จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

กนกพร บุญส่ง

พฤษภาคม 2549

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง

พฤษภาคม 2549

I22778730
18 ก.ค. 2550

ชื่อโครงการวิจัย ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง

เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ พฤษภาคม 2549

เลขหมู่ ๗๙ ๐๓ 15
เลขทะเบียน 013271
วัน, เดือน, ปี ๑๓.๑.๕๐

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เพื่อคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในระบบจำลองในระยะที่ 2 โดยปลูกหญ้าแฝก 6 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี ประจวบคีรีขันธ์ และราชบุรี ในถังน้ำที่บรรจุน้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด 55.88, 40.297 และ 6.022 mg/l ตามลำดับ) นาน 8 สัปดาห์ ผลการศึกษพบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟตสูงเป็น 2 ลำดับแรก มีค่าอยู่ในช่วง 80.07-81.06, 16.38-16.81 และ 10.39-12.87% ตามลำดับ รวมทั้งมีการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด) สูง ระยะที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝกในระบบบำบัดจำลอง โดยปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีในบ่อพีวีซีขนาด 0.85x1.55x0.50 ม. โดยชุดควบคุมไม่ปลูกพืช ใช้น้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำ (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมด 44.28-58.92, 34.731-42.144 และ 4.838-5.482 mg/l ตามลำดับ) และความเข้มข้นสูง (ค่าเฉลี่ยบีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมด 90.12-94.88, 41.025-52.806 และ 5.892-6.657 mg/l ตามลำดับ) แบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 8 สัปดาห์ แต่ละช่วงใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ และใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟตสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 90.54-91.46, 61.01-62.48, 17.78-35.87 และ 15.40-23.46% ตามลำดับ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 50.22-58.62% แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) สำหรับการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกพบว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีการเจริญเติบโตดี และมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตของรากดีกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 อย่างไรก็ตาม หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงสุดเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ขณะที่กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงสุดเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ สำหรับการสะสมธาตุอาหารในต้นและรากของหญ้าแฝกพบว่า โดยทั่วไปการสะสมธาตุอาหารมีค่าแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันหญ้าแฝกมีการสะสมธาตุอาหารในรากได้สูงสุด ดังนั้นผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน ควรใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน และใช้หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่หากน้ำเสียมีบีโอดีและธาตุอาหารสูงสามารถใช้หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ได้

Project Title Efficiency of Vetiver Grass Cultivated with Floating Platform Technique in Municipal Wastewater Treatment

Name of the Investigator Assisstant Professor Dr. Kanokporn Boonsong

Year May 2006

Abstract

This experiment was divided into 2 phases. The first period was to select 2 suitable vetiver grass ecotypes in order to implement for the second period. Six vetiver grass ecotypes (Kumphaeng Phet2, Sri Langka, Songkhla3, Surat Thani, Prajuab Kirikhan and Ratchaburi) were grown in plastic tank with low concentration wastewater (LCW) (average BOD, TKN and TP were 55.88, 40.297 and 6.022 mg/l, respectively) for 8 weeks. The results indicated that the highest removal percentage of BOD, TP and ortho-PO_4 was found in Songkhla3 and Surat Thani ecotypes which were 80.07-81.06, 16.38-16.81 and 10.39-12.87%, respectively. Moreover, the high growth rate and nutrient (TN and TP) accumulation were found in those two ecotypes. The second period was to study the efficiency of two selected ecotypes in municipal wastewater treatment. The experiment was conducted by cultivating Songkhla3 and Surat Thani ecotypes in PVC container of 0.85x1.55x0.50 meters each with LCW (average BOD, TKN and TP were 44.28-58.92, 34.731-42.144 and 4.838-5.482 mg/l, respectively) and high concentration wastewater (HCW) (average BOD, TKN and TP were 90.12-94.88, 41.025-52.806 and 5.892-6.657 mg/l, respectively). The study was divided into 3 periods of 8 weeks each, using 7-day, 5-day and 3-day detention times and continuous flow system. The results indicated that the removal percentages of different detention time and wastewater concentration were significantly different. The highest removal percentage was found in 7-day detention time. The highest removal percentage of BOD, TKN, TP and ortho-PO_4 were found in HCW with average percentage of 90.54-91.46, 61.01-62.48, 17.78-35.87 and 15.40-23.46%, respectively. The highest removal percentage of NH_3-N removal percentage was found in LCW with average percentage of 50.22-58.62%. The removal percentage of different ecotypes was not significantly different. However, the study showed that the experimental sets with vetiver grass had higher removal percentage than a control set (without plant). Surat Thani ecotype tended to have higher root growth than Songkhla3 ecotype. However, the biomass increment of Songkhla3 ecotype was highest in HCW whereas Surat Thani ecotype was highest in LCW. According to nutrient accumulation in shoot and root, it was found that generally nutrient accumulation increased with wastewater concentration. The highest nutrient accumulation in root was found in 7-day detention time. In conclusion, the overall results suggested that the optimal condition vetiver grass cultivated with floating platform technique in municipal wastewater treatment should design at 7-day detention time and planted with Surat Thani ecotype. However, if wastewater had high BOD and nutrients, Songkhla3 could be planted.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากหลายๆ ฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้

ขอขอบพระคุณหัวหน้าสถานีพัฒนาที่ดิน จังหวัดราชบุรี สมุทรปราการ และนครนายก ที่อนุเคราะห์หญ้าแฝกสำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณลัดดาวัลย์ อุ่ยมานะชัย ผู้ดูแลอาคารจุฬานิเวศน์ สำนักงานบริหารทรัพยากรมนุษย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาประสานงานการขอใช้สถานที่ทำการทดลอง และคุณ กฤษมนัส พรสาธิต ผู้จัดการอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวก และอนุญาตให้ใช้ไฟฟ้า-ประปาจากอาคารตลอดช่วงการทดลอง

ขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและพืช

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ……a
กิตติกรรมประกาศ……c
สารบัญ……d
รายการตารางประกอบ……f
รายการรูปประกอบ……h

บทที่ 1 บทนำ……1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……1
1.2 วัตถุประสงค์……2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……2

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……3
2.1 น้ำเสียชุมชน……3
2.1.1 น้ำเสียชุมชนและแหล่งกำเนิด……3
2.1.2 ลักษณะและปริมาณของน้ำเสียชุมชน……3
2.1.3 สารอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน……4
2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ……6
2.3 บทบาทของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสีย……6
2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช……7
2.4.1 การบำบัดสารอินทรีย์……7
2.4.2 การบำบัดไนโตรเจน……8
2.4.3 การบำบัดฟอสฟอรัส……10
2.5 หญ้าแฝก……12
2.5.1 ประเภทของหญ้าแฝก
2.5.2 การเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของหญ้าแฝก……14
2.5.3 สมบัติบางประการของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสีย……14
2.5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา……19
3.1 ขอบเขตการศึกษา……19
3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา……21
3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ……27

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....28
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก……28
4.1.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 1……28
4.1.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1 ……29
4.1.3 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 1 ……38
4.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก……39
4.2.1 เปอร์เซ็นต์การรอดและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……39
4.2.2 ปริมาณและการสะสมธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……44
4.2.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……46
4.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน……47
4.3.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 2 ……47
4.3.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2……48
4.3.3 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 2 ……67
4.4 ผลการศึกษาการเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน……67
4.4.1 เปอร์เซ็นต์การรอดและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……67
4.4.2 ปริมาณและการสะสมธาตุธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……79
4.4.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……83

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการศึกษา……84
5.1.1 ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก……84
5.1.2 ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน……84
5.2 ข้อเสนอแนะ……87

รายการอ้างอิง……88
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายการทดลอง……i
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติ……vi

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากอาคารและสถานประกอบการ……..…….…...4
ตารางที่ 2-2 กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทย ตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน…….....12
ตารางที่ 2-3 ลักษณะลำต้น ใบ และราก ของหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน…..……...…… …13
ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ……..…….. 23
ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช…...…….... ..23
ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 1……...….. .29
ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1……..…….. 30
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1……30
ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด
ในระยะที่ 1……...…….…...……...31
ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ
ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1..……..32
ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ
ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1..…….....33
ตารางที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ
ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1……..…….…..…34
ตารางที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1……..….35
ตารางที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด
และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1..……...…..……...36
ตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด
และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1……...……37
ตารางที่ 4-11 เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1…….…….....……..39
ตารางที่ 4-12 จำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1…….….40
ตารางที่ 4-13 เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ และความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝก
ในระยะที่ 1 .....…….....40
ตารางที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……...….41
ตารางที่ 4-15 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก
ในระยะที่ 1……...….. 42
ตารางที่ 4-16 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนราก และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก
ในระยะที่ 1……..……...…….…43

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ; และส่วนราก ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……..……..……...…….....44
ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ; และส่วนราก ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1…….……...……....45
ตารางที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 2……...……...……47
ตารางที่ 4-20 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2…….……48
ตารางที่ 4-21 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2…...….49
ตารางที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2……...……...……....50
ตารางที่ 4-23 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2……....……...51
ตารางที่ 4-24 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2…….……...……...54
ตารางที่ 4-25 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2……...…….57
ตารางที่ 4-26 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2…....…….60
ตารางที่ 4-27 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2…….……...61
ตารางที่ 4-28 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และ ประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2……....64
ตารางที่ 4-29 เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2...……...……...…….68
ตารางที่ 4-30 จำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2…….…69
ตารางที่ 4-31 เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ และความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2…...71
ตารางที่ 4-32 ค่าเฉลี่ยความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..……..72
ตารางที่ 4-33 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……...…...76
ตารางที่ 4-34 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนรากและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2…....76
ตารางที่ 4-35 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ; และ ส่วนรากของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2….……80
ตารางที่ 4-36 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ; และ ส่วนรากของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2…….....…...82

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2-1 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ……..……..……...……...9
รูปที่ 2-2 การเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ……..…..11
รูปที่ 2-3 ลักษณะลำต้น ใบ และรากของหญ้าแฝก...……..……..13
รูปที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน……...……...20
รูปที่ 3-2 โรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง…...……..……...……...22
รูปที่ 3-3 ชุดทดลอง ในระยะที่ 1……..……..22
รูปที่ 3-4 รูปแบบชุดทดลอง ในระยะที่ 2……..……..24
รูปที่ 3-5 ลักษณะชุดทดลองและจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด
ในระยะที่ 2……..……...……....26
รูปที่ 3-6 ลักษณะแท่นลอยน้ำที่ใช้ในการทดลอง ในระยะที่ 2……...……...……..26
รูปที่ 3-7 ลักษณะการปลูกหญ้าแฝกในชุดทดลอง ในระยะที่ 2……..…...……..…...27
รูปที่ 4-1 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1……...……..32
รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1……..…..33
รูปที่ 4-3 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1.....35
รูปที่ 4-4 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1……..37
รูปที่ 4-5 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1….....38
รูปที่ 4-6 การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……..……42
รูปที่ 4-7 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1……..…….....……..43
รูปที่ 4-8 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..…...…...53
รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..…...…..…56
รูปที่ 4-10 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..……....……..59
รูปที่ 4-11 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..……...63
รูปที่ 4-12 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2……..…66
รูปที่ 4-13 การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระยะที่ 2……....74
รูปที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ ในระยะที่ 2……..77
รูปที่ 4-15 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก ในระยะที่ 2……..…...…..……78

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หญ้าแฝกเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริให้ดำเนินการศึกษาทดลองเพื่อนำมาใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ตลอดจนใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากฝอยปริมาณมากและสานกันแน่น โดยการกระจายของรากจะหยั่งลึกแนวดิ่งลงในดินมากกว่าแนวนอน ทำหน้าที่ในการยึดเกาะดินและเก็บกักความชื้นในดิน อีกทั้งรากปริมาณมากของหญ้าแฝกมีโอกาสที่จะสัมผัสและดูดซับสารต่าง ๆ ทั้งในดินและน้ำได้ดี และหญ้าแฝกยังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั้งในสภาวะแห้งแล้งหรือมีน้ำท่วมขัง รวมทั้งมีการกระจายพันธุ์ด้วยเมล็ดน้อยหรือแทบไม่มีเลย ดังนั้นจึงไม่อยู่ในลักษณะของวัชพืช ปัจจุบันจึงมีการนำหญ้าแฝกมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมด้านต่าง ๆ ให้ดีขึ้น เช่น การปลูกแนวรั้วหญ้าแฝกในพื้นที่น้ำท่วมหรือตามขอบแหล่งน้ำ เพื่อช่วยกรองตะกอนดินและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ไม่ให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

แนวทางที่สำคัญประการหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝก คือ การใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหามลภาวะทางน้ำ โดยเฉพาะน้ำเสียจากชุมชนที่พักอาศัยซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แม่น้ำลำคลองเน่าเสีย เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณมาก และประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารของพืช ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในพื้นที่กรุงเทพมหานครซึ่งเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ มีปริมาณน้ำเสียจากชุมชนประมาณ 75% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้คาดประมาณค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD) ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2559 ว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น จาก 261,100 เป็น 305,650 กิโลกรัม/วัน (กรุงเทพมหานคร, 2546) ดังนั้น เพื่อเป็นการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับแหล่งน้ำจึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีที่เหมาะสมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสียโดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetlands) ทั้งแบบน้ำไหลบนผิวดิน หรือน้ำไหลใต้ผิวดิน ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ต้องมีการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกพืช ดังนั้นหากมีวิธีการที่สามารถบำบัดน้ำเสียโดยไม่ต้องจัดเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกพืชแล้ว จะเป็นการลดขั้นตอนการก่อสร้างระบบซึ่งทำให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียลดลง จากเหตุผลดังกล่าว การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เทคนิคการปลูกพืชบนแท่นลอยน้ำ จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชในบ่อรวบรวมน้ำเสีย หรือในแหล่งน้ำที่เกิดปัญหามลภาวะได้ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้หญ้าแฝกในการทดลอง เนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลักษณะเป็นวัชพืช และมีรากที่สานกันแน่นหยั่งลึกแนวดิ่งไม่แผ่ขนาน มีรากฝอยปริมาณมาก จึงสามารถช่วยดูดซับสารต่างๆ ในน้ำเสียโดยเฉพาะธาตุอาหารซึ่งหญ้าแฝกต้องการเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี ด้วยเหตุนี้การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เทคนิคการปลูกหญ้าแฝกในน้ำด้วยแท่นลอยน้ำจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถพัฒนาและใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปสู่การป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

(2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมื่อใช้กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ (detention time) และระดับความเข้มข้นของน้ำเสียแตกต่างกัน

(3) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารในต้นและรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียชุมชน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยสามารถเลือกใช้กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก และระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยเทคนิคการปลูกหญ้าแฝกบนแท่นลอยน้ำ

(2) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำสำหรับบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน

2.1.1 น้ำเสียชุมชนและแหล่งกำเนิด

น้ำเสียชุมชน (municipal wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชากรที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ซึ่งระบายทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด โดยกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

(1) บ้านพักอาศัย ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมดำรงชีวิต เช่น การประกอบอาหาร การล้างภาชนะและอุปกรณ์ และการชำระล้างร่างกาย ซึ่งสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร ผงซักฟอก อุจจาระ และปัสสาวะ โดยบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตร/คน/วัน หรือประมาณ 180 ลิตร/คน/วัน

(2) โรงแรมและภัตตาคาร น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากห้องครัว ห้องน้ำและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำเสียจากห้องครัวมีปริมาณน้ำมันและไขมันสูงเป็นสาเหตุของการอุดตันในท่อน้ำเสีย

(3) กิจกรรมอื่น ๆ เช่น สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน สถานพยาบาล ห้างสรรพสินค้า และตลาด สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2541; สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545)

2.1.2 ลักษณะและปริมาณของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกลาง สิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายน้ำ นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งมีจุลินทรีย์และเชื้อโรคปนอยู่ด้วย (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548) โดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยมีค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD) อยู่ในช่วงประมาณ 65-110 mg/l ทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen: TKN) 20-40 mg/l และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) 1-6 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2542 และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2546) โดยน้ำเสียชุมชนที่เพิ่งเกิดใหม่มักมีสีเทา มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย แต่หลังจากจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจนหมด จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้สีของน้ำเปลี่ยนเป็นสีดำและมีกลิ่นเหม็นซึ่งเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ประวรดา โภชนจันทร์, 2543)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประชากรและสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำจากครัวเรือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) โดยน้ำเสียที่ระบายจากอาคารและสถานประกอบการต่าง ๆ มีประมาณ 70-80% ของปริมาณน้ำที่ใช้ โดยประเมินจากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร (ตารางที่ 2-1) ซึ่งจะเห็นว่าโรงแรม โรงพยาบาล และอาคารชุด/ บ้านพัก ก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียสูงกว่าอาคาร/สถานประกอบการอื่น ๆ

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากอาคารและสถานประกอบการ

ประเภทอาคารและสถานประกอบการ	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร/วัน-หน่วย)
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500
โรงแรม	ห้อง	1,000
หอพัก	ห้อง	80
สถานบริการ	ห้อง	400
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180
โรงพยาบาล	เตียง	800
ภัตตาคาร	ตารางเมตร	25
ตลาด	ตารางเมตร	70
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5
สำนักงาน	ตารางเมตร	3

ที่มา: สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2536) อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ (2545)

2.1.3 สารอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งมักอยู่ในรูปของเศษอาหารและเศษเนื้อ โดยปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดในรูปบีโอดี ซึ่งแสดงถึง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต ดังนั้นค่าบีโอดีจึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ กล่าวคือ หากค่าบีโอดีในน้ำสูงแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนสูง จุลินทรีย์จึงใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ลดลง เกิดสภาพน้ำเน่าเสียได้ง่าย โดยหากสารอินทรีย์ในน้ำเป็นแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ แต่หากสารอินทรีย์ในน้ำเป็นโปรตีนจะถูกย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนียไนโตรเจน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542; กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

นอกจากนี้ในน้ำเสียชุมชนยังมีธาตุอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และสารประกอบฟอสฟอรัส (phosphorus compounds)

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนมีอยู่ 4 ชนิด คือ อินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2-N) และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) โดยสารอินทรีย์ไนโตรเจน อาจอยู่ในรูปของกรดอะมิโน (amino acid) เปปไทด์ (peptides) หรือยูเรีย (urea) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการขับถ่ายของเสีย และเป็นรูปที่รีดิวส์ (reduce) ได้สูงสุด โดยจะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนียได้ง่าย โดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ดังสมการที่ 2.1 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538; Hauser, 1996; AWWA, 1998; Mitsch and Gosselink, 2000)

$$NH_2CONH_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 \qquad (2.1)$$

(ยูเรีย)

ดังนั้น ในน้ำเสียชุมชนทั่วไปจึงมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่สูงสุด ถึงประมาณ 60% ของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนไนไตรท์และไนเตรทนั้นโดยทั่วไปในน้ำเสียที่เพิ่งถูกปล่อยทิ้งในระยะแรกจะมีปริมาณต่ำ แต่หากน้ำเสียมีออกซิเจนเพียงพอจะมีปริมาณไนไตรท์และไนเตรทสูงขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ กลุ่ม *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 (ชัยพร ภู่ประเสริฐ, 2538; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrosomonas}\ \text{sp.}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy} \qquad (2.2)$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrobactor}\ \text{sp.}} 2NO_3^- + \text{energy} \qquad (2.3)$$

สำหรับสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน จะอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟต คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) และโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) และอินทรียฟอสเฟต (organic phosphate) โดยฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ และบางส่วนจะรวมอยู่กับอนุภาคอื่นแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Hauser, 1996)

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ประกอบด้วยออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตประมาณ 70-90%โดยออร์โธฟอสเฟตอาจอยู่ในรูปของไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) โมโนโซเดียมฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$) ส่วนโพลีฟอสเฟตอาจอยู่ในรูปของโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต ($Na_3(PO_3)_6$) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ($Na_5P_3O_{10}$) และเตรทตะโซเดียมไพโรฟอสเฟต ($Na_4P_2O_7$) ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 10-30% เป็นส่วนที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ โดยปริมาณอนินทรีย์ฟอสเฟตที่มีสัดส่วนค่อนข้างสูงนี้ ส่วนใหญ่มาจากการขับถ่ายของเสีย ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาผลาญและย่อยสลายสารโปรตีนและกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับการขับถ่ายปัสสาวะ (Sawyer at al., 2003)

สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrients) ที่พืชต้องการในปริมาณสูง ดังนั้นหากน้ำเสียชุมชนมีปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) หรือภาวะที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายสูงเกินไป (algae bloom) เมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้น้ำสกปรกและเน่าเสียยิ่งขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำ (Boyden and Rababah, 1996; Epstein and Bloom, 2005) อย่างไรก็ตาม หากยูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างเหมาะสมจะส่งเสริมให้แหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับแหล่งน้ำ (Picard et al., 2005)

นอกจากนี้ในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียอิสระในปริมาณสูงจะเป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำ และทำให้ออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากในการออกซิเดชันแอมโมเนียเพียง 1 mg/l ต้องใช้ออกซิเจนถึง 4.6 mg/l (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ

พื้นที่ชุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ มีน้ำท่วมขัง พื้นที่พรุ และแหล่งน้ำทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ทั้งที่มีน้ำท่วมขัง หรือท่วมอยู่ถาวรและชั่วคราว ทั้งที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหล ทั้งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งทะเลและพื้นที่ของทะเลในบริเวณที่น้ำลดลงต่ำสุดโดยมีความลึกของระดับน้ำไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นแหล่งที่มีความหลากหลายของพันธุ์ไม้ พันธุ์ไม้ในพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถนำธาตุอาหารในแหล่งน้ำไปใช้ได้ จึงเป็นการลดปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้

พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม หมายถึง พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใดที่หนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีหลักการโดยทั่วไปเหมือนกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ คือ อาศัยพืช จุลินทรีย์ และกระบวนการทางกายภาพและเคมีช่วยในการบำบัดน้ำเสีย แต่จะแตกต่างจากบ่อตกตะกอนและบ่อผึ่งทั่วๆไป เพราะมีพืชเป็นปัจจัยเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ข้อได้เปรียบของการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม คือ สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น และสถานที่ตั้งมีความยืดหยุ่นสูง เพราะสามารถออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ต่างๆได้ (ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล, 2539; Bastain, 1989 อ้างถึงใน ลักษณี คณานิธินันท์, 2539)

2.3 บทบาทของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดน้ำเสีย

โดยทั่วไปพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามแหล่งที่อยู่ที่พืชมีการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต หรือการปรับตัวเพื่ออยู่รอด คือ (1) พืชลอยน้ำ (floating plants) เป็นพืชที่มีใบและลำต้นลอยอยู่เหนือผิวน้ำและมีรากลอยอยู่ใต้น้ำ เช่น ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) (2) พืชใต้น้ำ (submerged plants) เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตของใบ ลำต้นและรากอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata*) และ (3) พืชโผล่พ้นน้ำ (emergent plant) เป็นพืชที่มีรากยึดเกาะกับพื้นดินใต้น้ำ แต่มีลำต้นและใบเจริญขึ้นมาเหนือน้ำ เช่น กกกลม (*Cyperus corymbosus*) ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) และพืชในวงศ์หญ้า (Gramineae) ได้แก่ หญ้าแฝก (*Vetiveria* spp.) (จิตติมา วสุสิน, 2539; Brix, 1994; U.S. EPA, 2000; Cronk and Fennessy, 2001) โดยพืชแต่ละประเภทจะมีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยปัจจัยหลัก คือ การเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช โดยพืชจะทำหน้าที่ส่งผ่านออกซิเจนจากใบสู่ปลายราก ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) สารอินทรีย์และลดความเป็นพิษของสารพิษต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้พืชยังมีบทบาทอีกหลายประการ ได้แก่

(1) ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ ได้แก่ ลำต้นและใบ มีบทบาทสำคัญ คือ

- ลดความเข้มของแสงที่ส่องลงสู่ผิวน้ำ จึงช่วยลดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำได้
- ลดผลกระทบจากลมซึ่งทำให้ตะกอนที่จมอยู่ฟุ้งกระจายกลับขึ้นมาได้ (resuspension)
- ลดการส่งผ่านความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำ
- ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในช่วงฤดูหนาว

(2) ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ ได้แก่ ระบบราก มีบทบาทสำคัญ คือ

- ดูดดึงธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณสูง
- ลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้อัตราการตกตะกอน (sedimentation) สูงขึ้น ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนที่จมอยู่ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวของพืช
- เป็นตัวกลางในการกรอง (filtration) และดูดซับ (absorption) ตะกอนและของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ
- เป็นพื้นที่ผิวสำหรับให้จุลินทรีย์อาศัยในการเจริญเติบโต ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ต้องการใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการสร้างเซลล์ และช่วยย่อยธาตุอาหารดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สุวศา กานตวนิชกูร, 2544; Cooper and Boon, 1987; Tchobanoglous, 1987; Wolverton, 1987; Allen et al., 2002)

2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบที่มีการปลูกพืช

2.4.1 การบำบัดสารอินทรีย์

กลไกในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

(1) การตกตะกอน (sedimentation) ของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง

(2) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่ม heterotroph ซึ่งใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน จะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และหากสารอินทรีย์มีส่วนประกอบของโปรตีน จะถูกย่อยสลายได้แอมโมเนีย ดังสมการที่ 2.4 (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545; Bitton, 1994)

$$\text{สารอินทรีย์} \xrightarrow[\text{heterotroph}]{O_2} CO_2 + H_2O + NH_4 + \text{เซลล์ใหม่} \qquad (2.4)$$

(3) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ กระบวนการหมัก (fermentation) และกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenisis)

ระยะที่ 1 กระบวนการหมัก เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ กรดแลคติก (lactic acid) แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6 โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Clostridium* (Bitton, 1994; Mitsch and Gosselink, 2000)

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{(กรดแลคติก)}}{2CH_3CH_2OCOOH} \qquad (2.5)$$

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{(เอทธานอล)}}{2CH_3CH_2OH} + 2CO_2 \qquad (2.6)$$

ระยะที่ 2 กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (methanogens) ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ผลผลิตที่ได้ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ดังสมการที่ 2.7 (Bitton, 1994; Mitsch and Gosselink, 2000)

$$CH_3COO + 4H_2 \longrightarrow \underset{\text{(ก๊าซมีเทน)}}{2CH_4} + 2H_2O \qquad (2.7)$$

เนื่องจาก กลไกหลักของการบำบัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ คือ กระบวนการย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้น ความยาวของรากพืชจึงมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทั้งนี้เพราะรากพืชช่วยให้มีการแพร่ของออกซิเจนลงสู่น้ำได้ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.4.2 การบำบัดไนโตรเจน

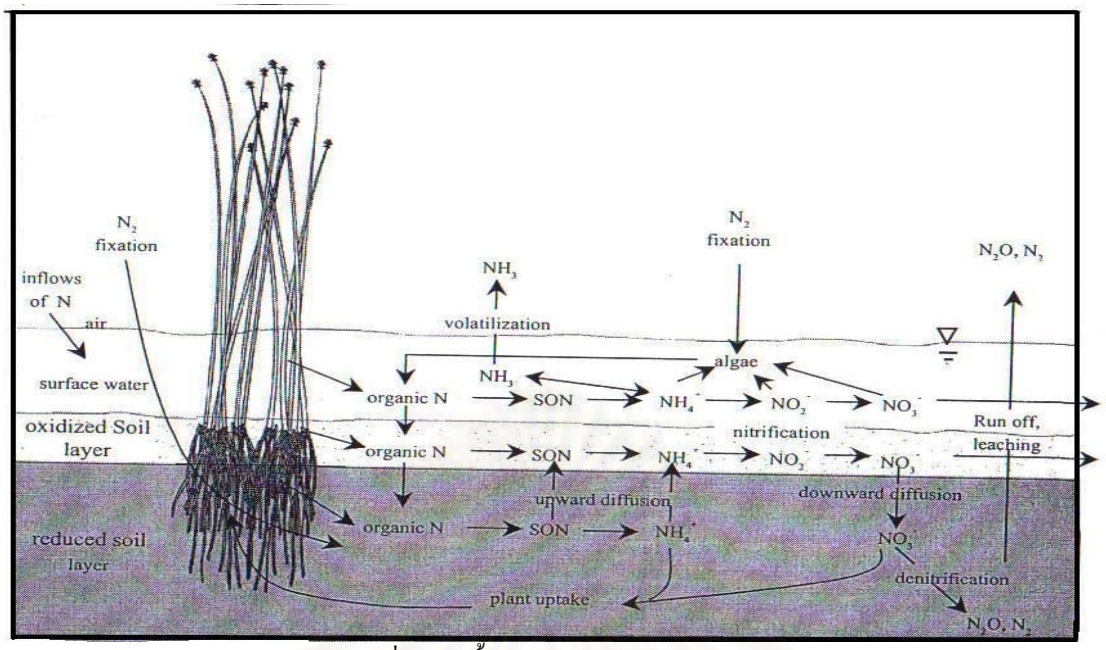
ไนโตรเจนในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปอินทรียไนโตรเจนและแอมโมเนีย โดยการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำจะเกิดขึ้นทั้งในบริเวณที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (รูปที่ 2-1)

กลไกการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ คือ

(1) การนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์

(1.1) การดูดดึงโดยพืช (plant uptake)

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อนและใบพืช โดยเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid) โปรตีน และเอนไซม์ในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ไนโตรเจนที่พืชดึงดูดไปใช้ได้มี 3 รูป คือ ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) โดยเมื่อพืชดูดดึงไนเตรทและยูเรียเข้าไป จะต้องเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียม แล้วจึงนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโน (amino acid) และอะไมด์ (amide) นำไปเลี้ยงส่วนต่างๆของพืช แต่หากพืชดูดดึงแอมโมเนียมเข้าไปจะนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์ได้ทันที (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; Epstein and Bloom, 2005)



หมายเหตุ SON คือ อินทรียไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (soluble organic nitrogen)

รูปที่ 2-1 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา: Mitsch and Gosselink (2000)

(1.2) การนำไปใช้ (assimilation) โดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน โดยไนโตรเจนรูปที่เหมาะสม คือ แอมโมเนียม แต่หากมีปริมาณไม่เพียงพอ จุลินทรีย์บางชนิด เช่น denitrifiers จะรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียมโดยเอนไซม์ nitrate reductase เพื่อนำไปสร้างเซลล์ใหม่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

(2) การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน (nitrification-denitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท ในสภาวะที่มีออกซิเจนบริเวณรอบรากพืช โดยกระบวนการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังกล่าวแล้วในสมการที่ 2.2 และ 2.3 และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนไนเตรทสามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดย denitrifiers เช่น *Pseudomonas*, *Bacillus* และ *Spirillum* โดยใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดก๊าซไนโตรเจน ดังสมการที่ 2.10 (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; Gumbricht, 1993; Mitsch and Gosselink, 2000; Tanner et al., 2002)

$$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2N_2 \qquad (2.10)$$

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นเพียงการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน ไม่ได้กำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียโดยตรง อย่างไรก็ตาม กระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับดีไนตริฟิเคชันเป็นกลไกหลักของการกำจัด

ไนโตรเจนในน้ำเสีย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ Cooper et al. (1996) อ้างถึงใน ศุวศา กานตวนิชกูร (2544) รายงานว่า ออกซิเจนละลายจะยับยั้งเอนไซม์ที่ต้องใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6-8 แต่หาก pH ต่ำกว่า 5 จะลดอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน และหาก pH ต่ำกว่า 4 จะยับยั้งอย่างสิ้นเชิง ส่วนอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันลดลง (Werker et al., 2002)

(3) การระเหยของแอมโมเนีย

แอมโมเนียสามารถระเหย (volatilization) ผ่านชั้นน้ำและบรรยากาศได้ โดยการระเหยจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อน้ำมี pH สูงกว่า 9.4 อย่างไรก็ตามการระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ pH สูงกว่า 7 เมื่อมีระยะเวลากักเก็บนานเพียงพอ (Gumbricht, 1993; Mayo and Mutamba, 2004)

2.4.3 การบำบัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟตทั้งที่ละลายน้ำ (soluble) และไม่ละลายน้ำ (insoluble) โดยการเปลี่ยนรูปของธาตุฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำแสดงในรูปที่ 2-2 โดยกลไกการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ คือ

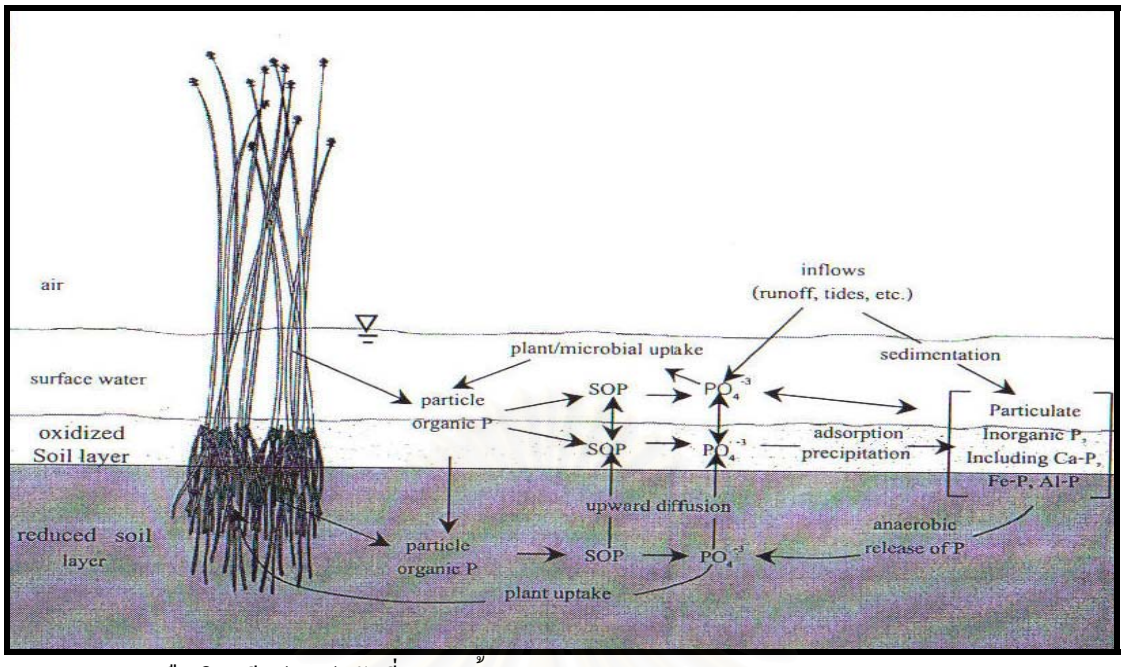
(1) การนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์

(1.1) การดูดดึงโดยพืช

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับพืช เนื่องจากช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและการออกดอกของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Dierberg et al., 2002) โดยพืชสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต 3 รูป ขึ้นกับค่า pH คือ (1) หาก pH ต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีปริมาณมาก คือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ง่ายที่สุด (2) หาก pH อยู่ระหว่าง 6.8-7.2 รูปที่มีปริมาณมากคือ HPO_4^{2-} ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ช้ากว่ารูปแรก และ (3) หาก pH สูงกว่า 7.2 รูปที่มีปริมาณมากคือ PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ยาก เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูป แต่ยังคงอยู่ในรูปของฟอสเฟตตามเดิม คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต และองค์ประกอบในสารอินทรีย์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

(1.2) การนำไปใช้โดยจุลินทรีย์

ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบสำคัญภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Aerobacter* และ *Mycrobacterium* ซึ่งสามารถสะสมฟอสฟอรัสภายในเซลล์ได้ประมาณ 1-3% ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่สะสมฟอสฟอรัสในรูปของโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) (Bitton, 1994)



หมายเหตุ SOP คือ อินทรียฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (soluble organic phosphorus)

รูปที่ 2-2 การเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา: Mitsch and Gosselink (2000)

(2) การดูดซับ (adsorption) และการตกตะกอนทางเคมี (precipitation)

การดูดซับเป็นกระบวนการทางภายภาพ โดยอนุภาคมวลสารจะเกาะยึดกันโดยอาศัยแรงวันเดอร์วาลล์ (van der waals force) ส่วนการตกตะกอนทางเคมีเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและประจุลบรวมกันเป็นตะกอนของแข็งซึ่งไม่ละลายน้ำ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545; Novotny and Olem, 1994) ซึ่งการบำบัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการดังกล่าว จะเกิดระหว่างสารอนินทรีย์ฟอสเฟตกับอลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม โดยฟอสฟอรัสถูกดูดซับและการตะกอนทางเคมีขึ้น (สุวศา กานตวนิชกูร, 2544; Kadlec, 1987; Gumbricht; 1993)

(3) การตกตะกอน (sedimentation)

การตกตะกอนเป็นการจมตัวของของแข็งแขวนลอยในน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Mitsch and Gosselink, 2000) นับเป็นกระบวนสำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยเฉพาะการบำบัดอินทรียฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปของเศษอาหารและกากของเสีย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543; Gumbricht, 1993)

ระยะเวลากักเก็บ (detention time) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยระยะเวลากักเก็บที่นานเพียงพอ จะทำให้การดูดซับ การตกตะกอนทางเคมี การตกตะกอนของอินทรียฟอสเฟต รวมทั้งการดูดดึงโดยพืชและการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น (Gumbricht, 1993; Mitsch, 1994 และ Dunne et al., 2005)

2.5 หญ้าแฝก

2.5.1 ประเภทของหญ้าแฝก

หญ้าแฝกมีชื่อสามัญว่า vetiver grass เป็นพืชล้มลุกข้ามปี (perennial grass) ที่จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (Gramminae) เช่นเดียวกับ ข้าว ข้าวฟ่าง และตระไคร้ (ธนียา เจติยานุกรกุล, 2539)

หญ้าแฝก (*Vetiveria* spp.) ในโลกมีอยู่ประมาณ 12 ชนิด สำหรับประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่

(1) หญ้าแฝกลุ่ม หรือหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash)

หญ้าแฝกลุ่มจำแนกได้ 11 กลุ่มพันธุ์ (ecotype) (ตารางที่ 2-2) ในธรรมชาติพบขึ้นอยู่บริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมขัง แต่ก็สามารถปรับตัวและขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีในสภาพธรรมชาติที่เป็นดินทราย ดินร่วนเหนียว และดินลูกรัง มี 4 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; บุญฤทธิ์ สินค้างาม, 2542)

(2) หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus)

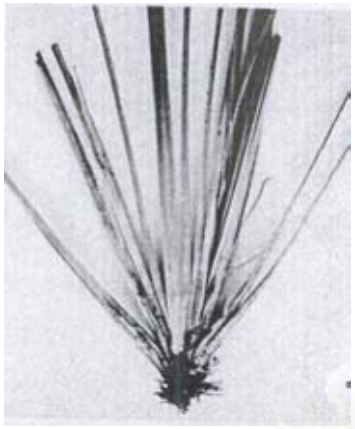
หญ้าแฝกดอนจำแนกได้ 17 กลุ่มพันธุ์ พบขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่ค่อนข้างแล้ง หรือดินระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีในสภาพที่เป็นดินทราย ดินร่วนเหนียว และดินลูกรัง มี 6 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร1 นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี ร้อยเอ็ด และเลย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝกจะขึ้นเป็นกอ ทรงพุ่ม มีลำต้น (culm) ขนาดเล็กและมีข้อปล้องไม่ชัดเจน โคนของลำต้นแบนเกิดจากโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน โดยใบ (leaf) มีการแตกออกจากโคนกอ มีลักษณะแคบและยาว ขอบใบขนานมีปลายสอบแหลม และมีหนามละเอียด (spinulose) ส่วนราก (root) เป็นส่วนสำคัญและมีลักษณะพิเศษที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นหลัก เนื่องจากหญ้าแฝกมีรากฝอยปริมาณมากและสานกันแน่น และมีรากแกนที่เจริญเติบโตในแนวดิ่งหยั่งลึก ไม่แผ่ขนาน (รูปที่ 2-3) นอกจากนี้รากของหญ้าแฝกยังมีช่องว่างขนาดใหญ่จำนวนมากช่วยเก็บกักน้ำเมื่อมีความชุ่มชื้นสูงและเก็บอากาศชื้นเมื่อมีความแห้งแล้ง อย่างไรก็ตาม หญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอนมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-3

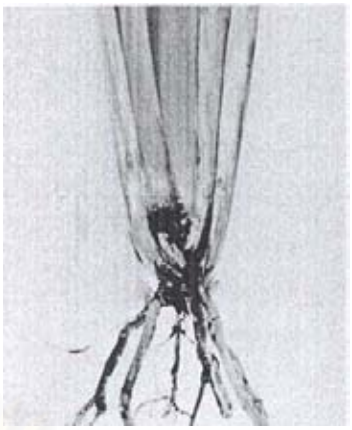
ตารางที่ 2-2 กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทย ตามทะเบียนของกรมพัฒนาที่ดิน

ชนิด	กลุ่มพันธุ์					
หญ้าแฝกลุ่ม	กำแพงเพชร2 ศรีลังกา	เชียงราย สงขลา1	เชียงใหม่ สงขลา2	ตรัง1 สงขลา3	ตรัง2 สุราษฎร์ธานี	แม่ฮ่องสอน
หญ้าแฝกดอน	กาญจนบุรี นครสวรรค์ สระบุรี1	กำแพงเพชร ประจวบคีรีขันธ์ สระบุรี2	จันทบุรี พิษณุโลก ห้วยขาแข้ง	ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด อุดรธานี1	นครพนม1 ราชบุรี อุดรธานี2	นครพนม2 เลย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2541)

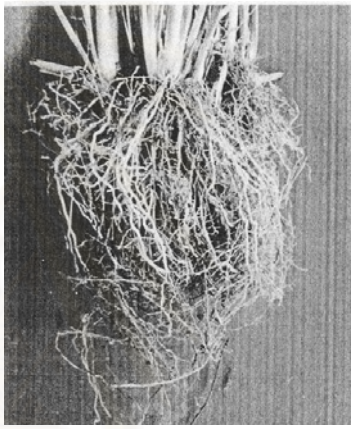


(ก) ลำต้นและใบ



(ข) โคนของลำต้น

(ค) ลำต้นแท้



(ง) ระบบรากฝอย

รูปที่ 2-3 ลักษณะของหญ้าแฝก

ที่มา: ยุพดี เผ่าพันธุ์ (2543)

ตารางที่ 2-3 ลักษณะลำต้น ใบ และราก ของหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกลุ่ม	หญ้าแฝกดอน
ลำต้น ลำต้นแบน ลำต้นแท้มีขนาดเล็กและมีข้อปล้องไม่ชัดเจน มีใบยาวตั้งตรงขึ้นสูง	**ลำต้น** ลำต้นแบน ลำต้นแท้มีขนาดเล็กและมีข้อปล้องไม่ชัดเจน มีใบยาวแผ่โค้งลงล่าง
ใบ ใบยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบสีขาว มีไขเคลือบมาก ดูนุ่มมัน	**ใบ** ใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันแข็ง ท้องใบสีเดียวกับหลังใบ เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อยไม่เหลือบมัน
ราก รากยาวประมาณ 100-300 เซนติเมตร	**ราก** รากยาวประมาณ 80-100 เซนติเมตร

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2541)

2.5.2 การเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของหญ้าแฝก

ในสภาพธรรมชาติหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอนมีการกระจายได้ดีทั้งในที่ลุ่มและที่ดอน จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเล จนถึงประมาณ 1,200 เมตร และหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาพแห้งแล้ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; Liao et al., 2003; Yang et al., 2003) และสภาพน้ำท่วมขัง (Truong and Hart, 2001) เนื่องจากรากมีโพรงอากาศ (air space) ในบริเวณคอร์เทกซ์ (cortex) คล้ายกับรากของพืชน้ำ โดยหญ้าแฝกลุ่มมีโพรงอากาศใหญ่กว่าหญ้าแฝกดอนจึงสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ดี (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2545)

รากของหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเต็มที่เมื่อมีอายุ 18 เดือน และโดยทั่วไปเมื่อหญ้าแฝกมีอายุ 1 ปี จะมีรากยาวประมาณ 80-100 เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของราก คือ 25 ˚C แต่สามารถเจริญเติบโตต่อเนื่องแม้อุณหภูมิจะลดลงเหลือ 13 ˚C (Truong, 2000) เกียรติศักดิ์ เจริญสุข (2538) อ้างถึงใน ปิยวรรณ โภชนพันธ์ (2546) รายงานว่า หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศหนาวเย็น (-9 ˚C) และอุณหภูมิร้อนจัด (45˚C)

หญ้าแฝกมีการแตกกอใหม่ทางด้านข้างรอบๆ กอเดิมทดแทนอยู่เสมอ กอจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ซึ่ง เพชร พลอยเจริญ (2545) ได้ศึกษาการแตกกอของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์อุดรธานีและศรีลังกา ในสภาพธรรมชาติ พบว่า หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีการแตกกอใหม่มากที่สุดในปีที่ 3 เฉลี่ย 90.59-79.87 ต้น/กอ จากนั้นการแตกกอจะลดลงโดยลำดับเนื่องจากหญ้าแฝกบางส่วนตาย และในปีที่ 5 มีการแตกกอเฉลี่ย 4.72-5.62 ต้น/กอ

Yoon (1991) อ้างถึงใน Vieritz (2003) เปรียบเทียบการเพิ่มพื้นที่ใบของหญ้าแฝกที่ปลูกในที่ร่มและกลางแจ้ง พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกกลางแจ้งมีพื้นที่ใบ 140 เซนติเมตร^2/กรัม สูงกว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในที่ร่ม 10% ทั้งนี้เพราะหญ้าแฝกเป็นพืชที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงเจริญเติบโตไม่ดีหากได้รับแสงความเข้มต่ำ (บุญฤทธิ์ สินค้างาม, 2542)

หญ้าแฝกขยายพันธุ์โดยการแตกกอใหม่จากข้อของลำต้น (มนพ รุ่งสุข, 2538; คณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ [กปร.], 2547) และสามารถขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการติดเมล็ดในดอกสมบูรณ์เพศ แต่เมล็ดมีความสามารถในการงอก (vitality) จำกัดเพียงระยะสั้น หากพบกับสภาพแห้งแล้ง แดดจัด และลมแรงจะเสียความสามารถในการงอก ดังนั้นโอกาสในการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดจึงต่ำ ทำให้หญ้าแฝกไม่มีลักษณะเป็นวัชพืช และไม่มีปัญหาในการแพร่กระจาย

2.5.3 สมบัติบางประการของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสีย

ในปีค.ศ. 1950 ได้มีการนำหญ้าแฝกมาใช้ในด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นครั้งแรกในประเทศฟิจิ ต่อมาในปีค.ศ. 1980 ธนาคารโลกได้เผยแพร่ประโยชน์ของหญ้าแฝกในด้านดังกล่าวไปยังประเทศอินเดีย (Truong and Hart, 2001; Chen et al., 2004) หลังจากนั้นมีการนำหญ้าแฝกมาใช้อย่างแพร่หลายในการรักษาสิ่งแวดล้อมด้านอื่น โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากงานวิจัยในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย และสาธารณรัฐประชาชนจีนได้แสดงให้เห็นว่าหญ้าแฝกสามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียจากชุมชน จากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำชะ (leachate) จากหลุมฝังกลบขยะ (Truong and Hart, 2001)

ในปีค.ศ. 1995 หญ้าแฝกได้รับการยอมรับว่าเป็น “ตัวดูดซับ (absorbent)” ที่ดี หลังจากที่ได้มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียในรัฐควีนแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย ในปีค.ศ. 1997 นักวิทยาศาสตร์จากสาธารณรัฐประชาชนจีนยืนยันว่าหญ้าแฝกสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้มีการใช้หญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียอย่างแพร่หลาย เช่น ออสเตรเลีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และประเทศไทย (Truong, 2000 อ้างถึงใน Truong and Hart, 2001)

หญ้าแฝกมีสมบัติทางด้านสัณฐาน (morphology) และทางด้านสรีระ (physiology) ที่เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสีย ดังนี้

- มีลำต้นที่แข็งแรงและตั้งตรง ทนทานต่อสภาวะที่น้ำไหลแรง
- มีการเจริญเติบโตและแตกกอหนาแน่น ทำให้สามารถช่วยกรองและดักตะกอนในแหล่งน้ำได้
- มีระบบรากลึกและหนาแน่น ทำให้สามารถลดมลสาร ดูดดึงธาตุอาหาร และส่งผ่านออกซิเจนในน้ำเสียระดับลึกได้
- มีโครงสร้างของระบบรากที่ใหญ่ เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์และกระตุ้นให้จุลินทรีย์เกิดกระบวนการย่อยสลายบริเวณ rhizosphere ซึ่งมีออกซิเจนเป็นฟิล์มบางๆ โดยรอบราก (Summerfelt et al., 1999; Truong and Baker, 1998; Cull et al., 2000 อ้างถึงใน Chomchalow, 2003)
- ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขัง และมีความเป็นกรดและด่างสูงได้
- ทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมี่ยม ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น (ดุษลักษณ์ ฐิติวร, 2543; พีระพัฒน์ ชูกำเหนิด, 2544; วงศ์พงา เส็งสาย, 2544; Roongtanakiat and Chairoj, 2001; Pang et al., 2003)

2.5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปงานวิจัยออกเป็น 2 ด้านหลัก ดังนี้

(1) ผลของระยะเวลากักเก็บในการบำบัดน้ำเสีย

จิตติมา เชื้อกูล (2545) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยพุทธรักษา (*Canna siamensis*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ซึ่งมีค่า บีโอดี ทีเคเอ็น และ TP อยู่ในช่วง 6.6-8.2, 1.04-2.18 และ 0.28-0.60 mg/l ตามลำดับ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ใช้ระยะเวลากักเก็บ 3, 5 และ 7 วัน ความหนาแน่นของพุทธรักษา 25 ต้น/เมตร^2 พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 46.19, 82.06 และ 75.53% ตามลำดับ

Kongphorod (2002) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 โดยธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* x *H. spathocircinata*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ซึ่งมีค่าทีเคเอ็น และ TP 201 และ 13 mg/l ตามลำดับ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ใช้ระยะเวลากักเก็บ 2, 5 และ 10 วัน ความหนาแน่นของธรรมรักษา 50 ต้น/เมตร^2 พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 21.74-75.29 และ 26.53-47.79% ตามลำดับ

Nakamaura et al. (2002) สำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในประเทศญี่ปุ่น 9 แห่ง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) มีค่าสูงขึ้น เมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น

Masbough et al. (2005) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะโดยธูปฤาษี (*Typha latifolia*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมซึ่งมีค่าบีโอดี เท่ากับ 1,702 mg/l โดยปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ระดับน้ำเสียสูง 40 เซนติเมตรจากผิวดิน พบว่า ระบบสามารถบำบัดบีโอดีได้ 60%

Chen et al. (2006) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยเลา (*Phragmites communis*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำใต้ผิวดิน ซึ่งมีค่าบีโอดี แอมโมเนีย และ TP เท่ากับ 80, 32 และ 69 mg/l ตามลำดับ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ใช้ระยะเวลากักเก็บ 3, 5 และ 7 วัน พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 94, 75 และ 49% ตามลำดับ

(2) ศักยภาพและประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสีย

มนพ รุ่งสุข (2538) ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกลุ่ม 4 กลุ่มพันธุ์ คือ กลุ่มพันธุ์บราซิล ราชบุรี ศรีลังกา อินโดนีเซีย และอินเดีย โดยปลูกในแปลงทดลองและรดด้วยน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าทีเคเอ็น และ TP เท่ากับ 35.64 และ 9.01 mg/l ตามลำดับ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองหญ้าแฝกมีการสะสมธาตุอาหารและมีมวลชีวภาพสูงขึ้น โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์อินเดีย มีมวลชีวภาพของต้นสูงที่สุด และกลุ่มพันธุ์ศรีลังกา มีมวลชีวภาพของรากสูงที่สุด ชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกมีศักยภาพในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

ธนียา เจติยานุกรกุล (2539) ศึกษาการสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝก 5 กลุ่มพันธุ์ คือ หญ้าแฝกลุ่ม กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี อินโดนีเซีย ศรีลังกา และบราซิล และหญ้าแฝกดอน กลุ่มพันธุ์ราชบุรี โดยปลูกในกระถางและรดด้วยน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าทีเคเอ็น และ TP เท่ากับ 23.1 และ 3.9 mg/l ตามลำดับ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองหญ้าแฝกสามารถสะสมธาตุอาหารในต้นสูงกว่าราก โดยหญ้าแฝกลุ่ม กลุ่มพันธุ์บราซิลสะสมไนโตรเจนได้สูงสุด และกลุ่มพันธุ์อินโดนีเซียสะสม TP ได้สูงสุด

วงศ์พงา เส็งสาย (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี และหญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงงานฟอกหนังในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลบนผิวดิน ใช้ระดับความลึกของน้ำเสีย 10, 15 และ 20 เซนติเมตร พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมสูงกว่ากลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ และประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเมื่อใช้ระดับความลึกของน้ำเสีย 10 เซนติเมตร โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัด 89.29% ส่วนกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์มีประสิทธิภาพการบำบัด 86.30%

มงคล ตัะอุ่น (2545) ศึกษาศักยภาพของหญ้าแฝกลุ่มกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าบีโอดี 113-126 mg/l ใช้ระดับความลึกของน้ำเสีย 5, 10 และ 15 เซนติเมตร และระยะทางการไหลของน้ำเสีย 3, 6 และ 9 เมตร พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียระดับความลึก 5 เซนติเมตร เมื่อใช้ระยะทางการไหลของน้ำเสีย 9 เมตร สามารถบำบัดบีโอดีให้มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 2.03 mg/l ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียระดับความลึก 5 เซนติเมตร เมื่อใช้ระยะทางการไหลของน้ำเสีย 3 เมตร มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยอัตราการเจริญเติบโตมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกและระยะทางการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

ปิยวรรณ โภชนพันธ์ (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์มอนโต สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าบีโอดี ทีเคเอ็น และ TP 21.60-28.15, 17.09-18.80 และ 3.912-7.572 mg/l ตามลำดับ โดยปลูกหญ้าแฝกในบ่อคอนกรีตที่ใส่ทรายหยาบหนา 15 เซนติเมตร ใช้ระดับความลึกของน้ำเสีย 25 เซนติเมตร พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุด 68.15% ส่วนกลุ่มพันธุ์มอนโตมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นและ TP สูงสุด 64.36 และ 83.09% ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาในต่างประเทศ Hanping et al. (1997) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะของพืช 4 ชนิด คือ หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) หญ้า Bania (*Potatum notatum*) และผักเป็ดน้ำ (*Alternanthera philoxeroides*) โดยใช้เทคนิคการปลูกพืชในน้ำ ใช้น้ำชะซึ่งรวบรวมจากพื้นที่ฝังกลบเมืองกวางเจา ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน 2 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำชะความเข้มข้นสูง (high concentrated leachate: HCL) ซึ่งมีค่าทีเคเอ็น แอมโมเนีย ไนเตรท และ TP เท่ากับ 1,125.00, 313.70, 0.55 และ 4.43 mg/l ตามลำดับ และน้ำชะความเข้มข้นต่ำ (low concentrated leachate: LCL) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่ากับ 293.80, 87.20, 63.50 และ 2.60 mg/l ตามลำดับ พบว่า หญ้าแฝกหอมและผักเป็ดน้ำทนทานและเหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมากที่สุด โดยใน HCL หญ้าแฝกลุ่มมีประสิทธิภาพการบำบัดทุกพารามิเตอร์สูงกว่าผักเป็ดน้ำ มีค่าเท่ากับ 79.4, 74.6, 36.4 และ 70.0% ตามลำดับ ขณะที่ใน LCL หญ้าแฝกลุ่มมีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงกว่าผักเป็ดน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 65% ตามลำดับ

Zheng et al. (1997) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หญ้าแฝกที่ปลูกบนแท่นลอยน้ำในการลดปัญหายูโทรฟิเคชัน โดยทดลองในแหล่งน้ำ 3 ประเภท คือ แม่น้ำที่เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากหอพัก สระน้ำ และน้ำประปา ซึ่งแหล่งน้ำดังกล่าวมีค่าทีเคเอ็น 13.8, 0.7 และ 0.1 mg/l ตามลำดับ และ TP 1.03, 0.01 และ 0.00 mg/l ตามลำดับ พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในแหล่งน้ำทั้ง 3 ประเภท มีการเจริญเติบโตดี โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในแม่น้ำมีการแตกกอสูงสุด รองลงมา คือ หญ้าแฝกที่ปลูกในสระน้ำและน้ำประปา ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในแม่น้ำมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นและ TP ภายหลังการปลูก 1 สัปดาห์ เท่ากับ 34.1 และ 68.1% ตามลำดับ และภายหลังการปลูก 3 สัปดาห์ มีค่าสูงขึ้นเป็น 74 และ 99% ตามลำดับ

Institute of Soil Science, ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (1997) ศึกษาเบื้องต้นในการปลูกหญ้าแฝกโดยใช้แท่นลอยน้ำพบว่า หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดี และสามารถลดธาตุอาหารในแหล่งน้ำได้

Truong and Hart (2001) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydroponic system) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัยในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประกอบด้วยน้ำจากถังบ่อเกรอะ ห้องครัว และห้องอาบน้ำ โดยปลูกหญ้าแฝกบนแท่นลอยน้ำในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำเสีย 20 ลิตร มีค่าทีเคเอ็น และ TP เท่ากับ 100 และ 10 mg/l ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่ากับ 94 และ 90% ตามลำดับ

Liao et al. (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในชุดทดลองขนาด 50 x 38.8 x 23 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุน้ำเสีย 36 ลิตร มีค่าบีโอดี แอมโมเนีย และ TP เท่ากับ 500, 130 และ 23 mg/l ตามลำดับ ใช้ระยะเวลากักเก็บ 4 วัน พบว่า หญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่ากับ 64.40, 68.66, 19.89 และ 26.92% ตามลำดับ

Kong et al. (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกลุ่มในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 33.0, 13.0, 0.074 และ 0.878 mg/l โดยปลูกหญ้าแฝกให้ลอยบนแพไม้ไผ่ ขนาด 100 x 150 เซนติเมตร พบว่า หญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนักได้ดี โดยสามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้สูงกว่า 60 และ 59% ตามลำดับ และสามารถบำบัดทองแดงและสังกะสี ได้สูงกว่า 92%

ดังนั้นจะเห็นว่าหญ้าแฝกมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ซึ่ง Truong and Baker (1998) อ้างถึงใน Chomchalow (2003) เสนอแนะว่า ในการลดปริมาณธาตุอาหารในแหล่งน้ำด้วยหญ้าแฝกนั้นสามารถทำได้โดยปลูกหญ้าแฝกบริเวณต้นน้ำหรือบริเวณส่วนที่ตื้นซึ่งมีการไหลของธาตุอาหารเข้ามาในปริมาณสูง หรือปลูกหญ้าแฝกบนแท่นลอยน้ำ ซึ่งวิธีนี้จะสะดวกต่อการเก็บเกี่ยวส่วนยอดเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือใช้คลุมดินได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 ขอบเขตการศึกษา

(1) ใช้เทคนิคการปลูกหญ้าแฝกในน้ำโดยสร้างแท่นลอยน้ำเพื่อเป็นตัวยึดให้หญ้าแฝกสามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้

(2) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ที่ได้คัดเลือกจากระยะที่ 1

แต่ละระยะดำเนินการทดลองตามแผนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3-1

(3) น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียชุมชนจากอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีจำนวนห้องพักทั้งหมด 252 ห้อง (จำนวนห้องที่มีผู้พักอาศัยประมาณ 200 ห้อง) โดยใช้น้ำเสีย 2 ระดับความเข้มข้น คือ

(1) น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นต้น (primary treatment) ด้วยการดักด้วยตะแกรงหยาบ

(2) น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ (anaerobic filter)

(4) ตัวแปรและปัจจัยที่ทำการศึกษา

(1) ตัวแปรกำหนด

1) ระยะเวลากักเก็บ 3 ระยะ คือ 3, 5 และ 7 วัน

2) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 2 ระดับ คือ น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นต้นและน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สอง

3) หญ้าแฝก 6 กลุ่มพันธุ์ คือ

- หญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) กลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร 2 ศรีลังกา สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี

- หญ้าแฝกดอน (*Vetiverianemoralis* A.Camus) กลุ่มพันธุ์ราชบุรีและประจวบคีรีขันธ์

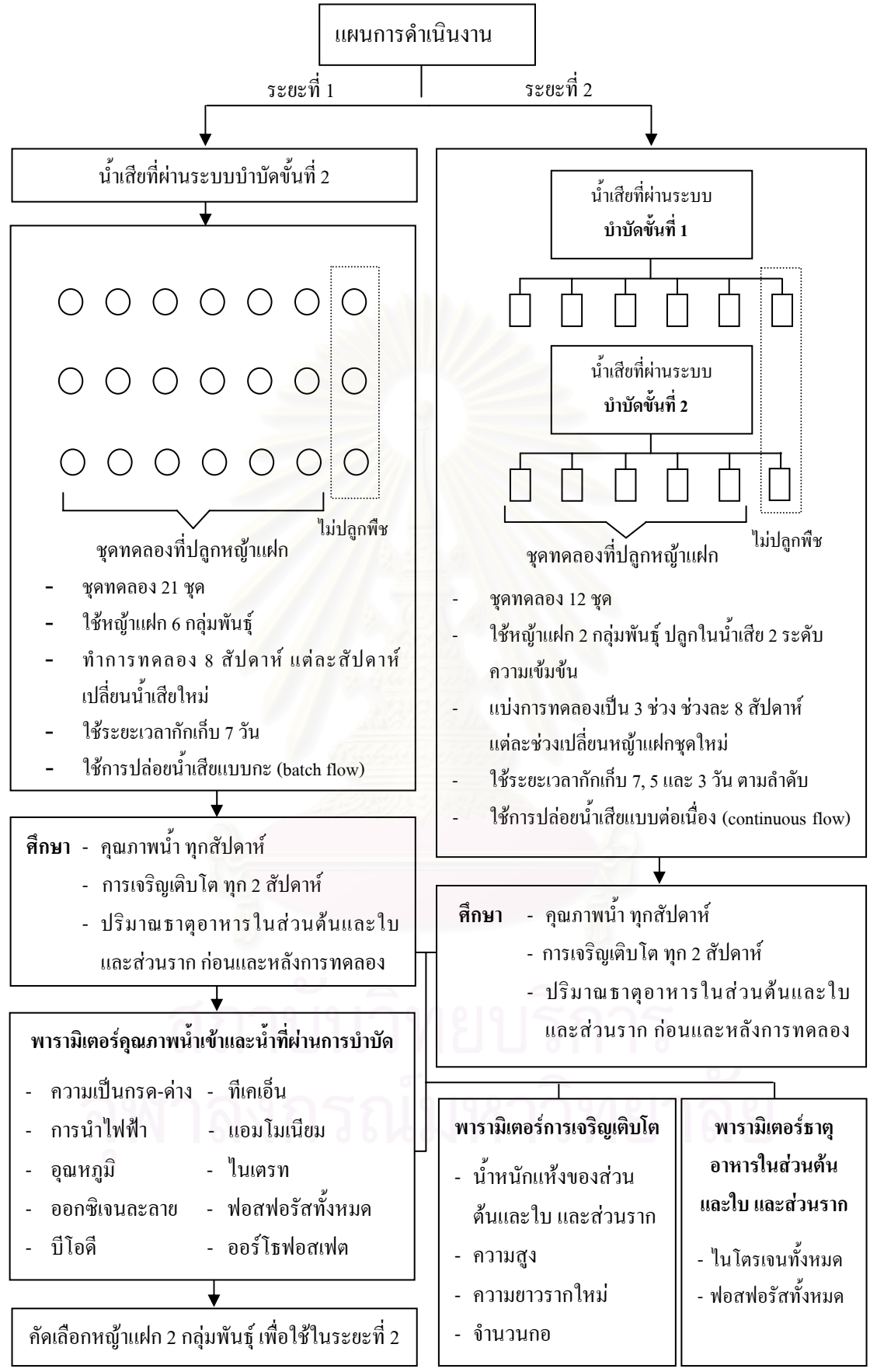
(2) ตัวแปรตาม

1) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ บีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต

2) การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ได้แก่ น้ำหนักแห้งของส่วนต้นและใบ และส่วนราก ความสูง ความยาวรากที่งอกใหม่ และจำนวนต้นต่อกอ

3) ปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนราก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน

4) คุณภาพน้ำด้านอื่น ๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย

(3) ปัจจัยควบคุม

1) ระดับความลึกของน้ำเสีย

2) ความหนาแน่น ความสูงและความยาวรากของหญ้าแฝกเริ่มต้น

3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ประกอบด้วย 7 ชุดทดลอง คือ ใช้หญ้าแฝก 6 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนั้น มีชุดทดลองทั้งสิ้น 21 ชุดทดลอง

(2) น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ จากอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) การเตรียมชุดทดลอง

1) ชุดทดลองเป็นถังน้ำพลาสติกสีทึบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร เจาะท่อน้ำออกที่ด้านล่างของถัง จัดวางภายใต้โรงเรือนขนาด 7 x 6 เมตร ซึ่งมีหลังคาพลาสติกใสคลุมด้วยสแลนท์สีเขียว บริเวณสนามหญ้าอาคารวิทยนิเวศน์ (รูปที่ 3-2)

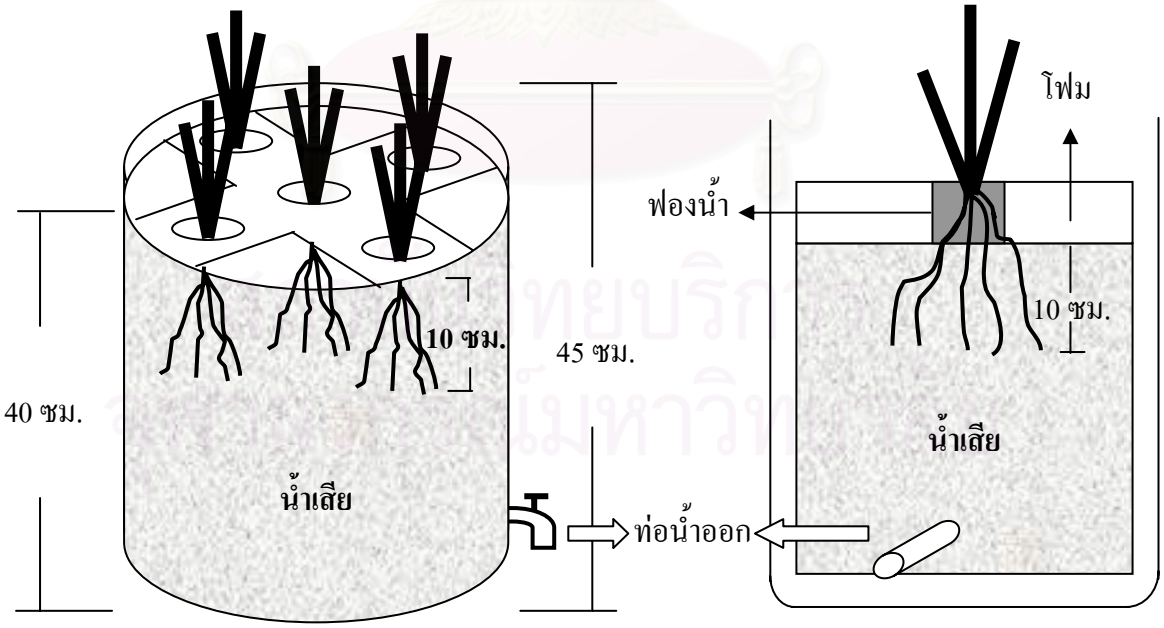
2) เตรียมหญ้าแฝกที่มีขนาดต้นใกล้เคียงกัน และมีจำนวนต้น 1 ต้นต่อกอ ตัดต้นให้มีความสูง 20 เซนติเมตร ความยาวราก 13.5 เซนติเมตร คัดเลือกมาชุดทดลองละ 5 ต้น หุ้มโคนต้นด้วยฟองน้ำ แล้วปลูกบนแผ่นโฟมที่มีความหนา 2.5 เซนติเมตร และเจาะเป็นช่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร แต่ละช่องห่างกัน 10 เซนติเมตร นำมาวางให้ลอยบนผิวน้ำ และหย่อนรากของหญ้าแฝกให้อยู่ในน้ำ 10 เซนติเมตร (รูปที่ 3-3) สำหรับชุดควบคุมมีเฉพาะโฟมที่ปิดช่องด้วยฟองน้ำ วางบนผิวน้ำในลักษณะเดียวกับชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก

(4) วิธีการทดลอง

1) ใช้การปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch flow) โดยบรรจุน้ำเสียในชุดทดลองให้มีปริมาตร 50 ลิตร ซึ่งทำให้ระดับน้ำเสียสูง 40 เซนติเมตร จากด้านล่างของถัง และเปลี่ยนน้ำเสียใหม่ทุก 7 วัน ทำการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์

2) ศึกษาคุณภาพน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-1

รูปที่ 3-2 โรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-3 แสดงชุดทดลองในระยะที่ 1

3) ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยวัดความสูงของต้น และนับจำนวนต้นต่อกอในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 และเก็บตัวอย่างหญ้าแฝกก่อนและหลังการทดลองเพื่อนำไปหาน้ำหนักแห้ง วัดความยาวของรากที่งอกใหม่ (วัดเฉพาะรากที่ยาวที่สุดของแต่ละต้น) และศึกษาปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-2

4) คัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก 2 กลุ่มพันธุ์ นำไปทดลองในระยะที่ 2

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	1. pH meter
2. อุณหภูมิ (temperature)	2. thermometer
3. ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen)	3. modified wrinkler method (AWWA, 1998)
4. การนำไฟฟ้า (conductivity)	4. electrometric method
5. บีโอดี (biochemical oxygen demand)	5. 5-day BOD test (AWWA, 1998)
6. ทีเคเอ็น (total Kjeldahl nitrogen)	6. semi-micro-kjedahl method (AWWA, 1998)
7. แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)	7. distillation-titration (AWWA, 1998)
8. ไนเตรทไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)	8. cadmium reduction method (AWWA, 1998)
9. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	9. acid digestion-ascorbic acid method (AWWA,1998)
10. ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate)	10. molybdenum blue method (AWWA, 1998)

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

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

ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x3x2 factorial experiment) ใช้กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก 3 ระดับ (หญ้าแฝก 2 กลุ่มพันธุ์ซึ่งคัดเลือกจากการทดลองระยะที่ 1 และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช) ระยะเวลากักเก็บ 3 ระดับ คือ 7, 5 และ 3 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชน 2 ระดับ รวม 18 ตำรับการทดลอง แต่ละตำรับทำการทดลอง 2 ซ้ำ รวมชุดทดลองทั้งหมด 36 ชุดทดลอง โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ระยะ แต่ละระยะใช้ 12 ชุดทดลอง โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (continuous flow) ให้มีระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างกัน ดังนี้

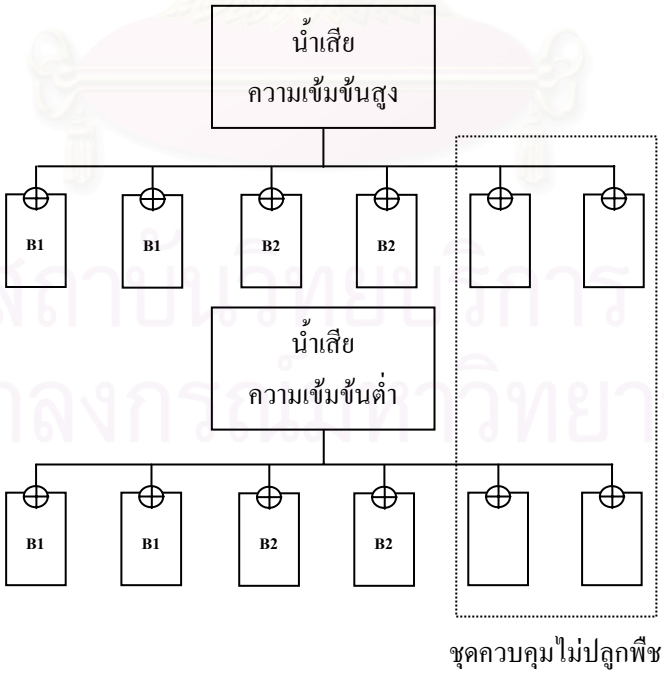
ระยะที่ 2-1 ใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีอัตราการไหลของน้ำเสีย 0.075 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ มีรูปแบบการทดลอง และชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 3-4

ระยะที่ 2-2 ใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน มีอัตราการไหลของน้ำเสีย 0.105 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ มีรูปแบบการทดลองเหมือนการทดลองระยะที่ 2-1 โดยใช้ชุดทดลองเดิม แต่เปลี่ยนหญ้าแฝกใหม่

ระยะที่ 2-3 ใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน มีอัตราการไหลของน้ำเสีย 0.176 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ มีรูปแบบการทดลองเหมือนการทดลองระยะที่ 2-1 - 2-2 โดยใช้ชุดทดลองเดิม แต่เปลี่ยนหญ้าแฝกใหม่

(2) น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนจากอาคารวิทยนิเวศน์ 2 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 1 ด้วยการดักด้วยตะแกรงหยาบ และน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยระบบบ่อกรองไร้อากาศ



หมายเหตุ B1 และ B2 หมายถึง หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ที่ 1 และ 2 ซึ่งคัดเลือกจากการทดลองระยะที่ 1

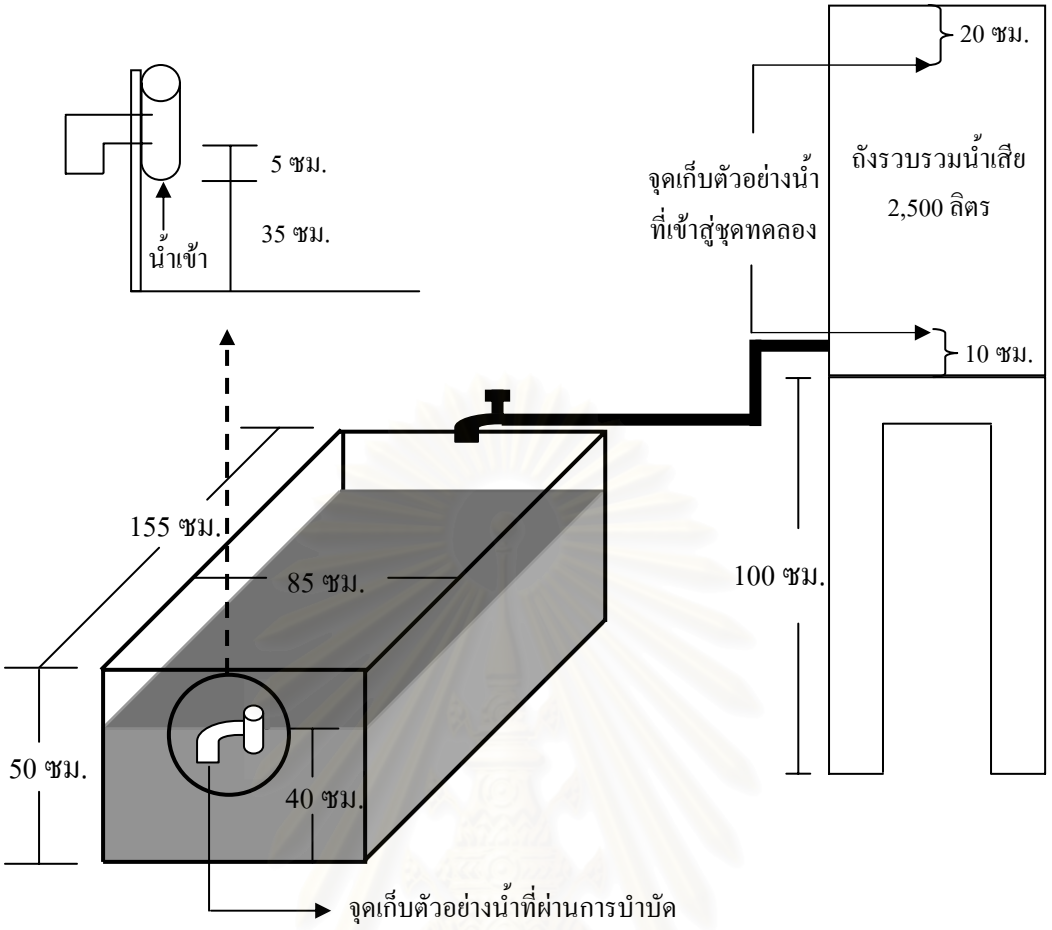
รูปที่ 3-4 รูปแบบชุดทดลอง ในระยะที่ 2

(3) การเตรียมชุดทดลอง

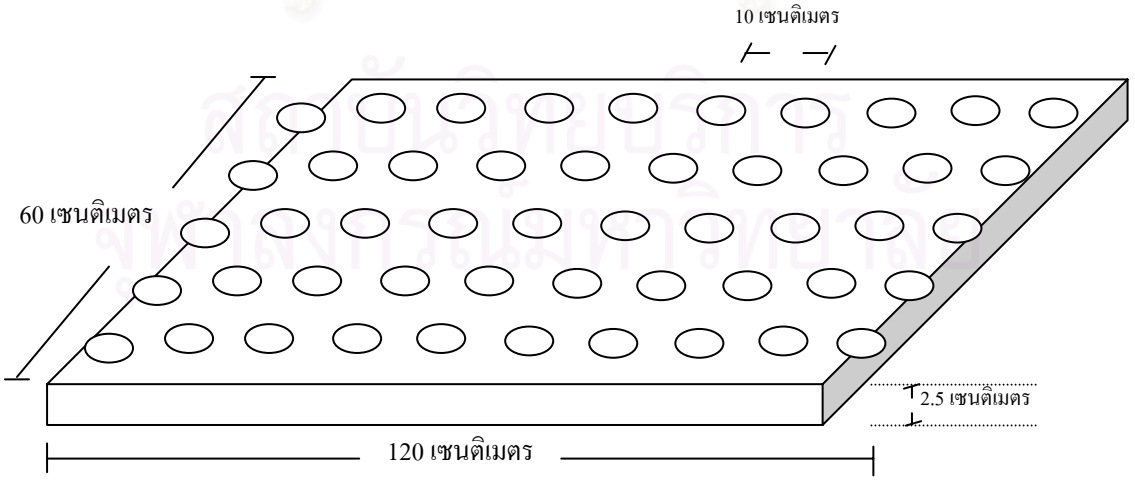
1) เตรียมชุดทดลอง ซึ่งเป็นบ่อพีวีซีขนาด 85 x 155 x 50 เซนติเมตร จำนวน 12 บ่อ ภายใต้โรง เรือนเดียวกับที่ใช้ในการทดลองระยะที่ 1
2) ติดตั้งท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร จากถังรวบรวมน้ำเสียขนาด 2,500 ลิตรที่ยกสูงจากระดับพื้นดิน 1 เมตร ไปยังชุดทดลอง โดยติดตั้งระบบท่อนำน้ำเข้าโดยใช้วาล์วน้ำที่สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ และต่อท่อน้ำออกซึ่งทำเป็นรูปตัวที (T) เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ระดับน้ำสูง 40 เซนติเมตร จากพื้นบ่อ และให้น้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากจุดที่ต่ำกว่าระดับผิวหน้าน้ำ 5 เซนติเมตร (รูปที่ 3-5)
3) สร้างแท่นลอยน้ำขนาด 60 x 120 เซนติเมตรโดยใช้แผ่นโฟมหนา 2.5 เซนติเมตร เจาะช่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร จำนวน 60 ช่อง แต่ละช่องห่างกัน 10 เซนติเมตร สำหรับปลูกหญ้าแฝก (รูปที่ 3-6)
4) เตรียมหญ้าแฝกที่มีขนาดต้นใกล้เคียงกัน และมีจำนวนต้น 1 ต้นต่อกอ ตัดต้นให้มีความสูง 20 เซนติเมตร ความยาวราก 13.5 เซนติเมตร คัดเลือกมาหน่วยการทดลองละ 60 ต้น หุ้มโคนต้นด้วยฟองน้ำแล้วปลูกบนแผ่นโฟมที่เจาะไว้ นำมาวางให้ลอยบนผิวน้ำ และหย่อนรากของหญ้าแฝกให้อยู่ในน้ำ 10 เซนติเมตร (รูปที่ 3-7) สำหรับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีเฉพาะโฟมที่ปิดช่องด้วยฟองน้ำ วางบนผิวน้ำในลักษณะเดียวกับชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก

(4) วิธีการทดลอง

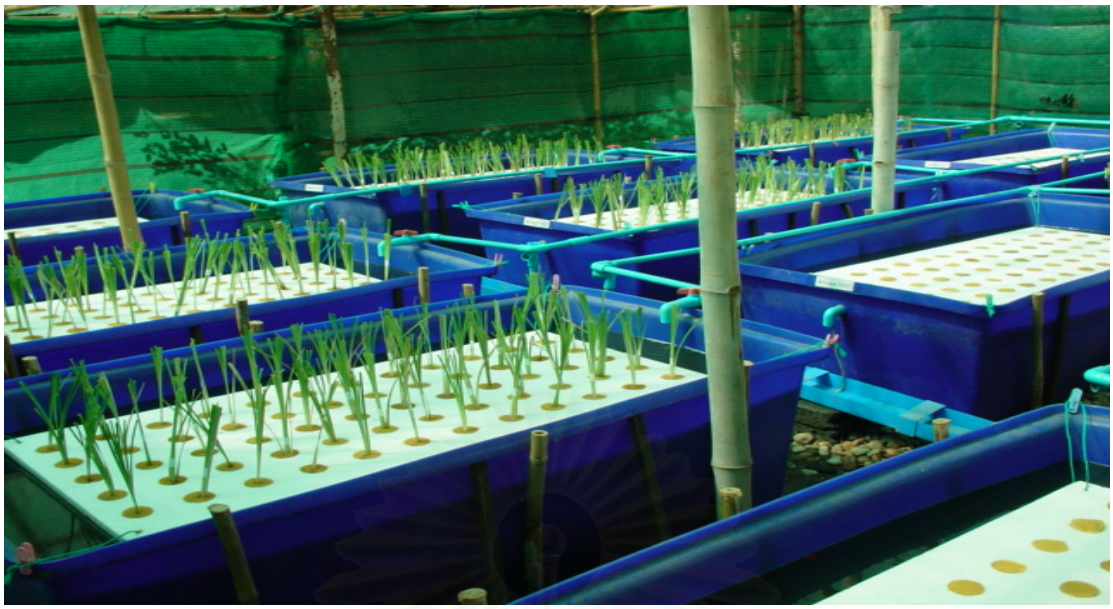
1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองจากถังรวบรวมน้ำเสีย 2 ระดับ คือ ที่ระดับ 20 เซนติเมตรจากผิวหน้าน้ำ และที่ระดับ 10 เซนติเมตรจากด้านล่างของถัง และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดจากท่อน้ำออกซึ่งอยู่ต่ำกว่าผิวหน้าน้ำ 5 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุก 7 วัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-1
2) ศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกโดยวัดความสูงของต้น และนับจำนวนต้นต่อกอในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 และเก็บตัวอย่างหญ้าแฝกก่อนและหลังการทดลองเพื่อนำไปหาน้ำหนักแห้ง วัดความยาวของรากที่งอกใหม่ และศึกษาปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝกโดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-2



รูปที่ 3-5 ลักษณะชุดทดลองและจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2



รูปที่ 3-6 ลักษณะแท่นลอยน้ำที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-7 ลักษณะการปลูกหญ้าแฝกในชุดทดลอง ในระยะที่ 2

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

(1) หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด ประสิทธิภาพการบำบัด และการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก

(2) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(3) การทดลองระยะ 1 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และถ้าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan's new multiple range test

(4) การทดลองระยะที่ 2 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิเคราะห์สถิติตามการวางแผนการทดลอง factorials ซึ่งมีปัจจัย คือ กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และระยะเวลากักเก็บ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และถ้าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan's new multiple range test

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก และ ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่คัดเลือกจากระยะที่ 1 สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ทำการคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) จากอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทดลองโดยเปลี่ยนน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษามีดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

4.1.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 1

คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-1) สรุปได้ดังนี้

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย และอยู่ในสภาพไร้อากาศ โดยมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.84 และค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) 0.00 mg/l อย่างไรก็ตาม ค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD) ไม่สูงมาก มีค่าเฉลี่ย 55.88 mg/l เนื่องจากได้ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศมาแล้ว มีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น(total Kjeldahl nitrogen: TKN) 40.297 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) 35.793 mg/l มีไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) ค่อนข้างต่ำ คือ 0.069 mg/l คาดว่าเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทเกิดขึ้นได้ไม่ดี เนื่องจากปริมาณ DO ต่ำ เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เปลี่ยนอินทรียไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียและการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Gumbricht, 1993) สำหรับ TP (total phosphorus) มีค่าเฉลี่ย 6.022 mg/l โดยอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต (ortho-PO_4) 2.984 mg/l

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองกับคุณภาพน้ำเสียชุมชนทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 65-110 mg/l ทีเคเอ็น 20-40 mg/l และ TP 1-6 mg/l (กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2546) พบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าบีโอดีต่ำกว่าเนื่องจากได้ผ่านการบำบัดโดยบ่อกรองไร้อากาศ แต่การบำบัดในสภาพไร้อากาศจุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และแอมโมเนียต่ำ (จินต์ อโณทัย, 2531; ศุวศา กานตวนิชกูล, 2544) ดังนั้น ค่าบีโอดีและทีเคเอ็นจึงยังสูงเกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. ซึ่งเป็นอาคารชุดที่มีจำนวนห้องตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน ที่กำหนดให้บีโอดีและทีเคเอ็น มีค่าไม่เกิน 30 และ 35 mg/l ตามลำดับ (กฎกระทรวง ฉบับที่ 51, 2541)

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 1

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐาน*
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.84 $\pm$ 0.10	5-9
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.85 $\pm$ 0.05	-
อุณหภูมิ (°C)	29.65 $\pm$ 1.17	-
ออกซิเจนละลาย (mg/l)	0.00 $\pm$ 0.00	-
บีโอดี (mg/l)	55.88 $\pm$ 14.12	30
ทีเคเอ็น (mg/l)	40.297 $\pm$ 2.545	35
แอมโมเนีย (mg/l)	35.793 $\pm$ 2.153	-
ไนเตรท (mg/l)	0.069 $\pm$ 0.056	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/l)	6.022 $\pm$ 0.403	-
ออร์โธฟอสเฟต (mg/l)	2.984 $\pm$ 0.240	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. ซึ่งเป็นอาคารชุดที่มีจำนวนห้องตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 51 (พ.ศ. 2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

4.1.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1

(1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ย pH 7.84 (ตารางที่ 4-2) เนื่องจากแอมโมเนียในน้ำสามารถแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และให้อนุมูลอิสระของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่าง (Sawyer et al., 2003) ดังสมการที่ 4.1

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \qquad (4.1)$$

(ละลายน้ำ)

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่า pH สูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.88-8.01 เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีธาตุอาหารสูง ทำให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตดีและมีอัตราสังเคราะห์แสงสูง ทำให้สมดุลเคมีในน้ำเปลี่ยนไปและเกิดคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า pH สูงขึ้น

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกทุกชุดมีค่า pH ต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย (7.88-8.00 และ 8.01 ตามลำดับ) เนื่องจากภายหลังการกักเก็บน้ำเสียในชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกจะมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าชุดควบคุม (รายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ (7) ไนเตรท) ซึ่งผลจากกระบวนการดังกล่าวทำให้มีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา (Welch, 1992) ทำให้ค่า pH ของน้ำลดลง

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	น้ำเข้า	น้ำออก
กำแพงเพชร2	7.84 $\pm$ 0.10	7.93 $\pm$ 0.27
ศรีลังกา	7.84 $\pm$ 0.10	7.88 $\pm$ 0.21
สงขลา3	7.84 $\pm$ 0.10	7.90 $\pm$ 0.24
สุราษฎร์ธานี	7.84 $\pm$ 0.10	7.91 $\pm$ 0.21
ประจวบคีรีขันธ์	7.84 $\pm$ 0.10	7.92 $\pm$ 0.21
ราชบุรี	7.84 $\pm$ 0.10	8.00 $\pm$ 0.23
ควบคุม	7.84 $\pm$ 0.10	8.01 $\pm$ 0.14

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

(2) การนำไฟฟ้า (conductivity)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งผันแปรตามปริมาณและชนิดของไอออนที่อยู่ในน้ำ การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนใดไอออนหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ดังนั้นจึงไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ แต่บอกเพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า 0.85 mS/cm (ตารางที่ 4-3) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.79-0.81 mS/cm ทั้งนี้เพราะหญ้าแฝกรวมทั้งสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีในชุดทดลองทุกชุด มีการดูดดึงธาตุอาหาร เช่น ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และออร์โธฟอสเฟต (ในรูป $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-}) ไปใช้ในการเจริญเติบโต (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mS/cm)	น้ำออก (mS/cm)
กำแพงเพชร2	0.85 $\pm$ 0.05	*0.79 $\pm$ 0.05
ศรีลังกา	0.85 $\pm$ 0.05	*0.80 $\pm$ 0.05
สงขลา3	0.85 $\pm$ 0.05	*0.81 $\pm$ 0.05
สุราษฎร์ธานี	0.85 $\pm$ 0.05	*0.81 $\pm$ 0.05
ประจวบคีรีขันธ์	0.85 $\pm$ 0.05	*0.80 $\pm$ 0.05
ราชบุรี	0.85 $\pm$ 0.05	*0.82 $\pm$ 0.05
ควบคุม	0.85 $\pm$ 0.05	*0.81 $\pm$ 0.05

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

(3) ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย DO 0.00 mg/l (ตารางที่ 4-4) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่า DO สูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.55-1.80 mg/l เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชที่ขึ้นในชุดทดลองทุกชุด (Reddy and D'Angelo, 1994; Mitsch and Gosselink, 2000)

โดยทั่วไปน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมี DO สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกช่วยเพิ่มปริมาณ DO ในชุดทดลองได้ เนื่องจากออกซิเจนสามารถถูกส่งผ่านไปยังรากพืชได้ (Stottmeister et al., 2003) อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)
กำแพงเพชร2	0.00 ± 0.00	*1.55 ± 0.71
ศรีลังกา	0.00 ± 0.00	*1.79 ± 0.71
สงขลา3	0.00 ± 0.00	*1.80 ± 0.76
สุราษฎร์ธานี	0.00 ± 0.00	*1.79 ± 0.68
ประจวบคีรีขันธ์	0.00 ± 0.00	*1.77 ± 0.85
ราชบุรี	0.00 ± 0.00	*1.60 ± 0.62
ควบคุม	0.00 ± 0.00	*1.60 ± 0.78

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

(4) บีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD)

บีโอดีเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำซึ่งแสดงถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์กลุ่ม heterotroph นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต (Kadlec, 1994)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยบีโอดี 55.88 mg/l (ตารางที่ 4-5) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าบีโอดีลดลงและมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (30 mg/l) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.73-13.63 mg/l โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าบีโอดีต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกมีส่วนช่วยเพิ่ม DO ดังกล่าวแล้ว ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ดี อีกทั้งมีรากใต้น้ำซึ่งเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์จำนวนมาก ทั้งนี้การบำบัดบีโอดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ DO อุณหภูมิ pH และธาตุอาหาร (Lakshman, 1994)

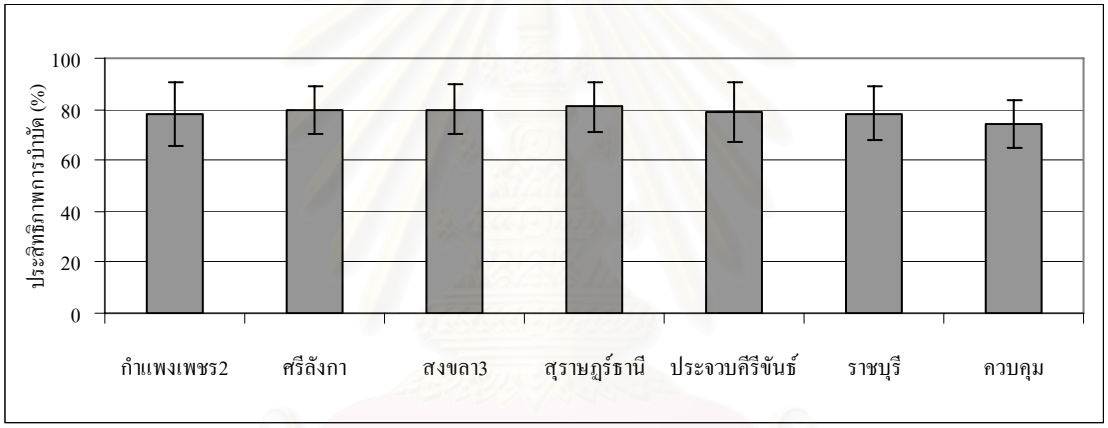
ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด 2 ลำดับแรก คือ สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีค่าเฉลี่ย 81.06 และ 80.07% ตามลำดับ รองลงมา คือ ศรีลังกา ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี กำแพงเพชร2 และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 79.84, 78.76, 78.42, 78.41 และ 74.38% ตามลำดับ (รูปที่ 4-1) แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
กำแพงเพชร2	55.88 ± 14.12	*10.99 ± 4.07	78.41 ± 12.60
ศรีสังกา	55.88 ± 14.12	*10.62 ± 3.60	79.84 ± 9.53
สงขลา3	55.88 ± 14.12	*10.30 ± 3.22	80.07 ± 10.12
สุราษฎร์ธานี	55.88 ± 14.12	*9.73 ± 3.04	81.06 ± 9.77
ประจวบคีรีขันธ์	55.88 ± 14.12	*10.96 ± 3.78	78.76 ± 11.70
ราชบุรี	55.88 ± 14.12	*11.52 ± 4.68	78.42 ± 10.39
ควบคุม	55.88 ± 14.12	*13.63 ± 3.86	74.38 ± 9.58

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก



รูปที่ 4-1 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1

(5) ทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen: TKN)

ทีเคเอ็นเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณรวมของอินทรียไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น 40.297 mg/l (ตารางที่ 4-6) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าทีเคเอ็นลดลงและมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (35 mg/l) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 29.703-31.698 mg/l โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าทีเคเอ็นต่ำกว่าชุดควบคุม ชี้ให้เห็นว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีส่วนช่วยบำบัดทีเคเอ็น กระบวนการบำบัดไนโตรเจนเริ่มจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) โดยอินทรียไนโตรเจนถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยการระเหย (volatilization) การดูดดึงโดยพืชและการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ และในสภาพการทดลองนี้ซึ่งมีออกซิเจน จึงเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ โดย nitrifying bacteria เปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งจะถูกบำบัดโดยการดูดดึงโดยพืช นอกจากนี้การบำบัดยังเกิดจากการตกตะกอนของสารอินทรียไนโตรเจนด้วย (Gray, 2000)

ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด 2 ลำดับแรก คือ กำแพงเพชร2 และศรีลังกา มีค่าเฉลี่ย 26.29 และ 25.49% ตามลำดับ รองลงมา คือ ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี สงขลา3 ราชบุรี และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 24.02, 23.00, 22.74, 21.20 และ 19.03% ตามลำดับ (รูปที่ 4-2) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร2 ศรีลังกา และประจวบคีรีขันธ์ กับชุดควบคุม

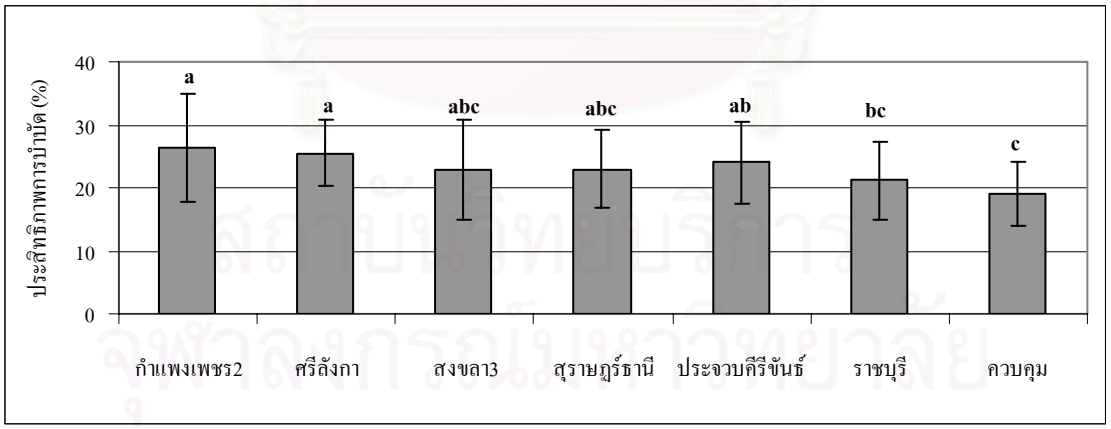
ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
กำแพงเพชร2	40.297 ± 2.545	$^{*}29.703 \pm 3.911^{b}$	26.29 ± 8.49^{a}
ศรีลังกา	40.297 ± 2.545	$^{*}30.053 \pm 2.980^{b}$	25.49 ± 5.16^{a}
สงขลา3	40.297 ± 2.545	$^{*}31.153 \pm 3.857^{ab}$	22.74 ± 7.90^{abc}
สุราษฎร์ธานี	40.297 ± 2.545	$^{*}31.033 \pm 3.057^{ab}$	23.00 ± 6.08^{abc}
ประจวบคีรีขันธ์	40.297 ± 2.545	$^{*}30.644 \pm 3.411^{b}$	24.02 ± 6.49^{ab}
ราชบุรี	40.297 ± 2.545	$^{*}31.698 \pm 2.503^{ab}$	21.20 ± 6.26^{bc}
ควบคุม	40.297 ± 2.545	$^{*}32.970 \pm 2.553^{a}$	19.03 ± 5.09^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

อักษรมุมบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1

(6) แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen: NH_3-N)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย 35.793 mg/l (ตารางที่ 4-7) คิดเป็น 88% ของไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen: TN) ซึ่งโดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนมีแอมโมเนียเป็นองค์ประกอบประมาณ 60% ของ TN (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าบีโอดีไม่สูงมาก ดังนั้นในช่วงแรกคาดว่าน้ำเสียยังมี DO ทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันเปลี่ยนอินทรียไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียเกิดขึ้นได้ แต่เมื่อ DO ถูกใช้จนมีค่าใกล้ 0 mg/l ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ทำให้มีแอมโมเนียเหลืออยู่ในน้ำสูง

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าแอมโมเนียลดลง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.998-30.853 mg/l โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าแอมโมเนียต่ำกว่าชุดควบคุม ชี้ให้เห็นว่า หญ้าแฝกมีส่วนช่วยในการบำบัดแอมโมเนีย กอปรกับชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกโดยทั่วไปมี DO สูงกว่าชุดควบคุม ทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี ทำให้มีปริมาณไนเตรทสูง (รายละเอียดกล่าวถึงในหัวข้อ (7) ไนเตรท) ขณะที่ชุดควบคุมอาจเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันสูงในช่วงแรก แต่ปริมาณ DO จำกัดสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้มีแอมโมเนียเหลืออยู่ในน้ำสูง ทั้งนี้กระบวนการบำบัดแอมโมเนียเกิดจากทั้ง การนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ การระเหย (ซึ่งเกิดขึ้นได้ดีเมื่อน้ำมีค่า pH สูงกว่า 7) และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Gumbricht, 1993; Sawyer et al., 2003)

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด 2 ลำดับแรก คือ กำแพงเพชร2 และศรีลังกา มีค่าเฉลี่ย 21.96 และ 21.00% ตามลำดับ รองลงมา คือ สุราษฎร์ธานี ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี สงขลา3 และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 19.79, 19.71, 17.26, 17.13 และ 14.79% ตามลำดับ (รูปที่ 4-3) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียอย่างมีนัยสำคัญระหว่างหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สุราษฎร์ธานี และประจวบคีรีขันธ์ กับชุดควบคุม

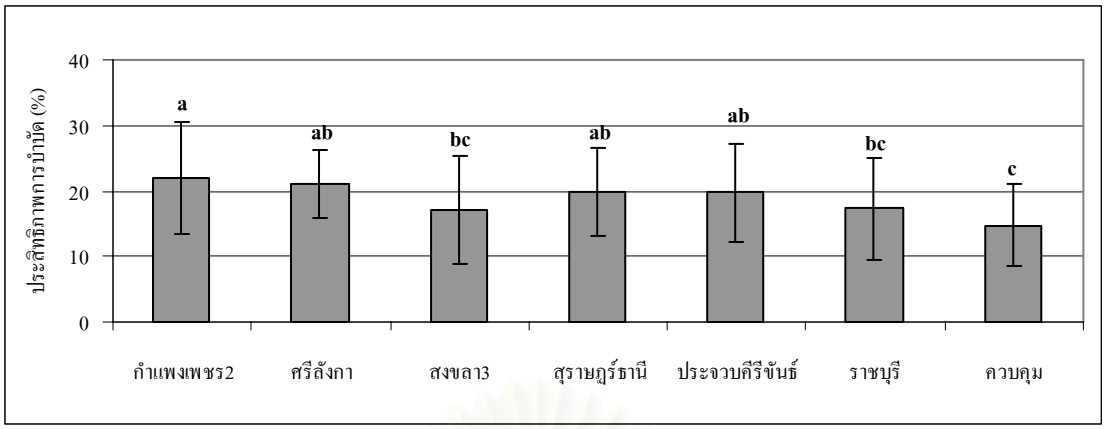
ตารางที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
กำแพงเพชร2	35.793 ± 2.153	*27.998 ± 4.013	21.96 ± 8.63[a]
ศรีลังกา	35.793 ± 2.153	*28.301 ± 2.738	21.00 ± 5.21[ab]
สงขลา3	35.793 ± 2.153	*29.692 ± 3.709	17.13 ± 8.20[bc]
สุราษฎร์ธานี	35.793 ± 2.153	*28.793 ± 3.672	19.79 ± 6.78[ab]
ประจวบคีรีขันธ์	35.793 ± 2.153	*28.758 ± 3.582	19.71 ± 7.60[ab]
ราชบุรี	35.793 ± 2.153	*29.563 ± 2.794	17.26 ± 7.85[bc]
ควบคุม	35.793 ± 2.153	*30.858 ± 2.725	14.79 ± 6.25[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

อักษรมุมบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

รูปที่ 4-3 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1

(7) ไนเตรทไนโตรเจน (nitrate nitrogen: NO_3-N)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไนเตรท 0.069 mg/l (ตารางที่ 4-8) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังที่ได้กล่าวแล้ว

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุด มีค่าไนเตรทสูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.321-0.683 mg/l ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เพราะน้ำในชุดทดลองทุกชุดมี DO สูงขึ้น (น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมี DO 0.00 mg/l) ทำให้เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ (Gumbricht, 1993)

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าไนเตรทสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ชุดควบคุมมีอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันต่ำกว่า เนื่องจากมี DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำกว่า ทำให้มีค่าไนเตรทต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเฉพาะชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาและประจวบคีรีขันธ์ มีค่าไนเตรทสูง 2 ลำดับแรก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.683 และ 0.576 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของค่าไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ตารางที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)
กำแพงเพชร2	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.487 \pm 0.323^{abc}$
ศรีลังกา	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.683 \pm 0.383^{a}$
สงขลา3	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.425 \pm 0.188^{bc}$
สุราษฎร์ธานี	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.487 \pm 0.267^{abc}$
ประจวบคีรีขันธ์	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.576 \pm 0.310^{ab}$
ราชบุรี	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.354 \pm 0.268^{c}$
ควบคุม	0.069 $\pm$ 0.056	$^{*}0.321 \pm 0.252^{c}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

อักษรมุมบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

(8) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus: TP)

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียอยู่ในรูปของฟอสเฟตหลายรูป เช่น ออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรียฟอสเฟต (Hauser, 1996) ซึ่งในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตประมาณ 70-90% (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TP 6.022 mg/l (ตารางที่ 4-9) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่า TP ลดลง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.013-5.828 mg/l โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่า TP ต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกสามารถดูดดึงออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) สอดคล้องกับผลการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก ซึ่งพบว่าปริมาณ TP ในส่วนต้นและใบและส่วนรากของหญ้าแฝกสูงขึ้นภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของค่า TP ในน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกและชุดควบคุม

ประสิทธิภาพการบำบัด TP ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด 2 ลำดับแรก คือ สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีค่าเฉลี่ย 16.81 และ 16.38% ตามลำดับ รองลงมา คือ ประจวบคีรีขันธ์ ศรีลังกา ราชบุรี กำแพงเพชร2 และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 11.88, 11.63, 11.20, 11.02 และ 3.30% ตามลำดับ (รูปที่ 4-4) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัด TP อย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะกลไกหลักในการบำบัดฟอสฟอรัส คือ กลไกทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) การตกตะกอนเคมี (precipitation) และการดูดซับ (adsorption) กับดินหรือตัวกลางอื่น (Kadlec, 1995; Arias et al., 2001) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ใช้ดิน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสต่ำกว่าการทดลองทั่วไปซึ่งมีดินเป็นตัวกลาง เช่น Schulz et al. (2003) ทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกอ้อ *(Phragmites australis)* บำบัดน้ำเสียที่มี TP อยู่ในช่วง 39.4-43.6 mg/l ใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่องแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ระยะเวลากักเก็บ 4.3-14.7 วัน พบว่า ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัด TP 47-59%

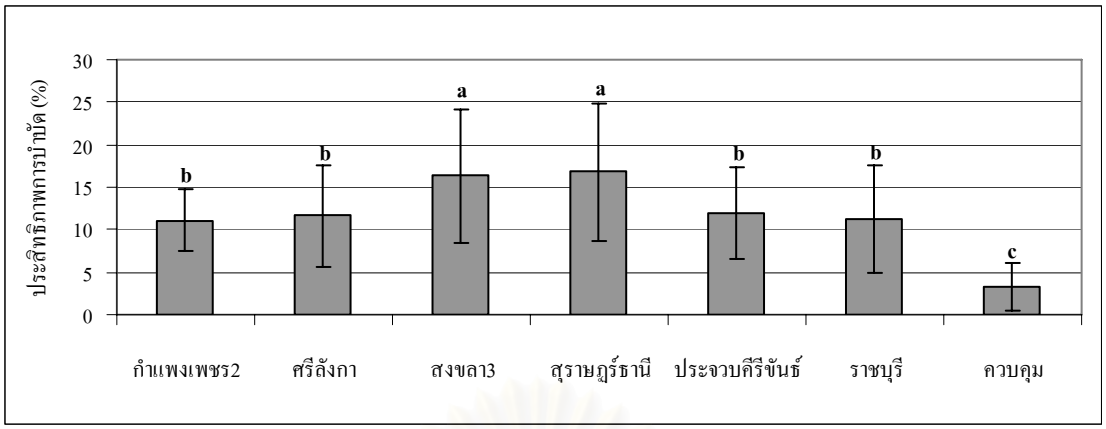
ตารางที่ 4-9 ค่าเฉลี่ย TP ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 1

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
กำแพงเพชร2	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.357 \pm 0.289^{b}$	11.02 ± 3.63^{b}
ศรีลังกา	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.319 \pm 0.378^{b}$	11.63 ± 6.05^{b}
สงขลา3	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.045 \pm 0.605^{c}$	16.38 ± 7.85^{a}
สุราษฎร์ธานี	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.013 \pm 0.558^{c}$	16.81 ± 8.11^{a}
ประจวบคีรีขันธ์	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.346 \pm 0.341^{b}$	11.88 ± 5.36^{b}
ราชบุรี	6.022 $\pm$ 0.403	$^{*}5.350 \pm 0.455^{b}$	11.20 ± 6.29^{b}
ควบคุม	6.022 $\pm$ 0.403	5.828 ± 0.363^{a}	3.30 ± 2.73^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

อักษรมุมบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

รูปที่ 4-4 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1

(9) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate: ortho-PO_4)

ออร์โธฟอสเฟตที่พบในน้ำเสียชุมชนทั่วไปมีหลายรูป การที่จะพบในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับ pH กล่าวคือ หาก pH ต่ำกว่า 6.8 มักพบในรูป $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดดึงได้ง่ายที่สุด หาก pH อยู่ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} ซึ่งพืชดูดดึงได้ช้ากว่ารูปแรก และหาก pH สูงกว่า 7.2 จะอยู่ในรูป PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดดึงได้ยาก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; Sawyer, 2003)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต 2.984 mg/l (ตารางที่ 4-10) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าออร์โธฟอสเฟตลดลง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.599-2.925 mg/l โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าออร์โธฟอสเฟตต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของค่าออร์โธฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดในระยะที่ 1

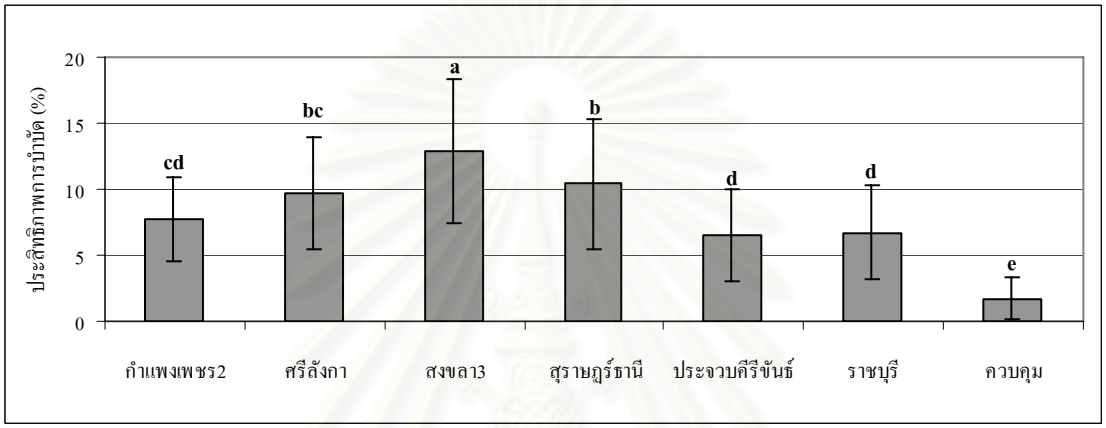
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
กำแพงเพชร2	2.984 ± 0.240	*2.752 ± 0.217^{bc}	7.75 ± 3.16^{cd}
ศรีลังกา	2.984 ± 0.240	*2.696 ± 0.262^{bc}	9.70 ± 4.26^{bc}
สงขลา3	2.984 ± 0.240	*2.599 ± 0.253^{c}	12.87 ± 5.41^{a}
สุราษฎร์ธานี	2.984 ± 0.240	*2.681 ± 0.324^{bc}	10.39 ± 4.90^{b}
ประจวบคีรีขันธ์	2.984 ± 0.240	*2.790 ± 0.244^{ab}	6.49 ± 3.50^{d}
ราชบุรี	2.984 ± 0.240	*2.782 ± 0.231^{ab}	6.74 ± 3.60^{d}
ควบคุม	2.984 ± 0.240	2.925 ± 0.224^{a}	1.69 ± 1.60^{e}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 24 ซ้ำ

* มุมบนซ้ายมือแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างน้ำเข้าและน้ำออก

อักษรมุมบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง 2 ลำดับแรก คือ สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ย 12.87 และ 10.39% ตามลำดับ รองลงมา คือ ศรีลังกา กำแพงเพชร2 ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 9.70, 7.75, 6.74 และ 1.6% ตามลำดับ (รูปที่ 4-5) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกับ TP เนื่องจากชุดทดลองไม่มีดินในการช่วยดูดซับ นอกจากนี้คาดว่าส่วนหนึ่งเกิดจากค่า pH ของน้ำมีค่าสูงกว่า 7.2 ดังนั้นออร์โธฟอสเฟตจึงอยู่ในรูป PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดดึงไปใช้ได้ช้า



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

รูปที่ 4-5 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะที่ 1

4.1.3 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 1

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 1 พบว่า ชุดทดลองสามารถบำบัดทุกพารามิเตอร์ให้มีค่าลดลง ยกเว้นไนเตรท โดยชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดีและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. (ซึ่งเป็นอาคารชุดที่มีจำนวนห้องตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน) ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 และ 35 mg/l ตามลำดับ (กฎกระทรวง ฉบับที่ 51, 2541)

สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วง 74.38-81.06% ทีเคเอ็น 19.03-26.29% แอมโมเนีย 14.79-21.96% TP 3.30-16.81% และออร์โธฟอสเฟต 1.69-12.87% โดยชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช และโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้น ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี) โดยกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงสุดคือ สุราษฎร์ธานี (81.06%) รองลงมาคือ สงขลา3 (80.07%) ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นและแอมโมเนียสูงสุดคือ กำแพงเพชร2 (26.29 และ 21.96% ตามลำดับ) รองลงมาคือ ศรีลังกา (25.49 และ 21.00% ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงสุดคือ สุราษฎร์ธานี (16.81%) รองลงมาคือ สงขลา3 (16.38%) และประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงสุดคือ สงขลา3 (12.87%) รองลงมาคือ สุราษฎร์ธานี (10.39%) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (ยกเว้น ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี) ดังนั้นจะเห็นว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์

สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 สามารถบำบัดบีโอดี TP และ ออร์โธฟอสเฟตได้ดี ขณะที่กลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร2 และศรีลังกา สามารถบำบัดทีเคเอ็นและแอมโมเนียได้ดี

4.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

4.2.1 เปอร์เซ็นต์การรอดและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

(1) เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก

ในสัปดาห์ที่ 8 (สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) หญ้าแฝกมีเปอร์เซ็นต์การรอด อยู่ในช่วง 46.67-100% (ตารางที่ 4-11) โดยกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงสุด คือ 100% รองลงมา คือ สงขลา3 และประจวบคีรีขันธ์ มีเปอร์เซ็นต์การรอดเท่ากัน คือ 86.67% ขณะที่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร2 ศรีลังกา และราชบุรี มีเปอร์เซ็นต์การรอด 73.33, 66.67 และ 46.67% ตามลำดับ ทั้งนี้การที่หญ้าแฝกสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะการทดลองนี้ซึ่งปลูกบนแท่นลอยน้ำ เนื่องจากรากของหญ้าแฝกมีโพรงอากาศ (air space) ทำหน้าที่เก็บกักก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีลักษณะคล้ายรากของพืชน้ำ ทำให้รากของหญ้าแฝกทำงานได้ดีและดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าโดยทั่วไปหญ้าแฝกลุ่ม (กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี) มีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงกว่าหญ้าแฝกดอน (ราชบุรี) เนื่องจากรากของหญ้าแฝกลุ่มมีโพรงอากาศขนาดใหญ่กว่าจึงเก็บกักก๊าซออกซิเจนได้สูง (กมลพรรณ นามวงศ์พรหม, 2545)

ตารางที่ 4-11 เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	เปอร์เซ็นต์การรอด (%)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
กำแพงเพชร 2	93.33	73.33	73.33	73.33
ศรีลังกา	100.00	93.33	86.67	66.67
สงขลา3	100.00	93.33	93.33	86.67
สุราษฎร์ธานี	100.00	100.00	100.00	100.00
ประจวบคีรีขันธ์	93.33	86.67	86.67	86.67
ราชบุรี	93.33	86.67	80.00	46.67

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 15 ต้น (ชุดทดลองละ 5 ต้น แต่ละชุดมี 3 ซ้ำ)

(2) การแตกกอใหม่

ในสัปดาห์ที่ 8 หญ้าแฝกมีจำนวนกอใหม่ 0-13 กอ โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีจำนวนกอใหม่สูงสุด คือ 13 กอ รองลงมา คือ สงขลา3 จำนวน 8 กอ (ตารางที่ 4-12) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่ากลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร2 สุราษฎร์ธานี สงขลา3 และศรีลังกา ซึ่งเป็นหญ้าแฝกลุ่มมีจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่สูงกว่ากลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์และราชบุรี ซึ่งเป็นหญ้าแฝกดอน เนื่องจากหญ้าแฝกดอนมักขึ้นทั่วไปในที่แห้งแล้ง หรือที่ดินระบายน้ำดี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) ขณะที่หญ้าแฝกลุ่มปรับตัวได้ดีในที่ลุ่มน้ำ

ท่วมถึง ดังนั้นในสภาวะการทดลองนี้ หญ้าแฝกดอนจึงไม่สามารถปรับตัวในการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้มีจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ พบว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่สูงเป็น 2 ลำดับแรก เท่ากับ 53.33 และ 40% ตามลำดับ รองลงมา คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์ 26.67, 13.33 และ 6.67% ตามลำดับ ส่วนกลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ไม่มีการแตกกอใหม่

ตารางที่ 4-12 จำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	จำนวนกอใหม่				เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ (%)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
กำแพงเพชร 2	1	3	4	4	6.67	20.00	26.67	26.67
ศรีลังกา	1	2	2	2	6.67	13.33	13.33	13.33
สงขลา3	8	8	8	8	40.00	40.00	40.00	40.00
สุราษฎร์ธานี	9	12	13	13	40.00	53.33	53.33	53.33
ประจวบคีรีขันธ์	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
ราชบุรี	0	0	0	1	0.00	0.00	0.00	6.67

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 15 ต้น (ชุดทดลองละ 5 ต้น แต่ละชุดมี 3 ซ้ำ)

(3) การแตกรากใหม่

ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย 8 สัปดาห์ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์ต้นที่มีการแตกรากใหม่สูงเป็น 2 ลำดับแรก เท่ากับ 100 และ 93.33% ตามลำดับ รองลงมา คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา และประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่เท่ากัน คือ 60% ขณะที่กลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ต่ำสุด คือ 13.33% นอกจากนี้ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่สูงสุด คือ 10.54 เซนติเมตร รองลงมา คือ ศรีลังกา 8.66 เซนติเมตร ขณะที่กลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ต่ำสุด คือ 3.85 เซนติเมตร (ตารางที่ 4-13)

ตารางที่ 4-13 เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ และความยาวของรากใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการ	ค่าเฉลี่ยความยาว	ช่วงความยาว
กำแพงเพชร 2	60.00	7.02 $\pm$ 3.59	3.5 – 15.3
ศรีลังกา	60.00	8.66 $\pm$ 4.79	2.7 – 16.3
สงขลา3	93.33	4.91 $\pm$ 2.44	1.6 – 9.5
สุราษฎร์ธานี	100.00	10.54 $\pm$ 4.44	3.5 – 16.2
ประจวบคีรีขันธ์	60.00	7.30 $\pm$ 2.82	3.3 – 11.9
ราชบุรี	13.33	3.85 $\pm$ 2.62	2.0 – 5.7

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 15 ต้น (ชุดทดลองละ 5 ต้น แต่ละชุดมี 3 ซ้ำ)

(4) ความสูง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกทุกกลุ่มต้นถูกตัดให้มีความสูง 20 เซนติเมตรเท่ากัน ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย 8 สัปดาห์ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุด คือ 59.51 เซนติเมตร รองลงมา คือ กำแพงเพชร2 54.67 เซนติเมตร ขณะที่กลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ 36.28 เซนติเมตร แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของความสูงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (ตารางที่ 4-14)

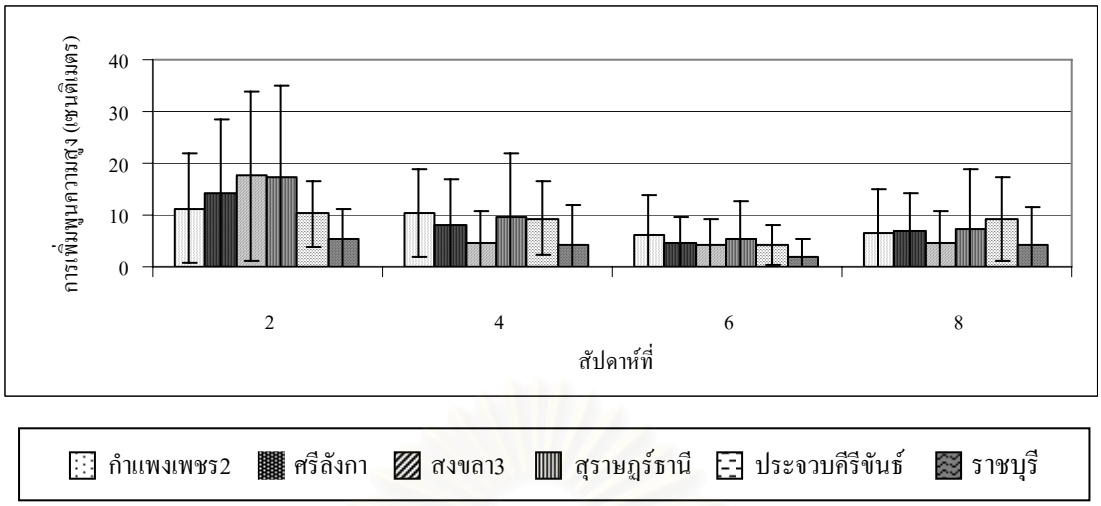
ค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกภายหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 พบว่าโดยรวมหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีแนวโน้มของการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด ขณะที่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ราชบุรีมีแนวโน้มของการเพิ่มพูนความสูงต่ำที่สุด นอกจากนี้ การเพิ่มพูนความสูงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทดลองนานขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงแรกหญ้าแฝกเพิ่งได้รับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียจึงมีการเจริญเติบโตดี อีกทั้งน้ำเสียมีค่าบีโอดีไม่สูงมาก รากหญ้าแฝกจึงไม่เน่า สามารถดูดดึงธาตุอาหารในน้ำเสียไปใช้ในเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของการเพิ่มพูนความสูงระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4-14 และรูปที่ 4-6)

ตารางที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	ความสูง (เซนติเมตร)				การเพิ่มพูนความสูง (เซนติเมตร)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
กำแพงเพชร 2	31.33 ± 10.55	41.82 ± 17.69	48.06 ± 23.96	54.67± 30.07	11.33 ± 10.55	10.49 ± 8.39	6.24 ± 7.61	6.61 ± 8.48
ศรีสังกา	34.29 ± 14.10	42.20 ± 21.48	46.87 ± 26.17	53.63 ± 32.51	14.29 ± 14.10	7.91 ± 8.87	4.67 ± 4.92	6.76 ± 7.50
สงขลา3	37.57 ± 16.29	42.15 ± 19.95	46.40 ± 24.75	51.07 ± 28.93	17.57 ± 16.29	4.57 ± 6.16	4.25 ± 5.14	4.67 ± 6.24
สุราษฎร์ธานี	37.21 ± 17.69	46.82 ± 29.08	52.30 ± 35.54	59.51 ± 44.60	17.21 ± 17.69	9.61 ± 12.48	5.48 ± 7.25	7.21 ± 11.55
ประจวบคีรีขันธ์	30.31 ± 6.33	39.67 ± 11.47	44.05 ± 14.11	53.22 ± 20.99	10.31 ± 6.33	9.37 ± 7.19	4.37 ± 3.85	9.17 ± 8.16
ราชบุรี	25.39 ± 14.10	29.76 ± 11.18	31.87 ± 13.94	36.28 ± 16.61	5.39 ± 5.64	4.37 ± 7.47	2.11 ± 3.17	4.41 ± 7.08

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 15 ซ้ำ

ความสูงของหญ้าแฝกเริ่มต้น เท่ากับ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4-6 การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

(5) มวลชีวภาพ

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.61-1.01 กรัม และส่วนราก อยู่ในช่วง 0.14-0.32 กรัม ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์มีมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ; และส่วนรากสูงขึ้น อยู่ในช่วง 0.96-2.44 และ 0.25-0.58 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงเป็น 2 ลำดับแรก มีค่าเฉลี่ย 180.01 และ 145.79% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (ตารางที่ 4-15 และรูปที่ 4-7)

ตารางที่ 4-15 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	มวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ			
	ก่อนการทดลอง (กรัม)	หลังการทดลอง (กรัม)	การเพิ่มพูน (กรัม)	การเพิ่มพูน (%)
กำแพงเพชร 2	0.61 ± 0.10^{c}	$^{*}1.24 \pm 0.44^{bc}$	0.63 ± 0.49^{bc}	113.45 ± 98.00^{ab}
ศรีสังกา	0.68 ± 0.17^{c}	$^{*}1.50 \pm 0.71^{bc}$	0.82 ± 0.58^{b}	115.49 ± 60.87^{ab}
สงขลา3	0.65 ± 0.18^{c}	$^{*}1.52 \pm 0.50^{bc}$	0.87 ± 0.48^{b}	145.79 ± 99.16^{ab}
สุราษฎร์ธานี	0.92 ± 0.20^{ab}	$^{*}2.44 \pm 0.64^{a}$	1.51 ± 0.70^{a}	180.01 ± 118.76^{a}
ประจวบคีรีขันธ์	1.01 ± 0.29^{a}	$^{*}1.65 \pm 0.66^{b}$	0.64 ± 0.63^{bc}	67.23 ± 67.07^{bc}
ราชบุรี	0.75 ± 0.15^{bc}	0.96 ± 0.27^{c}	0.21 ± 0.22^{c}	27.96 ± 27.46^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 9 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนชีวภาพของส่วนรากของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและราชบุรีมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนรากสูงเป็น 2 ลำดับแรก มีค่าเฉลี่ย 316.80 และ 54.84% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (ตารางที่ 4-16 และรูปที่ 4-7)

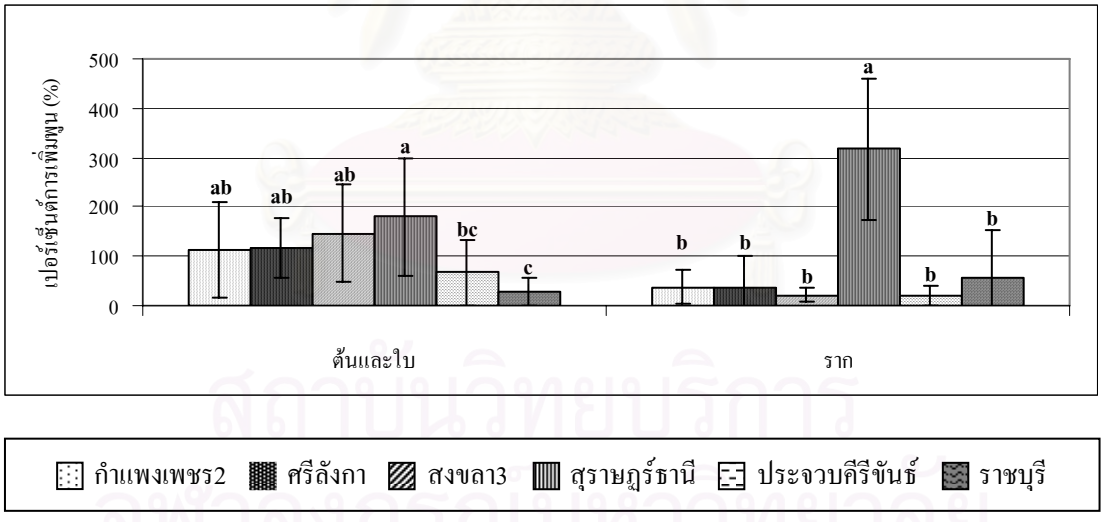
ตารางที่ 4-16 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนรากและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	มวลชีวภาพของส่วนราก			
	ก่อนการทดลอง (กรัม)	หลังการทดลอง (กรัม)	การเพิ่มพูน (กรัม)	การเพิ่มพูน (%)
กำแพงเพชร 2	0.23 ± 0.09	0.30 ± 0.10^{bc}	0.07 ± 0.05^{b}	38.10 ± 33.35^{b}
ศรีลังกา	0.30 ± 0.22	0.34 ± 0.17^{bc}	0.04 ± 0.17^{b}	36.39 ± 65.13^{b}
สงขลา3	0.20 ± 0.05	0.25 ± 0.07^{c}	0.04 ±0.03^{b}	21.72 ± 13.71^{b}
สุราษฎร์ธานี	0.14 ± 0.03	*0.58 ± 0.12^{a}	0.43 ± 0.13^{a}	316.80 ± 143.05^{a}
ประจวบคีรีขันธ์	0.24 ± 0.03	0.28 ± 0.05^{bc}	0.04 ± 0.05^{b}	19.43 ± 20.84^{b}
ราชบุรี	0.32 ± 0.20	0.37 ± 0.01^{b}	0.04 ± 0.20^{b}	54.84 ± 99.46^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 9 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

รูปที่ 4-7 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

4.2.2 ปริมาณและการสะสมธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

(1) ปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยปริมาณ TN ในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 7.821-9.987 mg/g dry wt. และส่วนรากอยู่ในช่วง 3.500-6.365 mg/g dry wt. ภายหลังการทดลอง ปริมาณ TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากมีค่าสูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.445-12.721 และ 10.267-18.648 mg/g dry wt. ตามลำดับ (ตารางที่ 4-17) ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณธาตุอาหารซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยเฉพาะเมื่อหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตทางด้านการแตกกอใหม่และการเพิ่มความสูง จะต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; มนพ รุ่งสุข, 2538)

หญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยการสะสม TN ในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.168-4.900 mg/g dry wt. และในส่วนรากอยู่ในช่วง 5.115-13.543 mg/g dry wt. โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงเป็น 2 ลำดับแรก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการเจริญเติบโตด้านการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่และจำนวนกอใหม่สูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์อื่น ๆ ด้วย เนื่องจากหญ้าแฝกที่มีการแตกกอใหม่ต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของการสะสม TN ในส่วนต้นและใบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก แต่การสะสมในส่วนรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	ต้นและใบ (mg/g dry wt)			ราก (mg/g dry wt)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ความแตกต่าง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ความแตกต่าง
กำแพงเพชร 2	8.017 ± 1.757^{c}	9.445 ± 1.367	1.428 ± 1.367^{bc}	6.365 ± 0.633^{a}	15.111 ± 4.108	8.746 ± 4.108
ศรีสังกา	7.915 ± 0.504^{c}	9.632 ± 1.150	1.714 ± 1.156^{abc}	5.283 ± 0.498^{ab}	15.409 ± 4.371	10.126 ± 4.371
สงขลา3	8.232 ± 0.714^{bc}	12.404 ± 1.993	4.172 ± 1.993^{ab}	3.500 ± 0.156^{c}	*14.616 ± 3.646	11.116 ± 3.646
สุราษฎร์ธานี	7.821 ± 0.081^{c}	*12.721 ± 0.794	4.900 ± 0.794^{a}	5.105 ± 0.677^{b}	*18.648 ± 3.149	13.543 ± 3.149
ประจวบคีรีขันธ์	9.800 ± 1.196^{ab}	10.463 ± 1.700	0.663 ± 1.700^{c}	5.301 ± 0.970^{ab}	*11.723 ± 0.777	6.422 ± 0.777
ราชบุรี	9.987 ± 0.228^{a}	10.155 ± 2.951	0.168 ± 2.951^{c}	5.152 ± 0.488^{b}	10.267 ± 4.138	5.115 ± 4.138

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

(2) ปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยปริมาณ TP ในส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 1.436-1.946 mg/g dry wt. และในส่วนรากอยู่ในช่วง 1.017-1.601 mg/g dry wt. ภายหลังการทดลอง ปริมาณ TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากมีค่าสูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.140-4.370 และ 2.551-4.699 mg/g dry wt. ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยการสะสม TP ในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 0.498-2.783 mg/g dry wt. และในส่วนรากอยู่ในช่วง 1.129-3.266 mg/g dry wt. (ตารางที่ 4-17) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า หญ้าแฝกมีส่วนช่วยดูดดึงฟอสฟอรัสจากน้ำเสียไปใช้ได้ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่หญ้าแฝกต้องการใช้ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับไนโตรเจน เพราะเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนและสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Parker, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลา3 มีการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากสูงเป็น 2 ลำดับแรก และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกในระยะที่ 1

กลุ่มพันธุ์	ต้นและใบ (mg/g dry wt)			ราก (mg/g dry wt)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	การสะสม	หลังการทดลอง	ก่อนการทดลอง	การสะสมง
กำแพงเพชร 2	1.946 ± 0.152	*3.050 ± 0.513^{c}	1.104 ± 0.513^{c}	1.601 ± 0.356	*3.170 ± 0.149^{bc}	1.569 ± 0.149^{cd}
ศรีลังกา	1.744 ± 0.129	*3.658 ± 0.209^{b}	1.914 ± 0.209^{b}	1.520 ± 0.112	*3.765 ± 0.738^{b}	2.245 ± 0.738^{bc}
สงขลา3	1.534 ± 0.365	*3.471 ± 0.277^{bc}	1.937 ± 0.277^{b}	1.017 ± 0.216	*3.987 ± 0.237^{ab}	2.970 ± 0.237^{ab}
สุราษฎร์ธานี	1.587 ± 0.258	*4.370 ± 0.348^{a}	2.783 ± 0.348^{a}	1.433 ± 0.097	*4.699 ± 0.417^{a}	3.266 ± 0.417^{a}
ประจวบคีรีขันธ์	1.642 ± 0.033	*2.140 ± 0.170^{d}	0.498 ± 0.170^{d}	1.362 ± 0.392	*2.741 ± 0.310^{c}	1.379 ± 0.310^{cd}
ราชบุรี	1.436 ± 0.383	*2.304 ± 0.256^{d}	0.868 ± 0.256^{cd}	1.422 ± 0.361	2.551 ± 0.673^{c}	1.129 ± 0.673^{d}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

4.2.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 1

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 1 จะเห็นว่า การปลูกหญ้าแฝกบนแท่นลอยน้ำเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหาร (TN และ TP) สูงขึ้น โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารสูงสุด และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ราชบุรีโดยทั่วไปมีการเจริญเติบโตและสะสมธาตุอาหารต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนราก และการสะสม TN และ TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้น การสะสม TN ในส่วนราก)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก สามารถคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่มีความเหมาะสมที่สุด 2 กลุ่มพันธุ์ เพื่อใช้ศึกษาในการทดลองระยะที่ 2 คือ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 ด้วยเหตุผลดังนี้

1) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีสูงเป็น 2 ลำดับแรก โดยมีค่าเฉลี่ย 81.06 และ 80.07% ตามลำดับ

2) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตสูงเป็น 2 ลำดับแรก โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TP 16.38 และ 16.81% และออร์โธฟอสเฟต 12.87 และ 10.39% ตามลำดับ

3) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอด เปอร์เซ็นต์การแตกกอใหม่ เปอร์เซ็นต์การแตกรากใหม่ และเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงสุดเป็น 2 ลำดับแรก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 86.67-100.00, 93.33-100.00 และ 145.79-180.01% ตามลำดับ

4) ภายหลังการทดลองหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีการสะสม TN และ TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงเป็น 2 ลำดับแรก โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก 4.172 และ 11.116 mg/g dry wt. และค่าเฉลี่ยการสะสม TP 1.937 และ 2.970 mg/g dry wt. ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก 4.900 และ 13.543 mg/g dry wt. และค่าเฉลี่ยการสะสม TP 2.783 และ 3.266 mg/g dry wt. ตามลำดับ

จากเหตุผลดังกล่าวหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีจึงเป็นกลุ่มพันธุ์ที่คัดเลือกสำหรับใช้ในการทดลองระยะที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝก 2 กลุ่มพันธุ์ คือ สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี ซึ่งคัดเลือกจากการทดลองระยะที่ 1 โดยในการทดลองนี้ใช้น้ำเสีย 2 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำเสียความเข้มข้นสูง ซึ่งผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยตะแกรงหยาบ และน้ำเสียความเข้มข้นต่ำซึ่งผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าชุดทดลองแบบต่อเนื่อง ใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ แต่ละระยะเวลากักเก็บทำการทดลอง 8 สัปดาห์ รวมระยะเวลาทดลองทั้งสิ้น 24 สัปดาห์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน

4.3.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 2

คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-19) สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียทั้งสองความเข้มข้นอยู่ในสภาพไร้อากาศ (มีค่าเฉลี่ย DO 0.00 mg/l) โดยน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ระยะเวลากักเก็บ มีค่าเฉลี่ยบีโอดีใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90.12-94.97 mg/l ทีเคเอ็น 41.025-52.806 mg/l โดยส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย 28.000-32.288 mg/l มีไนเตรท 0.020-0.071 mg/l สำหรับ TP มีค่าเฉลี่ย 5.892-6.657 mg/l ส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต 3.911-4.582 mg/l เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองในแต่ละช่วงระยะเวลากักเก็บ (ยกเว้น ปริมาณ DO และบีโอดี) ทั้งนี้ความแตกต่างเกิดจากความผันแปรของปริมาณการใช้น้ำและสภาพอากาศตามช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	pH	การนำไฟฟ้า (mS/cm)	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/l)	บีโอดี (mg/l)	ทีเคเอ็น (mg/l)	แอมโมเนีย (mg/l)	ไนเตรท mg/l)	TP (mg/l)	ออร์โธฟอสเฟต (mg/l)
7 วัน	สูง	$^{a}7.36 \pm 0.11^{a}$	$^{b}0.81 \pm 0.04^{a}$	27.97 ± 0.72^{b}	0.00 ± 0.00	$^{a}90.12 \pm 21.28$	$^{a}52.806 \pm 4.641^{a}$	$^{b}32.288 \pm 2.557^{a}$	$^{a}0.071 \pm 0.021^{a}$	$^{a}6.657 \pm 0.604^{a}$	$^{a}3.911 \pm 0.227^{b}$
	ต่ำ	$^{b}7.24 \pm 0.66^{a}$	$^{a}0.87 \pm 0.03^{a}$	28.10 ± 0.90^{b}	0.00 ± 0.00	$^{b}44.28 \pm 6.78^{c}$	$^{b}42.144 \pm 3.570^{a}$	$^{a}35.024 \pm 2.116^{a}$	$^{b}0.045 \pm 0.020^{a}$	$^{b}4.838 \pm 0.324^{b}$	$^{b}3.536 \pm 0.129^{b}$
5 วัน	สูง	7.05 ± 0.19^{b}	$^{b}0.76 \pm 0.04^{b}$	29.42 ± 1.14^{a}	0.00 ± 0.00	$^{a}94.88 \pm 12.63$	$^{a}42.813 \pm 2.775^{b}$	$^{b}28.343 \pm 3.692^{b}$	0.025 ± 0.007^{b}	$^{a}6.547 \pm 1.394^{ab}$	$^{a}4.587 \pm 0.419^{a}$
	ต่ำ	6.93 ± 0.17^{b}	$^{a}0.80 \pm 0.05^{b}$	29.59 ± 1.65^{a}	0.00 ± 0.00	$^{b}58.97 \pm 6.02^{a}$	$^{b}36.244 \pm 2.562^{b}$	$^{a}31.063 \pm 1.216^{b}$	0.029 ± 0.009^{b}	$^{b}5.482 \pm 1.138^{a}$	$^{b}4.097 \pm 0.436^{a}$
3 วัน	สูง	7.09 ± 0.15^{b}	$^{b}0.76 \pm 0.02^{b}$	29.59 ± 0.48^{a}	0.00 ± 0.00	$^{a}94.97 \pm 11.42$	$^{a}41.025 \pm 1.290^{b}$	$^{b}28.000 \pm 2.221^{b}$	$^{b}0.020 \pm 0.004^{b}$	$^{a}5.892 \pm 0.585^{b}$	$^{a}4.407 \pm 0.468^{a}$
	ต่ำ	7.01 ± 0.10^{b}	$^{a}0.81 \pm 0.02^{b}$	29.65 ± 0.47^{a}	0.00 ± 0.00	$^{b}51.28 \pm 4.99^{b}$	$^{b}34.731 \pm 1.697^{b}$	$^{a}30.345 \pm 2.001^{b}$	$^{a}0.023 \pm 0.004^{b}$	$^{b}5.060 \pm 0.539^{ab}$	$^{b}4.082 \pm 0.324^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

น้ำเสียความเข้มข้นต่ำที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ระยะเวลากักเก็บ มีค่าเฉลี่ยบีโอดี 44.28-58.97 mg/l ทีเคเอ็น 34.731-42.144 mg/l ส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย 30.345-35.024 mg/l มีไนเตรท0.023-0.045 mg/l สำหรับ TP มีค่าเฉลี่ย 4.838-5.482 mg/l โดยส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต 3.536-4.097 mg/l และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองในแต่ละช่วงระยะเวลากักเก็บ (ยกเว้น ปริมาณ DO) ซึ่งจะเห็นว่า น้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าบีโอดี ทีเคเอ็น TP และออร์โธฟอสเฟตต่ำกว่าน้ำเสียความเข้มข้นสูง แต่ค่าแอมโมเนียและไนเตรทโดยทั่วไปกลับสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าบีโอดีต่ำกว่า ดังนั้นในช่วงแรกอาจยังมี DO ทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันซึ่งเปลี่ยนอินทรียไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียสามารถเกิดขึ้นได้ จากนั้นอาจเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรทได้บางส่วน เนื่องจากปริมาณ DO ที่เหลืออยู่เป็นปัจจัยจำกัด และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียในน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

4.3.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

(1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ย pH อยู่ในช่วง 6.93-7.36 (ตารางที่ 4-20) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองมีค่า pH สูงขึ้น (ยกเว้น เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ชุดทดลองทุกชุดมีค่า pH ต่ำลง) โดยค่า pH ของน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.14-7.26, 7.11-7.16 และ 7.09-7.20 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่า pH เข้าใกล้ 7 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่หญ้าแฝกช่วยรักษาสภาพความเป็นกลางของน้ำเสียไว้ นอกจากนี้โดยทั่วไปน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่า pH ต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย เนื่องจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดควบคุม แสดงว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ซึ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิค (H_2CO_3) ทำให้ค่า pH ของน้ำลดลง (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2545)

ตารางที่ 4-20 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า	น้ำออก		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	[a] 7.36 ± 0.11	7.14 ± 0.16	7.11 ± 0.16	[กข] 7.20 ± 0.11
	ต่ำ	[b] 7.24 ± 0.66	7.09 ± 0.24	7.09 ± 0.19	7.16 ± 0.16
5 วัน	สูง	7.05 ± 0.19	7.15 ± 0.31	7.17 ± 0.29	[ก] 7.28 ± 0.19
	ต่ำ	6.93 ± 0.17	7.14 ± 0.30	7.18 ± 0.20	7.26 ± 0.22
3 วัน	สูง	7.09 ± 0.15	7.11 ± 0.08	7.13 ± 0.08	[ข] 7.14 ± 0.06
	ต่ำ	7.01 ± 0.10	7.13 ± 0.11	7.15 ± 0.09	7.16 ± 0.09

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

(2) การนำไฟฟ้า (conductivity)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า 0.76-0.81 และ 0.81-0.87 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4-21) ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าน้ำเสียความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีปริมาณแอมโมเนียไนและไนเตรทสูงกว่า

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุด มีค่าการนำไฟฟ้าลดลง โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.67-0.71, 0.69-0.74 และ 0.70-0.75 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าในชุดทดลองเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีแนวโน้มต่ำกว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้นเป็นการเพิ่มระยะเวลาให้หญ้าแฝก รวมทั้งสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชสามารถดูดดึงธาตุอาหารได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณธาตุอาหารลดลง ค่าการนำไฟฟ้าจึงลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างของค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำที่ผ่านการบำบัดในแต่ละช่วงระยะเวลากักเก็บ

ตารางที่ 4-21 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mS/cm)	น้ำออก (mS/cm)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	$^{b}0.81 \pm 0.04$	0.68 ± 0.05	$^{b}0.67 \pm 0.05$	$^{b ข}0.67 \pm 0.05$
	ต่ำ	$^{a}0.87 \pm 0.03$	0.70 ± 0.06	$^{a ข}0.71 \pm 0.05$	$^{a}0.71 \pm 0.06$
5 วัน	สูง	$^{b}0.76 \pm 0.04$	0.69 ± 0.07	0.70 ± 0.09	$^{ก}0.71 \pm 0.07$
	ต่ำ	$^{a}0.80 \pm 0.05$	0.73 ± 0.08	$^{ก ข}0.74 \pm 0.07$	0.73 ± 0.07
3 วัน	สูง	$^{b}0.76 \pm 0.02$	$^{b}0.70 \pm 0.02$	$^{b}0.71 \pm 0.03$	$^{b ก}0.71 \pm 0.02$
	ต่ำ	$^{a}0.81 \pm 0.02$	$^{a}0.74 \pm 0.02$	$^{a ก}0.75 \pm 0.03$	$^{a}0.73 \pm 0.03$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

(3) ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย DO 0.00 mg/l (ตารางที่ 4-22) น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมี DO สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.96-4.76 mg/l เนื่องจากการเติมอากาศโดยลม และการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดควบคุมโดยทั่วไปมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก แต่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีปริมาณ DO สูงกว่าชุดควบคุม ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน มีค่าค่อนข้างผันแปร ชี้ให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลากักเก็บสั้นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ DO ในชุดทดลองสูงขึ้นคือพืช โดยพืชจะส่งผ่านออกซิเจนจากใบไปสู่ราก แต่เมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้นการเติมออกซิเจนโดยลมและการสังเคราะห์แสงของ

สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่ม DO ในชุดทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช กระแสลมมีโอกาสสัมผัสกับผิวน้ำได้มาก จึงมีการเติมออกซิเจนได้สูง

ตารางที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายของน้ำเสียที่เข้าสู่การทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	0.00 ± 0.00	^{ก}3.88 ± 0.88	^{bก}3.57 ± 0.90	^{ก}4.08 ± 1.25
	ต่ำ	0.00 ± 0.00	^{ก}4.12 ± 0.89	^{aก}4.76 ± 1.05	^{ก}4.68 ± 1.32
5 วัน	สูง	0.00 ± 0.00	^{ข}2.88 ± 1.55	^{ข}2.29 ± 1.15	^{ข}2.34 ± 1.06
	ต่ำ	0.00 ± 0.00	^{ข}2.47 ± 1.09	^{ข}2.22 ± 1.12	^{ข}2.28 ± 1.37
3 วัน	สูง	0.00 ± 0.00	^{ก}1.30 ± 0.82	^{ก}1.34 ± 0.50	^{ก}0.96 ± 0.62
	ต่ำ	0.00 ± 0.00	^{ก}1.68 ± 0.92	^{ข}1.60 ± 0.80	^{ข}1.45 ± 0.76

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า มีค่าผันแปรตามระยะเวลากักเก็บ กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ค่า DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.57-4.76, 2.22-2.88 และ 0.96-1.68 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้นเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเติมออกซิเจนลงสู่ชุดทดลอง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณ DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า โดยทั่วไปชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่า DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.45-4.76 และ 0.96-4.08 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีปริมาณสารอินทรีย์ (ซึ่งวัดในรูปบีโอดี) สูง ทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากในการย่อยสลาย ทำให้ DO ลดลง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ (ยกเว้น ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน)

(4) บีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยบีโอดีอยู่ในช่วง 90.12-94.97 และ 44.28-58.97 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-23) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุด มีค่าบีโอดีลดลงและมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (30 mg/l) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.06-27.15 mg/l ซึ่งความผันแปรส่วนใหญ่เป็นผลจากความแตกต่างของระยะเวลากักเก็บ กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้น จะทำให้ค่าบีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำ

ตารางที่ 4-23 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)			ประสิทธิภาพ (%)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม	สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	^{a}90.12 ± 21.28	^{ก}7.91 ± 3.53	^{ข}7.06 ± 3.73	^{ข}7.20 ± 3.72	^{aก}90.54 ± 5.44	^{aก}91.46 ± 5.56	^{aก}91.38 ± 5.13
	ต่ำ	^{b}44.28 ± 6.78	^{ก}7.98 ± 3.56	^{ข}7.18 ± 3.12	^{ก}8.72 ± 4.81	^{bก}81.56 ± 8.60	^{bก}83.45 ± 7.16	^{bก}79.91 ± 10.91
5 วัน	สูง	^{a}94.88 ± 12.63	^{ข}15.38 ± 7.08	^{aก}20.66 ± 6.53	^{ก}21.23 ± 6.73	^{aข}83.62 ± 7.63^{a}	^{ข}78.00 ± 7.14^{b}	^{aข}77.42 ± 6.95^{b}
	ต่ำ	^{b}58.97 ± 6.02	^{ข}15.65 ± 7.84	^{bก}15.28 ± 5.96	^{ข}18.38 ± 5.93	^{bก}73.55 ± 12.62	^{ข}74.08 ± 9.63	^{bข}68.95 ± 9.01
3 วัน	สูง	^{a}94.97 ± 11.42	^{ก}21.62 ± 10.26	^{ก}21.34 ± 11.6	^{ก}27.15 ± 12.26	$^{a ก}$76.95 ± 11.32	^{aข}77.42 ± 11.85	^{aข}71.15 ± 12.73
	ต่ำ	^{b}51.28 ± 4.99	^{ก}22.53 ± 10.65^{b}	^{ก}16.76 ± 5.39^{c}	^{ก}25.75 ± 9.50^{a}	$^{b ข}$54.49 ± 24.45^{ab}	^{bก}66.54 ± 12.57^{a}	^{bก}48.39 ± 21.91^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ
อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย
อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไปมีค่าบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ทั้งนี้เพราะน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทสูงกว่าน้ำเสียความเข้มข้นสูง แสดงว่าจุลินทรีย์ได้ใช้ออกซิเจนปริมาณมากในการเปลี่ยนอินทรียไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียและไนเตรท จึงทำให้ DO ที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์มีจำกัด จึงทำให้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีค่าผันแปรสูง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 48.93-91.46% ซึ่งความผันแปรส่วนใหญ่เป็นผลจากความแตกต่างของระยะเวลากักเก็บ แต่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัด (ตารางที่ 4-23) กล่าวคือ ชุดทดลองที่มีปริมาณ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูง มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูง ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการบำบัดบีโอดี คือ ปริมาณ DO หากมีค่าสูงจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีและมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (ศุวศา กานตวนิชกูล, 2544)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่าโดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.54-91.46 และ 54.49-90.54% ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก โดยทั่วไปมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (มีค่าเฉลี่ย 54.49-91.46 และ 48.39-91.38% ตามลำดับ) ทั้งนี้เพราะพืชสามารถเพิ่ม DO จึงช่วยส่งเสริมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็

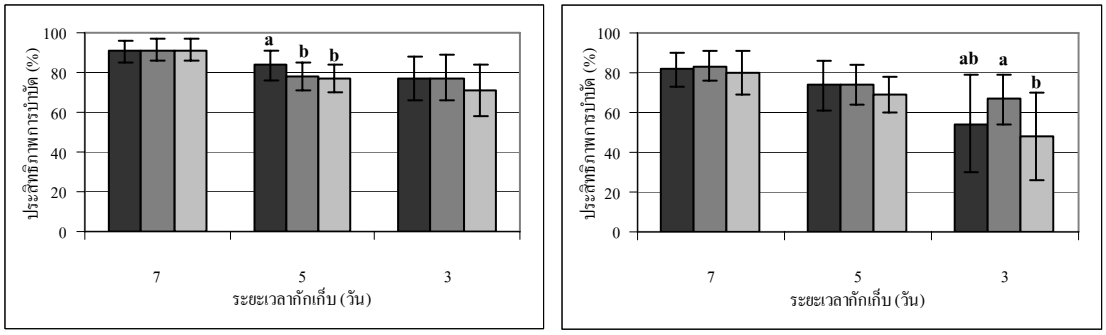
ตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกและชุดควบคุม นอกจากนี้จะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่า (รูปที่ 4-8)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 79.91-91.46, 68.95-83.62 และ 48.39-77.42% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นจะทำให้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ จิตติมา เชื้อกูล (2545) ซึ่งทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมซึ่งปลูกพุทธรักษา (*Canna siamensis*) บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง ระยะเวลากักเก็บ 3, 5 และ 7 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน สูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะระยะเวลากักเก็บที่นานขึ้นเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเติมออกซิเจนให้สูงขึ้น จุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอยู่ในช่วง 76.95-91.46 และ 71.15-91.46% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน หญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้เพราะน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าบีโอดีสูงและสามารถบำบัดได้โดยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งการทดลองครั้งนี้คาดว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีเนื่องจากชุดทดลองอยู่ในสภาพที่มี DO และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

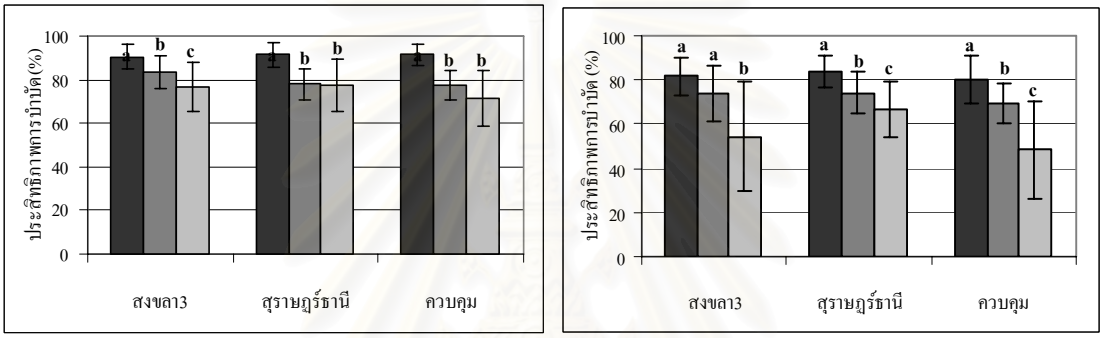
เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บและระดับความเข้มข้นของน้ำเสียมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ง 1 ภาคผนวก ง) โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน และน้ำเสียความเข้มข้นสูง มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีสูงสุด (ตารางที่ ข 2 ภาคผนวก ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



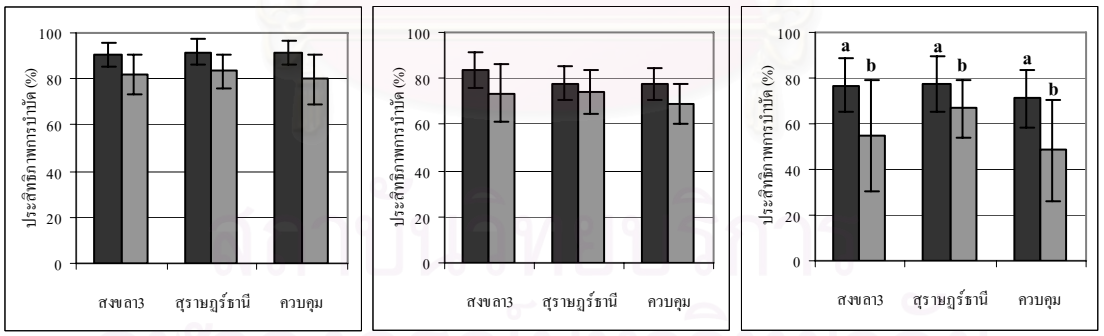
(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

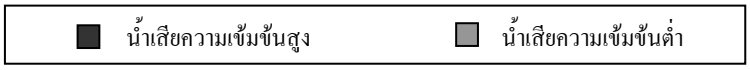


(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-8 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

(5) ทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen: TKN)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 41.025-52.806 และ 34.731-42.144 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-24) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าทีเคเอ็นลดลงและมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (35 mg/l) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.675-31.219 mg/l ซึ่งความผันแปรส่วนใหญ่เป็นผลจากความแตกต่างของระยะเวลากักเก็บ กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้น จะทำให้ค่าทีเคเอ็นในน้ำที่ผ่านการบำบัดลดลง

ตารางที่ 4-24 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)			ประสิทธิภาพ (%)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม	สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	^{a}52.806 ± 4.641	^{ข}19.831 ± 7.159	^{ก}19.094 ± 7.895	^{ก}19.213 ± 6.244	^{ก}61.01 ± 16.25	^{ก}62.48 ± 17.39	^{ก}62.29 ± 14.47
	ต่ำ	^{b}42.144 ± 3.570	^{ข}18.675 ± 8.181	^{ก}19.319 ± 7.574	^{ก}19.506 ± 9.186	^{ก}54.53 ± 22.96	^{ก}52.99 ± 22.13	^{ก}52.35 ± 25.85
5 วัน	สูง	^{a}42.813 ± 2.775	^{ข}21.775 ± 3.908^{b}	^{ข}23.225 ± 4.937^{ab}	^{ข}25.506 ± 5.399^{a}	^{ข}48.89 ± 9.95	^{aข}45.45 ± 12.52	^{aข}40.22 ± 13.10
	ต่ำ	^{b}36.244 ± 2.562	^{ข}22.019 ± 5.644^{b}	^{ข}24.213 ± 4.109^{ab}	^{ข}26.156 ± 4.291^{a}	^{ข}38.47 ± 18.05	^{bข}32.50 ± 14.84	^{bข}28.75 ± 14.45
3 วัน	สูง	^{a}41.025 ± 1.290	^{bก}28.036 ± 2.441	^{bก}27.994 ± 1.945	^{bก}29.188 ± 2.235	^{aก}31.62 ± 6.09	^{aก}31.73 ± 4.83	^{aก}28.82 ± 5.51
	ต่ำ	^{b}34.731 ± 1.697	^{aก}30.320 ± 2.453^{a}	^{aก}29.563 ± 1.572^{b}	^{aก}31.219 ± 1.401^{a}	^{bค}12.56 ± 7.02	^{bค}14.70 ± 5.40	^{bค}9.97 ± 4.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไปมีค่าทีเคเอ็นของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง เนื่องจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำส่วนใหญ่มี DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่า ทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันเปลี่ยนอินทรียไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียเกิดขึ้นได้ดี ทำให้ปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งทำให้ค่าทีเคเอ็นสูงด้วย นอกจากนี้ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงโดยทั่วไปมี DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำ ทำให้อัตราการเกิดแอมโมนิฟิเคชันต่ำ ดังนั้นคาดว่ามีปริมาณอินทรียไนโตรเจนสูง ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยการตกตะกอน (Gray, 2000) และในการทดลองนี้คาดว่าการตกตะกอนเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากมีรากหญ้าแฝกช่วยกรอง อีกทั้งชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดีจึงดูดดึงรูปแอมโมเนียไปใช้ได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก ที่พบว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงส่วนใหญ่มี TN ในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ทำให้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงโดยทั่วไปมี

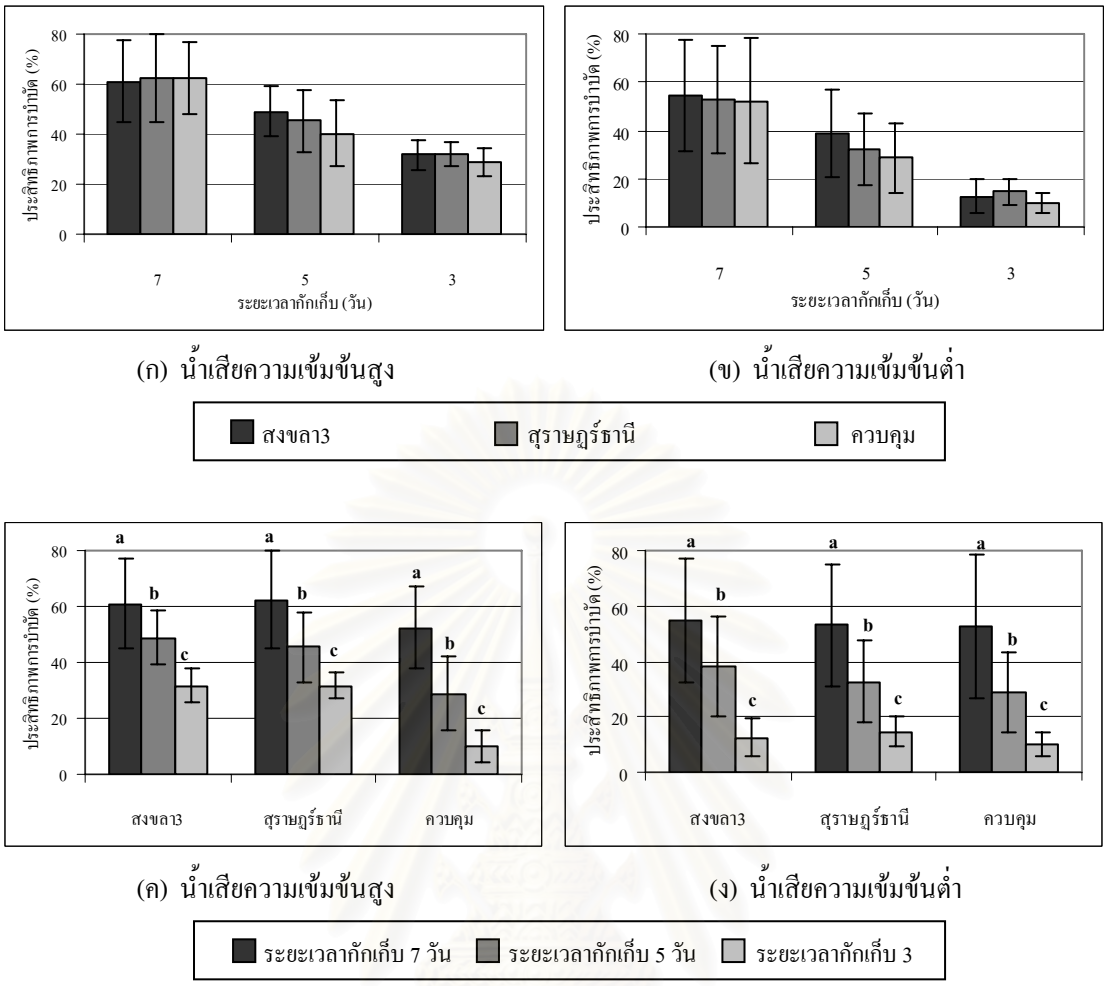
ค่าทีเคเอ็นต่ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าทีเคเอ็นของน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย (ยกเว้น เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น 12.56-61.01 และ 14.70-62.48% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งไม่พบแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ใดมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า (ตารางที่ 4-24 และรูปที่ 4-9) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปประสิทธิภาพการบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (มีค่าเฉลี่ย 12.56-62.48 และ 9.97-62.29% ตามลำดับ) เนื่องจากหญ้าแฝกมีบทบาทในการบำบัดทีเคเอ็นโดยการดูดดึงแอมโมเนียไปใช้ รวมทั้งสามารถส่งผ่านออกซิเจนจากใบไปสู่ราก จึงส่งเสริมการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้แอมโมเนียลดลง แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่า

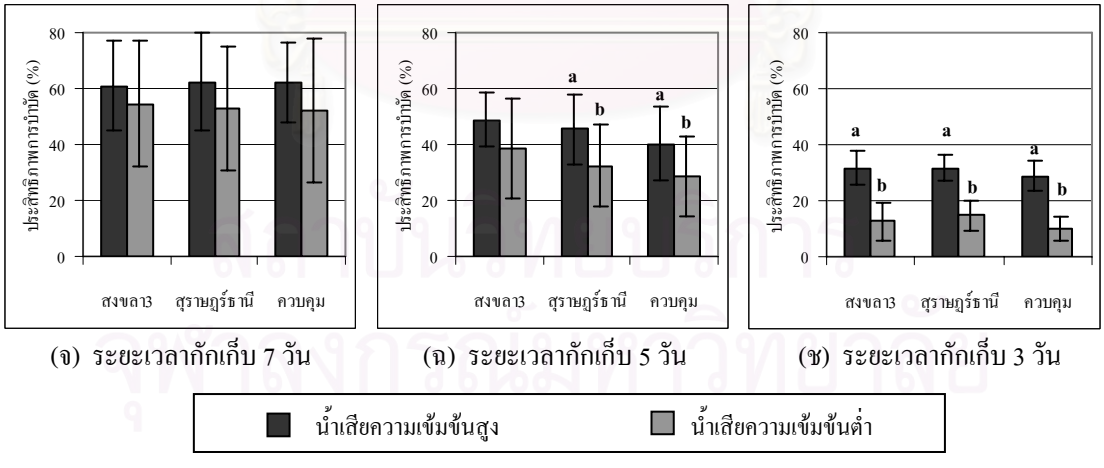
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 52.35-62.48, 28.75-48.89 และ 9.97-31.73% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นโดยทั่วไปมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ สอดคล้องกับ Kongphorod (2002) ซึ่งทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมซึ่งปลูกธรรมรักษา (*Heliconia psittacorum* x *H. spathocircinata*) บำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่องแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ระยะเวลากักเก็บ 2, 5 และ 10 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.74-75.29% ทั้งนี้เพราะระยะเวลากักเก็บที่นานขึ้น เป็นการเพิ่มระยะเวลาในการเติม DO ให้สูงขึ้น จึงส่งเสริมการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ Gumbricht (1993) ได้กล่าวว่า หากน้ำมีค่า pH สูงกว่า 7 แต่มีระยะเวลากักเก็บที่นานเพียงพอ แอมโมเนียจะอยู่ในรูปที่สามารถระเหยได้ ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH สูงกว่า 7 ดังนั้นเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน จึงคาดว่ามีการระเหยของแอมโมเนียร่วมด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 28.82-62.48 และ 9.97-54.53% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าทุกระยะเวลากักเก็บ หญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น ชุดทดลองสามารถบำบัด ทีเคเอ็นได้ดี ทำให้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างน้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ง3 ภาคผนวก ง)



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

(6) แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen: NH_3-N)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียในช่วง 28.000-32.288 และ 30.345-35.024 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-25) ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียความเข้มข้นสูงกลับมีค่าแอมโมเนียต่ำกว่า ดังที่ได้อภิปรายไปแล้ว และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดพบว่า มีค่าแอมโมเนียลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.210-26.499 mg/l ซึ่งความผันแปรส่วนใหญ่เป็นผลจากความแตกต่างของระยะเวลากักเก็บ กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้น จะทำให้ค่าแอมโมเนียลดลง นอกจากนี้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไปมีค่าแอมโมเนียของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง เนื่องจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมี DO สูง ทำให้เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันได้ดี นอกจากนี้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตและดูดดึงแอมโมเนียไปใช้ได้มาก ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำดังกล่าวแล้ว

ตารางที่ 4-25 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)			ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม	สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	^{b}32.288 ± 2.557	^{ข}15.645 ± 7.580	^{ก}14.298 ± 8.135	^{ก}14.368 ± 7.567	^{ก}50.22 ± 27.41	^{ก}54.42 ± 28.82	^{ก}54.16 ± 27.17
	ต่ำ	^{a}35.024 ± 2.116	^{ข}14.210 ± 8.813	^{ก}15.208 ± 7.662	^{ก}15.339 ± 9.100	^{ก}58.62 ± 27.37	^{ก}55.93 ± 24.19	^{ก}55.41 ± 28.10
5 วัน	สูง	^{b}28.343 ± 3.692	^{ข}17.728 ± 4.902	^{ข}19.303 ± 5.954	^{ข}20.528 ± 4.491	^{ก}36.52 ± 18.78	^{ข}30.91 ± 21.91	^{ข}26.46 ± 17.75
	ต่ำ	^{a}31.063 ± 1.216	^{ข}18.095 ± 6.220^{b}	^{ข}20.773 ± 4.466^{ab}	^{ข}21.543 ± 4.817^{a}	^{ข}41.48 ± 20.56	^{ข}32.86 ± 15.60	^{ข}30.34 ± 16.75
3 วัน	สูง	^{b}28.000 ± 2.221	^{bก}22.944 ± 2.641^{b}	^{bก}24.206 ± 1.570^{ab}	^{bก}24.665 ± 1.236^{a}	^{ข}17.69 ± 10.39	^{ก}13.35 ± 4.69	^{ก}11.60 ± 5.42
	ต่ำ	^{a}30.345 ± 2.001	^{aก}25.928 ± 2.222	^{aก}25.401 ± 1.314	^{aก}26.499 ± 1.009	^{ก}14.41 ± 7.07	^{ก}16.02 ± 5.77	^{ก}12.46 ± 4.66

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

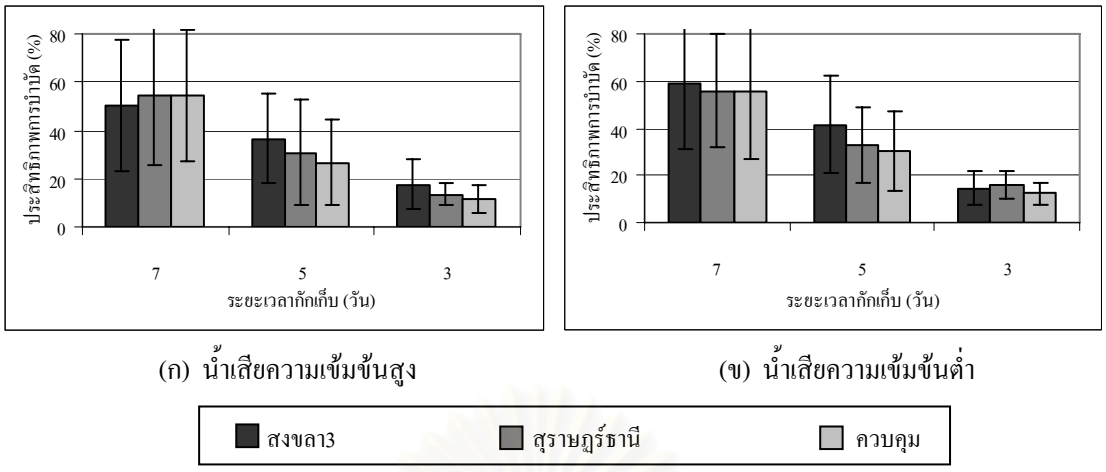
โดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกสามาถดูดดึงแอมโมเนียไปใช้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก ซึ่งพบว่าภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียปริมาณไนโตรเจนในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากเพิ่มขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกและชุดควบคุม อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่า (รูปที่ 4-10)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 14.41-58.62 และ 13.35-55.93% ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพบำบัดแอมโมเนียสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเล็กน้อย และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

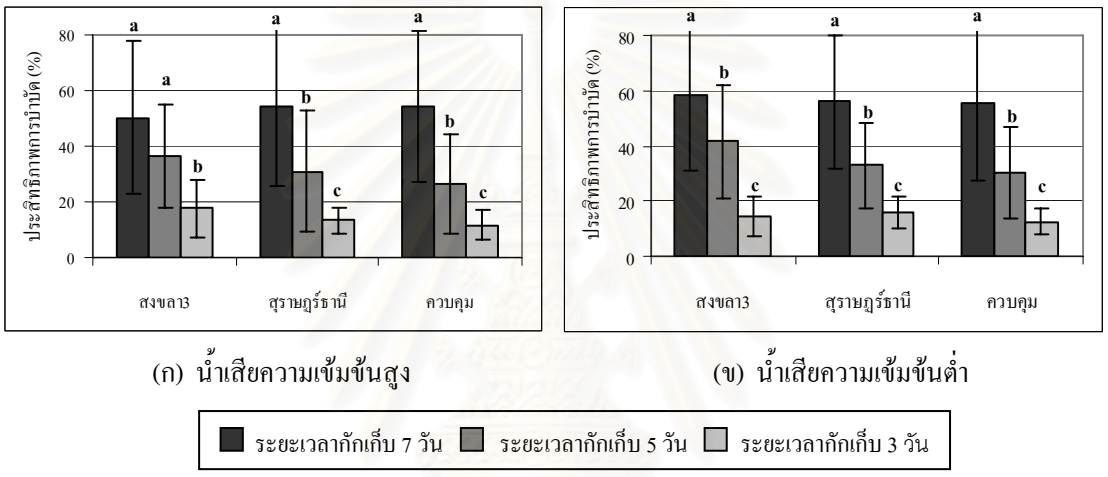
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50.22-58.62, 26.46-55.41 และ 11.60-17.69% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น ชุดทดลองมี DO สูงขึ้น จึงส่งเสริมกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชัน ทำให้ค่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียลดลง นอกจากนี้ระยะเวลากักเก็บที่นานขึ้นทำให้แอมโมเนียระเหยได้มากขึ้น และทำให้พืชและจุลินทรีย์ดูดดึงแอมโมเนียไปใช้ได้ดีขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดจึงสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 11.60-54.16 และ 12.46-58.62% ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ซึ่งคาดว่าส่วนหนึ่งเป็นผลจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไปมี DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่า ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี ดังจะเห็นได้จากการทดลองครั้งนี้น้ำเสียความเข้มข้นต่ำส่วนใหญ่มีค่าไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าน้ำเสียความเข้มข้นสูง ทั้งนี้หากน้ำเสียมีแอมโมเนียสูงมากจะทำให้อัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันลดลง เนื่องจาก DO ถูกนำไปใช้ในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันสูงจนไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข 4 ภาคผนวก ข)

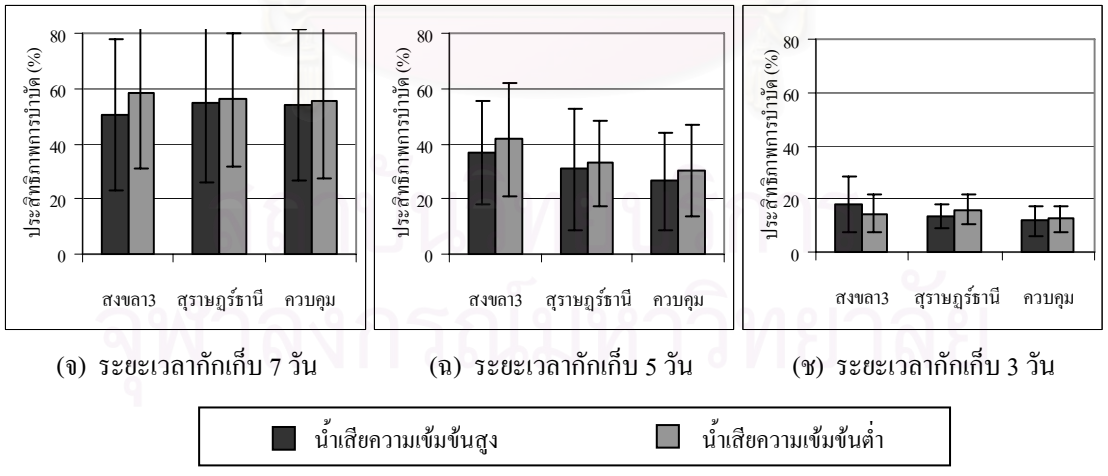


(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ



(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-10 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

(7) ไนเตรทไนโตรเจน (nitrate nitrogen: NO_3^--N)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไนเตรทอยู่ในช่วง 0.020-0.071 และ 0.023-0.045 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-26) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่ำ เนื่องจาก DO มีค่า 0.00 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุด มีค่าไนเตรทสูงขึ้นและมีค่าผันแปรสูง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.061-0.708 mg/l ทั้งนี้เพราะชุดทดลองมี DO สูงขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันสูง นอกจากนี้คาดว่าในชุดทดลองไม่เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งช่วยลดไนเตรท เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศ (Mayo and Mutamba, 2005) ทำให้ไนเตรทจึงยังคงมีค่าสูง

ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝก (0.061-0.580 mg/l) ต่ำกว่าชุดควบคุม (0.074-0.426 mg/l) แสดงว่าหญ้าแฝกมีส่วนในการช่วยดูดดึงไนเตรทไปใช้ แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกและชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหญ้าแฝกยังมีขนาดเล็ก ปริมาณไนเตรทที่ดูดดึงจึงต่ำ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน มีปริมาณไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน ตามลำดับ (มีค่าเฉลี่ย 0.061-0.079, 0.332-0.426 และ 0.405-0.708 mg/l ตามลำดับ) ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน น้ำที่ผ่านการบำบัดมี DO ค่อนข้างต่ำจึงเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันต่ำ นอกจากนี้พบว่าโดยทั่วไปค่าเฉลี่ยไนเตรทในน้ำที่ผ่านการบำบัดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำสูงกว่าชุดทดลองที่ดับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ทั้งนี้เพราะมี DO สูงกว่า

ตารางที่ 4-26 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	$^{a}0.071 \pm 0.021$	$^{ข}0.332 \pm 0.170$	$^{ก}0.383 \pm 0.249$	$^{ข}0.420 \pm 0.246$
	ต่ำ	$^{b}0.045 \pm 0.020$	$^{ก}0.410 \pm 0.286$	$^{ก}0.359 \pm 0.263$	$^{ข}0.426 \pm 0.287$
5 วัน	สูง	0.025 ± 0.007	$^{ก}0.580 \pm 0.270^{ab}$	$^{ก}0.425 \pm 0.260^{b}$	$^{ก}0.704 \pm 0.589^{a}$
	ต่ำ	0.029 ± 0.009	$^{ก}0.475 \pm 0.322^{b}$	$^{ก}0.405 \pm 0.284^{b}$	$^{ก}0.708 \pm 0.499^{a}$
3 วัน	สูง	$^{b}0.020 \pm 0.004$	$^{ก}0.063 \pm 0.028$	$^{ข}0.061 \pm 0.025$	$^{ก}0.074 \pm 0.029$
	ต่ำ	$^{a}0.023 \pm 0.004$	$^{ข}0.069 \pm 0.028$	$^{ข}0.070 \pm 0.027$	$^{ก}0.079 \pm 0.031$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

(8) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus: TP)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TP อยู่ในช่วง 5.892-6.657 และ 4.838-5.482 mg/l ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่า TP ลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.056-5.895 mg/l (ตารางที่ 4-27)

ประสิทธิภาพการบำบัด TP มีค่าค่อนข้างผันแปร อยู่ในช่วง 6.30-35.87% ซึ่งค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกับการทดลองในระยะที่ 1 เนื่องจากชุดทดลองไม่มีดินเป็นตัวกลางในการช่วยดูดซับ อย่างไรก็ตาม พบว่าทุกระยะเวลากักเก็บประสิทธิภาพการบำบัด TP ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากหญ้าแฝกสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งยังมีระบบรากช่วยดักสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ไหลมากับกระแสน้ำ จึงส่งเสริมการตกตะกอน และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัด TP ระหว่างชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่า การลงทุนเพื่อการบำบัด TP ด้วยเทคนิคการปลูกหญ้าแฝกด้วยแท่นลอยมีความคุ้มค่า

ตารางที่ 4-27 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)			ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม	สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	^{a}6.657 ± 0.604	^{ข}4.276 ± 0.323^{b}	^{ข}4.239 ± 0.34^{b}	^{a}5.455 ± 0.324^{a}	^{aก}35.32 ± 7.58^{a}	^{aก}35.87 ± 7.80^{a}	^{aก}17.78 ± 5.31^{b}
	ต่ำ	^{b}4.838 ± 0.324	^{ข}4.056 ± 0.29^{b}	4.065 ± 0.323^{b}	^{bข}4.429 ± 0.289^{a}	^{bก}16.13 ± 5.31^{a}	^{b}16.01 ± 6.16^{a}	^{b}8.47 ± 3.41^{b}
5 วัน	สูง	^{a}6.547 ± 1.394	^{ก}5.293 ± 1.074	^{ก}5.149 ± 1.102	5.895 ± 1.296	^{ข}18.84 ± 7.19^{a}	^{ข}21.18 ± 8.02^{a}	^{aข}10.14 ± 3.53^{b}
	ต่ำ	^{b}5.482 ± 1.138	^{ก}4.618 ± 1.002	4.465 ± 0.909	^{ก}5.081 ± 1.050	^{ก}15.61 ± 6.70^{a}	18.25 ± 5.93^{a}	^{b}7.23 ± 3.72^{b}
3 วัน	สูง	^{a}5.892 ± 0.585	^{ก}4.828 ± 0.580^{b}	^{aกข}4.707 ± 0.626^{b}	^{a}5.314 ± 0.538^{a}	^{aข}18.01 ± 6.39^{a}	^{aข}20.29 ± 4.80^{a}	^{aข}9.84 ± 2.13^{b}
	ต่ำ	^{b}5.060 ± 0.539	^{ก}4.539 ± 0.424^{ab}	^{b}4.330 ± 0.378^{b}	^{bกข}4.735 ± 0.448^{a}	^{bข}10.04 ± 5.55^{b}	^{b}14.15 ± 5.33^{a}	^{b}6.30± 3.31^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ
อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย
อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

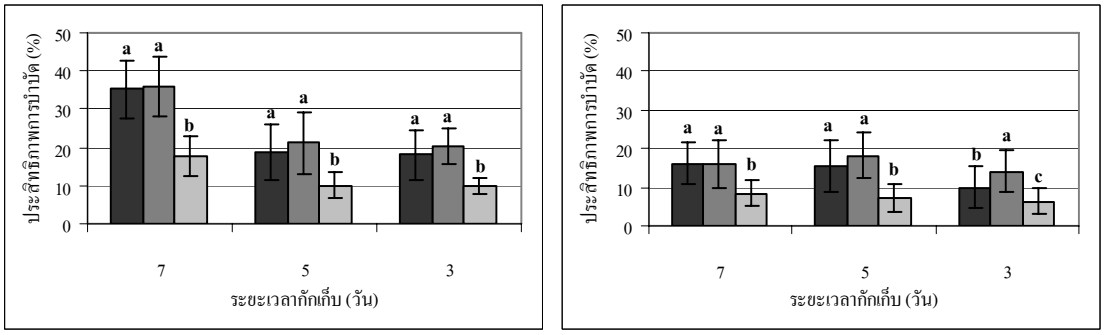
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า กลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.04-35.32 และ 14.15-35.87% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงกว่า (ตารางที่ 4-27 และรูปที่ 4-11)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.47-35.87, 7.21-21.18 และ 6.30-20.29% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัด TP มีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Dunne et al. (2005) และ Gumbricht (1993) ที่กล่าวว่าระยะเวลากักเก็บที่นานพอเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กระบวนการตกตะกอนของฟอสฟอรัสเกิดขึ้นได้ดี สอดคล้องกับ Chen et al. (2006) ทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมซึ่งปลูกเลา (*Phragmites communis*) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยมีค่า 49, 35 และ 26% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TP อยู่ในช่วง 9.84-35.87 และ 6.30-8.47% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัด TP อย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

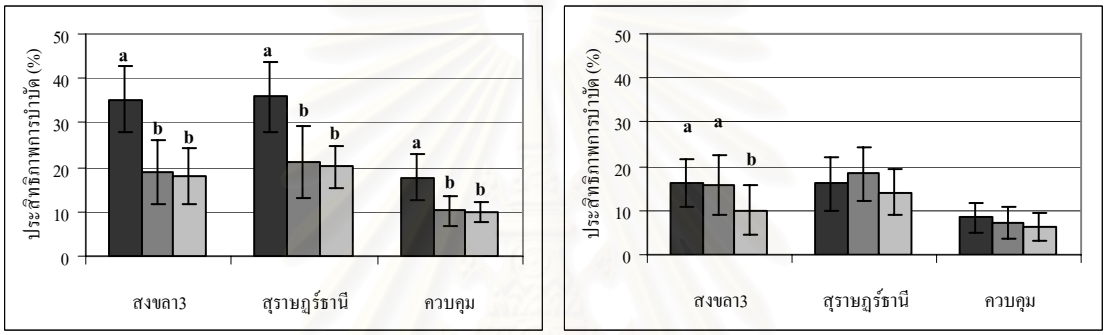
เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บและระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลากักเก็บและกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก และอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสียและกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข 5 ภาคผนวก ข) โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงสุด (ตารางที่ ข 6 ภาคผนวก ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



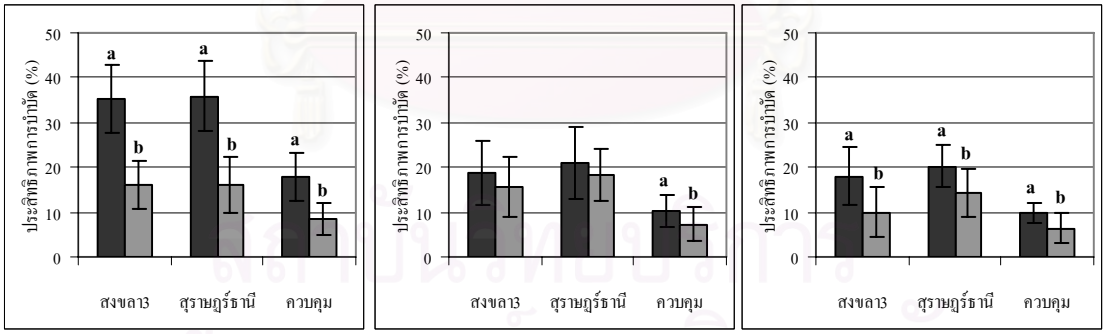
(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

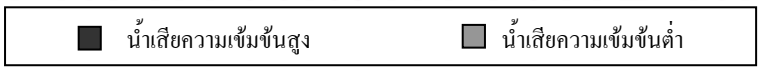


(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-11 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

(9) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate: ortho-PO_4)

น้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 3.911-4.587 และ 3.536-4.097 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองทุกชุดมีค่าออร์โธฟอสเฟตลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.976-4.037 mg/l (ตารางที่ 4-28)

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.40-23.46% โดยจะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดดังกล่าวมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากชุดทดลองไม่มีดินเป็นตัวกลางในการช่วยดูดซับ นอกจากนี้ส่วนหนึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากค่า pH ของน้ำ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.09-7.28 ออร์โธฟอสเฟตจึงอยู่ในรูป HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ได้ช้า (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) อย่างไรก็ตามพบว่า ทุกระยะเวลากักเก็บประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ชี้ให้เห็นว่า การลงทุนเพื่อการบำบัดออร์โธฟอสเฟตด้วยเทคนิคการปลูกหญ้าแฝกด้วยแท่นลอยน้ำมีความคุ้มค่า

ตารางที่ 4-28 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง น้ำที่ผ่านการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ในระยะที่ 2

ระยะเวลา กักเก็บ (วัน)	ความเข้มข้น	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)			ประสิทธิภาพ (%)		
			สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม	สงขลา 3	สุราษฎร์ธานี	ควบคุม
7 วัน	สูง	^{a}3.911 ± 0.227	$^{a\text{ข}}$3.129 ± 0.117^{b}	$^{\text{ข}}$2.989 ± 0.173^{a}	$^{\text{ข}}$3.249 ± 0.118^{a}	^{a}19.81 ± 4.18^{b}	^{a}23.46 ± 4.64^{a}	$^{a\text{ก}}$15.40 ± 2.81^{c}
	ต่ำ	^{b}3.536 ± 0.129	$^{b\text{ก}}$2.991 ± 0.122^{b}	$^{\text{ข}}$2.976 ± 0.125^{b}	$^{\text{ก}}$3.305 ± 0.144^{a}	$^{b\text{ก}}$15.37 ± 2.38^{a}	^{b}15.77 ± 3.27^{a}	^{b}8.05 ± 2.75^{b}
5 วัน	สูง	^{a}4.587 ± 0.419	$^{a\text{ก}}$3.816 ± 0.342^{ab}	$^{\text{ก}}$3.605 ± 0.302^{b}	$^{a\text{ก}}$4.037 ± 0.350^{a}	16.70 ± 4.22^{b}	^{a}21.22 ± 5.00^{a}	$^{\text{ข}}$11.91± 3.41^{c}
	ต่ำ	^{b}4.097 ± 0.436	$^{b\text{ข}}$3.499 ± 0.235	$^{\text{ก}}$3.464 ± 0.272	$^{b\text{ข}}$3.651 ± 0.285	$^{\text{ก}\text{ข}}$13.94 ± 8.66	^{b}14.81 ± 9.12	10.57 ± 5.09
3 วัน	สูง	^{a}4.407 ± 0.468	$^{\text{ก}}$3.686 ± 0.272^{ab}	$^{\text{ก}}$3.469 ± 0.367^{b}	$^{\text{ก}}$3.885 ± 0.374^{a}	^{a}15.85 ± 8.11^{ab}	^{a}19.32 ± 8.45^{a}	$^{\text{ข}}$11.46 ± 6.39^{b}
	ต่ำ	^{b}4.082 ± 0.324	$^{\text{ก}}$3.700 ± 0.254^{ab}	$^{\text{ก}}$3.572 ± 0.173^{b}	$^{\text{ก}}$3.826 ± 0.282^{a}	$^{b\text{ข}}$9.67 ± 5.61^{ab}	^{b}13.46 ± 6.73^{a}	7.40 ± 5.12^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 16 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

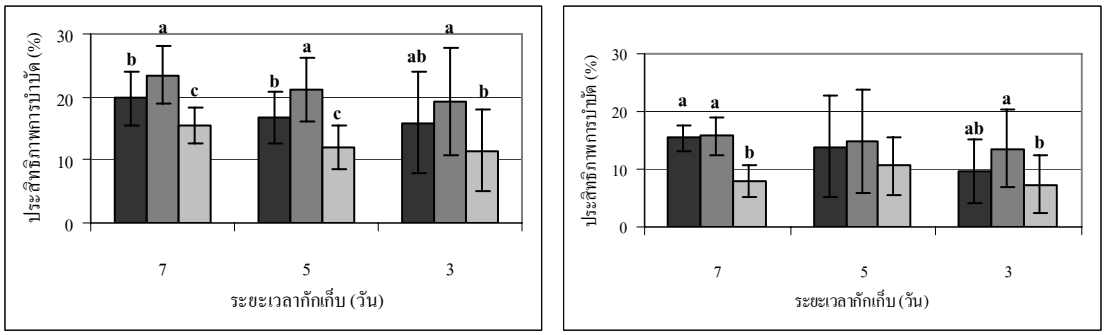
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.67-19.81 และ 13.46-23.46% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าทุกระยะเวลากักเก็บ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4-28 และรูปที่ 4-12)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.47-35.87, 7.21-21.18 และ 6.30-20.29% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.46-23.46 และ 7.40-15.77% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ทุกระยะเวลากักเก็บชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

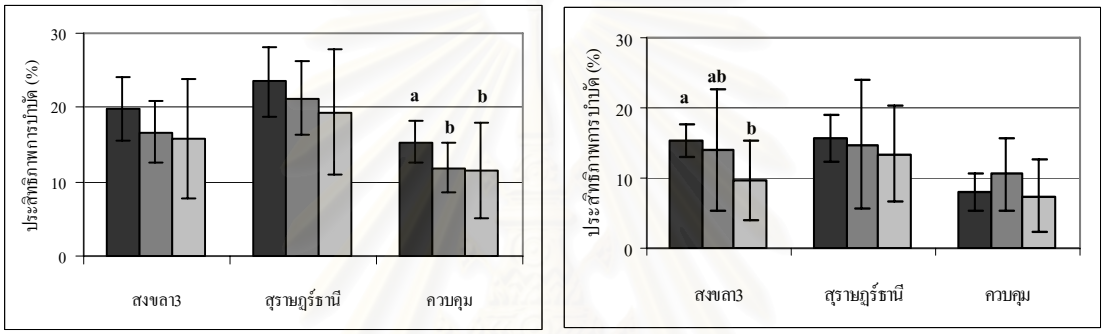
เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระยะเวลากักเก็บ และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข 7 ภาคผนวก ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



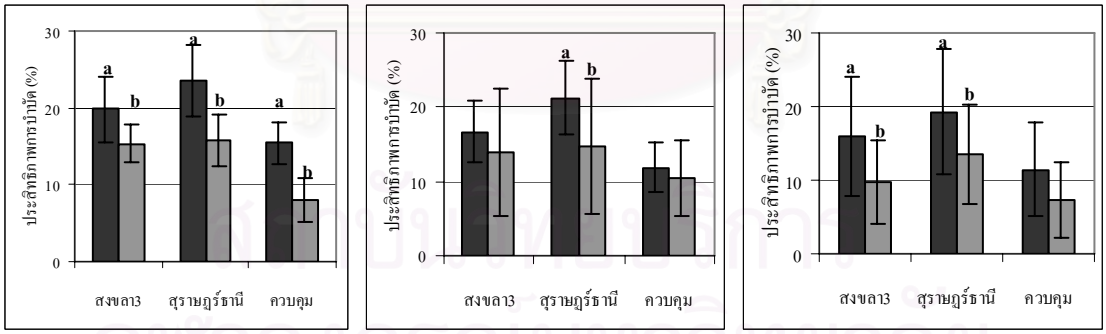
(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

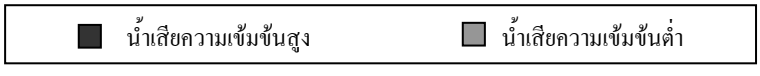


(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-12 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

4.3.3 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 2

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ในระยะที่ 2 พบว่า ชุดทดลองสามารถบำบัดทุกพารามิเตอร์ให้มีค่าลดลง ยกเว้นไนเตรท โดยชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดีและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. (ซึ่งเป็นอาคารชุดที่มีจำนวนห้องตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน) ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 และ 35 mg/l ตามลำดับ (กฎกระทรวง ฉบับที่ 51, 2541)

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียพบว่า ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่า ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่า การใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสียเป็นปัจจัยสำคัญในการบำบัดธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในน้ำเสีย นอกจากนี้การลงทุนในการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และแอมโมเนีย เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน อาจไม่คุ้มค่าเท่ากับเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน แต่จะมีความคุ้มค่าเมื่อใช้ในการบำบัดTP และออร์โธฟอสเฟต สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้หญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี TP และออร์โธฟอสเฟตสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น มีค่าผันแปรและมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกัน และน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น โดยทั่วไปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น TP และออร์โธฟอสเฟตสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 90.54-91.46, 61.01-62.48, 17.78-35.87 และ 15.40-23.46% ตามลำดับ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.40-23.46% ทั้งนี้เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพและชีวภาพเกิดขึ้นได้ดีกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน

4.4 ผลการศึกษาการเจริญเติบโต และองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน

4.4.1 เปอร์เซ็นต์การรอดและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(1) เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก

ในสัปดาห์ที่ 8 (สัปดาห์สุดท้ายของการทดลองแต่ละระยะเวลากักเก็บ) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีและสงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์การรอดอยู่ในช่วง 75.00 -100.00% ซึ่งจะเห็นว่า มีเปอร์เซ็นต์การรอดค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์เป็นหญ้าแฝกลุ่มจึงมีการเจริญเติบโตในน้ำได้ดี (ตารางที่ 4-29) โดยมีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 เล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การรอดใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีเปอร์เซ็นต์การรอดต่ำสุด ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากปริมาณ DO ในชุดทดลองเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน ทำให้การหายใจและการดูดดึงไอออนของหญ้าแฝกหยุดชะงัก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและธาตุอาหาร ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่าโดยทั่วไปหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีเปอร์เซ็นต์การรอดสูงกว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีค่าค่อนข้างสูงและมีค่าไม่แตกต่างกันนักซึ่งชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ สามารถปรับตัวและดำรงชีวิตอยู่ในน้ำเสียความเข้มข้นสูงได้ สอดคล้องกับที่ Hanping et al. (1997) พบว่า หญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำชะขยะที่มีค่าบีโอดี ทีเคเอ็น และ TP สูงถึง 1211, 1,125 และ 4.43 mg/l ตามลำดับ

ตารางที่ 4-29 เปอร์เซ็นต์การรอดของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	เปอร์เซ็นต์การรอด (%)			
			สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
7	สงขลา 3	สูง	100.00	93.33	93.33	91.67
		ต่ำ	100.00	96.67	91.67	91.67
	สุราษฎร์ธานี	สูง	100.00	93.33	91.67	91.67
		ต่ำ	100.00	96.67	96.67	93.33
5	สงขลา 3	สูง	100.00	100.00	100.00	95.00
		ต่ำ	100.00	100.00	100.00	100.00
	สุราษฎร์ธานี	สูง	100.00	100.00	98.33	88.33
		ต่ำ	100.00	100.00	100.00	98.33
3	สงขลา 3	สูง	100.00	95.00	86.67	80.00
		ต่ำ	100.00	95.00	86.67	75.00
	สุราษฎร์ธานี	สูง	100.00	98.33	90.00	83.33
		ต่ำ	100.00	98.83	93.33	91.67

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 60 ต้น (ชุดทดลองละ 30 ต้น แต่ละชุดมี 2 ซ้ำ)

(2) การแตกกอใหม่

ภายหลังทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีจำนวนกอใหม่อยู่ในช่วง 1-22, 8-26, 11-27 และ 12-38 กอ ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่อยู่ในช่วง 1.67-30.00, 10.00-35.00, 16.67-35.00 และ 18.33-48.33% ตามลำดับ (ตารางที่ 4-30) เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีจำนวนกอใหม่ใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่สูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาด้านประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสีย ในระยะที่ 2 ซึ่งหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ทั้งนี้เพราะหญ้าแฝกที่มีการแตกกอใหม่จะมีความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้น (มนพ รุ่งสุข, 2538) ดังนั้นหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่แตกกอใหม่สูง จึงดูดดึงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียได้สูง และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสียสูง

ตารางที่ 4-30 จำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	จำนวนกอใหม่ (กอ)				เปอร์เซ็นต์ต้นที่มีการแตกกอใหม่ (%)			
			สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
7	สงขลา 3	สูง	22	26	27	27	28.33	35.00	35.00	35.00
		ต่ำ	11	18	22	22	16.67	26.67	31.67	31.67
	สุราษฎร์ธานี	สูง	20	24	25	25	30.00	35.00	35.00	35.00
		ต่ำ	17	17	19	20	23.33	23.33	26.67	28.33
5	สงขลา 3	สูง	7	13	22	38	10.00	20.00	30.00	48.33
		ต่ำ	6	12	20	38	8.33	18.33	28.33	46.67
	สุราษฎร์ธานี	สูง	5	8	14	19	5.00	10.00	16.67	25.00
		ต่ำ	5	12	20	41	6.67	16.67	26.67	45.00
3	สงขลา 3	สูง	6	12	12	14	10.00	18.33	18.33	20.00
		ต่ำ	1	11	11	12	1.67	16.67	16.67	18.33
	สุราษฎร์ธานี	สูง	4	11	12	12	6.67	16.67	18.33	18.33
		ต่ำ	6	12	14	15	8.33	16.67	18.33	20.00

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 60 ต้น (ชุดทดลองละ 30 ต้น แต่ละชุดมี 2 ซ้ำ)

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน มีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน เนื่องจากเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน ปริมาณ DO ในชุดทดลองมีค่าต่ำ ซึ่งขัดขวางการทำงานของรากและมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก (ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า มีค่าค่อนข้างผันแปรซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลจากความแตกต่างของกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก กล่าวคือ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงโดยทั่วไปมีจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่สูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ แต่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไปมีจำนวนกอใหม่และเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกกอใหม่สูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง

(3) การแตกรากใหม่

โดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีมีการแตกรากใหม่ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ อยู่ในช่วง 76.67-100.00 และ 78.33-100.00% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ อยู่ในช่วง 6.59-11.44 และ 6.83-12.89 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่มีแนวโน้มว่าในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่สูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่สูงกว่า (ตารางที่ 4-31)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่และความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน หญ้าแฝกมีการแตกรากใหม่ทุกต้น (100%) โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่อยู่ในช่วง 10.21-11.90 และ 10.72-12.89 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน หญ้าแฝกมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่แตกรากใหม่และค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ต่ำกว่า มีค่าอยู่ในช่วง 76.67-85.00% และ 6.59-8.26 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน น้ำเสียในชุดทดลองมี DO ต่ำ ทำให้การเจริญเติบโตของรากไม่ดี และเกิดรากขนอ่อนน้อย ทำให้ดูดดึงธาตุอาหารได้ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่และความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำมีเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 78.33-100 และ 76.67-100% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่อยู่ในช่วง 7.23-11.29 และ 6.59-12.89 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่สูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่สูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง

ตารางที่ 4-31 เปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการแตกรากใหม่ และความยาวรากใหม่ของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	เปอร์เซ็นต์ต้นที่มีการแตกรากใหม่ (%)	ค่าเฉลี่ยความยาวรากใหม่ (ซม.)	ช่วงความยาวรากใหม่ (ซม.)
7	สงขลา 3	สูง	100.00	10.84 ± 3.97	3.0-19.7
		ต่ำ	100.00	11.44 ± 3.23	4.7-17.1
	สุราษฎร์ธานี	สูง	100.00	10.21 ± 2.93	5.6-22.0
		ต่ำ	100.00	11.90 ± 3.45	4.0-21.1
5	สงขลา 3	สูง	100.00	11.39 ± 4.12	4.1-20.6
		ต่ำ	100.00	11.10 ± 3.86	3.2-24.4
	สุราษฎร์ธานี	สูง	100.00	10.72 ± 4.81	4.2-24.0
		ต่ำ	100.00	12.89 ± 4.29	4.2-23.2
3	สงขลา 3	สูง	83.33	7.23 ± 2.66	2.5-12.0
		ต่ำ	76.67	6.59 ± 2.57	1.5-13.1
	สุราษฎร์ธานี	สูง	78.33	8.26 ± 3.34	3.5-19.0
		ต่ำ	85.00	6.83 ± 2.55	1.5-13.3

หมายเหตุ จำนวนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ละ 60 ต้น (ชุดทดลองละ 30 ต้น แต่ละชุดมี 2 ซ้ำ)

(4) ความสูงของหญ้าแฝก

ก่อนการทดลองได้ทำการตัดหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีให้มีความสูงเท่ากัน คือ 20 เซนติเมตร และภายหลังทำการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.20-57.53, 40.03-78.26, 50.13-95.75 และ 56.43-100.91 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยการเพิ่มพูนความสูงลดลงตามระยะเวลาการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.20-37.53, 11.96-20.73, 6.82-17.45 และ 1.33-8.40 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4-32) ซึ่งอาจเป็นเพราะใน 2 สัปดาห์แรกเป็นช่วงที่หญ้าแฝกเพิ่งได้รับธาตุอาหารปริมาณสูงจากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง จึงมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แม้ว่าน้ำเสียจะมีค่า DO เข้าใกล้ 0 mg/l แต่เมื่อเข้าสู่ชุดทดลองแล้วค่า DO สูงขึ้นและค่าบีโอดีลดลง ดังนั้นรากของหญ้าแฝกจึงไม่เน่าและสามารถดูดดึงธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้

เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 8 อยู่ในช่วง 56.43-100.91 มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับ 7.20-37.53, 12.79-20.73, 6.82-17.45 และ 1.33-7.99 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 8 อยู่ในช่วง 62.36-92.10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับ 10.24-30.93, 11.96-19.96, 9.90-15.75 และ 1.89-8.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า โดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีความสูงและการเพิ่มพูนความสูงสูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของความสูงและการเพิ่มพูนความสูงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4-32 และรูปที่ 4-13)

ตารางที่ 4-32 ค่าเฉลี่ยความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	ความสูง (เซนติเมตร)				การเพิ่มพูนความสูง (เซนติเมตร)			
			สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
7	สงขลา 3	สูง	^{ข}42.24 ± 18.02	^{ก}61.38 ± 31.86^{a}	^{ก}67.89 ± 36.20	^{กข}69.23 ± 37.21	^{ข}22.24 ± 18.54	^{ก}19.14 ± 18.86	^{ข}6.82 ± 6.60	^{ข}1.33 ± 2.56
		ต่ำ	^{ข}46.04 ± 18.61	^{ข}62.44 ± 28.49	^{ข}70.04 ± 33.96	^{ข}71.83 ± 35.37	^{ข}26.04 ± 18.02	^{กข}16.40 ± 14.65	^{ข}7.60 ± 7.67^{b}	^{ข}1.79 ± 2.97
	สุราษฎร์ธานี	สูง	^{ขง}36.97 ± 15.55	^{ขกง}50.56± 27.18^{b}	^{ขง}60.47 ± 36.65	^{ขง}62.36 ± 38.30	^{ขง}16.97 ± 15.55	^{b}13.59 ± 13.63	9.90 ± 13.83	^{ข}1.89 ± 4.32
		ต่ำ	^{aข}42.85 ± 14.65	^{aกข}62.81± 25.88	^{aกข}75.67± 33.14	^{a}78.03 ± 34.66	^{aข}22.85 ± 14.65	^{a}19.96 ± 14.28	12.86 ± 15.47^{a}	^{ข}2.36 ± 3.91
5	สงขลา 3	สูง	^{bก}47.98 ± 15.62	^{bก}60.77 ± 22.95	^{bก}72.70 ± 30.73	^{bก}76.66 ± 33.26	^{bก}27.98 ± 15.62	^{bข}12.79 ± 10.77	^{bก}11.93 ± 9.86	^{ก}3.96 ± 5.29^{b}
		ต่ำ	^{aก}57.53 ± 15.11^{a}	^{aก}78.26 ± 26.67	^{aก}95.75 ± 35.21	^{aก}100.91± 37.17	^{aก}37.53 ± 15.11^{a}	^{aก}20.73 ± 14.70	^{aก}17.45 ± 10.05	^{กข}5.20 ± 6.44
	สุราษฎร์ธานี	สูง	^{bก}43.73 ± 14.67	^{bก}58.85 ± 24.47	^{ก}74.03 ± 33.40	^{ก}81.40 ± 37.37	^{bก}23.73 ± 14.67	15.11 ± 12.90	15.18 ± 10.70	^{ก}7.38 ± 8.68^{a}
		ต่ำ	^{aก}50.93 ± 16.53^{b}	^{aก}69.75 ± 26.53	^{ก}85.50 ± 34.77	92.10 ± 37.54	^{aก}30.93 ± 16.53^{b}	18.82 ± 14.89	15.75 ± 10.06	^{ก}6.60 ± 7.97
3	สงขลา 3	สูง	^{ก}29.52 ± 10.27	^{ข}42.81 ± 23.77	^{ข}53.62 ± 34.13	^{ข}58.82 ± 39.38	^{ก}9.52 ± 10.27	^{ข}13.29 ± 14.26	^{ก}10.82 ± 13.41	^{ก}5.20 ± 7.59
		ต่ำ	^{ก}27.20 ± 8.59^{b}	^{ก}40.03 ± 23.24^{b}	^{ก}50.13 ± 34.36^{b}	^{ก}56.43 ± 38.65^{b}	^{ก}7.20 ± 8.59^{b}	^{ข}12.83 ± 15.98	^{ข}10.09 ± 13.26	^{ก}7.99 ± 16.18
	สุราษฎร์ธานี	สูง	^{bก}30.24 ± 9.34	^{bข}42.20 ± 20.37	^{bข}54.32 ± 31.48	^{ข}62.72 ± 39.33	^{bก}10.24 ± 9.34	^{b} 11.96 ± 13.36	12.12 ± 15.17	^{ก}8.40 ± 10.41
		ต่ำ	^{aก}36.24 ± 13.47^{a}	^{aข}53.80 ± 26.50^{a}	^{aข}68.37 ± 38.21^{a}	76.12 ± 44.09^{a}	^{aก}16.24 ± 13.47^{a}	^{a}17.56 ± 15.09	14.57 ± 14.17	^{ก}7.75 ± 9.31

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 60 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรไทยมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

อักษรมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

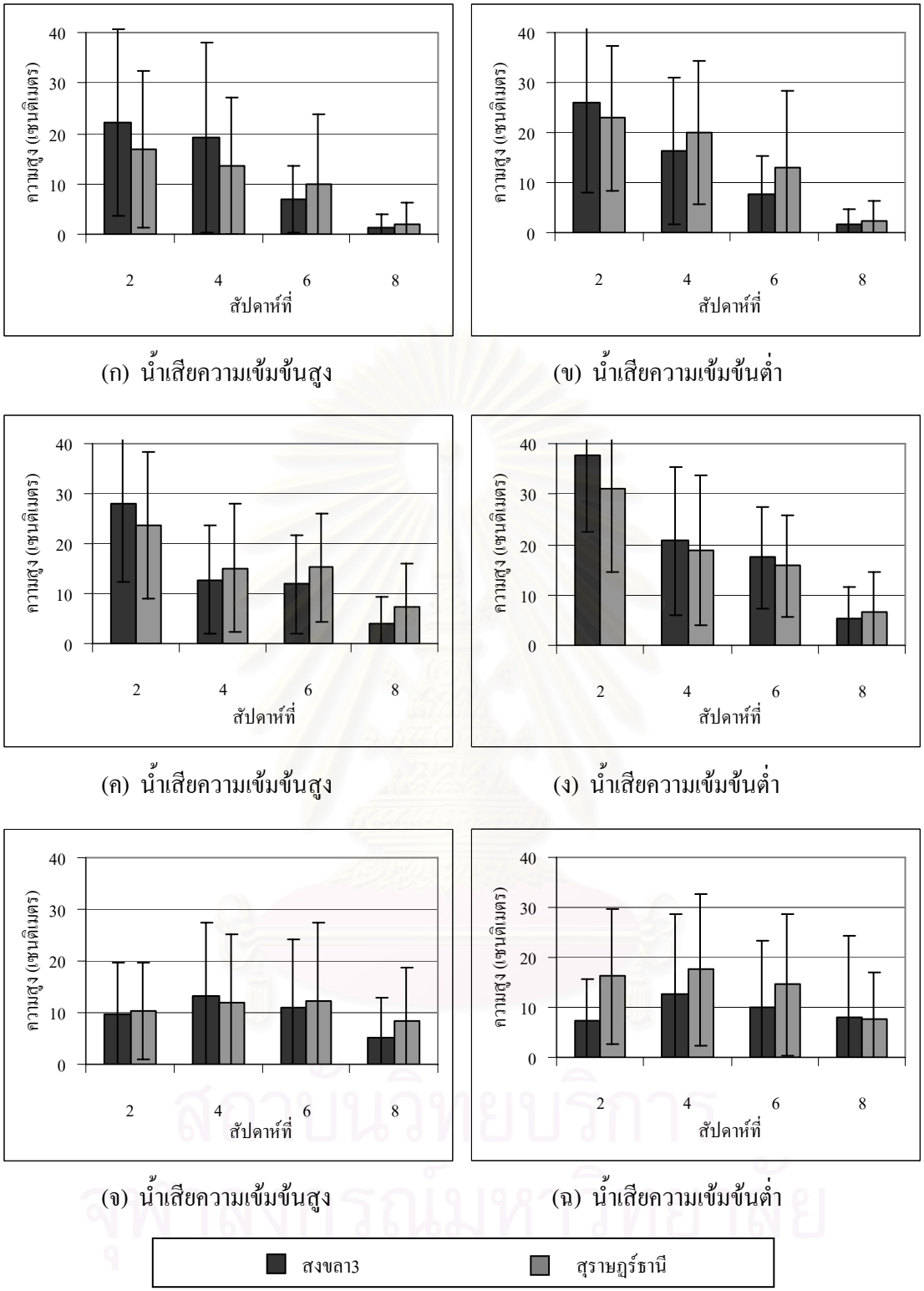
ความสูงของหญ้าแฝกเริ่มต้น เท่ากับ 20 เซนติเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า โดยทั่วไปเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน มีค่าเฉลี่ยความสูงใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน ส่วนค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกมีค่าไม่ชัดเจนและค่อนข้างผันแปร แต่โดยรวมจะเห็นว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน มีแนวโน้มการเพิ่มพูนความสูงต่ำ ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน น้ำเสียในชุดทดลองมีปริมาณ DO ค่อนข้างต่ำ มีผลลบต่อการทำงานของราก ทำให้หญ้าแฝกดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปมีความแตกต่างของความสูงและการเพิ่มพูนความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น พบว่า ในสัปดาห์ที่ 8 ความสูงหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 58.82-81.40 และ 56.43-100.91 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับ 9.52-27.98, 11.96-19.14, 6.82-15.18 และ 1.33-8.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.20-37.53, 12.83-20.73, 7.60-17.45 และ 1.79-7.99 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าโดยทั่วไปความสูงและการเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีค่าสูงกว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียความเข้มข้นต่ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทสูง ทำให้เมื่อหญ้าแฝกดูดดึงไปใช้ จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นและใบ (Parker, 2000) นอกจากนี้น้ำเสียความเข้มข้นสูงที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า บีโอดีสูง จุลินทรีย์จึงใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ทำให้น้ำในชุดทดลองมีค่า DO ต่ำและมีผลกระทบทางลบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของความสูงและการเพิ่มพูนความสูงระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

(จ) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ฉ) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

รูปที่ 4-13 การเพิ่มพูนความสูงของหญ้าแฝกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระยะที่ 2

ก-ข ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน

ค-ง ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน

จ-ฉ ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน

(5) มวลชีวภาพของหญ้าแฝก

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 1.13-1.60 และ 0.99-1.79 กรัม ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนราก อยู่ในช่วง 0.35-0.53 และ 0.28-0.42 กรัม ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงขึ้นเป็น 2.36-3.60 และ 2.39-3.87 กรัม ตามลำดับ และมวลชีวภาพของส่วนรากสูงขึ้นเป็น 0.52-0.87 และ 0.56-0.86 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4-33 และ 4-34) ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณธาตุอาหารสูง ทำให้หญ้าแฝกสามารถดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต

หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 47.07- 231.79 และ 33.53-215.16% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก อยู่ในช่วง 37.23-112.50 และ 68.14-123.78% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบมีค่าค่อนข้างผันแปร โดยในน้ำเสียความเข้มข้นสูง โดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ส่วนในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 (ตารางที่ 4-33 และรูปที่ 4-14) ส่วนเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 (ตารางที่ 4-34 และรูปที่ 4-15) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการเจริญเติบโตของส่วนรากดี นอกจากนี้การเจริญเติบโตของรากมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย กล่าวคือ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าด้วย ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่หญ้าแฝกต้องการใช้ในการเจริญเติบโตของราก (Parker, 2000) และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน น้ำเสียในชุดทดลองมี DO สูง ทำให้รากเจริญเติบโตได้ดี สามารถดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้สูง นอกจากนี้ จะเห็นว่า มวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝก เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่าค่อนข้างต่ำ ชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กและอาจอยู่ในช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ดังนั้นเมื่อได้รับน้ำเสียซึ่งมีธาตุอาหารจึงเจริญเติบโตดี ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

ตารางที่ 4-33 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	มวลชีวภาพของต้นและใบ			
			ก่อนการทดลอง (กรัม)	หลังการทดลอง (กรัม)	การเพิ่มพูน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูน (%)
7	สงขลา 3	สูง	$1.13 \pm 0.30^{a\,ข}$	$^{*}3.60 \pm 0.77^{aก}$	2.47 ± 0.76^{aก}	231.79 ± 91.32^{aก}
		ต่ำ	$1.13 \pm 0.30^{a\,ข}$	$^{*}3.32 \pm 0.50^{aก}$	2.19 ± 0.59^{ก}	209.60 ± 80.98^{ก}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	0.99 ± 0.15^{bค}	$^{*b}2.66 \pm 0.51^{bกข}$	$^{b}1.67 \pm 0.54^{bก}$	$^{b}175.99 \pm 75.86^{bก}$
		ต่ำ	0.99 ± 0.15^{bค}	$^{*a}3.00 \pm 0.55^{bข}$	$^{a}2.01 \pm 0.63^{ข}$	$^{a}215.16 \pm 101.75^{ก}$
5	สงขลา 3	สูง	1.60 ± 0.27^{aก}	$^{*b}2.91 \pm 0.85^{ข}$	$^{b}1.31 \pm 0.85^{ข}$	$^{b}82.05 \pm 53.35^{ข}$
		ต่ำ	1.60 ± 0.27^{aก}	$^{*a}3.32 \pm 0.65^{bก}$	$^{a}1.72 \pm 0.65^{bข}$	$^{a}107.43 \pm 40.51^{bข}$
	สุราษฎร์ธานี	สูง	1.37 ± 0.25^{bข}	$^{*b}2.78 \pm 0.69^{ก}$	$^{b}1.41 \pm 0.687^{ก}$	$^{b}102.78 \pm 50.17^{ข}$
		ต่ำ	1.37 ± 0.25^{bข}	$^{*a}3.87 \pm 1.04^{aก}$	$^{a}2.50 \pm 1.04^{aก}$	$^{a}182.38 \pm 75.99^{aก}$
3	สงขลา 3	สูง	1.60 ± 0.39^{ก}	$^{*}2.54 \pm 0.50^{ข}$	0.94 ± 0.50^{aก}	58.46 ± 30.91^{aข}
		ต่ำ	1.60 ± 0.39^{ก}	$^{*}2.36 \pm 0.57^{bข}$	0.76 ± 0.57^{bค}	47.06 ± 35.82^{ค}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	1.79 ± 0.34^{ก}	$^{*b}2.39 \pm 0.46^{ข}$	$^{b}0.60 \pm 0.46^{bข}$	$^{b}33.53 \pm 25.89^{bก}$
		ต่ำ	1.79 ± 0.34^{ก}	$^{*a}2.97 \pm 0.78^{aข}$	$^{a}1.18 \pm 0.78^{aก}$	$^{a}66.01 \pm 43.49^{ข}$

หมายเหตุ ดูท้ายตาราง 4-34

ตารางที่ 4-34 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของส่วนราก และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	มวลชีวภาพของต้นและใบ			
			ก่อนการทดลอง (กรัม)	หลังการทดลอง (กรัม)	การเพิ่มพูน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูน (%)
7	สงขลา 3	สูง	$0.35 \pm 0.08^{a\,ข}$	$^{*}0.72 \pm 0.21^{aข}$	0.37 ± 0.21	112.50 ± 73.20^{ก}
		ต่ำ	$0.35 \pm 0.08^{a\,ข}$	$^{*}0.71 \pm 0.24^{aข}$	0.35 ± 0.24^{ก}	106.64 ± 82.84^{ก}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	0.28 ± 0.08^{bข}	$^{*}0.58 \pm 0.15^{bข}$	0.29 ± 0.15	114.04 ± 77.57^{ก}
		ต่ำ	0.28 ± 0.08^{bข}	$^{*}0.56 \pm 0.16^{bข}$	0.28 ± 0.14^{ข}	110.34 ± 74.91
5	สงขลา 3	สูง	0.53 ± 0.17^{aก}	$^{*}0.86 \pm 0.21^{aก}$	0.33 ± 0.21	63.53 ± 39.22^{ข}
		ต่ำ	0.53 ± 0.17^{aก}	$^{*}0.87 \pm 0.22^{ก}$	0.34 ± 0.22^{ก}	65.24 ± 42.43^{bข}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	0.38 ± 0.11^{bก}	$^{*}0.73 \pm 0.26^{bก}$	0.34 ± 0.26	89.66 ± 68.72^{กข}
		ต่ำ	0.38 ± 0.11^{bก}	$^{*}0.86 \pm 0.32^{ก}$	0.48 ± 0.32^{ก}	123.78 ± 84.49^{a}
3	สงขลา 3	สูง	0.38 ± 0.11^{ข}	$^{*a}0.63 \pm 0.20^{ข}$	$^{a}0.25 \pm 0.20$	$^{a}65.86 \pm 52.71^{ข}$
		ต่ำ	0.38 ± 0.11^{ข}	$^{*b}0.52 \pm 0.10^{bก}$	$^{b}0.14 \pm 0.10^{bข}$	$^{b}37.23 \pm 26.02^{bข}$
	สุราษฎร์ธานี	สูง	0.42 ± 0.08^{ก}	$^{*}0.70 \pm 0.19^{ก}$	0.28 ± 0.19	68.14 ± 44.55^{ข}
		ต่ำ	0.42 ± 0.08^{ก}	$^{*}0.81 \pm 0.27^{aกข}$	0.39 ± 0.27^{aกข}	93.86 ± 65.64^{a}

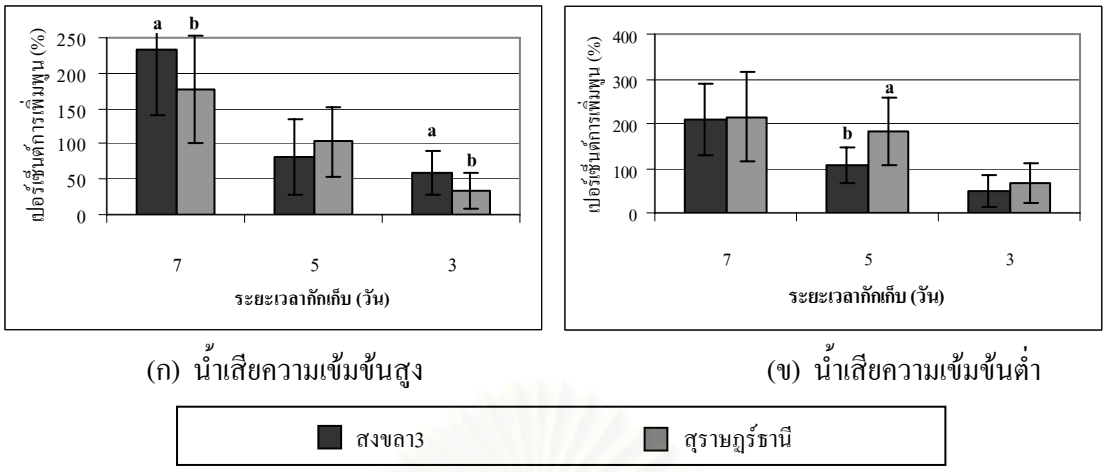
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 30 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

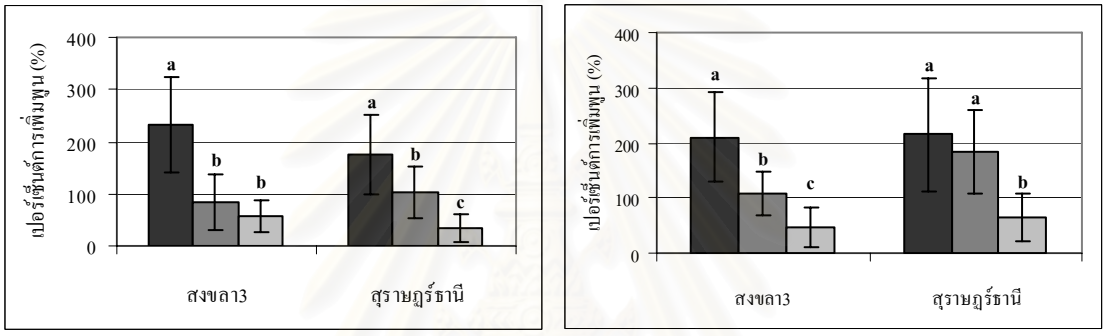
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง



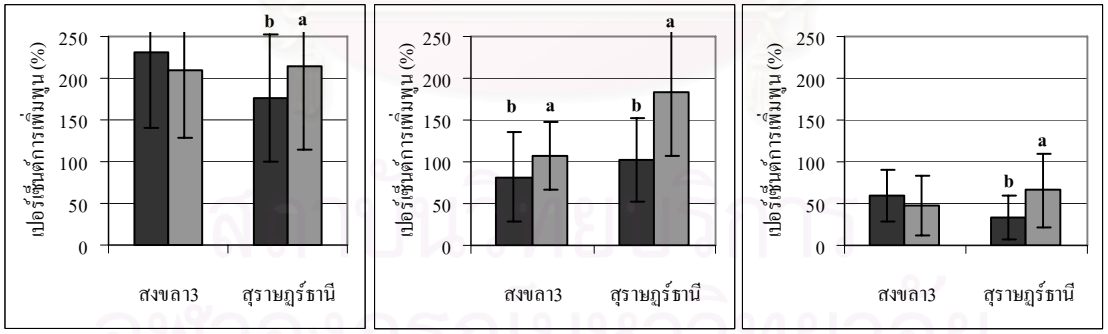
(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

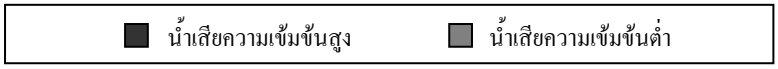


(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน



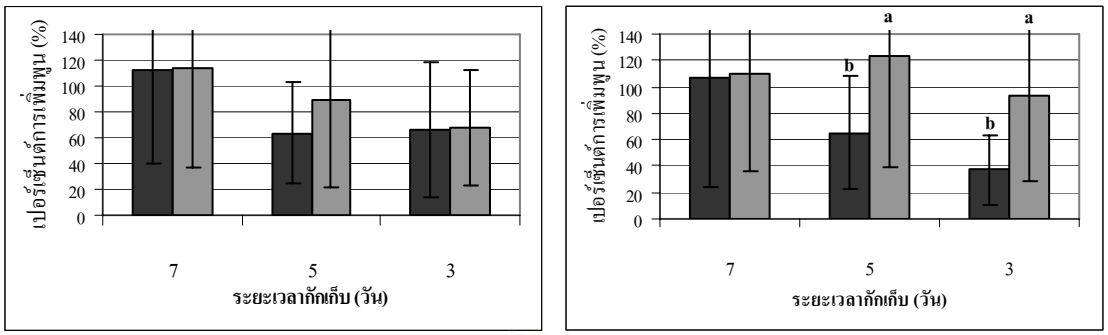
หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

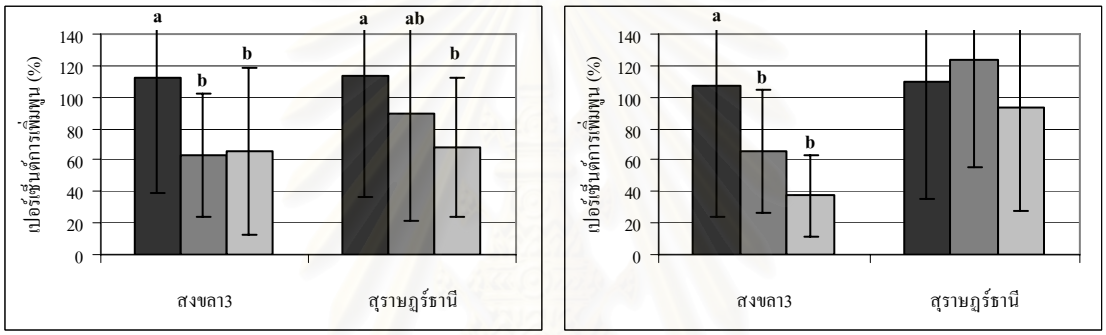
(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

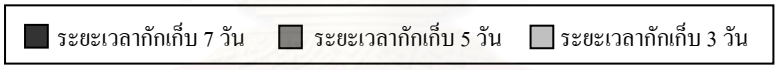


(ก) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ข) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

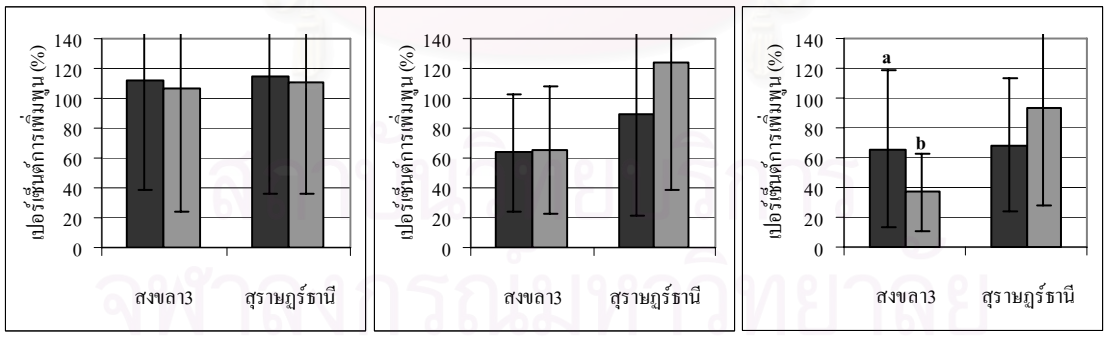
หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก



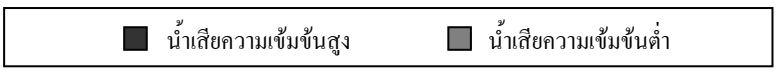
(ค) น้ำเสียความเข้มข้นสูง (ง) น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างระยะเวลากักเก็บ



(จ) ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน (ฉ) ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน (ช) ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน



หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

รูปที่ 4-15 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก ในระยะที่ 2

(ก)-(ข) เปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์

(ค)-(ง) เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลากักเก็บที่ต่างกัน

(จ)-(ช) เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนรากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุปผลการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ชี้ให้เห็นว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานีเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น แต่มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 สามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียความเข้มข้นสูงได้ดีกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี (มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงกว่า) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีสามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 (มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและส่วนรากสูงกว่า) และมีแนวโน้มว่า การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและความยาวรากมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกขึ้นกับแสง อุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจน ธาตุอาหาร และฮอร์โมน (สมบุญ เตชะภิญญา-วัฒน์, 2538 อ้างถึงใน ปิยวรรณ โภชนพันธ์, 2546)

4.4.2 ปริมาณและการสะสมธาตุธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

(1) ปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมด

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณ TN ในส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.005-6.300 และ 4.725-7.735 mg/g dry wt. ตามลำดับ และปริมาณ TN ในส่วนราก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.110-5.600 และ 4.340-6.147 mg/g dry wt. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณ TN ในส่วนต้นและใบสูงขึ้นเป็น 7.245-13.405 และ 8.785-10.710 mg/g dry wt. ตามลำดับ และปริมาณ TN ในส่วนรากสูงขึ้นเป็น 8.785-15.645 และ 9.940-14.280 mg/g dry wt. ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบอยู่ในช่วง 1.785-8.400 และ 2.765-5.985 mg/g dry wt. ตามลำดับ และมีการสะสม TN ในส่วนราก อยู่ในช่วง 2.240-10.045 และ 6.860-8.133 mg/g dry wt. ตามลำดับ (ตารางที่ 4-35) ซึ่งจะเห็นว่าโดยทั่วไปปริมาณ TN ในส่วนรากมีค่าสูงกว่าในส่วนต้นและใบ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ ธนียา เจติยานุกรกุล (2539) ซึ่งทดลองใช้น้ำเสียรดหญ้าแฝกพบว่า หญ้าแฝกมีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบสูงกว่าในส่วนราก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของส่วนต้นและใบ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้หญ้าแฝกมีอายุน้อยการเจริญเติบโตของส่วนต้นและใบจึงยังไม่สูงมาก ทำให้มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบต่ำ

ตารางที่ 4-35 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	ต้นและใบ (mg/g dry wt)			ราก (mg/g dry wt)		
			ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	การสะสม	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	การสะสม
7	สงขลา 3	สูง	5.460 ± 0.099$^{bn\psi}$	^{*a}9.065 ± 0.148	^{a}3.605 ± 0.148	5.600 ± 0.594	15.645 ± 4.900	10.045 ± 4.900
		ต่ำ	5.460 ± 0.099$^{bn\psi}$	^{*b}7.245 ± 0.544	^{b}1.785 ± 0.544	5.600 ± 0.594	*13.265 ± 0.247^{n}	7.665 ± 0.247^{n}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	7.735 ± 0.049^{a}	10.675 ± 1.237	2.940 ± 1.237	6.147 ± 0.217	*14.280 ± 1.386	8.133 ± 1.386
		ต่ำ	7.735 ± 0.049^{a}	10.500 ± 1.485	2.765 ± 1.485	6.147 ± 0.217	*14.140 ± 1.980	7.993 ± 1.980
5	สงขลา 3	สูง	5.005 ± 0.247$^{\psi}$	*13.405 ± 2.425	8.400 ± 2.425	5.530 ± 0.297	*14.420 ± 2.376	8.890 ± 2.376
		ต่ำ	5.005 ± 0.247$^{\psi}$	11.900 ± 2.277	6.895 ± 2.277	5.530 ± 0.297	*12.740 ± 0.099^{n}	7.210 ± 0.099^{n}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	4.725 ± 1.039	10.710 ± 0.198	5.985 ± 0.198	5.075 ± 0.247	*13.055 ± 0.544	7.980 ± 0.544
		ต่ำ	4.725 ± 1.039	9.765 ± 1.435	5.040 ± 1.435	5.075 ± 0.247	*12.180 ± 0.693	7.105 ± 0.693
3	สงขลา 3	สูง	6.300 ± 0.396^{n}	10.710 ± 1.881	4.410 ± 1.881	5.110 ± 0.495	*8.785 ± 0.940	3.675 ± 0.940
		ต่ำ	6.300 ± 0.396^{n}	9.555 ± 2.821	3.255 ± 2.821	5.110 ± 0.495	7.350 ± 0.693$^{\psi}$	2.240 ± 0.693$^{\psi}$
	สุราษฎร์ธานี	สูง	5.810 ± 0.693	8.785 ± 2.326	2.975 ± 2.326	4.340 ± 0.792	*9.940 ± 1.287	5.600 ± 1.287
		ต่ำ	5.810 ± 0.693	11.200 ± 2.178	5.390 ± 2.178	4.340 ± 0.792	11.200 ± 2.475	6.860 ± 2.475

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 2 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายมือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่า ในน้ำเสียความเข้มข้นสูง หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี และในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบและส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก กล่าวคือ หญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตดี จะมีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงด้วย สอดคล้องกับที่ Oorschot (1994) กล่าวว่า ผลผลิตของหญ้าแฝกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุอาหารที่หญ้าแฝกดูดดึงเข้าไป อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TN ในส่วนต้นและใบและส่วนรากของหญ้าแฝก เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน การสะสม TN ในส่วนต้นและใบ มีค่าค่อนข้างผันแปร มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.785-3.605, 5.040-8.400 และ 2.975-5.390 mg/g dry wt. ตามลำดับ ส่วนการสะสม TN ในส่วนรากมีแนวโน้มว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีการสะสม TN สูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.265-15.645, 12.180-14.420 และ 7.350-11.200 mg/g dry wt. ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น อัตราการไหลของน้ำเสียในชุดทดลองต่ำลง ทำให้รากของหญ้าแฝกสัมผัสกับน้ำเสียและดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

(2) ปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ปริมาณ TP ในส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.268-1.587 และ 1.213-2.648 mg/g dry wt. ตามลำดับ และปริมาณ TP ในส่วนราก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.503-0.904 และ 0.909-1.259 mg/g dry wt. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณ TP ในส่วนต้นและใบสูงขึ้นเป็น 2.592-3.459 และ 2.671-3.690 mg/g dry wt. ตามลำดับ และปริมาณ TP ในส่วนรากสูงขึ้นเป็น 1.439-3.423 และ 1.642-3.810 mg/g dry wt. ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ อยู่ในช่วง 0.493-1.993 และ1.217-2.422 mg/g dry wt. ตามลำดับ และมีการสะสม TP ในส่วนราก อยู่ในช่วง 0.530-2.164 และ 1.088-2.906 mg/g dry wt. ตามลำดับ (ตารางที่ 4-36)

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TP ในส่วนต้นและใบและส่วนรากของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์พบว่าโดยทั่วไปหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย ในระยะที่ 2 ซึ่งหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ตารางที่ 4-36 ค่าเฉลี่ยปริมาณและการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	กลุ่มพันธุ์	ความเข้มข้นของน้ำเสีย	ต้นและใบ (mg/g dry wt)			ราก (mg/g dry wt)		
			ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	การสะสม	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	การสะสม
7	สงขลา 3	สูง	2.128 ± 0.254^{ก}	*3.058 ± 0.111	0.877 ± 0.111^{bข}	1.259 ± 0.137	3.423 ± 0.874	2.164 ± 0.875
		ต่ำ	2.128 ± 0.254^{ก}	*3.252 ± 0.059	1.070 ± 0.059	1.259 ± 0.137	*2.661 ± 0.033^{ก}	1.403 ± 0.033^{bก}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	1.587 ± 0.104	*3.280 ± 0.215^{กข}	1.693± 0.216^{aกข}	0.904 ± 0.287	*3.810 ± 0.796^{ก}	2.906 ± 0.796
		ต่ำ	1.587 ± 0.104	*2.804 ± 0.287	1.217 ± 0.287	0.904 ± 0.287	*3.132 ± 0.241^{ก}	2.228 ± 0.242^{aก}
5	สงขลา 3	สูง	2.648 ± 0.039^{aก}	3.141 ± 0.476	0.493 ± 0.477^{bข}	1.065 ± 0.007^{a}	*2.394 ± 0.124	1.329 ± 0.124
		ต่ำ	2.648 ± 0.039^{aก}	3.459 ± 0.561	0.812 ± 0.561	1.065 ± 0.007^{a}	*1.808 ± 0.170^{ข}	0.743 ± 0.170^{ข}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	1.268 ± 0.189^{b}	*3.556 ± 0.202^{ก}	2.288 ± 0.202^{aก}	0.530 ± 0.007^{b}	*1.863 ± 0.339^{ข}	1.334 ± 0.339
		ต่ำ	1.268 ± 0.189^{b}	*3.690 ± 0.613	2.422 ± 0.614	0.530 ± 0.007^{b}	*2.108 ± 0.294^{ข}	1.578 ± 0.293^{กข}
3	สงขลา 3	สูง	1.213 ± 0.202^{ข}	*3.206 ± 0.111	1.993 ± 0.111^{aก}	0.909 ± 0.098^{a}	1.725 ± 0.509	0.816 ± 0.509
		ต่ำ	1.213 ± 0.202^{ข}	2.592 ± 0.470	1.379 ± 0.470	0.909 ± 0.098^{a}	*1.439 ± 0.052^{bก}	0.530 ± 0.052^{bข}
	สุราษฎร์ธานี	สูง	1.310 ± 0.091	*2.671 ± 0.150^{ข}	1.361 ± 0.150^{bข}	0.554 ± 0.026^{b}	*1.734 ± 0.313^{ข}	1.181 ± 0.313
		ต่ำ	1.310 ± 0.091	*2.989 ± 0.509	1.679 ± 0.509	0.554 ± 0.026^{b}	*1.642 ± 0.039^{aข}	1.088 ± 0.040^{aข}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 2 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

อักษรไทยมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างระยะเวลากักเก็บ

*มุมบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างก่อนทดลองและหลังการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝก เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน การสะสม TP ในส่วนต้นและใบ มีค่าค่อนข้างผันแปร มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.877-1.693, 0.493-2.422 และ 1.361-1.993 mg/g dry wt. ตามลำดับ ส่วนการสะสม TP ในส่วนรากพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีการสะสม TP สูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.403-2.906, 0.743-1.578 และ 0.530-1.181 mg/g dry wt. ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น อัตราการไหลของน้ำเสียในชุดทดลองต่ำลง ทำให้รากของหญ้าแฝกสัมผัสกับน้ำเสียและดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมได้ดี และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะเวลากักเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นพบว่า การสะสม TP ในส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ไม่แปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ขณะที่การสะสมในส่วนรากแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย การที่แนวโน้มดังกล่าวไม่สอดคล้องกันอาจเป็นผลจากค่า pH ของน้ำ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.09-7.28 ทำให้ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในรูป HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} ซึ่งหญ้าแฝกดูดดึงไปใช้ได้ช้า ทำให้เห็นผลที่ไม่ชัดเจน และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย

4.4.3 สรุปผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของหญ้าแฝก ในระยะที่ 2

โดยสรุปผลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝก ในระยะที่ 2 พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี เจริญเติบโตได้ในน้ำเสียทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น แต่มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 สามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียความเข้มข้นสูงได้ดีกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี (มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงกว่า) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีสามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 (มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่า) โดยกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย และระยะเวลากักเก็บที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมีผลทำให้การเจริญเติบโตด้านการเพิ่มพูนมวลชีวภาพหญ้าแฝกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้มีแนวโน้มว่าการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับความยาวราก ซึ่งการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกขึ้นกับแสง อุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจน ธาตุอาหาร และฮอร์โมน (สมบุญ เตชะ-ภิญญาวัฒน์, 2538 อ้างถึงใน ปิยวรรณ โภชนพันธ์, 2546) สำหรับองค์ประกอบธาตุอาหาในหญ้าแฝกพบว่า ภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีปริมาณธาตุอาหารในส่วนต้นและใบและส่วนรากเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันมีผลทำให้การสะสมธาตุอาหารในหญ้าแฝกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีการสะสมธาตุอาหารในส่วนรากสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ ส่วนการสะสมธาตุอาหารในส่วนต้นและใบมีค่าค่อนข้างผันแปรและมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ส่วนชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นไม่มีผลทำให้การสะสมธาตุอาหารในหญ้าแฝกแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน สรุปได้ดังนี้

5.1.1 ระยะที่ 1 การคัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก

ทำการศึกษาโดยใช้หญ้าแฝก 6 กลุ่มพันธุ์ คือ กำแพงเพชร2 ศรีลังกา สงขลา3 สุราษฎร์ธานี ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์ และใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ จากอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch flow) และเปลี่ยนน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ คัดเลือกกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน 2 กลุ่มพันธุ์ เพื่อใช้ในการทดลองระยะที่ 2 พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองระยะที่ 2 คือ สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี ด้วยเหตุผลดังนี้

1) หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี TP และออร์โธฟอสเฟตสูงเป็น 2 ลำดับแรก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 80.07-81.06, 16.38-16.81 และ 10.39-12.87% ตามลำดับ

2) หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ มีการเจริญเติบโตดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของต้นสูงเป็น 2 ลำดับแรก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86.67-100.00 และ 145.79-180.01% ตามลำดับ

3) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์ มีการสะสม TN และ TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงเป็น 2 ลำดับแรก โดยการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.168-4.900 และ 5.115-13.543 mg/g dry wt. ตามลำดับ และการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.498-2.783 และ 1.129-3.266 mg/g dry wt. ตามลำดับ

5.1.2 ระยะที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี ซึ่งคัดเลือกจากการทดลองระยะที่ 1 โดยใช้น้ำเสีย 2 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำเสียความเข้มข้นสูงเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการดักด้วยตะแกรงหยาบ และน้ำเสียความเข้มข้นต่ำเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วยบ่อกรองไร้อากาศ โดยใช้การปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (continuous flow) ใช้ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยแต่ละระยะเวลากักเก็บ ทดลองนาน 8 สัปดาห์ รวมระยะเวลาทั้งหมด 24 สัปดาห์ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) คุณภาพน้ำ

1.1) ชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย TP และออร์โธฟอสเฟต (แต่ไม่สามารถบำบัดไนเตรทได้) โดยสามารถบำบัดบีโอดีและทีเคเอ็นให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 และ 35 mg/l ตามลำดับ (กฎกระทรวง ฉบับที่ 51 พ.ศ. 2541 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

1.2) ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี 48.39-91.46% ทีเคเอ็น 9.97-62.48% แอมโมเนีย11.60-58.62% TP 6.30-35.87% และออร์โธฟอสเฟต 7.40-23.46% ซึ่งความผันแปรของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแต่ละพารามิเตอร์เป็นผลจากความแตกต่างของระยะเวลากักเก็บและระดับความเข้มข้นของน้ำเสียซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ยกเว้นแอมโมเนีย)

1.3) ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและธาตุอาหารสูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 นอกจากนี้พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วันมีค่าที่ไม่ชัดเจนเท่า อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกทุกระยะเวลากักเก็บมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่า การใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสียเป็นปัจจัยสำคัญในการบำบัดธาตุอาหาร โดยเฉพาะการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

(2) การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

2.1) หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในน้ำเสียความเข้มข้นสูง (ซึ่งมีค่าบีโอดีประมาณ 90-95 mg/l ทีเคเอ็น 41-53 mg/l และ TP 5.9-6.7 mg/l) และน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ซึ่งมีค่าบีโอดีประมาณ 44-59 mg/l ทีเคเอ็น 35-42 mg/l และ TP 5.0-5.5 mg/l) โดยมีการเจริญเติบโตทางด้านการแตกกอใหม่ การแตกรากใหม่ และความสูง โดยหญ้าแฝกทั้ง 2 กลุ่มพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบและส่วนราก อยู่ในช่วง 33.53-231.79 และ 37.23-123.78% ตามลำดับ

2.2) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในน้ำเสียความเข้มข้นสูงหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบสูงกว่า แต่ในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่า

2.3) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนราก โดยหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 ที่ปลูก

ในน้ำเสียความเข้มข้นสูง มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ;และส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ขณะที่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่าที่ปลูกในน้ำเสียความเข้มข้นสูง ชี้ให้เห็นว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 เจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

2.4) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน หญ้าแฝกมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ

(3) ปริมาณธาตุอาหารในหญ้าแฝก

3.1) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 และสุราษฎร์ธานี มีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนราก อยู่ในช่วง 1.785-8.400 และ 2.240-10.045 mg/g dry wt. ตามลำดับ และมีการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากอยู่ในช่วง 0.493-2.422 และ 0.530-2.906 mg/g dry wt. ตามลำดับ

3.2) การสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีการสะสม TP ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3 ส่วนการสะสม TN มีค่าผันแปรขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยในน้ำเสียความเข้มข้นสูง หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี ขณะที่ในน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีการสะสม TN ในส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่ากลุ่มพันธุ์สงขลา3

3.3) การสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นโดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการสะสมธาตุอาหารในส่วนต้นและใบ; และส่วนรากของหญ้าแฝกทั้งสองกลุ่มพันธุ์มีค่าผันแปรตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

3.4) การสะสมธาตุอาหารของหญ้าแฝกเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกันพบว่า การสะสม TP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างของการสะสม TN โดยมีแนวโน้มว่าการสะสมธาตุอาหารในส่วนรากของหญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 และ 3 วัน ตามลำดับ ส่วนการสะสมธาตุอาหารในส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกทุกกลุ่มพันธุ์มีค่าค่อนข้างผันแปรและมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก และองค์ประกอบธาตุอาหารในหญ้าแฝกจะเห็นความสัมพันธ์ว่า ชุดทดลองที่หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตดี (มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูง) จะมีการสะสมธาตุอาหารสูง นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมธาตุอาหารในหญ้าแฝกกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยจะเห็นว่า หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ปลูกในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น มีการสะสม TP ส่วนต้นและใบ และส่วนรากสูงกว่าหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP และออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้ จะเห็นว่า การปลูกหญ้าแฝกด้วยเทคนิคแท่นลอยน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ทั้งนี้เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูง ควรใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน และปลูกหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี แต่หากน้ำเสียมีปริมาณบีโอดีและธาตุอาหารไม่สูงนักอาจใช้ระยะเวลากักเก็บที่สั้นลงได้ นอกจากนี้อาจเลือกใช้หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 มีแนวโน้มของการดูดดึงธาตุอาหารในน้ำเสียความเข้มข้นสูงไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ดี

การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้จริง สามารถปลูกหญ้าแฝกในลักษณะของแพลอยน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ซึ่งจะสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระยะเวลากักเก็บและระดับความลึกของน้ำเสียได้ นอกจากนี้ อาจนำแพหญ้าแฝกไปปลูกในแหล่งน้ำที่เกิดปัญหาการปนเปื้อนน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้ แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงความหนาแน่นของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับขนาดของแหล่งน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยหญ้าแฝกเป็นระยะเวลานาน ควรต้องมีการดูแลโดยการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น การตัดใบ เพื่อให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตแตกกอขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาต่อยอดถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ควรมีการศึกษาต่อเนื่องในระยะยาวเพื่อให้หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เพื่อจะได้เห็นแนวโน้มว่าอายุของหญ้าแฝกในช่วงใดที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด

2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงระดับความเข้มข้นของน้ำเสียสูงสุดที่หญ้าแฝกสามารถมีชีวิตอยู่รอดและมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด

3) ควรมีการศึกษาผลของระดับความลึกของน้ำต่อประสิทธิภาพการบำบัดของหญ้าแฝก เพื่อหาระดับความลึกของน้ำเสียที่เหมาะสมซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงสุด

4) ควรมีการศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมที่หญ้าแฝกจะสามารถเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีและธาตุอาหารได้สูงสุด

5) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย เช่น ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์และสาหร่ายในน้ำ

6) ควรมีการศึกษาในแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ กระแสน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

กฎกระทรวง ฉบับที่ 51. ออกตามความในพระราชบัญญัติอาคาร พ.ศ. 2522, 2541. ข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดอาคารและค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 115 ตอนที่ 48 ก วันที่ 17 สิงหาคม 2541.

กมลพรรณ นามวงศ์พรหม. 2545. หญ้าแฝกหอม. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.ku.ac.th/emagazine/november45/agri/plant.html [22 ธันวาคม 2548]

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. รายงานคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาปี 2537-2542. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2546. เกณฑ์แนะนำการออกแบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2548. คู่มือการจัดการน้ำเสียชุมชน. สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

กรุงเทพมหานคร: กองควบคุมและจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2546. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร: กองควบคุมและจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้ม สำนักปลัดกรุงเทพมหานคร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: สยามสเตชั่นเนอรีซัพพลายส์.

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

จิตติมา เชื้อกูล. 2545. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

จิตติมา วสุสิน. 2539. การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย กรณีศึกษา: น้ำเสียจากศูนย์ศาลายา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

จินต์ อโนทัย. 2531. คุณภาพของน้ำทิ้งจากถังเกรอะและถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูป ชนิดประกอบในที่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จันทวรรณ วรรธนะพงษ์. 2539. การบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยพร ภู่ประเสริฐ. 2538. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ดุษลักษณ์ ฐิติวร. 2543. ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash และหญ้าแฝกดอน *Vetiveria nemoralis* (Balansa) A. Camus ในการกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ *Potamogeton malaianus* และสาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla verticillata* ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

นิธิวัฒ จำรูญรัตน์. 2531. การกำจัดแอมโมเนีย และฟอสเฟตพร้อมกันโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญฤทธิ์ สินค้างาม. 2542. บทบาทของเชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อหญ้าแฝก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ประวรดา โภชนจันทร์, 2543. การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในดินจากการบำบัดน้ำเสียในระบบกรองน้ำเสียด้วยหญ้า ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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

ปิยวรรณ โภชนพันธ์. 2546. ประสิทธิภาพการใช้หญ้าแฝกบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

พีระพัฒน์ ชูกำเนิด. 2544. การศึกษาความสามารถของหญ้าแฝก 5 จีโนไทป์ ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2541. ความรู้เรื่องหญ้าแฝก. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เพชร พลอยเจริญ. 2544. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำวัง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย. วารสารวิชาการป่าไม้ 4(1): 12-20.

มงคล ตั๊ะอุ่น พัชรี ธีรจินดาขจร และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า. 2545. การวิจัยศักยภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม. รายงานการวิจัย ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มนพ รุ่งสุข. 2538. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ที่รดด้วยน้ำทิ้งจากชุมชนจังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2538. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย. เอกสารประกอบการอบรมการจัดโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย วันที่ 15-25 สิงหาคม 2538. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่องจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2541. คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชน. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: แซน.อี 68 แลบ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุพดี เผ่าพันธ์. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุจิรัชต์ มันตาพันธ์. 2537. ประสิทธิภาพของที่ลุ่มน้ำขังที่ปลูกกกจันทบูรณ์ *(Cyperus corymbosus* Rootb.) ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 จากหอพักนักศึกษา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

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

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

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

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

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

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

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

Arias, C. A., Bubba, M. D. and Brix, H. 2001. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. Water Resource. 35 (5): 1159-1168.

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

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

Bowes, G. 1987. Physiological plant processes: photosynthesis. In: Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.) Aquatic plant for water treatment and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Boyden B. H. and Rababah, A. A. 1996. Recyling nutrients from municipal wastewater. Desalination. 106 (1-3): 241-246.

Brix, H. 1994. Constructed wetlands for municipal wastewater treatment in Europe. In: Mitsch, M. J. (ed.) Globla wetland: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

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.

Chen. T. Y., Kao, C. M. Yeh, T. Y., Chien, H. Y. and Chao, A. C. 2006. Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study.
Available from: http://www.sciencedirect.com. [2006, Feburary 16]

Chomchalow, N. 2003. The role of vetiver in controlling water quantity and treating water quality: an overview with special reference to Thailand. AU Journal of Technology. 6 (3): 145-161.

Cooper, P. F. and Boon, A. G. 1987. The use of phragmies for wastewater treatment by root zone method: the UK approach. In: Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.) Aquatic plant for water treatment and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Cronk, J. K. and Fennessy, M. S. 2001. Wetland plant: biology and ecology. Imprint Boca Raton, Fla: Lewis publishers.

Dierberg, F. E., Debusk, T. A., Jackson, S. D., Chimney, M. J. and Pietro, K. 2002. Submerged aquatic vegetation-based treatment wetlands for removing phosphorus from agricultural runoff: response to hydraulic and nutrient loading. Water Research. 36 (6): 1409-1422.

Dunne E. J., Culleton, N., O'Donovan, G., Harrington, R. and Daly, K. 2005. Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soil in Southeast Ireland. Water Research. 39 (18): 4355-4362.

Epstein, E. and Bloom, A. J. 2005. Mineral nutrition of plants: principle and perspective. Sunderland, Mass: Sinaver associates, Inc.

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

Gumbricht, T. 1993. Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophyte system. Ecological Engineering. 2 (1): 1-30.

Hanping, X., Shizhong, L. and Huixiu, A. 1997. Study on purification and uptake of vetiver grass to garbage leachate [online]. Available from: http://www.vetiver.com/PRVN_IVC2_23.PDF. [2003, June 16]

Hauser, B. A. 1996. Practical manual of wastewater chemistry. Chelsea, Mich: Ann arbor press.

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

Institute of Soil Science, Nanjing, China. 1997. Water eutrophication control in Taihu lake with vetiver [online]. Available from: http://prvn.rdpb.go.th/data/n4.htm. [2003, July 15]

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. 1994. Wetlands for water polishing: free water surface wetlands. In: Mitsch, W. J. (ed.) Globla wetlands: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

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.

Kong, X., Lin, W., Wang, B. and Luo, F. 2003. Study on vetiver's purification for wastewater from pig farm. Proceedings of the Third International Conference on Vetiver and Exhibition, pp. 181-185. Guangzhou, P.R. China.

Kongphorod, L. 2002. Investigations of constructed wetlands planted with groden torch (*Heliconia psitacorum*) for tertiary treatment of swine wastewater. Master's Thesis. Department of environmental sanitation, Graduate school, Mahidol university.

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. Proceedings of the Third International Conference on Vetiver and Exhibition, pp. 186-193. Guangzhou, P.R. China.

Lakshman, G. 1994. Design and operational limitations of engineered wetlands in cold climates-Canadian experience. In: Mitsch, W. J. (ed.) Globla wetlands: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

Masbough, A., Frankowski, K., Hall J. K. and Duff J. B. S. 2005. The effectiveness of constructed wetland for treatment of woodwaste leachate. Ecological Engineering. 25(1): 552-566.

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. 1994. The nonpoint source pollution control function of natural and constructed riparian wetlands. In: Mitsch, W. J. (ed.) Globla wetlands: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

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

Nakamura, K., Chiba, T., Sato, K. Morita, Y., Hosomi, M. and Tanaka, S. 2002. A survey of constructed wetlands in Japan. [online]. Available from: http://www.pwri.go.jp/eng/kokusai/conference/nakamurakeigo13.pdf. [2006, Feburary 10]

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.

Pang, J., Chan, G. S. Y., Zang, J., Liang, J. and Wong, M. H. 2003. Physiological aspects of vetiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine waste. Chemosphere. 52 (9): 1559-1570.

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

Picard, C. R., Fraser, L. H. and Steer, D. 2005. The interacting effects of temperature and plant community type on nutrient removal in wetland microcosms. Bioresource Technology. 96 (9): 1039-1047.

Reddy K. R. and D'Angelo, E. M. 1994. Soil processes regulation water quality in wetlands. In: Mitsch, W. J. (ed.) Globla wetlands: old world and new. Amsterdam. Elsevier science B. V.

Roongtanakiat, N. and Chairoj, P. 2001. Uptake potential of some heavy metals by vetiver grass. Kasetsart Journal. 35 (1): 46-50.

Sawyer, C. N., Mccarty, P. L. and Parkin, G. F. 2003. Chemistry for environmental engineering and science. 5th edition. Boston: McGraw-Hill.

Schulz, C., Gelbrecht, J. and Rennert, B. 2003. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. Aquaculture. 217(1): 207-221.

Stottmeister, U., Wiener, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R. A. and Moormann, H. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances. 22 (1-2): 93-117.

Summerfelt, S. T., Adler, P. R., Glenn, D. M. and Kretschmann, R. N. 1999. Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. Aquacultural Engineering. 19 (2): 81-92.

Tanner, C. C., Kadlec, R. H., Gibbs, M. M., Sukias, J. P. S. and Nguyen, M. L. 2002. Nitrogen processing gradients in subsurface-flow treatment wetland-influence of wastewater characteristics. Ecological Engineering. 18 (4): 499-520.

Tchobanoglous, G. 1987. Aquatic plant systems for wastewater treatment: engineering considerations. In: Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.) Aquatic plant for water treatment and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Truong, 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. Northen California.

Truong, P and Hart. B. 2001. Vetiver system for wastewater treatment [online]. Available from: http://www.vetiver.com/PRVN_wastewater_bul.pdf. [2003, June 10]

Vieritz, A., Truong, P., Gardner, T. and Smeal, C. 2003. Modelling Monto vetiver growth and nutrient uptake for effluent irrigation schemes. Proceedings of the Third International Conference on Vetiver and Exhibition, pp. 91-103. Guangzhou, P.R. China.

Welch, E. B. 1992. Ecological effects of wastewater. 2nd ed. London. Chapman & Hall.

Werker, A. G., Dougherty, J. M., McHenry, J. L. and Van Loon, W. A. 2002. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates. Ecological Engineering. 19 (1): 1-11.

Wolverton, B. C. 1987. Aquatic plants for wastewater treatment: an overview. In: Reddy, K. R. and Smith, W. H. (ed.) Aquatic plant for water treatment and resource recovery. Orlando, Fla: Magnolia.

Yang, B., Shu, W. S., Ye, Z. H., Lan, C. Y. and Wong, M. H. 2003. Growth and metal accumulation in vetiver and two *Sesbania* species on lead/Zinc mine tailing. Chemosphere. 52 (9): 1593-1600.

Zheng, C., Tu, C. and Chen, H. 1997. Preliminary study on purification of eutrophic water with vetiver [online]. Available from: http://www.vetiver.com/CHN_Water%20purification.htm. [2003, June 16]

ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

