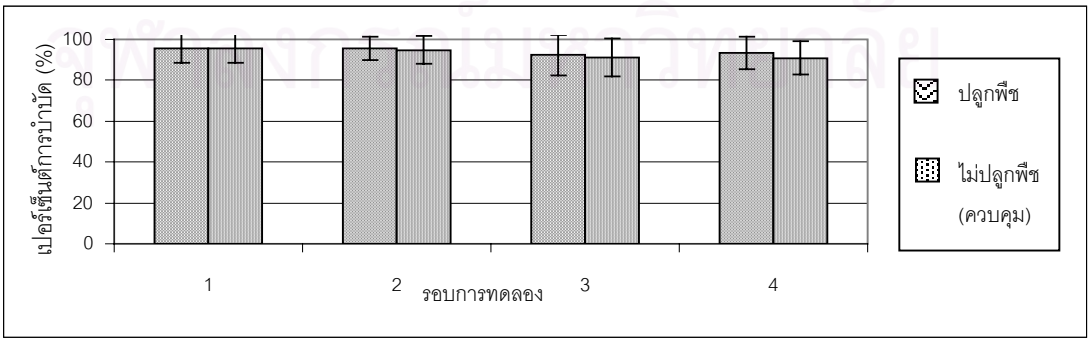
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาการปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีการปล่อยให้แห้ง 5 และ 7 วันมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดทดลองที่มีการปล่อยให้แห้ง 3 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการปล่อยให้แห้งเป็นการเติมออกซิเจนให้ดินในระบบ เมื่อระยะเวลาปล่อยให้แห้งนานขึ้นปริมาณออกซิเจนในดินก็จะสูงขึ้น (พิจารณาจากค่า E_H ในดินที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.3.1) ดังนั้นการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทในสภาวะที่มีออกซิเจนจึงสามารถเกิดได้ ปริมาณแอมโมเนียจึงลดลง

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำนอกจากไนโตรเจนในรูปสารละลายจะถูกบำบัดโดยการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในดินและน้ำแล้ว พืชจะมีส่วนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด โดยพืชจะดูดดึงแอมโมเนียไปใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ (Reddy และ D'Angelo, 1997)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.6) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน ชนิดดินต่างกัน และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดแอมโมเนีย เพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 97.73 เปอร์เซ็นต์

ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen)

ไนไตรท์ เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างกลางของกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยแอมโมเนียจะเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ (Nedwell, 1975)

ผลการศึกษาปริมาณไนไตรท์ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ8) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณไนไตรท์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่เข้าชุดทดลองมีค่าไนไตรท์ระหว่าง 0.000-0.010 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.003-1.741 mg l^{-1}

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าน้ำเสีย

มีปริมาณไนไตรท์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน จะมีปริมาณไนไตรท์สูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วัน และการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งที่ต่างกัน พบว่าน้ำเสียมีปริมาณไนไตรท์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยแห้ง 3 วันจะมีปริมาณไนไตรท์สูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยแห้ง 5 และ 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่ามีปริมาณไนไตรท์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ ผ10 ในภาคผนวก ก จะเห็นว่าปริมาณไนไตรท์ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลองมีค่าสูงกว่าปริมาณไนไตรท์ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง จึงไม่สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดไนไตรท์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมาจากน้ำเสียที่อยู่ในบ่อพักน้ำเสียที่เป็นระบบปิด ค่าออกซิเจนละลายของน้ำเสียต่ำ (0.22-0.42 mg l^{-1}) ทำให้แอมโมเนียในน้ำเสียไม่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทได้ ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองจึงมีแอมโมเนียสูง แต่มีไนไตรท์และไนเตรทต่ำ

ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

ไนเตรทในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เกิดจากการที่แอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ ทั้งหมดนี้เกิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเกิดในบริเวณ rhizosphere ไนเตรทจะถูกพืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ บางส่วนจะละลายไปกับน้ำที่ออกจากระบบ แต่ที่สำคัญไนเตรทจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เกิดเป็นก๊าซแอมโมเนียและไนตรัสออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ เรียกว่า กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Gosselink และ Mitsch, 2000)

ผลการศึกษาปริมาณไนเตรทของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ9) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเสียที่เข้าชุดทดลองมีค่าไนเตรทระหว่าง 0.000-0.020 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.008-1.032 mg l^{-1}

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่า น้ำเสียมีปริมาณไนเตรทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วันจะมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลา 7 วัน มีปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 10 วัน จึงมีออกซิเจนพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (สภาวะที่มีออกซิเจน) เปลี่ยนรูปแอมโมเนียไป

เป็นไนเตรท และไนเตรทจะยังไม่ถูกเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นแอมโมเนียในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน) ซึ่งที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วันแอมโมเนียเพียงบางส่วนที่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทได้ ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ออกซิเจนในชุดทดลองลดลงมาก ไนเตรทบางส่วนจึงเกิดการเปลี่ยนรูปต่อโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ไปเป็นก๊าซแอมโมเนียและไนตรัสออกไซด์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งที่ต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยแห้ง 3 และ 5 วันมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่ามีปริมาณไนเตรทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ ผ9 ในภาคผนวก ก จะเห็นว่าปริมาณไนเตรทของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าสูงกว่าปริมาณไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง จึงไม่สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทได้ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมาจากน้ำเสียที่อยู่ในบ่อพักน้ำเสียที่เป็นระบบปิด ค่าออกซิเจนละลายของน้ำเสียต่ำ (0.22-0.42 mg l^{-1}) ทำให้แอมโมเนียในน้ำเสียไม่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ10) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่เข้าชุดทดลองมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่าง 0.420-0.580 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.095-0.336 mg l^{-1}

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ10) มีผลดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่าง 42.72-78.85% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 28.81-80.41% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 20.04-75.96% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 28.64-79.44% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.7) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช โดยในการทดลองรอบแรกๆ เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจะสูงกว่าในการทดลองรอบหลัง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลไกที่เป็นปัจจัยหลักในการบำบัดฟอสฟอรัส คือการดูดซับฟอสฟอรัสไว้กับอนุภาคดินเหนียว เมื่อดินเริ่มอิ่มตัวในการทดลองรอบหลัง จึงมีพื้นที่ใน

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	62.00 ± 9.82^{d}	$^{a}53.74\pm8.93^{c}$	$^{a}41.24\pm11.00^{b}$	$^{a}30.70\pm15.52^{a}$
7	63.57 ± 11.75^{b}	$^{a}51.54\pm10.21^{a}$	$^{b}52.91\pm10.27^{a}$	$^{b}55.51\pm7.80^{a}$
10	65.24 ± 13.18	$^{b}62.18\pm14.61$	$^{c}57.42\pm18.13$	$^{c}61.24\pm18.78$

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	$^{a}57.47\pm11.37$	57.31 ± 11.48	$^{b}52.15\pm15.35$	$^{b}54.62\pm16.57$
5	$^{b}71.34\pm7.95^{c}$	53.45 ± 10.63^{b}	$^{a}45.39\pm15.70^{ab}$	$^{a}37.73\pm22.99^{a}$
7	$^{a}61.99\pm10.81$	56.70 ± 14.48	$^{c}54.03\pm13.27$	$^{b}55.10\pm14.03$

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	62.38 ± 12.92^{b}	$^{b}57.97\pm13.60^{ab}$	$^{b}53.66\pm14.71^{a}$	$^{b}52.50\pm19.40^{a}$
ดินเลน : ทราย	64.82 ± 10.10^{c}	$^{a}53.67\pm10.42^{b}$	$^{a}47.39\pm14.90^{ab}$	$^{a}45.80\pm15.79^{a}$

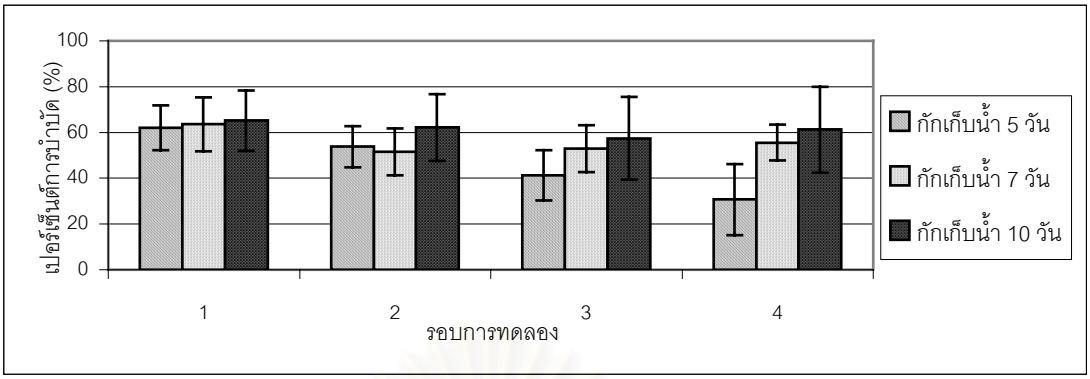
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	$^{b}68.81\pm8.77^{b}$	$^{b}59.92\pm13.09^{a}$	$^{b}56.39\pm13.74^{a}$	$^{b}55.86\pm18.66^{a}$
ไม่ปลูกพืช	$^{a}58.39\pm11.80^{c}$	$^{a}51.72\pm9.93^{b}$	$^{a}44.66\pm14.18^{a}$	$^{a}42.44\pm18.72^{a}$

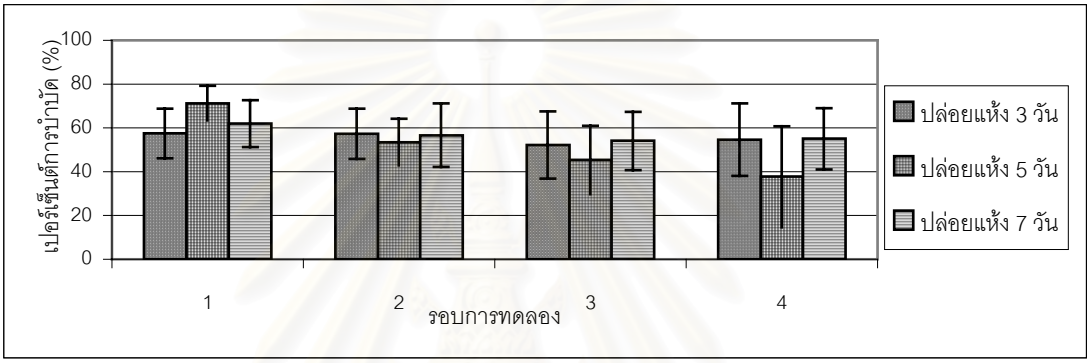
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

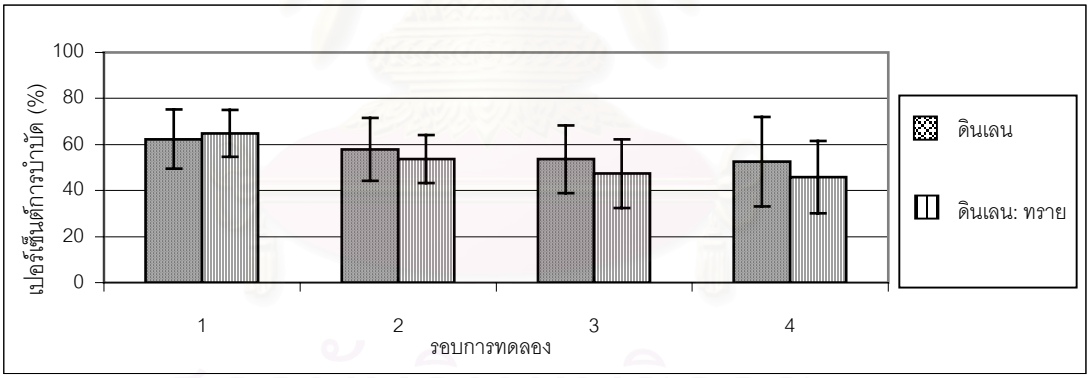
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



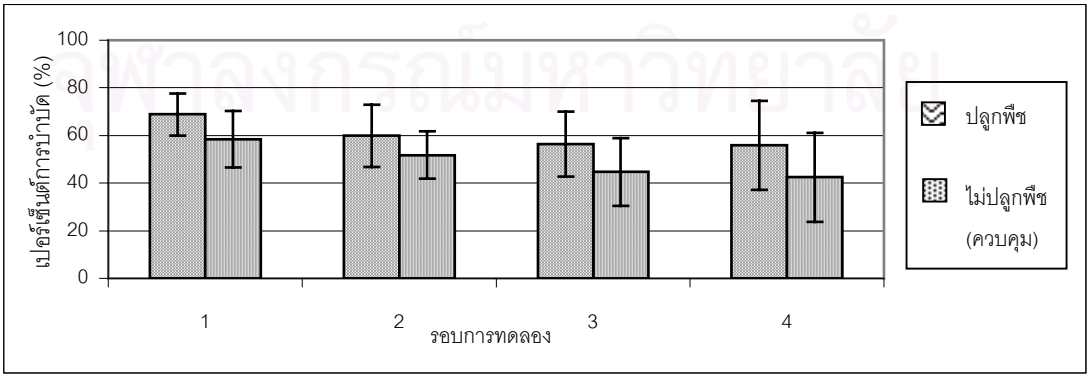
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

การดูดซับน้อยลง ทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสต่ำลง (Dinges, 1982 อ้างถึงใน Gray และคณะ, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.5) ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน น้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับดินมาก ดังนั้นฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกดินดูดซับไว้ได้สูงด้วย และสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วันจะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 และ 5 วันในรอบที่ 3 และ 4

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) โดย Mceldowney และคณะ (1993) กล่าวว่า ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ พื้นที่ผิวของ substrate หาก substrate มีพื้นที่ผิวสูง เช่น ดินเลนซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวสูง จะทำให้การดูดซับสูง นอกจากนี้ยังขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง โดยการดูดซับของฟอสฟอรัสกับแคลเซียมจะเกิดในสภาวะที่เป็นด่าง แต่ฟอสฟอรัสจะดูดซับกับเหล็กและอลูมิเนียมได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด สำหรับในการทดลองครั้งนี้ ดินเลนมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว (35.15-39.30%) สูงกว่าดินเลน : ทราย (1:1) (20.94-26.01%) ทำให้ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีพื้นที่ผิวในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงกว่า ดังนั้นจึงมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ทั้งนี้เนื่องมาจากพืชสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้ได้

Gray และคณะ (2000) ทำการศึกษาความสามารถในการสะสมธาตุอาหารในดินของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ maerl ซึ่งมีลักษณะคล้ายหินปูน เกิดจากการย่อยสลายและทับถมของสาหร่ายสีแดง เป็น substrate แทนดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม พบว่าเปอร์เซ็นต์ในบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 98% และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืชแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า substrate เป็นปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัสมากกว่าความสามารถของพืชที่จะดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.7) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะ

เวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน ชนิดดินต่างกัน และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด เพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 77.75 เปอร์เซ็นต์

ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate)

ผลการศึกษาปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลอง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ11) พบว่าน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำเสียที่เข้าชุดทดลองมีค่าระหว่าง 0.080-0.160 mg l^{-1} ส่วนน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.022-0.111 mg l^{-1}

จากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ11) มีผลดังนี้ รอบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่าง 31.11-95.92% รอบที่ 2 มีค่าระหว่าง 51.84-96.92% รอบที่ 3 มีค่าระหว่าง 21-75.61% และรอบที่ 4 มีค่าระหว่าง 16.18-83.51% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างรอบการทดลอง ตามปัจจัยการทดลองโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4.8) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน ชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืช และไม่ปลูกพืช โดยในการทดลองรอบแรกๆ เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสฟอรัสจะสูงกว่าในการทดลองรอบหลัง เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด โดย Gosselink และ Mitsch (2000) กล่าวว่า ในสภาวะที่เป็นด่าง ฟอสเฟตที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอยู่กับเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมในดินของชุดทดลอง จะละลายออกมากับน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองได้ ดังนั้นในสภาวะที่เป็นด่าง ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองจะมีค่าสูง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ดินทุกชุดทดลองมีสภาพเป็นด่างอ่อน ฟอตเฟตที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอยู่กับเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมในดินของชุดทดลองอาจละลายออกมากับน้ำเสียด้วย ในการทดลองรอบหลังๆ เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตจึงต่ำกว่ารอบแรกๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดลองทั้ง 4 รอบ (ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6) ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วันมีเปอร์เซ็นต์การ

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตของแต่ละปัจจัยการทดลองของการทดลองรอบที่ 1-4

(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน

กักเก็บน้ำ (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
5	^{a}48.07±19.32^{b}	^{a}40.28±13.70^{b}	^{a}18.96±5.69^{a}	^{a}16.84±10.06^{a}
7	^{ab}51.97±20.45^{c}	^{a}36.93±16.68^{a}	^{b}41.12±18.30^{ab}	^{b}47.33±11.75^{bc}
10	^{b}58.59±19.16	^{b}55.63±23.49	^{c}51.34±25.58	^{c}58.09±23.78

(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน

ปล่อยให้แห้ง (วัน)	รอบที่			
	1	2	3	4
3	^{a}42.97±10.33	42.76±10.37	^{b}38.62±6.41	^{c}45.87±6.24
5	^{b}66.60±15.46^{c}	42.49±16.08^{b}	^{a}29.47±19.57^{a}	^{a}33.65±17.99^{ab}
7	^{a}49.05±15.85	47.59±13.12	^{c}43.34±5.03	^{b}42.74±5.76

(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน

ชนิดดิน	รอบที่			
	1	2	3	4
ดินเลน	51.56±10.76	^{b}47.83±11.92	^{b}40.92±2.17	^{b}45.22±14.22
ดินเลน : ทราย	54.19±19.13^{b}	^{a}40.73±17.28^{a}	^{a}33.37±12.96^{a}	^{a}36.28±22.10^{a}

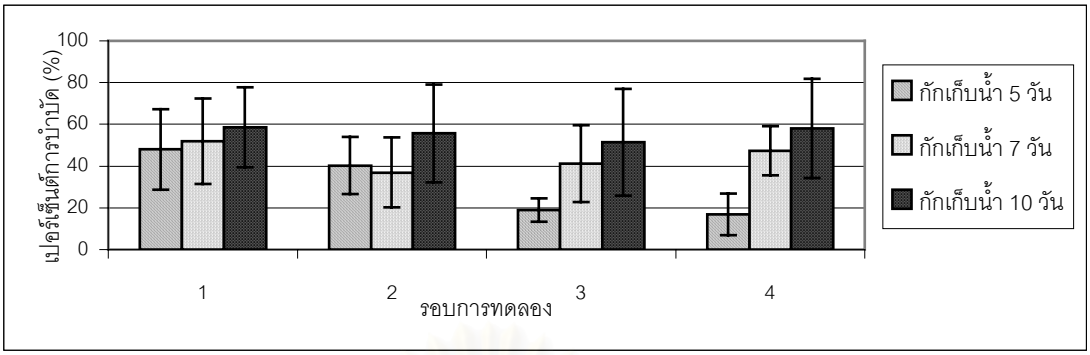
(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)

พืช	รอบที่			
	1	2	3	4
ปลูกพืช	^{b}61.65±17.10^{b}	^{b}50.80±21.41^{a}	^{b}43.65±15.74^{a}	^{b}48.26±14.64^{a}
ไม่ปลูกพืช	^{a}44.10±18.70^{b}	^{a}37.75±16.10^{ab}	^{a}30.63±10.98^{a}	^{a}33.25±10.82^{a}

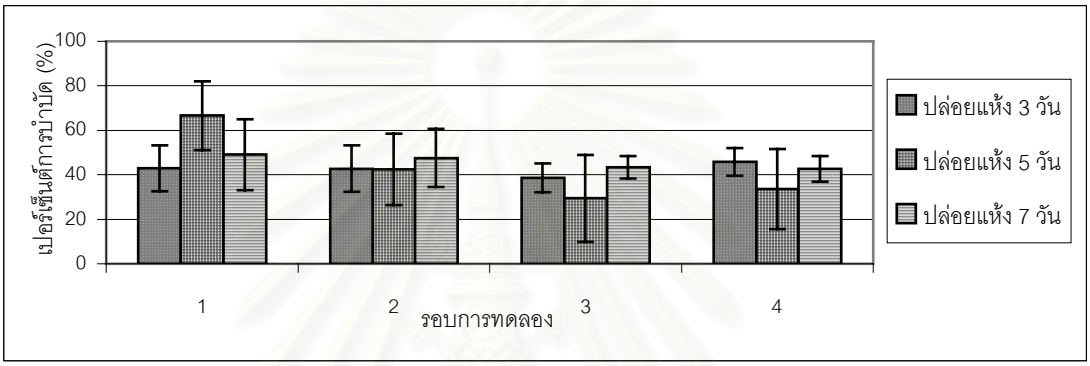
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่ต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการทดลองทั้ง 4 รอบ

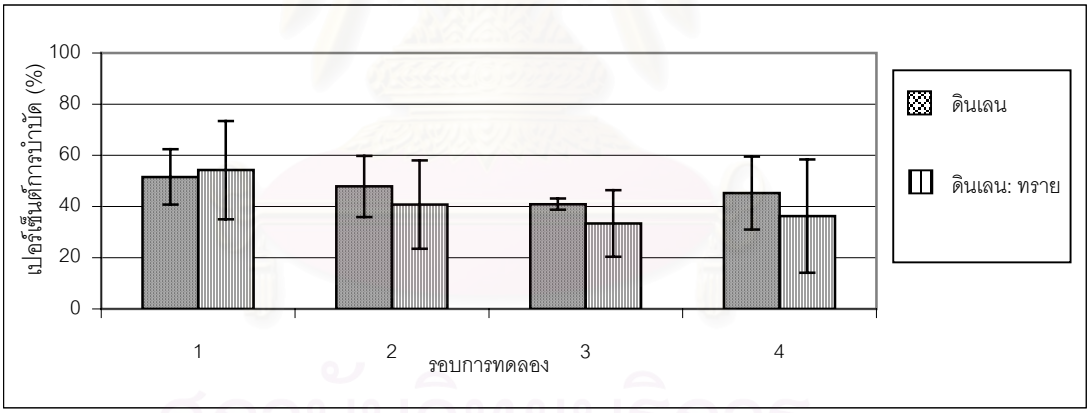
(ก) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน



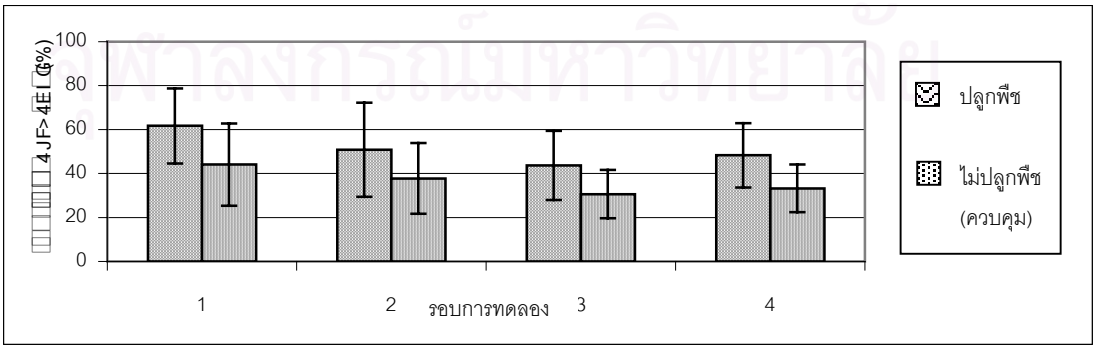
(ข) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีชนิดดินต่างกัน



(ง) เปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม)



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต

บำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 และ 5 วัน ในการทดลองรอบที่ 3 และ 4

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต ระหว่างชนิดดินที่ต่างกัน พบว่าพบว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1)

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่าง ชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช เนื่องจากพืชสามารถดูดดึงฟอสเฟตไปใช้ในกระบวนการของเซลล์ได้

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของทุกรอบการทดลอง (ตารางที่ 4.8) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกัน ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช

สรุปได้ว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในดินเลน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดออร์โธฟอสเฟต เพราะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด คือ 77.71 เปอร์เซ็นต์

4.3 สมบัติของดิน

ผลการศึกษาดินในทุกชุดทดลอง โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังสิ้นสุดการทดลองทั้ง 4 รอบ และเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืชสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (oxidation-reduction potential; E_H) ในดิน

การศึกษา E_H ในดิน ทำการวัด E_H โดยใช้ platinum electrode ที่ระดับความลึก 2, 7 และ 10 เซนติเมตรจากผิวดิน ทั้งในสภาวะที่ระบบมีการกักเก็บน้ำ และช่วงปล่อยให้แห้ง โดยช่วงที่มีการกักเก็บน้ำในชุดทดลองที่ปลูกพืชมีค่า E_H ระหว่าง 20.3 ถึง 235.9 mV ชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชมีค่า E_H ระหว่าง –138.2 ถึง 63.7 mV และในช่วงที่มีการปล่อยให้แห้งชุดทดลองที่ปลูกพืชมีค่า E_H ระหว่าง 66.3 ถึง 569.1 mV ชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชมีค่า E_H ระหว่าง 14.9 ถึง 415.2 mV (ตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.7) โดยสังเกตเห็นว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชมี ค่า E_H สูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชที่ชอนไชในดิน ทำให้ดินจับตัวกันไม่แน่น อากาศจึงสามารถแพร่ลงดินได้ และนอกจากนี้พืชสามารถเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดสู่ราก ทำให้ออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มบางๆ รอบราก ทำให้ชุดทดลองที่ปลูกพืชมีออกซิเจนในดินสูงกว่า ดังนั้น ค่า E_H จึงสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูก

พืช นอกจากนี้ LaRiviere และ Autenrieth (2004) กล่าวว่า ระบบที่ปลูกพืช โดยเฉพาะที่มีพืชหนาแน่น จะมีค่า E_H ในดินระหว่าง 100-350 mV ซึ่งสูงกว่าระบบที่ปลูกพืชไม่หนาแน่น ซึ่งมีค่า E_H ในดินประมาณ 100 mV โดยรากพืชจะมีอิทธิพลในการเพิ่มออกซิเจนให้ดิน

เมื่อเปรียบเทียบค่า E_H ตามระดับความลึกจากผิวดิน พบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ค่า E_H จะลดลง และเมื่อเวลากักเก็บน้ำนานขึ้นค่า E_H จะลดลงด้วย เพราะเมื่อกักเก็บน้ำออกซิเจนในบรรยากาศจะแพร่ลงสู่ดินได้น้อย ทำให้ในดินมีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงทำให้ค่า E_H ในดินลดลงจนเป็นลบ โดยมีค่าต่ำสุดประมาณ -168.6 mV ทั้งนี้เนื่องมาจาก ค่า E_H สัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิเจนในดินของระบบ และค่า E_H จะลดลงเมื่อระดับความลึกจากผิวดินเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะเห็นความแตกต่างไม่มากนัก เนื่องจากชุดทดลองมีความลึกจากก้นกระบะเพียง 31 เซนติเมตร และบรรจุดินสูงขึ้นมาจากก้นกระบะ 20 เซนติเมตร ทำให้ค่า E_H ที่วัดในแต่ละระดับความลึกจากผิวดินใกล้เคียงกัน สำหรับในช่วงระยะเวลาการปล่อยให้แห้งค่า E_H ในดินจะมีความแตกต่างกัน โดยวันแรกๆ ของการปล่อยแห้งค่า E_H จะต่ำและเมื่อระยะเวลาปล่อยแห้งนานขึ้น ค่า E_H จะสูงขึ้นโดยลำดับ และนอกจากนี้ชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) จะมีค่า E_H สูงกว่าชุดทดลองดินเลนด้วย แต่ค่า E_H มีควมแตกต่างกันไม่มาก

Seybold และคณะ (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า E_H และระดับน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่อยู่ริมแม่น้ำเจมส์ รัฐเวอร์จิเนีย สหรัฐอเมริกา โดยวัดค่า E_H ที่ระดับความลึก 20 และ 50 ซ.ม.จากผิวดิน พบว่าระดับน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า E_H ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยที่ระดับความลึก 50 ซ.ม.จากผิวดิน ดินจะอยู่ในสภาพรีดิวซ์สูง (< -150 mV) ตลอดเวลา และยังพบว่าฤดูกาลและอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า E_H

Fessel และ Gambrell (1995) ทำการศึกษาผลของสภาพน้ำท่วมขังของดินต่อการเปลี่ยนแปลงค่า E_H โดยทำการศึกษากับดิน 3 สภาวะใน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ 1 สภาวะดินแห้งไม่มีน้ำท่วมขัง พื้นที่ 2 มีน้ำท่วมขังบางเวลาตามสภาพธรรมชาติ และพื้นที่ 3 มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา วัดค่า E_H ที่ระดับความลึก 15 และ 30 เซนติเมตร จากผิวดิน พบว่าในช่วงเดือนเมษายน ค่า E_H ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร จากผิวดินของพื้นที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 700, 370 และ –5 mV ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะพื้นที่ 1 น้ำไม่ท่วมขัง ออกซิเจนในอากาศสามารถซึมลงสู่ดินได้ ทำให้ค่า E_H ในดินมีค่าสูง และพื้นที่ 3 มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา ออกซิเจนไม่สามารถแพร่ลงดินได้ค่า E_H ในดินจึงมีค่าต่ำ นอกจากนี้ฤดูกาลมีผลต่อค่า E_H ในดิน โดยค่า E_H ของพื้นที่ 2 มีค่าต่ำมากในช่วงฤดูฝนซึ่งมีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน ค่า E_H จึงแตกต่างจากพื้นที่ 1 แสดงว่าระยะเวลาที่มีน้ำท่วมขังมีผลต่อค่า E_H ในดิน และที่ระดับ 30 เซนติเมตรจากผิวดิน ค่า E_H จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจากที่ระดับ 30 เซนติเมตรนั้นลึกเกินกว่าที่จะได้รับอิทธิพลจากการท่วมขังของน้ำ ซึ่งจะเห็นว่าการศึกษาในครั้งนี้ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.9 ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) ในดิน ของชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 วัน

ระยะเวลากักเก็บน้ำ/ปล่อยแห้ง	วันที่ทำการวัด	E_H ในดิน ที่ระดับความลึกต่างๆ (mV)											
		ชุดทดลองที่ปลูกพืช						ชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช (ควบคุม)					
		ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)			ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)		
		2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.
กักเก็บน้ำ 5 วัน	1	174.0	186.0	158.0	170.2	54.5	30.4	-80.2	-90.3	-100.8	-66.5	-71.8	-94.0
	3	138.0	104.0	98.0	160.5	52.4	20.3	-108.6	-99.7	-120.4	-105.9	-88.2	-121.0
	5	150.0	162.0	134.0	155.4	45.7	30.9	-104.3	-80.5	-138.2	-112.3	-73.4	-128.8
ปล่อยแห้ง 3 วัน	1	314.6	275.9	254.7	341.5	300.0	275.4	158.7	100.5	81.6	159.8	116.8	98.7
	3	400.5	352.2	300.4	415.6	340.4	300.7	284.6	197.5	150.5	300.4	221.4	203.5
กักเก็บน้ำ 7 วัน	1	149.2	150.1	103.4	180.8	160.7	83.2	-72.4	-85.4	-100.3	-19.9	-26.3	-37.2
	3	165.2	118.3	84.8	166.9	125.8	80.6	-99.3	-100.8	-109.6	-50.6	-71.8	-80.6
	5	112.1	123.2	80.8	160.3	128.6	73.8	-104.3	-103.7	-118.2	-89.6	-90.8	-93.7
	7	100.5	99.8	83.5	115.4	100.7	76.5	-100.5	-114.1	-120.4	-95.4	-100.5	-102.5
ปล่อยแห้ง 3 วัน	1	345.8	300.8	265.8	364.9	285.7	269.3	187.5	170.8	131.1	227.4	125.6	94.5
	3	395.8	314.9	300.8	410.7	374.8	354.2	260.3	216.5	200.4	288.8	221.1	140.7
กักเก็บน้ำ 10 วัน	1	190.0	167.9	42.6	300.5	213.5	100.2	-26.5	-56.5	-87.5	-12.4	-20.4	-39.8
	3	180.8	116.5	84.3	215.8	200.0	95.4	-55.8	-87.4	-100.5	-25.8	-38.7	-50.1
	5	159.4	123.2	100.3	154.7	135.8	98.5	-84.5	-100.5	-112.4	-38.9	-54.7	-75.8
	7	100.2	85.7	59.8	98.7	86.9	75.9	-100.2	-118.9	-124.9	-75.8	-88.7	-98.7
	10	84.7	64.2	50.3	58.7	55.8	50.4	-105.9	-114.3	-115.8	-85.2	-54.7	-85.7
ปล่อยแห้ง 3 วัน	1	345.8	300.6	165.8	414.9	385.7	209.3	147.5	120.8	84.1	229.7	159.4	124.5
	3	415.8	354.9	220.8	433.7	304.8	254.2	220.3	186.5	158.4	323.8	221.8	150.7

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) ในดิน ของชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน

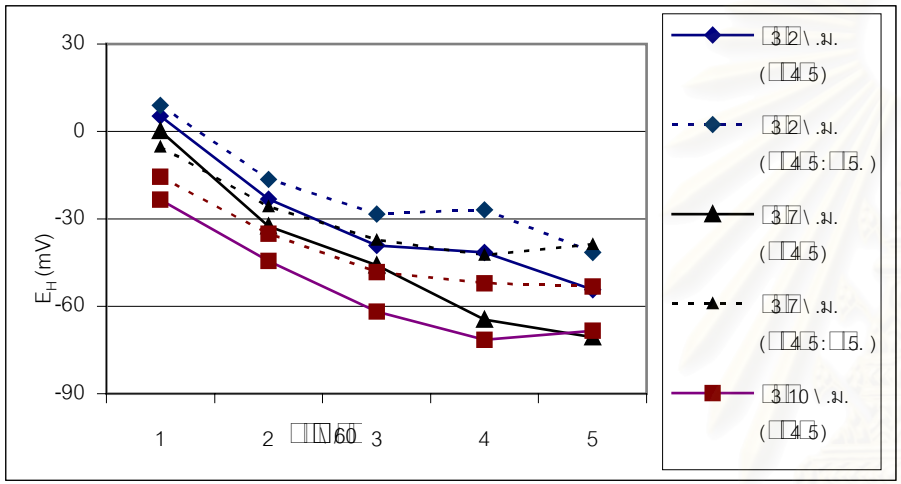
ระยะเวลากักเก็บน้ำ/ปล่อยแห้ง	วันที่ทำการวัด	E_H ในดิน ที่ระดับความลึกต่างๆ (mV)											
		ชุดทดลองที่ปลูกพืช						ชุดทดลองไม่ปลูกพืช (ควบคุม)					
		ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)			ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)		
		2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.
กักเก็บน้ำ 5 วัน	1	115.0	106.0	98.0	130.2	84.5	20.4	14.2	15.2	-10.8	6.3	-11.8	-18.6
	3	89.7	104.0	98.0	160.5	52.4	20.3	-1.2	-11.0	-25.0	-5.1	-15.7	-21.0
	5	85.0	62.0	70.0	155.4	45.7	30.9	-25.8	-39.7	-47.2	-18.4	-40.8	-38.7
ปล่อยแห้ง 5 วัน	1	189.6	150.9	129.7	216.5	175.0	150.4	133.7	105.5	96.6	184.8	131.8	133.7
	3	246.5	198.2	166.4	331.6	286.4	246.7	230.6	143.5	126.5	246.4	257.4	189.5
	5	288.5	311.5	257.5	370.0	325.5	284.5	270.5	195.8	170.1	276.1	300.0	211.5
กักเก็บน้ำ 7 วัน	1	94.3	95.2	48.5	125.9	105.8	28.3	36.0	37.0	11.0	28.1	10.0	3.2
	3	110.3	63.4	29.9	112.0	70.9	25.7	20.6	10.8	-3.2	16.7	6.1	0.8
	5	57.2	68.3	25.9	105.4	73.7	18.9	-4.0	-17.9	-25.4	3.4	-10.8	-16.9
	7	45.6	44.9	28.6	60.5	45.8	21.6	-15.7	-52.1	-59.7	-1.2	-20.0	-31.4
ปล่อยแห้ง 5 วัน	1	181.6	150.9	129.7	185.5	155.9	124.4	123.7	125.5	106.6	144.8	111.8	123.7
	3	226.7	198.2	166.4	331.6	186.4	146.7	150.6	153.5	123.7.5	156.4	132.4	129.5
	5	318.5	261.5	227.9	350.9	305.5	224.5	170.5	124.8	170.1	196.1	205.6	211.8
กักเก็บน้ำ 10 วัน	1	147.8	138.8	130.8	163.0	117.3	53.2	47.0	48.0	22.0	39.1	21.0	14.2
	3	88.6	41.7	8.2	90.3	49.2	4.0	-1.1	-10.9	-15.4	-5.0	-15.6	-20.9
	5	42.3	53.4	11.0	90.5	58.8	1.9	-18.9	-32.8	-40.3	-11.5	-25.7	-31.8
	7	5.7	5.0	-11.3	20.6	5.9	-8.3	-37.6	-54.3	-65.7	-23.1	-41.9	-53.3
	10	-4.4	-5.1	-21.4	10.5	-4.2	-18.4	-59.5	-95.9	-87.4	-54.7	-63.8	-75.2
ปล่อยแห้ง 5 วัน	1	115.0	106.0	98.0	130.2	84.5	20.4	14.2	15.2	-10.8	6.3	-11.8	-18.6
	3	89.7	104.0	98.0	160.5	52.4	20.3	-1.2	-11.0	-25.0	-5.1	-15.7	-21.0
	5	85.0	62.0	70.0	155.4	45.7	30.9	-25.8	-39.7	-47.2	-18.4	-40.8	-38.7

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) ในดิน ของชุดทดลองที่มีระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 7 วัน

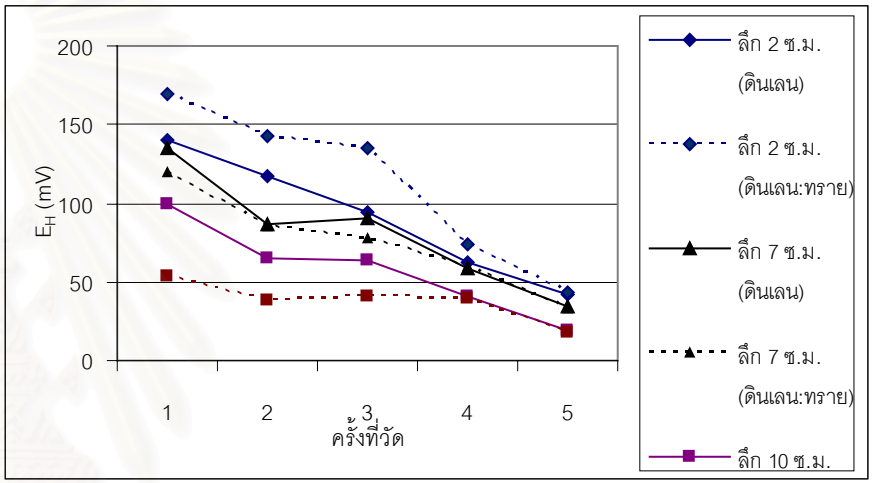
ระยะเวลากักเก็บน้ำ/ปล่อยแห้ง	วันที่ทำการวัด	E_H ในดิน ที่ระดับความลึกต่างๆ (mV)											
		ชุดทดลองที่ปลูกพืช						ชุดทดลองไม่ปลูกพืช (ควบคุม)					
		ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)			ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1 : 1)		
		2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.	2 ซ.ม.	7 ซ.ม.	10 ซ.ม.
กักเก็บน้ำ 5 วัน	1	120.7	111.7	103.7	135.9	90.2	26.1	19.9	20.9	-5.1	12.0	-6.1	-12.9
	3	78.0	92.3	86.3	148.8	40.7	8.6	-12.9	-22.7	-36.7	-16.8	-27.4	-32.7
	5	80.8	57.8	65.8	151.2	41.5	26.7	-30.0	-43.9	-51.4	-22.6	-45.0	-42.9
ปล่อยแห้ง 7 วัน	1	246.8	154.9	157.0	287.4	220.3	195.7	179.0	120.8	81.9	90.4	77.1	69.9
	3	300.1	286.5	234.7	300.8	274.7	235.0	259.8	164.8	134.8	221.8	145.7	127.8
	5	368.7	326.3	272.3	341.7	309.8	268.8	307.8	230.6	164.9	358.6	384.8	296.3
	7	400.8	356.2	302.2	445.8	419.7	358.7	367.8	280.5	214.8	405.9	414.7	326.2
กักเก็บน้ำ 7 วัน	1	106.0	106.9	60.2	137.6	117.5	74.3	47.7	48.7	22.7	39.8	21.7	14.9
	3	81.6	60.7	45.8	100.6	87.4	50.8	11.9	2.1	-11.9	11.5	-2.6	-7.9
	5	68.9	56.6	21.5	93.7	62.0	24.8	-15.7	-15.7	-37.1	-8.3	-22.5	-28.6
	7	51.5	50.8	34.5	66.4	51.7	27.5	-21.6	-58.0	-65.6	-7.1	-25.9	-37.3
ปล่อยแห้ง 7 วัน	1	248.7	300.5	140.9	215.8	386.2	261.6	244.9	186.7	87.8	296.0	143.0	74.9
	3	348.9	325.8	134.0	539.2	397.8	304.7	189.7	231.1	134.1	334.0	201.8	175.9
	5	410.5	381.9	160.7	547.5	406.0	281.4	264.7	245.8	154.8	356.7	221.5	180.4
	7	435.7	380.6	226.6	609.1	364.1	183.1	308.7	284.9	219.2	415.2	298.7	223.8
กักเก็บน้ำ 10 วัน	1	163.5	154.5	146.5	178.7	133.0	68.9	62.7	63.7	37.7	54.8	36.7	29.9
	3	126.7	79.8	46.3	128.4	87.3	42.1	37.0	27.2	22.7	33.1	22.5	17.2
	5	96.4	107.5	65.1	144.6	112.9	58.1	35.2	21.3	13.8	42.6	28.4	22.3
	7	120.7	111.7	103.7	135.9	90.2	26.1	19.9	20.9	-5.1	12.0	-6.1	-12.9
	10	78.0	92.3	86.3	148.8	40.7	8.6	-12.9	-22.7	-36.7	-16.8	-27.4	-32.7
ปล่อยแห้ง 7 วัน	1	80.8	57.8	65.8	151.2	41.5	26.7	-30.0	-43.9	-51.4	-22.6	-45.0	-42.9
	3	246.8	154.9	157.0	287.4	220.3	195.7	179.0	120.8	81.9	90.4	77.1	69.9
	5	300.1	286.5	234.7	300.8	274.7	235.0	259.8	164.8	134.8	221.8	145.7	127.8
	7	368.7	326.3	272.3	341.7	309.8	268.8	307.8	230.6	164.9	358.6	384.8	296.3

รูปที่ 4.7 ค่า E_H ที่ความลึก 2, 7 และ 10 ซ.ม. จากผิวดิน โดยวัดในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ10 ของช่วงระยะเวลากักเก็บน้ำ

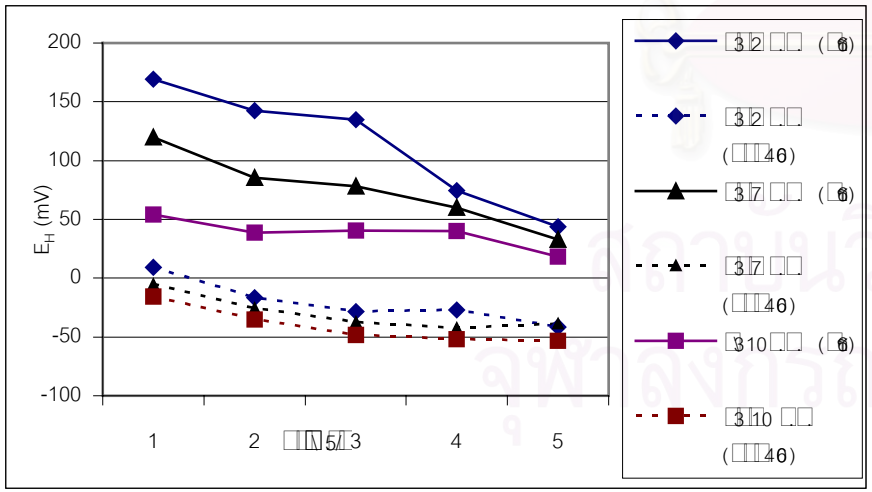
ค่า E_H ระหว่างชนิดดินของชุดทดลองที่ปลูกพืช



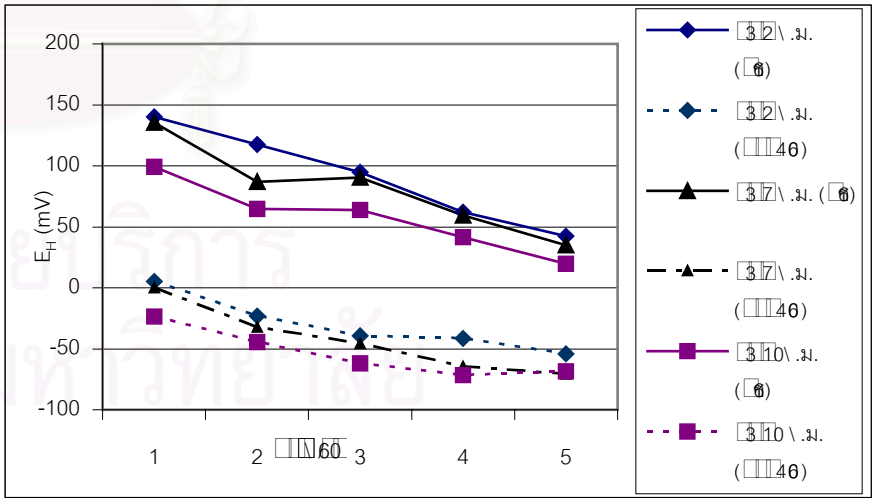
ค่า E_H ระหว่างชนิดดินของชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช)



ค่า E_H ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและชุดควบคุมของชุดดินเลน

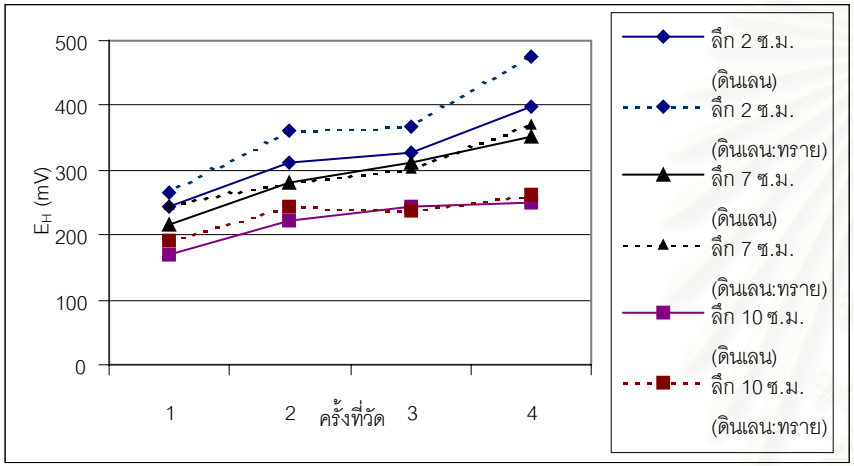


ค่า E_H ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและชุดควบคุมของชุดดินเลน:ทราย

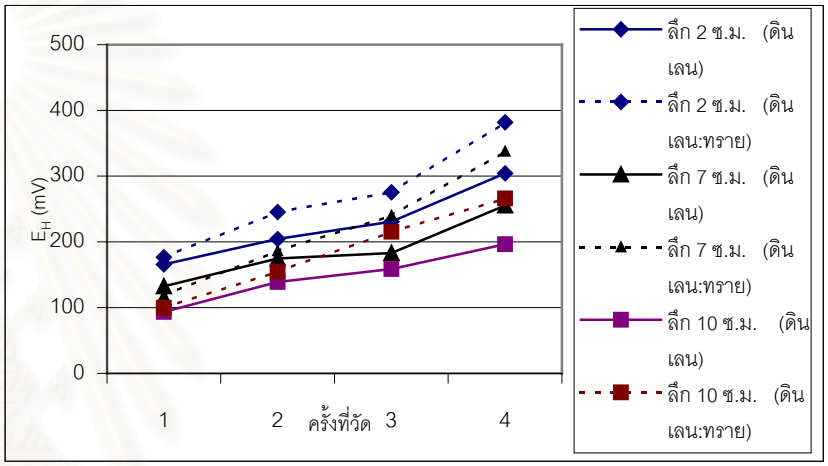


รูปที่ 4.7 (ต่อ) ค่า E_H ที่ความลึก 2, 7 และ 10 ซ.ม. จากผิวดิน โดยวัดในวันที่ 1, 3, 5 และ 7 ของช่วงระยะเวลาการปล่อยให้แห้ง

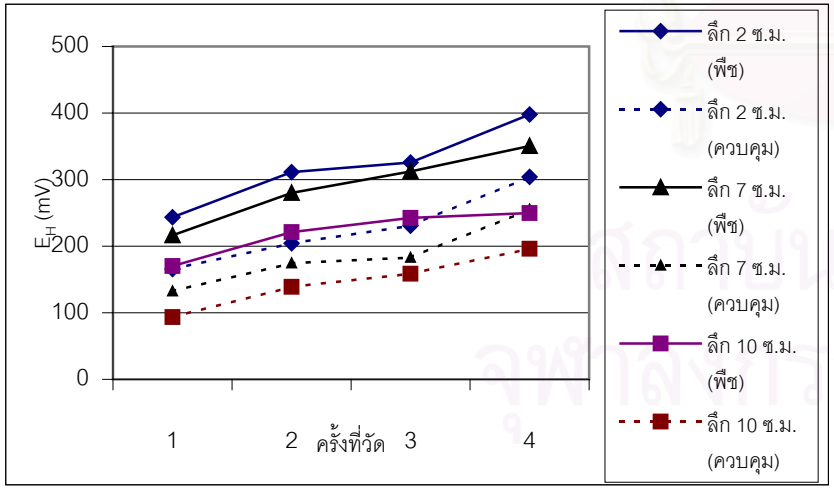
ค่า E_H ระหว่างชนิดดินของชุดทดลองที่ปลูกพืช



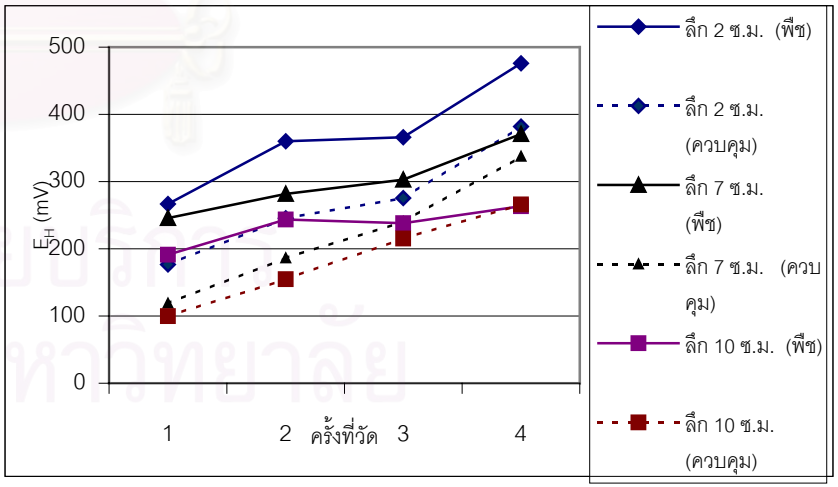
ค่า E_H ระหว่างชนิดดินของชุดที่ไม่ปลูกพืช (ควบคุม)



ค่า E_H ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและชุดที่ไม่ปลูกพืชของชุดดินเลน



ค่า E_H ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและที่ไม่ปลูกพืชของชุดดินเลน:ทราย



4.3.2 ความเป็นกรดด่าง (pH) ของดิน

ความเป็นกรด-ด่างของดินในชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 7.95-8.22 หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 7.90-8.17, 7.85-8.32, 7.96-8.31 และ 7.95-8.33 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างของดินในชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในบางชุดทดลอง แต่ในบางชุดทดลองก็ไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกัน ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ พบว่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช ส่วนชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดินในทุกชุดทดลองมีสภาพเป็นด่างอ่อน ซึ่งแตกต่างกับสภาพทั่วไปของดินในป่าชายเลนที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดินในป่าชายเลนมีการท่วมขังของน้ำอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในดินน้อย จุลินทรีย์ในดินจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จนกระทั่งซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในการย่อยสลาสารอินทรีย์ และจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด นอกจากนี้ในป่าชายเลนมีเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่นสะสมอยู่มาก เมื่อเกิดการย่อยสลายจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดด้วย แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้ภายหลังการกักเก็บน้ำ จะระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน ทำให้ดินมีการระบายอากาศดี ดังนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงมีออกซิเจนเพียงพอ และจากผลการศึกษาค่า E_H พบว่า ค่า E_H ต่ำที่สุดในช่วงการกักเก็บน้ำมีค่า -108.6 mV ซึ่งไม่ต่ำมากพอที่ซัลเฟตจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (ที่ E_H ประมาณ -100 ถึง -200 mV) จึงไม่เกิดซัลไฟด์ขึ้นในชุดทดลอง ดังนั้นดินในทุกชุดทดลองจึงไม่มีสภาพเป็นกรด และจากการสังเกต ดินในทุกชุดทดลองไม่มีสีดำคล้ำ และไม่มีกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย

ตารางที่ 4.10 ความเป็นกรด–ด่างของดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ความเป็นกรด–ด่าง ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	7.95±0.08	8.07±0.13	7.99±0.18	7.97±0.23	8.01±0.16
		เลน:ทราย	8.09±0.03	7.98±0.02	7.99±0.08	7.97±0.10	7.99±0.08
	ไม่ปลูก	ดินเลน	8.03±0.02	8.02±0.01	8.15±0.07	8.18±0.11	8.15±0.07
		เลน:ทราย	8.13±0.05^{b}	7.96±0.00^{a}	7.85±0.07^{a}	7.96±0.06^{a}	7.95±0.07^{a}
7	ปลูก	ดินเลน	8.18±0.00^{b}	8.17±0.02^{b}	8.05±0.02^{a}	8.09±0.05^{ab}	8.03±0.04^{a}
		เลน:ทราย	8.14±0.06	8.05±0.06	8.03±0.01	8.03±0.04	8.03±0.04
	ไม่ปลูก	ดินเลน	8.22±0.01^{ab}	8.15±0.05^{a}	8.32±0.05^{b}	8.31±0.01^{b}	8.33±0.04^{b}
		เลน:ทราย	8.20±0.10	8.01±0.04	8.15±0.16	8.14±0.16	8.18±0.18
10	ปลูก	ดินเลน	8.06±0.11	8.11±0.03	8.11±0.19	8.15±0.22	8.25±0.35
		เลน:ทราย	8.03±0.04^{b}	7.93±0.04^{a}	8.07±0.01^{bc}	8.08±0.04^{bc}	8.14±0.02^{c}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	8.21±0.04	8.13±0.06	8.24±0.11	8.24±0.12	8.28±0.11
		เลน:ทราย	8.18±0.53	7.90±0.28	8.19±0.07	8.20±0.06	8.15±0.01

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.3.3 ค่าความเค็ม (salinity) ของดิน

ความเค็มของดินในชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.45-6.85 ppt หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.20-1.45, 0.10-0.50, 0.05-0.45 และ 0.05-0.35 ppt ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งจะเห็นว่าความเค็มในดินลดลงขณะที่จำนวนรอบการทดลองเพิ่มขึ้น เพราะเกลือที่ละลายอยู่ในดิน จะละลายออกมากับน้ำที่ออกจากชุดทดลอง จึงเป็นเหมือนการชะล้างระบบ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเค็มของดินในชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกชุดทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มของดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกัน และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) โดยชุดทดลองที่ใช้ดินเลน จะมีความ

เค็มของดินสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) เพราะดินเลนเป็นดินเลนชายฝั่งซึ่งจะมีสารประกอบเกลือในดินสูง แต่เมื่อนำดินเลนมาผสมกับทรายทำให้ชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) มีความเค็มต่ำ

ตารางที่ 4.11 ความเค็มของดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ความเค็ม (ppt) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	4.10±0.99^{b}	0.65±0.35^{a}	0.30±0.14^{a}	0.25±0.07^{a}	0.20±0.00^{a}
		เลน:ทราย	0.45±0.07^{c}	0.20±0.00^{b}	0.10±0.00^{ab}	0.05±0.01^{a}	0.05±0.01^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	6.85±3.75^{b}	1.45±0.49^{a}	0.50±0.00^{a}	0.45±0.07^{a}	0.35±0.07^{a}
		เลน:ทราย	0.75±0.35^{b}	0.45±0.21^{ab}	0.30±0.14^{ab}	0.20±0.00^{a}	0.15±0.07^{a}
7	ปลูก	ดินเลน	4.60±1.70^{b}	0.30±0.14^{a}	0.20±0.00^{a}	0.15±0.07^{a}	0.15±0.07^{a}
		เลน:ทราย	0.85±0.35^{b}	0.20±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.03^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	5.70±0.14^{c}	0.85±0.07^{b}	0.35±0.07^{a}	0.30±0.00^{a}	0.30±0.00^{a}
		เลน:ทราย	2.10±0.99^{b}	0.60±0.12^{a}	0.20±0.00^{a}	0.15±0.07^{a}	0.10±0.04^{a}
10	ปลูก	ดินเลน	4.00±0.71^{b}	0.60±0.42^{a}	0.20±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}
		เลน:ทราย	0.75±0.07^{b}	0.40±0.28^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	5.65±0.21^{c}	1.00±0.00^{b}	0.50±0.14^{a}	0.45±0.07^{a}	0.40±0.00^{a}
		เลน:ทราย	1.55±1.20^{a}	0.55±0.21^{a}	0.20±0.00^{a}	0.15±0.07^{a}	0.15±0.07^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.3.4 ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ของดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดินของชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.95-4.98 ms cm^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.37-2.83, 0.23-1.05, 0.23-1.00, และ 0.22-1.00 ms cm^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการนำไฟฟ้าของดินในชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกือบทุกชุดทดลอง โดยจะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าหลังการทดลองในแต่ละรอบมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.12 ค่าการนำไฟฟ้าของดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ค่าการนำไฟฟ้า (ms cm^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	3.95±1.73^{b}	0.46±0.09^{a}	0.62±0.12^{a}	0.62±0.07^{a}	0.61±0.19^{a}
		เลน:ทราย	0.95±0.12^{c}	0.40±0.01^{b}	0.23±0.02^{a}	0.23±0.01^{a}	0.22±0.01^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	11.95±6.15^{b}	2.83±0.07^{a}	1.05±0.07^{a}	1.00±0.00^{a}	1.00±0.00^{a}
		เลน:ทราย	1.47±0.77	0.96±0.19	0.63±0.12	0.61±0.23	0.60±0.11
7	ปลูก	ดินเลน	2.30±2.05	0.58±0.02	0.43±0.04	0.42±0.03	0.42±0.04
		เลน:ทราย	1.70±0.71^{b}	0.37±0.02^{a}	0.26±0.02^{a}	0.24±0.05^{a}	0.24±0.06^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	5.06±0.23^{c}	1.70±0.05^{b}	0.78±0.13^{a}	0.77±0.11^{a}	0.77±0.01^{a}
		เลน:ทราย	3.91±1.82^{b}	1.23±0.06^{a}	0.50±0.05^{a}	0.51±0.05^{a}	0.48±0.08^{a}
10	ปลูก	ดินเลน	2.00±1.31	1.24±0.11	0.43±0.06	0.42±0.08	0.39±0.03
		เลน:ทราย	1.58±0.15^{b}	0.87±0.11^{b}	0.24±0.04^{a}	0.23±0.04^{a}	0.22±0.03^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	4.98±0.35^{c}	2.00±0.05^{b}	1.01±0.15^{a}	0.96±0.11^{a}	0.95±0.22^{a}
		เลน:ทราย	2.97±2.09^{b}	1.13±0.01^{b}	0.42±0.03^{a}	0.41±0.04^{a}	0.41±0.04^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) โดยชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) เนื่องมาจากการนำไฟฟ้าในดินขึ้นอยู่กับปริมาณอนุภาคดินเหนียวในดิน เพราะอนุภาคดินเหนียวมีพื้นที่ผิวสูงจึงสามารถดูดซับประจุบวกของธาตุต่างๆ และอุ้มน้ำได้สูง (Long และ Mason, 1983 อ้างถึงใน กนกพร บุญส่ง และ โชคชัย ยะชูศรี, 2547) และอนุภาคดินเหนียวสามารถเกาะยึดกับอินทรียวัตถุในดินได้ดีด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือที่ละลายได้ในดินด้วย ถ้ามีปริมาณเกลือละลายอยู่ในดินมากค่าการนำไฟฟ้าจะสูง และถ้าปริมาณเกลือในดินลดลง ค่าการนำไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาความเค็มในดิน พบว่าดินเลนมีความเค็มสูงกว่าดินเลน : ทราย (1:1) ดังนั้นจึงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าด้วย และจากผลการศึกษาค่าความเค็มของน้ำ

จะเห็นว่าค่าความเค็มของน้ำมีแนวโน้มลดลงในการทดลองรอบหลัง แสดงว่าปริมาณเกลือที่ละลายได้ในดินละลายปนออกมากับน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ดินจึงมีความเค็มลดลง มีผลให้ค่านำไฟฟ้าในดินลดลงด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืช และไม่ปลูกพืช พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีค่าการนำไฟฟ้าของดินต่ำกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดทดลองที่ปลูกพืชมีออกซิเจนในดินสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งสังเกตได้จากการศึกษาค่า E_H ในดิน โดยชุดทดลองที่ปลูกพืชจะมีค่า E_H สูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช เพราะค่า E_H ในดินจะสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนในดิน ดินที่มีออกซิเจนสูงจะมีค่า E_H ในดินสูงด้วย และเมื่อชุดทดลองมีออกซิเจนสูงทำให้จุลินทรีย์ในดินย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูงด้วย เพราะ ศุวศา กานตวนิชกูร (2544) กล่าวว่า ในสภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วกว่าสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ชุดทดลองที่ปลูกพืชจึงมีสารอินทรีย์น้อยกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ดังนั้นชุดทดลองที่ปลูกพืชจึงมีค่าการนำไฟฟ้าของดินต่ำกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชด้วย

4.3.5 ปริมาณทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)

ปริมาณทีเคเอ็นในดินในชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.60-1.79 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.70-1.94, 0.71-1.98, 0.82-1.97 และ 0.78-2.25 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13 รูปที่ 4.8) จะเห็นว่าปริมาณทีเคเอ็นในดิน ในชุดทดลองรอบหลังจะสูงกว่าปริมาณทีเคเอ็นในดิน ในชุดทดลองรอบแรกๆ และก่อนการทดลองเล็กน้อย

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณทีเคเอ็นในดินของชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทุกชุดทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียชุมชนที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณทีเคเอ็นไม่สูงมาก ดังนั้นจึงมีการสะสมไนโตรเจนในดินน้อย ประกอบกับเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละรอบ มีการชะล้างระบบด้วยน้ำประปา ไนโตรเจนในดินบางส่วน ได้แก่ ไนเตรท อาจละลายออกมากับน้ำประปาที่ออกจากระบบด้วย เนื่องจากไนเตรทจะละลายน้ำได้ง่าย และไนโตรเจนบางส่วนจึงถูกพืชดูดดึงไปใช้ โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียและในดิน ช่วยในการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจน ให้อยู่ในรูปแอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2528)

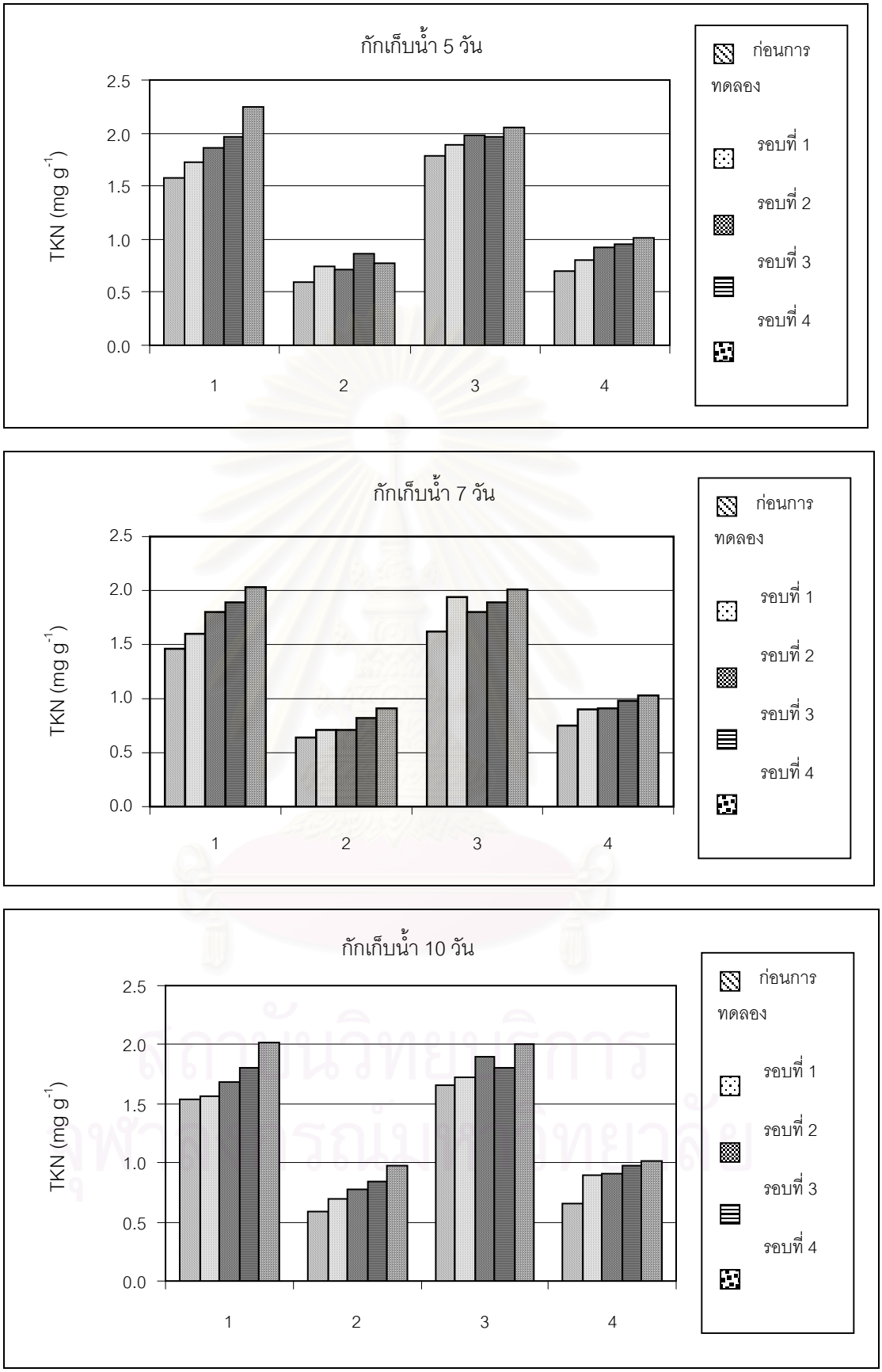
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทีเคเอ็นในดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองดินเลน และ ดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช โดยชุดทดลองดินเลนจะมีปริมาณทีเคเอ็นสูง

กว่าชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชจะมีปริมาณทีเคเอ็นต่ำกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งอาจเป็นเพราะพืชดูดดึงไนโตรเจนไปใช้

ตารางที่ 4.13 ปริมาณทีเคเอ็นในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ทีเคเอ็น (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	1.57±0.01	1.72±0.10	1.86±0.19	1.97±0.19	2.25±0.58
		เลน:ทราย	0.60±0.06	0.74±0.10	0.72±0.15	0.86±0.04	0.78±0.16
	ไม่ปลูก	ดินเลน	1.79±0.12	1.89±0.06	1.98±0.11	1.97±0.19	2.06±0.08
		เลน:ทราย	0.70±0.04	0.81±0.16	0.92±0.12	0.95±0.16	1.01±0.24
7	ปลูก	ดินเลน	1.46±0.03	1.60±0.01	1.80±0.02	1.89±0.10	2.03±0.30
		เลน:ทราย	0.64±0.16	0.71±0.03	0.71±0.22	0.82±0.38	0.91±0.34
	ไม่ปลูก	ดินเลน	1.62±0.13	1.94±0.22	1.80±0.02	1.89±0.10	2.01±0.32
		เลน:ทราย	0.75±0.20	0.90±0.04	0.91±0.14	0.98±0.05	1.03±0.05
10	ปลูก	ดินเลน	1.54±0.11	1.56±0.02	1.69±0.10	1.80±0.26	2.02±0.18
		เลน:ทราย	0.59±0.00	0.70±0.08	0.78±0.00	0.84±0.08	0.98±0.04
	ไม่ปลูก	ดินเลน	1.66±0.15	1.73±0.04	1.90±0.00	1.80±0.26	1.90±0.16
		เลน:ทราย	0.66±0.16	0.89±0.24	0.91±0.06	0.97±0.14	1.02±0.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ 1 ปลูกพืชในดินเลน 2 ปลูกพืชในดินเลน:ทราย 3 ไม่ปลูกพืชในดินเลน 4 ไม่ปลูกพืชในดินเลน:ทราย

รูปที่ 4.8 ปริมาณทีเคเอ็นในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.3.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia nitrogen) ในดิน

ปริมาณแอมโมเนียในดินของชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.010-0.028 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-2 มีค่าระหว่าง 0.007-0.030 และ 0-0.014 mg g^{-1} ตามลำดับ ส่วนหลังการทดลองรอบที่ 3 และ 4 มีค่าเป็น 0 mg g^{-1} (ตารางที่ 4.14) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนียในดินในชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในบางชุดทดลอง โดยหลังสิ้นสุดการทดลองรอบหลังๆ ปริมาณแอมโมเนียในดินจะมีค่าลดต่ำลงตามลำดับ จนมีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะในช่วงเวลาการปล่อยให้แห้งของระบบ ออกซิเจนในบรรยากาศ สามารถแพร่ลงในดินได้ ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีออกซิเจนอยู่อย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แอมโมเนียจึงเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท (Schlesinger, 1997) แอมโมเนียในดินจึงมีค่าต่ำลงและเป็นศูนย์ในที่สุด นอกจากนี้การวิเคราะห์แอมโมเนียในดินจะทำการวิเคราะห์ดินสดที่เปียกชื้น แอมโมเนียจากน้ำเสียจึงแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อน้ำเสียที่ออกจากระบบในครั้งหลังๆ มีค่าแอมโมเนียลดต่ำลงมาก จนกือบเป็นศูนย์ ทำให้แอมโมเนียในดินมีค่าต่ำมากด้วย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียในดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 และ 10 วันมีปริมาณแอมโมเนียในดินไปในทางเดียวกันและน้อยกว่าระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วัน แต่ก็จะมีปริมาณแอมโมเนียในดินเป็นศูนย์ในการทดลองรอบหลังๆ เช่นเดียวกัน และจากการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าปริมาณแอมโมเนียในดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	0.012±0.000^{b}	^{b}0.028±0.000^{c}	^{b}0.014±0.000^{b}	0.000±0.000^{ab}	0.000±0.000^{a}
		เลน:ทราย	0.028±0.010^{c}	^{b}0.027±0.000^{c}	^{b}0.014±0.000^{b}	0.000±0.000^{ab}	0.000±0.000^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.025±0.010	^{b}0.026±0.010	^{b}0.013±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
		เลน:ทราย	0.014±0.010	^{b}0.016±0.010	^{b}0.014±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
7	ปลูก	ดินเลน	0.014±0.010	^{a}0.007±0.000	^{a} 0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
		เลน:ทราย	0.017±0.010	^{a}0.007±0.000	^{a} 0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.015±0.010	^{a}0.021±0.010	^{a} 0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
		เลน:ทราย	0.024±0.010^{b}	^{a}0.017±0.000^{b}	^{a}0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}
10	ปลูก	ดินเลน	0.028±0.000^{c}	^{a}0.014±0.000^{b}	^{a}0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}
		เลน:ทราย	0.010±0.000^{b}	^{a}0.014±0.000^{b}	^{a}0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.021±0.000^{c}	^{a}0.013±0.000^{b}	^{a}0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}
		เลน:ทราย	0.028±0.000^{b}	^{a}0.011±0.010^{b}	^{a}0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}	0.000±0.000^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.3.7 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate nitrogen) ในดิน

ปริมาณไนเตรทในดินในชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.007-0.028 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.010-0.037, 0.003-0.035, 0.013-0.049 และ 0.014-0.062 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.9) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณไนเตรทในดินในชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในบางชุดทดลอง โดยในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วันและปลูกพืชในดินเลน : ทราย (1:1) ปริมาณไนเตรทในดินจะเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มของรอบการทดลอง ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์ไนเตรทในดินจะทำการวิเคราะห์ดินสดที่เปียกชื้น ไนเตรทจากน้ำเสียจึงแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณไนเตรทสูงจึงทำให้ปริมาณไนเตรทในดินสูงด้วย แต่สำหรับชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน พบว่าปริมาณไนเตรทในดินจะลดลง เมื่อจำนวนรอบการทดลองเพิ่มขึ้น เพราะไนเตรทที่แทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน สามารถ

เปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ ประกอบกับพืชดูดดึงไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโต ในระยะกักเก็บน้ำ 10 วัน ที่มีไนเตรทในดินน้อย จึงเห็นการลดลงของไนเตรทในดินตามการเพิ่มของรอบการทดลองชัดเจน ซึ่งปริมาณไนเตรทในดินจะสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทในน้ำ โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ก็มีค่าน้อยกว่าที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลองรอบที่ 4 โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 10 วันจะมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำนาน ปริมาณออกซิเจนในชุดทดลองก็ลดลง จุลินทรีย์จึงสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้ไนเตรทถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ นอกจากนี้ไนเตรทสามารถแพร่ในดินได้เร็วกว่าแอมโมเนียมถึง 7 เท่า (Gosselink และ Mitsch, 2000) ทำให้ไนเตรทเกิดดีไนตริฟิเคชันเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็วด้วย ดังนั้นชุดทดลองที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำนาน จึงมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำสั้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกพืช จะมีปริมาณไนเตรทในดินสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช ทั้งนี้อาจเป็นผลของการย่อยสลายเศษกิ่งไม้ ใบไม้ที่ร่วงหล่นจากกล้าไม้ หรือสาหร่ายที่เกิดขึ้นในชุดทดลอง ซึ่งมีการสะสมอยู่บริเวณผิวหน้าดิน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

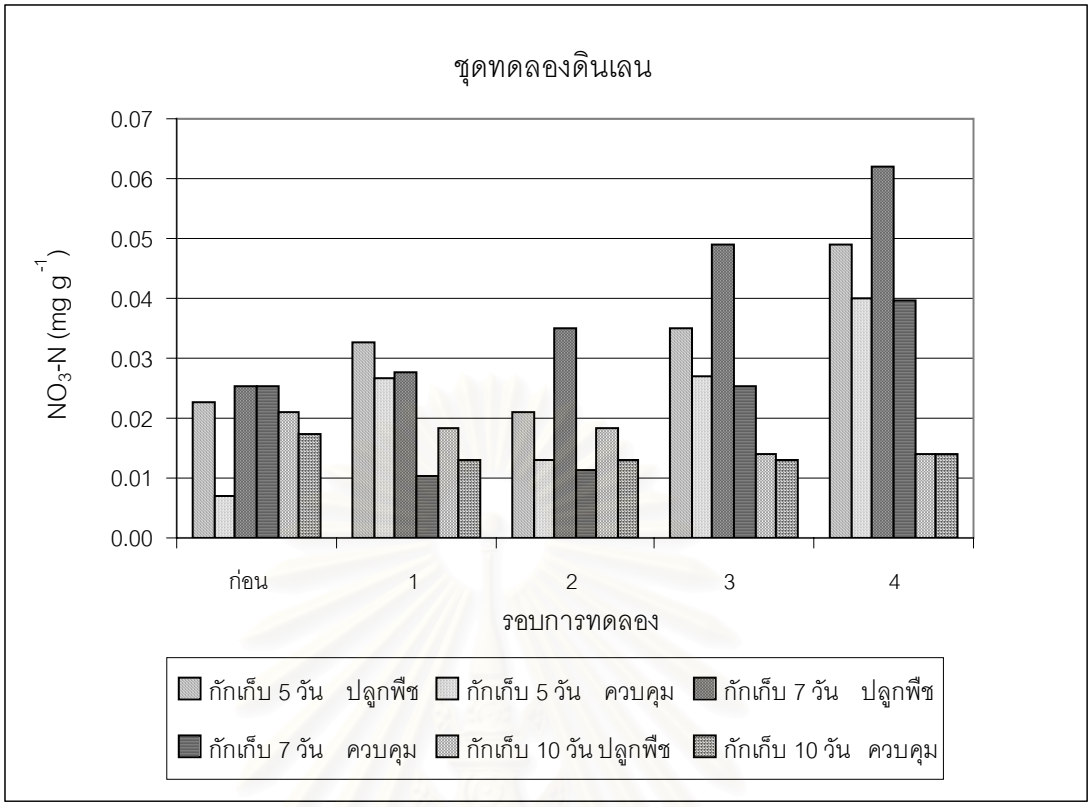
ตารางที่ 4.15 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

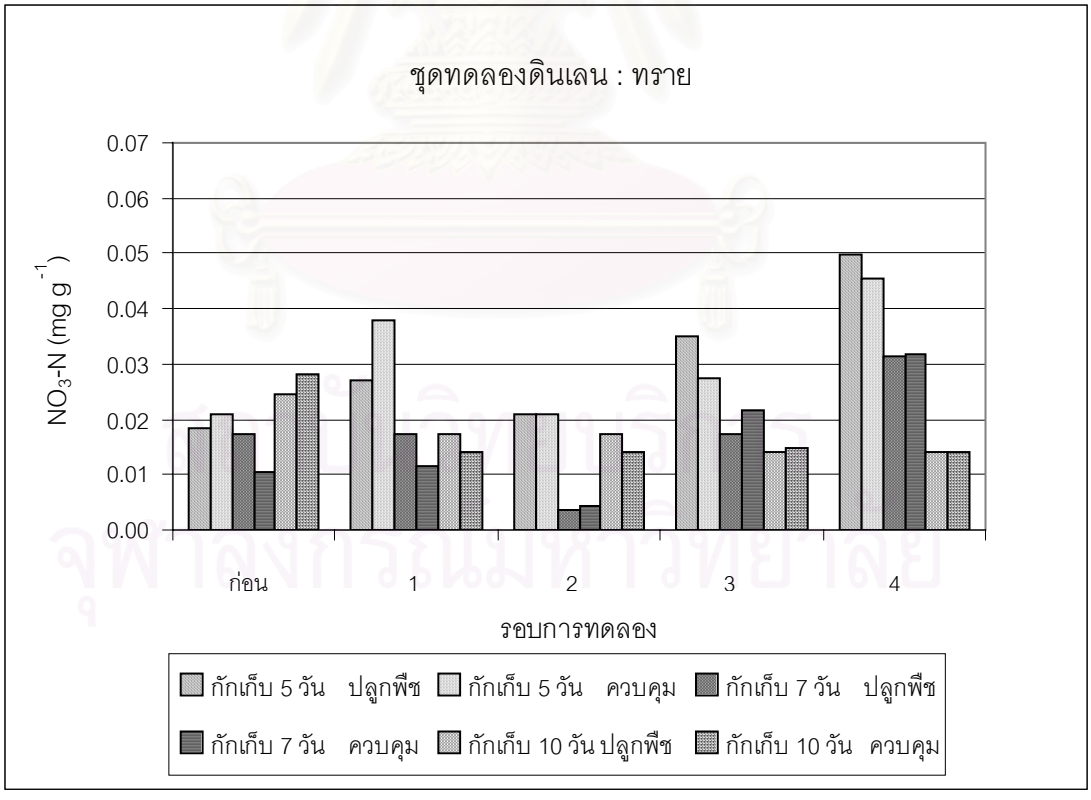
กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	0.022±0.010	0.032±0.010	0.021±0.010	0.035±0.010	^{b}0.490±0.010
		เลน:ทราย	0.018±0.000^{a}	0.027±0.000^{a}	0.021±0.010^{a}	0.035±0.010^{ab}	^{b}0.049±0.010^{b}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.007±0.010	0.026±0.0170	0.013±0.000	0.027±0.000	^{b}0.040±0.000
		เลน:ทราย	0.021±0.000	0.037±0.020	0.021±0.010	0.027±0.010	^{b}0.045±0.010
7	ปลูก	ดินเลน	0.025±0.000	0.027±0.020	0.035±0.010	0.049±0.010	^{b}0.062±0.010
		เลน:ทราย	0.017±0.010^{b}	0.017±0.010^{b}	0.003±0.010^{a}	0.017±0.010^{b}	^{ab}0.031±0.000^{c}
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.025±0.010	0.010±0.000	0.011±0.010	0.025±0.010	^{b}0.039±0.020
		เลน:ทราย	0.010±0.000	0.011±0.000	0.004±0.000	0.021±0.010	^{b}0.031±0.000
10	ปลูก	ดินเลน	0.021±0.010	0.018±0.000	0.018±0.000	0.014±0.000	^{a}0.014±0.000
		เลน:ทราย	0.024±0.000	0.017±0.000	0.017±0.000	0.014±0.000	^{a}0.014±0.000
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.017±0.000	0.013±0.000	0.013±0.000	0.013±0.000	^{a}0.014±0.000
		เลน:ทราย	0.028±0.010	0.013±0.010	0.014±0.010	0.014±0.010	^{a}0.014±0.000

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.9 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.3.8 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.124-1.330 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.146-1.376, 0.164-1.504, 0.172-1.519 และ 0.193-1.554 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 รูปที่ 4.10) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ของชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสถิติ แต่ชุดการทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วัน และปลูกพืชในดินเลนจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน จะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อมีระยะเวลากักเก็บน้ำนาน ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย จะถูกดูดซับไว้ในดินได้สูง และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดทดลองดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองดินเลนจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Kedlec (1995) กล่าวว่า กลไกในการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น กลไกการดูดซับของฟอสฟอรัสกับดินในระบบเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับจะเกิดได้ดีก็ต่อเมื่อมีการเติมน้ำเสียในระบบในปริมาณไม่มากนัก เพราะดินในระบบจะเกิดการอิ่มตัวไปด้วยฟอสฟอรัส จนไม่มีความสามารถในการดูดซับอีกต่อไป ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจะลดลง เมื่อจำนวนรอบการทดลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินในระบบเกิดการอิ่มตัวไปด้วยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่ไม่ถูกดินดูดซับไว้ จึงปะปนออกมากับน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลอง ทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงด้วย

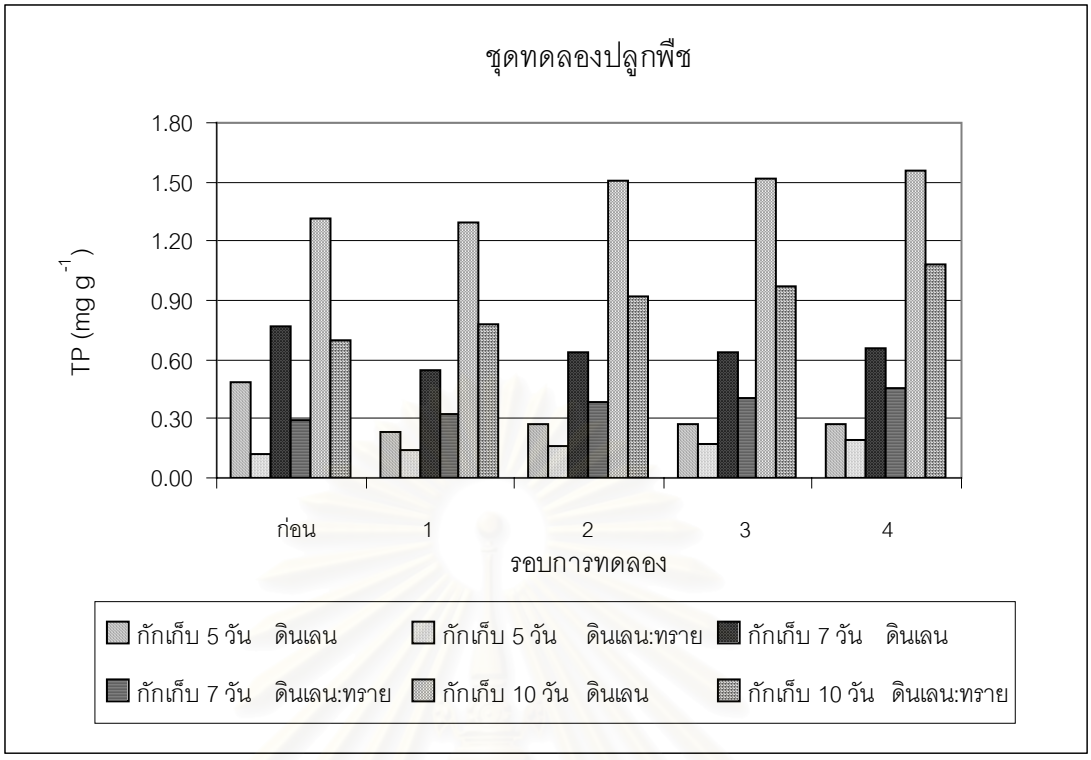
ตารางที่ 4.16 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

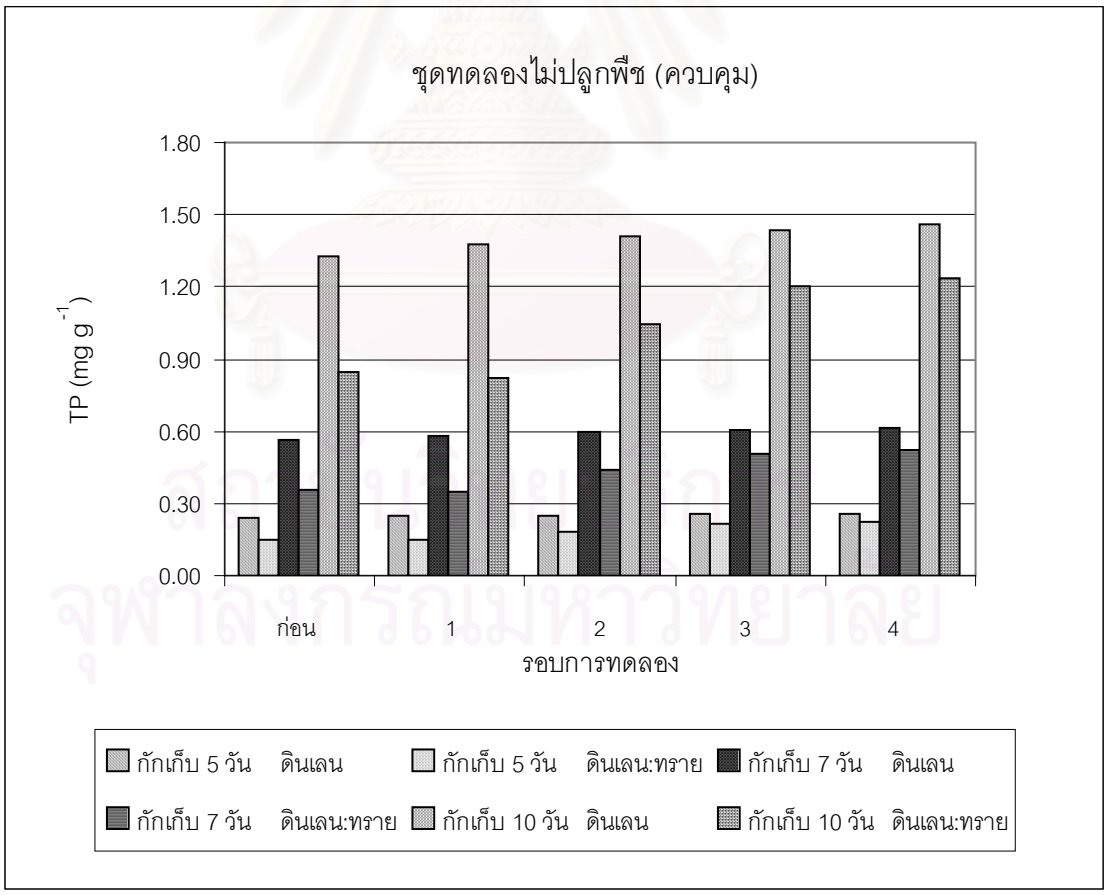
กักเก็บน้ำ (วัน)	พืช	ชนิดดิน	ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ปลูก	ดินเลน	0.380±0.040^{b}	^{a}0.230±0.000^{a}	^{a}0.268±0.000^{a}	^{a}0.270±0.000^{a}	^{a}0.277±0.000^{a}
		เลน:ทราย	0.124±0.030	^{a}0.138±0.020	^{a}0.164±0.030	^{a}0.172±0.040	^{a}0.193±0.010
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.237±0.010	^{a}0.245±0.010	^{a}0.251±0.000	^{a}0.255±0.000	^{a}0.260±0.000
		เลน:ทราย	0.151±0.030	^{a}0.156±0.010	^{a} 0.185±0.060	0.214±0.020	^{a}0.220±0.020
7	ปลูก	ดินเลน	0.764±0.270	^{b}0.546±0.010	^{b}0.635±0.000	^{b}0.641±0.000	^{b}0.656±0.000
		เลน:ทราย	0.294±0.070	^{b}0.327±0.050	^{b}0.388±0.060	^{a}0.408±0.090	^{b}0.457±0.020
	ไม่ปลูก	ดินเลน	0.561±0.020	^{b}0.581±0.030	^{b}0.596±0.000	^{b}0.605±0.000	^{b}0.617±0.010
		เลน:ทราย	0.357±0.070	^{b}0.385±0.020	^{b}0.439±0.150	0.507±0.060	^{b}0.521±0.040
10	ปลูก	ดินเลน	1.316±0.060	^{c}1.394±0.030	^{c}1.504±0.000	^{c}1.519±0.000	^{c}1.554±0.000
		เลน:ทราย	0.697±0.170	^{b}0.775±0.130	^{c}0.921±0.140	^{b}0.967±0.210	^{c}1.084±0.040
	ไม่ปลูก	ดินเลน	1.330±0.040	^{c}1.376±0.070	^{c}1.412±0.000	^{c}1.433±0.000	^{c}1.462±0.020
		เลน:ทราย	0.846±0.170	^{c}0.898±0.050	^{c}1.042±0.360	1.202±0.140	^{c}1.214±0.090

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ในดินเฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.4 อัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.4.1 การเจริญเติบโตทางด้านความสูง

อัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ต่อสัปดาห์ หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 1.46-3.45, 1.60-2.65, 1.6-3.42 และ 0.67-2.51 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18 รูปที่ 4.12) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ต่อสัปดาห์ ของชุดทดลองต่างๆ หลังการทดลองทั้ง 4 รอบ โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ากล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต่อสัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกชุดทดลอง โดยรอบที่ 3 ในการทดลองจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด และอัตราการเจริญเติบโตลดลงมากเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองรอบที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ต่อสัปดาห์ โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง สูงสุด และชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันจะมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต่อสัปดาห์ต่ำสุด อาจเป็นเพราะการท่วมขังของน้ำเป็นระยะเวลานาน ทำให้ดินเกิดสภาพรีดิวซ์สูง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า E_H ของดินที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน พบว่า E_H ในดินมีค่าต่ำ จนบางชุดทดลองมีค่าเป็นลบ ดินจึงมีสภาพรีดิวซ์สูง ดังนั้นรากพืชจะทำงานผิดปกติ จะทำให้เกิดการยับยั้งการดูดดึงและการลำเลียงธาตุอาหารในดินไปใช้ของพืช ซึ่งหากเกิดการท่วมขังเป็นระยะเวลานานมากพืชอาจตาย แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาและงานวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_H ในดินกับอัตราการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืชยังมีน้อย (Pezeshki, 2001)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดดิน พบว่าชุดทดลองดินเลนจะมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง สูงกว่าชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นเลน

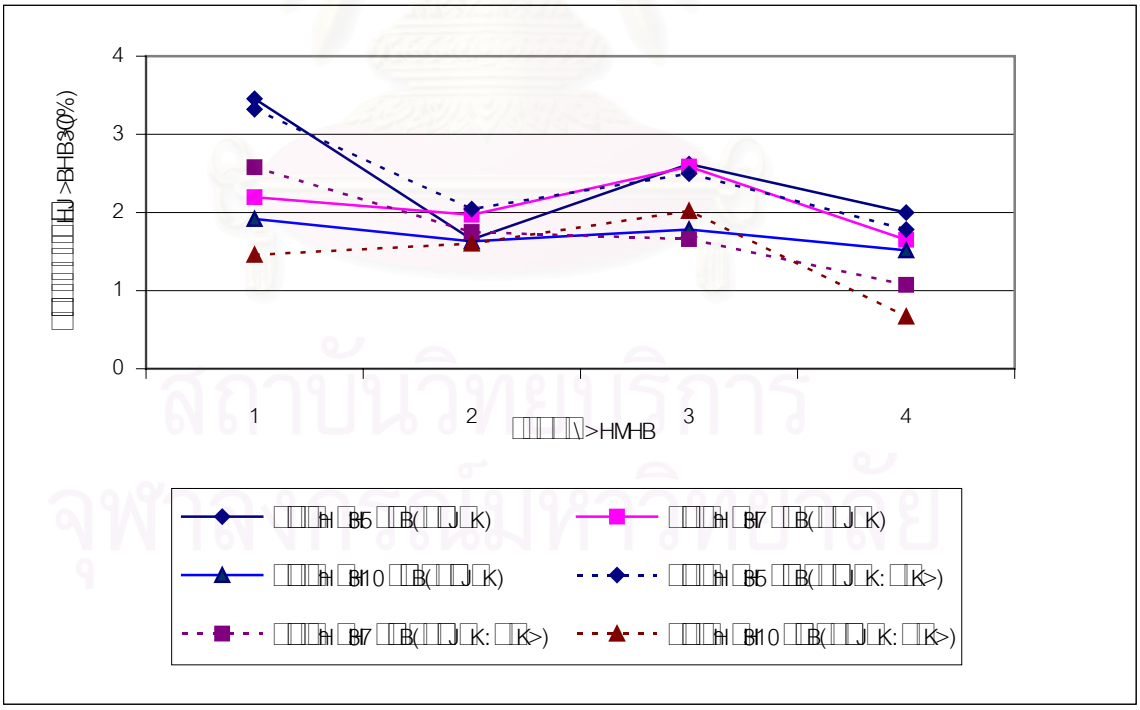
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 อัตราการเจริญเติบโตทางความสูงต่อสัปดาห์ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ยหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	ชนิดดิน	อัตราการเพิ่มความสูงต่อสัปดาห์ (%) หลังการทดลองรอบที่ 1-4			
		1	2	3	4
5	ดินเลน	^{c} 3.45±0.05 ^{d}	^{c} 2.65±0.53 ^{b}	^{c} 3.42±1.00 ^{c}	^{c} 2.51±0.21 ^{a}
	เลน :ทราย	^{c} 3.32±0.46 ^{d}	^{c} 2.04±0.03 ^{b}	^{c} 2.30±0.25 ^{c}	^{c} 1.78±0.01 ^{a}
7	ดินเลน	^{b} 2.20±0.27 ^{c}	^{b} 1.97±0.28 ^{b}	^{b} 2.59±0.22 ^{d}	^{b} 1.65±0.22 ^{a}
	เลน :ทราย	^{b} 2.58±0.46 ^{d}	^{b} 1.75±0.31 ^{c}	^{b} 1.66±0.31 ^{b}	^{b} 1.07±0.19 ^{a}
10	ดินเลน	^{a} 1.92±0.11 ^{d}	^{a} 1.63±0.09 ^{b}	^{a} 1.78±0.29 ^{c}	^{a} 1.51±0.14 ^{a}
	เลน :ทราย	^{a} 1.46±0.26 ^{b}	^{a} 1.60±0.06 ^{c}	^{a} 2.02±0.06 ^{d}	^{a} 0.67±0.06 ^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของกล้าไม้หลังการทดลองรอบที่ 1-4



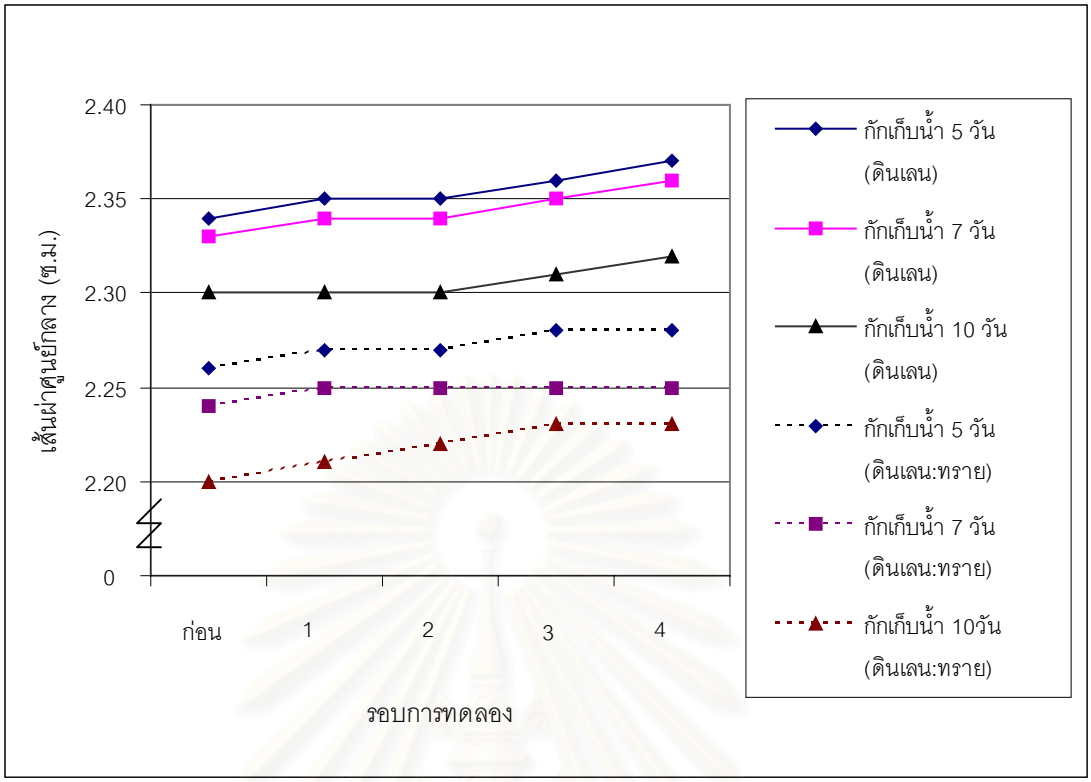
รูปที่ 4.12 อัตราการเจริญเติบโตทางความสูงต่อสัปดาห์ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.4.2 การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง

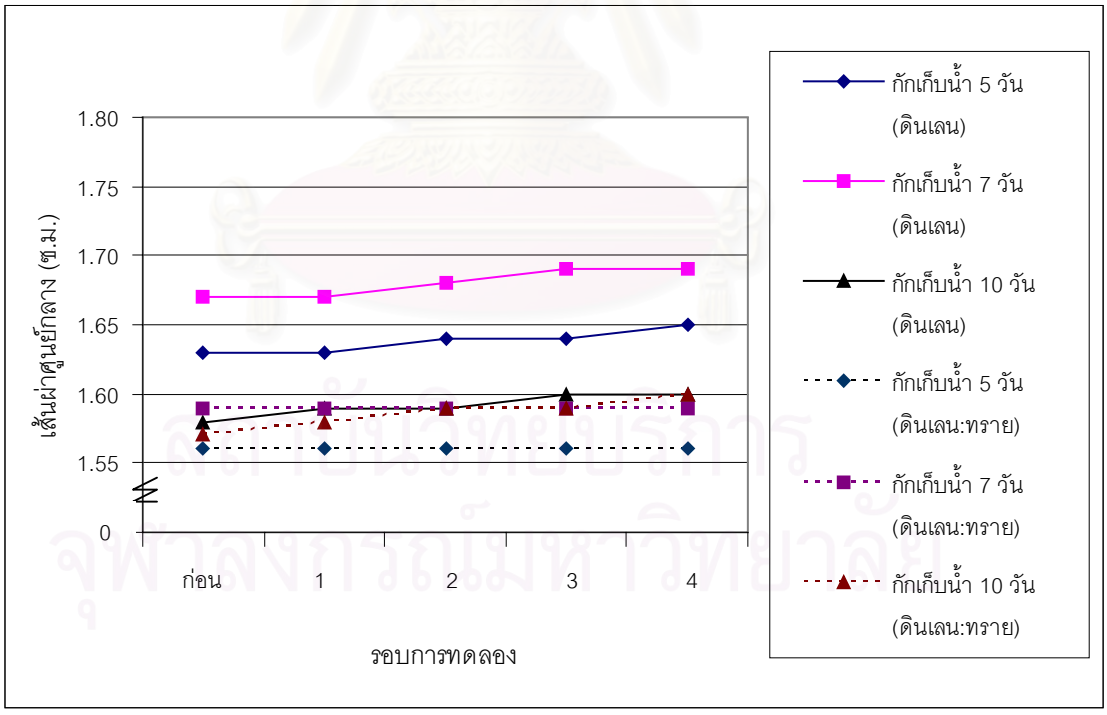
การเปรียบเทียบเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 0 และ 15 เซนติเมตรของชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลอง และหลังสิ้นสุดการทดลองในแต่ละรอบ พบว่า กล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมาก จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดทดลองมีขนาดเล็ก แต่ละชุดปลูกกล้าไม้ 12 ต้น เมื่อทำการทดลองไประยะเวลาหนึ่ง กล้าไม้เจริญเติบโตขึ้น ชุดทดลองจึงแน่นขนัด และกล้าไม้ต้องการแสงแดดในการสังเคราะห์แสง จึงต้องเร่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเพื่อแย่งแสงแดด ทำให้กล้าไม้เจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางได้น้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) เพราะโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นเลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่แสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.13 ซึ่งจากตาราง พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ก่อนการทดลองของชุดทดลองที่ใช้ดินเลนสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) เนื่องจากได้เตรียมชุดทดลองและปลูกกล้าไม้เพื่อให้กล้าไม้ตั้งตัวได้ ก่อนทำการทดลองบำบัดน้ำเสียประมาณ 3 เดือน ดังนั้นกล้าไม้ที่ปลูกในดินเลน ซึ่งมีสภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตจึงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงกว่ากล้าไม้ที่ปลูกในดินเลน : ทราย (1:1)

ตารางที่ 4.19 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	ระดับ (ซ.ม.) จากผิวดิน	ชนิดดิน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการทดลองรอบที่ 1-4				
			ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	0	ดินเลน	2.34±0.06	2.35±0.04	2.35±0.04	2.37±0.01	2.39±0.01
		เลน:ทราย	2.26±0.03	2.27±0.03	2.27±0.03	2.28±0.03	2.28±0.03
	15	ดินเลน	1.63±0.05	1.63±0.00	1.64±0.00	1.64±0.00	1.65±0.00
		เลน:ทราย	1.56±0.03	1.56±0.03	1.56±0.03	1.56±0.03	1.56±0.01
7	0	ดินเลน	2.33±0.11	2.34±0.01	2.34±0.05	2.35±0.02	2.40±0.02
		เลน:ทราย	2.24±0.00	2.25±0.00	2.25±0.00	2.25±0.00	2.25±0.00
	15	ดินเลน	1.67±0.00	1.67±0.00	1.68±0.00	1.69±0.00	1.69±0.00
		เลน:ทราย	1.59±0.00	1.59±0.00	1.59±0.00	1.59±0.00	1.59±0.00
10	0	ดินเลน	2.25±0.02	2.30±0.02	2.31±0.02	2.33±0.01	2.36±0.01
		เลน:ทราย	2.20±0.06	2.20±0.06	2.22±0.06	2.23±0.06	2.23±0.06
	15	ดินเลน	1.58±0.01	1.59±0.01	1.59±0.01	1.60±0.01	1.60±0.01
		เลน:ทราย	1.57±0.08	1.58±0.06	1.59±0.06	1.59±0.01	1.60±0.01



(ก) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 0 เซนติเมตร จากผิวดิน



(ข) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน

รูปที่ 4.13 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 0 และ15 เซนติเมตร จากผิวดิน

4.5 ปริมาณธาตุอาหารในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.5.1 ปริมาณทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

ผลการศึกษาปริมาณทีเคเอ็นในกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ของชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 8.52-9.43 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 8.16-9.19, 8.37-10.31, 9.04-10.76 mg g^{-1} และ 9.27-10.98 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20 รูปที่ 4.14) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ของชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปริมาณทีเคเอ็นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน แต่จะมีความแตกต่างในชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน โดยปริมาณทีเคเอ็นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามรอบของการทดลอง เพราะเมื่อกล้าไม้ได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสียเป็นระยะเวลานานเต็มที่ และมีการสะสมธาตุอาหารในเซลล์ของพืช พืชจึงมีการเจริญเติบโต และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณทีเคเอ็นในกล้าไม้โกงกางใบใหญ่โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำเป็นระยะเวลานาน 10 วัน จะมีปริมาณทีเคเอ็นสูงกว่าชุดทดลองที่มีการกักเก็บน้ำเป็นระยะเวลา 5 และ 7 วัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

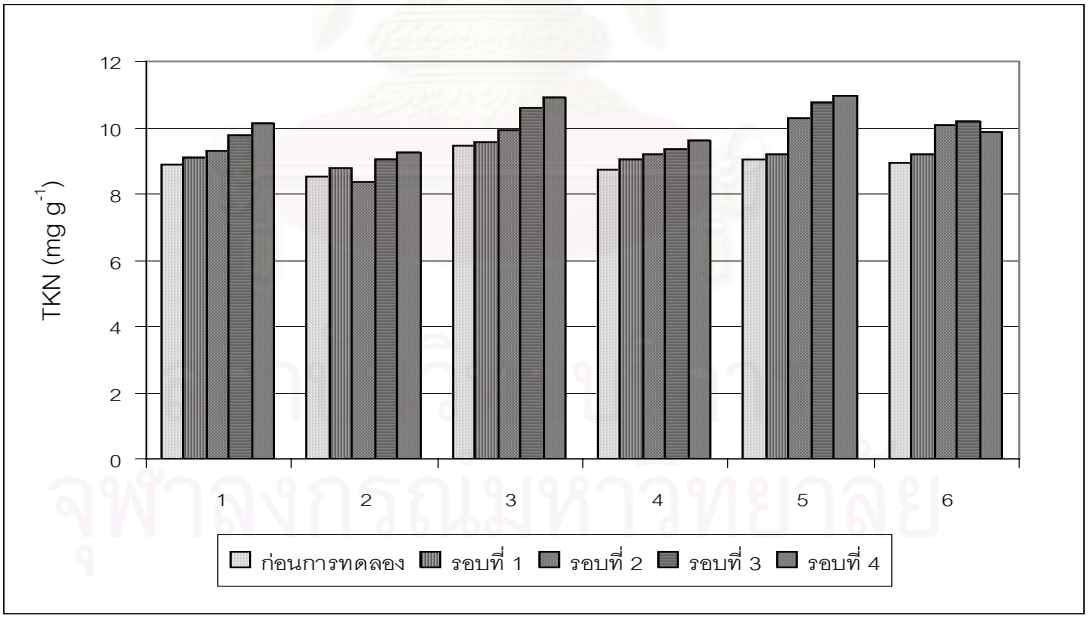
Meuleman และคณะ (2002) ศึกษาการกักเก็บไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพืชของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ และพื้นที่ชุ่มน้ำที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียมาแล้ว พบว่า ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในพืช ทั้งที่สะสมในมวลชีวภาพและจากเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่น ของพื้นที่ชุ่มน้ำที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียมาแล้ว มีค่าสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ สรุปได้ว่า พืชมีส่วนช่วยในการบำบัดธาตุอาหารจากน้ำเสีย โดยการสะสมไว้ในมวลชีวภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ปริมาณทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่เฉลี่ย ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	ชนิดดิน	ทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
		ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ดินเลน	8.89±0.56	9.09±0.16	[a] 9.30±0.33	9.77±0.05	10.11±0.85
	เลน:ทราย	8.52±2.01	8.76±0.43	8.37±0.18	9.04±0.29	[a] 9.27±0.30
7	ดินเลน	9.43±0.02	9.55±0.54	[a] 9.90±0.23	10.58±2.14	10.92±2.62
	เลน:ทราย	8.74±0.18	9.06±1.70	9.18±0.26	9.34±0.50	[a] 9.46±0.66
10	ดินเลน	9.03±0.27[a]	9.21±0.32 [a]	[b]10.31±0.31[b]	10.76±0.33[b]	10.98±0.64 [b]
	เลน:ทราย	8.92±0.10 [a]	9.19±0.23[a]	10.08±0.79[ab]	10.20±0.95[b]	[b]9.87±0.85[ab]

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ
ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของทีเคเอ็นในใบก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ



หมายเหตุ 1 หมายถึง ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 5 วัน (ดินเลน) 2 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 5 วัน (ดินเลน:ทราย)
3 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 7 วัน (ดินเลน) 4 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 7 วัน (ดินเลน:ทราย)
5 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 10 วัน (ดินเลน) 6 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 10 วัน (ดินเลน:ทราย)

รูปที่ 4.14 ปริมาณทีเคเอ็นในใบเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

4.5.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ของชุดทดลองต่างๆ ก่อนการทดลองมีค่าระหว่าง 0.176-0.203 mg g^{-1} หลังการทดลองรอบที่ 1-4 มีค่าระหว่าง 0.136-0.155, 0.134-0.145, 0.133-0.145 และ 0.130-0.144 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21 รูปที่ 4.15) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ของชุดทดลองต่างๆ ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกชุดทดลอง โดยปริมาณฟอสฟอรัสจะลดลงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของรอบการทดลอง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการสุ่มตัวอย่างใบที่มีอายุแตกต่างกัน เนื่องจากฟอสฟอรัสจะถูกส่งจากใบแก่ ไปยังยอดอ่อน ฟอสฟอรัสในใบแก่จึงต่ำกว่าในใบอ่อน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่โดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำนานจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่สูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำสั้นกว่า และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1)

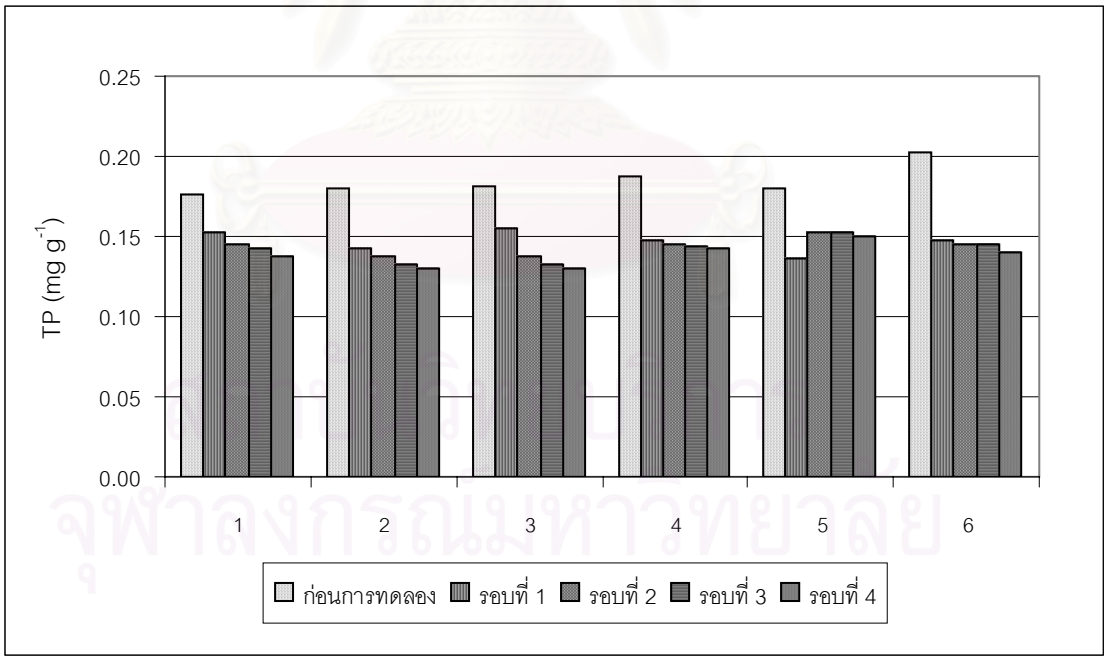
Wong (1995) ศึกษาผลของการให้น้ำเสียต่อการสะสมธาตุอาหารในน้ำเสียของพืชป่าชายเลน โดยเปรียบเทียบการสะสมธาตุอาหารในพืชระหว่างระบบที่ให้น้ำเสีย และระบบที่ไม่ให้น้ำเสีย พบว่าการสะสมธาตุอาหาร รวมทั้งฟอสฟอรัสของทั้ง 2 ระบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับระบบที่ทำการทดลองเป็นเวลาสั้นๆ (ประมาณ 1 ปี) และธาตุอาหารในพืชมีการผันแปรเล็กน้อย ซึ่งมีการสรุปทำนองเดียวกับ Tam (1993) ซึ่งสรุปจากการทดลองได้ว่า ระดับธาตุอาหารในพืชป่าชายเลนค่อนข้างคงที่ ในช่วงที่ได้รับและไม่ได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

กักเก็บน้ำ (วัน)	ชนิดดิน	ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ (mg g^{-1}) ตามรอบการทดลอง				
		ก่อนการทดลอง	1	2	3	4
5	ดินเลน	0.176 ± 0.01^{c}	0.152 ± 0.00^{b}	$^{ab}0.145\pm0.00^{ab}$	$^{b}0.142\pm0.00^{a}$	$^{b}0.137\pm0.00^{a}$
	เลน:ทราย	0.180 ± 0.00^{c}	0.142 ± 0.00^{b}	0.138 ± 0.01^{ab}	$^{a}0.133\pm0.00^{ab}$	$^{a}0.130\pm0.00^{a}$
7	ดินเลน	0.181 ± 0.02^{b}	0.155 ± 0.01^{a}	$^{a}0.137\pm0.01^{a}$	$^{a}0.133\pm0.00^{a}$	$^{a}0.130\pm0.00^{a}$
	เลน:ทราย	0.187 ± 0.01^{b}	0.148 ± 0.01^{a}	0.145 ± 0.00^{a}	$^{b}0.144\pm0.00^{a}$	$^{b}0.143\pm0.00^{a}$
10	ดินเลน	0.180 ± 0.01^{c}	0.136 ± 0.01^{a}	$^{b}0.153\pm0.00^{b}$	$^{c}0.152\pm0.00^{b}$	$^{c}0.150\pm0.00^{b}$
	เลน:ทราย	0.203 ± 0.01^{b}	0.148 ± 0.01^{a}	0.145 ± 0.01^{a}	$^{b}0.145\pm0.00^{a}$	$^{b}0.144\pm0.00^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำของการทดลองในแต่ละรอบ
ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของฟอสฟอรัสในใบก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ



หมายเหตุ 1 หมายถึง ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 5 วัน (ดินเลน) 2 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 5 วัน (ดินเลน:ทราย)
3 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 7 วัน (ดินเลน) 4 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 7 วัน (ดินเลน:ทราย)
5 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 10 วัน (ดินเลน) 6 ชุดทดลองกักเก็บน้ำ 10 วัน (ดินเลน:ทราย)

รูปที่ 4.15 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบเฉลี่ยก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lamk.) ดำเนินการศึกษา ณ พื้นที่ปฏิบัติการของภาควิชาพฤกษศาสตร์ บริเวณบ้านเด็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองได้แปรผันปัจจัยการทดลอง 4 ปัจจัย คือ ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 แบบ (5, 7 และ 10 วัน) ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3 แบบ (3, 5 และ 7 วัน) ชนิดดิน 2 ชนิด (ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1)) และชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช (ชุดควบคุม) โดยทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนของอาคารวิทยนิเวศน์ ที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 1 โดยบ่อตกตะกอนและบำบัดขั้นที่ 2 โดยระบบโปรยกรองแล้ว ทำการทดลองทั้งหมด 4 รอบ แต่ละรอบทดลองบำบัด 3 ครั้ง โดยแปรผันระยะเวลาปล่อยให้แห้ง รวมทดลองบำบัดทั้งสิ้น 12 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง ธันวาคม 2546 สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 คุณภาพน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำ พบว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีคุณภาพค่อนข้างดี โดยมีค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ย 0.34 mg l^{-1} บีโอดี 56.84 mg l^{-1} ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 0.02 mg l^{-1} ทีเคเอ็น 43.43 mg l^{-1} แอมโมเนีย 34.39 mg l^{-1} ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.50 mg l^{-1} และออร์โธฟอสเฟต 0.12 mg l^{-1} และเมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต) ในชุดทดลองต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน และระยะเวลาปล่อยให้แห้งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี คือ การกักเก็บน้ำ 7 วันและการปล่อยให้แห้ง 5 วัน และที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดคือ การกักเก็บน้ำ 7 วันและการปล่อยให้แห้ง 3 วัน สำหรับการบำบัดธาตุอาหารมีรูปแบบการทดลองที่เหมาะสมคือ การกักเก็บน้ำ 10 วัน และการปล่อยให้แห้ง 7 วัน ทั้งนี้เพราะการบำบัดธาตุอาหารจะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อมีระยะเวลากักเก็บน้ำที่เพียงพอ Greenway และ Woolley (2001) กล่าวว่า ระยะเวลากักเก็บน้ำประมาณ 10 วัน เหมาะสมในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับ Wetland International Report

(2003) ที่กล่าวว่า การบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำมากกว่า 5 วัน อย่างไรก็ตาม ระยะเวลากักเก็บน้ำ และระยะเวลาปล่อยให้แห้งต้องเหมาะสมต่อการที่จะให้พืชสามารถเจริญเติบโตและทำให้น้ำและดินไม่เน่าเสีย ซึ่งชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วันนั้นเมื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตทางความสูงของกล้าไม้ พบว่ากล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ดังนั้นจึงไม่สมควรเลือกรูปแบบการทดลองนี้ในการบำบัด

ช่วงเวลาปล่อยให้แห้งจะเป็นช่วงที่มีการเติมออกซิเจนให้ดินในระบบ และจะสัมพันธ์กับค่า E_H ในดิน โดยเมื่อระยะเวลาปล่อยให้แห้งนานขึ้น ออกซิเจนในบรรยากาศสามารถแพร่ลงในดินได้มาก ทำให้ค่า E_H ในดินสูงด้วย ซึ่งระยะเวลาปล่อยให้แห้งที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารด้วย เพราะจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหารทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยในช่วงเวลาปล่อยให้แห้งจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในอัตราที่เร็วกว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการบำบัดบีโอดี และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในชุดที่ใช้ดินต่างชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารดังกล่าวสูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) ทั้งนี้เนื่องจากดินเลนมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงกว่าดินเลน : ทราย (1:1) จึงทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับแอมโมเนียมไอออนไว้ในดินชั้นล่างได้สูง เปอร์เซ็นต์การบำบัดจึงสูง สำหรับฟอสฟอรัสอนุภาคดินเหนียวจะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่า นอกจากนี้สารประกอบฟอสฟอรัสสามารถก่อตะกอนผลึกกับไอออนบวกต่างๆ ที่อยู่ในดิน และบางส่วนสามารถเกิดสารเชิงซ้อนได้ด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่าความสามารถในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และธาตุอาหารในชุดทดลองต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซนต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืช

โดยสรุป รูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย การบำบัดบีโอดีและการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน ได้ทำการพิจารณาจากทั้งประสิทธิภาพในการบำบัดและผลกระทบทางลบต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ รูปแบบการทดลองที่เหมาะสม คือ การกักเก็บน้ำ 7 วัน และปล่อยให้แห้ง 5 วัน เนื่องจาก ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ทำให้กล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน พบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่า และหากเปรียบเทียบระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 3, 5

และ 7 วัน จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดค่อนข้างผันแปร แต่ที่ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูง ในเกือบทุกพารามิเตอร์ ตามตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 รูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	กักเก็บน้ำ (วัน)	ปล่อยให้แห้ง (วัน)	การเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย (%)			
			ปลูกโกงกางใบใหญ่		ไม่ปลูกโกงกางใบใหญ่	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
DO	5	3	90.50	91.71	92.18	91.96
		5	91.58	91.35	91.90	92.89
		7	93.46	93.20	87.72	88.89
	7	3	92.20	90.45	89.68	90.99
		5	89.52 *	88.36	77.98	81.03
		7	93.39	93.45	88.82	85.93
	10	3	92.00	94.85	95.67	90.65
		5	92.86	93.52	88.33	87.93
		7	91.43	92.43	85.52	85.52

หมายเหตุ * หมายถึง รูปแบบที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เมื่อเลือกใช้ชุดทดลองที่ปลูกพืชในดินเลนที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 รูปแบบการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดีและธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	กักเก็บน้ำ (วัน)	ปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)			
			ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่		ไม่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
BOD	5	3	89.02	87.14	85.27	83.95
		5	95.04	93.17	89.33	87.75
		7	92.78	91.88	84.51	83.67
	7	3	95.92	95.72	94.86	93.75
		5	95.39 *	95.20	93.61	93.63
		7	95.28	94.89	93.04	93.6
	10	3	96.50	93.83	89.98	90.65
		5	95.96	94.32	90.28	93.58
		7	96.29	93.75	92.19	90.07
TKN	5	3	82.98	79.97	81.84	78.15
		5	85.72	84.23	82.76	81.14
		7	90.96	85.92	83.29	80.43
	7	3	92.30	91.34	90.11	84.71
		5	92.92 *	90.88	89.96	85.80
		7	92.59	90.56	90.10	89.01
	10	3	95.50	96.32	95.25	92.95
		5	97.05	96.97	94.02	93.77
		7	95.90	94.52	94.31	92.42
TP	5	3	58.3	47.89	46.08	39.43
		5	57.06	49.91	49.77	45.28
		7	58.96	49.56	46.96	48.52
	7	3	63.00	59.05	50.62	49.04
		5	67.01 *	62.62	56.41	57.83
		7	55.28	50.20	45.86	46.28
	10	3	75.88	69.09	53.60	52.63
		5	71.48	58.65	39.95	37.58
		7	77.75 *	74.08	63.53	61.58

หมายเหตุ * หมายถึง รูปแบบที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เมื่อเลือกใช้ชุดทดลองที่ปลูกพืชในดินเลนที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน

สามารถคาดประมาณสัดส่วนการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย การบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ต่อพื้นที่ป่าชายเลน 1 ไร่ ได้ดังตารางที่ 5.3 เมื่อเลือกใช้ชุดทดลองที่ปลูกพืชในดินเลน ที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และระยะเวลาปล่อยให้แห้ง 5 วัน เพราะจากการวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว พบว่า ชุดทดลองนี้มีความเหมาะสมในการบำบัดบีโอดี ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้คุณภาพน้ำได้ แต่ในการทดลองครั้งนี้ได้ทดลองบำบัดน้ำเสียโดยใช้กล้าไม้โกงกางใบใหญ่อายุประมาณ 17 เดือน อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ ความสามารถในการดูดดึงธาตุอาหารและการปรับตัวทางโครงสร้างรากจึงยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนจึงไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 5.3 การคาดประมาณพื้นที่ป่าชายเลนที่ต้องการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	น้ำเสียชุมชนที่ป่าชายเลนสามารถบำบัดได้	
	ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่	ไม่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่
	kg/ไร่/ปี	kg/ไร่/ปี
DO	1.247	0.680
BOD	17.379	16.964
TKN	13.140	12.706
TP	0.111	0.095

5.1.2 สมบัติของดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล (E_H) ในดินที่มีระยะเวลาการกักเก็บน้ำและระยะเวลาการปล่อยให้แห้งที่ต่างกัน พบว่า ในช่วงที่มีการกักเก็บน้ำค่า E_H มีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้น จนในที่สุดจะมีค่าเป็นลบ เพราะเมื่อกักเก็บน้ำ ออกซิเจนในบรรยากาศจะแพร่ลงสู่ดินได้น้อย ทำให้ในดินมีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงทำให้ค่า E_H ในดินลดลงจนเป็นลบ โดยมีค่าต่ำสุดประมาณ -168.6 mV ทั้งนี้เนื่องมาจาก ค่า E_H สัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิเจนในดินของระบบ และค่า E_H จะลดลงเมื่อระดับความลึกจากผิวดินเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะเห็นความแตกต่างไม่มากนัก เนื่องจากชุดทดลองมีความลึกจากก้นกระบะเพียง 31 เซนติเมตร และบรรจุดินสูงขึ้นมาจากก้นกระบะ 20 เซนติเมตร ทำให้ค่า E_H ที่วัดในแต่ละระดับความลึกจากผิวดินใกล้เคียงกัน สำหรับช่วงระยะเวลาปล่อยแห้ง เมื่อเริ่มปล่อยน้ำเสียออกจากชุดทดลอง ค่า E_H จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาปล่อยแห้งนานขึ้น โดยจะมีค่าสูงที่สุด 435.7 mV และค่า E_H ของชุดทดลองที่ปลูกพืชจะสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชเล็กน้อย ในทุกระดับความลึก อาจเป็นเพราะราก

พืชที่ชอนไชไปในดินทำให้ดินอัดตัวกันไม่แน่นมาก เป็นผลให้ออกซิเจนสามารถแพร่ลงสู่ดินชั้นล่างได้ดี เมื่อเปรียบเทียบค่า E_H ระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลนและดินเลน : ทราย (1:1) พบว่าค่า E_H ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่ชุดทดลองที่ใช้ดินเลน จะมีค่า E_H ต่ำกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) เล็กน้อย เนื่องจากชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) มีอนุภาคทราย 62.70-74.88% ซึ่งอนุภาคทรายมีขนาดใหญ่ และมีความเชื่อมแน่น (cohesion) ต่ำ จึงมีความพรุนสูงกว่า ออกซิเจนจึงสามารถแพร่ลงไปได้มากกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลนที่มีอนุภาคทรายเพียง 29.70-36.84% นอกจากนี้ชุดทดลองที่ใช้ดินเลนมีอนุภาคดินเหนียว 35.12-39.30% สูงกว่าชุดทดลองที่ใช้ดินเลน : ทราย (1:1) ที่มีอนุภาคดินเหนียวเพียง 20.94-26.01% ซึ่งอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กและมีความเชื่อมแน่นสูง สาเหตุมาจากอนุภาคของดินเหนียวมีพื้นที่ผิวให้น้ำยึดเกาะอยู่ได้มาก จึงทำให้อนุภาคเกาะยึดกันได้ดี และมีความพรุนต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ออกซิเจนจึงแพร่ลงไปได้น้อย ทำให้ค่า E_H ต่ำด้วย

การศึกษาสมบัติของดินในชุดทดลองต่างๆ จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างก่อนการทดลองและหลังสิ้นสุดการทดลองในแต่ละรอบ พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในการทดลองรอบหลังๆ ปริมาณแอมโมเนียในดินลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเป็นศูนย์ และปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากสิ้นสุดการทดลองในแต่ละรอบทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในดิน เป็นการวิเคราะห์ดินสดที่เปียกชื้น ซึ่งเก็บตัวอย่างหลังจากการปล่อยน้ำเสียออกจากชุดทดลอง ดังนั้นแอมโมเนียและไนเตรทที่วิเคราะห์ได้ จึงเป็นแอมโมเนียและไนเตรทของน้ำเสียที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองมีปริมาณแอมโมเนียน้อย จนเกือบเป็นศูนย์ในการทดลองรอบหลัง ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในดินน้อยมากด้วย และประกอบกับแอมโมเนียถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทโดยการเกิดกระบวนไนตริฟิเคชัน (nitrification) ดังนั้นปริมาณไนเตรทจึงเพิ่มขึ้นหลังจากสิ้นสุดการทดลองในแต่ละรอบ แต่ปริมาณเพิ่มขึ้นไม่มาก เพราะเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละรอบ มีการชะล้างระบบด้วยน้ำประปา ไนเตรทซึ่งละลายน้ำได้ง่ายจึงอาจถูกชะละลายออกมากับน้ำประปา นอกจากนี้ไนเตรทบางส่วนจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ ระเหยออกสู่บรรยากาศด้วย สำหรับปริมาณทีเคเอ็นในดินระหว่างก่อนการทดลองและหลังสิ้นสุดการทดลองในแต่ละรอบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณทีเคเอ็นในดินก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบมีระหว่าง 0.70-2.25 mg g^{-1} ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียชุมชนที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณทีเคเอ็น (39.95-46.91 mg l^{-1}) ไม่สูงมาก และชุดทดลองมีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียได้สูง ดังนั้นจึงมีการสะสมไนโตรเจนในดินน้อย เพราะไนโตรเจนบางส่วนถูกพืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ และบางส่วนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ ระเหยออกสู่บรรยากาศโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในสภาวะที่ดินไม่มีออกซิเจน และจากการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและ

ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินระหว่างชุดทดลองที่ใช้ดินเลน และดินเลน : ทราย (1:1) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับไว้กับอนุภาคดิน ทำให้ชุดทดลองที่เป็นดินเลนซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวสูง มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง จึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันน้อย เนื่องจากพืชสามารถดูดดึง (uptake) ฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตได้น้อย แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะสอดคล้องกับการศึกษาของคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) ที่ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ลงไปในดิน ฟอสเฟตจะถูกตรึงอยู่ในดินในสภาพที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 75-90 เปอร์เซ็นต์ โดยพืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ประมาณ 10-25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Tam และคณะ (1993) กล่าวว่า ปริมาณธาตุอาหารในใบของพืชจะคงที่ และอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของพืชจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงของความเค็มในช่วงกว้าง อุณหภูมิสูง และการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำท่วมขังสลับแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดลองทั้ง 4 รอบแล้ว พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่เข้าชุดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการทดลองทั้ง 4 รอบ

5.1.3 อัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

การศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ สรุปได้ว่ากล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตทางความสูงในดินเลนสูงกว่าดินเลน : ทราย (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในธรรมชาติโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นเลนบริเวณนอกสุดติดชายฝั่ง (Steenis, 1958 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2541) และการเจริญเติบโตมีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำที่แตกต่างกัน โดยอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงตามระยะเวลากักเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลากักเก็บน้ำที่นานเกินไป ดินจะเกิดสภาพรีดิวซ์สูง (ค่า E_H ในดินต่ำจนมีค่าเป็นลบ) ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อระบบการดูดดึงและการลำเลียงธาตุอาหารของรากพืช (Pezeshki, 2001) และสอดคล้องกับ สนิท อักษรแก้ว (2547) ที่กล่าวว่า พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกพืชและพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีต้องมี ค่า E_H สูงกว่า 100 mV ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่า E_H ของช่วงเวลาปล่อยให้แห้งมีค่าสูงกว่า 100 mV และค่า E_H ของช่วงระยะเวลากักเก็บน้ำที่ไม่นานนัก มีค่าสูงกว่า 100 mV ด้วย ดังนั้นดินในชุดทดลองจึงอยู่ในสภาพที่กล้าไม้สามารถเจริญเติบโตได้

แต่กล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแต่ละชุดทดลองมีขนาดเล็ก ปลูกกล้าไม้ 12 ต้นซึ่งเมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งกล้าไม้จึงแน่นขนัด ทำให้มีการเร่งอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เพื่อแก่งแย่งแสงแดดกันจึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำ

5.1.4 ปริมาณธาตุอาหารในกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ พบว่าใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ตามจำนวนรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณไนโตรเจนมีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน โดยชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 และ 7 วัน ทั้งนี้เพราะหากระยะเวลาสัมผัสกับน้ำเสียนานขึ้นรากพืชก็จะสามารถดูดดึงไนโตรเจนได้มากขึ้น สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบของของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกัน แต่มีปริมาณลดลงตามการเพิ่มของจำนวนรอบที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างใบเพื่อนำมาวิเคราะห์ได้ใบอ่อน-แก่ต่างกัน โดยในใบแก่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าใบอ่อน ทั้งนี้เพราะพืชจะดึงฟอสฟอรัสจากใบแก่ที่บริเวณข้อใบล่าง ส่งไปยังยอดเพื่อให้ใบอ่อนที่บริเวณยอดเจริญเติบโต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น ผลของสภาพน้ำขังสลับแห้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ พบว่าระบบที่ปลูกพืชที่มีระยะเวลากักเก็บน้ำ ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง และชนิดดินที่เหมาะสมจะสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ดี แต่สำหรับการนำไปใช้จริงยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอีกมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การศึกษาครั้งนี้กำหนดระยะเวลากักเก็บน้ำ 5, 7 และ 10 วัน พบว่าที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน ความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียสูงสุด แต่กล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ดังนั้นระยะเวลากักเก็บน้ำ 10 วัน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามการบำบัดบีโอดี และการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน

2) การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้กล้าไม้อายุประมาณ 17 เดือน จึงมีความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารไม่สูงนัก เนื่องจากอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของกล้าไม้จะต่ำกว่าไม้ต้น (ตารางที่ 5.3) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาระยะยาว ช่วงที่พืชมีอายุมากกว่านี้ อาจทำให้เห็นผลของการ

บำบัดโดยพืชชัดเจนยิ่งขึ้น และควรศึกษาเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ในแนวเขตอื่นๆ ของป่าชายเลน ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีความทนและการเจริญเติบโตในสภาพน้ำท่วมขังที่แตกต่างกัน โดยพืชชนิดอื่นที่มีศักยภาพในการเลือกมาใช้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมป่าชายเลน ได้แก่ โกงกางใบเล็ก แสมทะเล และถั่วขาว เป็นต้น เนื่องจากพืชดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณใกล้ชายฝั่ง จึงน่าจะทนต่อสภาพการท่วมขังของน้ำได้ดี และนอกจากนี้ควรมีการศึกษาถึงการใช้พืชหลายชนิดร่วมกันในการบำบัดน้ำเสียด้วย

3) ควรศึกษาภายใต้สภาพธรรมชาติ (เช่น ไม่มีหลังคาคลุมชุดทดลอง) และคาบเกี่ยวทั้ง 3 ฤดูกาล เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของฝนและอุณหภูมิ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร และการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายให้กับระบบ

4) ควรมีการศึกษาระยะยาวเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการสะสมธาตุอาหารในดินของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริง เพราะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินย่อมส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในดินและพืช อันจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

5) ควรมีการประเมินสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ และพื้นที่ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสีย กับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ เพราะถ้ามีปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมากเกินความสามารถของระบบที่จะบำบัดได้ ระบบจะเกิดการสะสมของธาตุอาหาร ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ ดินในระบบมีคุณภาพต่ำลง หรือเกิดยูโทรฟิเคชันในระบบ

6) ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการบำบัดธาตุอาหารจากน้ำเสียโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น ชนิดของจุลินทรีย์และดิน เป็นต้น

ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยลดลงอย่างมาก ซึ่งส่งผลกระทบไปสู่ระบบนิเวศชายฝั่ง รวมถึงหญ้าทะเล ปะการัง และผลผลิตทางประมงอีกด้วย ในที่สุดก็ส่งผลต่อความเป็นอยู่ของชุมชน และเศรษฐกิจของประเทศ รัฐจึงมีนโยบายชัดเจนคือ สงวน ปลูกฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่าชายเลนของประเทศเพื่อก่อให้เกิดความสมดุลของธรรมชาติชายฝั่ง (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2546) ดังนั้นการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพืชป่าชายเลนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย จึงควรทำเฉพาะในพื้นที่ป่าชายเลนที่เสื่อมโทรมและหมดสภาพอย่างแท้จริง และไม่ควรใช้ป่าชายเลนธรรมชาติเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ป่าชายเลนที่ปลูกขึ้นนอกจากจะสามารถใช้บำบัดน้ำเสียแล้ว ยังช่วยคืนสมดุลให้กับระบบนิเวศชายฝั่ง อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญประการหนึ่ง คือ ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบที่มีความซับซ้อนเปราะบางและมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตหลายๆ ชนิด ดังนั้นในการใช้ป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสีย จึงต้องมีการศึกษาผลกระทบต่อสัตว์ในป่าชายเลน โดยเฉพาะสัตว์หน้าดิน ทั้งโดยทางตรงและห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งการควบคุมไม่ให้ระบบรองรับน้ำเสียมากเกินไป จนก่อให้เกิดผลกระทบตามมา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกพร บุญส่ง และโชคชัย ยะชูศรี. 2547. สมบัติของดินและน้ำในดินบริเวณป่าชายเลนปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน สนิท อักษรแก้ว และคณะ (บรรณาธิการ), การจัดการสวนป่าชายเลนเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย, หน้า 276-285. กรุงเทพมหานคร: ประสุขชัยการพิมพ์.

กนกพร บุญส่ง และอภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. 2539. การอนุรักษ์ป่าชายเลนควบคู่กับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี. ใน การสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติครั้งที่ 9 “การอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อสังคมไทยในทศวรรษหน้า, หน้า II-04 (1-17). 6-9 กันยายน 2538 ณ โรงแรมเมอร์ลิน จังหวัดภูเก็ต.

กฤษดา วิยาภรณ์. 2538. การปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในน้ำจากแหล่งชุมชนและเกษตรกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2535. คุณสมบัติและปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2535. สถาบันวิจัยและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. กรุงเทพมหานคร.

จันทวรรณ วรรธนะพงษ์. 2539. การบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธัญญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ *Potamogeton malaianus* และ สาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla verticiclata* ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริยดา เหล่ารุจิจินดา. 2541. ประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่อุณหภูมิต่างกัน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประภาภรณ์ เคารพ. 2543. การศึกษารูปของแอมโมเนียในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีพืชกรองน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ป่าไม้, กรม. 2543. ป่าชายเลนในประเทศไทย[online]. Available from: http://www.forest.go.th/stat/stat44/tab3.html[17/3/2547]

ปิยวรรณ สายมโนพันธ์. 2543. ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhozophora mucronata* Lamk. และแสมทะเล *Avicenia marina* (Forsk.) Virth. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พูนศรี เมืองส่ง และสนิท อักษรแก้ว. 2540. การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ที่ปลูกบนพื้นที่นากุ้งร้าง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง. ใน การสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 10 “การจัดการและการอนุรักษ์ป่าชายเลน : บทเรียนในรอบ 20 ปี”, หน้า II-8 (1-6). 25-28 สิงหาคม 2540 ณ โรงแรมเจ.บี หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2544. การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined constructed wetland ในเขตอากาศร้อน. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. เชียงใหม่.

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

สนิท อักษรแก้ว สามัคคี บุณยะวัฒน์ และกานดิษฎ์ สิงหากัน. 2542. การศึกษาเบื้องต้นการใช้ป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสีย บริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. ใน เทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัดและบำบัดน้ำเสียด้วยพืช, หน้า 32-1 ถึง 32-11. 25-28 สิงหาคม 2542 ณ ห้องสุธรรมอารีกุล อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนิท อักษรแก้ว และคณะ. 2547. การเติบโตและการรอดตายของโกงกางใบใหญ่ปลูกบนพื้นที่หาดเลนงอกใหม่ บริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ใน สนิท อักษรแก้ว และคณะ (บรรณาธิการ), การจัดการสวนป่าชายเลนเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย. หน้า 85-91. กรุงเทพมหานคร: ประสุขชัยการพิมพ์.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

อาภรณ์ ยิ่งยง. 2539. การบำบัดบีโอดี และซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

AWWA, WEF, and APHA. 1995. Standard Method for The Examination of Water and Wastewater. 19th ed. American Public Health Association.

Boonsong, K., Piyatiratitivorakul, S., and Patanapolpaiboon, P. 2002. The Use of a Mangrove Plantation as a Constructed Wetland for Municipal Wastewater Treatment. Journal of Science Research Chulalongkorn University 27(1) : 43-58.

Cathy, A. Seybold, et al. 2002. Soil Redox, pH, Temperature and Water-Table Patterns of a Freshwater Tidal Wetland. Wetlands 22(1) : 149-158.

Chen Xiang Ru and Wong, Y. S. 1995. Effect of Wastewater Discharge on Nutrient Contamination of Mangrove Soils and Plants. In Proceeding of the Ecotone IV. 269-283. 18-22 January 1995 Wang Tai Hotel Surat Thani, Thailand.

Chiu Chih-Yu, et al. 1996. Nitrogen nutritional status and fate of applied N in mangrove soil [online]. China. Available from: http://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/1996/3/bot373-04.html[2003/6/6]

Fessel, K. E., and Gambrell, R. P. 1997. Redox Potential across a Transect from Hydric to Non-Hydric Soils[online]. USA: Wetland Biogeochemistry Institute Louisiana State University.
Available from: http://www.wes.army.mil/el/workshop/CP5-4.html[27/01/2003]

Gopal Brij. 1999. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : Potentials and Problems. Water Science and Technology 40(3) : 27-35.

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

Hans Brix. 1997. Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands? Water Science and Technology 35(5) : 11-17.

Johnston, C. A. 1991. Sediment and nutrient retention by freshwater wetland : effects on surface waterquality. Critical reviews in environment control 21: 461-565.

Kadlec, R. H. and Knight, R. L. 1995. Treatment Wetlands. Chelsea, USA.

Keddy, Paul A. 2002. Wetland Ecology Principles and Conservation. United Kingdom: Cambridge University Press.

Keith, G. E. Bolton and Margaret Greenway. 1999. Nutrient Sinks in a Constructed *Melaleuca* Wetland Receiving Secondary Treated Effluent. Water Science and Technology 40(3) : 341-347.

Kimberley Cameron, et al. 2003. Pollutant Removal from Municipal Sewage Lagoon Effluents with a Free-Surface Wetland. Water Research 37: 2803-2812.

LaRiviere D., Autenrieth R. L. 2004. Oxidation of Rhizophere Sediments by *Alternanthera Philoxeroides* : Roots to Quicker Petroleum Degradation?[online]. USA . Available from: http://www.google.com[6/05/2004]

Limon, F. E. F., Genesca, J., and Bazua, C.D. Reduction-Oxidation Potential Evaluation as an Indirect Measurement for Dissolved Oxygen in Artificial Wetlands Lab Models. In 8th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control: 606-614.

Novotny Vladimir and Olem Harvey. 1994. Water Quality Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. USA: Van Nostrand Reinhold.

Okurut, T. O., Rijs G. B. J., and Bruggen, J. J. A. van. 1999. Design and Performance of Experimental Constructed Wetlands in Uganda, Planted with Cyperus papyrus and Phragmites mauritianus. Water Science and Technology 40(3) : 265-271.

Pezeshki S. R. 2001. Wetland plant responses to soil flooding. Environmental and Experimental Botany. 46: 299-312.

Reddy, K. R., and D'Angelo, E. M. 1997. Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollution Removal Efficiency in Constructed Wetlands. Water Science and Technology 35(5) : 1-10

Robert, G. Qualls, Curtis J. Richardson, and Lindsay J. Sherwood. 2001. Soil Reduction-Oxidation Potential along a Nutrient-Enrichment Gradient in the Everglades. Wetlands .21(3) :403-411.

Robert, H. Kadlec. 1995. Overview : Surface Flow Constructed Wetlands. Water Science and Technology 32(3) : 1-12.

Robutson, A. I., and Alongi, D.M. 1992. Tropical Mangrove Ecosystem. (n.d.).

Rule Joe. 2001. Aeration and Temperature[online]. Brady and Weil (eds.). Available from: http://www.cs.odu.edu/~manch_v/fall2001/ch7/-5k-[9/7/2003]

Santisuk, T. 1983. Taxonomt of the Terrestrial Trees and Shrubs in the Mangrove Formation in Thailand. The UNDO-UNESCO Regional Training Course on Introduction to Mangrove Ecosystems. NRCT, Bangkok. March 2-30.

Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: an Analysis of Global Change. 2nd ed. California.

Smith, R. T., and Alkinson, K. 1975. Techniques in Pedology. A Handbook for Environmental and Resource Studies. London.

Stickland, J. D. H., and Parsons, T. R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.

Sylvia Toet, et al. 2003. A Constructed Wetland to Improve the Effluent Quality from an Oxidation Ditch[online]. Available from: http://www.wetlands.org [10/9/2003]

Tam, N. F. Y., and Wong, Y. S. 1996. Retention of Wastewater-Borne Nitrogen and Phosphorus in Mangrove Soils. Environmental Technology 17 : 851-859.

U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil. USDA Handbook, No. 6. Washington D.C: Government Printing Office.

Wathugala, A.G., Suzuki, T., and Kurihara, Y. 1987. Removal of Nitrogen, Phosphorus and COD from Waste Water Using Sand Filtration System with *Phragmites australis*. Water Research 21(10) : 1217-1224.

Wetlands International. 2003. The Use of Constructed Wetland for Wastewater Treatment. Wetlands International Report. 1st ed. Malaysia: Wetlands International-Malaysia Office.

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

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณภาพน้ำ

คำย่อที่ใช้ในภาคผนวก ก

ºC	หมายถึง	องศาเซลเซียส
ms cm^{-1}	หมายถึง	มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร
mg l^{-1}	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อลิตร
ppt	หมายถึง	part per thousand (ส่วนในพันส่วน)
mV	หมายถึง	มิลลิโวลท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ความเป็นกรด-ด่าง			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	7.68±0.30 ^{a}	7.66±0.03 ^{a}	8.15±0.14 ^{a}	8.08±0.02 ^{a}
		5	8.39±1.80 ^{b}	8.34±0.07 ^{b}	9.11±0.32 ^{b}	8.90±0.54 ^{b}
		7	7.78±0.57 ^{b}	7.83±0.02 ^{b}	8.56±0.06 ^{b}	8.61±0.22 ^{b}
	7	3	7.90±0.11 ^{a}	7.87±0.05 ^{a}	8.18±0.11 ^{a}	8.14±0.06 ^{a}
		5	7.67±0.02 ^{b}	7.51±0.04 ^{b}	8.46±0.25 ^{b}	8.30±0.21 ^{b}
		7	7.99±0.16 ^{b}	8.32±0.78 ^{b}	9.67±0.95 ^{b}	9.21±0.59 ^{b}
	10	3	7.36±0.11 ^{a}	7.45±0.20 ^{a}	8.59±0.08 ^{a}	8.28±0.07 ^{a}
		5	8.50±0.14 ^{b}	7.70±0.14 ^{b}	8.50±0.28 ^{b}	8.34±0.01 ^{b}
		7	7.17±0.04 ^{b}	7.68±0.18 ^{b}	9.23±0.18 ^{b}	8.86±0.79 ^{b}
2	5	3	^{a} 7.68±0.30 ^{a}	^{a} 7.66±0.03 ^{a}	^{a} 8.15±0.14 ^{a}	^{a} 8.08±0.02 ^{a}
		5	^{a} 7.40±0.23 ^{a}	^{a} 7.32±0.09 ^{a}	^{a} 8.34±0.01 ^{a}	^{a} 8.23±0.31 ^{a}
		7	^{a} 7.69±0.54 ^{b}	^{a} 7.55±0.07 ^{b}	^{a} 8.45±0.28 ^{b}	^{a} 7.79±0.07 ^{b}
	7	3	^{a} 7.59±0.03 ^{a}	^{a} 7.54±0.18 ^{a}	^{a} 8.12±0.11 ^{a}	^{a} 7.92±0.34 ^{a}
		5	^{a} 7.42±0.01 ^{a}	^{a} 7.37±0.03 ^{a}	^{a} 7.89±0.10 ^{a}	^{a} 7.96±0.42 ^{a}
		7	^{a} 7.96±0.05 ^{b}	^{a} 7.84±0.04 ^{b}	^{a} 8.42±0.21 ^{b}	^{a} 8.31±0.46 ^{b}
	10	3	^{b} 7.36±0.11 ^{a}	^{b} 7.45±0.26 ^{a}	^{b} 8.59±0.08 ^{a}	^{b} 7.88±0.03 ^{a}
		5	^{b} 7.75±0.06 ^{a}	^{b} 7.87±0.21 ^{a}	^{b} 8.43±0.08 ^{a}	^{b} 8.18±0.20 ^{a}
		7	^{b} 8.68±0.13 ^{b}	^{b} 8.77±0.29 ^{b}	^{b} 8.96±0.00 ^{b}	^{b} 8.61±0.06 ^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ1 (ต่อ) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ความเป็นกรด-ด่าง			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	^{a}7.81±0.09^{a}	^{a}7.84±0.04^{a}	^{a}8.23±0.07^{a}	^{a}8.08±0.06^{a}
		5	^{a}8.43±0.22^{a}	^{a}8.32±0.06^{a}	^{a}8.34±0.21^{a}	^{a}8.50±0.23^{a}
		7	^{a}7.53±0.32^{b}	^{a}7.55±0.07^{b}	^{a}8.30±0.07^{b}	^{a}7.83±0.02^{b}
	7	3	^{a}7.90±0.11^{a}	^{a}7.87±0.05^{a}	^{a}8.18±0.11^{a}	^{a}8.14±0.06^{a}
		5	^{a}7.43±0.01^{a}	^{a}7.37±0.03^{a}	^{a}7.93±0.04^{a}	^{a}7.76±0.13^{a}
		7	^{a}7.97±0.03^{b}	^{a}7.83±0.03^{b}	^{a}8.45±0.16^{b}	^{a}8.39±0.34^{b}
	10	3	^{b}7.47±0.04^{a}	^{b}7.59±0.06^{a}	^{b}8.60±0.10^{a}	^{b}7.90±0.00^{a}
		5	^{b}7.75±0.06^{a}	^{b}7.87±0.21^{a}	^{b}8.43±0.08^{a}	^{b}8.18±0.20^{a}
		7	^{b}8.68±0.13^{b}	^{b}8.77±0.29^{b}	^{b}8.96±0.00^{b}	^{b}8.61±0.06^{b}
4	5	3	^{c}7.83±0.06^{a}	^{c}7.83±0.03^{a}	^{c}8.19±0.13^{a}	^{c}8.08±0.05^{a}
		5	^{c}8.25±0.03^{a}	^{c}8.34±0.03^{a}	^{c}8.20±0.01^{a}	^{c}8.29±0.06^{a}
		7	^{c}7.73±0.04^{b}	^{c}7.60±0.00^{b}	^{c}8.25±0.14^{b}	^{c}7.82±0.01^{b}
	7	3	^{a}7.85±0.04^{a}	^{a}7.86±0.04^{a}	^{a}8.16±0.08^{a}	^{a}8.17±0.02^{a}
		5	^{a}7.41±0.01^{a}	^{a}7.37±0.04^{a}	^{a}7.72±0.19^{a}	^{a}7.86±0.01^{a}
		7	^{a}7.93±0.03^{b}	^{a}7.80±0.08^{b}	^{a}8.28±0.09^{b}	^{a}8.15±0.00^{b}
	10	3	^{b}7.47±0.04^{a}	^{b}7.57±0.03^{a}	^{b}8.52±0.02^{a}	^{b}7.85±0.07^{a}
		5	^{b}7.76±0.05^{a}	^{b}7.79±0.09^{a}	^{b}8.29±0.11^{a}	^{b}8.08±0.06^{a}
		7	^{b}8.06±0.08^{b}	^{b}8.12±0.00^{b}	^{b}8.25±0.07^{b}	^{b}8.10±0.00^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ2 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	การนำไฟฟ้า (ms cm^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{a}1.82\pm0.64^{a}$	$^{a}1.06\pm0.25^{a}$	$^{a}1.49\pm0.52^{a}$	$^{a}0.99\pm0.10^{a}$
		5	$^{a}9.07\pm0.69^{c}$	$^{a}3.37\pm0.53^{c}$	$^{a}4.72\pm1.48^{c}$	$^{a}2.26\pm0.52^{c}$
		7	$^{a}3.92\pm0.08^{b}$	$^{a}1.68\pm0.46^{b}$	$^{a}2.53\pm0.56^{b}$	$^{a}1.64\pm0.28^{b}$
	7	3	$^{b}1.91\pm0.39^{a}$	$^{b}1.04\pm0.42^{a}$	$^{b}1.51\pm0.04^{a}$	$^{b}1.39\pm0.12^{a}$
		5	$^{b}1.65\pm0.04^{c}$	$^{b}1.36\pm0.11^{c}$	$^{b}3.72\pm0.19^{c}$	$^{b}2.61\pm0.48^{c}$
		7	$^{b}3.00\pm0.49^{b}$	$^{b}2.42\pm1.05^{b}$	$^{b}1.85\pm0.13^{b}$	$^{b}1.78\pm0.67^{b}$
	10	3	$^{c}4.94\pm0.28^{a}$	$^{c}1.74\pm0.31^{a}$	$^{c}1.85\pm0.44^{a}$	$^{c}1.48\pm0.39^{a}$
		5	$^{c}4.85\pm0.35^{c}$	$^{c}1.40\pm0.11^{c}$	$^{c}1.73\pm0.06^{c}$	$^{c}3.50\pm0.42^{c}$
		7	$^{c}1.43\pm0.11^{b}$	$^{c}1.45\pm0.09^{b}$	$^{c}0.94\pm0.09^{b}$	$^{c}1.64\pm0.08^{b}$
2	5	3	$^{ab}3.53\pm0.04^{b}$	$^{ab}1.37\pm0.41^{b}$	$^{ab}2.45\pm0.42^{b}$	$^{ab}1.33\pm0.27^{b}$
		5	$^{ab}2.56\pm0.25^{a}$	$^{ab}1.22\pm0.51^{a}$	$^{ab}1.39\pm0.14^{a}$	$^{ab}1.00\pm0.11^{a}$
		7	$^{ab}2.09\pm0.28^{a}$	$^{ab}1.07\pm0.38^{a}$	$^{ab}1.45\pm0.45^{a}$	$^{ab}1.00\pm0.19^{a}$
	7	3	$^{a}1.91\pm0.39^{b}$	$^{a}1.04\pm0.41^{b}$	$^{a}1.51\pm0.04^{b}$	$^{a}1.38\pm0.11^{b}$
		5	$^{a}2.00\pm0.18^{a}$	$^{a}1.28\pm0.08^{a}$	$^{a}1.17\pm0.10^{a}$	$^{a}1.08\pm0.16^{a}$
		7	$^{a}1.52\pm0.05^{a}$	$^{a}1.12\pm0.12^{a}$	$^{a}1.07\pm0.06^{a}$	$^{a}1.12\pm0.19^{a}$
	10	3	$^{b}4.94\pm0.28^{b}$	$^{b}1.73\pm0.30^{b}$	$^{b}1.84\pm0.44^{b}$	$^{b}1.48\pm0.39^{b}$
		5	$^{b}3.82\pm0.42^{a}$	$^{b}1.37\pm0.11^{a}$	$^{b}1.51\pm0.27^{a}$	$^{b}1.10\pm0.14^{a}$
		7	$^{b}2.53\pm0.21^{a}$	$^{b}1.16\pm0.03^{a}$	$^{b}1.14\pm0.09^{a}$	$^{b}0.87\pm0.02^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ2 (ต่อ) ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	การนำไฟฟ้า ($\mu s\ cm^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	^{a}1.81±0.64	^{a}1.06±0.25	^{a}1.04±0.51	^{a}0.98±0.09
		5	^{a}1.23±0.72	^{a}0.90±0.26	^{a}0.84±0.01	^{a}1.05±0.23
		7	^{a}2.09±0.28	^{a}1.07±0.38	^{a}1.45±0.45	^{a}1.00±0.19
	7	3	^{a}1.06±0.08	^{a}0.99±0.14	^{a}0.93±0.09.	^{a}1.04±0.21
		5	^{a}2.06±0.09	^{a}1.32±0.03	^{a}1.17±0.10	^{a}1.09±0.13
		7	^{a}1.49±0.01	^{a}1.17±0.05	^{a}1.03±0.01	^{a}1.00±0.09
	10	3	^{b}2.99±0.52	^{b}1.87±0.11	^{b}1.96±0.27	^{b}1.37±0.24
		5	^{b}3.82±0.42	^{b}1.37±0.11	^{b}1.51±0.27	^{b}1.10±0.14
		7	^{b}2.53±0.21	^{b}1.16±0.03	^{b}1.14±0.09	^{b}0.87±0.02
4	5	3	^{b}1.81±0.64 ^{b}	^{b}1.06±0.25 ^{b}	^{b}1.48±0.51 ^{b}	^{b}0.98±0.09 ^{b}
		5	^{b}1.64±0.13 ^{a}	^{b}0.968±0.17 ^{a}	^{b}0.85±0.00 ^{a}	^{b}1.06±0.22 ^{a}
		7	^{b}2.14±0.20 ^{a}	^{b}1.33±0.02 ^{a}	^{b}1.66±0.15 ^{a}	^{b}1.07±0.10 ^{a}
	7	3	^{a}1.03±0.12 ^{b}	^{a}1.15±0.07 ^{b}	^{a}1.06±0.08 ^{b}	^{a}1.10±0.12 ^{b}
		5	^{a}1.98±0.02 ^{a}	^{a}1.31±0.01 ^{a}	^{a}1.12±0.03 ^{a}	^{a}0.99±0.00 ^{a}
		7	^{a}1.54±0.08 ^{a}	^{a}1.20±0.01 ^{a}	^{a}1.01±0.00 ^{a}	^{a}1.00±0.01 ^{a}
	10	3	^{c}2.80±0.27 ^{b}	^{c}1.76±0.03 ^{b}	^{c}1.88±0.15 ^{b}	^{c}1.25±0.00 ^{b}
		5	^{c}2.23±0.17 ^{a}	^{c}1.42±0.03 ^{a}	^{c}1.32±0.00 ^{a}	^{c}1.06±0.08 ^{a}
		7	^{c}1.90±0.14 ^{a}	^{c}1.20±0.00 ^{a}	^{c}1.05±0.00 ^{a}	^{c}0.90±0.00 ^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ3 ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) เฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ออกซิเจนละลาย (mg l^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	4.10±0.14 ^{a}	3.35±0.21 ^{a}	3.10±0.14 ^{a}	3.55±0.07 ^{a}
		5	6.00±4.91 ^{b}	5.40±0.28 ^{b}	4.31±1.22 ^{b}	4.61±3.19 ^{b}
		7	4.17±0.09 ^{b}	4.41±0.30 ^{b}	4.60±0.14 ^{b}	4.31±0.13 ^{b}
	7	3	5.20±0.28 ^{a}	6.05±0.07 ^{a}	3.20±0.42 ^{a}	3.15±0.07 ^{a}
		5	4.50±0.13 ^{b}	4.21±0.39 ^{b}	3.80±0.63 ^{b}	3.14±0.67 ^{b}
		7	4.89±1.24 ^{b}	5.89±1.62 ^{b}	5.60±0.28 ^{b}	5.45±0.35 ^{b}
	10	3	5.60±0.00 ^{a}	5.80±0.42 ^{a}	3.45±0.78 ^{a}	3.75±0.64 ^{a}
		5	5.50±1.13 ^{b}	6.50±0.14 ^{b}	4.53±1.36 ^{b}	3.79±0.48 ^{b}
		7	4.90±0.14 ^{b}	4.38±0.32 ^{b}	4.69±1.34 ^{b}	4.60±3.35 ^{b}
2	5	3	^{a}3.37±0.97 ^{b}	^{a}3.86±0.98 ^{b}	^{a}4.09±0.49 ^{b}	^{a}3.98±0.52 ^{b}
		5	^{a}3.80±0.14 ^{a}	^{a}3.70±0.14 ^{a}	^{a}3.95±0.35 ^{a}	^{a}4.50±0.85 ^{a}
		7	^{a}5.35±0.35 ^{b}	^{a}5.15±0.35 ^{b}	^{a}2.85±0.07 ^{b}	^{a}3.15±0.07 ^{b}
	7	3	^{a}4.10±0.14 ^{b}	^{a}3.35±0.21 ^{b}	^{a}3.10±0.14 ^{b}	^{a}3.55±0.07 ^{b}
		5	^{a}3.53±1.24 ^{a}	^{a}3.18±0.74 ^{a}	^{a}1.68±0.11 ^{a}	^{a}1.95±0.64 ^{a}
		7	^{a}5.75±0.07 ^{b}	^{a}5.80±0.42 ^{b}	^{a}3.40±0.71 ^{b}	^{a}2.70±0.57 ^{b}
	10	3	^{b}3.25±0.35 ^{b}	^{b}5.05±2.76 ^{b}	^{b}2.00±0.42 ^{b}	^{b}2.78±0.11 ^{b}
		5	^{b}4.90±0.00 ^{a}	^{b}5.40±0.57 ^{a}	^{b}3.00±0.14 ^{a}	^{b}2.90±0.28 ^{a}
		7	^{b}4.90±0.00 ^{b}	^{b}5.55±0.64 ^{b}	^{b}2.90±0.00 ^{b}	^{b}2.90±0.28 ^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ3 (ต่อ) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) เฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ออกซิเจนละลาย (mg l^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{a}3.80\pm0.14^{b}$	$^{a}3.65\pm0.21^{b}$	$^{a}4.00\pm0.28^{b}$	$^{a}4.65\pm0.92^{b}$
		5	$^{a}4.40\pm0.14^{a}$	$^{a}3.60\pm0.14^{a}$	$^{a}3.00\pm0.14^{a}$	$^{a}3.35\pm0.07^{a}$
		7	$^{a}5.50\pm0.14^{b}$	$^{a}5.20\pm0.28^{b}$	$^{a}2.95\pm0.21^{b}$	$^{a}2.90\pm0.28^{b}$
	7	3	$^{a}5.60\pm0.00^{b}$	$^{a}5.80\pm0.42^{b}$	$^{a}3.45\pm0.78^{b}$	$^{a}2.75\pm0.64^{b}$
		5	$^{a}4.30\pm0.14^{a}$	$^{a}3.35\pm0.49^{a}$	$^{a}1.78\pm0.04^{a}$	$^{a}2.20\pm0.28^{a}$
		7	$^{a}5.85\pm0.07^{b}$	$^{a}5.60\pm0.14^{b}$	$^{a}3.45\pm0.64^{b}$	$^{a}2.55\pm0.35^{b}$
	10	3	$^{b}6.25\pm0.35^{b}$	$^{b}4.30\pm1.70^{b}$	$^{b}6.00\pm0.42^{b}$	$^{b}2.78\pm0.11^{b}$
		5	$^{b}4.90\pm0.00^{a}$	$^{b}5.40\pm0.57^{a}$	$^{b}3.00\pm0.14^{a}$	$^{b}2.90\pm0.28^{a}$
		7	$^{b}4.90\pm0.00^{b}$	$^{b}5.55\pm0.64^{b}$	$^{b}2.90\pm0.00^{b}$	$^{b}2.90\pm0.28^{b}$
4	5	3	$^{b}3.95\pm0.07^{b}$	$^{b}3.85\pm0.07^{b}$	$^{b}3.85\pm0.07^{b}$	$^{b}5.45\pm0.21^{b}$
		5	$^{b}6.40\pm0.14^{a}$	$^{b}5.60\pm0.28^{a}$	$^{b}4.40\pm0.42^{a}$	$^{b}4.55\pm0.07^{a}$
		7	$^{b}5.70\pm0.42^{a}$	$^{b}5.35\pm0.07^{a}$	$^{b}3.60\pm0.71^{a}$	$^{b}3.10\pm0.57^{a}$
	7	3	$^{a}5.20\pm0.28^{b}$	$^{a}6.05\pm0.07^{b}$	$^{a}3.20\pm0.42^{b}$	$^{a}3.15\pm0.07^{b}$
		5	$^{a}4.35\pm0.07^{a}$	$^{a}3.25\pm0.35^{a}$	$^{a}2.45\pm0.92^{a}$	$^{a}2.95\pm0.78^{a}$
		7	$^{a}5.80\pm0.00^{a}$	$^{a}4.35\pm0.21^{a}$	$^{a}3.10\pm0.14^{a}$	$^{a}3.15\pm0.07^{a}$
	10	3	$^{b}6.25\pm0.35^{b}$	$^{b}4.85\pm0.92^{b}$	$^{b}4.00\pm0.71^{b}$	$^{b}4.30\pm0.71^{b}$
		5	$^{b}4.90\pm0.00^{a}$	$^{b}6.10\pm0.42^{a}$	$^{b}2.75\pm0.07^{a}$	$^{b}3.15\pm0.07^{a}$
		7	$^{b}4.90\pm0.00^{a}$	$^{b}6.05\pm0.07^{a}$	$^{b}3.00\pm0.14^{a}$	$^{b}3.20\pm0.14^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{a}0.004\pm0.001^{a}$	$^{a}0.001\pm0.000^{a}$	$^{a}0.010\pm0.007^{a}$	$^{a}0.008\pm0.001^{a}$
		5	$^{a}0.005\pm0.002^{c}$	$^{a}0.006\pm0.000^{c}$	$^{a}0.011\pm0.009^{c}$	$^{a}0.005\pm0.001^{c}$
		7	$^{a}0.004\pm0.001^{b}$	$^{a}0.007\pm0.001^{b}$	$^{a}0.017\pm0.007^{b}$	$^{a}0.007\pm0.001^{b}$
	7	3	$^{c}0.002\pm0.000^{a}$	$^{c}0.002\pm0.000^{a}$	$^{c}0.002\pm0.001^{a}$	$^{c}0.001\pm0.000^{a}$
		5	$^{c}0.022\pm0.016^{c}$	$^{c}0.021\pm0.001^{c}$	$^{c}0.016\pm0.004^{c}$	$^{c}0.013\pm0.004^{c}$
		7	$^{c}0.007\pm0.000^{b}$	$^{c}0.010\pm0.008^{b}$	$^{c}0.021\pm0.006^{b}$	$^{c}0.017\pm0.008^{b}$
	10	3	$^{b}0.006\pm0.000^{a}$	$^{b}0.005\pm0.002^{a}$	$^{b}0.008\pm0.002^{a}$	$^{b}0.003\pm0.001^{a}$
		5	$^{b}0.023\pm0.002^{c}$	$^{b}0.012\pm0.001^{c}$	$^{b}0.024\pm0.011^{c}$	$^{b}0.014\pm0.001^{c}$
		7	$^{b}0.005\pm0.000^{b}$	$^{b}0.006\pm0.001^{b}$	$^{b}0.005\pm0.002^{b}$	$^{b}0.007\pm0.002^{b}$
2	5	3	0.004±0.001	0.001±0.000	0.010±0.007	0.013±0.001
		5	0.005±0.001	0.003±0.002	0.005±0.000	0.020±0.012
		7	0.004±0.001	0.003±0.002	0.004±0.000	0.010±0.006
	7	3	0.004±0.005	0.003±0.001	0.005±0.003	0.010±0.003
		5	0.004±0.004	0.004±0.000	0.004±0.002	0.008±0.002
		7	0.006±0.003	0.018±0.002	0.004±0.003	0.007±0.000
	10	3	0.006±0.000	0.004±0.002	0.004±0.002	0.003±0.001
		5	0.005±0.002	0.004±0.000	0.004±0.002	0.005±0.001
		7	0.005±0.002	0.004±0.000	0.004±0.002	0.005±0.001

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ4 (ต่อ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg l^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{b}0.003\pm0.000^{a}$	$^{b}0.003\pm0.000^{a}$	$^{b}0.003\pm0.001^{a}$	$^{b}0.003\pm0.001^{a}$
		5	$^{b}0.005\pm0.001^{b}$	$^{b}0.004\pm0.001^{b}$	$^{b}0.004\pm0.000^{b}$	$^{b}0.008\pm0.003^{b}$
		7	$^{b}0.005\pm0.001^{b}$	$^{b}0.004\pm0.001^{b}$	$^{b}0.004\pm0.000^{b}$	$^{b}0.008\pm0.003^{b}$
	7	3	$^{a}0.002\pm0.000^{a}$	$^{a}0.002\pm0.000^{a}$	$^{a}0.002\pm0.001^{a}$	$^{a}0.001\pm0.000^{a}$
		5	$^{a}0.003\pm0.003^{b}$	$^{a}0.004\pm0.000^{b}$	$^{a}0.003\pm0.001^{b}$	$^{a}0.008\pm0.002^{b}$
		7	$^{a}0.007\pm0.002^{b}$	$^{a}0.004\pm0.002^{b}$	$^{a}0.005\pm0.001^{b}$	$^{a}0.006\pm0.001^{b}$
	10	3	$^{a}0.006\pm0.000^{a}$	$^{a}0.003\pm0.000^{a}$	$^{a}0.004\pm0.001^{a}$	$^{a}0.003\pm0.001^{a}$
		5	$^{a}0.003\pm0.001^{b}$	$^{a}0.004\pm0.001^{b}$	$^{a}0.004\pm0.001^{b}$	$^{a}0.005\pm0.000^{b}$
		7	$^{a}0.004\pm0.001^{b}$	$^{a}0.005\pm0.000^{b}$	$^{a}0.003\pm0.001^{b}$	$^{a}0.003\pm0.001^{b}$
4	5	3	0.003 ± 0.000^{a}	0.003 ± 0.000^{a}	0.003 ± 0.001^{a}	0.003 ± 0.001^{a}
		5	0.003 ± 0.000^{b}	0.003 ± 0.000^{b}	0.003 ± 0.001^{b}	0.003 ± 0.001^{b}
		7	0.005 ± 0.001^{b}	0.003 ± 0.001^{b}	0.004 ± 0.001^{b}	0.008 ± 0.004^{b}
	7	3	0.002 ± 0.000^{a}	0.002 ± 0.000^{a}	0.002 ± 0.001^{a}	0.002 ± 0.001^{a}
		5	0.003 ± 0.003^{b}	0.002 ± 0.002^{b}	0.004 ± 0.000^{b}	0.005 ± 0.002^{b}
		7	0.007 ± 0.002^{b}	0.006 ± 0.000^{b}	0.006 ± 0.000^{b}	0.006 ± 0.000^{b}
	10	3	0.006 ± 0.000^{a}	0.005 ± 0.002^{a}	0.003 ± 0.000^{a}	0.003 ± 0.000^{a}
		5	0.003 ± 0.001^{b}	0.003 ± 0.000^{b}	0.004 ± 0.001^{b}	0.005 ± 0.000^{b}
		7	0.004 ± 0.001^{b}	0.004 ± 0.001^{b}	0.004 ± 0.000^{b}	0.003 ± 0.001^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ4 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซนต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	88.70±4.36	96.92±1.45	69.18±0.34	60.96±2.91
		5	90.49±4.48	87.32±0.00	77.82±9.42	89.44±2.99
		7	88.57±1.47	82.33±1.47	53.22±9.11	81.29±2.94
	7	3	94.92±0.00	95.76±1.20	94.92±2.40	96.61±0.00
		5	53.52±32.87	55.63±2.99	67.25±7.47	72.54±8.96
		7	75.56±0.00	66.67±5.14	31.11±8.86	42.22±5.14
	10	3	81.85±1.35	88.54±5.40	87.58±6.76	92.36±2.70
		5	52.46±4.48	75.70±1.49	49.30±23.90	70.42±2.99
		7	81.60±1.73	77.92±3.47	82.83±6.94	73.02±6.94
2	5	3	88.70±4.36	96.92±1.45	69.18±0.34	60.96±2.91
		5	88.95±2.23	92.11±4.47	87.37±0.00	51.84±7.91
		7	62.50±12.24	74.04±0.40	65.38±0.00	53.46±8.95
	7	3	86.64±5.98	89.73±2.91	85.62±8.72	69.18±8.72
		5	82.63±0.10	82.63±2.23	82.63±11.16	63.68±11.16
		7	83.24±8.73	52.35±57.40	89.41±7.49	82.35±0.00
	10	3	81.85±1.35	88.54±5.40	87.58±6.76	92.36±2.70
		5	56.73±20.40	62.50±4.08	62.50±20.40	59.62±8.16
		7	63.11±17.39	68.03±3.48	68.03±17.39	65.57±6.96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ4 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซนต์การบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	61.54±0.00	69.23±0.00	69.23±10.88	65.38±6.32
		5	81.34±1.62	71.63±6.80	64.65±2.43	52.79±15.53
		7	59.62±8.16	68.27±12.24	62.50±4.08	57.88±8.56
	7	3	94.92±0.00	95.76±1.20	94.92±2.40	96.61±0.00
		5	85.79±15.63	79.47±2.23	85.79±6.70	62.11±8.93
		7	80.59±4.99	89.41±4.99	85.88±2.50	84.12±2.50
	10	3	45.19±4.08	74.04±4.08	68.27±12.24	76.92±8.16
		5	72.22±7.86	66.67±7.86	63.89±1.79	58.33±3.93
		7	68.03±10.43	65.57±0.00	75.41±6.96	80.33±6.96
4	5	3	58.33±0.00	66.67±0.00	66.67±7.28	62.50±5.92
		5	51.34±9.62	61.63±4.80	54.65±4.93	52.79±4.53
		7	59.62±8.16	71.15±8.16	68.27±12.24	63.65±6.72
	7	3	94.92±0.00	95.76±1.20	94.92±2.40	94.92±2.40
		5	85.79±15.63	88.95±11.16	81.05±0.00	74.74±8.93
		7	80.59±4.99	85.00±1.25	85.00±1.25	83.24±1.25
	10	3	45.19±4.08	59.62±6.32	74.04±4.08	74.04±4.08
		5	72.22±7.86	75.00±3.93	63.89±11.79	58.33±3.93
		7	68.03±10.43	70.49±6.96	68.03±3.48	77.87±10.43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ5 ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	บีโอดี ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{c}12.13\pm2.23^{a}$	$^{c}12.38\pm1.59^{a}$	$^{c}13.15\pm0.21^{a}$	$^{c}13.88\pm0.74^{a}$
		5	$^{c}3.15\pm0.21^{b}$	$^{c}3.90\pm2.12^{b}$	$^{c}10.35\pm1.27^{b}$	$^{c}10.65\pm1.48^{b}$
		7	$^{c}5.93\pm0.95^{c}$	$^{c}5.70\pm0.64^{c}$	$^{c}13.88\pm3.71^{c}$	$^{c}9.98\pm1.38^{c}$
	7	3	$^{b}3.00\pm0.21^{a}$	$^{b}2.48\pm0.74^{a}$	$^{b}3.30\pm0.48^{a}$	$^{b}3.30\pm1.70^{a}$
		5	$^{b}1.50\pm0.00^{b}$	$^{b}1.43\pm1.17^{b}$	$^{b}3.53\pm1.17^{b}$	$^{b}3.30\pm0.21^{b}$
		7	$^{b}4.50\pm1.91^{c}$	$^{b}4.80\pm2.12^{c}$	$^{b}7.65\pm0.21^{c}$	$^{b}5.70\pm3.82^{c}$
	10	3	$^{a}1.30\pm0.14^{a}$	$^{a}1.90\pm1.84^{a}$	$^{a}3.65\pm0.21^{a}$	$^{a}4.68\pm0.11^{a}$
		5	$^{a}1.65\pm0.64^{b}$	$^{a}2.55\pm0.21^{b}$	$^{a}3.45\pm1.91^{b}$	$^{a}2.25\pm1.06^{b}$
		7	$^{a}2.40\pm0.21^{c}$	$^{a}2.63\pm0.11^{c}$	$^{a}3.53\pm0.95^{c}$	$^{a}1.20\pm1.27^{c}$
2	5	3	$^{b}13.13\pm2.23^{b}$	$^{b}12.98\pm1.59^{b}$	$^{b}12.15\pm0.21^{b}$	$^{b}13.88\pm0.74^{b}$
		5	$^{b}2.25\pm0.64^{a}$	$^{b}2.40\pm0.85^{a}$	$^{b}2.85\pm0.64^{a}$	$^{b}8.63\pm0.74^{a}$
		7	$^{b}2.55\pm1.06^{a}$	$^{b}3.38\pm1.80^{a}$	$^{b}4.13\pm3.08^{a}$	$^{b}6.53\pm2.65^{a}$
	7	3	$^{a}2.55\pm0.64^{b}$	$^{a}2.93\pm0.74^{b}$	$^{a}2.10\pm0.21^{b}$	$^{a}2.18\pm1.80^{b}$
		5	$^{a}3.68\pm1.59^{a}$	$^{a}4.43\pm2.23^{a}$	$^{a}4.05\pm1.06^{a}$	$^{a}4.05\pm0.21^{a}$
		7	$^{a}2.93\pm1.17^{a}$	$^{a}2.40\pm0.64^{a}$	$^{a}2.78\pm1.38^{a}$	$^{a}2.55\pm1.91^{a}$
	10	3	$^{a}1.30\pm0.14^{b}$	$^{a}1.90\pm1.84^{b}$	$^{a}5.65\pm0.21^{b}$	$^{a}2.68\pm0.11^{b}$
		5	$^{a}1.88\pm0.32^{a}$	$^{a}2.10\pm0.21^{a}$	$^{a}4.20\pm2.76^{a}$	$^{a}2.55\pm1.48^{a}$
		7	$^{a}1.28\pm0.32^{a}$	$^{a}3.75\pm1.27^{a}$	$^{a}3.38\pm2.44^{a}$	$^{a}3.08\pm0.32^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ5 (ต่อ) ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	บีโอดี ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{a}1.95\pm0.00^{a}$	$^{a}2.03\pm0.95^{a}$	$^{a}3.53\pm2.23^{a}$	$^{a}4.35\pm2.12^{a}$
		5	$^{a}2.93\pm0.74^{b}$	$^{a}3.98\pm1.17^{b}$	$^{a}5.33\pm1.80^{b}$	$^{a}4.88\pm0.32^{b}$
		7	$^{a}2.70\pm0.85^{b}$	$^{a}2.63\pm0.74^{b}$	$^{a}5.70\pm0.85^{b}$	$^{a}6.90\pm2.12^{b}$
	7	3	$^{a}3.00\pm0.21^{a}$	$^{a}2.48\pm0.74^{a}$	$^{a}3.30\pm1.48^{a}$	$^{a}3.30\pm1.70^{a}$
		5	$^{a}4.65\pm0.21^{b}$	$^{a}2.93\pm0.11^{b}$	$^{a}4.05\pm1.06^{b}$	$^{a}4.05\pm0.21^{b}$
		7	$^{a}2.93\pm1.17^{b}$	$^{a}2.40\pm0.64^{b}$	$^{a}3.53\pm0.11^{b}$	$^{a}3.75\pm0.21^{b}$
	10	3	$^{a}1.30\pm0.14^{a}$	$^{a}1.90\pm1.84^{a}$	$^{a}5.65\pm0.21^{a}$	$^{a}2.68\pm0.11^{a}$
		5	$^{a}1.95\pm0.21^{b}$	$^{a}2.10\pm0.21^{b}$	$^{a}5.78\pm0.53^{b}$	$^{a}3.15\pm0.64^{b}$
		7	$^{a}1.88\pm1.17^{b}$	$^{a}3.38\pm0.74^{b}$	$^{a}4.50\pm0.85^{b}$	$^{a}5.70\pm1.70^{b}$
4	5	3	$^{b}1.95\pm0.00^{a}$	$^{b}2.48\pm0.32^{a}$	$^{b}4.13\pm1.38^{a}$	$^{b}4.50\pm1.91^{a}$
		5	$^{b}2.70\pm0.42^{b}$	$^{b}4.65\pm0.21^{b}$	$^{b}5.85\pm1.06^{b}$	$^{b}4.73\pm0.11^{b}$
		7	$^{b}3.00\pm0.42^{b}$	$^{b}3.90\pm0.00^{b}$	$^{b}6.90\pm0.85^{b}$	$^{b}7.65\pm1.06^{b}$
	7	3	$^{ab}2.48\pm0.53^{a}$	$^{ab}2.33\pm0.53^{a}$	$^{ab}3.30\pm1.48^{a}$	$^{ab}3.90\pm0.85^{a}$
		5	$^{ab}4.05\pm0.64^{b}$	$^{ab}5.55\pm0.64^{b}$	$^{ab}7.35\pm1.91^{b}$	$^{ab}7.50\pm2.12^{b}$
		7	$^{ab}2.18\pm0.11^{b}$	$^{ab}3.90\pm0.21^{b}$	$^{ab}4.28\pm0.11^{b}$	$^{ab}4.73\pm0.32^{b}$
	10	3	$^{a}1.30\pm0.14^{a}$	$^{a}3.85\pm0.92^{a}$	$^{a}5.70\pm0.28^{a}$	$^{a}2.23\pm0.18^{a}$
		5	$^{a}2.10\pm0.42^{b}$	$^{a}3.90\pm0.64^{b}$	$^{a}5.85\pm0.42^{b}$	$^{a}3.08\pm0.53^{b}$
		7	$^{a}2.63\pm0.11^{b}$	$^{a}3.90\pm0.00^{b}$	$^{a}5.25\pm0.21^{b}$	$^{a}6.60\pm0.42^{b}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ5 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	85.92±1.09	79.19±1.92	76.71±0.39	74.54±1.36
		5	95.48±0.30	94.41±3.04	85.16±1.82	84.73±2.13
		7	90.00±1.61	90.38±1.07	76.58±6.27	83.16±2.33
	7	3	95.38±0.33	94.19±1.14	93.92±2.28	91.92±2.61
		5	97.85±0.00	97.96±1.67	94.95±1.67	95.27±0.30
		7	93.26±2.86	92.81±3.18	88.54±0.32	91.46±5.72
	10	3	96.09±0.43	94.29±5.53	93.01±0.64	91.95±0.32
		5	97.63±0.91	96.34±0.30	95.05±2.74	96.77±1.52
		7	96.86±0.28	96.57±0.14	95.39±1.25	92.43±1.66
2	5	3	75.92±4.09	76.19±2.92	75.71±0.39	74.54±1.36
		5	96.41±1.01	96.18±1.35	95.46±1.01	86.25±1.18
		7	94.04±2.48	92.11±4.22	90.35±7.20	84.74±6.20
	7	3	97.32±1.17	96.63±1.36	96.15±0.39	95.01±3.31
		5	95.39±1.99	94.45±2.79	94.92±1.33	94.92±0.27
		7	95.50±1.79	96.31±0.98	95.73±2.12	96.08±2.94
	10	3	96.09±0.43	94.29±5.53	93.01±0.64	91.95±0.32
		5	95.61±0.74	95.09±0.50	93.18±6.45	94.04±3.47
		7	97.37±0.66	93.27±2.62	93.04±5.03	92.66±0.66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ5 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	97.12±0.00	97.01±1.41	94.80±3.29	93.58±3.13
		5	93.91±1.55	91.72±2.43	88.91±3.76	89.84±0.66
		7	93.68±1.98	93.86±1.74	86.67±1.98	83.86±4.96
	7	3	95.38±0.33	96.19±1.14	94.92±2.28	94.92±2.61
		5	94.06±0.27	96.26±0.14	94.82±1.36	94.82±0.27
		7	95.50±1.79	96.31±0.98	94.58±0.16	94.23±0.33
	10	3	96.96±0.33	95.56±4.30	86.78±0.50	93.74±0.25
		5	95.44±0.50	95.09±0.50	86.49±1.24	92.63±1.49
		7	96.13±2.41	93.04±1.53	90.72±1.75	88.25±3.50
4	5	3	97.01±0.00	96.21±0.49	93.68±2.11	93.10±2.93
		5	94.38±0.88	90.31±0.44	87.81±2.21	90.16±0.22
		7	93.30±0.95	91.28±0.00	84.58±1.90	82.91±2.37
	7	3	95.68±0.93	95.94±0.93	94.24±2.59	93.19±1.48
		5	94.30±0.90	92.18±0.90	89.65±2.69	89.44±2.99
		7	96.63±0.16	93.95±0.33	93.37±0.16	92.67±0.49
	10	3	97.08±0.32	91.35±2.07	87.19±0.64	85.00±0.40
		5	95.14±0.98	90.98±1.47	86.47±0.98	90.89±1.23
		7	94.80±0.21	92.28±0.00	89.60±0.42	86.93±0.84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ6 ปริมาณไนโตรเจนรวมเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนโตรเจนรวม ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{c}7.84\pm1.17^{c}$	$^{c}7.68\pm1.19^{c}$	$^{c}7.44\pm1.77^{c}$	$^{c}7.94\pm1.78^{c}$
		5	$^{c}0.84\pm0.40^{a}$	$^{c}1.12\pm0.79^{a}$	$^{c}1.96\pm1.19^{a}$	$^{c}1.40\pm0.40^{a}$
		7	$^{c}4.48\pm0.79^{b}$	$^{c}8.68\pm3.56^{b}$	$^{c}8.68\pm3.56^{b}$	$^{c}1.68\pm2.38^{b}$
	7	3	$^{b}4.20\pm1.98^{c}$	$^{b}5.28\pm0.79^{c}$	$^{b}4.48\pm0.79^{c}$	$^{b}5.44\pm0.40^{c}$
		5	$^{b}3.36\pm0.00^{a}$	$^{b}3.92\pm0.00^{a}$	$^{b}4.48\pm0.00^{a}$	$^{b}3.08\pm0.40^{a}$
		7	$^{b}3.64\pm1.19^{b}$	$^{b}2.80\pm0.00^{b}$	$^{b}6.16\pm3.17^{b}$	$^{b}2.80\pm0.79^{b}$
	10	3	$^{a}3.36\pm1.19^{c}$	$^{a}1.98\pm0.99^{c}$	$^{a}2.12\pm1.19^{c}$	$^{a}2.66\pm0.20^{c}$
		5	$^{a}1.68\pm0.79^{a}$	$^{a}1.68\pm0.00^{a}$	$^{a}3.64\pm0.40^{a}$	$^{a}3.08\pm1.19^{a}$
		7	$^{a}2.24\pm0.00^{b}$	$^{a}3.64\pm0.40^{b}$	$^{a}3.08\pm0.40^{b}$	$^{a}2.80\pm0.00^{b}$
2	5	3	$^{c}7.84\pm3.17^{b}$	$^{c}8.68\pm1.19^{b}$	$^{c}6.44\pm2.77^{b}$	$^{c}9.94\pm1.78^{b}$
		5	$^{c}6.72\pm0.40^{a}$	$^{c}8.40\pm3.17^{a}$	$^{c}3.64\pm0.79^{a}$	$^{c}11.06\pm2.97^{a}$
		7	$^{c}3.22\pm0.59^{a}$	$^{c}4.48\pm3.17^{a}$	$^{c}3.64\pm0.40^{a}$	$^{c}5.32\pm1.98^{a}$
	7	3	$^{b}3.22\pm0.20^{b}$	$^{b}6.44\pm1.19^{b}$	$^{b}2.80\pm0.00^{b}$	$^{b}7.70\pm3.76^{b}$
		5	$^{b}2.66\pm0.20^{a}$	$^{b}4.34\pm2.18^{a}$	$^{b}2.80\pm0.00^{a}$	$^{b}5.74\pm4.95^{a}$
		7	$^{b}2.66\pm0.20^{a}$	$^{b}4.20\pm0.40^{a}$	$^{b}3.92\pm0.40^{a}$	$^{b}2.66\pm0.20^{a}$
	10	3	$^{a}3.36\pm1.19^{b}$	$^{a}0.98\pm0.99^{b}$	$^{a}1.12\pm1.19^{b}$	$^{a}2.66\pm0.20^{b}$
		5	$^{a}1.82\pm0.20^{a}$	$^{a}1.40\pm0.00^{a}$	$^{a}2.66\pm0.40^{a}$	$^{a}2.10\pm0.00^{a}$
		7	$^{a}1.40\pm0.79^{a}$	$^{a}1.82\pm0.20^{a}$	$^{a}1.54\pm0.59^{a}$	$^{a}2.94\pm2.57^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ6 (ต่อ) ปริมาณไนโตรเจนรวมเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนโตรเจนรวม ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{c}8.68\pm1.19^{b}$	$^{c}10.50\pm4.95^{b}$	$^{c}8.54\pm0.99^{b}$	$^{c}9.38\pm0.59^{b}$
		5	$^{c}8.96\pm0.79^{b}$	$^{c}8.12\pm1.19^{b}$	$^{c}12.88\pm3.17^{b}$	$^{c}7.70\pm0.59^{b}$
		7	$^{c}3.50\pm0.20^{a}$	$^{c}6.44\pm0.40^{a}$	$^{c}4.48\pm0.79^{a}$	$^{c}7.28\pm0.79^{a}$
	7	3	$^{b}4.20\pm1.98^{b}$	$^{b}7.28\pm0.79^{b}$	$^{b}4.48\pm0.79^{b}$	$^{b}6.44\pm0.40^{b}$
		5	$^{b}3.08\pm0.00^{b}$	$^{b}4.34\pm2.18^{b}$	$^{b}3.92\pm0.40^{b}$	$^{b}7.98\pm1.78^{b}$
		7	$^{b}2.52\pm0.00^{a}$	$^{b}4.06\pm0.20^{a}$	$^{b}4.48\pm0.40^{a}$	$^{b}4.20\pm1.19^{a}$
	10	3	$^{a}1.68\pm0.40^{b}$	$^{a}1.68\pm0.00^{b}$	$^{a}1.96\pm0.00^{b}$	$^{a}2.52\pm0.00^{b}$
		5	$^{a}0.77\pm0.10^{b}$	$^{a}1.05\pm0.49^{b}$	$^{a}1.82\pm0.59^{b}$	$^{a}2.24\pm0.40^{b}$
		7	$^{a}1.54\pm0.59^{a}$	$^{a}1.12\pm0.40^{a}$	$^{a}1.40\pm0.40^{a}$	$^{a}3.08\pm0.40^{a}$
4	5	3	$^{c}8.96\pm0.79^{c}$	$^{c}10.92\pm1.19^{c}$	$^{c}11.20\pm0.79^{c}$	$^{c}12.88\pm0.79^{c}$
		5	$^{c}8.96\pm0.79^{b}$	$^{c}10.36\pm0.40^{b}$	$^{c}12.60\pm2.77^{b}$	$^{c}9.52\pm0.79^{b}$
		7	$^{c}3.78\pm0.59^{a}$	$^{c}7.00\pm0.40^{a}$	$^{c}7.56\pm0.40^{a}$	$^{c}8.12\pm0.40^{a}$
	7	3	$^{b}5.04\pm0.79^{c}$	$^{b}7.28\pm0.79^{c}$	$^{b}8.12\pm0.40^{c}$	$^{b}9.24\pm0.40^{c}$
		5	$^{b}3.22\pm0.20^{b}$	$^{b}5.18\pm0.99^{b}$	$^{b}6.44\pm0.40^{b}$	$^{b}8.54\pm0.99^{b}$
		7	$^{b}3.08\pm0.40^{a}$	$^{b}3.92\pm0.40^{a}$	$^{b}4.62\pm0.20^{a}$	$^{b}4.76\pm0.40^{a}$
	10	3	$^{a}1.40\pm0.00^{c}$	$^{a}1.68\pm0.00^{c}$	$^{a}2.10\pm0.20^{c}$	$^{a}2.94\pm0.20^{c}$
		5	$^{a}0.63\pm0.10^{b}$	$^{a}0.98\pm0.59^{b}$	$^{a}1.96\pm0.79^{b}$	$^{a}1.40\pm0.79^{b}$
		7	$^{a}1.26\pm0.20^{a}$	$^{a}1.96\pm0.79^{a}$	$^{a}2.94\pm0.59^{a}$	$^{a}3.22\pm0.20^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ6 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนรวมเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนรวม (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	86.11±1.06	84.31±2.26	83.77±1.21	81.12±1.00
		5	97.89±0.10	97.18±1.99	95.07±2.99	96.48±0.10
		7	89.19±1.91	79.05±8.60	79.05±8.60	95.95±5.73
	7	3	94.18±0.38	87.77±2.26	91.08±0.00	85.17±2.15
		5	91.55±0.00	90.14±0.00	88.73±0.00	92.25±0.10
		7	91.56±2.75	93.51±0.00	85.71±7.35	93.51±1.84
	10	3	97.23±2.75	95.73±0.29	93.41±1.75	91.25±0.46
		5	95.77±1.99	95.77±0.00	90.85±1.00	92.25±2.99
		7	93.75±0.00	89.84±1.10	91.41±1.10	92.19±0.00
2	5	3	85.11±6.02	83.51±2.26	87.77±5.27	81.12±3.39
		5	83.82±0.95	79.78±7.63	91.24±1.91	73.37±7.15
		7	92.01±1.47	88.89±7.86	90.97±0.98	86.81±4.91
	7	3	93.88±0.38	87.77±2.26	94.68±0.00	85.37±7.15
		5	94.09±0.44	90.35±4.84	93.78±0.00	87.24±11.00
		7	92.78±0.54	88.61±1.07	89.37±1.07	92.78±0.54
	10	3	92.23±2.75	97.73±2.29	97.41±2.75	93.85±0.46
		5	95.49±0.49	96.53±0.00	93.40±0.98	94.79±0.00
		7	96.55±1.95	95.52±0.49	96.21±1.46	92.76±6.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ6 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนรวมเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนรวม (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	80.32±2.69	76.19±11.22	80.63±2.24	78.73±1.35
		5	80.00±1.77	81.88±2.65	71.25±7.07	82.81±1.33
		7	91.32±0.49	84.03±0.98	88.89±1.96	81.94±1.96
	7	3	90.22±4.61	83.0±1.84	89.57±1.84	85.00±0.92
		5	93.18±0.00	90.39±4.82	91.32±0.88	82.33±3.94
		7	93.65±0.00	89.76±0.50	88.71±1.00	89.41±2.99
	10	3	95.83±0.98	95.83±0.00	95.14±0.00	93.75±0.00
		5	98.32±0.22	97.71±1.08	96.04±1.29	95.12±0.86
		7	96.21±1.46	97.24±0.98	96.55±0.98	92.41±0.98
4	5	3	80.21±1.75	75.88±2.62	75.26±1.75	71.55±1.75
		5	81.10±1.67	78.15±0.84	73.43±5.85	79.92±1.67
		7	91.20±1.38	83.70±0.92	82.39±0.92	81.09±0.92
	7	3	90.92±1.43	86.89±1.43	85.38±0.71	83.36±0.71
		5	93.02±0.43	88.77±2.15	86.03±0.86	81.48±2.15
		7	92.40±0.98	90.32±0.98	88.59±0.49	88.25±0.98
	10	3	96.62±0.00	95.95±0.00	94.93±0.48	92.91±0.48
		5	98.64±0.21	97.88±1.28	95.77±1.71	96.98±1.71
		7	97.00±0.47	95.33±1.89	93.0±1.41	92.33±0.47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ7 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{c}5.23\pm1.67^{c}$	$^{c}6.72\pm0.40^{c}$	$^{c}6.74\pm1.18^{c}$	$^{c}7.56\pm0.40^{c}$
		5	$^{c}0.14\pm0.20^{a}$	$^{c}0.84\pm1.19^{a}$	$^{c}0.70\pm0.59^{a}$	$^{c}0.00\pm0.00^{a}$
		7	$^{c}7.42\pm4.16^{b}$	$^{c}6.02\pm1.39^{b}$	$^{c}5.04\pm3.17^{b}$	$^{c}4.42\pm0.20^{b}$
	7	3	$^{b}1.08\pm0.16^{c}$	$^{b}1.19\pm0.08^{c}$	$^{b}1.19\pm0.90^{c}$	$^{b}1.20\pm0.00^{c}$
		5	$^{b}0.00\pm0.00^{a}$	$^{b}0.14\pm0.20^{a}$	$^{b}0.00\pm0.00^{a}$	$^{b}0.28\pm0.40^{a}$
		7	$^{b}0.42\pm0.59^{b}$	$^{b}0.00\pm0.00^{b}$	$^{b}0.14\pm0.20^{b}$	$^{b}0.00\pm0.00^{b}$
	10	3	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$
		5	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$
		7	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$
2	5	3	$^{c}6.23\pm2.67^{b}$	$^{c}6.72\pm0.40^{b}$	$^{c}5.74\pm2.18^{b}$	$^{c}7.56\pm0.40^{b}$
		5	$^{c}2.38\pm0.20^{a}$	$^{c}5.46\pm3.37^{a}$	$^{c}0.98\pm0.20^{a}$	$^{c}6.02\pm2.97^{a}$
		7	$^{c}0.56\pm0.59^{a}$	$^{c}1.96\pm2.57^{a}$	$^{c}0.56\pm0.59^{a}$	$^{c}2.38\pm1.98^{a}$
	7	3	$^{b}1.47\pm0.10^{b}$	$^{b}2.80\pm0.40^{b}$	$^{b}0.49\pm0.30^{b}$	$^{b}3.22\pm1.78^{b}$
		5	$^{b}0.00\pm0.00^{a}$	$^{b}1.68\pm2.38^{a}$	$^{b}0.35\pm0.30^{a}$	$^{b}3.43\pm4.85^{a}$
		7	$^{b}0.18\pm0.25^{a}$	$^{b}1.44\pm1.34^{a}$	$^{b}1.47\pm0.49^{a}$	$^{b}0.74\pm0.54^{a}$
	10	3	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$
		5	$^{a}0.28\pm0.40^{a}$	$^{a}0.14\pm0.20^{a}$	$^{a}0.70\pm0.99^{a}$	$^{a}0.49\pm0.10^{a}$
		7	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ7 (ต่อ) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{c}5.46\pm1.78^{b}$	$^{c}8.26\pm4.16^{b}$	$^{c}5.18\pm0.59^{b}$	$^{c}7.00\pm0.40^{b}$
		5	$^{c}5.74\pm2.57^{b}$	$^{c}6.30\pm0.99^{b}$	$^{c}8.40\pm0.40^{b}$	$^{c}5.95\pm0.49^{b}$
		7	$^{c}1.05\pm0.10^{a}$	$^{c}1.82\pm0.59^{a}$	$^{c}2.03\pm0.69^{a}$	$^{c}3.64\pm0.20^{a}$
	7	3	$^{b}1.58\pm0.16^{b}$	$^{b}1.19\pm0.08^{b}$	$^{b}1.19\pm0.90^{b}$	$^{b}0.20\pm0.00^{b}$
		5	$^{b}0.14\pm0.20^{b}$	$^{b}1.40\pm1.98^{b}$	$^{b}0.42\pm0.20^{b}$	$^{b}4.06\pm1.78^{b}$
		7	$^{b}0.11\pm0.15^{a}$	$^{b}1.09\pm0.84^{a}$	$^{b}1.61\pm0.30^{a}$	$^{b}1.82\pm0.59^{a}$
	10	3	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$
		5	$^{a}0.07\pm0.10^{b}$	$^{a}0.14\pm0.20^{b}$	$^{a}0.28\pm0.40^{b}$	$^{a}0.49\pm0.10^{b}$
		7	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.11\pm0.05^{a}$
4	5	3	$^{c}6.02\pm0.99^{c}$	$^{c}8.68\pm3.56^{c}$	$^{c}6.72\pm1.58^{c}$	$^{c}8.26\pm0.20^{c}$
		5	$^{c}5.32\pm1.98^{b}$	$^{c}6.86\pm0.20^{b}$	$^{c}7.98\pm0.59^{b}$	$^{c}6.65\pm0.49^{b}$
		7	$^{c}1.19\pm0.10^{a}$	$^{c}2.45\pm0.30^{a}$	$^{c}2.87\pm0.49^{a}$	$^{c}3.36\pm0.20^{a}$
	7	3	$^{b}3.36\pm1.58^{c}$	$^{b}5.04\pm0.40^{c}$	$^{b}5.60\pm0.40^{c}$	$^{b}6.30\pm0.20^{c}$
		5	$^{b}0.14\pm0.20^{b}$	$^{b}2.10\pm0.99^{b}$	$^{b}2.66\pm0.59^{b}$	$^{b}3.50\pm0.99^{b}$
		7	$^{b}0.11\pm0.05^{a}$	$^{b}1.47\pm0.30^{a}$	$^{b}1.89\pm0.10^{a}$	$^{b}2.10\pm0.40^{a}$
	10	3	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.00\pm0.00^{c}$	$^{a}0.35\pm0.49^{c}$
		5	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.00\pm0.00^{b}$	$^{a}0.28\pm0.40^{b}$	$^{a}0.21\pm0.30^{b}$
		7	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.00\pm0.00^{a}$	$^{a}0.04\pm0.05^{a}$	$^{a}0.07\pm0.00^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ7 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	93.48±0.66	81.26±0.09	81.70±1.43	81.16±0.99
		5	99.57±0.61	97.39±3.69	97.83±1.84	100.00±0.00
		7	91.46±0.88	77.92±12.37	82.08±4.12	85.00±9.43
	7	3	96.54±0.25	94.02±0.99	93.78±0.74	91.98±1.04
		5	100.00±0.00	99.57±0.61	100.00±0.00	99.13±1.23
		7	98.88±0.53	98.88±1.59	100.00±0.00	99.63±0.53
	10	3	97.80±0.40	97.78±0.00	98.79±0.60	99.00±0.50
		5	99.14±0.20	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
		7	97.54±0.80	99.00±0.80	100.00±0.00	100.00±0.00
2	5	3	84.48±6.66	83.26±0.99	85.70±5.43	81.16±0.99
		5	93.08±0.58	84.12±9.79	97.15±0.58	82.50±8.63
		7	98.27±1.84	93.93±7.97	98.27±1.84	92.63±6.13
	7	3	96.34±0.25	93.02±0.99	98.78±0.74	91.98±4.44
		5	100.00±0.00	95.44±6.45	99.05±0.81	90.68±13.17
		7	99.47±0.75	95.64±4.06	95.54±1.50	97.77±1.65
	10	3	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
		5	99.13±1.23	99.57±0.61	97.83±3.07	98.48±0.31
		7	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ7 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยของชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	82.99±5.55	74.27±12.95	83.87±1.85	78.20±1.23
		5	78.31±9.73	76.19±3.74	68.25±1.50	77.51±1.87
		7	96.75±0.31	94.36±1.84	93.71±2.15	88.73±0.61
	7	3	89.41±4.99	80.59±3.74	90.29±3.74	84.56±0.62
		5	99.62±0.54	96.21±5.36	98.86±0.54	89.02±4.82
		7	99.68±0.45	96.71±2.55	95.11±0.90	94.48±1.80
	10	3	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
		5	99.80±0.28	99.61±0.55	99.22±1.10	98.63±0.28
		7	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	99.69±0.15
4	5	3	82.28±2.91	74.45±10.49	80.22±4.66	75.69±0.58
		5	86.43±5.05	82.50±0.51	79.64±1.52	83.04±1.26
		7	96.41±0.30	92.61±0.90	91.34±1.49	89.86±0.60
	7	3	91.33±4.09	86.99±1.02	85.54±1.02	83.73±0.51
		5	99.61±0.55	94.19±2.74	92.64±1.64	90.31±2.74
		7	99.69±0.15	95.60±0.89	94.34±0.30	93.72±1.19
	10	3	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	98.97±1.46
		5	100.00±0.00	100.00±0.00	99.21±1.11	99.41±0.83
		7	100.00±0.00	100.00±0.00	99.90±0.14	99.80±0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ8 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg l^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{ab}0.149\pm0.014^{c}$	$^{ab}0.541\pm0.063^{c}$	$^{ab}0.976\pm0.240^{c}$	$^{ab}0.694\pm0.062^{c}$
		5	$^{ab}0.027\pm0.008^{a}$	$^{ab}0.425\pm0.406^{a}$	$^{ab}0.481\pm0.182^{a}$	$^{ab}0.287\pm0.058^{a}$
		7	$^{ab}0.313\pm0.127^{b}$	$^{ab}0.472\pm0.279^{b}$	$^{ab}0.731\pm0.010^{b}$	$^{ab}0.546\pm0.266^{b}$
	7	3	$^{b}0.826\pm0.516^{c}$	$^{b}0.931\pm0.284^{c}$	$^{b}0.526\pm1.079^{c}$	$^{b}0.697\pm0.661^{c}$
		5	$^{b}0.088\pm0.010^{a}$	$^{b}0.033\pm0.000^{a}$	$^{b}0.014\pm0.002^{a}$	$^{b}0.028\pm0.018^{a}$
		7	$^{b}0.608\pm0.113^{b}$	$^{b}1.391\pm1.073^{b}$	$^{b}0.025\pm0.018^{b}$	$^{b}1.046\pm1.306^{b}$
	10	3	$^{a}0.115\pm0.046^{c}$	$^{a}0.252\pm0.364^{c}$	$^{a}0.927\pm0.191^{c}$	$^{a}0.230\pm0.139^{c}$
		5	$^{a}0.014\pm0.002^{a}$	$^{a}0.008\pm0.000^{a}$	$^{a}0.028\pm0.013^{a}$	$^{a}0.030\pm0.019^{a}$
		7	$^{a}0.076\pm0.013^{b}$	$^{a}0.062\pm0.003^{b}$	$^{a}0.600\pm0.816^{b}$	$^{a}0.189\pm0.100^{b}$
2	5	3	$^{b}0.149\pm0.014^{a}$	$^{b}1.041\pm0.263^{a}$	$^{b}1.076\pm0.240^{a}$	$^{b}1.194\pm0.062^{a}$
		5	$^{b}0.240\pm0.143^{b}$	$^{b}1.920\pm0.476^{b}$	$^{b}1.655\pm0.505^{b}$	$^{b}0.624\pm0.627^{b}$
		7	$^{b}0.193\pm0.064^{a}$	$^{b}1.251\pm0.865^{a}$	$^{b}1.169\pm0.157^{a}$	$^{b}0.365\pm0.400^{a}$
	7	3	$^{b}1.379\pm0.302^{a}$	$^{b}1.083\pm0.803^{a}$	$^{b}1.582\pm0.093^{a}$	$^{b}0.414\pm0.005^{a}$
		5	$^{b}1.230\pm1.839^{b}$	$^{b}1.950\pm1.131^{b}$	$^{b}2.039\pm1.015^{b}$	$^{b}0.341\pm0.145^{b}$
		7	$^{b}1.255\pm1.149^{a}$	$^{b}2.531\pm2.582^{a}$	$^{b}1.145\pm0.215^{a}$	$^{b}1.227\pm1.480^{a}$
	10	3	$^{a}0.115\pm0.046^{a}$	$^{a}2.252\pm1.364^{a}$	$^{a}0.927\pm1.091^{a}$	$^{a}0.230\pm0.139^{a}$
		5	$^{a}0.070\pm0.064^{b}$	$^{a}0.090\pm0.023^{b}$	$^{a}0.702\pm0.748^{b}$	$^{a}0.361\pm0.035^{b}$
		7	$^{a}0.304\pm0.046^{a}$	$^{a}0.103\pm0.006^{a}$	$^{a}1.108\pm0.836^{a}$	$^{a}1.477\pm0.162^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ8 (ต่อ) ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{a}0.517\pm0.186^{b}$	$^{a}1.009\pm0.545^{b}$	$^{a}1.214\pm0.325^{b}$	$^{a}0.176\pm0.157^{b}$
		5	$^{a}0.019\pm0.006^{a}$	$^{a}0.008\pm0.003^{a}$	$^{a}0.003\pm0.000^{a}$	$^{a}0.033\pm0.000^{a}$
		7	$^{a}0.193\pm0.064^{b}$	$^{a}0.722\pm0.116^{b}$	$^{a}1.095\pm0.052^{b}$	$^{a}1.231\pm0.058^{b}$
	7	3	$^{b}1.826\pm0.516^{b}$	$^{b}0.931\pm0.284^{b}$	$^{b}1.526\pm1.079^{b}$	$^{b}0.697\pm0.661^{b}$
		5	$^{b}1.741\pm0.267^{a}$	$^{b}1.692\pm0.342^{a}$	$^{b}1.530\pm0.296^{a}$	$^{b}0.341\pm0.145^{a}$
		7	$^{b}0.578\pm0.191^{b}$	$^{b}0.821\pm0.162^{b}$	$^{b}1.198\pm0.139^{b}$	$^{b}1.949\pm0.458^{b}$
	10	3	$^{a}0.082\pm0.000^{b}$	$^{a}1.317\pm0.041^{b}$	$^{a}0.919\pm1.079^{b}$	$^{a}1.813\pm0.232^{b}$
		5	$^{a}0.049\pm0.035^{a}$	$^{a}0.090\pm0.023^{a}$	$^{a}0.189\pm0.023^{a}$	$^{a}0.377\pm0.012^{a}$
		7	$^{a}0.312\pm0.035^{b}$	$^{a}0.574\pm0.058^{b}$	$^{a}0.816\pm0.029^{b}$	$^{a}1.477\pm0.162^{b}$
4	5	3	$^{a}0.431\pm0.064^{c}$	$^{a}0.677\pm0.075^{c}$	$^{a}1.067\pm0.116^{c}$	$^{a}1.600\pm0.174^{c}$
		5	$^{a}0.026\pm0.003^{a}$	$^{a}0.011\pm0.001^{a}$	$^{a}0.004\pm0.001^{a}$	$^{a}0.034\pm0.000^{a}$
		7	$^{a}0.176\pm0.041^{b}$	$^{a}0.652\pm0.017^{b}$	$^{a}1.042\pm0.023^{b}$	$^{a}1.206\pm0.023^{b}$
	7	3	$^{c}1.198\pm0.371^{c}$	$^{c}1.198\pm0.093^{c}$	$^{c}1.592\pm0.058^{c}$	$^{c}1.485\pm0.232^{c}$
		5	$^{c}2.515\pm0.052^{a}$	$^{c}2.244\pm0.133^{a}$	$^{c}1.301\pm0.029^{a}$	$^{c}0.578\pm0.191^{a}$
		7	$^{c}0.472\pm0.041^{b}$	$^{c}0.751\pm0.064^{b}$	$^{c}1.046\pm0.075^{b}$	$^{c}1.580\pm0.064^{b}$
	10	3	$^{b}0.369\pm0.058^{c}$	$^{b}1.255\pm0.012^{c}$	$^{b}1.629\pm0.017^{c}$	$^{b}1.871\pm0.151^{c}$
		5	$^{b}0.041\pm0.023^{a}$	$^{b}0.103\pm0.006^{a}$	$^{b}0.185\pm0.017^{a}$	$^{b}0.382\pm0.017^{a}$
		7	$^{b}0.332\pm0.006^{b}$	$^{b}0.595\pm0.029^{b}$	$^{b}0.755\pm0.058^{b}$	$^{b}1.284\pm0.110^{b}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ9 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg l^{-1})			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	0.028±0.008 ^{b}	0.088±0.028 ^{b}	0.162±0.017 ^{b}	0.194±0.013 ^{b}
		5	0.031±0.004 ^{a}	0.044±0.022 ^{a}	0.055±0.034 ^{a}	0.078±0.076 ^{a}
		7	0.039±0.012 ^{b}	0.100±0.060 ^{b}	0.205±0.161 ^{b}	0.295±0.040 ^{b}
	7	3	0.147±0.008 ^{b}	0.128±0.047 ^{b}	0.209±0.001 ^{b}	0.211±0.007 ^{b}
		5	0.020±0.011 ^{a}	0.012±0.001 ^{a}	0.022±0.028 ^{a}	0.012±0.008 ^{a}
		7	0.699±0.548 ^{b}	0.591±0.430 ^{b}	0.984±1.387 ^{b}	0.289±0.295 ^{b}
	10	3	0.271±0.121 ^{b}	0.218±0.110 ^{b}	0.208±0.065 ^{b}	0.207±0.061 ^{b}
		5	0.015±0.001 ^{a}	0.023±0.001 ^{a}	0.008±0.000 ^{a}	0.015±0.007 ^{a}
		7	0.206±0.037 ^{b}	0.079±0.007 ^{b}	0.132±0.097 ^{b}	0.129±0.007 ^{b}
2	5	3	^{a} 0.018±0.008 ^{a}	^{a} 0.088±0.028 ^{a}	^{a} 0.162±0.017 ^{a}	^{a} 0.194±0.033 ^{a}
		5	^{a} 0.198±0.123 ^{b}	^{a} 0.557±0.093 ^{b}	^{a} 0.286±0.030 ^{b}	^{a} 0.154±0.060 ^{b}
		7	^{a} 0.077±0.070 ^{a}	^{a} 0.118±0.060 ^{a}	^{a} 0.155±0.018 ^{a}	^{a} 0.099±0.031 ^{a}
	7	3	^{b} 0.405±0.348 ^{a}	^{b} 0.166±0.044 ^{a}	^{b} 0.414±0.157 ^{a}	^{b} 0.120±0.005 ^{a}
		5	^{b} 0.645±0.034 ^{b}	^{b} 0.477±0.292 ^{b}	^{b} 0.323±0.028 ^{b}	^{b} 0.432±0.236 ^{b}
		7	^{b} 0.206±0.194 ^{a}	^{b} 0.679±0.684 ^{a}	^{b} 0.193±0.084 ^{a}	^{b} 0.208±0.175 ^{a}
	10	3	^{a} 0.371±0.321 ^{a}	^{a} 0.318±0.110 ^{a}	^{a} 0.208±0.065 ^{a}	^{a} 0.247±0.161 ^{a}
		5	^{a} 0.080±0.026 ^{b}	^{a} 0.210±0.161 ^{b}	^{a} 0.230±0.157 ^{b}	^{a} 0.173±0.029 ^{b}
		7	^{a} 0.094±0.084 ^{a}	^{a} 0.242±0.144 ^{a}	^{a} 0.372±0.420 ^{a}	^{a} 0.183±0.062 ^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ9 (ต่อ) ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	0.132±0.083 [a]	0.452±0.298 [a]	0.203±0.156 [a]	0.128±0.026 [a]
		5	0.355±0.497 [b]	0.356±0.496 [b]	0.707±0.000 [b]	0.707±0.000 [b]
		7	0.077±0.070 [a]	0.188±0.159 [a]	0.265±0.073 [a]	0.120±0.083 [a]
	7	3	0.347±0.308 [a]	0.248±0.247 [a]	0.209±0.101 [a]	0.208±0.007 [a]
		5	0.743±0.173 [b]	0.341±0.101 [b]	0.227±0.109 [b]	0.432±0.236 [b]
		7	0.106±0.052 [a]	0.133±0.088 [a]	0.140±0.008 [a]	0.303±0.041 [a]
	10	3	0.404±0.275 [a]	0.485±0.347 [a]	0.216±0.076 [a]	0.147±0.068 [a]
		5	0.105±0.004 [b]	0.144±0.067 [b]	0.218±0.139 [b]	0.148±0.007 [b]
		7	0.108±0.041 [a]	0.114±0.029 [a]	0.274±0.240 [a]	0.232±0.006 [a]
4	5	3	[b] 0.302±0.086	[b] 1.032±0.418	[b] 0.240±0.209	[b] 0.149±0.187
		5	[b] 0.356±0.495	[b] 0.356±0.496	[b] 0.707±0.000	[b] 0.707±0.000
		7	[b] 0.106±0.003	[b] 0.222±0.020	[b] 0.296±0.029	[b] 0.202±0.033
	7	3	[b] 0.321±0.271	[b] 0.396±0.037	[b] 0.166±0.033	[b] 0.224±0.236
		5	[b] 0.709±0.165	[b] 0.538±0.379	[b] 0.444±0.198	[b] 0.393±0.291
		7	[b] 0.341±0.022	[b] 0.274±0.089	[b] 0.438±0.000	[b] 0.695±0.108
	10	3	[a] 0.214±0.083	[a] 0.471±0.269	[a] 0.248±0.089	[a] 0.306±0.157
		5	[a] 0.105±0.004	[a] 0.105±0.012	[a] 0.283±0.058	[a] 0.162±0.024
		7	[a] 0.131±0.013	[a] 0.200±0.042	[a] 0.468±0.139	[a] 0.504±0.154

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ10 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{b}0.133\pm0.011^{c}$	$^{b}0.103\pm0.017^{c}$	$^{b}0.167\pm0.016^{c}$	$^{b}0.135\pm0.008^{c}$
		5	$^{b}0.108\pm0.005^{a}$	$^{b}0.123\pm0.035^{a}$	$^{b}0.168\pm0.014^{a}$	$^{b}0.115\pm0.048^{a}$
		7	$^{b}0.166\pm0.017^{b}$	$^{b}0.153\pm0.015^{b}$	$^{b}0.219\pm0.008^{b}$	$^{b}0.158\pm0.014^{b}$
	7	3	$^{a}0.154\pm0.016^{c}$	$^{a}0.185\pm0.011^{c}$	$^{a}0.201\pm0.024^{c}$	$^{a}0.185\pm0.026^{c}$
		5	$^{a}0.111\pm0.001^{a}$	$^{a}0.105\pm0.001^{a}$	$^{a}0.143\pm0.034^{a}$	$^{a}0.108\pm0.022^{a}$
		7	$^{a}0.134\pm0.012^{b}$	$^{a}0.121\pm0.013^{b}$	$^{a}0.168\pm0.000^{b}$	$^{a}0.133\pm0.013^{b}$
	10	3	$^{a}0.120\pm0.015^{c}$	$^{a}0.150\pm0.011^{c}$	$^{a}0.242\pm0.022^{c}$	$^{a}0.216\pm0.007^{c}$
		5	$^{a}0.105\pm0.010^{a}$	$^{a}0.095\pm0.002^{a}$	$^{a}0.149\pm0.096^{a}$	$^{a}0.129\pm0.031^{a}$
		7	$^{a}0.104\pm0.010^{b}$	$^{a}0.111\pm0.004^{b}$	$^{a}0.238\pm0.094^{b}$	$^{a}0.179\pm0.006^{b}$
2	5	3	$^{b}0.133\pm0.011^{a}$	$^{b}0.183\pm0.027^{a}$	$^{b}0.167\pm0.026^{a}$	$^{b}0.235\pm0.008^{a}$
		5	$^{b}0.200\pm0.044^{b}$	$^{b}0.265\pm0.026^{b}$	$^{b}0.215\pm0.014^{b}$	$^{b}0.246\pm0.030^{b}$
		7	$^{b}0.196\pm0.006^{b}$	$^{b}0.286\pm0.023^{b}$	$^{b}0.239\pm0.016^{b}$	$^{b}0.237\pm0.066^{b}$
	7	3	$^{b}0\ .189\pm0.104^{a}$	$^{b}0.181\pm0.059^{a}$	$^{b}0.238\pm0.046^{a}$	$^{b}0.203\pm0.030^{a}$
		5	$^{b}0.172\pm0.029^{b}$	$^{b}0.207\pm0.005^{b}$	$^{b}0.232\pm0.007^{b}$	$^{b}0.235\pm0.003^{b}$
		7	$^{b}0.255\pm0.034^{b}$	$^{b}0.305\pm0.050^{b}$	$^{b}0.290\pm0.012^{b}$	$^{b}0.248\pm0.012^{b}$
	10	3	$^{a}0.120\pm0.015^{a}$	$^{a}0.154\pm0.011^{a}$	$^{a}0.242\pm0.022^{a}$	$^{a}0.216\pm0.007^{a}$
		5	$^{a}0.152\pm0.056^{b}$	$^{a}0.221\pm0.033^{b}$	$^{a}0.336\pm0.013^{b}$	$^{a}0.254\pm0.068^{b}$
		7	$^{a}0.105\pm0.009^{b}$	$^{a}0.131\pm0.002^{b}$	$^{a}0.141\pm0.004^{b}$	$^{a}0.188\pm0.025^{b}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ10 (ต่อ) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{c}0.241\pm0.013^{a}$	$^{c}0.271\pm0.033^{a}$	$^{c}0.278\pm0.003^{a}$	$^{c}0.289\pm0.030^{a}$
		5	$^{c}0.235\pm0.005^{b}$	$^{c}0.265\pm0.026^{b}$	$^{c}0.249\pm0.008^{b}$	$^{c}0.254\pm0.016^{b}$
		7	$^{c}0.193\pm0.003^{a}$	$^{c}0.278\pm0.011^{a}$	$^{c}0.237\pm0.014^{a}$	$^{c}0.200\pm0.013^{a}$
	7	3	$^{b}0.164\pm0.016^{a}$	$^{b}0.215\pm0.011^{a}$	$^{b}0.236\pm0.024^{a}$	$^{b}0.243\pm0.026^{a}$
		5	$^{b}0.181\pm0.017^{b}$	$^{b}0.208\pm0.003^{b}$	$^{b}0.234\pm0.004^{b}$	$^{b}0.235\pm0.003^{b}$
		7	$^{b}0.242\pm0.015^{a}$	$^{b}0.271\pm0.002^{a}$	$^{b}0.294\pm0.007^{a}$	$^{b}0.308\pm0.005^{a}$
	10	3	$^{a}0.118\pm0.013^{a}$	$^{a}0.154\pm0.009^{a}$	$^{a}0.228\pm0.001^{a}$	$^{a}0.224\pm0.003^{a}$
		5	$^{a}0.124\pm0.016^{b}$	$^{a}0.203\pm0.001^{b}$	$^{a}0.308\pm0.008^{b}$	$^{a}0.330\pm0.015^{b}$
		7	$^{a}0.114\pm0.004^{a}$	$^{a}0.135\pm0.005^{a}$	$^{a}0.155\pm0.003^{a}$	$^{a}0.188\pm0.025^{a}$
4	5	3	$^{c}0.239\pm0.010^{a}$	$^{c}0.288\pm0.009^{a}$	$^{c}0.300\pm0.028^{a}$	$^{c}0.309\pm0.001^{a}$
		5	$^{c}0.233\pm0.011^{b}$	$^{c}0.239\pm0.008^{b}$	$^{c}0.271\pm0.008^{b}$	$^{c}0.274\pm0.009^{b}$
		7	$^{c}0.183\pm0.012^{a}$	$^{c}0.244\pm0.005^{a}$	$^{c}0.255\pm0.001^{a}$	$^{c}0.241\pm0.005^{a}$
	7	3	$^{b}0.164\pm0.016^{a}$	$^{b}0.215\pm0.011^{a}$	$^{b}0.236\pm0.024^{a}$	$^{b}0.243\pm0.026^{a}$
		5	$^{b}0.170\pm0.002^{b}$	$^{b}0.203\pm0.003^{b}$	$^{b}0.229\pm0.004^{b}$	$^{b}0.238\pm0.007^{b}$
		7	$^{b}0.228\pm0.006^{a}$	$^{b}0.268\pm0.002^{a}$	$^{b}0.289\pm0.000^{a}$	$^{b}0.301\pm0.004^{a}$
	10	3	$^{a}0.121\pm0.008^{a}$	$^{a}0.149\pm0.004^{a}$	$^{a}0.218\pm0.013^{a}$	$^{a}0.225\pm0.000^{a}$
		5	$^{a}0.118\pm0.008^{b}$	$^{a}0.204\pm0.001^{b}$	$^{a}0.302\pm0.002^{b}$	$^{a}0.324\pm0.006^{b}$
		7	$^{a}0.117\pm0.008^{a}$	$^{a}0.138\pm0.000^{a}$	$^{a}0.170\pm0.011^{a}$	$^{a}0.205\pm0.000^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ10 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	78.85±2.03	67.25±0.34	60.96±1.02	54.99±1.85
		5	74.63±1.22	70.92±8.29	60.37±3.33	73.04±11.19
		7	60.20±4.14	63.33±3.70	47.43±1.88	62.04±3.27
	7	3	70.03±2.93	60.59±2.05	56.83±4.48	55.58±4.79
		5	73.81±0.34	75.24±0.16	66.26±8.10	74.51±5.14
		7	66.88±3.01	70.22±3.30	58.49±0.07	67.20±3.28
	10	3	75.05±2.64	67.61±2.00	51.87±0.29	52.83±0.64
		5	75.19±2.40	77.57±0.36	64.94±22.69	69.65±7.38
		7	75.05±2.49	73.37±0.89	42.72±22.71	56.98±1.44
2	5	3	68.85±2.63	57.25±6.34	60.96±6.02	44.99±1.85
		5	57.99±9.33	44.45±5.51	54.96±3.01	48.43±6.22
		7	60.59±1.21	42.30±4.54	51.82±3.25	42.30±13.27
	7	3	55.90±4.26	57.55±3.84	44.30±1.86	42.48±2.98
		5	65.27±5.75	58.36±0.98	53.32±1.42	52.67±0.51
		7	48.52±6.80	38.59±10.14	41.58±2.47	39.92±2.50
	10	3	74.73±3.10	67.43±2.25	48.84±4.57	44.39±1.56
		5	69.31±11.36	55.49±6.58	32.38±2.69	28.81±13.75
		7	80.41±1.59	75.58±0.37	73.70±0.78	65.06±4.58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ10 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยในชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	40.92±3.18	33.57±8.17	31.70±0.79	29.18±7.38
		5	45.77±1.08	38.90±6.07	42.54±1.79	25.00±6.30
		7	59.17±0.66	51.31±2.32	49.91±2.91	47.87±2.84
	7	3	55.90±4.26	57.55±3.84	44.30±1.86	42.48±2.98
		5	63.56±3.39	58.10±0.68	52.77±0.72	52.62±0.51
		7	48.91±3.15	42.89±0.46	38.05±1.48	35.03±1.03
	10	3	75.05±2.64	67.61±2.00	51.87±0.29	52.83±0.64
		5	70.09±3.81	50.97±0.36	25.35±1.85	20.04±3.73
		7	75.96±0.76	71.54±1.07	67.39±0.72	60.36±5.20
4	5	3	44.86±2.37	33.56±2.12	30.64±6.47	28.64±0.25
		5	49.90±1.41	45.27±5.78	41.21±0.56	34.67±1.27
		7	55.91±2.83	41.22±1.09	38.51±0.29	41.86±1.25
	7	3	70.03±2.93	60.59±2.05	56.83±4.48	55.58±4.79
		5	65.35±0.35	58.61±0.67	53.33±0.78	51.53±1.34
		7	56.85±1.04	49.29±0.41	45.30±0.00	42.86±0.79
	10	3	78.70±1.45	73.78±0.62	61.77±2.34	60.41±0.06
		5	71.43±1.96	50.56±0.29	37.00±0.38	31.74±1.44
		7	79.44±1.45	75.77±0.07	70.23±1.95	64.00±0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ11 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	$^{b}0.033\pm0.004^{c}$	$^{b}0.052\pm0.011^{c}$	$^{b}0.046\pm0.010^{c}$	$^{b}0.062\pm0.003^{c}$
		5	$^{b}0.023\pm0.002^{a}$	$^{b}0.029\pm0.014^{a}$	$^{b}0.046\pm0.005^{a}$	$^{b}0.025\pm0.018^{a}$
		7	$^{b}0.045\pm0.007^{b}$	$^{b}0.040\pm0.006^{b}$	$^{b}0.066\pm0.003^{b}$	$^{b}0.042\pm0.005^{b}$
	7	3	$^{a}0.045\pm0.006^{c}$	$^{a}0.055\pm0.004^{c}$	$^{a}0.073\pm0.009^{c}$	$^{a}0.075\pm0.010^{c}$
		5	$^{a}0.024\pm0.001^{a}$	$^{a}0.022\pm0.000^{a}$	$^{a}0.037\pm0.013^{a}$	$^{a}0.023\pm0.008^{a}$
		7	$^{a}0.033\pm0.005^{b}$	$^{a}0.028\pm0.005^{b}$	$^{a}0.046\pm0.000^{b}$	$^{a}0.033\pm0.005^{b}$
	10	3	$^{a}0.028\pm0.006^{c}$	$^{a}0.035\pm0.004^{c}$	$^{a}0.073\pm0.008^{c}$	$^{a}0.075\pm0.003^{c}$
		5	$^{a}0.022\pm0.004^{a}$	$^{a}0.018\pm0.001^{a}$	$^{a}0.039\pm0.037^{a}$	$^{a}0.031\pm0.012^{a}$
		7	$^{a}0.021\pm0.004^{b}$	$^{a}0.024\pm0.001^{b}$	$^{a}0.073\pm0.037^{b}$	$^{a}0.050\pm0.002^{b}$
2	5	3	$^{b}0.033\pm0.004^{a}$	$^{b}0.052\pm0.011^{a}$	$^{b}0.046\pm0.010^{a}$	$^{b}0.072\pm0.003^{a}$
		5	$^{b}0.059\pm0.017^{b}$	$^{b}0.084\pm0.010^{b}$	$^{b}0.064\pm0.006^{b}$	$^{b}0.076\pm0.012^{b}$
		7	$^{b}0.057\pm0.002^{b}$	$^{b}0.092\pm0.009^{b}$	$^{b}0.074\pm0.006^{b}$	$^{b}0.073\pm0.026^{b}$
	7	3	$^{b}0.054\pm0.040^{a}$	$^{b}0.051\pm0.023^{a}$	$^{b}0.073\pm0.018^{a}$	$^{b}0.060\pm0.012^{a}$
		5	$^{b}0.048\pm0.011^{b}$	$^{b}0.061\pm0.002^{b}$	$^{b}0.071\pm0.003^{b}$	$^{b}0.072\pm0.001^{b}$
		7	$^{b}0.080\pm0.013^{b}$	$^{b}0.099\pm0.020^{b}$	$^{b}0.094\pm0.005^{b}$	$^{b}0.077\pm0.005^{b}$
	10	3	$^{a}0.028\pm0.006^{a}$	$^{a}0.041\pm0.004^{a}$	$^{a}0.075\pm0.008^{a}$	$^{a}0.065\pm0.003^{a}$
		5	$^{a}0.040\pm0.022^{b}$	$^{a}0.067\pm0.013^{b}$	$^{a}0.111\pm0.005^{b}$	$^{a}0.080\pm0.026^{b}$
		7	$^{a}0.022\pm0.003^{b}$	$^{a}0.032\pm0.001^{b}$	$^{a}0.036\pm0.002^{b}$	$^{a}0.054\pm0.010^{b}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ11 (ต่อ) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยของน้ำเสียชุมชนที่ออกจากชุดทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลาปล่อยให้แห้ง (วัน)	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ($mg\ l^{-1}$)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	$^{c}0.074\pm0.005^{a}$	$^{c}0.086\pm0.013^{a}$	$^{c}0.089\pm0.001^{a}$	$^{c}0.093\pm0.012^{a}$
		5	$^{c}0.072\pm0.002^{b}$	$^{c}0.084\pm0.010^{b}$	$^{c}0.078\pm0.003^{b}$	$^{c}0.074\pm0.006^{b}$
		7	$^{c}0.056\pm0.001^{a}$	$^{c}0.089\pm0.004^{a}$	$^{c}0.073\pm0.005^{a}$	$^{c}0.059\pm0.005^{a}$
	7	3	$^{b}0.045\pm0.006^{a}$	$^{b}0.065\pm0.004^{a}$	$^{b}0.073\pm0.009^{a}$	$^{b}0.075\pm0.010^{a}$
		5	$^{b}0.051\pm0.007^{b}$	$^{b}0.062\pm0.001^{b}$	$^{b}0.072\pm0.001^{b}$	$^{b}0.072\pm0.001^{b}$
		7	$^{b}0.075\pm0.006^{a}$	$^{b}0.086\pm0.001^{a}$	$^{b}0.095\pm0.003^{a}$	$^{b}0.101\pm0.002^{a}$
	10	3	$^{a}0.027\pm0.005^{a}$	$^{a}0.041\pm0.004^{a}$	$^{a}0.070\pm0.001^{a}$	$^{a}0.068\pm0.001^{a}$
		5	$^{a}0.029\pm0.006^{b}$	$^{a}0.060\pm0.001^{b}$	$^{a}0.101\pm0.003^{b}$	$^{a}0.109\pm0.006^{b}$
		7	$^{a}0.025\pm0.001^{a}$	$^{a}0.033\pm0.002^{a}$	$^{a}0.041\pm0.001^{a}$	$^{a}0.054\pm0.010^{a}$
4	5	3	$^{c}0.074\pm0.004^{a}$	$^{c}0.093\pm0.004^{a}$	$^{c}0.098\pm0.011^{a}$	$^{c}0.101\pm0.000^{a}$
		5	$^{c}0.382\pm0.008^{b}$	$^{c}0.522\pm0.033^{b}$	$^{c}0.560\pm0.003^{b}$	$^{c}0.526\pm0.007^{b}$
		7	$^{c}0.052\pm0.005^{a}$	$^{c}0.076\pm0.002^{a}$	$^{c}0.080\pm0.000^{a}$	$^{c}0.075\pm0.002^{a}$
	7	3	$^{b}0.045\pm0.006^{a}$	$^{b}0.065\pm0.004^{a}$	$^{b}0.073\pm0.009^{a}$	$^{b}0.075\pm0.010^{a}$
		5	$^{b}0.047\pm0.001^{b}$	$^{b}0.060\pm0.001^{b}$	$^{b}0.070\pm0.001^{b}$	$^{b}0.073\pm0.003^{b}$
		7	$^{b}0.069\pm0.002^{a}$	$^{b}0.085\pm0.001^{a}$	$^{b}0.093\pm0.000^{a}$	$^{b}0.098\pm0.002^{a}$
	10	3	$^{a}0.028\pm0.003^{a}$	$^{a}0.039\pm0.001^{a}$	$^{a}0.066\pm0.005^{a}$	$^{a}0.069\pm0.000^{a}$
		5	$^{a}0.027\pm0.003^{b}$	$^{a}0.060\pm0.000^{b}$	$^{a}0.098\pm0.001^{b}$	$^{a}0.107\pm0.002^{b}$
		7	$^{a}0.027\pm0.003^{a}$	$^{a}0.035\pm0.000^{a}$	$^{a}0.047\pm0.004^{a}$	$^{a}0.061\pm0.000^{a}$

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในแต่ละรอบของการทดลอง

ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ระหว่างระยะเวลาปล่อยให้แห้งในแต่ละรอบของการทดลอง

ตารางที่ ผ11 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
1	5	3	88.70±4.36	76.12±1.45	69.18±20.34	60.96±2.91
		5	90.49±4.48	87.32±0.00	77.82±19.42	89.44±2.99
		7	88.57±1.47	82.33±1.47	53.22±19.11	81.29±2.94
	7	3	95.92±0.00	95.06±1.20	94.92±2.40	92.61±0.00
		5	53.52±32.87	55.63±2.99	67.25±7.47	72.54±8.96
		7	75.56±0.00	66.67±25.14	31.11±18.86	42.22±5.14
	10	3	81.85±1.35	78.54±2.40	80.58±1.76	72.36±2.70
		5	52.46±4.48	75.70±1.49	49.30±23.90	70.42±2.99
		7	81.60±1.73	77.92±3.47	82.83±6.94	73.02±6.94
2	5	3	88.70±4.36	96.92±1.45	69.18±20.34	60.96±2.91
		5	88.95±2.23	92.11±4.47	87.37±0.00	51.84±7.91
		7	62.50±12.24	74.04±20.40	65.38±0.00	53.46±8.95
	7	3	86.64±15.98	89.73±2.91	85.62±8.72	69.18±8.72
		5	82.63±20.10	82.63±2.23	82.63±11.16	63.68±11.16
		7	83.24±8.73	52.35±7.40	89.41±7.49	82.35±0.00
	10	3	81.85±1.35	88.54±5.40	87.58±6.76	92.36±2.70
		5	56.73±20.40	62.50±4.08	62.50±20.40	59.62±8.16
		7	63.11±17.39	68.03±3.48	68.03±17.39	65.57±6.96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ11 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ ในการทดลองรอบที่ 1-4

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ระยะเวลปล่อยให้แห้ง (วัน)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต (%)			
			ปลูกพืช		ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)	
			ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)	ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
3	5	3	62.00±5.06	49.68±12.20	26.81±11.59	16.06±3.56
		5	28.96±2.03	25.99±11.44	22.86±3.38	11.00±5.00
		7	49.19±1.09	39.48±3.86	33.79±4.85	27.04±4.73
	7	3	37.06±6.71	40.25±6.65	34.73±0.92	30.48±13.44
		5	58.04±5.35	49.42±1.07	41.02±1.14	40.78±0.80
		7	32.13±5.24	22.10±0.77	14.05±2.46	9.02±1.72
	10	3	75.61±4.40	63.23±3.32	40.04±0.48	38.65±1.06
		5	67.14±17.90	45.36±10.37	38.93±4.24	34.83±21.68
		7	82.44±0.97	76.80±1.37	71.50±0.92	62.52±6.64
4	5	3	62.00±5.06	39.68±12.20	46.81±11.59	16.06±3.56
		5	39.83±1.27	17.64±5.21	11.80±0.51	17.10±1.14
		7	34.59±5.71	24.90±2.21	20.00±0.59	6.18±2.54
	7	3	69.97±4.18	56.49±2.93	51.13±6.39	49.34±6.84
		5	60.54±0.56	49.78±1.07	41.35±1.24	38.47±2.13
		7	49.95±1.54	38.78±0.60	32.89±0.00	29.29±1.17
	10	3	82.49±1.99	75.71±0.85	59.19±3.22	57.32±0.08
		5	67.14±17.90	45.36±10.37	8.93±4.24	34.83±1.68
		7	83.51±1.99	78.46±0.10	70.85±2.68	62.29±0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ปริมาณอนุภาคดินและชนิดดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ12 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและชนิดดิน

ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ชุดการทดลองที่ปลูกพืช						ชุดการทดลองไม่ปลูกพืช (ควบคุม)					
	ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1:1)			ดินเลน			ดินเลน : ทราย (1:1)		
	clay (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	sand (%)	silt (%)
5	^{b}37.16 ±1.36	^{a}34.74 ±1.41	^{c}28.11 ±0.05	^{a}23.62 ±0.71	^{b}74.63 ±1.36	^{a}1.75 ±0.66	^{b}39.16 ±1.47	^{a}36.70 ±1 .47	^{c}24.14 ±0.00	^{a}26.01 ±2.47	^{b}65.52 ±5.66	^{a}8.47 ±8.13
ชนิดดิน	clay loam			sandy clay loam			clay loam			sandy clay loam		
7	^{b}36.12 ±0.00	^{a}36.84 ±1.47	^{c}27.04 ±1.47	^{a}20.94 ± 0.16	^{b}64.88 ±1.41	^{b}14.18 ±2.57	^{b}35.12 ±1.41	^{a}38.77 ±1.26	^{c}26.11 ±0.15	^{a}23.30 ±1.16	^{b}74.88 ±1.41	^{a}1.82 ±0.25
ชนิดดิน	clay loam			sandy clay loam			clay loam			sandy clay loam		
10	^{b}39.30 ±1.47	^{a}32.52 ±1.41	^{c}28.18 ±0.05	^{a}23.34 ±1.41	^{b}62.70 ±1.16	^{b}13.96 ±0.25	^{b}37.12 ±1.41	^{a}29.70 ±5.91	^{c}33.18 ±4.50	^{a}24.48 ±1.41	^{b}72.02 ±0.71	^{a}3.50 ±0.71
ชนิดดิน	clay loam			sandy clay loam			clay loam			sandy clay loam		

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างชุดการทดลองดินเลน และชุดการทดลองดินเลน : ทราย (1:1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการเจริญเติบโตทางความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ13 ความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (เซนติเมตร)

รอบที่	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)	ความสูง (เซนติเมตร)	
		ดินเลน	ดินเลน : ทราย (1:1)
ก่อนการทดลอง	5	100.84±2.53 [a]	101.38±1.93 [a]
	7	104.09±0.22 [a]	100.09±0.39 [a]
	10	103.29±0.99 [a]	96.93±1.56 [a]
1	5	108.90±4.05 [b]	109.15±1.46 [b]
	7	111.43±0.97 [b]	108.49±1.46 [b]
	10	112.54±0.91 [b]	103.39±0.66 [b]
2	5	112.90±0.53 [c]	114.15±1.03 [c]
	7	118.43±0.28 [c]	114.49±1.31 [c]
	10	121.00±0.79 [c]	111.00±0.56 [c]
3	5	125.00±1.03 [d]	120.60±1.23 [d]
	7	128.40±0.22 [d]	120.49±0.31 [d]
	10	131.00±0.99 [d]	121.50±1.06 [d]
4	5	140.84±0.51 [e]	125.38±1.01 [e]
	7	135.09±0.22 [e]	124.49±0.39 [e]
	10	140.09±0.69 [e]	125.08±1.26 [e]

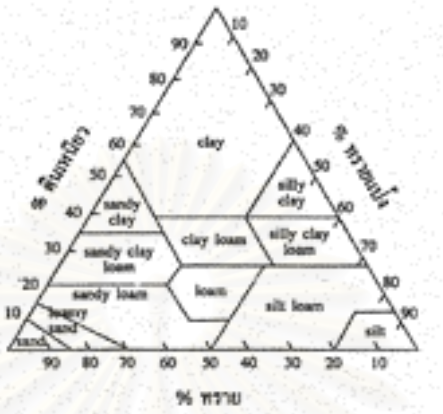
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น95%ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำในการทดลองทั้ง 4 รอบ
ตัวอักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน : แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ของความสูงของกล้าไม้ในการทดลองทั้ง 4 รอบ

ภาคผนวก ง

เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติของดินทางกายภาพและเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การจัดระบบเนื้อดินตามตารางสามเหลี่ยมเนื้อดินสากลของการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ



ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐวิทยา, 2544

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

พื้นที่วางชุดทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ผ1 พื้นที่วางชุดทดลอง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกฤติกา ทองสมบัติ เกิดเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2522 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ สาขาวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2542 และเข้าศึกษาต่อที่ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย