ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

นางสาว วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLATFORM TECHNIQUE IN LANDFILL LEACHATE TREATMENT

Miss Wirawan Rittikarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
โดย	นางสาว วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. จงรัก ผลประเสริฐ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. พิทยากร ลิ่มทอง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์ : ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย. (EFFICIENCY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLATFORM TECHNIQUE IN LANDFILL LEACHATE TREATMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. กนกพร บุญส่ง, 149 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย รวมทั้งการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด) ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝก โดยทำการศึกษาหญ้าแฝก 2 พันธุ์ คือพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 น้ำชะมูลฝอย 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยซีโอดีเท่ากับ 940.67, 210.11 และ 60.44 mg/l ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นเท่ากับ 219.30, 183.80 และ 19.56 mg/l ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 12.75, 4.48 และ 2.53 mg/l ตามลำดับ โดยปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 55 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และมีชุดไม่ปลูกพืชเป็นชุดควบคุม นาน 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์สูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 84.77-86.36, 86.46-89.58 และ 18.70-21.58 % ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 97.04-98.19 % และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95.40-96.76 % แต่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก พบว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ สามารถเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารได้ในน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้น โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุดเมื่อได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ดังนั้นผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย สามารถใช้หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และธาตุอาหารสูง แต่หากน้ำชะมูลฝอยมีของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และมีธาตุอาหารไม่สูงมากนัก สามารถใช้หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ได้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5087197820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : LEACHATE / VETIVER GRASS

WIRAWAN RITTIKARN : EFFICIENCY OF VETIVER GRASS CULTIVATED WITH FLOATING PLATFORM TECHNIQUE IN LANDFILL LEACHATE TREATMENT. THESIS ADVISOR : ASST. PROF KANOKPORN BOONSONG, Ph.D, 149 pp.

The objectives of this research were to study the efficiency of vetiver grass in landfill leachate treatment; and growth and nutrient (nitrogen and phosphorus) in shoot and root of vetiver grass. Two vetiver grass ecotypes (Surat Thani and Songkhla3) and no plant as control; and 3 concentration levels of landfill leachate were used. The average COD of raw leachate (RL), treated leachate (TL) and canal water (CW) were 940.67, 210.67 and 60.44 mg/l, respectively. The average TKN were 219.30, 183.80 and 19.56 mg/l, respectively. The average TP were 12.75, 4.48 and 2.53 mg/l, respectively. Vetiver grasses were cultivated with floating platform technique in plastic containers with 55 centimeters in upper diameter and 30 centimeters in height for 12 weeks. The results showed that the efficiency of vetiver grass for treatment of different landfill leachate concentration were significantly different. The highest removal percentages of COD, TP and chloride were found in TL with average percentages of 84.77-86.36, 86.46-89.58 and 18.70-21.58 %, respectively. The highest removal percentage of suspended solid was found in RL with average percentage of 97.04-98.19 %. The highest removal percentage of TKN was found in CW with average percentage of 95.40-96.76 %. The removal percentages of different vetiver ecotypes were not significantly different. However, the study showed that the experimental sets with vetiver grass had significantly higher removal percentages than a control set (without plant). For growth and nutrient of vetiver grass, in RL, Surat Thani had highest growth and nutrient accumulation. In TL and CW, Songkhla3 had highest growth and nutrient accumulation. In conclusion, the overall results suggested that the optimal condition for vetiver grass cultivated with floating platform in landfill leachate treatment should be planted with Surat Thani if landfill leachate had high SS, COD and nutrients. However, if landfill leachate had low SS and COD and nutrients, Songkhla3 could be planted.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature : Wirawan Rittikarn

Academic Year : 2009 Advisor's Signature : Kanokporn Boonsong.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. จงรัก ผลประเสริฐ ดร. พิทยากร ลิ่มทอง และ อาจารย์ ดร. ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณหัวหน้าสถานีพัฒนาที่ดิน จังหวัดราชบุรี สมุทรสาคร นนทบุรี และหัวหน้าศูนย์ศึกษาวิธีการฟื้นฟูที่ดินเสื่อมโทรมเขาชะงุ้มอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดราชบุรี ที่อนุเคราะห์หญ้าแฝกสำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ และเจ้าหน้าที่โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุชทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บน้ำชะมูลฝอยเพื่อใช้ในงานวิจัย และข้อมูลที่จำเป็นสำหรับประกอบงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลอง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและพืช

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัว ที่กรุณาให้การอุปการะทางด้านการศึกษา พร้อมทั้งให้กำลังใจมาตลอด และขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการทดลอง และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 น้ำชะมูลฝอย..... 4

2.1.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย..... 4

2.1.2 สมบัติของน้ำชะมูลฝอย..... 6

2.1.3 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย..... 13

2.2 โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช..... 16

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช..... 16

2.2.2 สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช..... 19

2.3 การบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช..... 21

2.3.1 บทบาทของพืชในการการบำบัดน้ำเสีย..... 21

2.3.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช..... 23

2.4 หญ้าแฝก..... 26

2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝก..... 27

2.4.2 การขยายพันธุ์ของหญ้าแฝก..... 28

2.4.3 หญ้าแฝกกับการบำบัดน้ำเสีย..... 29

2.4.4 สมบัติบางประการของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย..... 29

หน้า

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา..... 35
3.1 ขั้นเตรียมการทดลอง..... 35
3.1.1 วางแผนการทดลอง..... 35
3.1.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... 35
3.1.3 สถานที่ทำการทดลอง..... 36
3.1.4 การเตรียมชุดทดลอง..... 36
3.2 ขั้นดำเนินการศึกษา..... 39
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 40
3.3.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัด..... 40
3.3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ..... 41
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล..... 42
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย..... 42
4.1.1 คุณภาพน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลอง..... 42
4.1.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด..... 44
4.1.3 สรุปผลการศึกษาคุณภาพน้ำ..... 79
4.2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การรอด การเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหาร ของหญ้าแฝก..... 80
4.2.1 เปอร์เซ็นต์การรอด และการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก..... 80
4.2.2 ปริมาณและการสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝก..... 97
4.2.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหาร ของหญ้าแฝก..... 107
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 108
5.1 สรุปผลการศึกษา..... 108
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 112
รายการอ้างอิง..... 114

หน้า

ภาคผนวก…….. 122
ภาคผนวก ก คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้……... 123
ภาคผนวก ข ภาพการทดลอง…… 125
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ……. 129
ภาคผนวก ง มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ
นิคมอุตสาหกรรม…….. 146
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…….. 149

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบใหม่และเก่าในยุโรป และสหรัฐอเมริกา.....	8
ตารางที่ 2.2	สมบัติของน้ำชะมูลฝอยบริเวณสถานกำจัดมูลฝอยลาดกระบัง.....	11
ตารางที่ 2.3	สมบัติของน้ำชะมูลฝอย.....	12
ตารางที่ 2.4	กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย	15
ตารางที่ 2.5	สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช.....	20
ตารางที่ 2.6	บทบาทของพืชโผล่พ้นน้ำในการบำบัดน้ำเสีย.....	22
ตารางที่ 2.7	หญ้าแฝก 28 พันธุ์ที่พบในประเทศไทย ตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน...	27
ตารางที่ 3.1	แสดงชุดทดลอง.....	35
ตารางที่ 3.2	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย.....	39
ตารางที่ 3.3	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช.....	40
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลอง.....	44
ตารางที่ 4.2	ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	57
ตารางที่ 4.3	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	62
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น...	67
ตารางที่ 4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	72
ตารางที่ 4.6	ประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	76
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	81
ตารางที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้นของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	83
ตารางที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	85

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	88
ตารางที่ 4.11	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	89
ตารางที่ 4.12	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	93
ตารางที่ 4.13	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	93
ตารางที่ 4.14	ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	94
ตารางที่ 4.15	ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	99
ตารางที่ 4.16	ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	99
ตารางที่ 4.17	ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	104
ตารางที่ 4.18	ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	104

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2.1	ลักษณะการเกิดน้ำชะมูลฝอย.....	5
ภาพที่ 2.2	ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช.....	16
ภาพที่ 3.1	ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช.....	36
ภาพที่ 3.2	สภาพเรือนต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
ภาพที่ 3.3	แบบแสดงชุดทดลอง.....	37
ภาพที่ 3.4	ลักษณะแพลอยน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	38
ภาพที่ 3.5	ลักษณะการปลูกหญ้าแฝกในชุดทดลองภายในเรือนต้นไม้.....	38
ภาพที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	48
ภาพที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	49
ภาพที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	50
ภาพที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	51
ภาพที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยสีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	53
ภาพที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	55
ภาพที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	58
ภาพที่ 4.8	ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	59
ภาพที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	63
ภาพที่ 4.10	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	64
ภาพที่ 4.11	ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	68
ภาพที่ 4.12	ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	69
ภาพที่ 4.13	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	73
ภาพที่ 4.14	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	74
ภาพที่ 4.15	ค่าเฉลี่ยคลอไรด์ของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	77

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.16	ประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	78
ภาพที่ 4.17	ความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	86
ภาพที่ 4.18	การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น.....	90
ภาพที่ 4.19	การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ.....	95
ภาพที่ 4.20	การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก.....	96
ภาพที่ 4.21	การสะสมไนโตรเจนของส่วนต้นและใบ.....	100
ภาพที่ 4.22	การสะสมไนโตรเจนของส่วนราก.....	101
ภาพที่ 4.23	การสะสมฟอสฟอรัสของส่วนต้นและใบ.....	105
ภาพที่ 4.24	การสะสมฟอสฟอรัสของส่วนราก.....	106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันทำให้ประชาชนในเขตเมืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการอุปโภคและบริโภคทรัพยากรอย่างมากเป็นผลให้มีปริมาณขยะที่ต้องกำจัดมากยิ่งขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา การจัดการขยะนิยมใช้วิธีการนำกลับมาใช้ การย่อยสลายให้เป็นปุ๋ย การเผา และการฝังกลบ (วรากร เกิดทรัพย์, 2543) ซึ่งวิธีการฝังกลบเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการฝังกลบอาจก่อให้เกิดมลพิษอันเนื่องมาจากน้ำฝน และน้ำจากมูลฝอยซึมผ่านชั้นมูลฝอยที่ฝังกลบ เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอย (leachate) ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าบีโอดี (BOD: biochemical oxygen demand) ซีโอดี (COD: chemical oxygen demand) สูง และอาจมีสารที่เป็นพิษปนเปื้อนอยู่ จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อทั้งดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน ที่น้ำชะมูลฝอยซึมผ่าน (ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล, 2543) ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ซึ่งการบำบัดอาจใช้กระบวนการทางชีวภาพ (biological process) กระบวนการทางกายภาพ (physical process) หรือกระบวนการทางเคมี (chemical process) ร่วมกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีสมบัติที่แตกต่างกันตามชนิดและปริมาณของมูลฝอย สภาพหลุมฝังกลบ สภาพภูมิอากาศ และอายุการฝังกลบ เป็นต้น (รัตนวลี เลิศธนกิจ, 2549) ในปัจจุบันวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือ การใช้พืชในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) ซึ่งกลไกการบำบัดอาศัยทั้งดินหรือตัวกลาง พืช และจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระบบบึงประดิษฐ์จะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ แต่ต้องมีการจัดหาที่ดินในการบำบัดน้ำเสีย และเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกพืช ดังนั้นการใช้ระบบการปลูกพืชที่ไม่ใช้ดินเช่น แพลอยน้ำ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากไม่ต้องจัดหาที่ดินในการปลูกพืช เป็นการประหยัดพื้นที่ รวมทั้งช่วยลดต้นทุนในการสร้างระบบ สำหรับพืชที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ คือ หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) เนื่องจากเจริญเติบโตเร็ว ทนทานต่อสภาพเน่าเสียของน้ำ และมีระบบรากที่มีประสิทธิภาพในการดูดดึงสารต่าง ๆ ได้ดี โดยทั่วไปพบขึ้นอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง แต่สามารถขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายโดยสามารถปรับตัวได้ดี

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกพันธุ์ลุ่มพันธุ์ (ecotype) สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 ที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยน้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุชซึ่งตั้งอยู่ในสถานกำจัดมูลฝอย 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยจากบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) (น้ำชะมูลฝอยดิบ) น้ำจากบ่อน้ำใส (clear well) ซึ่งเป็นน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว) และน้ำจากคลองธรรมชาติ บริเวณใกล้ปลายท่อที่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (น้ำคลอง) อย่างไรก็ตามน้ำดังกล่าวในบางครั้งยังมีคุณภาพไม่เหมาะสม ซึ่งควรนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีทางชีวภาพให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถพัฒนาและใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยรวมถึงน้ำเสียประเภทอื่น ๆ โดยใช้หญ้าแฝก เพื่อนำไปสู่การป้องกันและแก้ไขปัญหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 ที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ใช้การสร้างแพที่ทำจากท่อพีวีซีเพื่อเป็นตัวยึดให้หญ้าแฝกสามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้

1.3.2 พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash) พันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์สงขลา3 และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

1.3.3 น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช ซึ่งตั้งอยู่ในสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ซอยอ่อนนุช 86 แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร โดยใช้น้ำชะมูลฝอย 3 ระดับความเข้มข้น คือ

- น้ำชะมูลฝอยดิบ (RL: Raw Leachate) เป็นน้ำชะมูลฝอยจากบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) ซึ่งเป็นบ่อดินสำหรับเก็บกักน้ำเสียและดักขยะขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำเสีย

- น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (TL: Treated Leachate) เป็นน้ำชะมูลฝอยจากบ่อน้ำใส (clear well) ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
- น้ำคลอง (CW: Canal Water) เป็นน้ำจากคลองธรรมชาติที่อยู่ด้านข้างโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช บริเวณใกล้ท่อที่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

1.3.4 สถานที่ทำการทดลองคือ เรือนต้นไม้ขนาดกว้าง 3.3 เมตร ยาว 4.5 เมตร ที่มีผนังด้านข้างทำจากแผ่นอะคริลิกใสและมุ้งลวด และหลังคาทำด้วยแผ่นอะคริลิกใส บริเวณชั้น 4 อาคารวิทยาศาสตร์ทั่วไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่ม พันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 ที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกัน

1.4.2 ทราบถึงการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกัน

1.4.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย เพื่อควบคุมและจัดการก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำชะมูลฝอยในปัจจุบันได้กลายเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยอาจมีสารละลายหรือสารแขวนลอยที่เป็นอันตราย ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน ที่น้ำชะมูลฝอยซึมผ่าน ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จึงควรมีวิธีการบำบัดที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อน

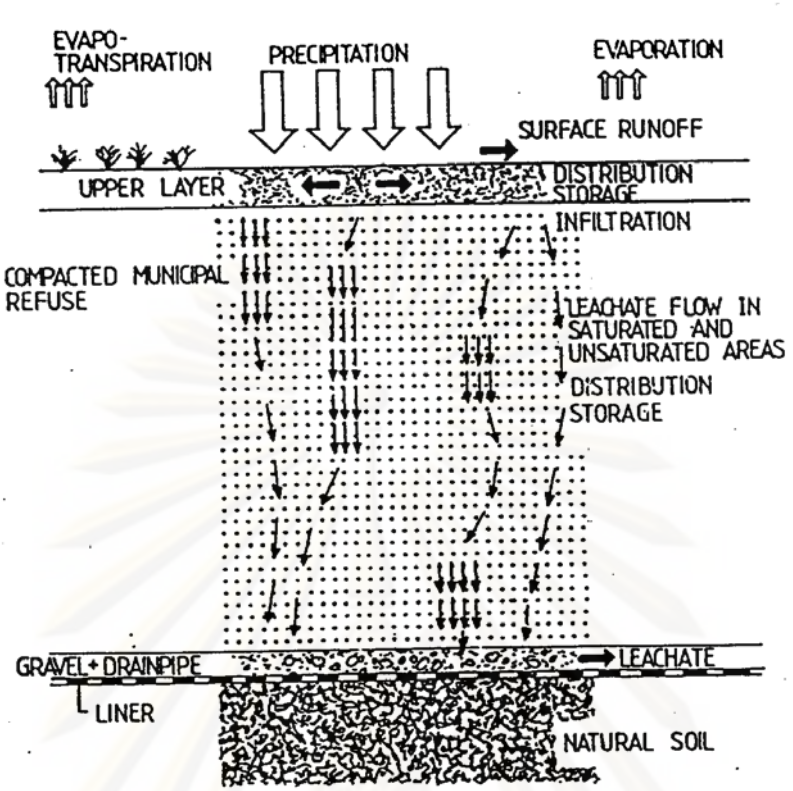
2.1 น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย (leachate) หมายถึง น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของมูลฝอยทางชีวภาพ รวมทั้งน้ำจากมูลฝอยที่ซึมผ่านชั้นมูลฝอยโดยละลายหรือชะเอาสารแขวนลอย สารละลาย และจุลินทรีย์ต่าง ๆ รวมมาด้วย นอกจากนี้น้ำจากภายนอกที่ซึมผ่านเข้ามาในชั้นของมูลฝอย เช่น น้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ก็รวมเป็นส่วนหนึ่งของน้ำชะมูลฝอยด้วยเช่นกัน (ไมตรี ศิริบรรจงศักดิ์, 2547; อุทัย สินเพ็ง, 2538; วรากร เกิดทรัพย์, 2543)

2.1.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย

สาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอย มีดังนี้

1) น้ำที่ซึมเข้ามาจากภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน โดยน้ำฝนที่ตกลงมาบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยส่วนหนึ่งจะกลายเป็นน้ำผิวดิน ภายหลังจากที่ผ่านการระเหยของดินและการคายน้ำพืช ส่วนที่เหลือจะถูกกักเก็บไว้ในชั้นดินจนกระทั่งความชื้นที่สะสมในชั้นดินเกินความจุภาคสนาม (field capacity) ของดิน น้ำจะซึมลงสู่ชั้นของมูลฝอย น้ำเหล่านี้จะชะละลายสารต่าง ๆ จากมูลฝอย และซึมลงไปสะสมที่พื้นข้างใต้หลุมฝังกลบเกิดเป็นน้ำชะมูลฝอย นอกจากนี้แหล่งที่มาของน้ำที่ทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอยยังอาจมาจากแหล่งอื่น ได้แก่ น้ำใต้ดิน และน้ำพุใต้ดิน เป็นต้น (Tchobanoglous, Theisen และ Vigil, 1993 อ้างถึงใน จักริน นักไร่, 2549) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการเกิดน้ำชะมูลฝอย

ที่มา: Stegmann (1983)

2) ปฏิกิริยาทางชีวภาพของมูลฝอยในหลุมฝังกลบทั้งแบบใช้ออกซิเจนในขณะที่มีออกซิเจนเพียงพอ และแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายหลังจากที่ออกซิเจนได้ถูกใช้ไปหมดแล้ว ทำให้เกิดน้ำขึ้น ซึ่งเมื่อผ่านชั้นมูลฝอยจะกลายเป็นน้ำชะมูลฝอย (ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล, 2543) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยลำดับมีดังนี้

ปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์ + ออกซิเจน + น้ำ + สารอาหาร ⟶ เซลล์ใหม่ + สารอินทรีย์ที่เหลือ + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + แอมโมเนีย + ซัลเฟต +….+ + ความร้อน

ปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์ + น้ำ + สารอาหาร ⟶ เซลล์ใหม่ + สารอินทรีย์ที่เหลือ + คาร์บอนไดออกไซด์ + มีเทน + น้ำ + แอมโมเนีย + ไฮโดรเจนซัลไฟด์ + ความร้อน

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในหลุมฝังกลบมูลฝอยมีผลโดยตรงกับสมบัติของน้ำชะมูลฝอย กล่าวคือในระยะแรกมูลฝอยที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ผลที่ได้คือความร้อนและความชื้นภายในชั้นมูลฝอยสูงขึ้น ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่าง ๆ ในการย่อยสลายมูลฝอยสูงขึ้นด้วย ดังนั้นออกซิเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนหมด เป็นเหตุให้มูลฝอยที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไปอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตในสภาวะไร้ออกซิเจนจะเจริญเติบโตมากขึ้น สารอินทรีย์ต่าง ๆ ก็จะถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการผลิตกรดอินทรีย์ออกมาซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะที่ปะปนอยู่ในมูลฝอยทำให้เกิดไอออนของโลหะละลายออกมา นอกจากนี้กรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำชะมูลฝอยมีความเป็นกรด-ด่างต่ำลงจนอาจยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ในระยะนี้น้ำชะมูลฝอยจะมีค่าซีโอดี (COD: chemical oxygen demand) สูงมาก (วรากร เกิดทรัพย์, 2543)

ในระยะต่อมาจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ซึ่งปริมาณที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแบคทีเรียสร้างมีเทนและองค์ประกอบของมูลฝอย ถ้ามูลฝอยมีเซลลูโลสมากจะเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่หากมีโปรตีนและไขมันมากจะเกิดก๊าซมีเทนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจะเกิดแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์และไทออล ทำให้มีกลิ่นเหม็น ในระยะนี้ความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจะสูงขึ้นจนเป็นกลาง และซีโอดีลดลงเนื่องจากกรดอินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, 2535)

2.1.2 **สมบัติของน้ำชะมูลฝอย**

สมบัติของน้ำชะมูลฝอยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ปัจจัยภายนอกหลุมฝังกลบมูลฝอย และปัจจัยภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำชะมูลฝอยได้แก่

1) ชนิดมูลฝอย มีผลต่อสมบัติของน้ำชะมูลฝอยกล่าวคือมูลฝอยที่มีสารอินทรีย์ เช่น ซากพืชและซากสัตว์ ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ นอกจากนี้ในน้ำชะมูลฝอยอาจมีสารพิษที่ปนเปื้อนมาจากสารเคมีได้แก่ ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช รวมทั้งเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น แบคทีเรียและไวรัส เป็นต้น

2) สภาพหลุมฝังกลบ มีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยโดยตรง ได้แก่ การบดอัดดิน การใช้วัสดุปูพื้น การระบายอากาศ ลักษณะการฝังกลบ การปกคลุมหลุมฝังกลบ การระบายน้ำจากภายนอกและการรวบรวมน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ เพราะหากรวบรวมได้ไม่ดีแล้วอาจมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ เช่น มีการรั่วของวัสดุปูพื้นทำให้น้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงเบื้องล่าง แล้วอาจไปปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดินได้ โดย Ehrig (1983) พบว่าในบริเวณที่ทิ้งมูลฝอยที่มีการบดอัดและใช้ดินกลบผิวหน้า (sanitary landfill) จะมีปริมาณน้ำซึมผ่านชั้นมูลฝอยเป็น 40 % ของปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปี (9 ลูกบาศก์เมตร/10,000 ตารางเมตร ที่ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี 750 มิลลิเมตร) ถ้ามีการบดอัดโดยวิธีพิเศษจะมีปริมาณน้ำซึมผ่านชั้นมูลฝอยเป็น 25 % ของปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปี (5 ลูกบาศก์เมตร/10,000 ตารางเมตร ที่ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี 750 มิลลิเมตร) ส่วนบริเวณที่ไม่มีการบดอัดและการใช้ดินกลบทับผิวหน้า ปริมาณน้ำซึมผ่านชั้นมูลฝอยมีปริมาณเกือบ 100 % ของปริมาณฝนตกที่ในบริเวณนั้น

3) สภาพภูมิอากาศที่บริเวณหลุมฝังกลบเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนตลอดปี ปริมาณน้ำผิวดินที่ซึมเข้าสู่ชั้นมูลฝอย อุณหภูมิ และความสามารถในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศของมูลฝอย โดยในบริเวณที่มีฝนตกมากทำให้มีปริมาณน้ำชะมูลฝอยมาก (Gustafson และ Holm, 1990)

4) ประเภทของเนื้อดินมีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย ซึ่งจะมีปริมาณมากในบริเวณที่ดินมีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของดิน (soil permeability) สูง โดยเนื้อดินที่มีค่าความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านเรียงลำดับจากสูงไปต่ำ คือ ดินทราย (sand) ดินร่วน (loam) และ ดินเหนียว (clay) (ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, 2535)

5) สภาพพื้นที่ รูปแบบการไหลของน้ำ และความลาดเอียงของพื้นที่ มีบทบาทต่อการเกิดน้ำชะมูลฝอย เช่นในกรณีที่เกิดน้ำท่วมจะทำให้มูลฝอยที่กำลังย่อยสลายอยู่ชั้นล่างชะละลายออกมากับน้ำที่ท่วมชั้นบน ทำให้สารต่าง ๆ ในชั้นมูลฝอยลอยขึ้นมาสู่ผิวดิน ดังนั้นการฝังกลบมูลฝอยจึงนิยมปรับพื้นที่ให้ลาดเอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่งเพื่อไม่ให้น้ำขังอยู่ชั้นบนของบริเวณที่ฝังกลบมูลฝอย (ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, 2535)

6) อายุการฝังกลบ หลุมฝังกลบที่มีอายุน้อยน้ำชะมูลฝอยจะมีความเข้มข้นสูง มีสีดำมากและมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากจุลินทรีย์ยังทำงานได้ไม่เต็มที่ และยังมีจำนวนน้อย ส่วนหลุมฝังกลบที่มี

อายุมากความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยจะลดลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ต่าง ๆ ถูกย่อยสลายไปมากแล้ว ซึ่งเป็นผลให้น้ำชะมูลฝอยมีความคงตัวสูง ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก (วรากร เกิดทรัพย์, 2543) โดย Tchobanoglous, Theisen และ Vigil (1993) ได้ศึกษาสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอย 70 แห่งในยุโรป และสหรัฐอเมริกา เปรียบเทียบระหว่างหลุมฝังกลบใหม่ และหลุมฝังกลบเก่า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบใหม่และเก่าในยุโรป และสหรัฐอเมริกา

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**หลุมฝังกลบใหม่ (ไม่เกิน 2 ปี)**		**หลุมฝังกลบเก่า (เกิน 10 ปี)**
		ช่วงที่พบ	**ค่าเฉลี่ย**	
pH	-	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Alkalinity	mg/l (as $CaCO_3$)	1,000-10,000	3,000	200-1,000
Hardness	mg/l (as $CaCO_3$)	300-10,000	3,500	200-500
TS	mg/l	200-2,000	500	100-400
BOD	mg/l	2,000-30,000	10,000	100-200
COD	mg/l	3,000-60,000	18,000	100-500
TOC	mg/l	1,500-20,000	6,000	80-160
Organic-N	mg/l	10-800	200	80-120
NH_3-N	mg/l	10-800	200	20-400
NO_3^--N	mg/l	5-40	25	5-10
Total-P	mg/l	5-100	30	5-10
Ortho-P	mg/l	4-80	20	4-8
Calcium (Ca)	mg/l	200-3,000	1,000	100-400
Chloride (Cl)	mg/l	200-3,000	250	100-1,000
Magnesium (Mg)	mg/l	50-1,500	250	50-200
Iron (Fe)	mg/l	50-1,200	60	20-200
Sodium (Na)	mg/l	200-2,500	250	100-200
Sulfate (SO_4)	mg/l	50-1,000	300	20-500

ที่มา: Tchobanoglous, Theisen และ Vigil (1993)

ในน้ำชะมูลฝอยมีส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คลอไรด์ และโลหะหนัก เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

ไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และเนื่องจากชั้นมูลฝอยมักอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ดังนั้นไนโตรเจนส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอยจึงอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และอาจพบในรูปไนเตรทปริมาณน้อย ซึ่งไนเตรทสามารถซึมผ่านชั้นดินได้อย่างรวดเร็ว

ฟอสฟอรัสจากมูลฝอยส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์พวกซากพืชและซากสัตว์ โดยทั่วไปอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate) ฟอสฟอรัสจะเคลื่อนที่ได้ต่ำในดิน เนื่องจากมีการดูดซับ (adsorption) กับธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในดิน เช่น เหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียม เป็นต้น จึงทำให้น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ นอกจากนี้ประเภทของเนื้อดินก็มีผลต่อการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน ถ้าดินเป็นดินเหนียวจะมีการการดูดซับฟอสฟอรัสสูง แต่ถ้าดินเป็นดินปนทรายจะมีการดูดซับฟอสฟอรัสต่ำทำให้มีการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้

คลอไรด์ที่พบในน้ำชะมูลฝอยส่วนใหญ่มีปริมาณสูง โดยทั่วไปจึงนิยมใช้คลอไรด์เป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนน้ำชะมูลฝอยในธรรมชาติ เช่นการใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยในแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน เนื่องจากเป็นอนุมูลที่ไม่เป็นพิษ ไม่ดูดซับกับดินและไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการทางชีวภาพ (ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, 2535)

โลหะหนักที่พบในมูลฝอยส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ ยกเว้นเกลือของโลหะหนักบางชนิดที่ละลายน้ำได้ซึ่งส่วนใหญ่จะดูดซับที่ผิวของอนุภาคดิน และบางส่วนที่ละลายน้ำได้ เช่น โบรอน สังกะสี ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และโมลิบดีนัม เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient elements) พืชสามารถดูดดึงเอาไปใช้ได้ สำหรับโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยที่เป็นอันตราย ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม เป็นต้น (Pinlac, 1992)

Chain และ DeWalle (1977) อ้างถึงใน วรากร เกิดทรัพย์ (2543) ได้ศึกษาสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยพบว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสีย ประกอบด้วยกรดไขมันระเหยง่ายอิสระ (free volatile fatty acid) ซึ่งมีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 500 ส่วนสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้แก่ ฮิวมิก (humic) และฟัลวิก (fulvic) นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่มีหมู่ของคาร์บอกซิล (carboxyl) และอะโรมาติกไฮดรอกซิล (aromatic hydroxyl) จำนวนมากอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล แต่ในน้ำชะมูลฝอยบางแห่งมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนซึ่งอาจเป็นสารที่ย่อยสลายยากหรือเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบ chlorinated organics, AOX (adsorbable organic halogen) และ PAH (polyaromatic hydrocabon)

Niramon Thanuddhanusilp (1995) ได้ศึกษาสมบัติของน้ำชะมูลฝอยบริเวณสถานกำจัดมูลฝอยลาดกระบัง ระหว่างเดือนธันวาคม 2537 ถึง เดือนกรกฎาคม 2538 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสีย น้ำเข้าและน้ำออกของระบบบำบัด ดังตารางที่ 2.2 สำหรับสถานกำจัดมูลฝอยแห่งนี้กรุงเทพมหานครได้ว่าจ้างบริษัทเอกชนให้ขนย้ายมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชเพื่อทำการกำจัดด้วยการฝังกลบที่ถูกวิธีและได้ทำการวางท่อรับน้ำชะมูลฝอยบริเวณหลุมฝังกลบเพื่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยมาไว้ที่บ่อพักน้ำเสีย ก่อนส่งไปที่บ่อบำบัด โดยบ่อที่ 1 เป็นบ่อเติมอากาศที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิผล (effective microorganism) บ่อที่ 2 เป็นบ่อเติมอากาศ ส่วนบ่อที่ 3 และ 4 ไม่มีการเติมอากาศหรือบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) (วรากร เกิดทรัพย์, 2543)

Keenan, Iza และ Switzenbaum (1993) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย พบว่ามีเหล็ก แมงกานีสและเซเลเนียมปริมาณมาก ส่วนโลหะหนักอื่น ๆ มีปริมาณรองลงไป (ตารางที่ 2.3)สำหรับเบกพล ก้านสังวร (2542) ได้ศึกษาสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากสถานกำจัดมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งใช้ฝังกลบมูลฝอยของชุมชนในจังหวัดนนทบุรีทั้งหมด ดำเนินการมาแล้วประมาณ 14 ปี และยังใช้งานอยู่ น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นวันละประมาณ 1-4 ลูกบาศก์เมตร จะถูกรวบรวมโดยท่อรับน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบบำบัดที่เป็นระบบบ่อปรับเสถียร 2 บ่อที่เรียงอนุกรมกัน (ตารางที่ 2.3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 สมบัติของน้ำชะมูลฝอยบริเวณสถานกำจัดมูลฝอยลาดกระบัง

พารามิเตอร์	หน่วย	บ่อพักน้ำเสีย	น้ำเข้าระบบบำบัด	น้ำออกจากระบบบำบัด
pH	-	7.7-8.5	7.4-8.7	7.9-8.8
Temp	^{o}C	29-36	29-36	29-36
DO	mg/l	0	0.3-1.0	7-11
SS	mg/l	352-1,502	178-511	40-410
BOD	mg/l	1,602-2,784	307-1,746	108-1,080
COD	mg/l	7,459-10,829	2,460-4,371	334-2,516
TKN	mg/l	2,416-3,961	200-700	46-196
Total-P	mg/l	2.6-5.04	0.9-3	0.3-0.61
Cadmium (Cd)	mg/l	0.002	0.002	0.002
Chromium (Cr)	mg/l	2.2-5.6	0.05-0.5	0.02-0.17
Copper (Cu)	mg/l	0.4-1.65	0.02-0.16	0.01-0.04
Manganese (Mn)	mg/l	0.22-0.61	0.1-0.49	0.08-1.86
Nickel (Ni)	mg/l	0.16-0.95	0.05-0.43	0.01-0.02
Lead (Pb)	mg/l	0.11-1.21	0.05-0.5	0.05
Zinc (Zn)	mg/l	0.8-1.23	0.18-0.88	0.05-0.76

ที่มา: Niramon Thanuddhanusilp (1995)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำชะมูลฝอย

พารามิเตอร์	หน่วย	[1]ช่วงที่พบ	[2]ช่วงที่พบ
pH	-	5.7-6.8	7.9-8.2
Alkalinity	mg/l (as $CaCO_3$)	280-2,600	7,500-8,000
Color	S.U	-	630-1,170
SS	mg/l	-	180-320
BOD	mg/l	30-4,650	420-650
COD	mg/l	800-10,000	4,500-6,530
BOD/COD ratio	-	0.1-0.9	-
VFA (volatile fatty acids)	mg/l (as CH_3COOH)	340-3,600	1,200
TKN	mg/l	-	1.980-2,870
NO_3^--N	mg/l	-	3.06-4.41
NO_2^--N	mg/l	-	0.76-1.43
Total-P	mg/l	-	4.7-6.5
Calcium (Ca)	mg/l	400-520	-
Cadmium (Cd)	mg/l	0.00-0.35	-
Chromium (Cr)	mg/l	0.01-0.1	-
Copper (Cu)	mg/l	0.00-0.30	-
Iron (Fe)	mg/l	250-550	0.95-1.03
Lead (Pb)	mg/l	0.10-0.08	-
Manganese (Mn)	mg/l	10-65	-
Nickel (Ni)	mg/l	0.05-1.20	0.28-0.42
Selenium (Se)	mg/l	0.0-11.5	-
Zinc (Zn)	mg/l	0.01-0.80	-

ที่มา: [1]Keenan, Iza และ Switzenbaum (1993)

[2]เบกพล ก้านสังวร (2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย

การจัดการน้ำชะมูลฝอยเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยลงสู่ดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน นิยมใช้ 4 วิธี (Tchobanoglous, Theisen และ Vigil, 1993; วรากร เกิดทรัพย์, 2543) ได้แก่

1) การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย (recycling) เป็นการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในหลุมฝังกลบ เนื่องจากในระยะแรกน้ำชะมูลฝอยจะมีความเข้มข้นของบีโอดี ซีโอดี ธาตุอาหาร และโลหะหนักสูง เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับไปสู่กองขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ สารต่าง ๆ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว เช่น กรดอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะมูลฝอยมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้โลหะหนักตกตะกอนอยู่ภายในหลุมฝังกลบ

2) การระเหย (evaporation) เป็นการเปลี่ยนสถานะน้ำชะมูลฝอยจากของเหลวไปเป็นก๊าซ และแพร่สู่บรรยากาศ โดยอาศัยพลังงานและความร้อนช่วยในการระเหย ซึ่งวิธีนี้อาจก่อให้เกิดก๊าซซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศได้

3) การนำน้ำชะมูลฝอยไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียรวม เช่น การนำน้ำชะมูลฝอยไปบำบัดรวมกับน้ำเสียชุมชนที่โรงบำบัด แต่วิธีนี้ไม่นิยมใช้เนื่องจาก (1) ความเป็นพิษของน้ำชะมูลฝอยอาจส่งผลให้การทำงานของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพล้มเหลวได้ และ (2) ค่าใช้จ่ายในการนำน้ำชะมูลฝอยไปยังโรงบำบัดสูง

4) การบำบัดน้ำชะมูลฝอย สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก หรือสารปนเปื้อนในน้ำชะมูลฝอยที่ต้องการกำจัดออกไป (ตารางที่ 2.4) โดยกระบวนการที่สำคัญในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยมี 3 กระบวนการ ดังนี้

- กระบวนการทางชีวภาพ (biological processes) เป็นการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยอาศัยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน มีหลายวิธีเช่น ระบบเอเอส (activated sludge) ระบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactors) และกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น (nitrification and denitrification) โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับผลิตพลังงานและการเจริญเติบโต โดยสารอินทรีย์ที่เหมาะสมจะต้องมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน มวลโมเลกุลต่ำเพื่อง่ายต่อการย่อยสลาย โดยกระบวนการทางชีวภาพจะทำให้บีโอดี ซีโอดีและไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยลดลง

- กระบวนการทางเคมี (chemical processes) มีหลายวิธีเช่น การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) และการออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation) เป็นต้น ส่วนใหญ่กระบวนการนี้จะใช้สารเคมีช่วยในการบำบัด ทำให้ความขุ่น สี และโลหะหนักลดลง

- กระบวนการทางกายภาพ (physical processes) มีหลายวิธีเช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) เป็นต้น ทำให้ปริมาณสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ลดลง

Keenan, Steiner และ Fungaroli (1984) กล่าวว่า น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่มีความคงตัวสูงและมีสมบัติแตกต่างกันในแต่ละแหล่ง ดังนั้นการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกระบวนการทางเคมีวิธีใดวิธีหนึ่งอาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ (1) กระบวนการทางชีวภาพไม่สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีสารอินทรีย์มวลโมเลกุลสูงอยู่ปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยยังยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ และ (2) กระบวนการทางเคมีซึ่งสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยได้ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์อื่นได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Doller และ Wilderer (1996) กล่าวว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการทางชีวภาพเพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เพียงพอเนื่องจากช่วยลดค่าซีโอดีได้เท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อด้วยวิธีอื่น เช่น การตกตะกอนทางเคมี การระเหย และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

Diamadopoulos (1994) กล่าวว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพคือการใช้กระบวนการทางชีวภาพร่วมกับทางเคมีกายภาพ โดยน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบที่มีอายุน้อย การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนสามารถบำบัดได้ดี เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายได้ ส่วนกระบวนการทางเคมีกายภาพ ซึ่งเกิดจากการใช้กระบวนการทางเคมีและกายภาพร่วมกัน นิยมใช้สำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบที่มีอายุมากหรือน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพแล้ว ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก รวมทั้งโลหะหนักสูง ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

วิธีการบำบัด	วัตถุประสงค์การใช้งาน	หมายเหตุ
กระบวนการทางชีวภาพ		
- ระบบเอเอส	กำจัดสารอินทรีย์	อาจเกิดปัญหาฟอง ต้องการถังตะกอน
- ระบบเอสบีอาร์	กำจัดสารอินทรีย์	เหมาะกับอัตราไหลต่ำ
- บ่อเติมอากาศ	กำจัดสารอินทรีย์	ต้องใช้พื้นที่มาก
- กระบวนการฟิล์มตรึง	กำจัดสารอินทรีย์	-
- บ่อไร้อากาศและถังไร้อากาศ	กำจัดสารอินทรีย์	ประหยัดพลังงาน
- ไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น	กำจัดไนโตรเจน	อาจใช้ร่วมกับการกำจัดสารอินทรีย์
กระบวนการทางเคมี		
- การสะเทิน	ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง	ใช้ได้กับน้ำเสียบางประเภท
- การตกตะกอน	กำจัดโลหะและไอออนลบ	เกิดปัญหาสลัดจ์
- ออกซิเดชัน	กำจัดสารอินทรีย์และลดความเป็นพิษจากสารอนินทรีย์	เหมาะกับน้ำเสียที่เจือจางมาแล้ว
- ออกซิเดชันด้วยอากาศเปียก	กำจัดสารอินทรีย์	ค่าใช้จ่ายสูง เหมาะกับสารอินทรีย์ย่อยยาก
กระบวนการทางกายภาพ		
- การตกตะกอน	กำจัดสารแขวนลอย	ต้องใช้วิธีอื่นร่วมด้วย
- การกรอง	กำจัดสารแขวนลอย	ต้องการการบำบัดขั้นถัดไป
- การดักจับด้วยอากาศ	กำจัดแอมโมเนียหรือสารอินทรีย์ระเหย	ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ
- การดูดซับ	กำจัดสารอินทรีย์	-
- การแลกเปลี่ยนไอออน	กำจัดสารอนินทรีย์ละลาย	ต้องการการบำบัดขั้นถัดไป
- การใช้อุลตร้าฟิลเตรชัน	กำจัดแบคทีเรียและสารอินทรีย์มวลโมเลกุลสูง	เกิดปัญหา fouling
- รีเวอร์สออสโมซิส	กำจัดสารอนินทรีย์ละลาย	ค่าใช้จ่ายสูง
- การระเหย	กำจัดน้ำชะมูลฝอยในพื้นที่ห้ามทิ้งน้ำเสีย	อาจเกิดปัญหาสลัดจ์เป็นอันตราย

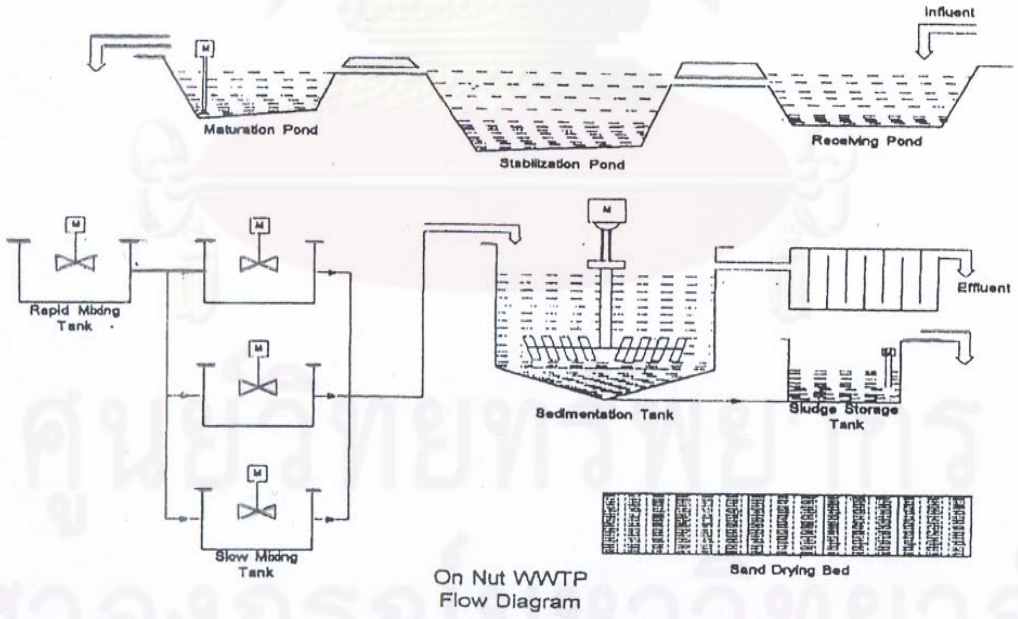
ที่มา: Tchobanoglous, Theisen และ Vigil (1993)

2.2 โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช

โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุชเป็นโรงงานสำหรับบำบัดน้ำเสียแห่งเดียวของกรุงเทพมหานคร ที่บำบัดน้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยหรือน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ในระยะแรกโรงงานแห่งนี้ใช้กระบวนการทางชีวภาพ แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีสมบัติไม่เหมาะสมกับการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพเพราะมีค่าความสกปรกในรูปซีโอดีสูง มีสีดำเป็นที่น่ารังเกียจ และมีค่าความเป็นด่างสูง ทางโรงงานจึงเปลี่ยนไปใช้การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับกระบวนการทางเคมี โดยใช้การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation)

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช

ในขั้นแรกน้ำชะมูลฝอยจากกองขยะมูลฝอยจะไหลตามรางรับน้ำมายังบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) จากนั้นจะใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพด้วยบ่อผึ่ง และกระบวนการบำบัดทางเคมี โดยใช้การตกตะกอนด้วยเฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ในถังกวนเร็วและถังกวนช้า ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช
ที่มา: Vichean Sivapornpun (2000)

1) บ่อรับน้ำเสีย (receiving pond)

บ่อรับน้ำเสียเป็นบ่อดินสามารถรับน้ำเสียได้ 6,090 ลูกบาศก์เมตร บ่อรับน้ำเสียทำหน้าที่กักเก็บน้ำเสียที่ไหลมาจากกองขยะมูลฝอย จึงมีขยะขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้ และถุงพลาสติกปะปนอยู่

2) บ่อปรับเสถียร (stabilization pond)

บ่อปรับเสถียรเป็นบ่อดินสามารถรับน้ำเสียได้ประมาณ 8,137 ลูกบาศก์เมตร โดยบ่อปรับเสถียรจะรับน้ำเสียจากบ่อรับน้ำเสีย และทำหน้าที่เป็นบ่อหมัก (anaerobic pond) ภายในบ่อจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้ค่าซีโอดีในน้ำลดลง อย่างไรก็ตามการย่อยสลายดังกล่าวไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก นอกจากนี้ยังไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียได้ ดังนั้นบ่อปรับเสถียรจึงทำหน้าที่เสมือนบ่อสำหรับให้น้ำเสียไหลแบบ gravity ไปยังบ่อผึ่ง

3) บ่อผึ่ง (maturation pond)

บ่อผึ่งเป็นบ่อดินสามารถรับน้ำเสียได้ประมาณ 2,720 ลูกบาศก์เมตร โดยบ่อผึ่งจะรับน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียร และทำหน้าที่เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (aerobic pond) ภายในบ่อจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามน้ำเสียในบ่อผึ่งมีค่าซีโอดีและปริมาณสารแขวนลอยสูงมาก รวมทั้งมีสีดำจึงบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงไปในน้ำทำให้สาหร่ายและจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นบ่อผึ่งจึงอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนกลายเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือบ่อหมักเช่นเดียวกับบ่อปรับเสถียร จากนั้นน้ำเสียในบ่อผึ่งจึงไหลแบบ gravity ไปยังบ่อสูบน้ำเสียเพื่อสูบน้ำเสียไปบำบัดต่อไป

4) บ่อสูบน้ำเสีย (wet well)

บ่อสูบน้ำเสียเป็นบ่อที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มแช่ (submersible pump) จำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องสูบน้ำจะทำงานเพียงหนึ่งเครื่องและสำรองหนึ่งเครื่อง เพื่อสูบน้ำไปยังถังกวนเร็ว ผ่านท่อน้ำที่มีวาล์วเปิด-ปิด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับเข้าบ่อสูบน้ำเสีย โดยก่อนที่น้ำเสียจะไหลสู่ถังกวนเร็วจะมีท่อจ่ายสารเคมีซึ่งสูบมาจากถังเก็บสารเคมี เชื่อมต่อเข้ากับท่อส่งน้ำเสียไปยังถังกวนเร็ว

5) ถังกวนเร็ว (rapid mixing tank)

ถังกวนเร็วเป็นถังสแตนเลสที่ติดใบพัดกวนหมุนด้วยความเร็ว 280 รอบต่อนาที เพื่อให้น้ำเสียและสารเคมีได้สัมผัสกันอย่างรวดเร็วและถั่วถึง โดยใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที จากนั้นน้ำเสียที่ผสมสารเคมีแล้วจะไหลผ่านท่อไปยังถังกวนช้า สำหรับโรงงานแห่งนี้ใช้สารเฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) เป็นสารตกตะกอน เนื่องจากเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างกว้าง ประมาณ 3.8-11

6) ถังกวนช้า (slow mixing tank)

ถังกวนช้าเป็นถังสแตนเลสที่ติดใบพัดกวนหมุนด้วยความเร็ว 11 รอบต่อนาที ทำหน้าที่รับน้ำเสียที่ผสมสารเฟอริคคลอไรด์จากถังกวนเร็ว โดยหลังจากที่น้ำเสียผสมสารดังกล่าวแล้วจะเกิดเป็นปุย (floc) ขึ้น ดังนั้นจึงต้องลดอัตราเร็วของการกวนเพื่อไม่ให้ปุยเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นเกิดการแตกตัวและมีโอกาสจับกันเป็นตะกอนใหญ่ กระบวนการที่เกิดขึ้นในถังกวนช้าเรียกว่า flocculation ภายในถังกวนช้าจะมีการกวนเบา ๆ และใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที หลังจากนั้นน้ำจากถังนี้จะไหลลงถังตกตะกอนเพื่อตกตะกอนแยกของแข็งออกจากน้ำต่อไป

7) ถังตกตะกอน (sedimentation tank)

ถังตกตะกอนเป็นถังสำหรับรับน้ำจากถังกวนช้าเพื่อให้ตะกอนในน้ำจับตัวกันเป็นก้อนและมีขนาดใหญ่ จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนนี้จะส่งไปยังบ่อที่รวบรวมน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งในบ่อนี้มีท่อสำหรับส่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปยังแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับตะกอนที่ได้จะนำไปเก็บไว้ในบ่อเก็บตะกอน

8) บ่อเก็บตะกอน (sludge storage tank)

บ่อเก็บตะกอนจะติดตั้งเครื่องสูบเพื่อสูบตะกอนที่เก็บไว้ในบ่อไปยังลานตากตะกอน

9) ลานตากตะกอน (sand drying bed)

ลานตากตะกอนมีทั้งสิ้น 5 ลาน ภายในลานตากตะกอนนี้จะมีชั้นกรองทรายที่ทำหน้าที่กรองและแยกน้ำออกจากตะกอน น้ำที่ไหลผ่านชั้นกรองทรายสู่ด้านล่างจะมีรางน้ำเพื่อรองรับและนำกลับไปบำบัดใหม่ในบ่อปรับเสถียร ส่วนตะกอนที่ค้างอยู่ด้านบนของชั้นกรองทรายจะนำไปผ่านการตากให้แห้งด้วยแสงแดดจากนั้นจึงนำไปกำจัดต่อไป

2.2.2 สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช จากการศึกษาของ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต (2530) ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2529 ถึงเดือนมกราคม 2530 พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (7.0-8.6) และมีค่าของแข็งทั้งหมด ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์สูง (3,275-21,542, 986.7-9,214.6, 298.7-2,198.6, 18.4-69.5 และ 97.6-2,355.4 mg/l ตามลำดับ) (ตารางที่ 2.5) ในส่วนของ Chang (1988) ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนตุลาคม 2530 ถึงเดือนมกราคม 2531 พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นด่างเล็กน้อย (7.6-8.3) มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ (0.3-0.8 mg/l) แต่มีค่าของแข็งทั้งหมด ซีโอดี และทีเคเอ็นสูง (5,156-6,600, 1,560-2,075 และ 296-627 mg/l ตามลำดับ) (ตารางที่ 2.5) ธรณิศวร์ ทรรพนันทน์ (2535) ซึ่งเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2534 พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นด่างเล็กน้อย (8.02) มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ (0.27 mg/l) แต่มีค่าความเค็มของแข็งทั้งหมด และซีโอดีสูง (13.69, 12,582.6 และ 6,380 mg/l ตามลำดับ) (ตารางที่ 2.5) และ Vichean Sivapornpun (2000) ซึ่งเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2542 พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นด่างเล็กน้อย (7.5) และมีค่าของแข็งทั้งหมด ซีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจนสูง (11,324, 1,200 และ 700 mg/l ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณโลหะหนัก คือปรอทและตะกั่วสูงด้วย (0.684 และ 0.519 mg/l ตามลำดับ) (ตารางที่ 2.5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

พารามิเตอร์	[1]ช่วงที่พบ พ.ย. 29-ม.ค. 30	[2]ช่วงที่พบ ต.ค. 30-ม.ค. 31	[3]ค่าเฉลี่ย พ.ค. 34	[4]ค่าเฉลี่ย มี.ค. 42
pH	7.0-8.6	7.6-8.3	8.02	7.5
Temp (^{o}C)	-	27-30	29.7	-
DO (mg/l)	-	0.3-0.8	0.27	-
Alkalinity (mg/l as $CaCO_3$)	850-9,150	2,100-3,250	587	-
Conductivity (μmhos/cm)	5,750-42,000	-	25,509	-
Salinity (ppt)	-	-	13.69	-
Color (Pt-Co Scale)	2,550-45,450	4,500-6,000	-	-
SS (mg/l)	-	79-250	173.88	-
TS (mg/l)	3,275-21,542	5,156-6,600	12,582.6	11,324
DS (mg/l)	-	-	12,425	-
TSS (mg/l)	81.9-2,732	-	-	488
TDS (mg/l)	-	-	-	10,836
BOD (mg/l)	178.2-1,881.1	150-210	267.5	130
COD (mg/l)	986.7-9,214.6	1,560-2,075	6,380	1,200
TKN (mg/l)	298.7-2,198.6	296-627	-	-
Organic-N (mg/l)	101.2-440.3	44-81	-	-
NH_3-N (mg/l)	197.5-1,758.3	252-546	-	700
Total-P (mg/l)	18.4-69.5	7.1-16.9	-	-
Fat Oil and Grease (mg/l)	575-2,176.4	-	-	-
Chloride (Cl) (mg/l)	97.6-2,355.4	-	-	-
Sulfate (mg/l)	42.7-340.2	-	-	-
Cadmium (Cd) (mg/l)	-	0.009-0.07	-	-
Chromium (Cr) (mg/l)	<0.1	0.66-1.32	-	-
Manganese (Mn) (mg/l)	-	-	0.68	-
Mercury (Hg) (mg/l)	3.8-4.7	0.006-0.025	0.021	0.684
Nickel (Ni) (mg/l)	-	-	-	0.035
Lead (Pb) (mg/l)	-	0.03-0.1	-	0.519

ที่มา: [1]วีรวรรณ ปัทมาภิรัต (2530)

[2]Chang (1988)

[3]ธรณิศวร์ ทรรพนันท์ (2535)

[4] Vichean Sivapornpun (2000)

2.3 การบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช

การบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืชอาศัยหลักการของพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland) ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural wetland) และที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำจะอาศัยดินหรือตัวกลาง พืช และจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ดังนั้นพืชจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญสำหรับบำบัดสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสียได้

2.3.1 บทบาทของพืชในการการบำบัดน้ำเสีย

พืชที่มีบทบาทสำคัญในการการบำบัดน้ำเสีย จะแบ่งตามลักษณะของแหล่งที่อยู่ที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต สร้างผลผลิต และปรับตัวเพื่ออยู่รอด คือ (1) พืชใต้น้ำ (submerged plants) (2) พืชโผล่พ้นน้ำ (emerged plants) (3) พืชลอยน้ำ (floating plants) และ (4) พืชชายน้ำ (marginal plants) ซึ่งในปัจจุบันพืชที่ใช้ในการการบำบัดน้ำเสียนิยมใช้พืชโผล่พ้นน้ำมากกว่าพืชลอยน้ำ เช่น ธูปฤาษี (*Typha* spp.) กก (*Scirpus* spp.) อ้อ (*Phragmites* spp.) และพืชที่อยู่ในวงศ์หญ้า (Gramineae) เช่น หญ้าแฝก เป็นต้น เนื่องจากพืชโผล่พ้นน้ำมีบทบาทที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.6

บทบาทของพืชในการบำบัดน้ำเสียอาศัยปัจจัยหลัก คือ การเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช โดยพืชจะทำหน้าที่ส่งผ่านออกซิเจนจากใบสู่รากทำให้บริเวณรอบรากเกิดฟิล์มบาง ๆ ที่มีอากาศ ซึ่งช่วยสนับสนุนการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) สารอินทรีย์และลดความเป็นพิษของสารต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้พืชยังช่วยชะลอการไหลและลดความเร็วของน้ำ จึงเพิ่มการตกตะกอนของสารแขวนลอย (จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548; Allen และคณะ 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 บทบาทของพืชโผล่พ้นน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนของพืช	บทบาทในการบำบัด
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	1. ลดความเข้มของแสงที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำ ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำได้ดี 2. ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว 3. ลดผลกระทบจากลมที่มีต่อน้ำ เช่นการทำให้ตะกอนที่จมอยู่ฟุ้งกระจายกลับขึ้นมาได้ 4. ลดการส่งผ่านความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำ 5. สะสมธาตุอาหาร 6. ทำให้ระบบสวยงาม
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	1. ลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้เพิ่มอัตราการตกตะกอน (sedimentation) และลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำได้ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำและผิวของพืช 2. ดูดดึงธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrient) ที่พืชต้องการในปริมาณสูง 3. เป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (absorption) ตะกอนและของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ 4. เป็นพื้นที่สำหรับให้จุลินทรีย์อาศัยในการเจริญเติบโต ซึ่งจุลินทรีย์ต้องการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อใช้สร้างเซลล์ และช่วยย่อยสลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
รากและระบบรากที่อยู่ในชั้นตะกอนใต้น้ำ	1. ลดการกัดเซาะตัวกลางและการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ 2. ป้องกันการอุดตันของตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ 3. ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 4. ดูดดึงธาตุอาหาร 5. ปล่อยสารปฏิชีวนะแอนติไบโอติก (antibiotic)

ที่มา: Brix (1997)

2.3.2 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช

2.3.2.1 การบำบัดสารอินทรีย์

การบำบัดสารอินทรีย์ในระบบจะเห็นได้จากการลดลงของค่าบีโอดีและซีโอดี โดยความยาวของรากพืชมีส่วนกำหนดลักษณะการย่อยสลายสารอินทรีย์ เนื่องจากกลไกหลักของการบำบัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนจะแพร่ผ่านรากพืช (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548) โดยกลไกการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

1) การตกตะกอน (sedimentation) และการกรอง (filtration) ของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง

2) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน (heterotroph) จะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้ถ้าสารอินทรีย์มีส่วนประกอบของโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายได้แอมโมเนียไนโตรเจนด้วย (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2544)

3) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 กระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ กรดแลกติก (lactic acid) แอลกฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ เช่น *Clostridium* เป็นต้น และระยะที่ 2 กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis) ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ ก๊าซมีเทน (NH_4) โดยจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (methanogen) (Mitsch and Gosselink, 2000)

2.3.2.2 การบำบัดของแข็งแขวนลอย

การบำบัดของแข็งแขวนลอยเกิดจากการตกตะกอนและการกรอง โดยประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำ ชนิดของตัวกลางและพืชที่ขึ้นอยู่ในระบบ โดยพืชทำหน้าที่ลดความเร็วของกระแสน้ำที่เข้ามาในระบบจึงเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนทางกายภาพ (physical setting) ของสารแขวนลอย รวมทั้งระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมก็จะทำให้ตกตะกอนได้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้ความหนาแน่นของพืชที่ทำให้เกิดการจมตัวของสารแขวนลอย จะช่วยเพิ่มการกรองเนื่องจากพืชจะจับสารแขวนลอยไว้ในชั้นที่มีการสะสมของซากพืชและสัตว์ (litter layer) ช่วยป้องกันการกลับคืนสู่สภาพสารแขวนลอย (resuspension) จึงเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารแขวนลอย ส่วนของแข็งคอลลอยด์และของแข็งที่ไม่ตกตะกออนบางส่วนจะกำจัดโดยการเกาะติดกับแบคทีเรีย การชนกัน (collision) และการดูดซับกับสารอื่น ๆ เป็นต้น (ลักษณี

คณานิธินันท์, 2539; จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546; สุธาสินี ภู่มุสิก, 2546; ศักดิ์ชัย อังคสิงห์, 2547; Gray, 1989)

2.3.2.3 การบำบัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน โดยการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในระบบเกิดขึ้นได้ในน้ำทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยกลไกการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียในระบบประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

1) การดูดดึงโดยพืช (plant uptake) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อนและใบพืช ไนโตรเจนที่พืชดูดดึงไปใช้ได้มี 3 ประเภท คือ ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) โดยเมื่อพืชดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนและยูเรียเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนแล้วจึงเข้ารวมกับอินทรีย์สารสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน (amino acid) และอะไมด์ (amide) นำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของพืช แต่หากดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนเข้าไปในเซลล์ก็จะนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์ได้ทันที (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

2) การนำไปใช้ (assimilation) โดยจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนสำหรับสังเคราะห์โปรตีน โดยไนโตรเจนรูป (form) ที่เหมาะสม คือ แอมโมเนียมไนโตรเจน แต่หากมีปริมาณไม่เพียงพอ จุลินทรีย์บางชนิด เช่น ดีไนตริไฟเออร์ (denitrifiers) จะรีดิวซ์ไนเตรทไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนโดนเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส (nitrate reductase) เพื่อนำไปสร้างเซลล์ใหม่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

3) กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน (nitrification and denitrification) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนบริเวณรอบราก และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนไนเตรทไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน โดยอาศัยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ดีไนตริไฟเออร์ เช่น *Pseudomonas, Bacillus* และ *Spirillum* โดยอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ไนเตรทไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดก๊าซไนโตรเจน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548; Mitsch and Gosselink, 2000)

4) การระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) โดยแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) สามารถระเหยผ่านชั้นน้ำและบรรยากาศได้ โดยการระเหยได้ดีเมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 9.4 อย่างไรก็ตามการระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ในในสภาวะความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 แต่มีระยะเวลากักเก็บที่นานเพียงพอ (Mayo และ Mutamba, 2004 อ้างถึงใน มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

2.3.2.4 การบำบัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน ทั้งที่ละลายน้ำ (soluble) และไม่ละลายน้ำ (insoluble) โดยกลไกการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียในระบบประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

1) การดูดดึงโดยพืช ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของสารถ่ายทอดพลังงานในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ รวมทั้งช่วยส่งเสริมการเจรญเติบโตของรากและการออกดอกของพืช โดยพืชสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตที่มี 3 แบบ คือ H_2PO^{4-}, HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

2) การนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบสำคัญภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น *Pseudomonas, Aerobacte* และ *Mycrobacterium* ซึ่งสามารถสะสมฟอสฟอรัสภายในเซลล์ได้ประมาณ 1-3 % ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่การสะสมฟอสฟอรัสอยู่ในรูปโพลีฟอสเฟต (Bitton, 1994 อ้างถึงใน มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

3) การดูดซับ (adsorption) และการตกตะกอนทางเคมี (precipitation) โดยการดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพ โดยอนุภาคมวลสารจะเกาะยึดกันด้วยแรงวันเดอร์วาลล์ (van der waals force) ส่วนการตกตะกอนทางเคมีเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและประจุลบรวมกันเป็นตะกอนของแข็งซึ่งไม่ละลายน้ำ ซึ่งการบำบัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดระหว่างสารอนินทรีย์ฟอสเฟตกับอลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม โดยฟอสฟอรัสถูกดูดซับและเกิดตะกอนผลึกขึ้น ซึ่งจะเกิดได้ดีเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2544; ปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์, 2547; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548; Kadlec, 1987)

4) การตกตะกอน (sedimentation) เป็นการจมตัวของของแข็งแขวนลอยในน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยเฉพาะการบำบัดอินทรียฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปของเศษอาหารและกากของเสีย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548; Mitsch and Gosselink, 2000)

2.3.2.5 การบำบัดโลหะหนัก

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดที่มีการปลูกพืช ควรมีความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตในระบบ ซึ่งโลหะหนักในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โลหะหนักบางชนิดพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต เช่น โบรอน สังกะสี ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และโมลิบดีนัม เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ ส่วนโลหะหนักบางชนิดแม้จะมีความเข้มข้นต่ำแต่มีความเป็นพิษต่อพืช เช่น อาร์เซนิก แคดเมียม ตะกั่ว เป็นต้น (วงศ์พงา เส็งสาย, 2544) โดยกระบวนการในการบำบัดโลหะหนัก ประกอบด้วย การดูดดึงโดยพืช การนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การดูดซับ และการตกตะกอนทางเคมี เป็นต้น

2.4 หญ้าแฝก

หญ้าแฝกมีชื่อสามัญว่า Vetiver grass เป็นพืชในวงศ์หญ้า (Gramineae) อยู่ในสกุล (genus) *Vetiveria* โดยเป็นพืชวงศ์เดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฝ่าง อ้อย และตะไคร้ เป็นต้น

หญ้าแฝก มีอยู่ในโลกประมาณ 12 ชนิด ในประเทศไทยมีอยู่เพียง 2 ชนิด คือ

1) หญ้าแฝกลุ่มหรือหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) พบขึ้นอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อม ต่าง ๆ สามารถปรับตัวเข้ากับพื้นที่นั้น ๆ ได้ดี ในธรรมชาติพบขึ้นอยู่บริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง โดยสามารถจำแนกหญ้าแฝกลุ่มได้ 11 พันธุ์ ดังตารางที่ 2.7

2) หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) พบทั่วไปในที่ค่อนข้างแล้ง หรือดินที่มีการระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในป่าเต็งรัง สามารถขึ้นได้ดีทั้งในที่แดดจัดและแดดปานกลาง โดยสามารถจำแนกหญ้าแฝกดอนได้ 17 พันธุ์ ดังตารางที่ 2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 หญ้าแฝก 28 พันธุ์ที่พบในประเทศไทย ตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน

หญ้าแฝกลุ่ม		**หญ้าแฝกดอน**	
1) กำแพงเพชร 2	10) เชียงใหม่	1) อุดรธานี 1	10) ห้วยขาแข้ง
2) เชียงราย	11) แม่ฮ่องสอน	2) อุดรธานี 2	11) กาญจนบุรี
3) สงขลา 1		3) นครพนม 1	12) นครสวรรค์
4) สงขลา 2		4) นครพนม 2	13) ราชบุรี
5) สงขลา 3		5) ร้อยเอ็ด	14) ประจวบคีรีขันธ์
6) สุราษฎร์ธานี		6) ชัยภูมิ	15) จันทบุรี
7) ตรัง 1		7) เลย	16) พิษณุโลก
8) ตรัง 2		8) สระบุรี 1	17) กำแพงเพชร
9) ศรีลังกา		9) สระบุรี 2	

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2541)

2.4.1 **ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝก**

ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝกสามารถจำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

1) ลำต้น (culm)

หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่ขึ้นเป็นกอ มีลักษณะเป็นพุ่มใบบางตั้งตรงขึ้นสูง มีการขึ้นอยู่เป็นกลุ่มใหญ่หรือกระจายกันไม่ไกลมากนัก กอแฝกมีขนาดค่อนข้างใหญ่โคนกอเบียดกันแน่น เป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่น ๆ ค่อนข้างชัดเจน ส่วนโคนของลำต้นจะแบน เกิดจากส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบบริเวณคอดิน

การเจริญเติบโตและการแตกกอของหญ้าแฝกจะมีการแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยจะแตกหน่อออกทางด้านข้างรอบกอเดิม ทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติแล้วหญ้าแฝกมีลำต้นสั้น ข้อและปล้องไม่ชัดเจน การแตกตะเกียงและการยกลำต้นขึ้นเตี้ย ๆ เหนือพื้นดินพบไม่มากในสภาพธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ แต่เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในหญ้าแฝกที่ได้จัดปลูกในถุง ในแปลงที่ต้นแก่มากหรือปลูกในพื้นที่วิกฤติ

2) ใบ (leaf)

ใบของหญ้าแฝกมีรูปร่างแบบรูปแถบ (linear) แผ่นใบมีลักษณะแคบยาว ขอบใบขนาน ปลายใบสอบแหลม บริเวณขอบใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียด (spinulose) ขึ้นอยู่ โดยส่วนโคนและกลางแผ่นใบจะมีน้อยแต่จะมีมากบริเวณปลายใบ หนามมีลักษณะทแยงปลายหนามชี้ขึ้นไปทางปลายใบ กระจังหรือเยื่อกันน้ำฝนที่โคนใบ (ligule) จะลดรูปมีลักษณะเป็นเพียงส่วนของขนสั้นละเอียด บางครั้งสังเกตได้ไม่ชัดเจน โดยหญ้าแฝกลุ่มมีความกว้างและความยาวของใบประมาณ 0.6-1.2 และ 45-100 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใบยาวตั้งตรงขึ้นสูง มีสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบมีสีขาว มีรอยกั้นขวางในเนื้อใบส่องกับแดดเห็นชัดเจน มีไขเคลือบมาก ดูนุ่มมัน ส่วนหญ้าแฝกดอน มีความกว้างและความยาวของใบประมาณ 0.4-0.8 และ 35-80 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใบยาวแผ่โค้งลงล่าง มีสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบ เมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อย ไม่เหลือบมัน

3) ราก (roots)

รากเป็นส่วนสำคัญและเป็นลักษณะพิเศษของหญ้าแฝกที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นหลัก หญ้าส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะมีรากที่เป็นลักษณะระบบรากฝอย (fibrous roots) แตกจากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออกแผ่กว้างเพื่อยึดพื้นดินตามแนวนอน (horizontal) มีระบบรากในแนวดิ่ง (vertical) ไม่ลึกมาก แต่ระบบรากของหญ้าแฝกจะแตกต่างจากรากหญ้าส่วนใหญ่ทั่วไป คือมีรากที่สานกันแน่นหยั่งลึกแนวดิ่งลงในดิน ไม่แผ่ขนาน มีรากแกน รากแขนง โดยเฉพาะมีรากฝอยแนวดิ่งจำนวนมาก โดยรากของหญ้าแฝกลุ่มสามารถหยั่งลึกได้ประมาณ 100-300 เซนติเมตร ส่วนหญ้าแฝกดอนจะมีรากสั้นกว่าหญ้าแฝกลุ่มและสามารถหยั่งลึกประมาณ 80-100 เซนติเมตร (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ [กปร.], 2547)

2.4.2 การขยายพันธุ์ของหญ้าแฝก

หญ้าแฝกมีการขยายพันธุ์โดยการแตกกอใหม่จากข้อของลำต้น และสามารถขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการติดเมล็ดในดอกสมบูรณ์เพศ แต่เมล็ดมีความสารถในการงอก (vitality) จำกัดเพียงระยะสั้น หากพบกับสภาพแห้งแล้ง แดดจัด และลมแรงจะทำให้ความสามารถในการงอกสูญเสียไป ดังนั้นโอกาสของการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดจึงมีน้อย ทำให้หญ้าแฝกไม่มีลักษณะเป็นวัชพืช และไม่มีปัญหาในการแพร่กระจาย (มนพ รุ่งสุข, 2538; กปร., 2547; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

2.4.3 หญ้าแฝกกับการบำบัดน้ำเสีย

หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน โดยการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียเริ่มมีงานวิจัยต่าง ๆ ในช่วงเวลาดังต่อไปนี้

ปี ค.ศ. 1950 ได้มีการนำหญ้าแฝกมาใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นครั้งแรกในประเทศฟิจิ (มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

ปี ค.ศ. 1980 ธนาคารโลกได้เผยแพร่ประโยชน์ของหญ้าแฝกในด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำไปยังประเทศอินเดีย ซึ่งภายหลังได้มีการนำหญ้าแฝกมาใช้อย่างแพร่หลายในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในด้านอื่น ๆ โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งงานวิจัยในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้แสดงให้เห็นว่าหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งน้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำชะมูลฝอย เป็นต้น (Truong และ Hart, 2001; Chen, Shen และ Li, 2004)

ปี ค.ศ. 1995 หญ้าแฝกได้รับการยอมรับว่าเป็น ตัวดูดซับ (absorbent) ที่ดีหลังจากได้มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานบำบัดน้ำเสียในรัฐควีนแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย (Truong, 2000)

ปี ค.ศ. 1997 นักวิทยาศาสตร์จากสาธารณรัฐประชาชนจีนยืนยันว่าหญ้าแฝกสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้มีการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และไทย เป็นต้น (Truong, 2000 อ้างถึงใน Truong และ Hart, 2001)

2.4.4 สมบัติบางประการของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย

หญ้าแฝกมีสมบัติบางประการที่เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสีย ดังนี้

2.4.4.1 สมบัติทางด้านสัณฐาน (morphology)

1) มีลำต้นที่แข็งแรงและตั้งตรง ทนทานต่อสภาวะที่น้ำไหลแรง

2) มีการเจริญเติบโตและการแตกกอหนาแน่นทำให้สามารถช่วยกรองและดักตะกอนในแหล่งน้ำได้

3) มีระบบรากลึกและหนาแน่น ทำให้สามารถลดมลสาร ดูดดึงธาตุอาหาร และส่งผ่านออกซิเจนในน้ำเสียระดับลึกได้

4) โครงสร้างของระบบรากที่ใหญ่เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์และกระตุ้นให้จุลินทรีย์เกิดกระบวนการย่อยสลายบริเวณ rhizosphere ซึ่งมีออกซิเจนเป็นฟิล์มบาง ๆ โดยรอบราก (Summerfelt และคณะ, 1999; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

2.4.4.2 **สมบัติทางด้านสรีระ** (physiology)

1) ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ เช่น อากาศเย็น อากาศร้อน และแห้งแล้ง เป็นต้น

2) ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขัง และมีความเป็นกรดและด่างสูงได้

3) ทนทานต่อสภาพดินต่าง ๆ เช่น ดินเปรี้ยว ดินด่าง ดินเค็ม ดินที่มีโซเดียม แมกนีเซียม อลูมิเนียม และแมงกานีส สูงจนเกิดความเป็นพิษ

4) ทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้ เช่น สารหนู แคดเมียม ทองแดง โครเมียม ตะกั่ว ปรอท นิเกิล ซีลีเนียม และสังกะสี เป็นต้น (กปร., 2547; มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชได้รับความสนใจมาก จากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปงานวิจัยออกเป็น 2 ด้านใหญ่ ๆ ดังนี้

1) การบำบัดน้ำเสียด้วยหญ้าแฝกโดยระบบการปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน

มนต์ชัย จันทร์ศิริ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เพื่อคัดเลือกพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสม โดยปลูกหญ้าแฝก 6 พันธุ์คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี ประจวบคีรีขันธ์ และราชบุรี ในถังที่บรรจุน้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำซึ่งผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 55.88, 40.297 และ 6.022 mg/l) ทดลองทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟตสูงเป็น 2 ลำดับแรก รวมทั้งมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูง ส่วนระยะที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝกที่คัดเลือกทั้งสองพันธุ์มาทดลอง โดยปลูกหญ้าแฝกในบ่อพีวีซีกว้าง 85 เซนติเมตร ยาว 155 เซนติเมตร และสูง 0.50 เซนติเมตร ซึ่งมีชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชเป็นชุดควบคุม ใช้น้ำเสียชุมชนความเข้มข้นสูงซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการดักด้วยตะแกรงหยาบ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 90.12-94.88, 41.025-

52.806 และ 5.892-6.657 mg/l) และน้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ระหว่าง 44.28-58.92, 34.731-42.144 และ 4.838-5.482 mg/l) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 8 สัปดาห์ แต่ละช่วงใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ และใช้การปล่อยน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 90.54-91.46, 61.01-62.48 และ 17.78-35.87 % ตามลำดับ และโดยทั่วไปพบว่าการสะสมธาตุอาหารมีความแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ดังนั้นผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ควรใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน และใช้หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่หากน้ำมีบีโอดีและธาตุอาหารสูงสามารถใช้หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ได้

ฐิติณัฏฐ์ ศักรานุกิจ (2549) ศึกษาการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้หญ้าแฝก 4 พันธุ์ คือ สุราษฎร์ธานี อินโดนีเซีย สงขลา3 และศรีลังกา โดยปลูกหญ้าแฝกในแพลอยน้ำในแปลงทดลองที่เป็นบ่อดินกว้าง 6 เมตร ลึก 1.5 เมตร ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่มีค่าออกซิเจนละลาย บีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก อยู่ในช่วง 2.60-3.20, 7.80-12.20, 266-482, 10-22, 7.31-10.71, 1.20-1.90, 0.39-0.68 และ 0.36-0.75 mg/l ตามลำดับ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 78.33 และ 34.86 % ตามลำดับ หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซียมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และไนเตรทไนโตรเจนสูงสุด เท่ากับ 66.26, 46.30 และ 44.45 % ตามลำดับ หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายทั้งหมดและเหล็กสูงสุด เท่ากับ 35.10 และ 80.51 % ตามลำดับ และหญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกามีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายสูงสุด เท่ากับ 33.11 %

วราพร เกียรศิริอนันต์ (2550) ศึกษาการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มไก่ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้หญ้าแฝก 4 พันธุ์ คือ ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และอินโดนีเซีย โดยปลูกหญ้าแฝกในแพลอยน้ำในแปลงทดลองที่เป็นบ่อดินกว้าง 6 เมตร ยาว 22 เมตร ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ โดยใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มไก่ที่มีค่าออกซิเจนละลาย บีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก อยู่ในช่วง 3.10-3.95, 13.20-24.90, 177-301, 17-112, 7.28-9.52, 0.19-0.31, 0.75-1.27 และ 0.42-1.65 mg/l ตามลำดับ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทไนโตรเจนและ

ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 28.07, 42.65, 42.61 และ 49.14 % ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและเหล็ก เท่ากับ 51.79 และ 67.27 % ตามลำดับ และหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีและเพิ่มค่าออกซิเจนละลายสูงสุด เท่ากับ 58.58 และ 24.96 % ตามลำดับ

ดารินทร์ แซ่ตั้ง (2551) ศึกษาการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้หญ้าแฝก 3 พันธุ์ คือ ศรีลังกา สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี โดยปลูกหญ้าแฝกในแพลอยน้ำในบ่อคอนกรีตกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร และสูง 45 เซนติเมตร ก้นบ่อรองด้วยทรายหยาบหนา 15 เซนติเมตร ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 สัปดาห์ โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดในสัปดาห์ที่ 6, 10 และ 14 โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงนมที่มีค่าออกซิเจนละลาย บีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก เท่ากับ 0.35, 1,380, 664, 225, 67.76, 0.72, 6.15 และ 5.40 mg/l ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝกมีค่าแปรผันตามอายุของหญ้าแฝก ซึ่งสัปดาห์ที่ 14 หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกามีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งละลายทั้งหมด และไนเตรทไนโตรเจนได้ดี เท่ากับ 88, 62 และ 81 % ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเหล็ก เท่ากับ 94, 93, 90 และ 95 % ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายสูงสุดได้ถึง 91 % หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกาและสุราษฎร์ธานีจึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงนม

Kong และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งมีความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว ปรอท และสารหนู เท่ากับ 33, 13, 0.0736, 0.878, 0.0501, 0.000302 และ 0.0366 mg/l ตามลำดับโดยปลูกหญ้าแฝกให้ลอยบนแพไม้ไผ่กว้าง 100 เซนติเมตร และยาว 150 เซนติเมตร พบว่า หญ้าแฝกลุ่มมีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนักได้ดี โดยสามารถบำบัดทองแดงและสังกะสีได้สูงกว่า 90 % สารหนูและไนโตรเจนสูงกว่า 60 % ฟอสฟอรัส 59 - 85 % ตะกั่ว 30 - 71 % และปรอท 13 - 58 % โดยสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรคือ Zn > Cu > As > N > P > Pb > Hg ตามลำดับ

Liao และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่ม ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปลูกหญ้าแฝกให้ลอยบนแผ่นโฟมในบ่อพลาสติกกว้าง 38.8 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 23 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุน้ำเสีย 36 ลิตร เป็นเวลา 4 วัน โดยน้ำเสียมีค่าซีโอดี บีโอดี แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 825, 500, 130 และ 23 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าว เท่ากับ 64.40, 68.66, 19.89 และ 26.92 % ตามลำดับ

Xia, Liu และ Ao (2000) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ของหญ้าแฝกลุ่ม ผักตบชวา *(Eichhornia crassipes)* หญ้า Bania *(Potatum notatum)* และผักเป็ดน้ำ *(Alternanthera philoxerides)* ที่ใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกันสองระดับ คือน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูงซึ่งมีค่าซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 1120.10, 1125.00, 313.70, 0.55 และ 4.43 mg/l ตามลำดับ น้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นต่ำมีพารามิเตอร์ดังกล่าว เท่ากับ 246.00, 293.80, 63.50, 0.55 และ 2.60 mg/l ตามลำดับ พบว่าหญ้าแฝกลุ่มและผักเป็ดน้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำชะมูลฝอยทั้งสองระดับความเข้มข้น และพบว่าหญ้าแฝกลุ่มมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด สูงกว่าผักเป็ดน้ำในน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูง ซึ่งพบว่าการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 80 และ 90 % ในน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูง และน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นต่ำตามลำดับ และการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่า 74 %

2) การบำบัดน้ำเสียด้วยหญ้าแฝกโดยระบบการปลูกพืชที่ใช้ดินหรือตัวกลาง

วงศ์พงา เส็งสาย (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ และหญ้าแฝกดอนพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงฟอกหนัง โดยศึกษาถึงความลึกที่เหมาะสมกับหญ้าแฝกทั้งสองพันธุ์ในการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมที่ระดับความลึกของน้ำเสีย 0.10, 0.15 และ 0.20 เมตร พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมสูงกว่าพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ และมีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมสูงสุดที่มีระดับความลึก 0.10 เมตร โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียระดับความลึก 0.10 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 89.29 % รองลงมาคือ หญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่ปลูกในน้ำเสียระดับความลึก 0.10 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมเท่ากับ 86.30 %

Lin, Lan และ Shu (2003) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ตัวกลาง โดยใช้หญ้าแฝกลุ่มที่ปลูกในบ่อพีวีซีกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 46.5 เซนติเมตร และสูง 32 เซนติเมตร ซึ่งตัวกลางที่ใช้ในการทดลองคือกรวด โดยน้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัดมีค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ทีเคเอ็น แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 1291-1465, 788-1164, 433-752, 383-711, 28-56 และ 2.85-3.55

mg/l ตามลำดับ เป็นเวลาทั้งสิ้น 75 วัน พบว่า หญ้าแฝกมีประสิทธิภาพในการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าว เท่ากับ 46.17-68.43, 35.58-69.10, 62.33-70.26, 61.80-66.81, 32.98-38.13 และ 63.12-82.29 % ตามลำดับ

Mahisarakul และคณะ (2003) ได้ทดลองใช้หญ้าแฝกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากน้ำชะมูลฝอย โดยทำการทดลองในโครงการพัฒนาดอยตุง จังหวัดเชียงราย โดยปลูกหญ้าแฝกในบ่อซีเมนต์ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร โดยมีชั้นของขยะที่อัดแน่นสูง 140 เซนติเมตร ปกคลุมด้วยดินชั้นบน 10 เซนติเมตร และมีท่อสำหรับน้ำเข้าและออกที่ความลึก 120 เซนติเมตร ซึ่งมี 4 ชุดการทดลองคือ ชุดควบคุม (ไม่ปลูกหญ้าแฝก) และชุดที่ปลูกหญ้าแฝก 50, 75 และ 100 % ของพื้นที่ พบว่าในบ่อซีเมนต์ที่ปลูกหญ้าแฝก 100 % มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสูงที่สุด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการกระจายรากของหญ้าแฝกโดยการฉีดสารละลายธาตุกัมมันตรังสีฟอสฟอรัส - 32 (^{32}P techniques) ที่ความลึก 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่าที่ความลึก 30 เซนติเมตร พบการกระจายรากของหญ้าแฝกสูงสุด

Roongtanakiat และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์สุราษฎ์ธานีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยกำแพงแสนที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 9.2 และซีโอดี บีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 13160, 6607 และ 3566 mg/l ตามลำดับ โดยทดลองในกระถางซึ่งบรรจุดินในพื้นที่นั้น 7 กิโลกรัม ซึ่งแต่ละกระถางได้รับน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้น 100, 70, 50 และ 0 % และปรับความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7 ปริมาณ 200 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 90 วัน พบว่าหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้น 100 % ไม่สามารถทนอยู่ได้ในเวลา 80 - 85 วันหลังการทดลอง แต่หญ้าแฝกที่ได้รับความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย 70, 50 และ 0 % มีความสูงและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์สุราษฎ์ธานีสามารถเจริญเติบโตเมื่อได้รับน้ำชะมูลฝอย 50-70 % และการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้น

Summerfelt และคณะ (1999) ศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดินและแบบไหลใต้ดิน โดยใช้หญ้าแฝกลุ่มเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและซีโอดี เท่ากับ 7,860 และ 6,855 mg/l ตามลำดับ พบว่าในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดินมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและซีโอดี เท่ากับ 96 และ 72 % ตามลำดับ ส่วนในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ดินมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและซีโอดี เท่ากับ 98 และ 91 % ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 ขั้นเตรียมการทดลอง

3.1.1 วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองโดยจัดชุดทดลองประกอบด้วยหญ้าแฝกลุ่ม 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์สงขลา3 และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช โดยปลูกหญ้าแฝกแต่ละพันธุ์ในถังพลาสติกที่มีน้ำชะมูลฝอย 3 ระดับความเข้มข้น รวม 9 ชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

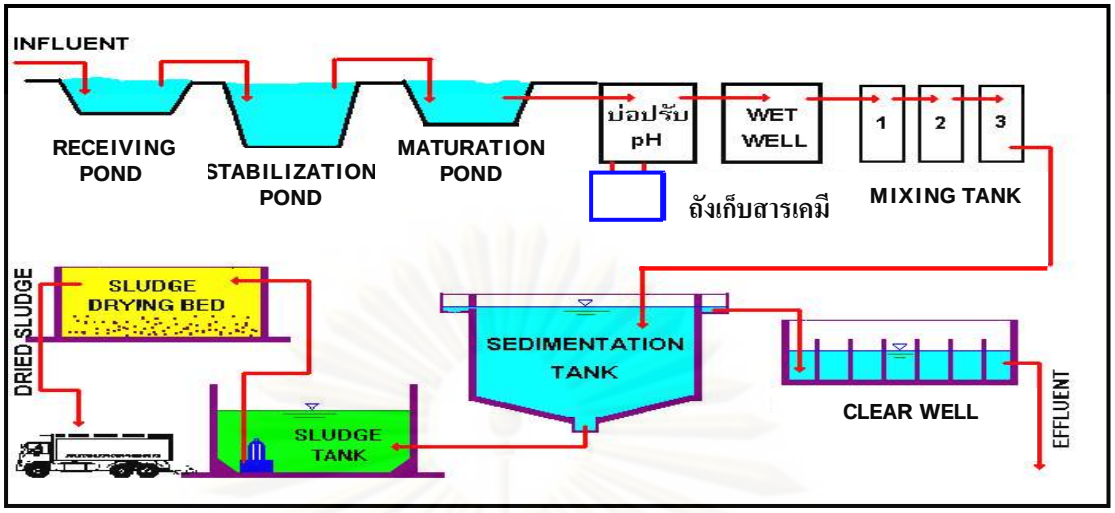
ตารางที่ 3.1 แสดงชุดทดลอง

พันธุ์หญ้าแฝก (A)	น้ำชะมูลฝอย (B)		
	น้ำชะมูลฝอยดิบ (B_1)	น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (B_2)	น้ำคลอง (B_3)
สุราษฎร์ธานี (A_1)	A_1B_1	A_1B_2	A_1B_3
สงขลา3 (A_2)	A_2B_1	A_2B_2	A_2B_3
ชุดควบคุม (A_3)	A_3B_1	A_3B_2	A_3B_3

แต่ละชุดทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนั้นจึงมีทั้งสิ้น 27 ชุดทดลอง

3.1.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช มี 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยจากบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) ซึ่งเป็นบ่อดินสำหรับเก็บกักน้ำเสียและดักขยะขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำเสีย (น้ำชะมูลฝอยดิบ) และน้ำจากบ่อน้ำใส (clear well) ซึ่งเป็นน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 รวมทั้งน้ำจากคลองธรรมชาติ บริเวณใกล้ท่อที่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (น้ำคลอง)



ภาพที่ 3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช

3.1.3 สถานที่ทำการทดลอง

เป็นเรือนต้นไม้ขนาดกว้าง 3.3 เมตร ยาว 4.5 เมตร ที่มีผนังด้านข้างทำจากแผ่นอะคริลิกใสและมุ้งลวด และหลังคาทำด้วยแผ่นอะคริลิกใส บริเวณชั้น 4 อาคารวิทยาศาสตร์ทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2

3.1.4 การเตรียมชุดทดลอง

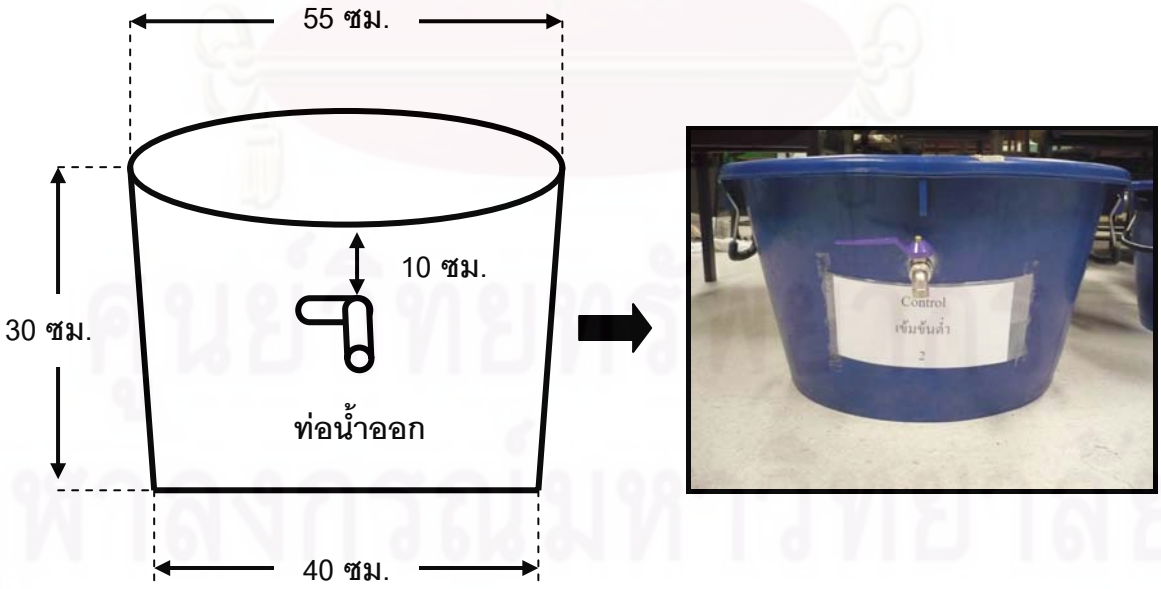
1) เตรียมชุดทดลองโดยใช้ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 55 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 40 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 27 ใบ โดยแต่ละถังเจาะก๊อกน้ำ บริเวณต่ำจากปากถังพลาสติก 10 เซนติเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 3.3

2) สร้างแพลอยน้ำที่ทำมาจากท่อพีวีซีเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ซึ่งมีตะแกรงพลาสติกวางบนกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อให้รากของหญ้าแฝกรอดทะลุลงไปได้ รวมทั้งมีการผูกโฟมติดกับกรอบสี่เหลี่ยมด้านล่างและท่อพีวีซีที่อยู่ขนานกันด้านบนเพื่อช่วยในการลอยน้ำของแพ ใช้เชือกผูกระหว่างท่อพีวีซีที่อยู่ด้านขนานกัน 5 แถว ห่างกันแถวละ 5 เซนติเมตร เพื่อเป็นแนวตั้งแถวปลูกหญ้าแฝก แถวละ 5 ต้น จึงปลูกหญ้าแฝกได้ทั้งสิ้น 25 ต้นต่อ 1 แพ ดังแสดงในภาพที่ 3.4

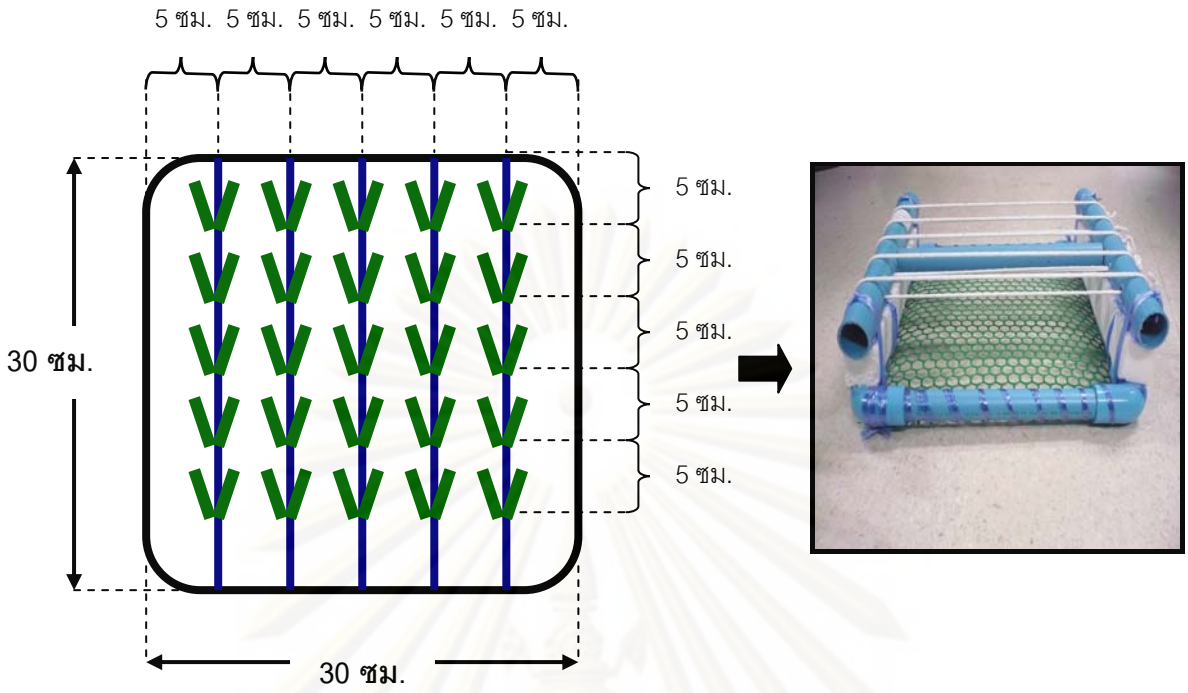
3) เตรียมหญ้าแฝกทั้งสองพันธุ์ ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และมีจำนวนต้น 1 ต้นต่อกอ โดยตัดต้นให้มีความสูง 20 เซนติเมตร ความยาวราก 10 เซนติเมตร ปลูกหญ้าแฝกบนแพโดยนำแพมา

วางให้ลอยบนผิวน้ำโดยให้รากหญ้าแฝกอยู่ใต้ผิวน้ำ สำหรับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีเฉพาะแพที่ลอยบนผิวน้ำในลักษณะเดียวกับชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก ดังแสดงในภาพที่ 3.5

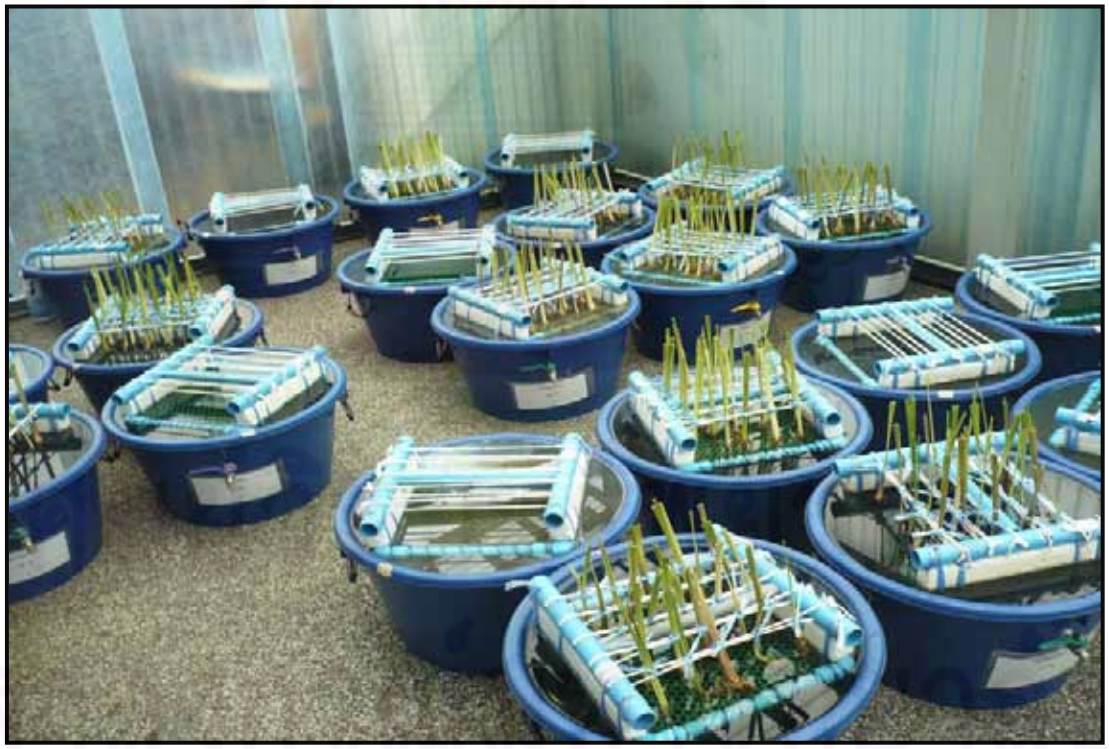
ภาพที่ 3.2 สภาพเรือนต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.3 แบบแสดงชุดทดลอง



ภาพที่ 3.4 ลักษณะแพลอยน้ำที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.5 ลักษณะการปลูกหญ้าแฝกในชุดทดลองภายในเรือนต้นไม้

3.2 ขั้นดำเนินการศึกษา

3.2.1 นำน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น บรรจุในชุดทดลองให้มีปริมาตร 42 ลิตร โดยระหว่างการทดลอง 12 สัปดาห์ มีการเติมน้ำกลั่นในชุดทดลองทุก 2 วัน เพื่อรักษาระดับน้ำที่สูญเสียไปจากการระเหยและการคายน้ำของพืช

3.2.2 ศึกษาคุณภาพน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง และน้ำที่ผ่านการบำบัดในทุกสัปดาห์ตลอดช่วงการทดลอง โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.2

3.2.3 ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยวัดความสูงของต้น (วัดยอดที่สูงที่สุดของแต่ละต้น) และนับจำนวนต้นต่อกอ ก่อนเริ่มทำการทดลองและระหว่างดำเนินการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 และเก็บตัวอย่างหญ้าแฝกก่อนเริ่มทำการทดลองและระหว่างดำเนินการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 เพื่อนำไปชั่งน้ำหนักอบแห้ง วัดความยาวของรากที่งอกใหม่ (วัดเฉพาะรากที่ยาวที่สุดของแต่ละต้น) และศึกษาปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
2. อุณหภูมิ (temperature)	thermometer
3. การนำไฟฟ้า (conductivity)	conductivity meter
4. ความเค็ม (salinity)	salinity meter
5. สี (color)	spectrophotometer (AWWA,1998)
6. ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen)	DO meter
7. ของแข็งแขวนลอย (suspended solid)	dried at 103-105 $^{\circ}$C (AWWA,1998)
8. ซีโอดี (COD)	close reflux, titrimetric method (AWWA,1998)
9. ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)	semi-micro-kjeldahl method (AWWA,1998)
10. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	vanadomolybdophosphoric acid (AWWA,1998)
11. คลอไรด์ (chloride)	mercuric nitrate titration (AWWA,1998)

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์
1. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก	
1.1 ความสูง และความยาวรากใหม่	ไม้บรรทัด
1.2 จำนวนต้นต่อกอ	นับด้วยตาเปล่า
1.3 มวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนราก	ชั่งน้ำหนักอบแห้งของส่วนต้นและใบ และส่วนราก
2. ปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก	
2.1 ไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนราก	semi-micro-kjeldahl method (ประโสด ธรรมเขต, 2540)
2.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนราก	ammonium metavanadate (ประโสด ธรรมเขต, 2540)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัด

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดโดยนำข้อมูลคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง และคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด มาคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง} - \text{น้ำที่ผ่านการบำบัด}}{\text{น้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง}} \right) \times 100$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด ประสิทธิภาพการบำบัด และการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก

2) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan 's new multiple range test

3) เปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ ของชุดทดลองระหว่างพันธุ์หญ้าแฝกและระดับความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan 's new multiple range test

4) เปรียบเทียบความแตกต่างการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝกของชุดทดลองระหว่างพันธุ์หญ้าแฝกและระดับความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ t-test และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan 's new multiple range test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝกดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

4.1.1 คุณภาพน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลอง

คุณภาพน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลอง ดังตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช ซึ่งตั้งอยู่ในสถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ซอยอ่อนนุช 86 แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร โดยใช้น้ำชะมูลฝอย 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยดิบ (RL: Raw Leachate) เป็นน้ำชะมูลฝอยจากบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) ซึ่งเป็นบ่อดินสำหรับเก็บกักน้ำเสียและดักขยะขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง 7.77 การนำไฟฟ้า 3.71 mS/cm ความเค็ม 1.93 psu สี 27.38 SU ออกซิเจนละลาย 0.87 mg/l ของแข็งแขวนลอย 755.33 mg/l ซีโอดี 940.67 mg/l ทีเคเอ็น 219.30 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 12.75 mg/l และคลอไรด์ 419.87 mg/l (ตารางที่ 4.1)

น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (TL: Treated Leachate) เป็นน้ำชะมูลฝอยจากบ่อน้ำใส (clear well) ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) โดยใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถตกตะกอนสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กและคอลลอยด์ในน้ำ ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง 6.80 การนำไฟฟ้า 4.02 mS/cm ความเค็ม 2.10 psu สี 5.05 SU ออกซิเจนละลาย 1.63 mg/l ของแข็งแขวนลอย 57.67 mg/l ซีโอดี 210.11 mg/l ทีเคเอ็น 183.80 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 4.48 mg/l และคลอไรด์ 1157.97 mg/l (ตารางที่ 4.1)

น้ำคลอง (CW: Canal Water) เป็นน้ำในคลองธรรมชาติด้านข้างโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช บริเวณใกล้ปลายท่อที่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง 7.08 การนำไฟฟ้า 0.91 mS/cm ความเค็ม 0.43 psu สี 3.05 SU ออกซิเจนละลาย 5.19

mg/l ของแข็งแขวนลอย 12.56 mg/l ซีโอดี 60.44 mg/l ทีเคเอ็น 19.56 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 2.53 mg/l และคลอไรด์ 154.95 mg/l (ตารางที่ 4.1)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น พบว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าสี ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด เนื่องจากเป็นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดและมาจากบ่อดิน จึงมีสีน้ำตาลค่อนข้างดำและมีของแข็งแขวนลอยสูง นอกจากนี้ยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงในรูปของซีโอดีสูง แต่มีค่าออกซิเจนละลายต่ำสุดทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ในส่วนของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม และคลอไรด์สูงกว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ ทั้งนี้เพราะมีการใช้สารเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ช่วยให้เกิดการตกตะกอนทางเคมีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย นอกจากนี้สารเฟอร์ริคคลอไรด์ยังสามารถกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอยได้ดี ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงค่อนข้างใสจึงวัดสีได้ต่ำกว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลองซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม สี ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ต่ำ แต่มีค่าออกซิเจนละลายสูงทั้งนี้เนื่องจากมีการเจือจางด้วยน้ำในคลองธรรมชาติจึงมีค่าดังกล่าวต่ำ และเป็นแหล่งน้ำไหลจึงพบว่ามีค่าออกซิเจนละลายสูง และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นโดยใช้ one-way ANOVA ที่ระดับความสำคัญ 0.05 และทดสอบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan 's new multiple range test พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ความเค็ม สี ออกซิเจนละลาย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลอง

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำชะมูลฝอย		
		RL	TL	CW
ความเป็นกรด-ด่าง	-	^{a}7.77±0.04	^{c}6.80±0.09	^{b}7.08±0.07
อุณหภูมิ	^{o}C	28.27±0.36	29.27±0.90	29.30±0.10
การนำไฟฟ้า	mS/cm	^{b}3.71±0.09	^{a}4.02±0.01	^{c}0.91±0.15
ความเค็ม	psu	^{b}1.93±0.06	^{a}2.10±0.00	^{c}0.43±0.06
สี	SU	^{a}27.38 ±1.19	^{b}5.05 ± 0.18	^{c}3.05 ± 0.13
ออกซิเจนละลาย	mg/l	^{c}0.87±0.13	^{b}1.63±0.18	^{a}5.19±0.05
ของแข็งแขวนลอย	mg/l	^{a}755.33±7.52	^{b}57.67±5.29	^{b}12.56±2.48
ซีโอดี	mg/l	^{a}940.67±20.56	^{b}210.11±15.23	^{c}60.44±4.46
ทีเคเอ็น	mg/l	^{a}219.30±9.51	^{b}183.80±2.43	^{c}19.56±1.57
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	mg/l	^{a}12.75±1.12	^{b}4.48±0.58	^{c}2.53±0.32
คลอไรด์	mg/l	^{b}419.87±0.00	^{a}1157.97±43.29	^{c}154.95±0.00

หมายเหตุ RL (Raw Leachate) คือ น้ำชะมูลฝอยดิบ; TL (Treated Leachate) คือ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว; CW (Canal Water) คือ น้ำคลอง
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 9 ซ้ำ
อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

4.1.2 **คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด**

(1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.77, 6.80 และ 7.08 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่า ในน้ำชะมูลฝอยดิบเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย แต่ภายหลังทำการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.84-8.69 (ภาพที่ 4.1 และตารางที่ ค 1) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี จึงมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง และมีผลให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ทำให้สมดุลของคาร์บอเนตเปลี่ยนไป ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (ชีววัตน์ ศิลปวัตน์, 2548) ในส่วนของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อย ภายหลังทำการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.26-8.31 (ภาพที่ 4.1 และตารางที่ ค 1) โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างมี

แนวโน้มสูงขึ้น หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอาจเป็นผลมาจากกระบวนการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะมีไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา เมื่อ H^+ ละลายน้ำจะทำให้น้ำมีความเป็นกรด-ด่าง ต่ำลง (Mitsch and Gosselink, 2000) ซึ่งสุทธิรักษ์ ตั้งเรืองเกียรติ (2548) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5-7 เป็นค่าที่พืชโดยทั่วไปเจริญเติบโตได้ดี และน้ำคลองเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีสมบัติค่อนข้างเป็นกลาง ภายหลังทำการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 7.14-8.85 (ภาพที่ 4.1 และตารางที่ ค 1) โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มสูงขึ้น หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงแต่ยังมีค่าสูงกว่าน้ำเข้า และมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกในน้ำคลองมีค่าเป็นกรด-ด่าง เข้าใกล้ 7 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากหญ้าแฝกช่วยรักษาสภาพความเป็นกลางของน้ำเสียได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ มนต์ชัย จันทร์ศิริ (2548) ซึ่งทำการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำ ในบ่อพีวีซีขนาด 0.85×1.55×0.50 เมตร และ วรากรณ์ เกิดทรัพย์ (2543) ซึ่งทำการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกเหงือกปลาหมอและธูปฤาษี ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าในน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์แรกทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลองมีค่าลดลงซึ่งต่างจากค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำชะมูลฝอยดิบที่ค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลองมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงจึงช่วยส่งเสริมให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดีจึงมี H^+ ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ทำให้น้ำมีความเป็นกรด-ด่าง ต่ำลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่สุดในน้ำคลอง และรองลงมาคือน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว เนื่องจากชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชจึงมีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวน้ำสูง ดังนั้นการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายจึงสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก (ศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์, 2548) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำถูกควบคุมโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอเนต ซึ่งชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกจะมีการย่อยสลายของเศษใบและรากที่หลุดร่วงลงสู่น้ำโดยจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิค (H_2CO_3) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลดลง ดังนั้นจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช

(2) **อุณหภูมิ** (temperature)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 28.27, 29.27 และ 29.30 °C ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าอยู่ในช่วง 23.52-30.97, 23.67-31.05 และ 23.73-31.17 °C ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางที่ ค 2) ทั้งนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างและสภาพอากาศที่ผันแปรในแต่ละวัน โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีผลต่อการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) การสังเคราะห์แสงของพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Kadlec, 1999) นอกจากนี้ยังมีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลาย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีสูงขึ้น เป็นผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดลง (นัทธีรา สรรมณี, 2541; Herskowitz Black และ Lewandowski, 1987)

(3) **การนำไฟฟ้า** (conductivity)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งผันแปรตามจำนวนและชนิดของไอออนที่อยู่ในน้ำ สารละลายอนินทรีย์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ขณะที่สารอินทรีย์ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า โดยการนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนใดไอออนหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ดังนั้นจึงไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ แต่บอกเพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.71, 4.02 และ 0.91 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าต่ำลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.22-3.53, 3.22-4.04 และ 0.84-0.97 mS/cm ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3 และตารางที่ ค 3) โดยในช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มค่อนข้างคงที่และบางครั้งสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากการระเหยของน้ำ และการคายน้ำของพืช จึงทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของสารประกอบในน้ำ (ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์, 2543)

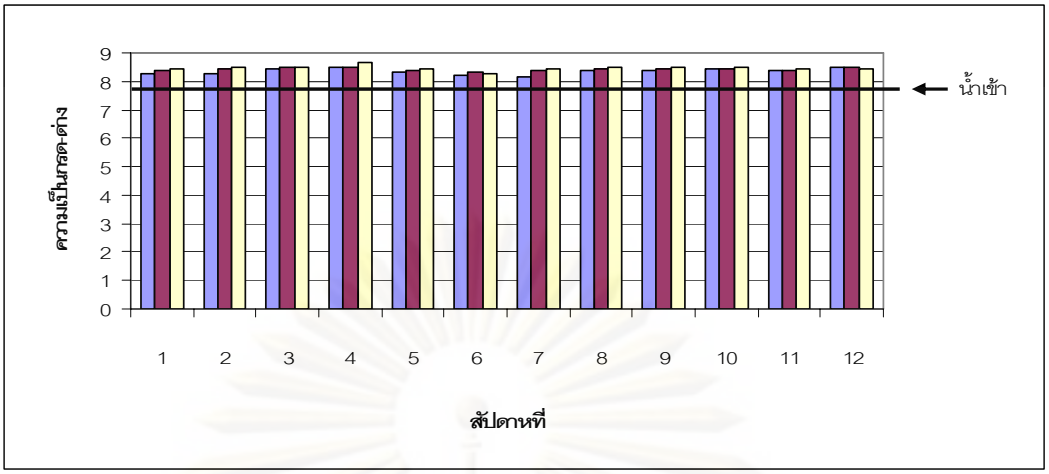
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีแนวโน้มต่ำกว่าชุดควบคุม

เนื่องจากหญ้าแฝกสามารถดูดดึงธาตุอาหารซึ่งเป็นธาตุที่มีประจุ เช่น ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียไอออน (NH_4^+) และออร์โธฟอสเฟต (ในรูป $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-}) ไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543 อ้างถึงใน มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548)

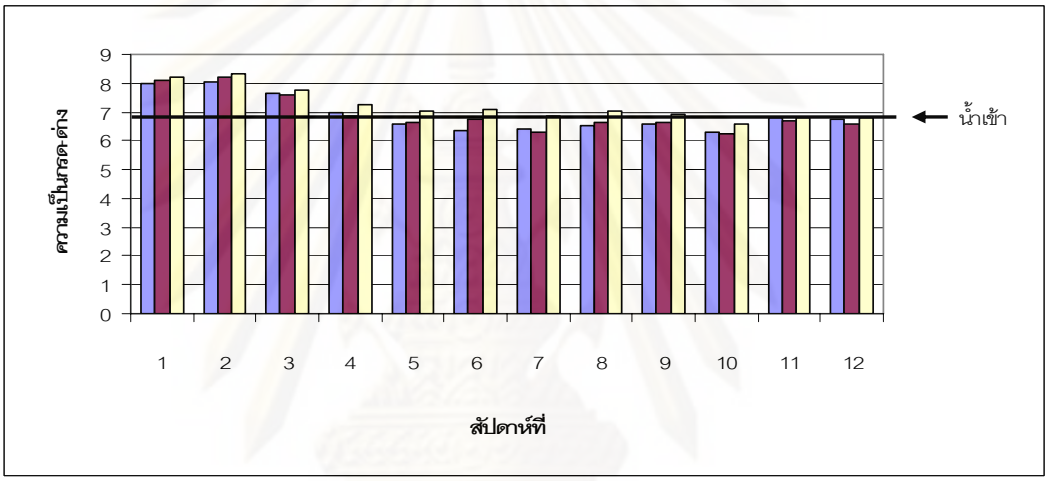
(4) ความเค็ม (salinity)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยความเค็มเท่ากับ 1.93, 2.10 และ 0.43 psu ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความเค็มต่ำลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.83 และ 1.67-2.10 psu ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และตารางที่ ค 4) โดยในช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองค่าเฉลี่ยความเค็มมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในส่วนของน้ำคลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเค็มคงที่เท่ากับ 0.40 psu ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 4.4 และตารางที่ ค 4) ค่าความเค็มของน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากน้ำที่มีความเค็มสูงเกลือจะแตกตัวให้ประจุจำนวนมาก ทำให้การนำไฟฟ้ามีค่าสูง (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528)

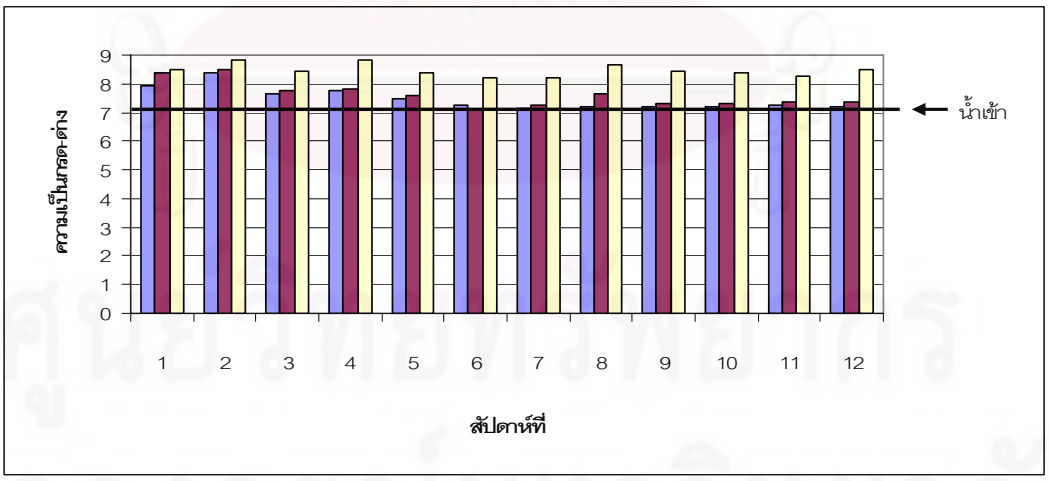
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเค็มของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าค่าเฉลี่ยความเค็มในชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีแนวโน้มว่ามีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ในน้ำชะมูลฝอยดิบและน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว สอดคล้องกับผลการทดลองของ ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์ (2548) ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเมื่อใช้ระบบกะ และศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์ (2548) ทำการศึกษาผลของความเค็มในน้ำเสียชุมชนต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเมื่อใช้ระบบกะ พบว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชมีค่าความเค็มลดลงสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช และวิภาดา ปิ่นเกษตร (2550) ที่ทดลองใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งในแปลงทดลองขนาด 8×33 เมตร แบบน้ำขัง 7 วัน สลับแห้ง 7 วัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ พบว่าค่าความเค็มในน้ำทิ้งนากุ้งมีค่าลดลง



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

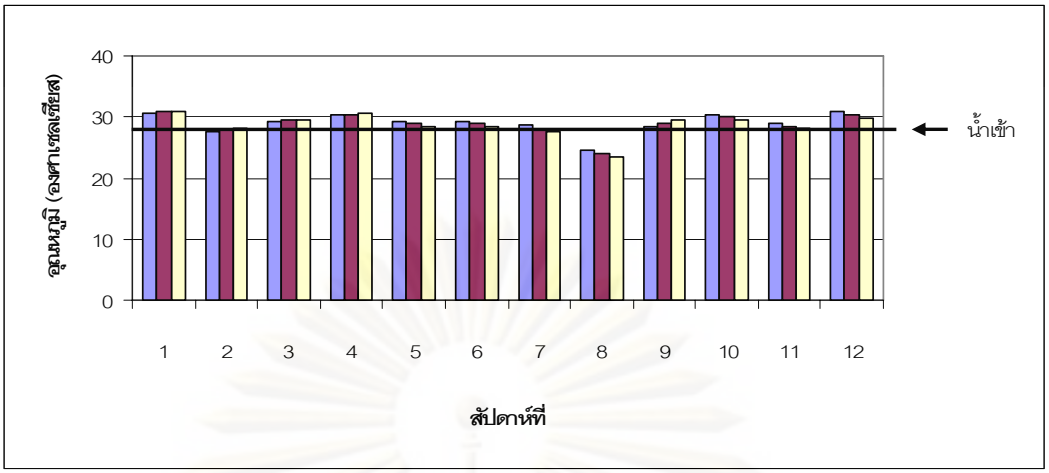


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

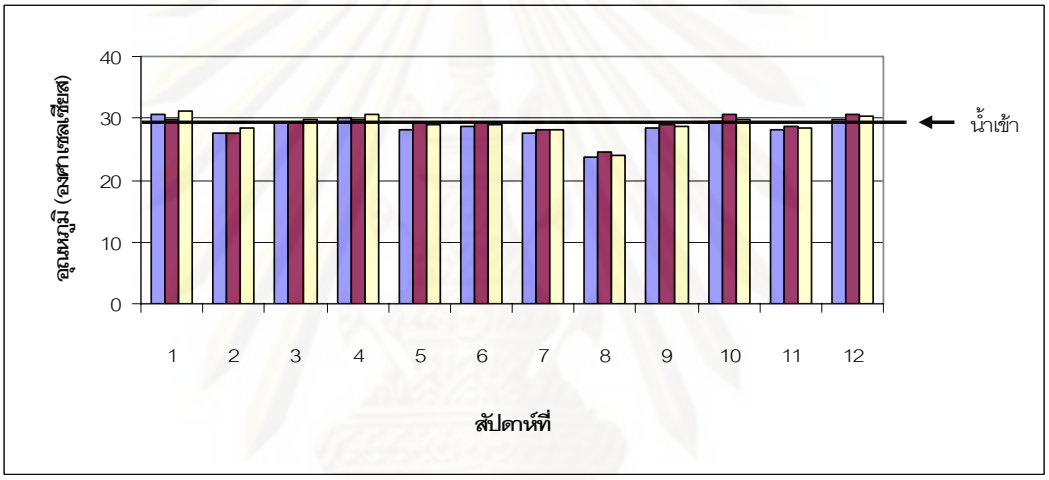


(ค) น้ำคลอง

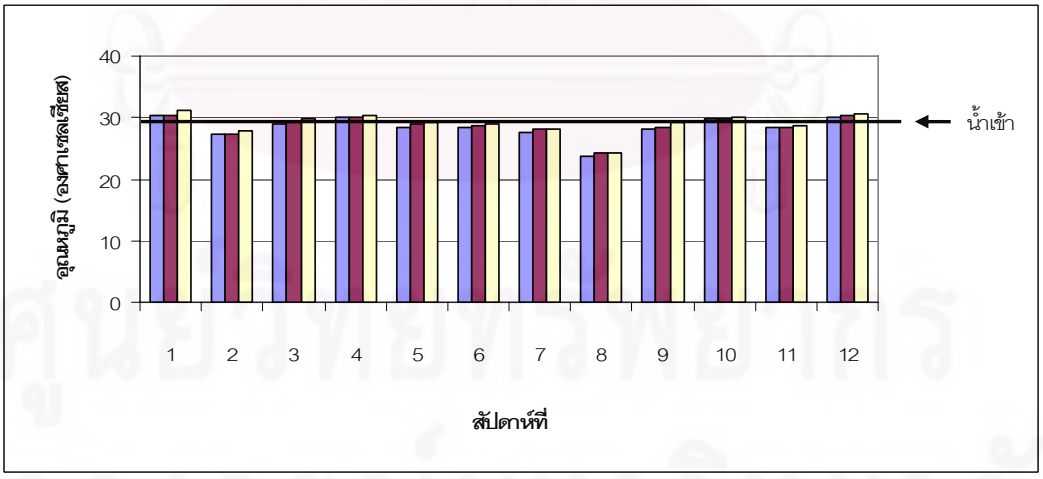
ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

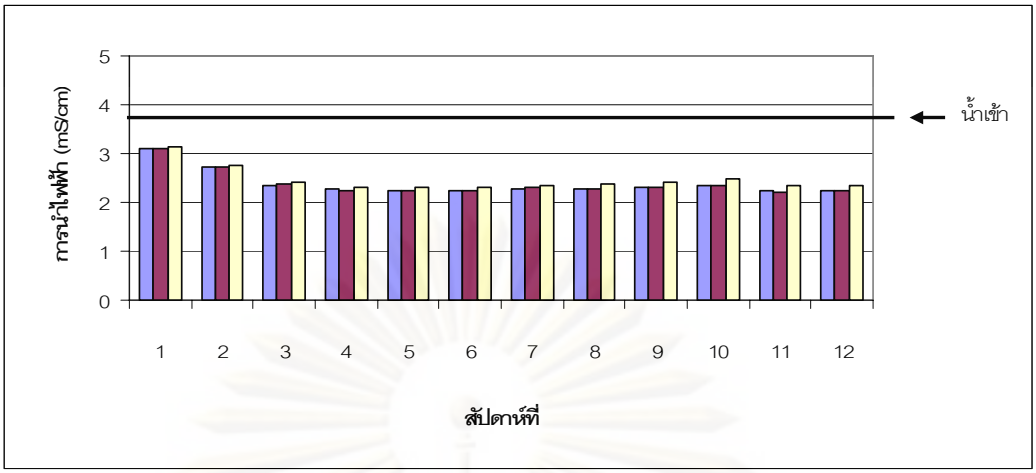


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

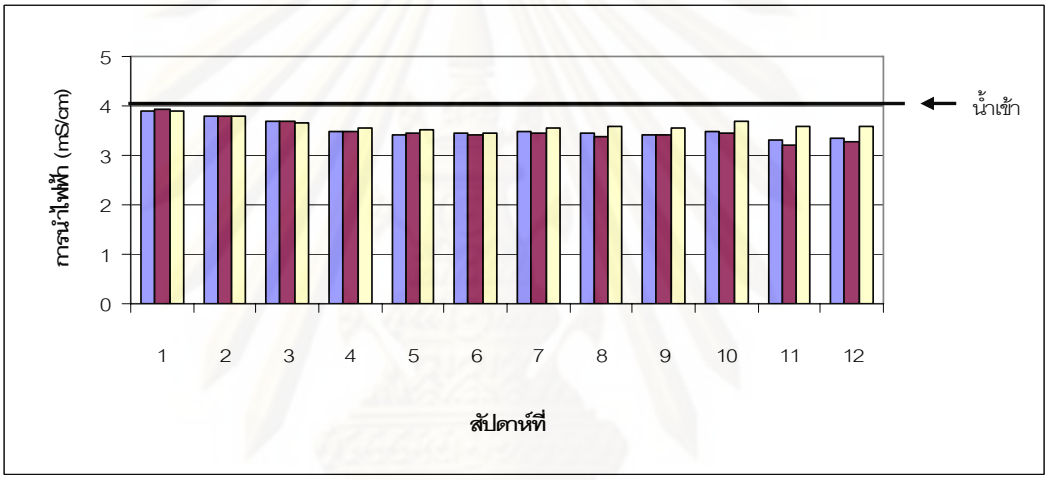


(ค) น้ำคลอง

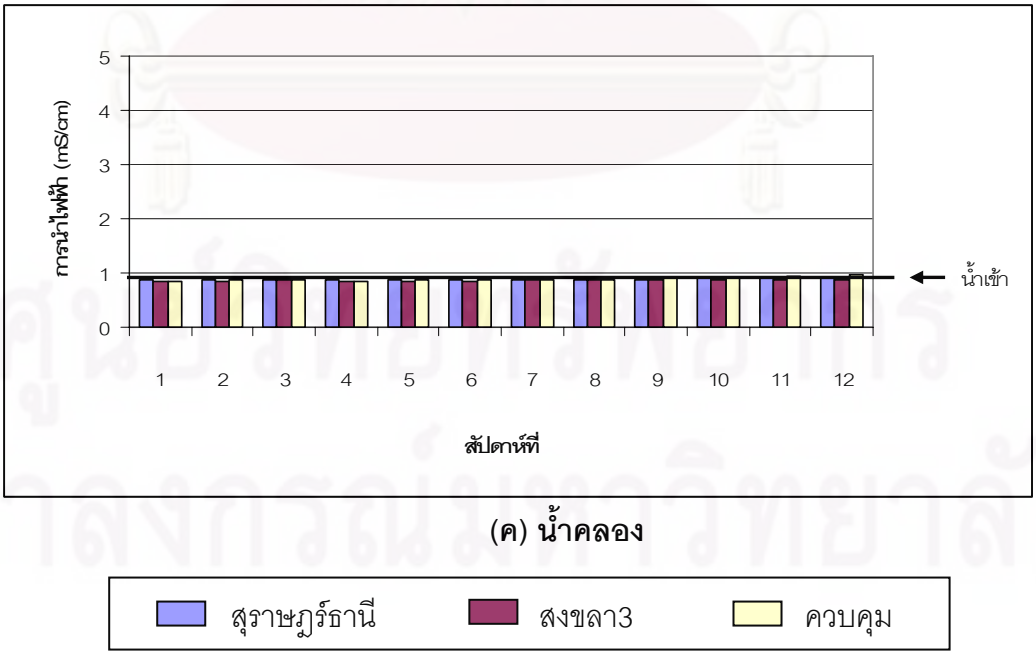
ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

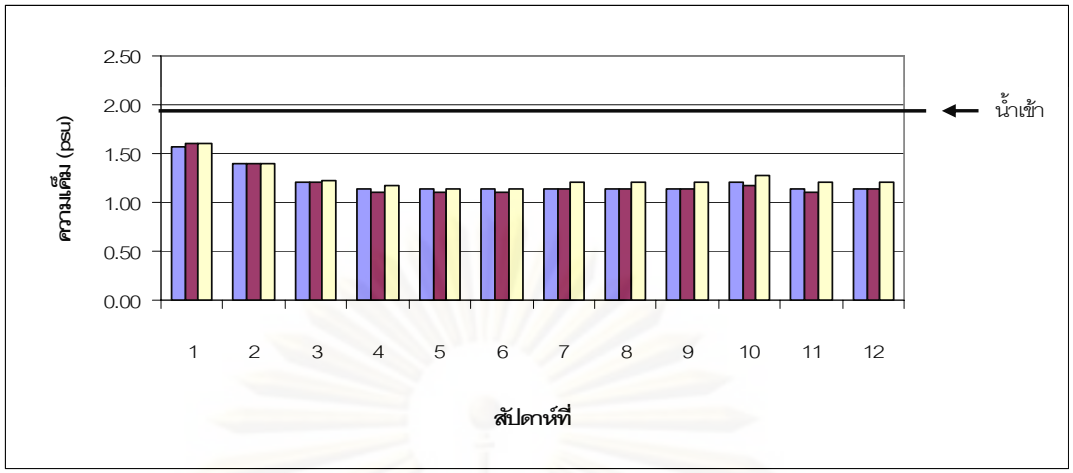


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

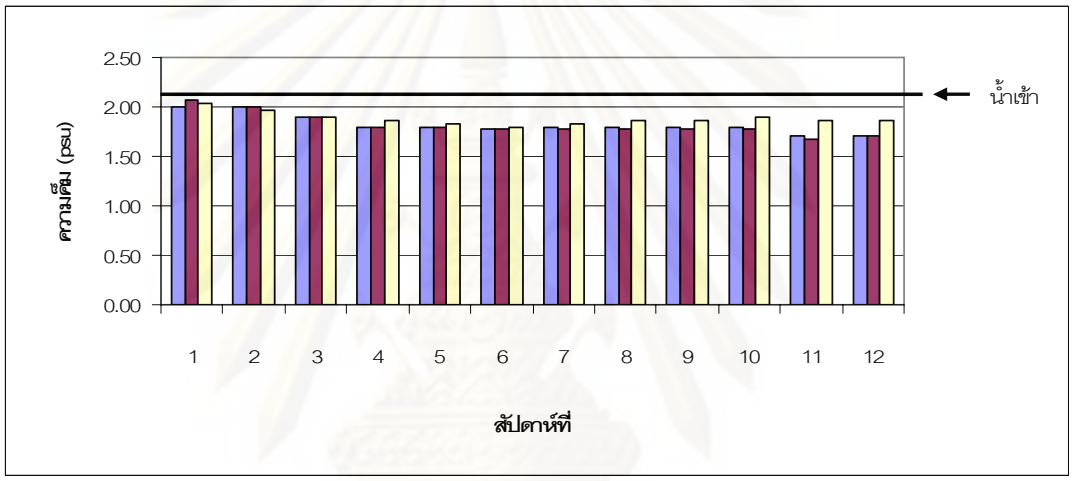


(ค) น้ำคลอง

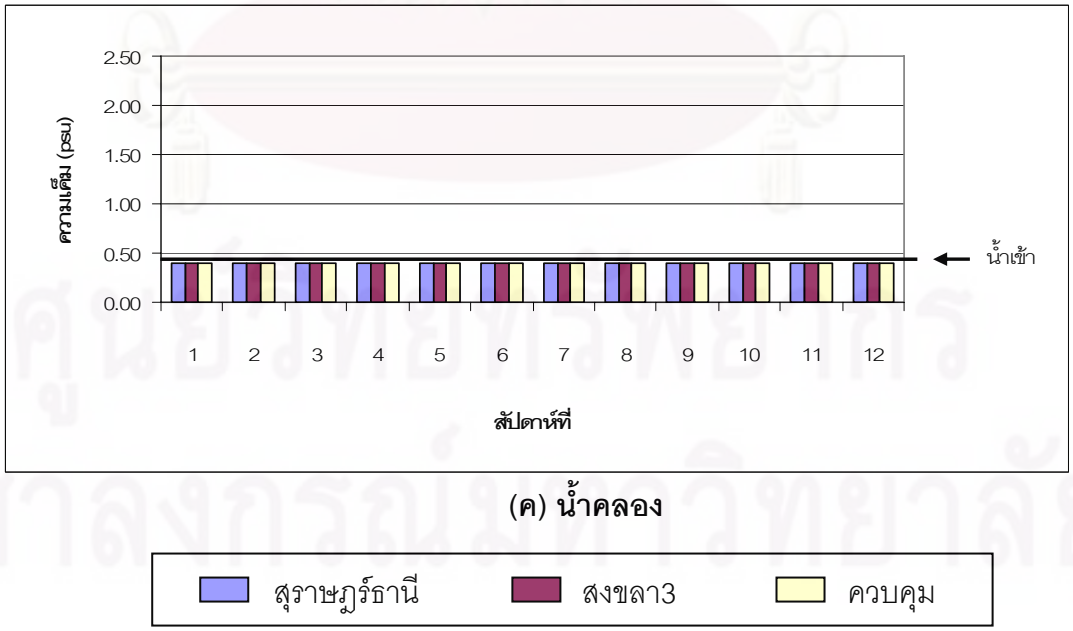
ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



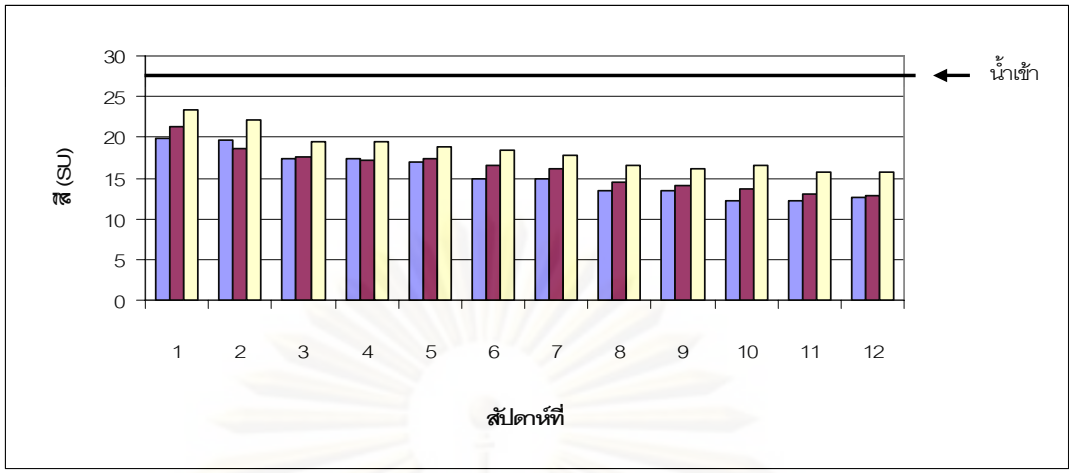
(ค) น้ำคลอง

ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

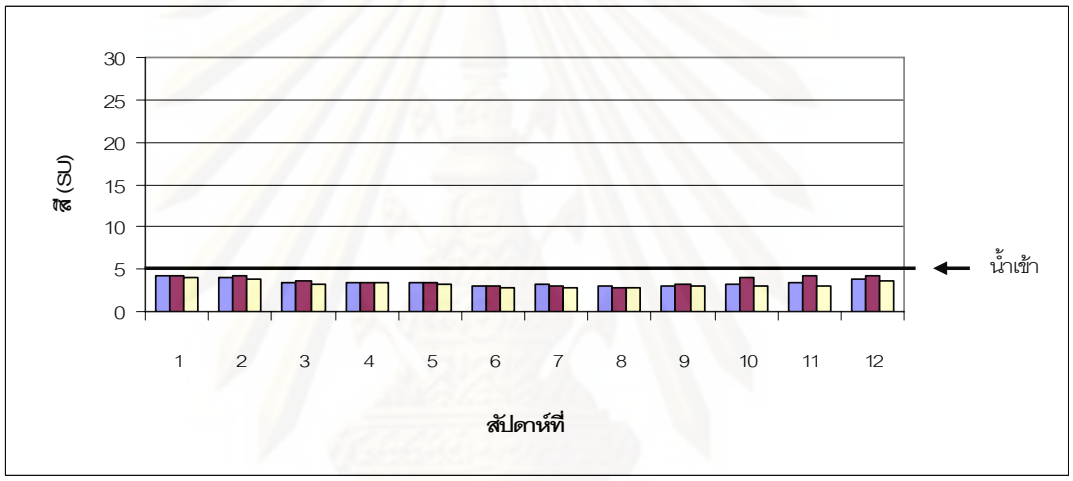
(5) สี (color)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยสี เท่ากับ 27.38, 5.05 และ 3.05 SU ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยสีอยู่ในช่วง 12.25-26.22, 2.78-4.62 และ 2.18-3.11 SU ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5 และตารางที่ ค 5) โดยน้ำชะมูลฝอยดิบเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีสีเหลืองน้ำตาลหรือสีชา เนื่องจากจากเป็นน้ำจากบ่อรับน้ำเสียซึ่งเป็นบ่อดินสำหรับเก็บกักน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งสีที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืช ซึ่งมีสารลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารแทนนิน (tannin) กรดฮิวมิค (humic acid) และสารฮิวเมต (humates) ซึ่งให้สีเหลืองชา หรืออาจเกิดจากไอออนของโลหะหนักในน้ำเช่น เหล็ก และแมงกานีส (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) โดยพบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองแล้วมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยสีต่ำลง ส่วนน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีสีค่อนข้างใสเนื่องจากเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ซึ่งช่วยกำจัดสีได้ดี โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสีมีแนวโน้มต่ำลงใน 8 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยซึ่งอาจเกิดจากการเน่าเปื่อยของเศษซากหญ้าแฝกที่ตกลงไปในน้ำ และน้ำคลองเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะใสหรือไม่มีสี เนื่องจากเป็นน้ำจากคลองธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งน้ำไหล (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) โดยพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยสีต่ำลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรก หลังจากนั้นมีใกล้เคียงกับน้ำเข้าตลอดระยะเวลาการทดลอง

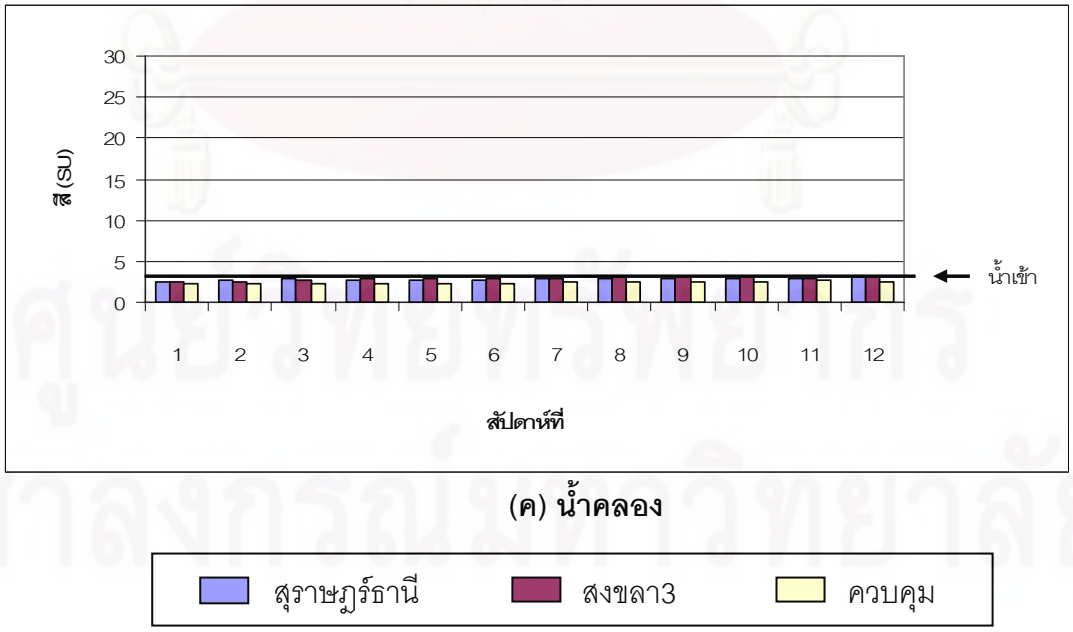
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสีของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่ามีค่าค่อนข้างผันแปร โดยในน้ำชะมูลฝอยดิบ พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกสามารถลดค่าสีในน้ำชะมูลฝอยได้ สอดคล้องกับการศึกษาของวรากรณ์ เกิดทรัพย์ (2543) พบว่าการปลูกเหงือกปลาหมอและธูปฤาษีในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยสามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยจะไหลผ่านชั้นตัวกลางที่เป็นทรายของระบบบึงประดิษฐ์ซึ่งมีซากพืชและเซลล์ของจุลินทรีย์ทับถมอยู่ รวมถึงรากพืชซึ่งจะช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีในน้ำชะมูลฝอยทำให้สีในน้ำชะมูลฝอยลดลง สำหรับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองมีแนวโน้มว่าชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยสีต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยสีต่ำ ดังนั้นเมื่อมีเศษหญ้าแฝกตกลงไปในน้ำเกิดการเน่าเปื่อยจึงทำให้ค่าเฉลี่ยสีสูงขึ้น เพราะสีที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของเศษหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าสีที่ถูกบำบัดโดยหญ้าแฝก



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง

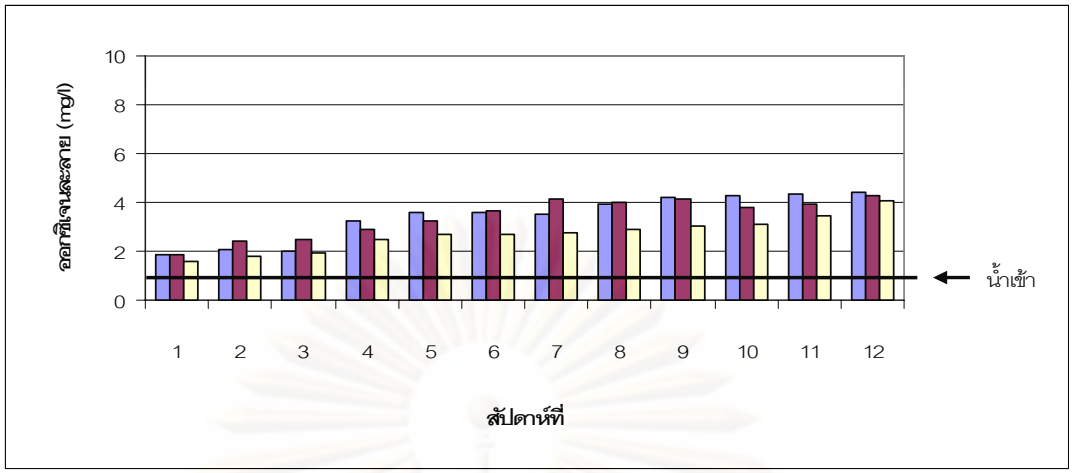
ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยสีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(6) ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen)

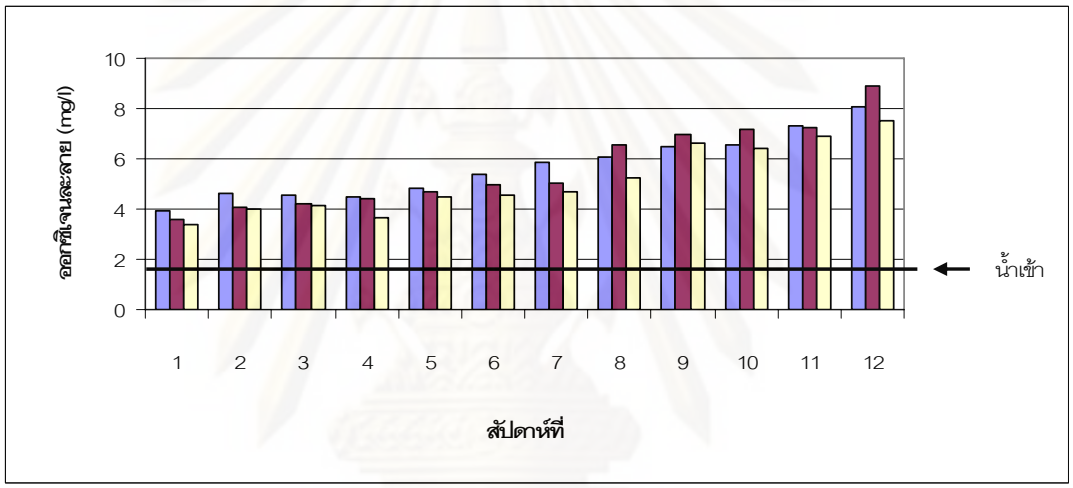
น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลองที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย เท่ากับ 0.87, 1.63 และ 5.19 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายสูงขึ้น เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชที่ขึ้นในทุกชุดทดลอง (Mitsch and Gosselink, 2000) โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย อยู่ในช่วง 0.25-4.39, 1.87-8.92 และ 3.23-8.99 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และตารางที่ ค 6) ซึ่งจะเห็นว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายสูงสุด รองลงมาคือน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำชะมูลฝอยดิบตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชพบว่า โดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายสูงว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชและมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้เพราะเมื่อหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นจึงสามารถลำเลียงออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และจากบรรยากาศส่งผ่านไปยังรากได้มากขึ้น (อรุณ พงษ์กาญจนะ, 2549; Hammer, 1989) สอดคล้องกับผลการทดลองของ ดารินทร์ แซ่ตั้ง (2551) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าชุดทดลองที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 14 (ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นจาก 0.35 เป็น 4.02 mg/l ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชที่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.85 mg/l

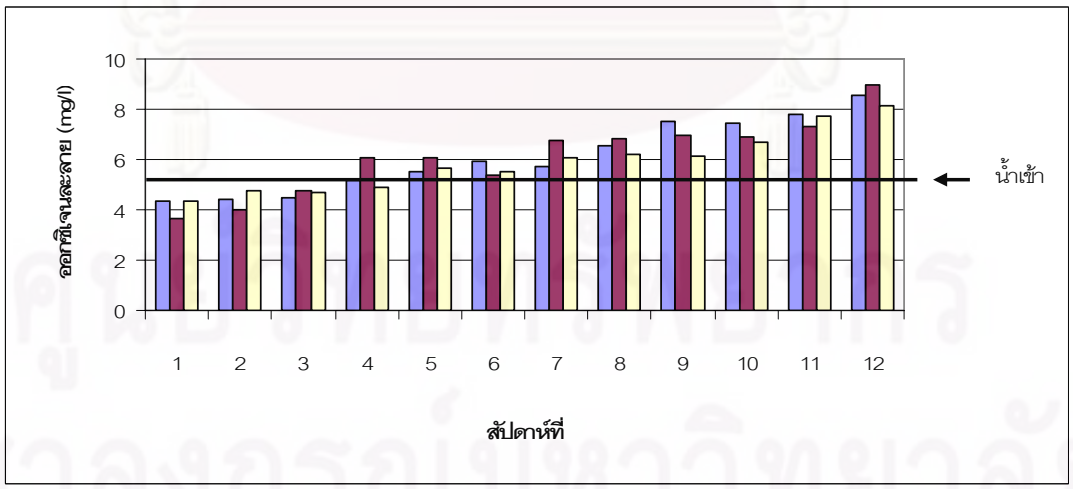
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



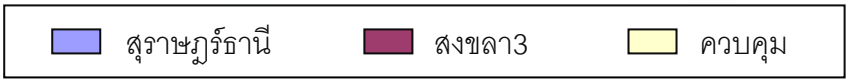
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(7) ของแข็งแขวนลอย (suspended solid)

น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 755.33, 57.67 และ 12.67 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยต่ำลงและมีค่าแปรผันสูง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 13.67-345.67, 6.00-32.33 และ 1.33-15.67 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7 และตารางที่ ค 7) ซึ่งความแปรผันส่วนใหญ่เป็นผลมาจากในชุดทดลองมีสาหร่ายเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 28.34-98.19 และ 36.31-97.04 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค 12) โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ในน้ำชะมูลฝอยดิบ แต่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช (มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.34-98.19 และ -24.76-95.76 % ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกพืชเป็นการป้องกันแสงแดดที่ส่องลงสู่น้ำทำให้สาหร่ายในน้ำมีปริมาณลดลง นอกจากนี้รากพืชยังช่วยกรองสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำเสียได้ดีอีกด้วย (วราพร เกียรติศิริอนันต์, 2550) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์ (2548) พบว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชายเลนมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียชุมชนสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 81.24-98.19, 64.75-89.60 และ -24.76-89.41 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค 12) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดและมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงตั้งแต่สัปดาห์แรก (มากกว่า 80 %) (ภาพที่ 4.8) เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยดิบที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า

ของแข็งแขวนลอยสูงมากและมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่สัปดาห์แรก (ภาพที่ 4.7) ซึ่งเป็นผลมาจากการตกตะกอนและการกรองโดยรากหญ้าแฝก สอดคล้องกับการศึกษาของ ดารินทร์ แซ่ตั้ง (2551) ที่ทดลองใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 14 (ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) หญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงถึง 93.64 % ส่วนชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยรองลงมา โดยมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์แรกถึงสัปดาห์ที่ 4 จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ และบางครั้งมีค่าต่ำลงเล็กน้อย (ภาพที่ 4.8) ทั้งนี้เนื่องจากในชุดทดลองมีสาหร่ายเกิดขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นได้ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยต่ำสุด โดยมีค่าสูงขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกถึงสัปดาห์ที่ 4 จากนั้นมีแนวโน้มต่ำลง เนื่องจากน้ำคลองเป็นน้ำจากคลองธรรมชาติจึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อเข้าสู่ชุดทดลองต่ำ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีสาหร่ายเกิดขึ้นในชุดทดลอง จึงมีผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นได้โดยเฉพาะในชุดควบคุมที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองในสัปดาห์ที่ 9-12 (ภาพที่ 4.7) ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยมีค่าติดลบ

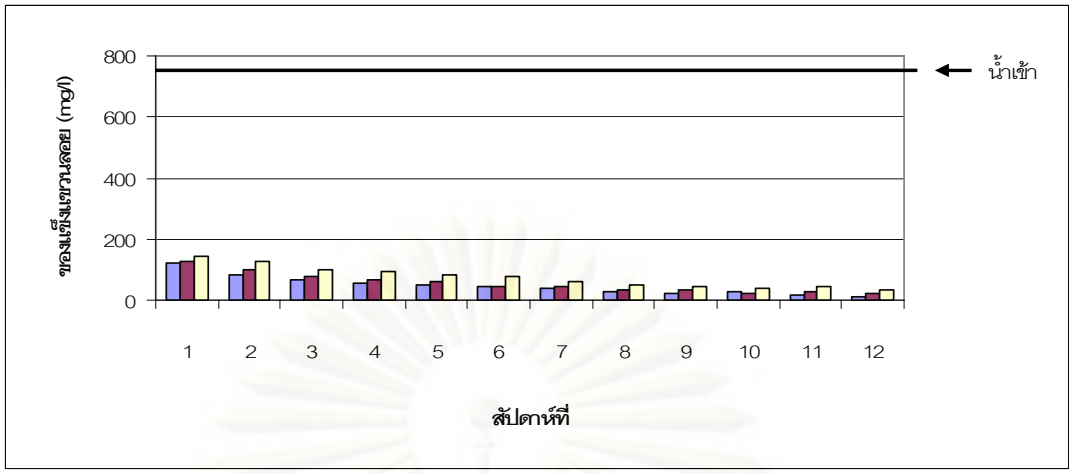
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	^{a}93.03±0.26^{a}	^{a}96.34±1.38^{a}	^{a}98.19±0.55^{a}
	สงขลา3	^{a}91.09±0.98	^{a}95.67±1.38^{a}	^{ab}97.04±0.73^{a}
	ควบคุม	^{b}87.42±2.13	^{b}93.07±1.00^{a}	^{b}95.76±1.28^{a}
TL	สุราษฎร์ธานี	^{ab}77.46±4.59^{b}	84.39±2.00^{a}	^{ab}82.09±2.00^{b}
	สงขลา3	^{a}87.29±4.36	88.43±2.00^{a}	^{a}87.87±6.01^{a}
	ควบคุม	^{b}73.99±8.67	72.83±12.78^{b}	^{b}70.52±11.37^{b}
CW	สุราษฎร์ธานี	^{ab}78.74±4.60^{b}	52.23±15.92^{b}	^{a}28.34±7.96^{c}
	สงขลา3	^{a}89.41±4.60	68.15±15.92^{b}	^{a}36.31±7.96^{b}
	ควบคุม	^{b}68.15±15.92	31.00±4.60^{c}	^{b}-24.73±4.60^{c}

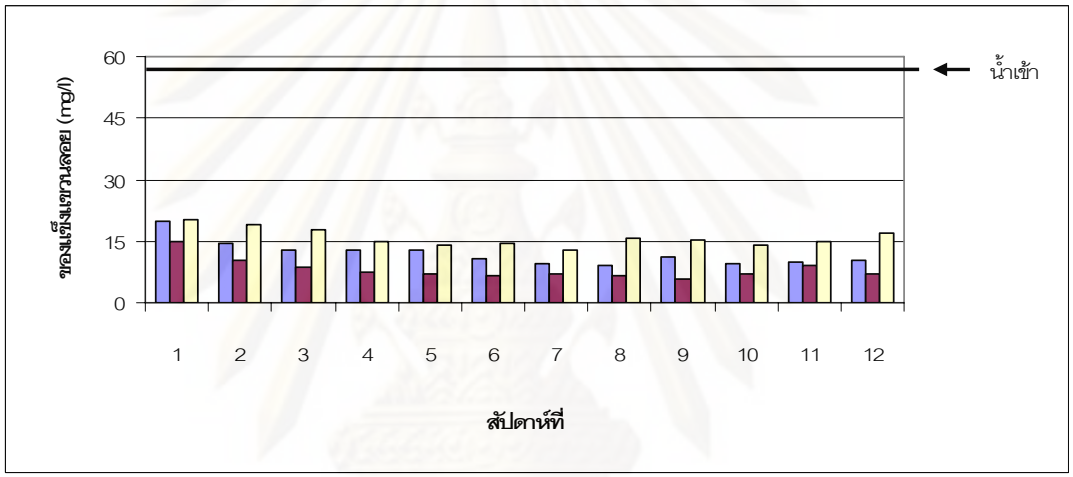
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

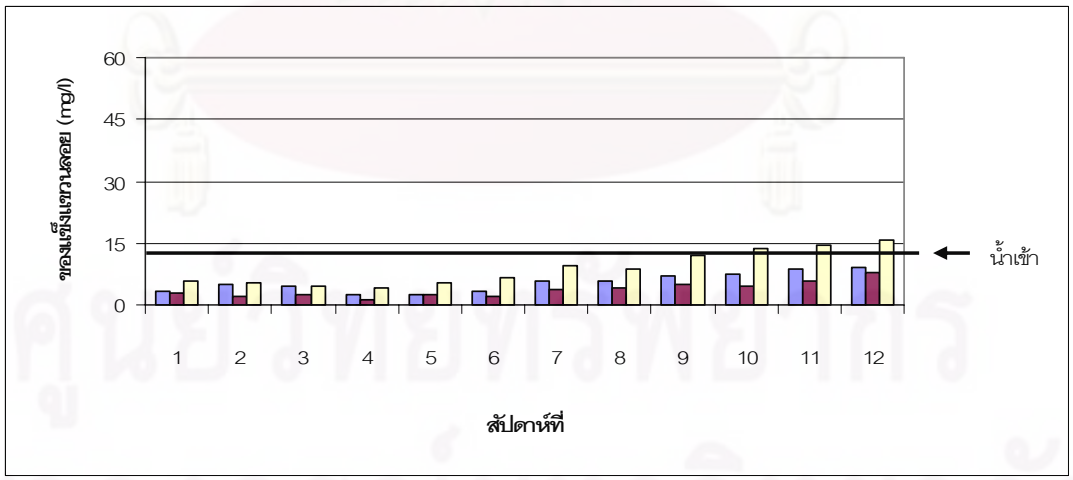
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

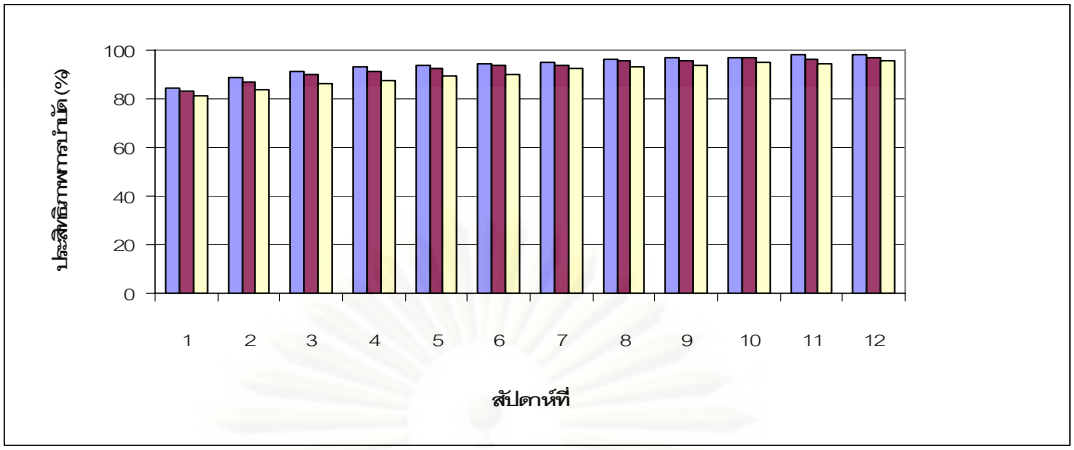


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

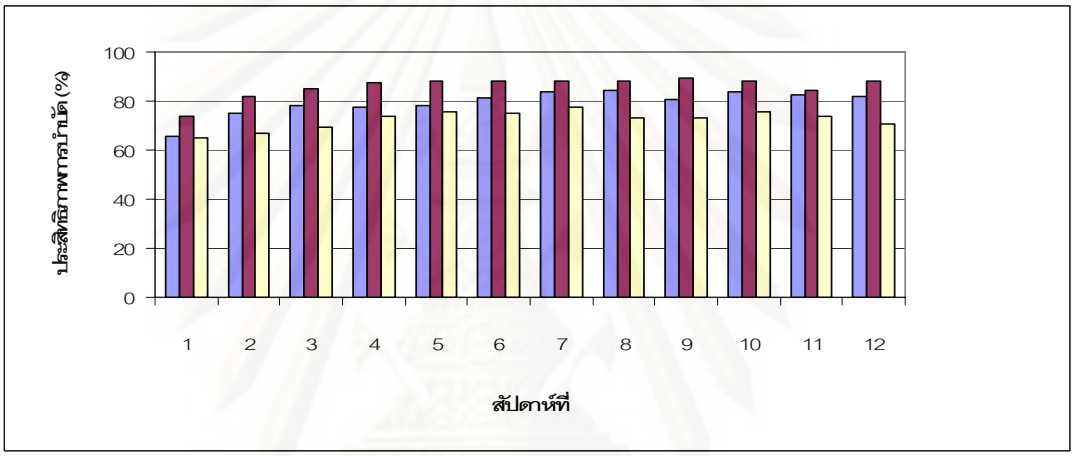


(ค) น้ำคลอง

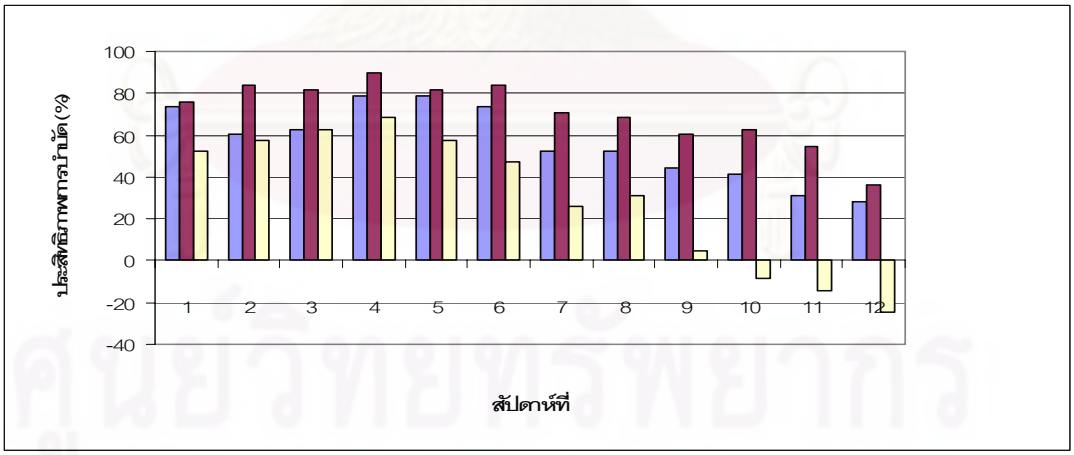
ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง

ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(8) ซีโอดี (COD)

ซีโอดีเป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งทั้งซีโอดีและบีโอดีต่างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ค่าซีโอดีไม่สามารถจะบอกได้ถึงความยากง่ายในการย่อยสลายทางชีวภาพ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543; คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545) สำหรับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยซีโอดี เท่ากับ 940.67, 210.11 และ 60.44 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยซีโอดีต่ำลง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยซีโอดีอยู่ในช่วง 214.67-921.33, 28.67-206.67 และ 16.00- 64.67 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9 และตารางที่ ค 8) ทั้งนี้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าซีโอดีต่ำลงเนื่องจากกระบวนบำบัดสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งในน้ำชะมูลฝอยสามารถบำบัดได้โดยการตกตะกอน ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ซึ่งแหล่งออกซิเจนที่สำคัญคือ การส่งผ่านจากรากพืชและบรรยากาศ (สุธาสินี ภู่มุสิก, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 15.07-84.77 และ 11.76-86.36 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางที่ ค 13) โดยมีแนวโน้มว่าโดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ในน้ำชะมูลฝอยดิบ แต่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว ส่วนน้ำคลองไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.3) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช (มีค่าเฉลี่ย 11.76-86.36 และ 0.73-67.34 % ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกลำเลียงออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและบรรยากาศส่งผ่านไปยังรากได้ จึงมีส่วนช่วยในกระบวนบำบัดสารอินทรีย์ทำให้ค่าซีโอดีต่ำลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xia และคณะ (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกันสองระดับ คือน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูงและต่ำ ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้น 1120.10 และ 246.00 mg/l ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นเวลา 66 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 69.00 และ 61.90 % ตามลำดับ แต่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการ

บำบัดซีโอดีเพียง 33.70 และ 29.10 % ตามลำดับ และ Liao และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้น 825.63 mg/l โดยปลูกหญ้าแฝกให้ลอยบนแผ่นโฟมเป็นเวลา 4 วัน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 64.40 % ขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 56.5 %

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วง 14.25-77.18, 11.16-86.36 และ 0.73-73.53 %ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางที่ ค 13) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.3) จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบและน้ำคลอง ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของทุกชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าสูงสุดอาจเนื่องจาก น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณของแข็งแขวนลอย (ที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์) ต่ำกว่าน้ำชะมูลฝอยดิบ จึงใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำต่ำ แต่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่ำสุด อาจเป็นเพราะน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าซีโอดีต่ำ เนื่องจากเป็นน้ำจากคลองธรรมชาติที่รองรับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทำให้น้ำชะมูลฝอยถูกเจือจาง ดังนั้นเมื่อผ่านการบำบัดจากชุดทดลองค่าซีโอดีจึงไม่ลดต่ำลงมาก (ภาพที่ 4.9) จากการศึกษาของสุทธิรักษ์ ตั้งเรืองเกียรติ (2548) ได้ทำการทดลอง 2 ระยะ โดยระยะที่ 1 ทดลองปลูกหญ้าแฝกลุ่มเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานนม โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานโคมไฟ และโรงงานหมึกพิมพ์ ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2,248-29,154 mg/l โดยปลูกหญ้าแฝกให้ลอยบนแผ่นโฟมเป็นเวลา 120 วัน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วง 55.61-92.90 % และระยะที่ 2 เป็นการปลูกหญ้าแฝกต่อเนื่องจากระยะที่ 1 โดยปลูกหญ้าแฝกชุดใหม่ในน้ำเสียทั้ง 4 ประเภท ที่ผ่านการบำบัดจากการทดลองในระยะที่ 1 ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้นอยู่ในช่วง 159.67-12,941 mg/l เป็นเวลา 120 วัน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ในช่วง 82.83-99.13 %

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

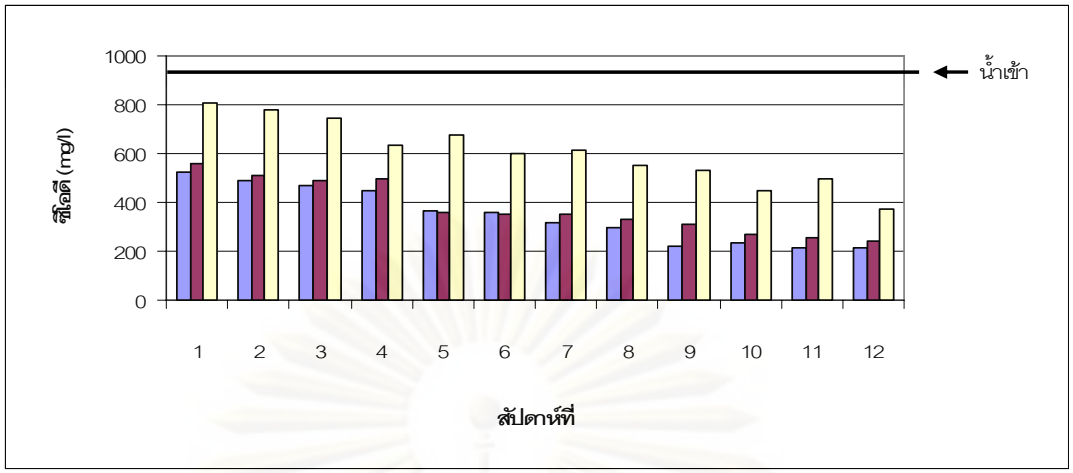
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	$^{a}52.23\pm3.19^{a}$	$^{a}68.82\pm3.23$	$^{a}77.04\pm10.21$
	สงขลา3	$^{a}47.56\pm2.07^{b}$	$^{a}64.71\pm2.37^{ab}$	$^{a}74.49\pm3.40^{b}$
	ควบคุม	$^{b}30.55\pm2.73^{ab}$	$^{b}41.18\pm2.66$	$^{b}60.31\pm2.89^{ab}$
TL	สุราษฎร์ธานี	$^{b}53.04\pm7.39^{a}$	$^{a}70.17\pm2.40$	$^{a}84.77\pm2.86$
	สงขลา3	$^{a}67.32\pm2.40^{a}$	$^{a}74.30\pm0.95^{a}$	$^{a}86.36\pm1.45^{a}$
	ควบคุม	$^{c}36.54\pm6.48^{a}$	$^{b}42.25\pm3.34$	$^{b}67.34\pm2.52^{a}$
CW	สุราษฎร์ธานี	$^{a}37.13\pm8.75^{b}$	$^{a}64.70\pm10.11$	$^{a}71.32\pm10.11$
	สงขลา3	$^{a}40.44\pm6.62^{b}$	$^{a}58.09\pm9.55^{b}$	$^{a}73.53\pm5.73^{b}$
	ควบคุม	$^{b}22.79\pm1.91^{b}$	$^{b}37.13\pm.3.31$	$^{b}53.67\pm8.75^{b}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

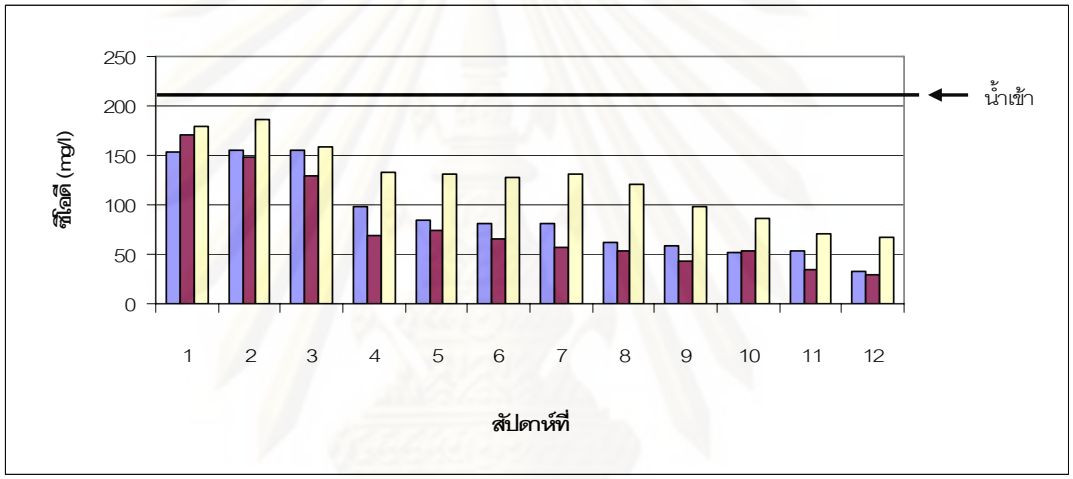
อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

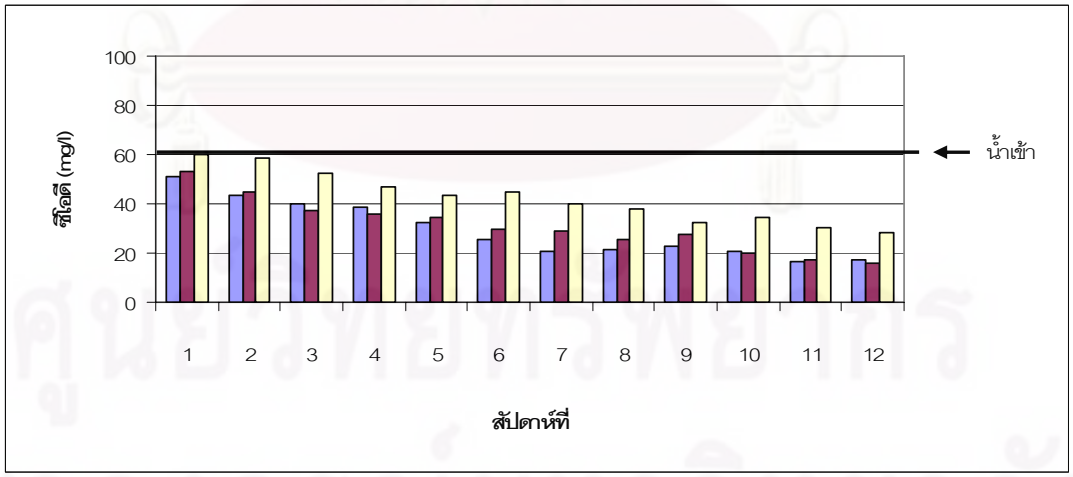
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

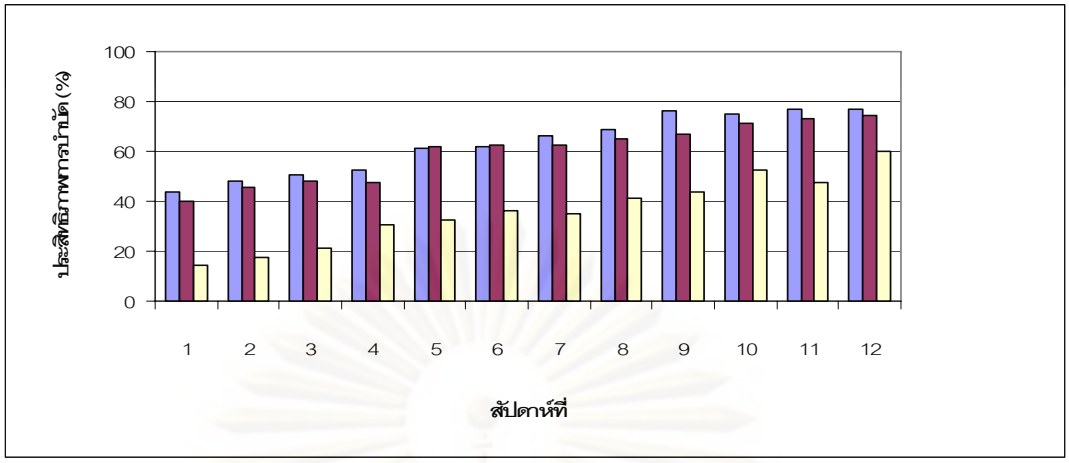


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

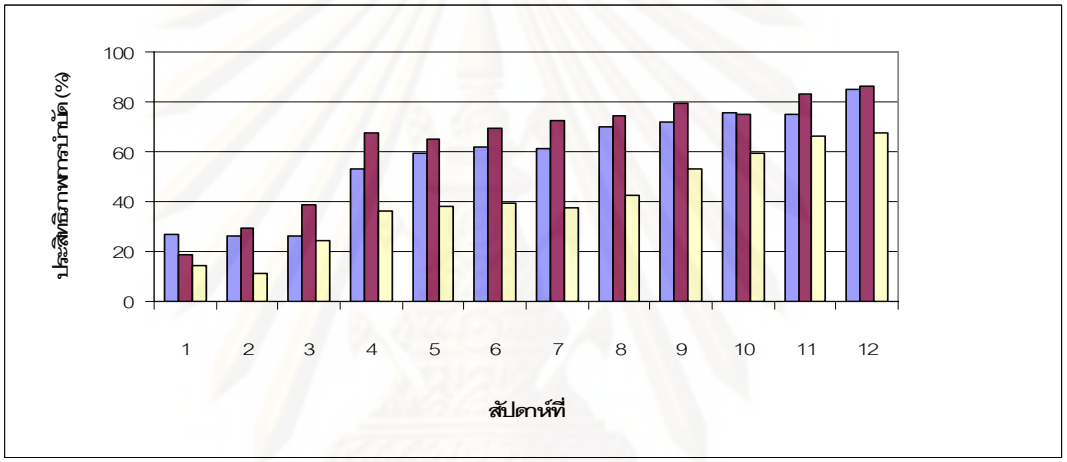


(ค) น้ำคลอง

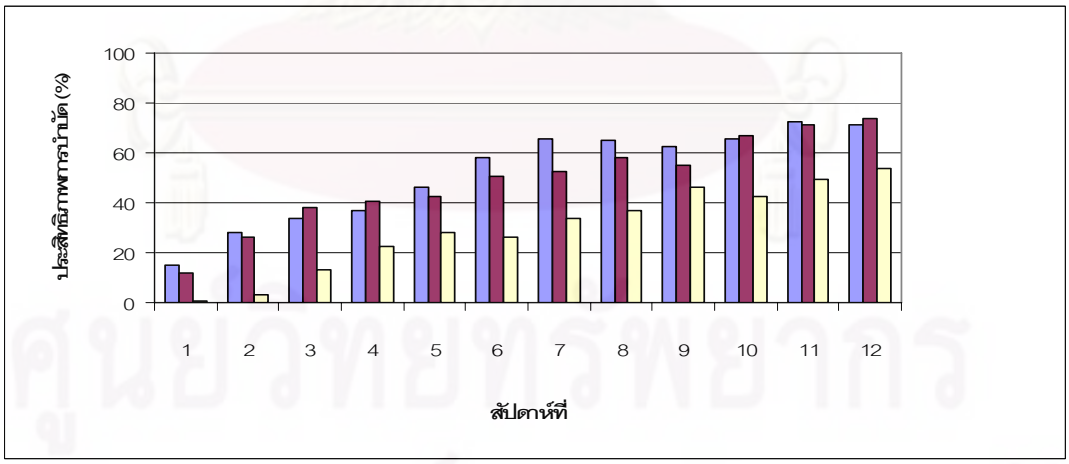
ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง

ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(9) ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)

ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen หรือ TKN) เป็นค่า ผลรวมของอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) น้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น เท่ากับ 219.30, 183.80 และ 19.56 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นต่ำลง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 37.30-196.83, 23.97-178.80 และ 0.63-17.50 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11 และตารางที่ ค 9) ทั้งนี้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า ทีเคเอ็นต่ำลง เนื่องจากสภาพการทดลองนี้มีออกซิเจน จึงคาดว่าเป็นผลจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) โดยอินทรียไนโตรเจนถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสามารถบำบัดโดยการระเหย (volatilization) การดูดดึงโดยพืชและการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ แล้วจึงเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์โดย nitrifying bacteria เปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจน ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยการดูดดึงของพืช นอกจากนี้ระบบยังเกิดจากการตกตะกอนของสารอินทรีย์ไนโตรเจนด้วย (Brix, 1993; Gray, 2000) และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 7 แอมโมเนียจะอยู่ในรูปที่ระเหยได้ง่าย ทำให้สูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซออกจากระบบจึงมีส่วนช่วยในการบำบัดไนโตรเจนด้วยเช่นกัน (Pezeshki และคณะ, 1997)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น 19.73-95.40 และ 19.95-96.76 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12 และตารางที่ ค 14) โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานีในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว ส่วนน้ำชะมูลฝอยดิบและน้ำคลอง ไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.4) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช (มีค่าเฉลี่ย 19.73-96.76 และ 18.19-93.01 % ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกมีการดูดดึงไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ คือ ไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบในเซลล์พืชหลายชนิด ได้แก่ กรดนิวคลิอิก กรดอะมิโน ชนิดต่าง ๆ โคเอ็นไซม์ รงควัตถุหลายชนิด ไวตามิน ฮอร์โมนบางชนิด และ

โปรตีน ซึ่งพืชต้องการปริมาณมากเพื่อนำไปใช้ในการสร้างใบ แตกหน่อและกอของหญ้าแฝก (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) สอดคล้องกับผลการศึกษาของมนต์ชัย จันทร์ศิริ (2548) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำชุมชน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น 21.20-26.29 % แต่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น 19.03 %

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 24.79-82.99, 18.19-86.96 และ 50.56-96.76 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12 และตารางที่ ค 14) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.4) โดยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลอง รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ ทั้งนี้การที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุดนั้น อาจเนื่องมาจากน้ำคลองที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นต่ำมากเมื่อเทียบกับน้ำชะมูลฝอยดิบและน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว หญ้าแฝกจึงดูดดึงไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่วนชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบนั้น เนื่องจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดีจึงดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝกที่พบว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีการสะสมไนโตรเจนในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ และประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของทุกชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ดารินทร์ แซ่ตั้ง (2551) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยศึกษาคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดในสัปดาห์ที่ 6, 10 และ 14 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 14 มีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 93.21 % และ Summerfelt และคณะ (1999) ที่ศึกษาใช้หญ้าแฝกที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดินและแบบไหลใต้ดินในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น 86-89 %

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

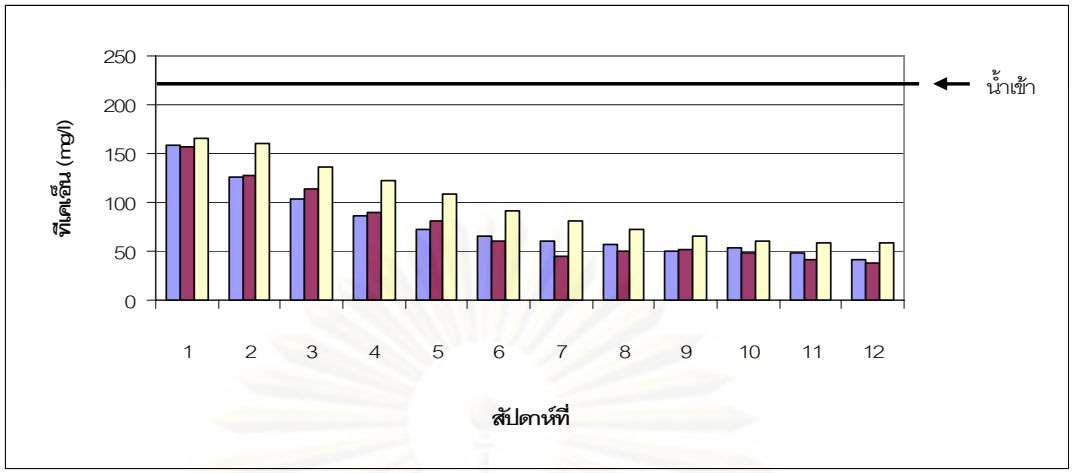
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	$^{a}61.01\pm2.18^{b}$	$^{a}74.84\pm4.34^{b}$	$^{a}81.05\pm0.82^{b}$
	สงขลา3	$^{a}58.90\pm1.17^{c}$	$^{a}77.58\pm0.46^{c}$	$^{a}82.99\pm1.10^{c}$
	ควบคุม	$^{b}44.47\pm1.17^{c}$	$^{b}66.94\pm2.05^{b}$	$^{b}73.54\pm1.39^{c}$
TL	สุราษฎร์ธานี	$^{b}64.33\pm0.32^{b}$	$^{a}78.49\pm1.52^{b}$	84.60 ± 6.57^{b}
	สงขลา3	$^{a}68.43\pm1.43^{b}$	$^{a}80.05\pm0.35^{b}$	86.96 ± 1.81^{b}
	ควบคุม	$^{c}54.35\pm1.61^{b}$	$^{b}66.65\pm8.70^{b}$	80.11 ± 4.50^{b}
CW	สุราษฎร์ธานี	$^{a}77.85\pm1.94^{a}$	$^{a}87.90\pm1.64^{a}$	$^{ab}95.40\pm2.71^{a}$
	สงขลา3	$^{a}75.12\pm1.06^{a}$	$^{a}88.41\pm1.80^{a}$	$^{a}96.76\pm0.59^{a}$
	ควบคุม	$^{b}71.93\pm2.42^{a}$	$^{b}78.19\pm1.80^{a}$	$^{b}93.01\pm1.06^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

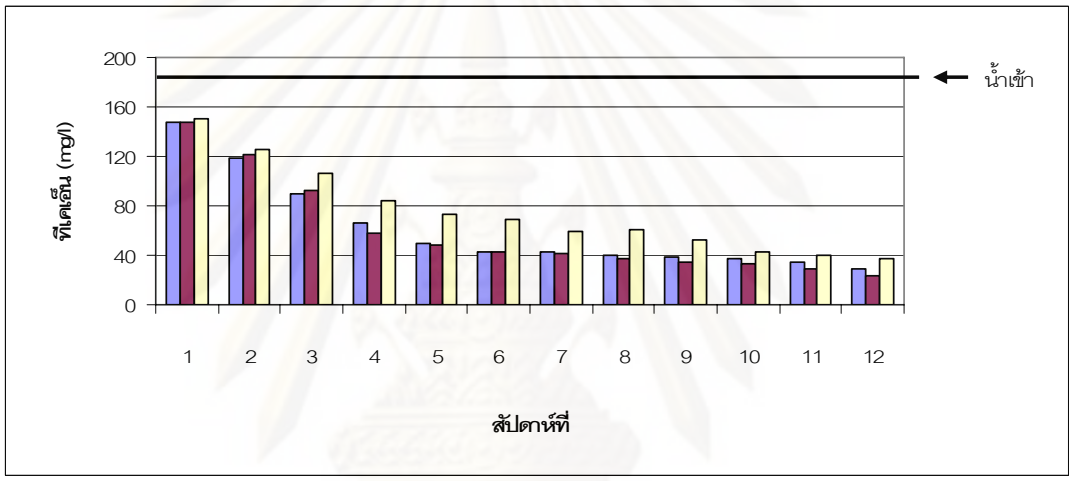
อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

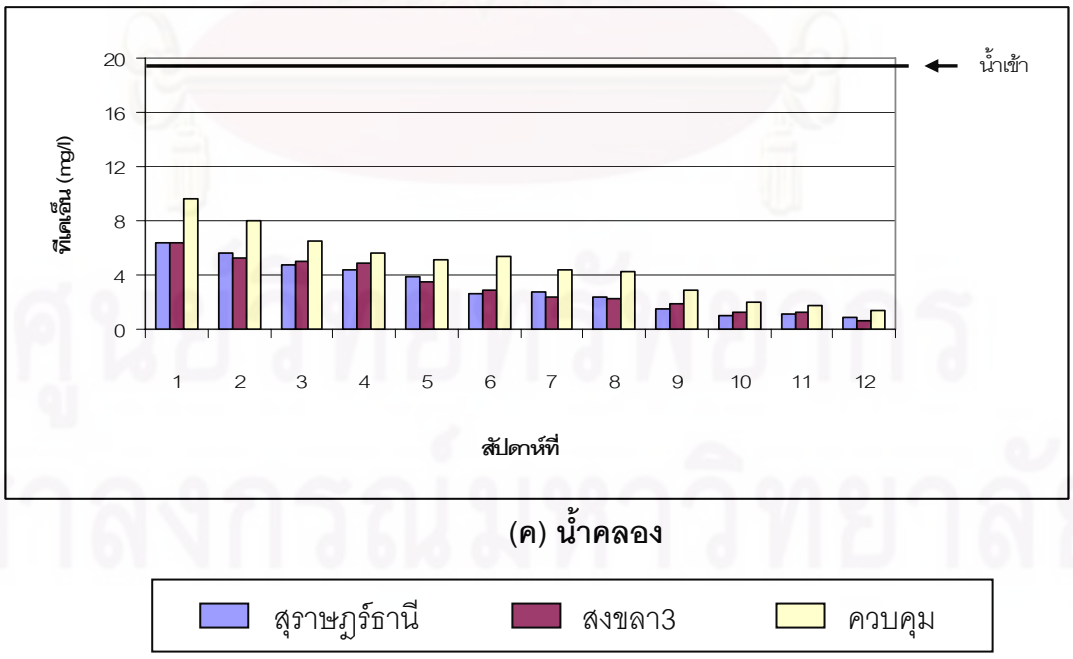
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

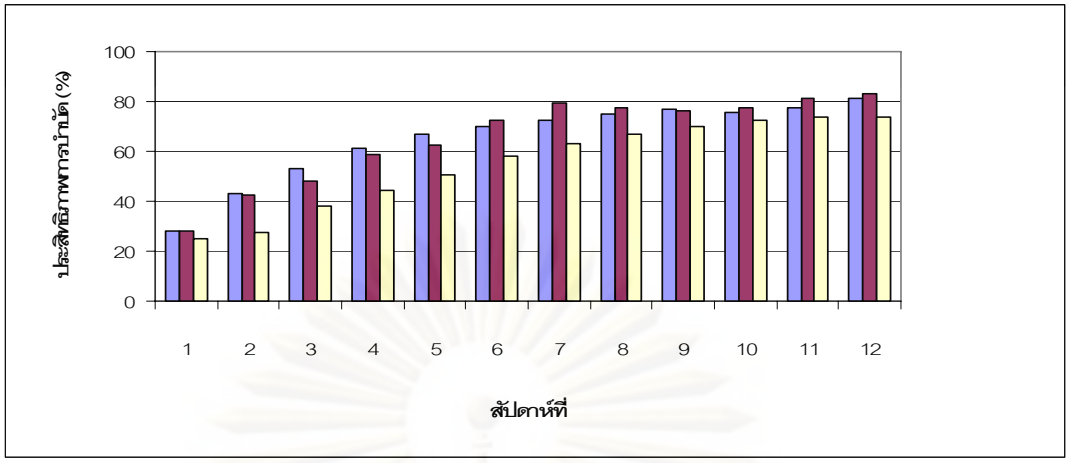


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

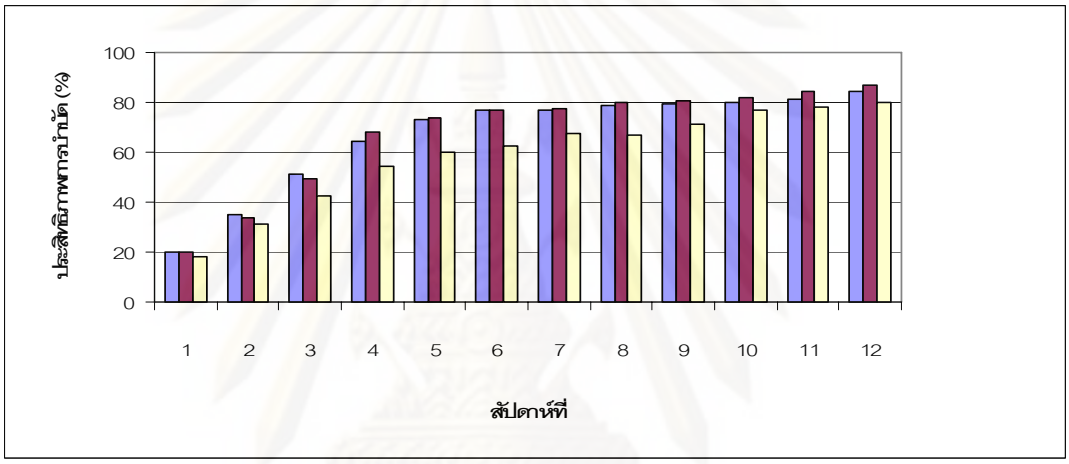


(ค) น้ำคลอง

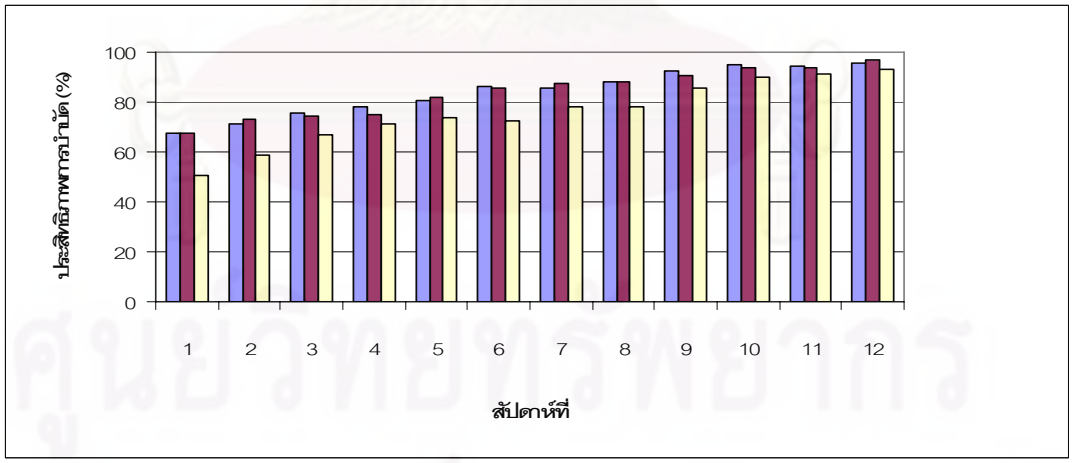
ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



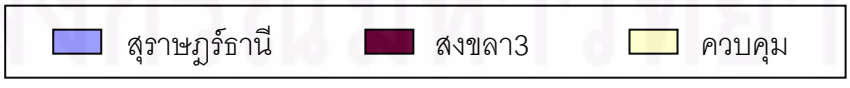
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง



ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(10) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)

ฟอสฟอรัสพบได้ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียซึ่งอยู่ในรูปฟอสเฟต เช่น ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate) โพลีฟอสเฟต (poly phosphate) และอินทรียฟอสเฟต (organic phosphate) ซึ่งอาจพบฟอสฟอรัสได้ทั้งในรูปสารละลาย สารแขวนลอย ตะกอนดินก้นบ่อ และในสิ่งมีชีวิตต่างๆ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) สำหรับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 12.75, 4.48 และ 2.53 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำลง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 2.28-11.67, 0.47-4.40 และ 0.31-2.37 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13 และตารางที่ ค 10)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 18.18-86.46 และ 24.90-89.58 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค 15) โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ในน้ำชะมูลฝอยดิบ ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช (มีค่าเฉลี่ย 18.18-89.58 และ 10.82-80.65 % ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกมีการดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์ที่สำคัญต่อพืช เช่น นิวคลิโอโปรตีน กรดไฟติก กรดนิวคลีอิก ฟอสฟอไลปิด และโคเอนไซม์บางชนิด เป็นองค์ประกอบของเมมเบรนในเซลล์ ที่มีบทบาทมากในด้านกระบวนการแมตาบอลิซึมของพลังงาน โดยเฉพาะองค์ประกอบของ ATP ADP และ NADP (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ดารินทร์ แซ่ตั้ง (2551) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 89.90 % แต่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 76.08 %

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.82-82.09, 11.83-89.58 และ 15.81-87.62 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค 15) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5) โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในสัปดาห์ที่ 12 (ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของทุกชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 90 % ทั้งนี้เพราะกลไกการบำบัดฟอสฟอรัสที่สำคัญ คือ การตกตะกอน (sedimentation) การตกตะกอนเคมี (precipitation) และการดูดซับ (adsorption) กับดินหรือตัวกลางอื่น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ใช้ดินประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจึงต่ำกว่าการทดลองทั่วไปที่มีดินเป็นตัวกลาง (Kadlec, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับ Peter (1997) กล่าวว่า ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ดินเป็นตัวกลางสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่า 90 % ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วราพร เกียรศิริอนันต์ (2550) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มไก่ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 41.15 % และฐิติณัฏฐ์ ศักรานุกิจ (2549) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชนภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 34.86 % และ Kong และคณะ (2003) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 59-85 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

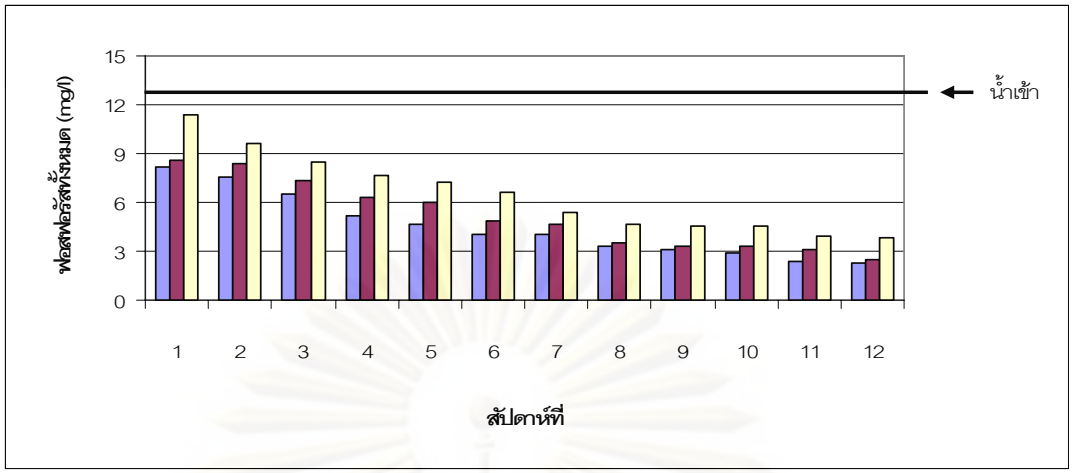
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	^{a}59.74±3.54^{a}	^{a}73.80±2.08	82.90±6.30
	สงขลา3	^{b}50.64±3.51	^{a}72.55±3.59	80.13±4.08
	ควบคุม	^{c}39.82±3.83	^{b}63.35±5.56^{a}	69.67±7.42
TL	สุราษฎร์ธานี	^{ab}43.45±11.62^{b}	65.48±10.31	^{ab}86.46±3.41
	สงขลา3	^{a}48.66±4.46	67.56±4.15	^{a}89.58±4.65
	ควบคุม	^{b}30.06±4.65	57.37±5.20^{ab}	^{b}80.65±1.29
CW	สุราษฎร์ธานี	^{a}42.03±6.44^{b}	^{a}65.35±14.44	82.35±13.88
	สงขลา3	^{a}44.53±5.40	^{a}69.70±2.28	87.62±6.04
	ควบคุม	^{b}29.12±7.09	^{b}47.17±4.94^{b}	74.97±6.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

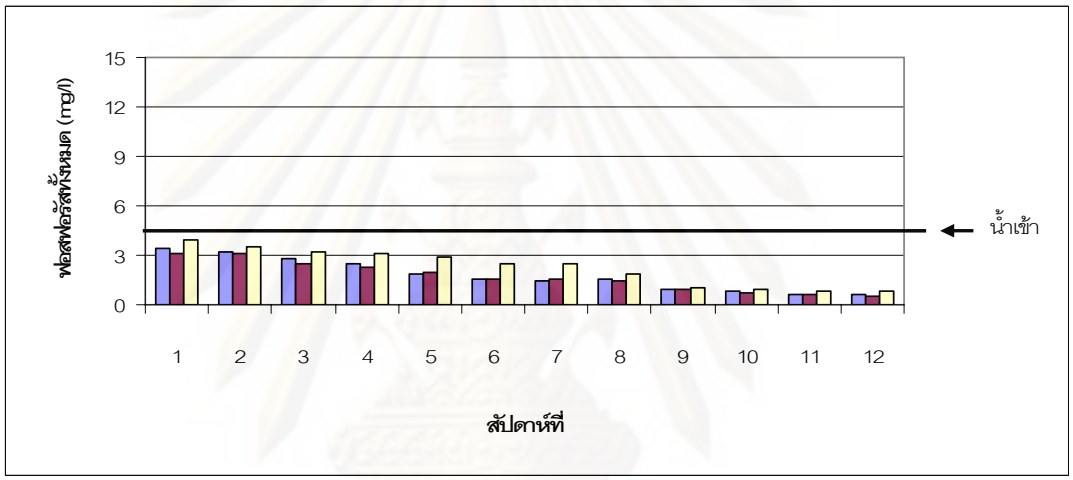
อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

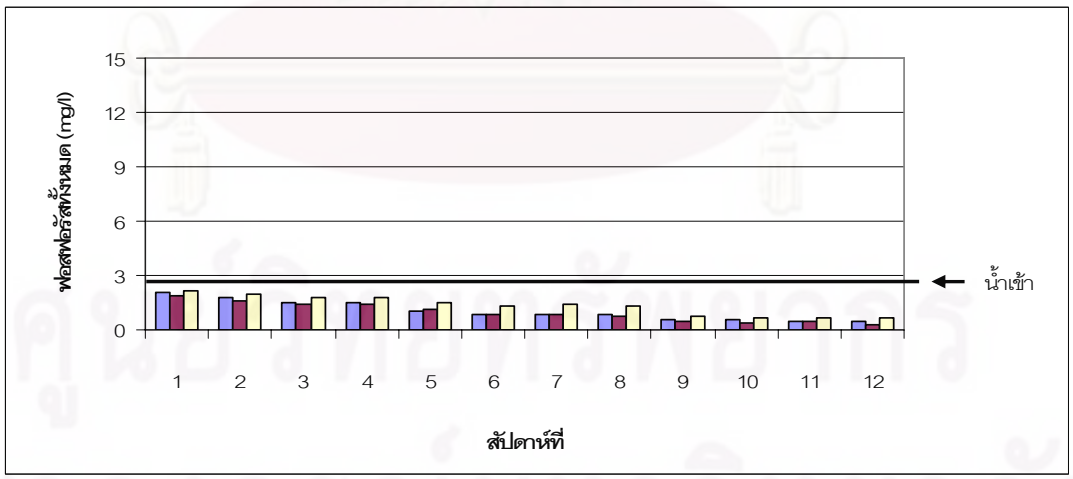
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

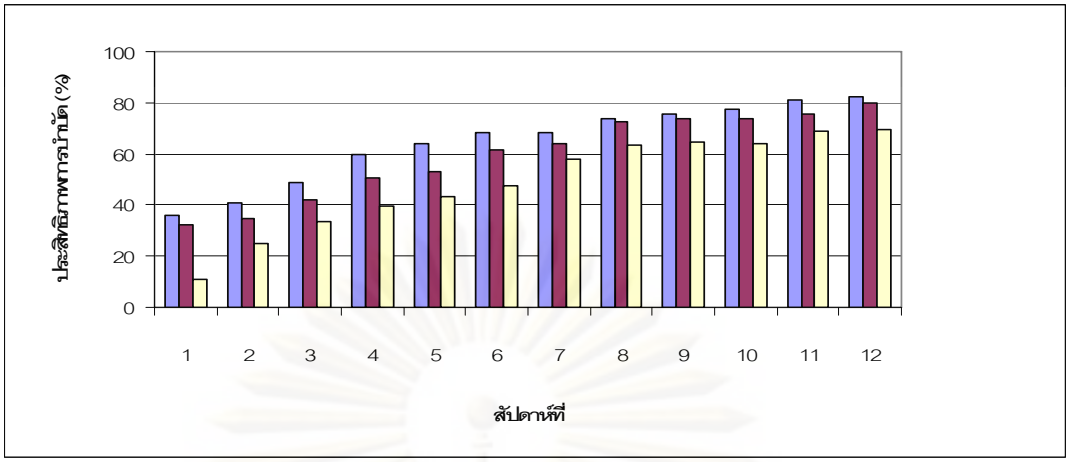


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

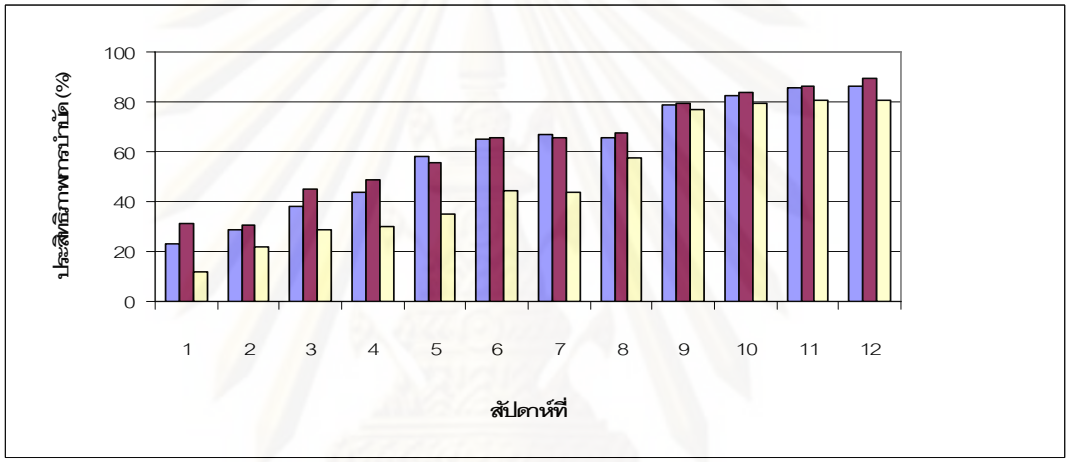


(ค) น้ำคลอง

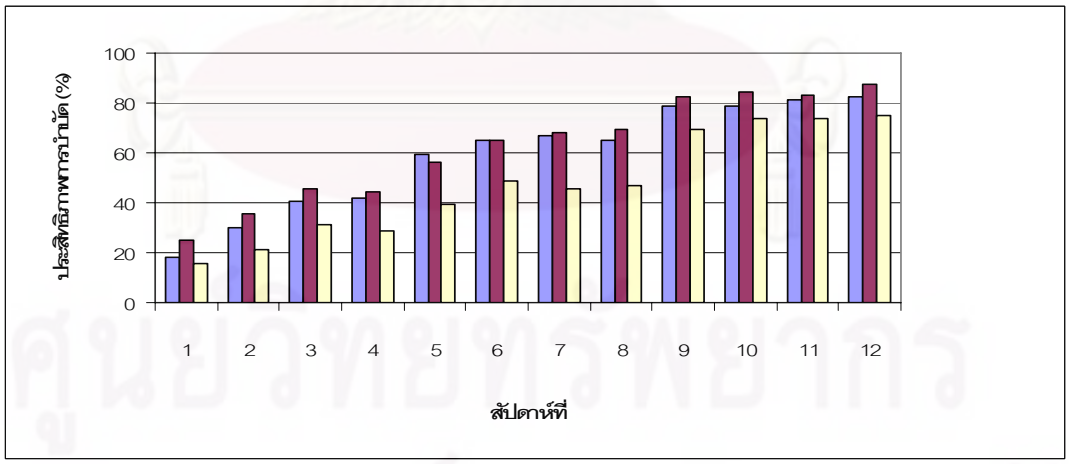
ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง

ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(11) คลอไรด์ (chloride)

คลอไรด์พบอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ ทั้งน้ำผิวดินและใต้ดินโดยเฉพาะบริเวณใกล้ปากแม่น้ำหรือที่น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึง นอกจากนี้ยังพบคลอไรด์ได้ในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ โดยทั่วไปคลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่อาจใช้เป็นดรรชนีของความสกปรกในน้ำได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) สำหรับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยคลอไรด์ เท่ากับ 419.87, 1157.97 และ 154.95 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ภายหลังทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ พบว่าในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยคลอไรด์ทั้งหมดต่ำลง โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยคลอไรด์อยู่ในช่วง 349.89-449.86, 908.05-1082.99 และ 141.63-159.95 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.15 และตารางที่ ค 11)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ 1.61-18.70 และ 1.61-21.58 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.16 และตารางที่ ค 16) โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในในน้ำชะมูลฝอยดิบ ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.6) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืช (มีค่าเฉลี่ย 1.61-21.58 และ 0.00-13.96 % ตามลำดับ) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.6) ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกมีการดูดดึงคลอไรด์ไปใช้ในการเจริญเติบโต เพราะคลอไรด์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยา ส่งเสริมการเปลี่ยนรูปของไนเตรทและแอมโมเนียเป็นสารอินทรีย์ และเป็นองค์ประกอบของสารที่สำคัญหลายชนิดช่วยในการเจริญเติบโตของยอดและราก ตลอดจนสร้างน้ำตาลในพืช และรักษาสมดุลของน้ำ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ อยู่ในช่วง 1.19-16.67, 9.35-21.58 และ 0.00-8.71 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.16 และตารางที่ ค 16) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติในทุก 4 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.6) โดยพบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงสุด

รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลอง ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์มีค่าค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากคลอไรด์ไม่ใช่ธาตุอาหารหลักที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xia และคณะ (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกันสองระดับ คือน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูงและต่ำ ซึ่งมีค่าคลอไรด์เริ่มต้น 1,406.40 และ 812.00 mg/l ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นเวลา 66 วัน พบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ เท่ากับ 21.50 และ 7.90 % ตามลำดับ และวรินธร บุญยะโรจน์ (2549) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการรดน้ำชะมูลฝอยในดินที่มีการปลูกหญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา เป็นเวลา 140 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์เพียง 13-15 %

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

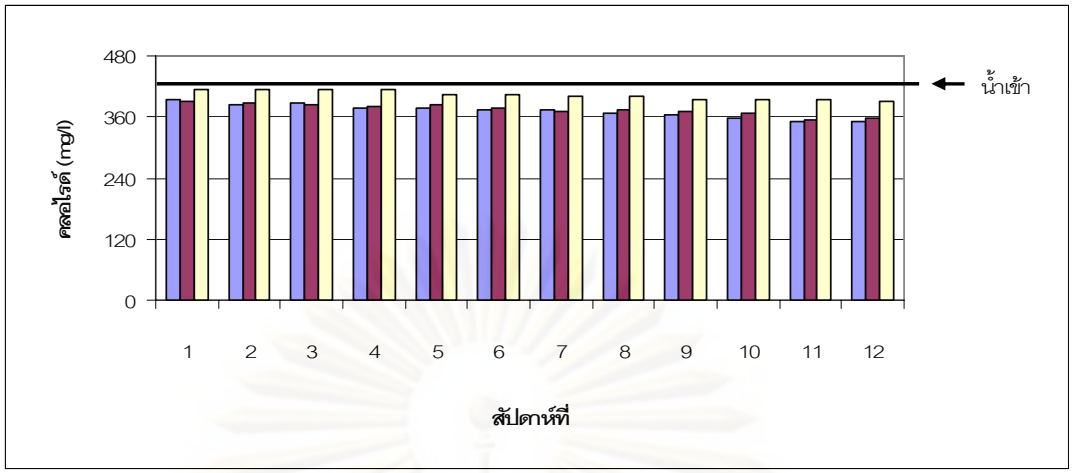
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	$^{a}9.92\pm0.69^{b}$	$^{a}12.31\pm3.77^{a}$	$^{a}16.67\pm0.00^{a}$
	สงขลา3	$^{a}9.13\pm3.64^{ab}$	$^{ab}11.11\pm4.96^{ab}$	$^{a}14.49\pm3.77^{b}$
	ควบคุม	$^{b}1.59\pm2.75^{b}$	$^{b}4.36\pm0.69^{ab}$	$^{b}6.75\pm1.38^{b}$
TL	สุราษฎร์ธานี	$^{a}14.39\pm1.24^{a}$	$^{ab}15.40\pm2.28^{a}$	$^{a}18.70\pm2.49^{a}$
	สงขลา3	$^{a}15.83\pm0.00^{a}$	$^{a}17.27\pm2.49^{a}$	$^{a}21.58\pm1.25^{a}$
	ควบคุม	$^{b}10.79\pm1.24^{a}$	$^{b}12.23\pm1.25^{a}$	$^{b}13.96\pm0.50^{a}$
CW	สุราษฎร์ธานี	4.30 ± 1.86^{c}	5.37 ± 1.86^{b}	7.64 ± 3.82^{b}
	สงขลา3	3.22 ± 6.45^{b}	6.45 ± 0.00^{b}	8.71 ± 1.96^{c}
	ควบคุม	1.08 ± 1.86^{b}	2.15 ± 7.45^{b}	3.22 ± 3.23^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

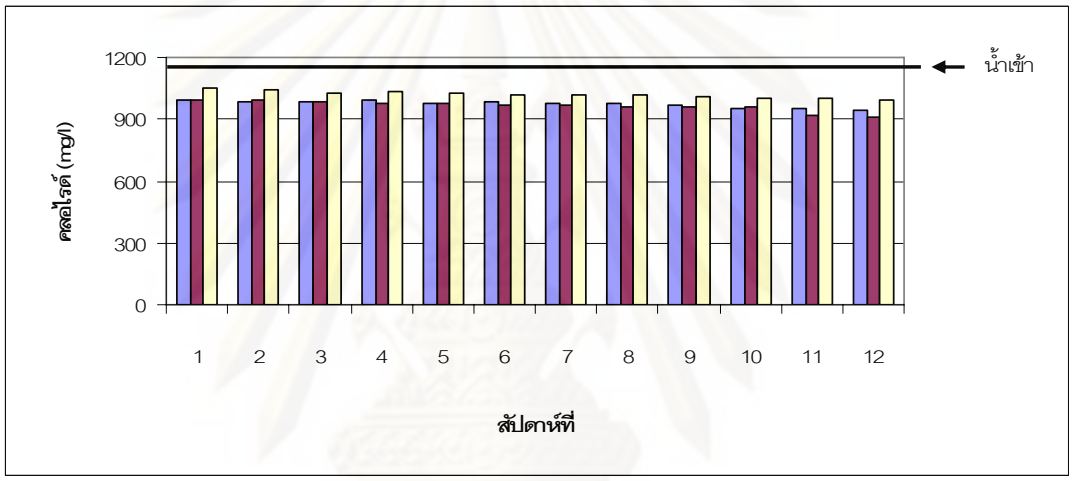
อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

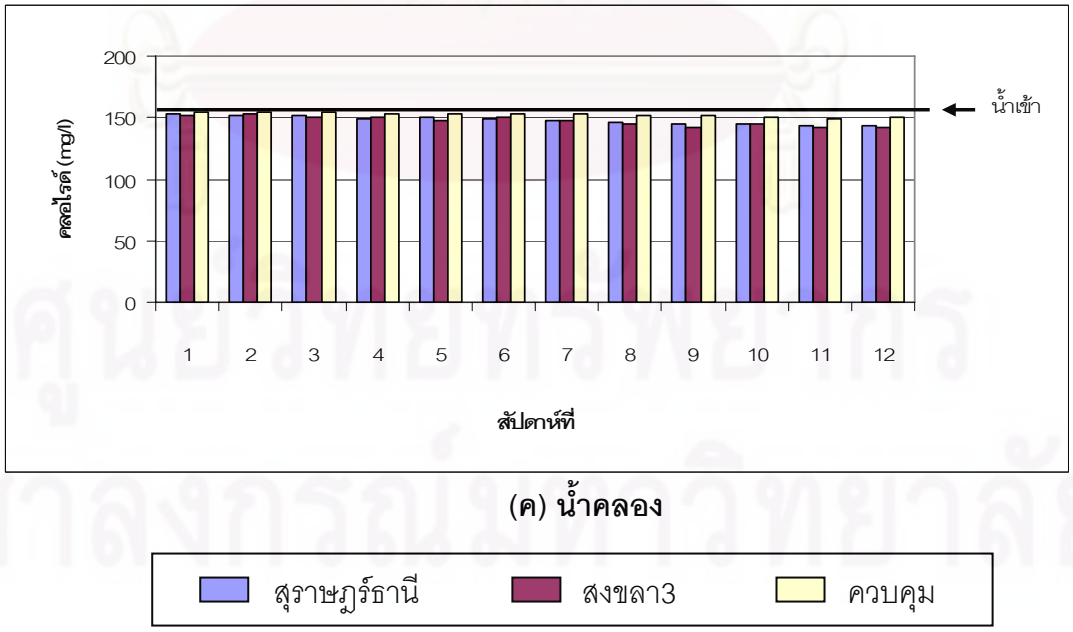
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ

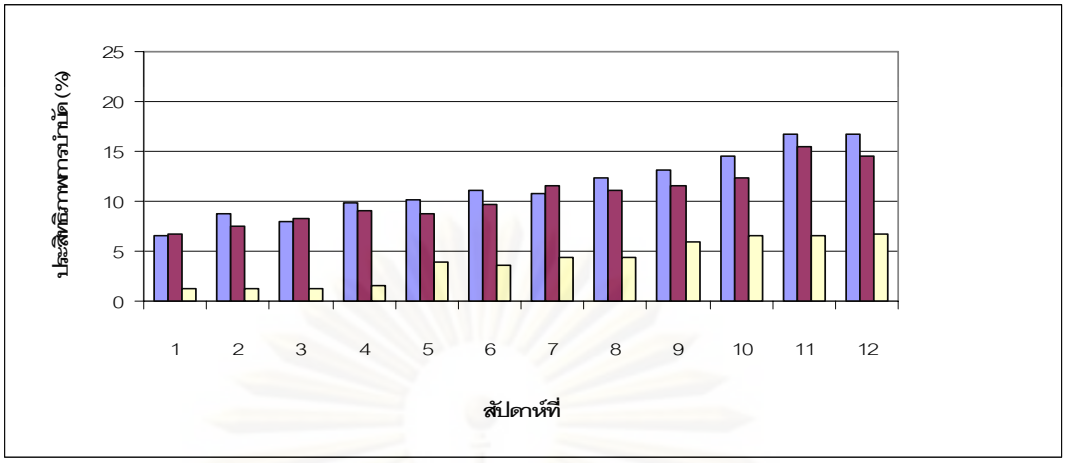


(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

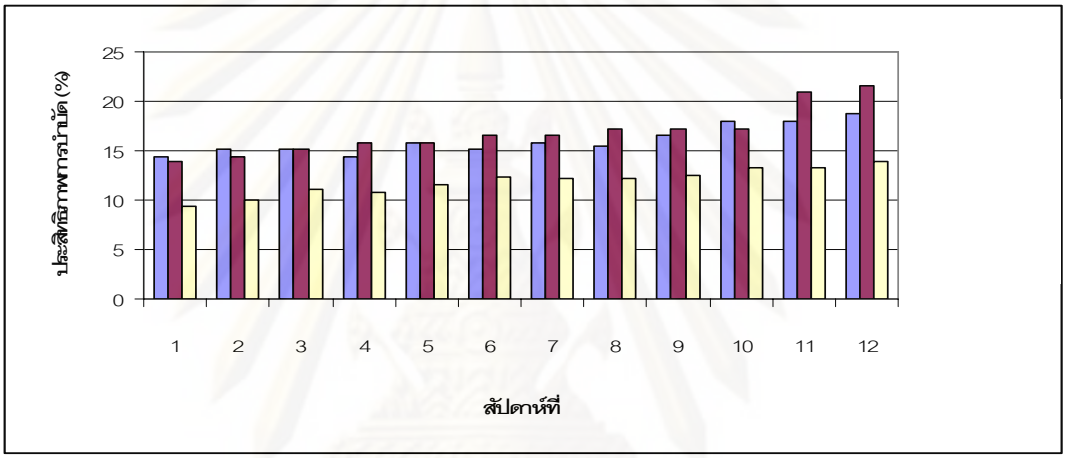


(ค) น้ำคลอง

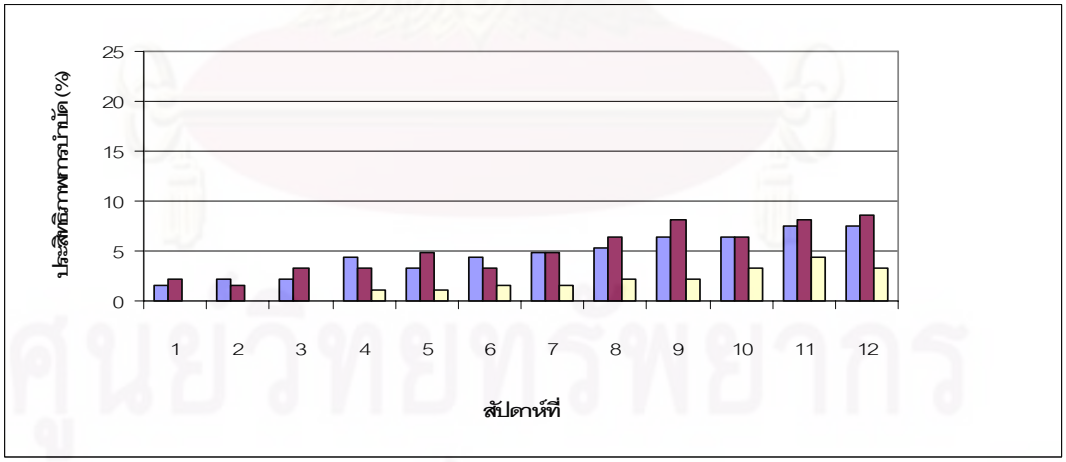
ภาพที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยคลอไรด์ของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



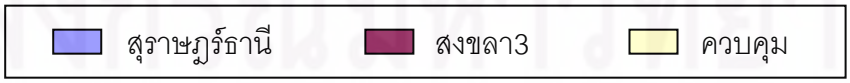
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง



ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

4.1.3 สรุปผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำ พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้นสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ให้มีค่าต่ำลงได้ ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย พบว่าโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าว สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชและส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยเทคนิคการปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำสามารถใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีการปนเปื้อนของของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ได้ โดยเฉพาะการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และทีเคเอ็น ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (เนื่องจากไม่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำชะมูลฝอย) (ตารางที่ ง 1) คือมีค่าไม่เกิน 50, 120 และ 100 mg/l ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 และ 4 ของการทดลอง ตามลำดับ และชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว สามารถบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และ 3 ของการทดลอง ตามลำดับ และสำหรับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 และหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น มีค่าผันแปรและมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 ชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์สูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 67.34-86.36, 80.65-89.58 และ 13.96-21.58 % ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95.76-98.19 % และชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93.01-96.76 %

4.2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การรอด การเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก

4.2.1 เปอร์เซ็นต์การรอด และการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

(1) เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก

ภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การรอดอยู่ในช่วง 74.67-100.00, 57.33-93.33, 42.67-80.00,40.31-73.67, 40.31-70.89 และ 38.92-70.89 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้การที่หญ้าแฝกสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะการทดลองซึ่งปลูกบนแพลอยน้ำ เนื่องจากรากของหญ้าแฝกมีโพรงอากาศ (air space) ทำหน้าที่เก็บกักก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีลักษณะคล้ายรากพืชน้ำ ทำให้รากของหญ้าแฝกทำงานได้ดีและดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2545) รวมทั้งหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 เป็นหญ้าแฝกลุ่มจึงมีการเจริญเติบโตในน้ำได้ดี และรากมีโพรงอากาศขนาดใหญ่จึงเก็บกักก๊าซออกซิเจนได้สูง

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การรอด อยู่ในช่วง 43.10-100.00 และ 38.92-100.00 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีเปอร์เซ็นต์การรอดในน้ำชะมูลฝอยดิบสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์การรอดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และพบว่าแนวโน้มของหญ้าแฝกทั้งสองพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การรอดลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าน้ำชะมูลฝอยมีความเป็นพิษต่อหญ้าแฝก สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Roongtanakiat และคณะ (2003) ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การรอด ความสูง และมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ที่รดด้วยน้ำชะมูลฝอยที่มีค่าซีโอดี บีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 13160, 6607 และ 3566 mg/l ตามลำดับ โดยใช้น้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้น 100, 70, 50 และ 0 % รดหญ้าแฝกเป็นเวลา 90 วัน พบว่าหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้น 100 % ไม่สามารถทนอยู่ได้ในเวลา 80 - 85 วันหลังการทดลอง แต่หญ้าแฝกที่ได้รับความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย 70, 50 และ 0 % มีความสูงและมวลชีวภาพสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การรอด อยู่ในช่วง 38.92-78.67, 65.33-92.00 และ 58.38-100.00 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงสุด รองลงมาคือชุด

ทดลองที่ได้รับน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงพอที่หญ้าแฝกดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโต และมีค่าซีโอดีไม่สูงมากนัก (ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดี เท่ากับ 183.80, 4.48 และ 210.11 mg/l ตามลำดับ) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kong และคณะ (2003) ซึ่งพบว่าหญ้าแฝกที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินในน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรสามารถทนอยู่ได้ในระดับความเข้มข้นของซีโอดีไม่เกิน 400 mg/l

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	เปอร์เซ็นต์การรอด (%)					
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	78.67± 2.31	60.00± 4.00	50.67± 2.31	48.65± 2.41	45.59± 4.17	43.09± 2.41
	สงขลา3	74.67± 2.31	57.33± 2.31	42.67± 2.31	40.31± 2.41	40.31± 2.41	38.92± 2.41
TL	สุราษฎร์ธานี	90.67± 2.31	74.67± 2.31	68.00± 4.00	66.72± 4.17	66.72± 4.17	65.33± 2.41
	สงขลา3	92.00± 4.00	80.00± 4.00	74.67± 2.31	72.28± 2.41	70.89± 4.17	70.89± 4.17
CW	สุราษฎร์ธานี	100.00± 0.00	92.00± 4.00	80.00± 4.00	72.28± 2.41	61.16± 2.41	58.38± 4.17
	สงขลา3	100.00± 0.00	93.33± 2.31	80.00± 4.00	73.67± 2.41	69.50± 2.41	61.16± 2.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) การแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก

ภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้นอยู่ในช่วง 0.25-0.53, 0.44-0.77, 1.00-1.50, 1.31-2.09, 1.52-2.20 และ 1.67-2.60 กอ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จะเห็นได้ว่าแนวโน้มจำนวนกอใหม่ต่อต้นของหญ้าแฝกสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้นของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้น อยู่ในช่วง 0.25-2.27 และ 0.36-2.60 กอ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จะเห็นได้ว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์มีจำนวนกอใหม่ต่อต้นใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีจำนวนกอใหม่ต่อต้นสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้น สอดคล้องกับผลการทดลองของมนต์ชัย จันทร์ศิริ (2548) ซึ่งทำการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 บนแพลอยน้ำ ในบ่อพีวีซีขนาด 0.85×1.55×0.50 เมตร พบว่า หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีแนวโน้มจำนวนกอใหม่สูงกว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกอใหม่ต่อต้นของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้น อยู่ในช่วง 0.25-1.72, 0.39-2.02 และ 0.39-2.60 กอ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองมีจำนวนกอใหม่ต่อต้นสูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาด้านประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอย ที่มีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลอง รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกที่มีการแตกกอใหม่จะมีความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง (มนพ รุ่งสุข, 2538) ดังนั้นหญ้าแฝกจึงดูดดึงไนโตรเจนได้สูง และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยสูงด้วย นอกจากนี้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบมีจำนวนกอใหม่ต่อต้นต่ำสุดอาจเนื่องมาจากในน้ำชะมูลฝอยดิบมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ ซึ่งส่งผลขัดขวางการทำงานของรากและมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก (ดิรก ทองอร่าม, 2546)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยจำนวนกอใหม่ต่อต้นของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	จำนวนกอใหม่ต่อต้น (กอ)					
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	0.25± 0.04	0.44± 0.05	1.00± 0.08	1.31± 0.12	1.52± 0.06	1.67± 0.04
	สงขลา3	0.36± 0.10	0.79± 0.07	1.13± 0.16	1.46± 0.14	1.59± 0.07	1.72± 0.14
TL	สุราษฎร์ธานี	0.40± 0.07	0.67± 0.03	1.23± 0.08	1.39± 0.07	1.67± 0.19	1.83± 0.21
	สงขลา3	0.39± 0.03	0.77± 0.12	1.28± 0.07	1.69± 0.15	1.88± 0.11	2.02± 0.11
CW	สุราษฎร์ธานี	0.39± 0.08	0.62± 0.04	1.36± 0.09	1.52± 0.09	1.88± 0.18	2.27± 0.11
	สงขลา3	0.53± 0.06	0.77± 0.09	1.50± 0.12	2.09± 0.28	2.20± 0.09	2.60± 0.24

(3) ความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝก

ภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่อยู่ในช่วง 5.24-14.41, 10.65-30.05, 14.26-48.64, 16.09-54.70, 18.44-60.06 และ 20.13-66.77 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.17) ซึ่งจะเห็นว่าความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ อยู่ในช่วง 5.78-53.27 และ 5.24-66.77 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.17) ซึ่งค่าความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกค่อนข้างผันแปร โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความยาวรากใหม่ในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีความยาวรากใหม่ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ อยู่ในช่วง 5.24-25.71, 12.76-66.77 และ 8.34-36.31 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.17) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีความยาวรากใหม่สูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก เนื่องจากในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงพอที่หญ้าแฝกดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโต และมีค่าซีโอดีไม่สูงมากนัก หญ้าแฝกจึงมีการเจริญเติบโตได้ดีเป็นผลให้มีความยาวรากใหม่สูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xia และคณะ (2000) ที่ทดลองปลูกหญ้าแฝกลุ่มโดยใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นต่างกันสองระดับ คือ น้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูง (ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดี เท่ากับ 1,125.00, 4.43 และ 1,120.10 mg/l) และความเข้มข้นต่ำ (ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดี เท่ากับ 293.80, 2.60 และ 246.00 mg/l) เป็นเวลา 66 วัน พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นต่ำมีการเจริญเติบโตในด้าน ความยาวราก ความสูง และมวลชีวภาพสูงกว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นสูง เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยความเข้มข้นต่ำมีปริมาณธาตุอาหารสูงพอที่หญ้าแฝกดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโต และมีค่าซีโอดีไม่สูงมากนักที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อหญ้าแฝก

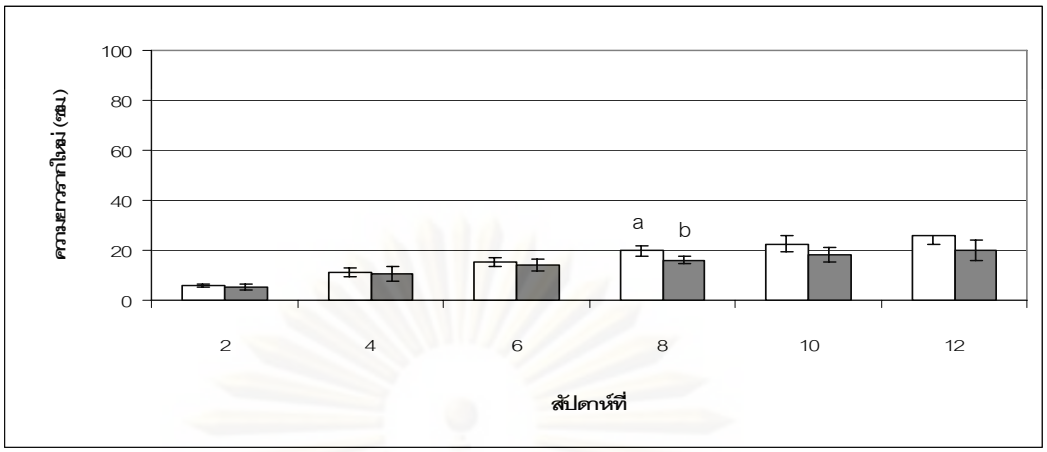
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

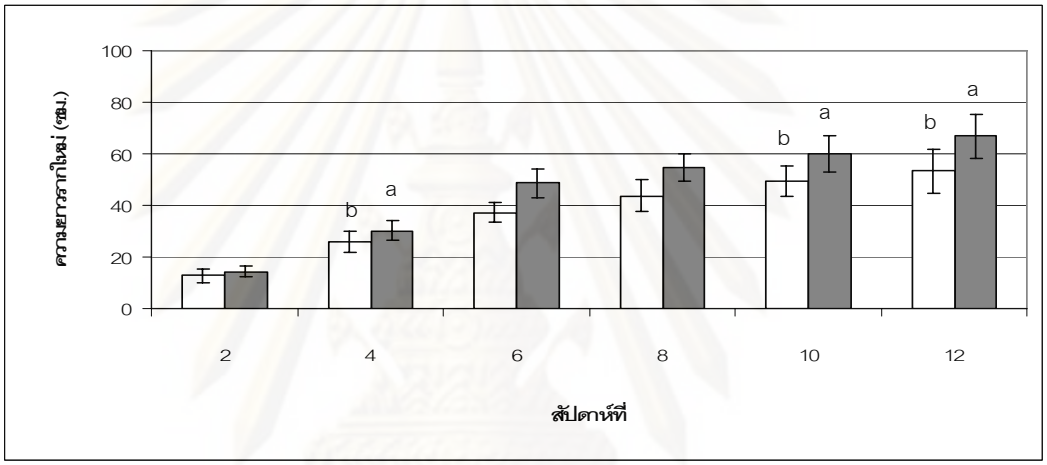
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ความยาวรากใหม่ (เซนติเมตร)					
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	5.78± 0.57^{b}	11.32± 1.82^{b}	15.30± 1.71^{b}	^{a}19.76± 1.88^{b}	22.46± 3.11^{b}	25.71± 3.61^{b}
	สงขลา3	5.24± 1.01^{b}	10.65± 2.75^{b}	14.26± 2.50^{b}	^{b}16.09± 1.65^{c}	18.44± 3.00^{b}	20.13± 4.07^{c}
TL	สุราษฎร์ธานี	12.76± 2.82^{a}	^{b}25.89± 4.25^{a}	37.28± 3.86^{a}	43.68± 6.08^{a}	^{b}49.55± 6.00^{a}	^{b}53.27± 8.48^{a}
	สงขลา3	14.41± 2.00^{a}	^{a}30.05± 3.80^{a}	48.64± 5.41^{a}	54.70± 5.46^{a}	^{a}60.06± 7.06^{a}	^{a}66.77± 8.40^{a}
CW	สุราษฎร์ธานี	8.34± 3.07^{ab}	13.08± 3.70^{b}	16.93± 3.67^{b}	22.98± 4.58^{b}	28.48± 5.56^{b}	32.16± 5.06^{b}
	สงขลา3	10.32± 4.14^{ab}	17.21± 4.69^{b}	22.47± 5.37^{b}	26.37± 5.37^{b}	31.14± 8.20^{b}	36.31± 8.57^{b}

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

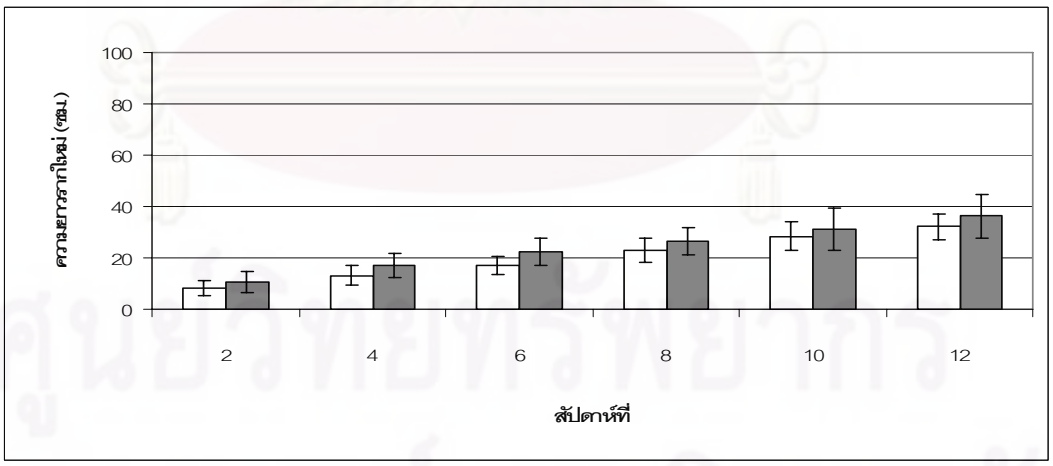
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



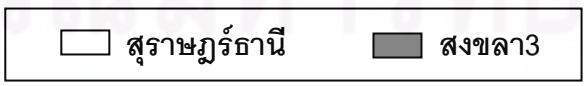
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

ภาพที่ 4.17 ความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(4) ความสูงของหญ้าแฝก

ความสูงของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 เมื่อเริ่มการทดลองได้ตัดให้มีค่าเท่ากัน คือ 20 เซนติเมตร และภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยความสูงเพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 27.35-44.90, 33.46-63.55, 37.02-74.32, 42.79-82.82, 47.61-89.41 และ 50.25-93.55 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ส่วนค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกมีแนวโน้มลดลง อยู่ในช่วง 7.35-24.90, 6.11-18.65, 3.56-12.91, 5.19-8.50, 4.31-6.59 และ 2.45-4.67 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.18) ซึ่งการเพิ่มพูนความสูงมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะในช่วงแรกหญ้าแฝกเพิ่งได้รับธาตุอาหารในน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองจึงมีการดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีความสูงและการเพิ่มพูนความสูง อยู่ในช่วง 29.42-85.67 และ 2.45-19.68 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูง อยู่ในช่วง 27.35-93.55 และ 2.64-24.90 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกค่อนข้างผันแปร โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูง อยู่ในช่วง 27.35-56.08 และ 2.64-9.40 เซนติเมตร ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูง อยู่ในช่วง 39.68-93.55 และ 3.20-24.90 เซนติเมตร ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลอง มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูง อยู่ในช่วง 34.78-81.25 และ 2.45-17.06 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงสูงสุด ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบ มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงรองลงมาตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณทีเคเอ็นสูง ทำให้หญ้าแฝกดูดดึงไปใช้จึง

ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นและใบ (Parker, 2000 อ้างถึงใน มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548) ขณะที่น้ำชะมูลฝอยดิบซึ่งมีปริมาณทีเคเอ็นสูงเช่นกัน แต่มีค่าซีโอดีสูงและปริมาณออกซิเจนละลายต่ำจึงมีผลกระทบทางลบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ทำให้ความสูงและการเพิ่มพูนความสูงมีค่าต่ำสุด

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ความสูง (เซนติเมตร)					
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	29.42± 4.51	36.68± 7.23^{b}	40.87± 7.65^{b}	46.06± 8.03^{b}	^{a}51.41± 7.24^{b}	56.08± 9.70^{b}
	สงขลา3	27.35± 6.55	33.46± 6.59^{b}	37.02± 5.23^{b}	42.79± 6.88^{b}	^{b}47.61± 6.44^{b}	50.25± 4.21^{b}
TL	สุราษฎร์ธานี	39.68± 7.25	57.41± 10.23^{a}	69.53± 7.21^{a}	77.23± 5.80^{a}	82.47± 8.03^{a}	85.67± 8.10^{a}
	สงขลา3	44.90± 10.16	63.55± 8.00^{a}	74.32± 6.66^{a}	82.82± 9.09^{a}	89.41± 9.43^{a}	93.55± 11.92^{a}
CW	สุราษฎร์ธานี	34.78± 8.77	48.29± 8.13^{ab}	^{b}57.46± 9.42^{a}	64.74± 9.54^{a}	^{b}70.32± 11.69^{a}	^{b}72.77± 12.03^{ab}
	สงขลา3	37.06± 8.91	52.82± 8.46^{a}	^{a}65.73± 7.12^{a}	73.49± 9.25^{a}	^{a}77.80± 10.70^{a}	^{a}81.25± 9.98^{a}

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
ความสูงของหญ้าแฝกเริ่มต้นเท่ากับ 20 เซนติเมตร

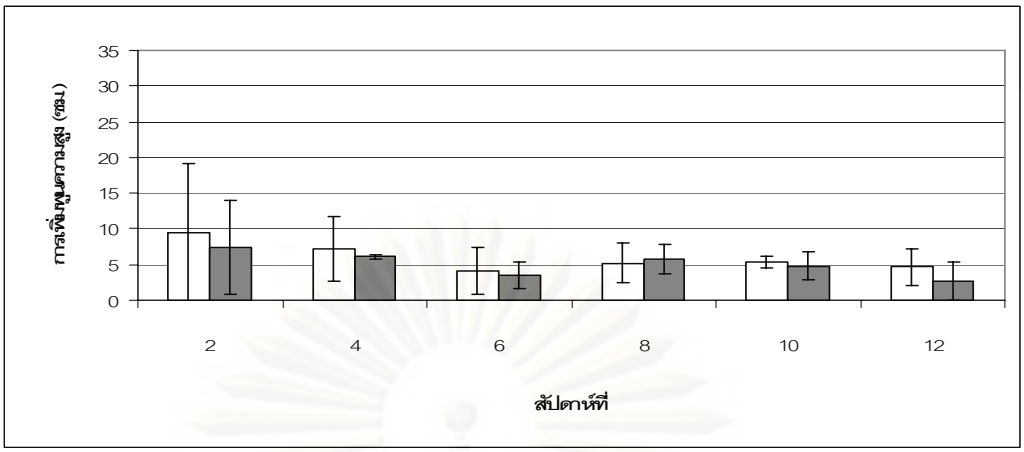
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

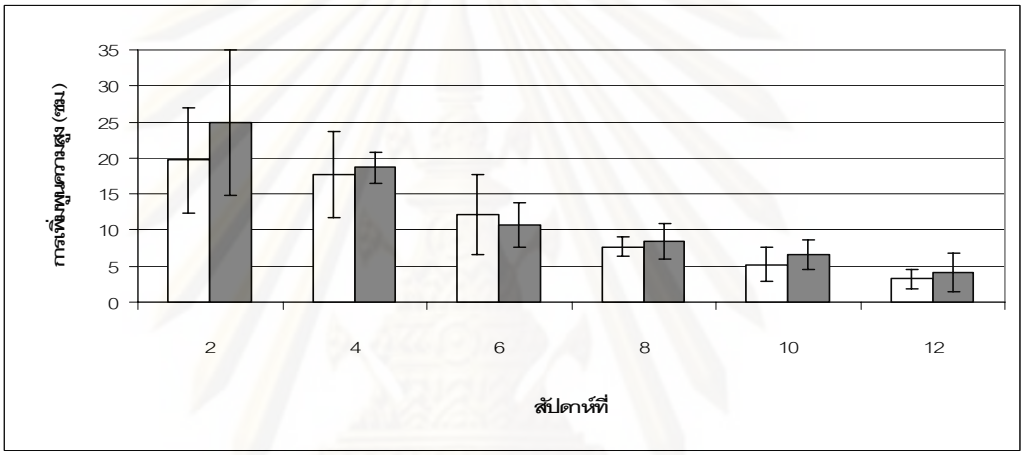
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	การเพิ่มพูนความสูง (เซนติเมตร)					
		สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	9.42± 9.70	7.26± 4.51[b]	4.19± 3.31	5.19± 2.79	5.35± 0.79	4.67± 2.62
	สงขลา3	7.35± 6.55	6.11± 0.34[b]	3.56± 1.84[b]	5.77± 2.14	4.82± 1.98	2.64± 2.70
TL	สุราษฎร์ธานี	19.68± 7.25	17.73± 5.91[a]	12.12± 5.61	7.70± 1.42	5.24± 2.30	3.20± 1.42
	สงขลา3	24.90± 10.16	18.65± 2.24[a]	10.77± 3.08[a]	8.50± 2.47	6.59± 2.02	4.14± 2.67
CW	สุราษฎร์ธานี	14.78± 8.77	13.51± 1.13[ab]	9.17± 4.67	7.28± 1.14	5.58± 2.36	2.45± 0.34
	สงขลา3	17.06± 8.91	15.76± 3.58[a]	12.91± 1.61[a]	7.76± 3.48	4.31± 1.60	3.45± 1.08

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

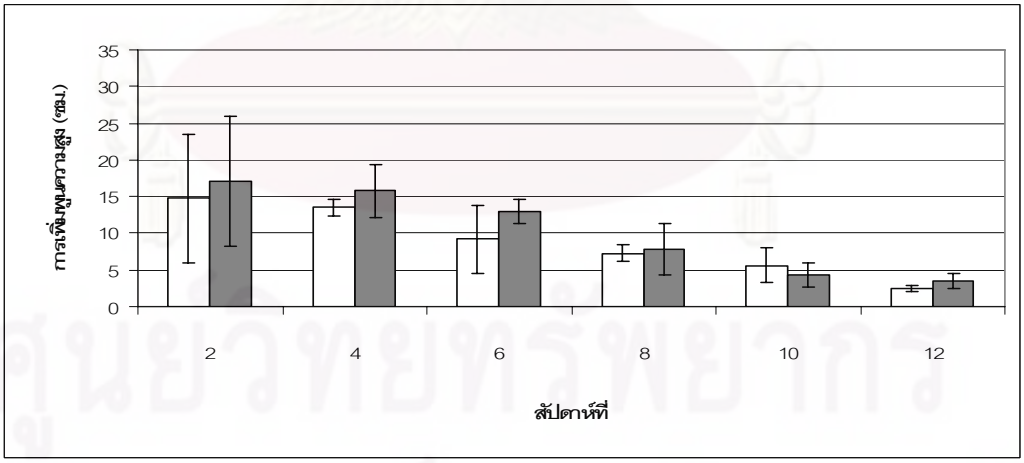
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



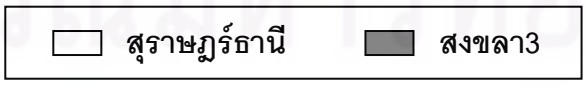
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ



(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว



(ค) น้ำคลอง



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก

ภาพที่ 4.18 การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(5) มวลชีวภาพของหญ้าแฝก

มวลชีวภาพส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 เมื่อเริ่มการทดลองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.93 และ 1.09 กรัม ตามลำดับ และส่วนรากมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.25 และ 0.32 กรัม ตามลำดับ และภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.64-3.14 และ 2.84-3.97 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.77-1.66 และ 1.04-2.47 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้การที่หญ้าแฝกมีมวลชีวภาพสูงขึ้นทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก เพราะน้ำชะมูลฝอยที่เข้าชุดทดลองมีปริมาณธาตุอาหารสูง หญ้าแฝกจึงดูดดึงธาตุอาหารในน้ำชะมูลฝอยไปใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ ธนียา เจติยานุกรกุล (2539) ซึ่งได้ทดลองใช้น้ำเสียชุมชนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนมรดหญ้าแฝก พบว่า หญ้าแฝกที่ได้รับน้ำเสียทั้ง 2 ประเภท มีมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก สูงกว่าหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำประปา สำหรับการเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนต้นและใบของหญ้าแฝก ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 อยู่ในช่วง 1.55-2.05 และ 0.20-0.83 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.19) และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.38-1.34 และ 0.34-0.81 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.20) ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดลอง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 1.79-1.97 และ 0.36-0.72 กรัม ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.68-1.10 และ 0.37-0.77 กรัม ตามลำดับ หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.55-2.05 และ 0.20-0.83 กรัม ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.38-1.34 และ 0.34-0.81 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างผันแปร โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 1.55-1.77 และ 0.20-0.36 กรัม

ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.38-0.68 และ 0.34-0.37 กรัม ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.97-2.05 และ 0.72-0.83 กรัม ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 1.10-1.34 และ 0.79-0.81 กรัม ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 1.92-1.93 และ 0.55-0.79 กรัม ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.95-1.09 และ 0.40-0.46 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงสุด ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบ มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากรองลงมาตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความยาวรากใหม่ ความสูงและการเพิ่มพูนความสูงซึ่งมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการเพิ่มพูนมวลมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13) สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนรากต่อสัปดาห์ ได้ดังตารางที่ 4.14 โดยเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนราก อยู่ในช่วง 0.18-0.22 และ 0.09-0.16 กรัมต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 อยู่ในช่วง 0.15-0.24 และ 0.06-0.18 กรัมต่อสัปดาห์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนราก อยู่ในช่วง 0.15-0.18 และ 0.06-0.09 กรัมต่อสัปดาห์ ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว อยู่ในช่วง 0.22-0.24 และ 0.16-0.18 กรัมต่อสัปดาห์ ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลอง อยู่ในช่วง 0.21-0.22 และ 0.11-0.13 กรัมต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงสุด ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนราก รองลงมาตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	มวลชีวภาพของต้นและใบ (กรัม)			การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของต้นและใบ (กรัม)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	0.93±0.18	2.70±0.25	3.06 ± 0.23^{b}	1.77 ± 0.25^{n}	0.36 ± 0.23^{ข}
	สงขลา3	1.09±0.25	2.64 ± 0.12^{b}	2.84 ± 0.18^{b}	1.55 ± 0.12^{bn}	0.20 ± 0.18^{bข}
TL	สุราษฎร์ธานี	0.93±0.18	2.90 ± 0.15^{ข}	3.62 ± 0.29^{an}	1.97 ± 0.15^{n}	0.72 ± 0.29^{ข}
	สงขลา3	1.09±0.25	3.14 ± 0.15^{aข}	3.97 ± 0.31^{an}	2.05 ± 0.15^{an}	0.83 ± 0.31^{aข}
CW	สุราษฎร์ธานี	0.93±0.18	2.85±0.15	3.40 ± 0.21^{ab}	1.92 ± 0.15^{n}	0.55 ± 0.21^{ข}
	สงขลา3	1.09±0.25	3.02 ± 0.20^{aข}	3.72 ± 0.32^{an}	1.93 ± 0.25^{an}	0.70 ± 0.32^{abข}

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	มวลชีวภาพของราก (กรัม)			การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของราก (กรัม)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	0.25±0.08	$^{a}0.93\pm0.10^{bข}$	1.30 ± 0.18^{bn}	$^{a}0.68\pm0.10^{bn}$	0.37 ± 0.18^{ข}
	สงขลา3	0.32±0.10	$^{b}0.70\pm0.02^{b}$	1.04 ± 0.28^{c}	$^{b}0.38\pm0.02^{b}$	0.34±0.28
TL	สุราษฎร์ธานี	0.25±0.08	1.35 ± 0.15^{aข}	2.12 ± 0.24^{an}	1.10 ± 0.15^{a}	0.77±0.24
	สงขลา3	0.32±0.10	1.66 ± 0.20^{aข}	2.47 ± 0.32^{an}	1.34 ± 0.20^{an}	0.81 ± 0.32^{ข}
CW	สุราษฎร์ธานี	0.25±0.08	1.20 ± 0.21^{ab}	1.60 ± 0.25^{b}	0.95 ± 0.21^{ab}	0.40±0.25
	สงขลา3	0.32±0.10	1.41 ± 0.17^{aข}	1.87 ± 0.24^{bn}	1.09 ± 0.17^{an}	0.46 ± 0.24^{ข}

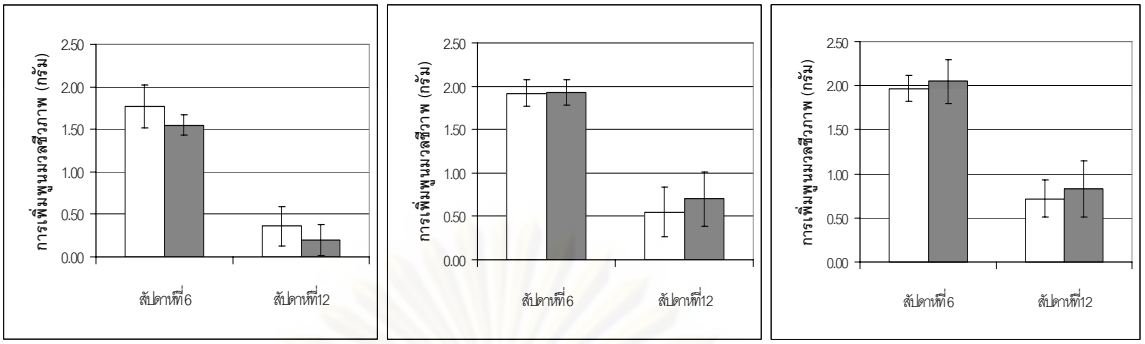
หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

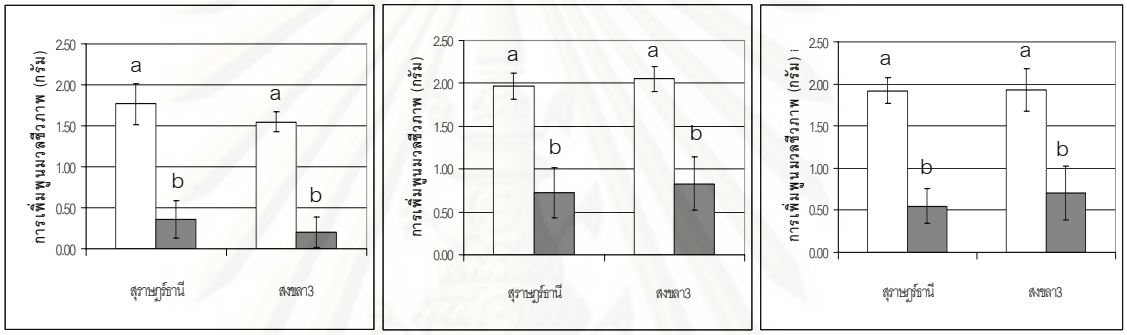
น้ำชะ มูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่อสัปดาห์ (กรัมต่อสัปดาห์)	
		ส่วนต้นและใบ	ส่วนราก
RL	สุราษฎร์ธานี	0.18±0.02	0.09±0.02
	สงขลา3	0.15±0.02	0.06±0.02
TL	สุราษฎร์ธานี	0.22±0.02	0.16±0.02
	สงขลา3	0.24±0.03	0.18±0.03
CW	สุราษฎร์ธานี	0.21±0.02	0.11±0.02
	สงขลา3	0.22±0.03	0.13±0.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



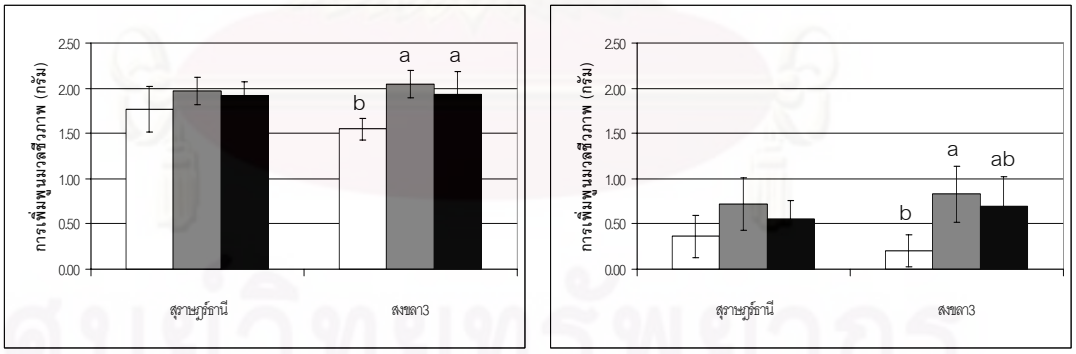
(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ (ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (ค) น้ำคลอง

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



(ง) น้ำชะมูลฝอยดิบ (จ) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (ฉ) น้ำคลอง

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



(ช) สัปดาห์ที่ 6 (ซ) สัปดาห์ที่ 12

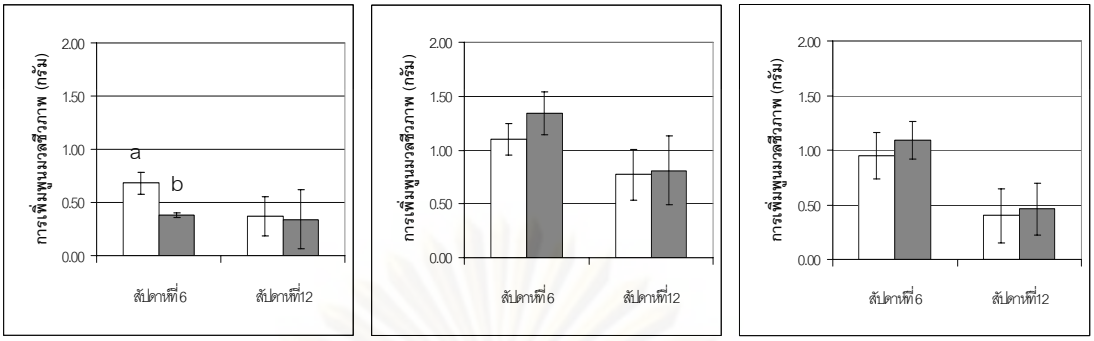
หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.19 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ

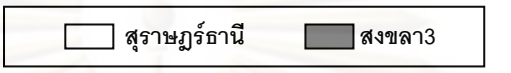
(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

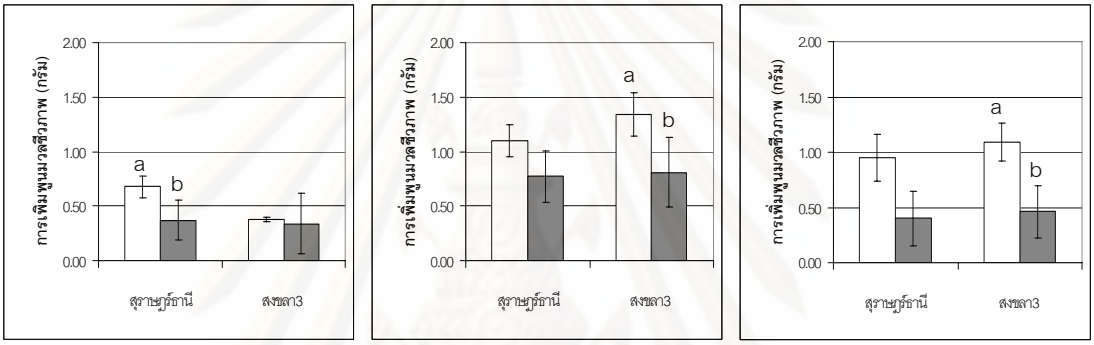
(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



(ก) น้ำชะมูลฝอยดิบ (ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (ค) น้ำคลอง

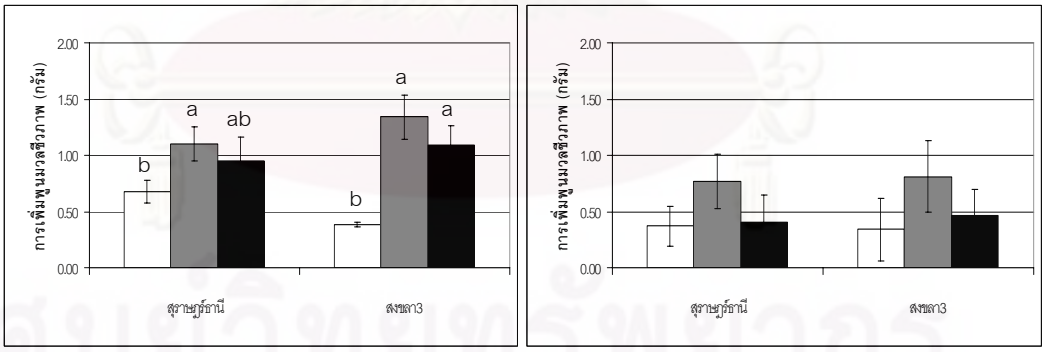


หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



(ง) น้ำชะมูลฝอยดิบ (จ) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (ฉ) น้ำคลอง

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



(ช) สัปดาห์ที่ 6 (ซ) สัปดาห์ที่ 12

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.20 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก

(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

4.2.2 ปริมาณและการสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝก

(1) ปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 เมื่อเริ่มการทดลองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.22 และ 6.41 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.63 และ 5.99 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนต้นและใบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.31-20.63 และ 9.52-24.72 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15) และส่วนรากอยู่ในช่วง 8.21-25.35 และ 10.32-29.17 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16) ทั้งนี้หญ้าแฝกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้นทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เข้าชุดทดลองมีปริมาณธาตุอาหารซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยเฉพาะเมื่อหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตทางด้านการแตกกอใหม่และการเพิ่มความสูง จะต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง (มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ดีจึงมีการเคลื่อนที่จากรากไปสู่ต้นและใบ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแมตาบอลิซึมเพื่อสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลิอิก คลอโรฟิลล์ ฮอร์โมนบางชนิด และสารประกอบอื่น ๆ ของพืช (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) โดย Oorschot (1994) กล่าวว่าผลผลิตของหญ้าแฝกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุอาหารที่หญ้าแฝกดูดดึงเข้าไป สำหรับการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดส่วนต้นและใบของหญ้าแฝก ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.65-14.22 และ 1.17-4.09 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.21) และส่วนรากมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.58-19.36 และ 2.11-3.82 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.22) ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของหญ้าแฝกทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดลอง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.65-8.94 และ 1.17-3.97 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 2.58-16.03 และ 2.11-3.24 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.09-14.22 และ 1.21-4.09 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 2.97-19.36 และ 2.50-3.82 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างผันแปร โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์

ธานีมีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 4.01-4.83 และ 2.68-2.87 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 7.39-11.04 และ 2.61-2.82 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 8.94-14.22 และ 3.97-4.09 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 16.03-19.36 และ 3.24-3.82 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.65-1.90 และ 1.17-1.21 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 2.58-2.97 และ 2.11-2.50 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีการสะสมไนโตรเจนทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงสุด ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบและน้ำคลอง มีการสะสมไนโตรเจนทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากรองลงมาตามลำดับ สอดคล้องกับสุทธิรักษ์ ตั้งเรืองเกียรติ (2548) ซึ่งกล่าวว่า หญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตทางด้านการเพิ่มพูนความสูงและมวลชีวภาพสูงสุด หญ้าแฝกจะมีการสะสมธาตุอาหารได้สูงสุด และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของต้นและใบ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)			การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของต้นและใบ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	7.22±0.98	^{a}12.05±1.00^{b}	^{a}14.92±1.54^{b}	^{a}4.83±1.00^{b}	2.87±1.54
	สงขลา3	6.41±0.72	^{b}10.42±1.17^{b}	^{b}13.10±1.30^{b}	^{b}4.01±1.17^{b}	2.68±1.30^{ab}
TL	สุราษฎร์ธานี	7.22±0.98	16.16±2.56^{a}	20.13±2.91^{a}	8.94±2.56^{a}	3.97±2.91^{b}
	สงขลา3	6.41±0.72	20.63±2.64^{a}	24.72±1.61^{a}	14.22±2.64^{a}	4.09±1.61^{a}
CW	สุราษฎร์ธานี	7.22±0.98	8.87±1.02^{b}	10.04±0.90^{c}	1.65±1.02^{b}	1.17±0.90
	สงขลา3	6.41±0.72	8.31±0.83^{b}	9.52±0.72^{c}	1.90±0.83^{b}	1.21±0.72^{b}

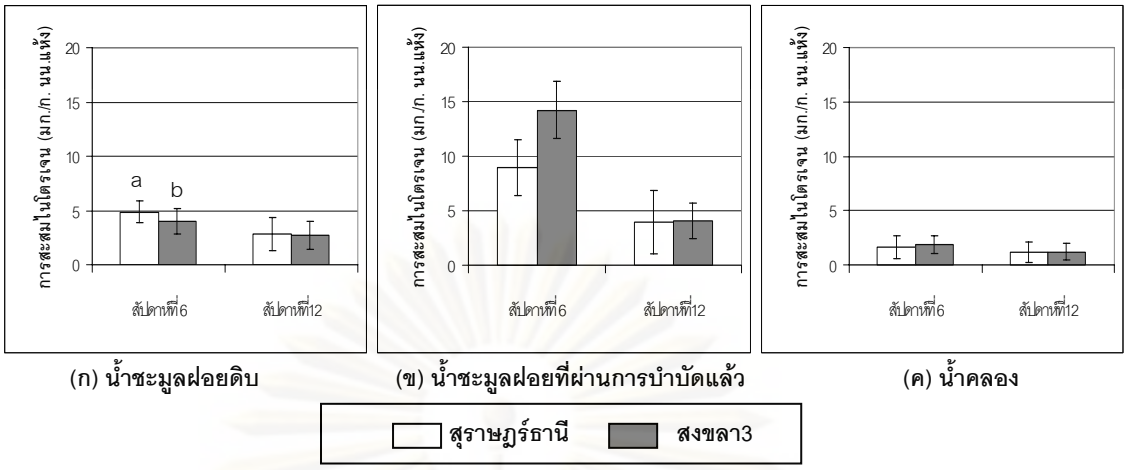
หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

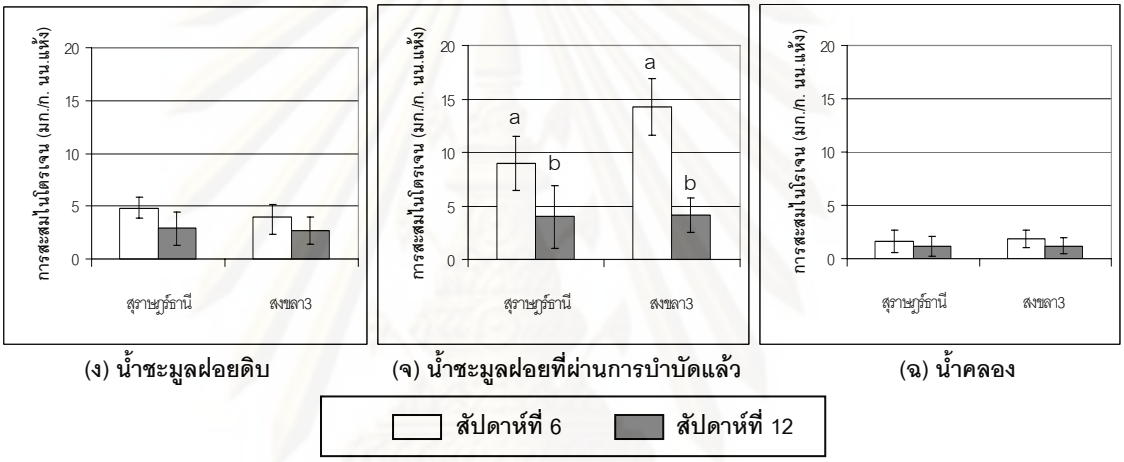
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของราก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)			การสะสมไนโตรเจนทั้งหมดของราก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	5.63±0.70	16.67±1.12^{b}	^{a}19.49±1.96^{b}	11.04±1.12^{b}	2.82±1.96^{b}
	สงขลา3	5.99±0.88	13.38±1.91^{b}	^{b}15.99±1.34^{b}	7.39±1.91^{b}	2.61±1.34
TL	สุราษฎร์ธานี	5.63±0.70	^{b}21.66±2.16^{a}	24.90±1.69^{a}	^{b}16.03±2.16^{a}	3.24±1.69^{b}
	สงขลา3	5.99±0.88	^{a}25.35±2.15^{a}	29.17±2.83^{a}	^{a}19.36±2.15^{a}	3.82±2.83^{b}
CW	สุราษฎร์ธานี	5.63±0.70	8.21±0.88^{c}	10.32±1.25^{c}	2.58±0.88^{c}	2.11±1.25
	สงขลา3	5.99±0.88	8.96±1.51^{c}	11.46±1.13^{c}	2.97±1.51^{c}	2.50±1.13

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

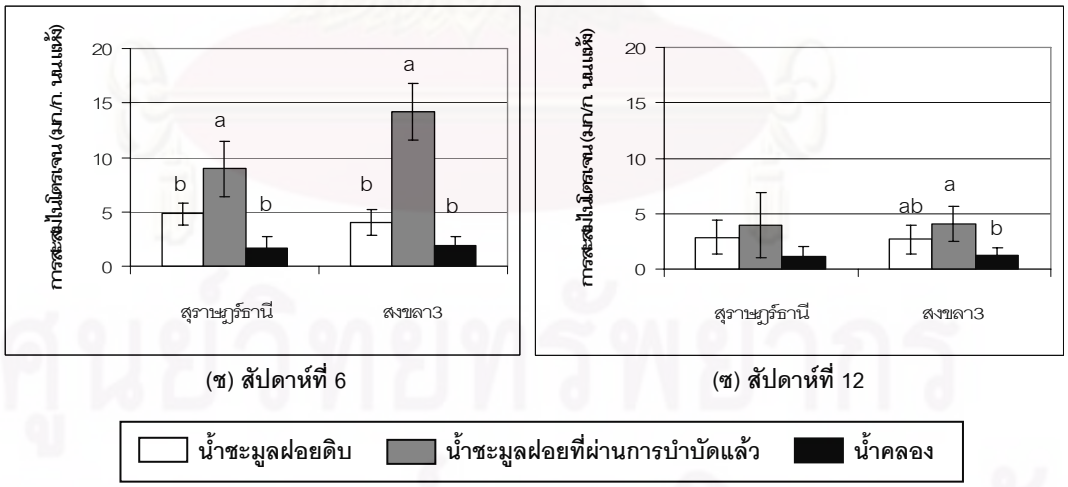
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



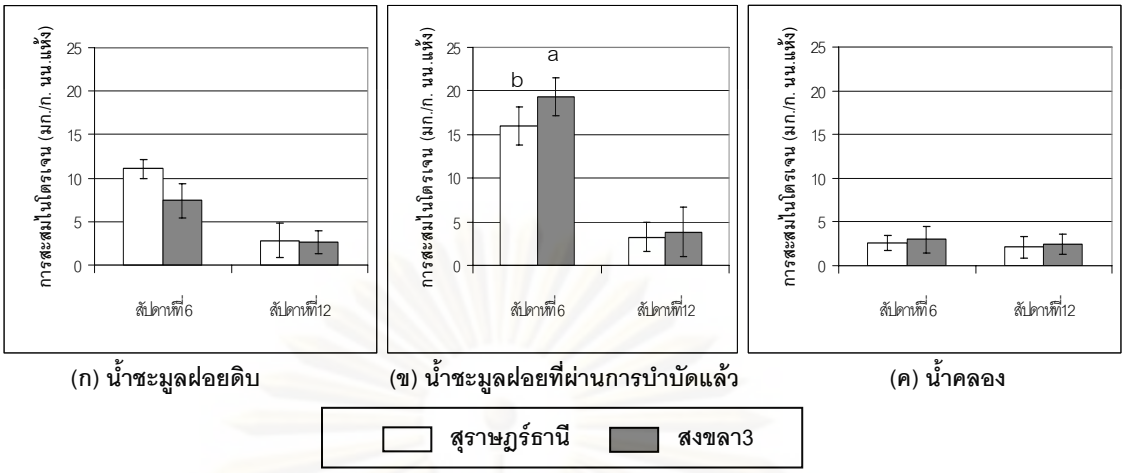
หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.21 การสะสมไนโตรเจนของส่วนต้นและใบ

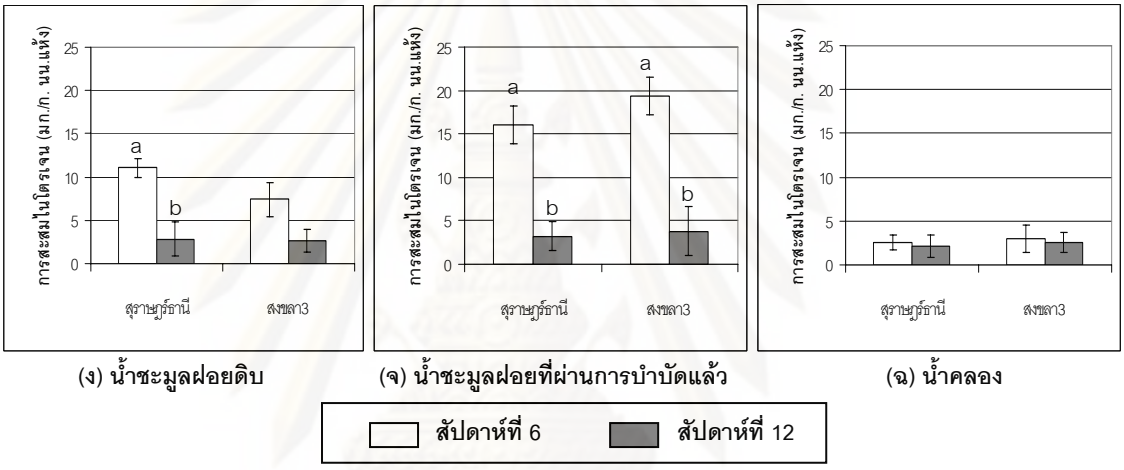
(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

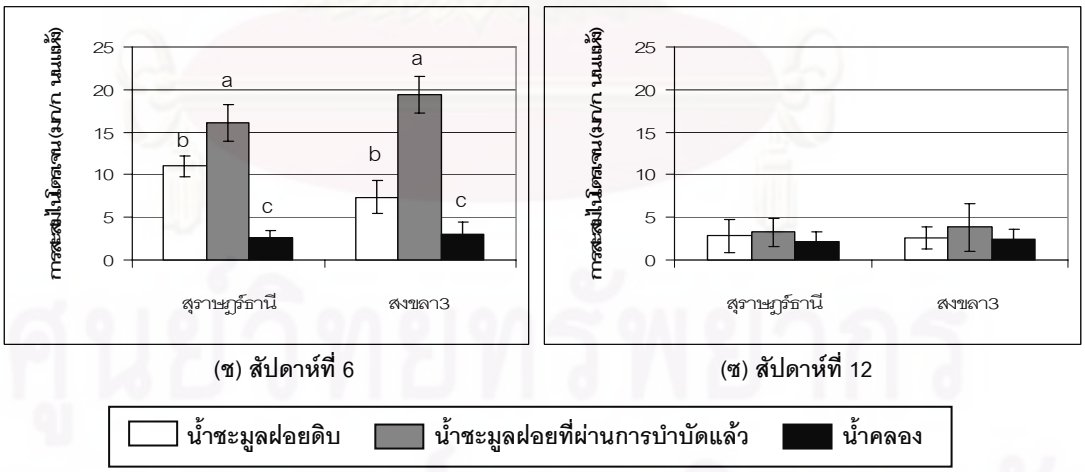
(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.22 การสะสมไนโตรเจนของส่วนราก

(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

(2) ปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 เมื่อเริ่มการทดลองมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.16 และ 1.50 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.99 และ 1.27 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 หญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1.89-3.36 และ 2.57-5.03 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17) และส่วนราก อยู่ในช่วง 1.98-4.68และ 2.74-7.44 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18) ทั้งนี้หญ้าแฝกมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงขึ้นทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก เนื่องจากหญ้าแฝกมีส่วนช่วยดูดดึงฟอสฟอรัสจากน้ำชะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ได้ โดยฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่หญ้าแฝกต้องการใช้ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับไนโตรเจน เพราะเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์ที่สำคัญ เช่น นิวคลิโอโปรตีน กรดไฟติก ฟอสฟอไลปิด และโคเอนไซม์ ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการแมตาบอลิซึมของพลังงาน โดยเฉพาะองค์ประกอบของ ATP ADP และ NADP (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) สำหรับการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.73-2.09 และ 0.68-1.78 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.23) และส่วนรากมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.99-3.69 และ 0.76-2.76 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.24) ซึ่งจะเห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนรากสูงกว่าส่วนต้นและใบ เนื่องจากฟอฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดลอง เช่นเดียวกับการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.73-2.09 และ 0.68-1.78 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.99-3.69 และ 0.76-2.76 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.80-1.86 และ 0.77-1.42 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 1.30-2.98 และ 1.06-2.43 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างผันแปร โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์

ธานี และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ในสัปดาห์ที่ 6 และ 12 ของการทดลอง หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.86-2.09 และ 1.42-1.78 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 2.98-3.69 และ 2.43-2.76 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.41-1.54 และ 1.08-1.34 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 2.08-2.25 และ 1.48-1.65 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำคลอง มีค่าเฉลี่ยการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.73-0.80 และ 0.68-0.77 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.99-1.30 และ 0.76-1.06 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสุด ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองมีการสะสมฟอสฟอรัสรองลงมาตามลำดับ สอดคล้องกับสุทธิรักษ์ ตั้งเรืองเกียรติ (2548) กล่าวว่า น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงหญ้าแฝกสามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ในปริมาณสูงเช่นกัน และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติของการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของต้นและใบ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)			การสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของต้นและใบ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	1.16±0.16	3.25±0.11^{ข}	5.03±0.33^{an}	2.09±0.11^{a}	1.78±0.33^{a}
	สงขลา3	1.50±0.26	3.36±0.19^{ข}	4.78±0.43^{an}	1.86±0.19^{a}	1.42±0.43
TL	สุราษฎร์ธานี	1.16±0.16	2.57±0.28^{ข}	^{b}3.65±0.30^{bn}	1.41±0.28^{b}	^{b}1.08±0.30^{b}
	สงขลา3	1.50±0.26	3.04±0.24^{ข}	^{a}4.38±0.33^{an}	1.54±0.24^{a}	^{a}1.34±0.33
CW	สุราษฎร์ธานี	1.16±0.16	^{b}1.89±0.14	2.57±0.30^{c}	0.73±0.14^{c}	0.68±0.30^{b}
	สงขลา3	1.50±0.26	^{a}2.30±0.19^{ข}	3.07±0.25^{bn}	0.80±0.19^{a}	0.77±0.25

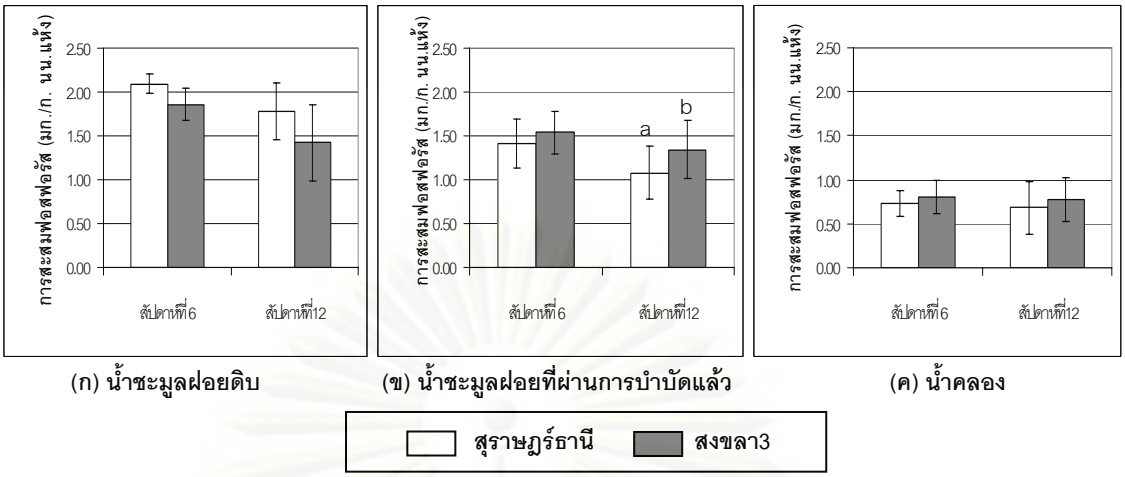
หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

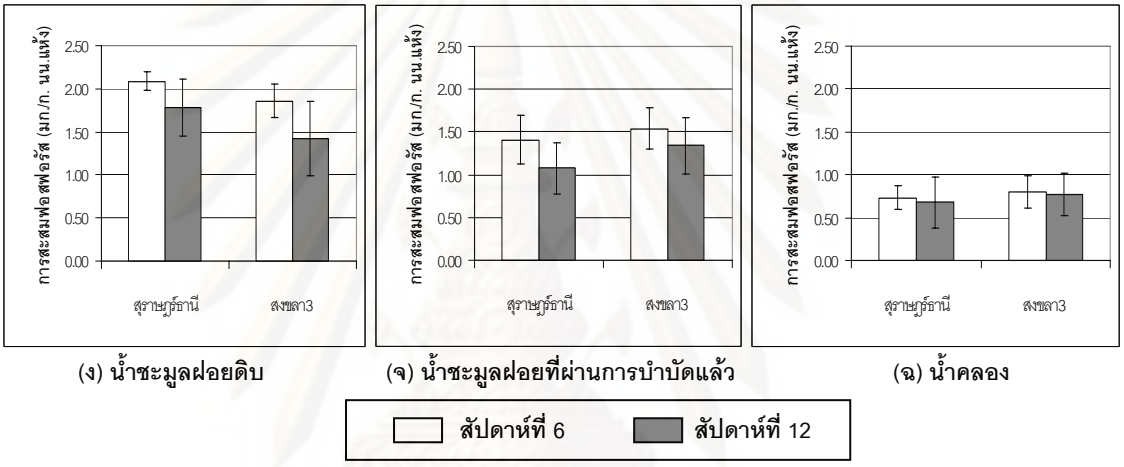
น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของราก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)			การสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดของราก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	
		เริ่มทดลอง	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	0.99±0.26	^{a}4.68±0.28^{aข}	^{a}7.44±0.37^{an}	^{a}3.69±0.28^{a}	2.76±0.37^{a}
	สงขลา3	1.27±0.18	^{b}4.25±0.21^{aข}	^{b}6.68±0.40^{an}	^{b}2.98±0.21^{a}	2.43±0.40^{a}
TL	สุราษฎร์ธานี	0.99±0.26	^{b}3.07±0.29^{bข}	4.55±0.23^{bn}	2.08±0.29^{bn}	1.48±0.23^{bข}
	สงขลา3	1.27±0.18	^{a}3.52±0.19^{bข}	5.17±0.51^{bn}	2.25±0.19^{b}	1.65±0.51^{ab}
CW	สุราษฎร์ธานี	0.99±0.26	^{b}1.98±0.20^{cข}	^{b}2.74±0.19^{cn}	0.99±0.20^{cn}	0.76±0.19^{cข}
	สงขลา3	1.27±0.18	^{a}2.57±0.08^{cข}	^{a}3.63±0.33^{cn}	1.30±0.08^{c}	1.06±0.33^{b}

หมายเหตุ อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย
อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา

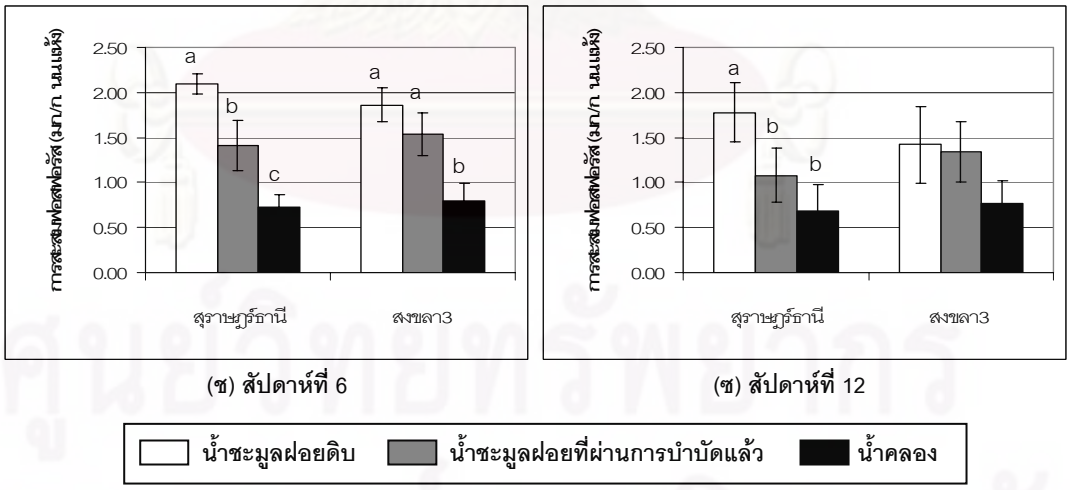
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



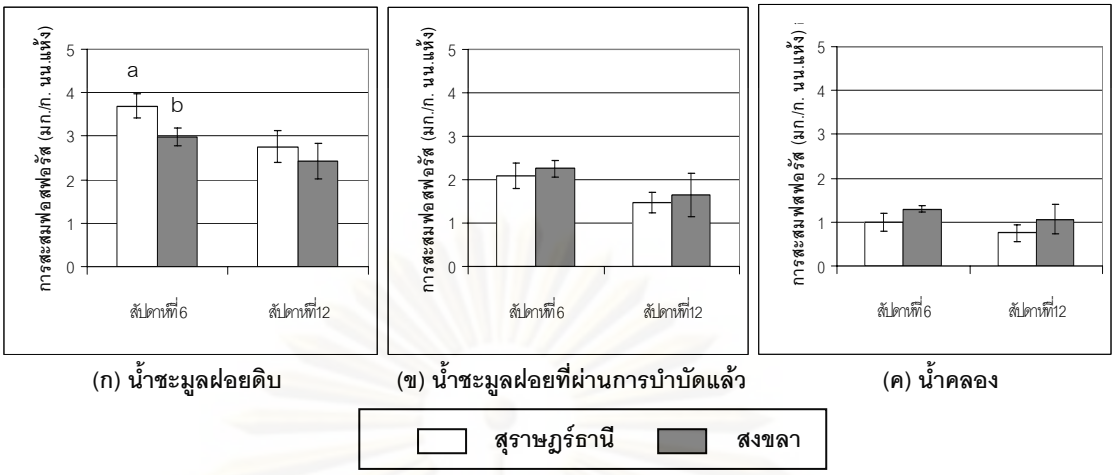
หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่าความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.23 การสะสมฟอสฟอรัสของส่วนต้นและใบ

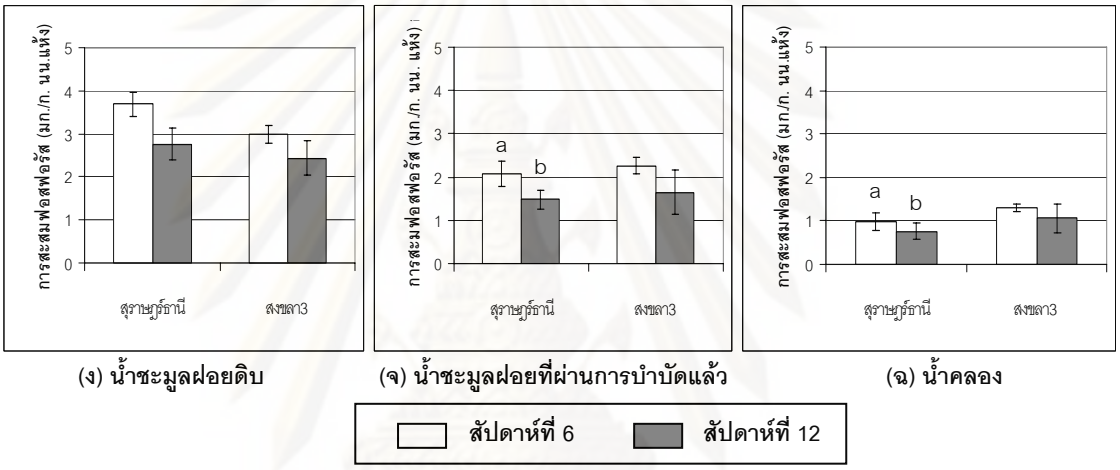
(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

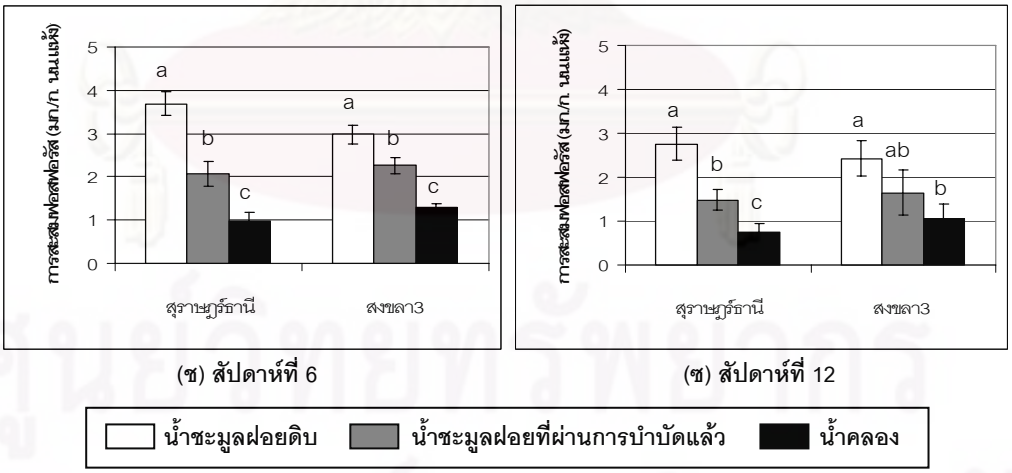
(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลา



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย

ภาพที่ 4.24 การสะสมฟอสฟอรัสของส่วนราก

(ก) - (ค) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างพันธุ์

(ง) - (ฉ) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา

(ช) - (ซ) เปรียบเทียบระหว่างน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

4.2.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก

จากการศึกษาด้านการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก พบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้น โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือน้ำคลองและน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.33-70.89, 58.38-61.16 และ 38.92-43.09 % ตามลำดับ สำหรับการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีสามารถเจริญเติบโตในน้ำชะมูลฝอยดิบ ได้ดีกว่าพันธุ์สงขลา3 (มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวรากใหม่ ความสูง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่า) และหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 สามารถเจริญเติบโตในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลองได้ดีกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี (มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวรากใหม่ ความสูง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่า) แต่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีจำนวนกอใหม่ต่อต้นสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี ในน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้น สำหรับการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน คือมีความยาวรากใหม่ ความสูง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก สูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ สำหรับการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก พบว่าภายหลังการทดลองหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก สูงขึ้นในน้ำชะมูลฝอยความทุกระดับความเข้มข้น สำหรับการสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝกต่างพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีการสะสมธาตุอาหารทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากได้สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 และหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองมีการสะสมธาตุอาหารทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ได้สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี สำหรับการสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกมีค่าสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือในน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลองตามลำดับ ส่วนการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกมีค่าสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยดิบ รองลงมาคือในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลองตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 ที่ปลูกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำ ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช 3 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะมูลฝอยที่ได้จากบ่อรับน้ำเสีย (receiving pond) ซึ่งเป็นบ่อดินสำหรับเก็บกักน้ำเสียและดักขยะขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำเสีย (น้ำชะมูลฝอยดิบ) และจากบ่อน้ำใส (clear well) ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว) รวมทั้งน้ำจากคลองธรรมชาติที่อยู่ด้านข้างโรงงานฯ บริเวณใกล้ท่อที่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (น้ำคลอง) เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 สัปดาห์ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. คุณภาพน้ำ

1.1 ชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยทุกระดับความเข้มข้นสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ได้ โดยเฉพาะการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และทีเคเอ็น ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (เนื่องจากไม่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำชะมูลฝอย) (ตารางที่ ง 1) คือมีค่าไม่เกิน 50, 120 และ 100 mg/l ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 และ 4 ของการทดลอง ตามลำดับ และชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว สามารถบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และ 3 ของการทดลอง ตามลำดับ

1.2 ชุดทดลองสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยให้มีค่าต่ำลงได้ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลอง) โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยระหว่างหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าแฝกชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95.76-98.19, 70.52-87.87 และ -24.73-36.31 % ตามลำดับ

1.3 ชุดทดลองสามารถบำบัดซีโอดีให้มีค่าต่ำลงได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีระหว่างหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าแฝกชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลอง ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 67.34-86.36, 60.31-77.04 และ 53.67-73.53 % ตามลำดับ

1.4 ชุดทดลองสามารถบำบัดทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น ให้มีค่าต่ำลงได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นระหว่างหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าแฝกชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลองมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93.01-96.76, 80.11-86.96 และ 73.54-82.99 % ตามลำดับ

1.5 ชุดทดลองสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น ให้มีค่าต่ำลงได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าแฝกชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด

รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 80.65-89.58, 74.97-87.62 และ 69.67-82.90 % ตามลำดับ

1.6 ชุดทดลองสามารถบำบัดคลอไรด์ให้มีค่าต่ำลงได้ในปริมาณที่ต่ำ โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ระหว่างหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงกว่าแฝกชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดทดลองที่ได้รับน้ำคลอง) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์สูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ได้รับน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลอง ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.96-21.58, 6.75-16.67 และ 3.22-8.71 % ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ พบว่าโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าว สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชและส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยเทคนิคการปลูกหญ้าแฝกบนแพลอยน้ำสามารถใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีการปนเปื้อนของของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ได้ โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 และหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้วและน้ำคลอง มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และคลอไรด์ สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นมีค่าผันแปรและมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน

2. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

2.1 หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น โดยมีการเจริญเติบโตทางด้านการแตกกอใหม่ ความยาวรากใหม่ ความสูง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว (ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย 57.67 mg/l ซีโอดี 210.11 mg/l ทีเคเอ็น 183.80 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 4.48 mg/l และคลอไรด์ 1149.64 mg/l) รองลงมาคือ น้ำคลอง (ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย 12.56 mg/l ซีโอดี 60.44 mg/l ทีเคเอ็น 19.56 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 2.53 mg/l และคลอไรด์ 154.95 mg/l) และน้ำชะมูลฝอยดิบ (ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย

755.33 mg/l ซีโอดี 940.67 mg/l ทีเคเอ็น 219.30 mg/l ฟอสฟอรัสทั้งหมด 12.75 mg/l และคลอไรด์ 419.87 mg/l) ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.33-70.89, 58.38-61.16 และ 38.92-43.09 % ตามลำดับ

2.2 เมื่อเปรียบเทียบการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่ามีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีจำนวนกอใหม่ต่อต้นสูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานีในน้ำชะมูลฝอยทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น โดยมีจำนวนกอใหม่ต่อต้นสูงสุดในน้ำคลอง รองลงมาคือในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.27-2.60, 1.83-2.02 และ 1.67-1.72 กอ ตามลำดับ

2.3 เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความยาวรากใหม่ในน้ำชะมูลฝอยดิบสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีความยาวรากใหม่ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวรากใหม่สูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือในน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 53.27-66.77, 32.16-36.31 และ 20.13-25.71 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.4 เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงในน้ำชะมูลฝอยดิบสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือในน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเฉลี่ยความสูงอยู่ในช่วง 85.67-93.55, 72.77-81.25 และ 50.25-56.08 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.5 เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยดิบ สูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์

สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือในน้ำคลอง และน้ำชะมูลฝอยดิบ ตามลำดับ

3. ปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก

3.1 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก เพิ่มขึ้นในน้ำชะมูลฝอยความทุกระดับความเข้มข้น

3.2 เมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยดิบสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว รองลงมาคือในน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำคลอง ตามลำดับ

3.3 เมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยดิบสูงกว่าพันธุ์สงขลา3 ขณะที่หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 มีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนราก ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง สูงกว่าพันธุ์สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น พบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยดิบ รองลงมาคือในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำคลอง ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเห็นว่าการปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแพลอยน้ำเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง และ

มีการปนเปื้อนธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่ต้องมีค่าซีโอดีไม่สูงมากนัก ซึ่งเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกซึ่งมีค่าสูงสุดในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว และเพื่อให้การบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพสูงหากน้ำชะมูลฝอยมีค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และธาตุอาหารสูง ควรเลือกใช้หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีเพื่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย แต่หากน้ำชะมูลฝอยมีค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดีไม่สูงนัก และธาตุอาหารต่ำ ควรเลือกใช้หญ้าแฝกพันธุ์สงขลา3 ถึงแม้ว่าน้ำชะมูลฝอยจะมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำเพียง 0.87 mg/l ก็ตาม

การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้จริง สามารถปลูกหญ้าแฝกด้วยแพลอยน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย และเพื่อให้การบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพสูงและหญ้าแฝกสามารถทนอยู่ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน น้ำชะมูลฝอยควรผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อน และควรมีการดูแลโดยการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น การตัดส่วนต้นและใบ โดยควรมีการตัดใบครั้งแรกเมื่อหญ้าแฝกที่ปลูกมีอายุประมาณ 3 เดือน โดยตัดให้มีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร และหลังจากนั้นควรมีการตัดใบหญ้าแฝกเป็นประจำทุก 1-2 เดือน โดยไม่ควรปล่อยให้หญ้าแฝกออกดอก เพื่อให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตแตกกอขึ้นมาใหม่ ทั้งนี้ใบหญ้าแฝกที่ตัดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำไปคลุมดินหรือโคนต้นไม้ผล เพื่อช่วยลดการระเหยน้ำ รักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน เป็นต้น (กปร., 2547) นอกจากนี้ควรมีการศึกษาต่อยอดถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเพื่อศึกษาถึงการเจริญเติบโต และเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก เพื่อจะได้เห็นแนวโน้มว่าหญ้าแฝกยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารต่าง ๆ ในน้ำชะมูลฝอย รวมทั้งสามารถเจริญเติบโตและรอดอยู่ได้ในระยะเวลานานเท่าใด

2. ควรมีการศึกษาถึงระดับความลึกของน้ำชะมูลฝอยต่อประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝก เพื่อหาระดับความลึกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสูงสุด

3. ควรมีการศึกษาถึงความหนาแน่นที่เหมาะสมของหญ้าแฝกในการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้สูงสุด

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของหญ้าแฝก เช่น ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์และสาหร่าย รวมทั้งปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยด้วย

5. ควรมีการศึกษาถึงอายุที่เหมาะสมของหญ้าแฝกในการนำมาบำบัดน้ำชะมูลฝอย

6. ควรมีการทดลองนำหญ้าแฝกที่ปลูกบนแพลอยน้ำไปทดลองในสถานที่จริง เนื่องจากปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ กระแสน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ล้วนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลพรรณ นามวงศ์พรหม. 2545. หญ้าแฝกหอม. [ออนไลน์]: แหล่งที่มา http://www.ku.ac.th/e-magazine/November45/agri/plant.html. [10 ธันวาคม 2551]

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. ความรู้เรื่องหญ้าแฝก. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

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

จักริน นักไร่. 2549. การกำจัดสีจากน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฑารัตน์ หนูสุข. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ฐิติณัฏฐ์ ศักรานุกิจ. 2549. การใช้หญ้าแฝก *Vetiveria zizanioide*s (Linn.) Nash บำบัดน้ำเสียชุมชนภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดารินทร์ แซ่ตั้ง. 2551. การใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดิรก ทองอร่าม. 2546. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. ราชบุรี: ธรรมรักษ์การพิมพ์.

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

ธนียา เจติยานุกรกุล. 2539. ความเป็นไปได้ของการใช้หญ้าแฝกจากแหล่งพันธุ์ต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรณิศวร์ ทรรพนันทน์. 2535. การปนเปื้อนของปรอท แคดเมียม แมงกานีส ในน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล. 2543. การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัทธีรา สรรมณี. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เบกพล ก้านสังวร. 2542. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบโคเมตาบอลิคด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประโสด ธรรมเขต. 2540. การวิเคราะห์ทางเคมี พืช ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

ปวีณา วัฒนาสุทธิพงศ์. 2547. ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยวรรณ สายมโนพันธุ์. 2543. ความสามารถของกล้าไม้โกงการใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. และแสมทะเล *Avicernia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนต์ชัย จันทร์ศิริ. 2548. ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนพ รุ่งสุข. 2538. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioide*s (Linn.) Nash ที่รดด้วยน้ำทิ้งจากชุมชน จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ.

ไมตรี ศิริบรรจงศักดิ์. 2547. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยชุมชนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชนและสภาพแวดล้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนวลี เลิศธนกิจ. 2549. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

วงศ์พงา เส็งสาย. 2544. ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioide*s (Linn.) Nash และหญ้าแฝกดอน *Vetiveria nemoralis* A. Camus ในการกำจัดโครเมียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียขั้นตอนสุดท้ายจากโรงฟอกหนัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรากร เกิดทรัพย์. 2543. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราพร เกียรติศิริอนันต์. 2550. การใช้หญ้าแฝกลุ่ม (Vetiveria zizanioides (L.) Nash.) บำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มไก่ภายใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรินธร บุญยะโรจน์. 2549. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ดินที่มีการปลูกหญ้าบนพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยในเขตมรสุม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภาดา ปิ่นเกษตร. 2550. ประสิทธิภาพการใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

วีรวรรณ ปัทมาภิรัต. 2530. การศึกษาลักษณะของ leachate จากที่ทิ้งขยะบริเวณซอยอ่อนนุช และการบำบัดทางชีววิทยา. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์ชัย อังคสิงห์. 2547. การบำบัดน้ำเสียบ้านเรือนโดยใช้บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลใต้ผิวดินร่วมกับระบบการระเหยโดยพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริรัตน์ ชาญไวทย์. 2536. ผลกระทบของน้ำชะขยะต่อคุณภาพน้ำใต้ดินในอำเภอหาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภกิตต์ เจียรสุวรรณ์. 2548. ผลของของความเค็มต่อการบำบัดธาตุอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลนเมื่อใช้ระบบกะ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2544. การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานในเขตอากาศร้อน. รายงานการวิจัย โครงการร่วมมือกับต่างประเทศ (ไทย-อังกฤษ) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จามจุรีโปรดักท์.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2547. สาระน่ารู้เรื่องหญ้าแฝก. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์.

สุทธิรักษ์ ตั้งเรืองเกียรติ. 2548. การใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธาสินี ภู่มุสิก. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณ พงษ์กาญจนะ. 2549. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของหญ้าแฝก. ภูมิวารินอนุรักษ์ 21: 18-21.

อุทัย สินเพ็ง. 2538. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถังกรองไร้ออกซิเจนตามแนวราบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ภาษาอังกฤษ

Allen, W. C., Hook, P. B., Biederman, J. A. and Stein, O. R. 2002. Temperature and wetland plant species effect on wastewater treatment and root zone oxidation. Journal of Environmental Quality. 31 (1): 1010-1016.

AWWA, WEF and APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Association, Washington, D.C.

Bitton, G. 1994. Wastewater microbiology. New York. John Wiley & Sons.

Brix, H. 1993. Wastewater treatment in constructed wetland: System design, removal process and Treatment performances. In G. A. Moshiri (ed), Constructed Wetland for Water Quality Improvement. Michigan: Lewis Publishers.

Brix, H. 1997. Do macrophytes play arole in constructed wetland. Water Science and Technology. 35 (5): 11-17.

Chain, E. S. K., and DeWalle, F. B. 1976. Craracter of Soluble Organic Matter in Leachate. Environmental Science and Technology. 11 (2): 158-162.

Change T. N. 1988. Color Removal from On-Nooch's Leachate by Chemical Treatment. Master's Thesis. School of Environmental Resources and Development. Asian Institute of Technology.

Chen. Y., Shen, Z. and Li, X. 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soil contaminated with heavy metal. Applied Geochemistry. 19 (10): 1553-1565.

Diamadopoulos, E. 1994. Characterization and treatment of recirculartion-stabilized leachate. Water Resource. 28 (12): 2439-2445.

Doller, J., and Wilderer, P. A. 1996. Biological Treatment of Leachate from Hazardous Waste Landfill Using SBR Technology. Water Science and Technology. 34 (7-8): 133-143.

Ehig, H.J.1983. Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate. Waste Management & Reserch 1. pp. 53-68.

Gray, N. F. 1989. Biological of Wastewater treatment. Trinity College University of Dublin, Oxford University Press.

Gray, S., Kinross, J., Read, P. and Marland, A. 2000. The nutrient assimilative capacity of maerl as a substrate in constructed wetland for waste treatment. Water Resource. 34 (8): 2183-2190.

Gustafson and Holm. 1990. Leachate Pollution from Open Dumping Sites in Metro Manila. Final Report, Pre-study Phase, BITS-EMB, VIAK.

Hammer, D. A. 1989. Constructed Wetland for Wastewater Treatment. U.S.A.: Lewis Publishers.

Herskowitz, J. Black, S. and Lewandowski, W. 1987. Listowel artificial march treatment project. In Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.) Aquatic plant for water treatmwnr and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Kadlec, J. A. 1987. Nutrient dynamics in wetlands. In: Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.). Aquatic plant for water treatment and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Kadlec, R. H. 1995. Overview: surface flow constructed wetlands. Water Science and Technology. 32 (3): 1-12.

Kadlec, R. H. 1999. Chemical, physical and biological cycles in treatment wetlands. Water Science and Technology. 40 (3): 37-44.

Keenan, P. J., Iza, J., and Switzenbaum, M. S. 1993. Inorganic Solid Development in a Pilot-Scale Anaerobic Reactor Treating Municipal Solid Waste Landfill Leachate. Water Environmental Research. 65 (2): 181-188.

Keenan, J. D., Streiner, R. L.,and Fungaroli, A. A. 1984. Landfill Leachate Treatment. Journal of Water Pollute Control Fed. 56 (1): 27-33.

Kong, X., Lin, W., Wang, B. and Lou, F. 2003. Study on vetiver's purification for wastewater from pig farm. [Online]. Available from: http://vetiver.org/ICV3-Proceedings/CHN_pigwaste.pdf. [2008, April 13]

Liao, X., Lue, S., Wu, Y. and Wang, Z. 2003. Studies on the abilities of Vetiveria zizanioides and Cyperus alternifolius for pig farm wastewater treatment. [Online]. Available from: http://vetiver.org/ICV3-Proceedings/CHN_pigwaste2.pdf. [2008, April 17]

Lin, X., Lan, C. and Shu, W. 2003. Treatment of Landfill Leachate by Subsurface-Flow Constructed Wetland: A Microcosm Test. [Online]. Available from: http://vetiver.org/ICV3 Proceedings/CHN_conwetland.pdf. [2008, April 10]

Mahisarakul, J., Topungtium, S., Srisaichua, S., Lekkong, P., Chamraskul, P. and Chaichaaum, R. 2003. The use of vetiver grass to rehabilitate city garbage leachate by isotope techniques. [Online]. Available from: http://vetiver.org/ICV3Proceedings/THAI_garbage.pdf. [2008, May 3]

Mayo, A. W. and Mutamba, J. 2004. Effect of HRT on nitrogen removal in a coupled HRP and unplanted subsurface flow gravel bed constructed wetland. Physic and Chemistry of the Earth. 29 (15-18): 1253-1257.

Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. 2000. Wetland. 3rdnEdition. New York: John Wiley & sons.

Niramon Thanuddhanusilp. 1995. Treatability of Landfill Leachate by Using SBR and Effective Microorganism. Master's Thesis. School of Environmental Resources and Development. Asian Institute of Technology.

Oorschot, M. M. P. 1994. Plant production, nutrient uptake and mineralization in river marginal wetlands: the impact additions due to former land-use. In: Mitsch, W. J. (ed.) Globla wetlands: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

Parker, R. 2000. Introduction to plant science. Albany, N. Y.: Delmar publishers.

Peter, F. B. 1997. The Performance of Vertical Flow Experimental Wetland under a Range of Operational Formats Environmental Condition. Water Science and Technology. 35 (5): 197-174.

Pezeshki, S. R., DeLaune, R. D., and Meeder, J. F. 1997. Carbon assimilation and biomass partitioning in *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle* seedling in response to soil redox conditions. Environmental and Experimental Botany. 37: 2035-2042.

Pinlac, E. M. 1992. Groundwater Contamination Assessment in the Phillipenes. Groundwater Pollution in Sub-Humid and Humid Tropical Workshop. Bangkok, Thailand.

Roongtanakiat, N., Nirunrach, T., Chanyotha, S. and Hengchaovanich, D. 2003. Uptake of heavy metals in landfill leachate by vetiver grass. [Online]. Available from: http://www.thaiscience.info/ Article%20 for%20ThaiScience/Article/4. [2008, April 30]

Stegmann, R. 1983. Landfill water balance in dynatechy. Intemation symposium on anaerobic digestion. 3rd Edition. Boston: Cambridge.

Summerfelt, S. T., Adler, P. R., Glenn, D. M. and Kretchmann, R. N. 1999. Aquaculture sludge remonal And stabilization within created wetlands. [Online]. Available from: http://www.isiwos.car.chula.ac.th [2007, November 22]

Tchobanoglous, G., Theisen, and Vigil. 1993. Integrate Solid Waste Management. International edition. New York: McGraw-Hill.

Truong, P and Hart, B. 2001. Vetiver system for wastewater treatment. [Online]. Available from: http;//www.vetiver.coom/PRVN_wastewater_bul.pdf. [2007, November 30]

Troung, P. 2000. Application of the vetiver system for phytoremediation of mercury pollution in the lake and Yolo counties, Northern California. Pollution Solutions, pp. 550-561. Yolo county flood control. Northern California.

Vichean Sivapornpun. 2000. Heavy Metal in Landfill Leachate: Options for Reduction and Treatment. Master's Thesis. School of Environmental Resources and Development. Asian Institute of Technology.

Xia, H., Liu, S. and Ao, H. 2000. A study on purification and uptake of garbage leachate by vetiver grass. [Online]. Available from: http://www.vetiver.com/TVN_IVC2/CP5-8-1.PDF. [2007, December 10]

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

^{o}C	หมายถึง องศาเซลเซียส
mg/l	หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
mS/cm	หมายถึง มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
psu	หมายถึง practical salinity unit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ภาพการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ ข 1 สภาพชุดทดลองเมื่อเริ่มการทดลอง

ภาพที่ ข 2 สภาพชุดทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12)

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ ข 3 ลักษณะชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว

(ก) เริ่มทดลอง

(ข) ในสัปดาห์ที่ 6

(ค) ในสัปดาห์ที่12

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ ข 4 ลักษณะรากของหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12)
(ก) ชุดทดลองที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยดิบ
(ข) ชุดทดลองที่ปลูกในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว
(ค) ชุดทดลองที่ปลูกในน้ำคลอง

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 1 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า	น้ำที่ผ่านการบำบัด													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	7.77± 0.04	7.84± 0.45	7.97± 0.19	8.27± 0.07	8.25± 0.08	8.42± 0.16	8.49± 0.02	8.35± 0.12	8.21± 0.21	8.18± 0.25	8.37± 0.08	8.40± 0.12	8.43± 0.05	8.36± 0.04	8.51± 0.10
	สงขลา3	7.77± 0.04	8.07± 0.04	8.25± 0.05	8.37± 0.07	8.43± 0.09	8.48± 0.13	8.48± 0.17	8.38± 0.21	8.35± 0.10	8.37± 0.07	8.46± 0.19	8.42± 0.08	8.42± 0.11	8.37± 0.07	8.50± 0.03
	ควบคุม	7.77± 0.04	8.16± 0.01	8.30± 0.06	8.45± 0.01	8.52± 0.06	8.49± 0.15	8.69± 0.24	8.44± 0.32	8.27± 0.19	8.46± 0.05	8.52± 0.05	8.50± 0.11	8.50± 0.04	8.43± 0.02	8.46± 0.07
TL	สุราษฎร์ธานี	6.80± 0.09	7.54± 0.01	7.69± 0.32	7.97± 0.03	8.06± 0.05	7.67± 0.04	7.00± 0.03	6.58± 0.35	6.36± 0.07	6.44± 0.10	6.50± 0.10	6.59± 0.08	6.28± 0.09	6.83± 0.11	6.74± 0.13
	สงขลา3	6.80± 0.09	7.69± 0.06	7.78± 0.04	8.08± 0.41	8.23± 0.16	7.62± 0.07	6.89± 0.00	6.66± 0.23	6.74± 0.19	6.32± 0.07	6.63± 0.08	6.65± 0.13	6.26± 0.04	6.69± 0.04	6.60± 0.07
	ควบคุม	6.80± 0.09	8.00± 0.09	8.00± 0.07	8.21± 0.08	8.31± 0.09	7.75± 0.03	7.28± 0.14	7.01± 0.24	7.07± 0.08	6.89± 0.06	7.05± 0.11	6.93± 0.08	6.58± 0.06	6.80± 0.05	6.83± 0.11
CW	สุราษฎร์ธานี	7.08± 0.07	7.75± 0.08	7.84± 0.11	7.92± 0.20	8.38± 0.30	7.63± 0.05	7.79± 0.24	7.50± 0.01	7.23± 0.10	7.14± 0.27	7.20± 0.07	7.21± 0.11	7.19± 0.06	7.26± 0.10	7.21± 0.16
	สงขลา3	7.08± 0.07	8.27± 0.07	8.53± 0.07	8.40± 0.01	8.49± 0.28	7.79± 0.04	7.80± 0.04	7.61± 0.01	7.11± 0.20	7.27± 0.11	7.65± 0.03	7.30± 0.05	7.33± 0.11	7.38± 0.05	7.37± 0.10
	ควบคุม	7.08± 0.07	8.51± 0.11	8.66± 0.08	8.47± 0.07	8.85± 0.05	8.41± 0.04	8.84± 0.06	8.39± 0.04	8.24± 0.20	8.19± 0.33	8.68± 0.16	8.42± 0.12	8.38± 0.08	8.29± 0.09	8.52± 0.06

หมายเหตุ หมายเหตุ RL (Raw Leachate) คือ น้ำชะมูลฝอยดิบ; TL (Treated Leachate) คือ น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดแล้ว; CW (Canal Water) คือ น้ำคลอง

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (°C)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (°C)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	28.27± 0.36	28.91± 0.46	29.43± 0.30	30.74± 0.20	27.46± 0.53	29.16± 0.29	30.42± 0.46	29.36± 0.61	29.27± 1.00	28.6± 0.59	24.43± 0.45	28.42± 0.10	30.40± 0.53	28.83± 0.42	30.97± 0.65
	สงขลา3	28.27± 0.36	28.42± 0.06	29.75± 0.29	30.92± 0.29	27.81± 0.65	29.51± 0.21	30.27± 0.06	28.83± 0.46	28.93± 0.21	27.93± 0.21	24.03± 0.21	28.99± 0.29	30.03± 0.15	28.43± 0.06	30.27± 0.15
	ควบคุม	28.27± 0.36	29.17± 0.32	29.96± 0.21	30.95± 0.15	28.03± 0.30	29.55± 0.10	30.50± 0.76	28.37± 0.57	28.46± 0.29	27.63± 0.32	23.52± 0.44	29.53± 0.45	29.57± 0.21	28.27± 0.21	29.77± 0.25
TL	สุราษฎร์ธานี	29.27± 0.90	28.34± 0.23	29.13± 0.61	30.71± 0.44	27.55± 0.21	29.13± 0.61	30.07± 0.15	28.24± 0.35	28.73± 0.84	27.72± 0.61	23.67± 0.74	28.4± 0.06	29.57± 0.21	28.27± 0.29	29.93± 0.76
	สงขลา3	29.27± 0.90	28.80± 0.40	29.48± 0.06	29.89± 0.46	27.45± 0.17	29.16± 0.35	29.93± 0.15	29.17± 0.32	29.13± 0.21	28.23± 0.12	24.63± 0.16	28.86± 0.32	30.53± 0.15	28.77± 0.12	30.67± 0.06
	ควบคุม	29.27± 0.90	29.11± 0.20	29.93± 0.15	31.05± 0.17	28.50± 0.20	29.80± 0.61	30.55± 0.46	29.09± 0.46	28.9± 0.20	28.20± 0.35	24.07± 0.31	28.80± 0.40	29.83± 0.23	28.40± 0.17	30.40± 0.30
CW	สุราษฎร์ธานี	29.30± 0.10	28.52± 0.15	29.14± 0.17	30.45± 0.30	27.24± 0.06	29.02± 0.20	30.10± 0.20	28.31± 0.35	28.53± 0.38	27.63± 0.29	23.73± 0.38	28.21± 0.10	29.80± 0.46	28.33± 0.21	30.07± 0.40
	สงขลา3	29.30± 0.10	28.27± 0.38	29.45± 0.20	30.25± 0.61	27.30± 0.00	29.27± 0.29	29.95± 0.10	28.90± 0.00	28.81± 0.10	28.13± 0.06	24.17± 0.06	28.43± 0.06	29.90± 0.00	28.50± 0.10	30.30± 0.17
	ควบคุม	29.30± 0.10	29.11± 0.40	30.03± 0.40	31.17± 015	27.97± 0.17	29.75± 0.15	30.27± 0.15	29.20± 0.00	28.90± 0.00	28.13± 0.06	24.4± 0.20	29.18± 0.61	30.07± 0.15	28.60± 0.10	30.50± 0.20

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 3 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mS/cm)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mS/cm)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	3.71± 0.09	3.42± 0.13	3.32± 0.15	3.10± 0.15	2.73± 0.16	2.36± 0.14	2.27± 0.11	2.25± 0.14	2.24± 0.10	2.28± 0.10	2.28± 0.06	2.30± 0.12	2.35± 0.06	2.24± 0.08	2.25± 0.07
	สงขลา3	3.71± 0.09	3.53± 0.04	3.35± 0.08	3.10± 0.07	2.72± 0.13	2.38± 0.07	2.23± 0.02	2.23± 0.03	2.23± 0.03	2.30± 0.04	2.27± 0.04	2.31± 0.03	2.33± 0.09	2.22± 0.06	2.24± 0.05
	ควบคุม	3.71± 0.09	3.51± 0.03	3.37± 0.03	3.13± 0.06	2.76± 0.14	2.42± 0.10	2.32± 0.06	2.30± 0.06	2.30± 0.05	2.35± 0.02	2.37± 0.04	2.42± 0.06	2.47± 0.02	2.34± 0.01	2.35± 0.03
TL	สุราษฎร์ธานี	4.02± 0.01	3.98± 0.04	3.97± 0.04	3.89± 0.02	3.81± 0.01	3.69± 0.03	3.50± 0.03	3.40± 0.03	3.44± 0.07	3.48± 0.01	3.44± 0.04	3.42± 0.03	3.49± 0.02	3.32± 0.02	3.33± 0.03
	สงขลา3	4.02± 0.01	4.04± 0.05	4.02± 0.03	3.93± 0.02	3.81± 0.01	3.68± 0.01	3.48± 0.02	3.45± 0.03	3.42± 0.07	3.45± 0.09	3.38± 0.06	3.40± 0.02	3.44± 0.10	3.22± 0.07	3.28± 0.06
	ควบคุม	4.02± 0.01	4.03± 0.05	3.96± 0.07	3.89± 0.03	3.78± 0.06	3.65± 0.07	3.56± 0.07	3.52± 0.06	3.46± 0.12	3.56± 0.08	3.60± 0.13	3.55± 0.07	3.69± 0.04	3.57± 0.07	3.58± 0.10
CW	สุราษฎร์ธานี	0.91± 0.15	0.87± 0.01	0.86± 0.01	0.86± 0.00	0.86± 0.02	0.87± 0.02	0.87± 0.01	0.86± 0.02	0.86± 0.02	0.87± 0.01	0.88± 0.01	0.89± 0.02	0.90± 0.01	0.92± 0.01	0.92± 0.01
	สงขลา3	0.91± 0.15	0.85± 0.00	0.86± 0.00	0.85± 0.00	0.85± 0.01	0.86± 0.01	0.84± 0.01	0.85± 0.01	0.85± 0.01	0.86± 0.01	0.86± 0.01	0.88± 0.01	0.88± 0.01	0.88± 0.01	0.89± 0.01
	ควบคุม	0.91± 0.15	0.85± 0.01	0.86± 0.01	0.85± 0.00	0.87± 0.01	0.87± 0.02	0.85± 0.02	0.86± 0.02	0.86± 0.01	0.88± 0.02	0.89± 0.02	0.92± 0.01	0.91± 0.01	0.95± 0.01	0.97± 0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

132

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 4 ค่าเฉลี่ยความเค็ม ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (psu)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (psu)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	1.93± 0.06	1.77± 0.06	1.70± 0.10	1.57± 0.06	1.40± 0.10	1.20± 0.10	1.13± 0.06	1.13± 0.00	1.13± 0.06	1.13± 0.06	1.13± 0.06	1.13± 0.06	1.20± 0.00	1.13± 0.06	1.13± 0.06
	สงขลา3	1.93± 0.06	1.83± 0.06	1.77± 0.06	1.60± 0.00	1.40± 0.10	1.20± 0.00	1.10± 0.00	1.10± 0.06	1.10± 0.00	1.13± 0.06	1.13± 0.06	1.13± 0.06	1.17± 0.06	1.10± 0.00	1.13± 0.06
	ควบคุม	1.93± 0.06	1.80± 0.00	1.73± 0.06	1.60± 0.00	1.40± 0.10	1.23± 0.06	1.17± 0.06	1.13± 0.00	1.13± 0.06	1.20± 0.00	1.20± 0.00	1.20± 0.00	1.27± 0.06	1.20± 0.00	1.20± 0.00
TL	สุราษฎร์ธานี	2.10± 0.00	2.10± 0.00	2.10± 0.00	2.00± 0.00	2.00± 0.00	1.90± 0.00	1.80± 0.00	1.80± 0.06	1.77± 0.06	1.80± 0.00	1.80± 0.00	1.80± 0.00	1.80± 0.00	1.70± 0.00	1.70± 0.00
	สงขลา3	2.10± 0.00	2.10± 0.06	2.10± 0.00	2.07± 0.06	2.00± 0.00	1.90± 0.00	1.80± 0.00	1.80± 0.06	1.77± 0.06	1.77± 0.06	1.77± 0.06	1.77± 0.06	1.77± 0.06	1.67± 0.06	1.70± 0.00
	ควบคุม	2.10± 0.00	2.10± 0.00	2.07± 0.06	2.03± 0.06	1.97± 0.06	1.90± 0.00	1.87± 0.06	1.83± 0.00	1.80± 0.10	1.83± 0.06	1.87± 0.00	1.87± 0.06	1.90± 0.00	1.87± 0.06	1.87± 0.06
CW	สุราษฎร์ธานี	0.43± 0.06	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00
	สงขลา3	0.43± 0.06	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00
	ควบคุม	0.43± 0.06	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00	0.40± 0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 5 ค่าเฉลี่ยสี ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (SU)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (SU)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	27.38± 1.18	26.22± 0.49	23.77± 2.40	19.78± 2.36	19.58± 2.48	17.32± 1.53	17.48± 1.84	17.00± 1.95	14.82± 1.70	14.85± 2.19	13.43± 2.00	13.52± 1.84	12.30± 3.48	12.25± 1.81	12.68± 2.21
	สงขลา3	27.38± 1.18	25.87± 2.24	23.47± 1.55	21.27± 2.58	18.65± 0.80	17.60± 0.78	17.27± 1.28	17.40± 0.98	16.52± 0.80	16.05± 0.84	14.58± 1.13	14.08± 0.95	13.65± 0.35	12.98± 1.26	12.90± 1.62
	ควบคุม	27.38± 1.18	25.98± 0.88	24.80± 6.99	23.37± 2.03	22.13± 2.18	19.50± 1.46	19.52± 1.35	18.78± 0.41	18.33± 2.47	17.78± 3.91	16.48± 0.87	16.23± 1.45	16.58± 1.47	15.77± 0.88	15.73± 0.85
TL	สุราษฎร์ธานี	5.05± 0.18	4.45± 0.18	4.25± 0.15	4.28± 0.28	3.98± 0.15	3.45± 0.05	3.52± 0.19	3.50± 0.05	3.12± 0.20	3.32± 0.15	2.92± 0.29	3.01± 0.18	3.32± 0.06	3.47± 0.36	3.75± 0.20
	สงขลา3	5.05± 0.18	4.47± 0.16	4.33± 0.23	4.15± 0.25	4.20± 0.18	3.58± 0.08	3.38± 0.03	3.42± 0.18	3.12± 0.10	3.12± 0.51	2.87± 0.10	3.23± 0.24	3.93± 0.80	4.15± 0.26	4.25± 0.40
	ควบคุม	5.05± 0.18	4.62± 0.15	4.50± 0.18	4.10± 0.05	3.73± 0.28	3.23± 0.13	3.37± 0.25	3.20± 0.13	2.88± 0.18	2.89± 0.33	2.78± 0.18	2.95± 0.15	3.02± 0.23	3.08± 0.24	3.58± 0.12
CW	สุราษฎร์ธานี	3.05± 0.13	2.73± 0.15	2.65± 0.13	2.45± 0.09	2.68± 0.10	2.85± 0.25	2.75± 0.23	2.77± 0.29	2.78± 0.23	2.94± 0.27	2.92± 0.29	2.95± 0.32	2.97± 0.28	2.89± 0.19	3.05± 0.18
	สงขลา3	3.05± 0.13	2.53± 0.06	2.38± 0.12	2.42± 0.16	2.52± 0.41	2.75± 0.31	2.84± 0.32	2.95± 0.23	2.98± 0.38	2.99± 0.24	3.02± 0.25	3.05± 0.17	3.10± 0.26	2.99± 0.22	3.11± 0.23
	ควบคุม	3.05± 0.13	2.57± 0.08	2.38± 0.25	2.18± 0.10	2.23± 0.18	2.27± 0.13	2.31± 0.28	2.30± 0.26	2.28± 0.08	2.38± 0.18	2.48± 0.33	2.53± 0.23	2.55± 0.34	2.59± 0.27	2.48± 0.42

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

134

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 6 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	0.87± 0.13	0.30± 0.13	1.16± 0.45	1.83± 0.55	2.08± 1.21	2.01± 0.56	3.25± 0.71	3.62± 0.75	3.58± 1.04	3.51± 0.30	3.92± 0.72	4.23± 1.20	4.25± 1.34	4.34± 0.88	4.39± 1.26
	สงขลา3	0.87± 0.13	0.76± 0.05	1.31± 0.51	1.85± 0.17	2.40± 0.13	2.49± 0.41	2.90± 1.18	3.25± 0.71	3.68± 0.64	4.11± 0.55	4.03± 0.60	4.12± 0.87	3.82± 0.74	3.95± 0.40	4.30± 1.77
	ควบคุม	0.87± 0.13	0.25± 0.20	1.14± 0.54	1.62± 0.22	1.79± 0.34	1.90± 0.32	2.48± 0.37	2.69± 0.51	2.69± 0.54	2.74± 0.97	2.90± 0.34	3.05± 0.86	3.11± 0.11	3.45± 0.60	4.10± 0.51
TL	สุราษฎร์ธานี	1.63± 0.18	2.40± 0.34	3.17± 0.20	3.91± 0.09	4.61± 0.08	4.57± 0.20	4.49± 0.21	4.82± 0.13	5.39± 0.44	5.88± 0.52	6.07± 0.08	6.49± 0.53	6.58± 0.27	7.32± 0.20	8.07± 0.97
	สงขลา3	1.63± 0.18	1.87± 0.20	3.49± 1.05	3.62± 0.68	4.09± 0.75	4.19± 1.15	4.41± 0.26	4.67± 1.01	4.98± 0.70	5.02± 0.25	6.55± 1.48	6.96± 0.55	7.17± 1.31	7.22± 0.04	8.92± 1.78
	ควบคุม	1.63± 0.18	2.28± 0.06	3.51± 0.13	3.38± 0.30	3.99± 0.65	4.12± 0.38	3.64± 0.25	4.46± 0.43	4.58± 0.26	4.66± 0.47	5.26± 0.25	6.61± 0.61	6.43± 0.47	6.92± 0.59	7.50± 0.61
CW	สุราษฎร์ธานี	5.19± 0.05	3.36± 0.20	4.28± 0.32	4.32± 0.80	4.39± 0.16	4.47± 0.32	5.16± 0.43	5.50± 0.70	5.95± 0.73	5.70± 0.36	6.52± 0.54	7.55± 0.37	7.46± 0.17	7.76± 1.18	8.58± 0.67
	สงขลา3	5.19± 0.05	3.23± 0.45	4.24± 0.21	3.67± 0.76	4.01± 0.60	4.74± 0.28	6.06± 0.20	6.08± 0.79	5.40± 0.29	6.73± 1.46	6.85± 0.71	6.96± 0.16	6.91± 1.23	7.32± 0.49	8.99± 1.51
	ควบคุม	5.19± 0.05	3.56± 0.46	4.04± 0.29	4.36± 0.70	4.78± 0.31	4.68± 0.08	4.88± 0.69	5.64± 0.63	5.52± 0.91	6.09± 0.24	6.23± 0.08	6.11± 0.48	6.66± 1.27	7.69± 0.50	8.15± 0.74

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 7 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	755.33± 35.67	284.67± 51.94	143.33± 19.01	120.00± 32.19	84.00± 6.00	65.33± 11.05	52.67± 2.08	47.33± 5.48	44.00± 3.95	40.00± 4.00	27.67± 10.41	23.00± 8.08	25.33± 3.45	14.67± 2.32	13.67± 4.16
	สงขลา3	755.33± 35.67	311.33± 27.74	154.67± 18.15	128.67± 17.01	97.33± 8.46	74.67± 7.81	67.33± 7.37	58.00± 10.58	46.67± 5.72	45.33± 4.67	32.67± 10.41	34.00± 11.02	24.00± 3.85	26.67± 9.14	22.33± 5.51
	ควบคุม	755.33± 35.67	354.67± 35.48	166.67± 24.19	142.00± 10.46	124.67± 12.17	102.00± 21.15	95.00± 16.09	82.00± 8.61	75.33± 9.25	58.00± 4.81	52.33± 7.51	45.67± 7.43	40.00± 1.96	45.00± 7.49	32.00± 9.64
TL	สุราษฎร์ธานี	57.67± 5.29	27.33± 3.06	22.00± 2.45	19.67± 1.89	14.33± 2.14	12.67± 1.15	13.00± 2.64	12.67± 2.24	10.67± 1.72	9.33± 1.13	9.00± 1.15	11.00± 2.00	9.33± 2.48	10.00± 1.00	10.33± 1.15
	สงขลา3	57.67± 5.29	26.00± 4.00	20.00± 5.29	15.00± 3.42	10.33± 2.03	8.67± 1.48	7.33± 2.52	7.00± 1.00	6.67± 1.36	7.00± 2.08	6.67± 1.15	6.00± 1.29	7.00± 1.85	9.00± 2.00	7.00± 3.46
	ควบคุม	57.67± 5.29	32.33± 7.62	25.33± 6.43	20.33± 2.97	19.00± 4.65	17.67± 2.84	15.00± 5.00	14.00± 1.78	14.33± 1.72	13.00± 0.00	15.67± 7.37	15.33± 3.45	14.00± 2.68	15.00± 3.95	17.00± 6.56
CW	สุราษฎร์ธานี	12.56± 2.48	6.33± 1.87	6.00± 2.43	3.33± 1.05	5.00± 1.00	4.67± 1.30	2.67± 0.58	2.67± 1.32	3.33± 1.78	6.00± 2.34	6.00± 2.00	7.00± 1.87	7.33± 2.45	8.67± 1.93	9.00± 1.00
	สงขลา3	12.56± 2.48	4.00± 0.00	2.67± 1.45	3.00± 1.32	2.00± 0.00	2.33± 1.67	1.33± 0.58	2.33± 1.20	2.00± 0.00	3.67± 1.45	4.00± 2.00	5.00± 2.67	4.67± 1.71	5.67± 2.21	8.00± 1.00
	ควบคุม	12.56± 2.48	9.33± 1.15	7.67± 2.33	6.00± 1.00	5.33± 2.41	4.67± 1.08	4.00± 2.00	5.33± 1.45	6.67± 2.41	9.33± 3.48	8.67± 0.58	12.00± 3.76	13.67± 3.39	14.33± 4.48	15.67± 0.58

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

136

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 8 ค่าเฉลี่ยซีโอดี ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	940.67± 20.56	824.67± 18.70	583.33± 35.45	526.67± 29.22	488.67± 17.47	467.33± 15.35	449.33± 30.02	366.67± 36.46	357.33± 42.38	320.00± 23.98	293.33± 30.35	224.00± 12.34	234.67± 5.45	214.67± 15.33	216.00± 96.00
	สงขลา3	940.67± 20.56	880.00± 23.64	605.33± 37.46	562.00± 17.53	512.67± 19.53	490.00± 19.45	493.33± 19.43	361.33± 23.45	350.00± 29.45	353.33± 26.35	332.00± 22.27	310.67± 3.26	268.00± 3.45	253.33± 14.93	240.00± 32.00
	ควบคุม	940.67± 20.56	921.33± 27.52	820.67± 34.48	806.67± 28.45	778.00± 8.09	741.67± 35.62	653.33± 25.72	633.33± 45.72	600.00± 18.37	612.67± 17.48	553.33± 25.01	530.00± 37.25	448.67± 33.62	494.67± 19.30	373.33± 27.23
TL	สุราษฎร์ธานี	210.11± 15.23	205.33± 5.67	183.33± 12.78	153.33± 5.09	154.67± 0.00	154.67± 16.73	98.67± 15.53	85.33± 14.37	80.67± 18.23	81.33± 9.34	62.67± 5.03	59.33± 4.30	51.33± 11.35	52.67± 7.03	32.00± 6.00
	สงขลา3	210.11± 15.23	198.67± 8.45	180.67± 17.45	170.67± 7.73	148.67± 4.76	128.67± 18.26	68.67± 5.03	73.33± 20.03	64.67± 8.45	57.33± 5.02	54.00± 2.00	43.33± 3.45	52.67± 7.39	35.33± 7.00	28.67± 3.06
	ควบคุม	210.11± 15.23	206.67± 20.03	195.33± 23.04	179.33± 15.65	186.67± 4.78	158.67± 24.82	133.33± 13.61	130.33± 13.47	127.33± 5.23	130.67± 6.38	121.33± 7.02	98.00± 20.65	86.00± 3.34	70.67± 15.54	68.00± 5.29
CW	สุราษฎร์ธานี	60.44± 4.46	60.00± 3.38	56.00± 5.69	51.33± 3.47	43.33± 2.45	40.00± 6.46	38.00± 5.29	32.67± 4.29	25.33± 7.38	20.67± 3.49	21.33± 6.11	22.67± 3.92	20.67± 4.18	16.67± 6.84	17.33± 6.11
	สงขลา3	60.44± 4.46	63.33± 4.83	54.67± 7.35	53.33± 2.46	44.67± 1.04	37.33± 5.36	36.00± 4.00	34.67± 6.08	30.00± 0.00	28.67± 5.67	25.33± 5.77	27.33± 4.17	20.00± 3.95	17.33± 3.62	16.00± 3.46
	ควบคุม	60.44± 4.46	64.67± 3.90	60.67± 8.44	60.00± 3.34	58.67± 2.37	52.67± 4.78	46.67± 1.15	53.33± 5.00	44.67± 3.41	40.00± 3.35	38.00± 2.00	32.67± 5.09	34.67± 2.87	30.67± 4.34	28.00± 5.29

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 9 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	219.30± 9.51	187.47± 2.46	170.87± 3.47	157.97± 2.92	125.33± 5.41	103.00± 7.82	85.50± 4.78	73.07± 3.41	65.13± 2.87	60.00± 1.45	55.17± 9.52	50.50± 3.82	53.33± 2.76	48.90± 2.01	41.57± 1.79
	สงขลา3	219.30± 9.51	187.33± 3.52	177.50± 5.35	157.27± 1.53	126.77± 2.20	114.23± 3.76	90.13± 2.56	81.87± 5.90	60.03± 7.74	45.63± 4.12	49.17± 1.00	51.57± 2.30	49.13± 1.45	41.07± 5.56	37.30± 2.41
	ควบคุม	219.30± 9.51	196.83± 1.34	183.40± 2.48	164.93± 2.98	159.60± 3.87	135.37± 1.54	121.77± 2.57	108.93± 3.92	91.33± 4.76	80.77± 3.54	72.50± 4.49	65.67± 4.39	60.03± 6.41	58.00± 4.96	58.03± 3.06
TL	สุราษฎร์ธานี	183.80± 2.43	169.23± 5.23	160.07± 1.80	147.53± 3.11	119.00± 2.01	90.13± 6.63	65.57± 0.59	49.17± 2.75	43.00± 3.39	42.50± 2.98	39.53± 2.80	38.00± 2.34	37.33± 3.94	34.27± 3.71	28.30± 12.08
	สงขลา3	183.80± 2.43	172.20± 4.48	161.70± 3.87	147.13± 5.87	121.77± 4.02	92.50± 2.34	58.03± 2.63	48.30± 3.21	42.17± 3.05	41.57± 2.53	36.67± 0.64	35.166± 3.51	33.57± 2.07	28.30± 4.49	23.97± 3.33
	ควบคุม	183.80± 2.43	178.80± 4.90	170.00± 2.46	150.37± 6.63	125.87± 3.34	105.73± 7.75	83.90± 2.96	73.10± 2.01	69.47± 4.20	59.93± 1.83	61.30± 16.00	52.40± 7.03	42.13± 3.11	40.67± 5.97	36.57± 8.27
CW	สุราษฎร์ธานี	19.56± 1.57	16.73± 1.05	8.83± 1.92	6.40± 2.04	5.67± 0.35	4.77± 0.53	4.33± 0.38	3.83± 0.61	2.67± 0.00	2.80± 0.49	2.37± 0.32	1.50± 0.19	1.03± 0.28	1.13± 0.50	0.90± 0.53
	สงขลา3	19.56± 1.57	15.57± 1.24	8.50± 0.85	6.40± 1.78	5.30± 0.56	5.03± 0.23	4.87± 0.21	3.50± 0.50	2.83± 0.34	2.40± 0.26	2.27± 0.35	1.83± 0.37	1.23± 0.45	1.20± 0.17	0.63± 0.12
	ควบคุม	19.56± 1.57	17.50± 0.89	10.83± 2.08	9.67± 0.94	8.03± 0.64	6.50± 0.39	5.67± 0.47	5.17± 0.21	5.33± 0.31	4.33± 0.43	4.27± 0.35	2.87± 0.34	2.00± 0.21	1.73± 0.27	1.37± 0.21

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

138

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 10 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	12.75± 1.12	10.17± 0.82	10.09± 0.56	8.20± 0.47	7.57± 0.63	6.50± 0.73	5.13± 0.45	4.62± 0.51	4.03± 0.63	4.07± 0.31	3.34± 0.26	3.10± 0.29	2.90± 0.36	2.43± 0.42	2.28± 0.80
	สงขลา3	12.75± 1.12	10.42± 0.63	10.33± 0.72	8.62± 0.52	8.33± 0.58	7.37± 0.27	6.29± 0.45	5.97± 0.45	4.90± 0.28	4.62± 0.24	3.50± 0.46	3.34± 0.50	3.33± 0.23	3.13± 0.19	2.53± 0.52
	ควบคุม	12.75± 1.12	11.67± 0.45	11.33± 0.34	11.37± 0.38	9.57± 0.73	8.47± 0.94	7.67± 0.49	7.20± 0.42	6.67± 0.21	5.33± 0.46	4.67± 0.71	4.53± 0.45	4.60± 0.37	3.93± 0.42	3.87± 0.95
TL	สุราษฎร์ธานี	4.48± 0.58	3.98± 0.42	3.66± 0.51	3.44± 0.41	3.20± 0.21	2.78± 0.42	2.53± 0.52	1.87± 0.31	1.56± 0.17	1.47± 0.34	1.55± 0.46	0.95± 0.28	0.78± 0.31	0.63± 0.18	0.61± 0.15
	สงขลา3	4.48± 0.58	3.83± 0.38	3.75± 0.32	3.07± 0.23	3.12± 0.46	2.47± 0.46	2.30± 0.20	2.00± 0.26	1.53± 0.26	1.53± 0.32	1.45± 0.19	0.93± 0.31	0.73± 0.25	0.61± 0.18	0.47± 0.21
	ควบคุม	4.48± 0.58	4.40± 7.80	4.13± 0.74	3.95± 0.23	3.50± 0.37	3.20± 0.37	3.13± 0.21	2.90± 0.17	2.50± 0.18	2.53± 0.27	1.91± 0.23	1.03± 0.06	0.91± 0.15	0.87± 0.20	0.87± 0.06
CW	สุราษฎร์ธานี	2.53± 0.32	2.22± 0.24	2.17± 0.17	2.07± 0.23	1.77± 0.09	1.51± 0.18	1.47± 0.16	1.03± 0.32	0.88± 0.06	0.84± 0.27	0.88± 0.37	0.54± 0.16	0.53± 0.06	0.47± 0.13	0.45± 0.35
	สงขลา3	2.53± 0.32	2.24± 0.34	2.13± 0.15	1.90± 0.11	1.63± 0.22	1.37± 0.00	1.40± 0.14	1.10± 0.26	0.88± 0.25	0.80± 0.21	0.77± 0.06	0.44± 0.05	0.40± 0.37	0.43± 0.17	0.31± 0.15
	ควบคุม	2.53± 0.32	2.37± 0.18	2.35± 0.17	2.13± 0.09	2.00± 0.27	1.74± 0.12	1.80± 0.18	1.53± 0.08	1.30± 0.18	1.37± 0.13	1.34± 0.13	0.77± 0.11	0.67± 0.23	0.67± 0.09	0.63± 0.15

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 11 ค่าเฉลี่ยคลอไรด์ ของน้ำชะมูลฝอยที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด

น้ำชะมูลฝอย	พันธุ์หญ้าแฝก	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/l)													
			วันที่ 3	วันที่ 5	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12
RL	สุราษฎร์ธานี	419.87 ±0.00	425.68 ±41.88	394.87 ±10.00	392.36 ±12.78	383.21 ±16.07	386.55 ±2.88	378.22 ±2.89	377.32 ±0.00	373.22 ±2.89	374.88 ±0.00	368.18 ±15.84	364.89 ±11.54	359.03 ±15.84	349.89 ±0.00	349.89 ±0.00
	สงขลา3	419.87 ±0.00	401.50 ±41.88	391.55 ±5.77	391.55 ±6.78	388.21 ±10.41	384.88 ±5.77	381.55 ±15.27	383.21 ±11.54	378.88 ±5.77	371.55 ±7.64	373.22 ±20.81	371.55 ±7.64	368.18 ±15.84	354.89 ±8.47	359.03 ±15.84
	ควบคุม	419.87 ±0.00	449.86 ±8.63	425.68 ±41.88	414.87 ±2.88	414.87 ±2.88	414.87 ±2.88	413.21 ±11.54	403.21 ±5.77	404.87 ±6.67	401.54 ±2.88	401.54 ±2.88	394.88 ±15.27	392.36 ±15.84	392.36 ±15.84	391.55 ±5.77
TL	สุราษฎร์ธานี	1157.97 ±43.29	1033.01 ±104.05	999.69 ±49.89	991.36 ±14.23	983.03 ±57.71	983.03 ±57.71	991.36 ±14.39	974.70 ±24.99	983.03 ±57.71	974.70 ±0.00	979.70 ±26.45	966.37 ±76.35	949.71 ±24.99	949.71 ±24.99	941.37 ±28.86
	สงขลา3	1157.97 ±43.29	1016.35 ±14.23	999.69 ±49.89	996.36 ±17.57	991.36 ±14.43	983.03 ±57.71	974.70 ±0.00	974.70 ±0.00	966.37 ±76.35	966.37 ±76.35	958.04 ±28.86	958.04 ±28.86	958.04 ±57.72	916.382 ±35.67	908.05 ±14.43
	ควบคุม	1157.97 ±43.29	1082.99 ±27.85	1066.34 ±142.11	1049.67 ±0.00	1041.34 ±35.67	1029.67 ±25.91	1033.00 ±14.41	1024.68 ±25.75	1015.90 ±29.87	1016.35 ±14.43	1016.35 ±14.43	1013.01 ±57.71	1004.69 ±13.45	1004.69 ±13.45	996.36 ±5.77
CW	สุราษฎร์ธานี	154.95 ±0.00	153.28 ±2.89	153.28 ±2.89	152.45 ±3.54	151.62 ±11.54	151.62 ±11.54	148.29 ±2.88	149.95 ±10.00	148.29 ±2.89	147.45 ±3.04	146.62 ±2.88	144.96 ±0.00	144.96 ±0.00	143.29 ±5.92	143.29 ±5.92
	สงขลา3	154.95 ±0.00	154.95 ±0.00	152.45 ±3.54	151.62 ±11.54	152.45 ±3.54	149.95 ±5.00	149.95 ±10.00	147.45 ±3.04	149.95 ±10.00	147.45 ±3.04	144.96 ±0.00	142.46 ±3.53	144.96 ±7.06	142.46 ±3.53	141.63 ±3.04
	ควบคุม	154.95 ±0.00	159.95 ±5.95	156.62 ±5.77	154.95 ±0.00	154.95 ±0.00	154.95 ±0.00	153.28 ±2.89	153.28 ±2.89	152.45 ±3.54	152.45 ±3.54	151.62 ±11.54	151.62 ±11.54	149.95 ±10.00	148.29 ±2.89	149.95 ±5.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 12 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	สัปดาห์ที่	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สุราษฎร์ธานี	สงขลา3	ควบคุม
RL	1	84.11±4.78	82.97±2.21	81.24±1.40
	2	88.88±0.79	87.11±1.20	83.53±1.53
	3	91.35±1.47	90.11±1.11	86.53±2.48
	4	93.03±0.26	91.09±0.98	87.42±2.13
	5	93.73±0.70	92.32±1.42	89.18±1.24
	6	94.17±0.49	93.82±0.79	90.07±1.27
	7	94.70±0.50	94.00±0.63	92.36±0.64
	8	96.34±1.38	95.67±1.38	93.07±1.00
	9	96.95±1.14	95.50±1.45	94.00±0.97
	10	96.65±0.34	96.82±046	94.75±0.13
	11	98.06±0.31	96.47±1.19	94.08±0.99
	12	98.19±0.55	97.04±0.73	95.76±1.28
TL	1	65.89±3.14	73.99±5.95	64.75±4.83
	2	75.15±3.87	82.09±3.27	67.06±8.23
	3	78.03±2.00	84.97±2.36	69.36±4.75
	4	77.46±4.59	87.29±4.36	73.99±8.67
	5	78.03±3.96	87.86±1.85	75.72±3.09
	6	81.50±3.03	88.43±2.27	75.15±3.06
	7	83.82±1.98	87.86±3.31	77.46±0.00
	8	84.39±2.00	88.43±2.00	72.83±12.78
	9	80.93±3.24	89.60±2.14	73.42±6.00
	10	83.82±4.30	87.86±3.12	75.72±4.63
	11	82.66±1.85	84.39±3.24	73.99±6.52
	12	82.09±2.00	87.87±6.01	70.52±11.37
CW	1	73.49±8.01	76.11±10.46	52.23±7.96
	2	60.19±7.96	84.08±0.00	57.56±17.26
	3	62.82±10.41	81.45±12.14	62.82±8.43
	4	78.74±4.60	89.41±4.60	68.15±15.92
	5	78.74±10.46	81.45±9.36	57.56±10.58
	6	73.49±12.38	84.08±0.00	46.89±17.26
	7	52.23±16.36	70.78±10.58	25.72±8.32
	8	52.23±15.92	68.15±15.92	31.00±4.60
	9	44.27±12.86	60.19±17.82	4.46±2.32
	10	41.64±17.32	62.82±12.08	-8.84±1.76
	11	30.97±15.12	54.86±17.04	-14.09±3.48
	12	28.34±7.96	36.31±7.96	-24.76±4.60

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค 13 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	สัปดาห์ที่	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สุราษฎร์ธานี	สงขลา3	ควบคุม
RL	1	44.01±3.04	40.26±1.93	14.25±2.99
	2	48.05±1.86	45.50±2.24	17.30±0.97
	3	50.32±1.71	47.91±2.17	21.16±4.13
	4	52.23±3.19	47.56±2.07	30.55±2.73
	5	61.02±4.28	61.59±2.36	32.67±5.36
	6	62.01±4.93	62.79±3.02	36.22±2.08
	7	65.98±2.45	62.44±2.80	34.87±1.86
	8	68.82±3.23	64.71±2.37	41.18±2.66
	9	76.19±1.52	66.97±0.34	43.66±4.30
	10	75.05±0.97	71.51±0.45	52.30±4.01
	11	77.18±1.68	73.07±1.52	47.41±2.06
	12	77.04±10.21	74.49±3.40	60.31±2.89
TL	1	27.02±2.44	18.77±3.88	14.65±7.48
	2	26.39±0.00	29.24±1.94	11.16±1.97
	3	26.39±7.98	38.76±9.44	24.48±4.26
	4	53.04±7.39	67.32±2.40	36.54±6.48
	5	59.39±6.86	65.10±10.11	37.97±5.32
	6	61.61±9.41	69.22±3.61	39.40±2.56
	7	61.29±4.85	72.71±2.38	37.81±3.76
	8	70.17±2.40	74.30±0.95	42.25±3.34
	9	71.76±1.88	79.38±1.78	53.36±9.32
	10	75.57±5.21	74.93±3.62	59.07±1.86
	11	74.93±3.36	83.19±3.30	66.37±7.41
	12	84.77±2.86	86.36±1.45	67.34±2.52
CW	1	15.07±5.77	11.76±3.87	0.73±5.61
	2	28.31±3.84	26.09±1.65	2.93±3.78
	3	33.82±11.12	38.24±9.34	12.86±7.86
	4	37.13±8.75	40.44±6.62	22.79±1.91
	5	45.95±7.34	42.64±9.97	28.31±8.43
	6	58.09±13.06	50.36±0.00	26.09±5.70
	7	65.80±5.83	52.56±9.32	33.82±5.64
	8	64.71±10.11	58.09±9.55	37.13±3.31
	9	62.49±5.14	54.78±6.82	45.95±8.51
	10	65.80±6.89	66.91±6.55	42.64±4.96
	11	72.42±12.53	71.33±5.91	49.26±7.23
	12	71.32±10.11	73.53±5.73	53.67±8.75

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค 14 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	สัปดาห์ที่	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สุราษฎร์ธานี	สงขลา3	ควบคุม
RL	1	27.97±1.31	28.29±0.71	24.79±1.34
	2	42.85±2.78	42.19±1.04	27.22±1.81
	3	53.03±3.46	47.91±1.70	38.27±0.71
	4	61.01±2.18	58.90±1.17	44.47±1.17
	5	66.68±1.57	62.67±2.91	50.33±1.79
	6	70.30±1.22	72.63±3.41	58.35±2.17
	7	72.64±0.64	79.19±1.86	63.17±1.62
	8	74.84±4.34	77.58±0.46	66.94±2.05
	9	76.97±1.77	76.48±1.11	70.05±1.98
	10	75.68±1.18	77.60±0.64	72.63±2.82
	11	77.70±0.94	81.27±2.84	73.55±2.29
	12	81.05±0.82	82.99±1.10	73.54±1.39
TL	1	19.73±1.70	19.95±3.06	18.19±3.14
	2	35.26±1.06	33.75±2.35	31.52±1.84
	3	50.96±3.14	49.67±1.36	42.48±4.03
	4	64.33±0.32	68.43±1.43	54.35±1.61
	5	73.25±1.49	73.72±1.78	60.23±1.06
	6	76.61±1.87	77.06±1.67	62.20±2.41
	7	76.88±1.62	77.38±1.40	67.40±0.94
	8	78.49±1.52	80.05±0.35	66.65±8.70
	9	79.33±1.36	80.87±1.93	71.49±3.88
	10	79.69±2.28	81.74±1.14	77.08±1.70
	11	81.35±2.07	84.60±2.58	77.87±2.99
	12	84.60±6.57	86.96±1.81	80.11±4.50
CW	1	67.28±11.02	67.28±8.45	50.56±5.87
	2	71.01±1.80	72.90±2.82	58.95±3.93
	3	75.61±2.71	74.28±1.18	66.77±1.98
	4	77.85±1.94	75.12±1.06	71.03±2.42
	5	80.42±2.94	82.11±2.58	73.57±1.06
	6	86.35±0.00	85.53±1.76	72.75±1.59
	7	85.69±2.50	87.73±1.51	77.86±2.29
	8	87.90±1.64	88.41±1.80	78.19±1.80
	9	92.33±0.98	90.64±1.90	85.33±1.74
	10	94.73±1.56	93.71±2.36	89.78±1.06
	11	94.22±2.58	93.87±0.90	91.16±1.58
	12	95.40±2.71	96.76±0.59	93.01±1.06

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค 15 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	สัปดาห์ที่	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สุราษฎร์ธานี	สงขลา3	ควบคุม
RL	1	35.69±3.63	32.39±4.08	10.82±3.08
	2	40.63±4.89	34.67±4.67	24.94±5.89
	3	49.01±5.76	42.20±2.16	33.57±7.38
	4	59.74±3.54	50.64±3.51	39.82±3.83
	5	63.76±3.97	53.18±3.45	43.53±3.28
	6	68.39±4.89	61.57±2.28	47.69±1.74
	7	68.08±2.78	63.76±1.91	58.20±3.59
	8	73.80±2.08	72.55±3.59	63.35±5.56
	9	75.69±2.36	73.80±3.86	64.47±3.51
	10	77.25±2.91	73.88±1.90	63.92±3.01
	11	80.94±3.28	75.45±1.72	69.18±3.28
	12	82.09±6.30	80.13±4.08	69.67±7.42
TL	1	23.21±9.24	31.47±5.20	11.83±5.20
	2	28.57±4.65	30.36±10.31	21.88±8.42
	3	37.95±9.27	44.87±10.31	28.57±8.42
	4	43.45±11.62	48.66±4.46	30.06±4.65
	5	58.26±7.84	55.36±6.04	35.27±3.89
	6	65.18±3.89	65.85±6.04	44.20±3.52
	7	67.19±7.84	65.85±7.72	43.53±6.13
	8	65.48±10.31	67.56±4.15	57.37±5.20
	9	78.79±6.29	79.24±7.69	77.01±1.29
	10	82.59±7.84	83.71±5.96	79.69±3.41
	11	85.94±3.52	86.38±3.52	80.58±4.46
	12	86.46±3.41	89.58±4.65	80.65±1.29
CW	1	18.18±10.46	24.90±4.04	15.81±3.56
	2	30.04±3.56	35.57±8.74	20.95±11.84
	3	40.32±7.09	45.85±0.00	31.23±4.40
	4	42.03±6.44	44.53±5.40	29.12±7.09
	5	59.29±12.06	56.52±11.41	39.53±3.02
	6	65.22±2.28	65.22±10.96	48.62±7.09
	7	66.80±11.84	68.38±8.26	45.85±4.84
	8	65.35±14.44	69.70±2.28	47.17±4.94
	9	78.66±6.44	82.61±1.83	69.57±4.04
	10	79.05±2.28	84.19±14.44	73.52±9.07
	11	81.42±4.84	83.00±6.78	73.52±3.56
	12	82.35±13.88	87.62±6.04	74.97±6.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ ค 16 ประสิทธิภาพการบำบัดคลอไรด์ของน้ำชะมูลฝอยต่างระดับความเข้มข้น

น้ำชะมูลฝอย	สัปดาห์ที่	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		สุราษฎร์ธานี	สงขลา3	ควบคุม
RL	1	6.55±2.98	6.75±1.38	1.19±0.69
	2	8.73±3.92	7.54±2.51	1.19±0.69
	3	7.94±0.69	8.33±1.38	1.19±0.69
	4	9.92±0.69	9.13±3.64	1.59±2.75
	5	10.13±0.00	8.73±2.75	3.97±1.38
	6	11.11±0.69	9.76±1.38	3.57±1.64
	7	10.72±0.00	11.51±1.83	4.38±0.69
	8	12.31±3.77	11.11±4.69	4.36±0.69
	9	13.09±2.75	11.51±1.83	5.95±3.64
	10	14.49±3.77	12.31±3.77	6.55±3.77
	11	16.67±0.00	15.48±2.03	6.55±3.77
	12	16.67±0.00	14.49±3.77	6.75±1.38
TL	1	14.39±1.24	13.96±0.50	9.35±0.00
	2	15.11±4.83	14.39±1.25	10.07±2.87
	3	15.11±4.83	15.11±4.83	11.08±2.14
	4	14.39±1.24	15.83±0.00	10.79±1.24
	5	15.83±0.00	15.83±0.00	11.51±2.63
	6	15.11±4.83	16.55±6.48	12.27±1.25
	7	15.83±0.00	16.55±6.48	12.23±1.25
	8	15.40±2.28	17.27±2.49	12.23±1.25
	9	16.55±6.48	17.27±2.49	12.52±4.83
	10	17.98±2.12	17.27±2.49	13.24±1.18
	11	17.98±2.12	20.86±2.87	12.24±1.18
	12	18.70±2.49	21.58±1.25	13.96±0.50
CW	1	1.61±2.24	2.15±7.45	0.00±0.00
	2	2.15±7.45	1.61±2.24	0.00±0.00
	3	2.15±7.45	3.23±3.23	0.00±0.00
	4	4.30±1.86	3.22±6.45	1.08±1.86
	5	3.22±3.23	4.84±2.96	1.08±1.86
	6	4.30±1.86	3.22±3.23	1.61±2.24
	7	4.84±1.96	4.84±1.96	1.61±2.24
	8	5.37±1.86	6.45±0.00	2.15±7.45
	9	6.45±0.00	8.06±2.37	2.15±7.45
	10	6.45±0.00	6.45±5.41	3.23±6.45
	11	7.53±3.82	8.06±2.37	4.30±1.86
	12	7.64±3.82	8.71±1.96	3.22±3.23

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ง
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

ตาราง ง 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก/ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 mg/l - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 mg/l หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 mg/l
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 mg/l หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 mg/l
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 mg/l
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 mg/l หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 mg/l
9. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
10. ฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 mg/l

ตาราง ง 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C) (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 mg/l
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 mg/l
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)	ไม่เกิน 120 mg/l หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 mg/l
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)	
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l
2. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 mg/l
3. โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 mg/l
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/l
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/l
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/l
8. นิคเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l
10. อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 mg/l
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/l
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/l

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วิลาวัลย์ ฤทธิกาญจน์ เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัด สมุทรสงคราม จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย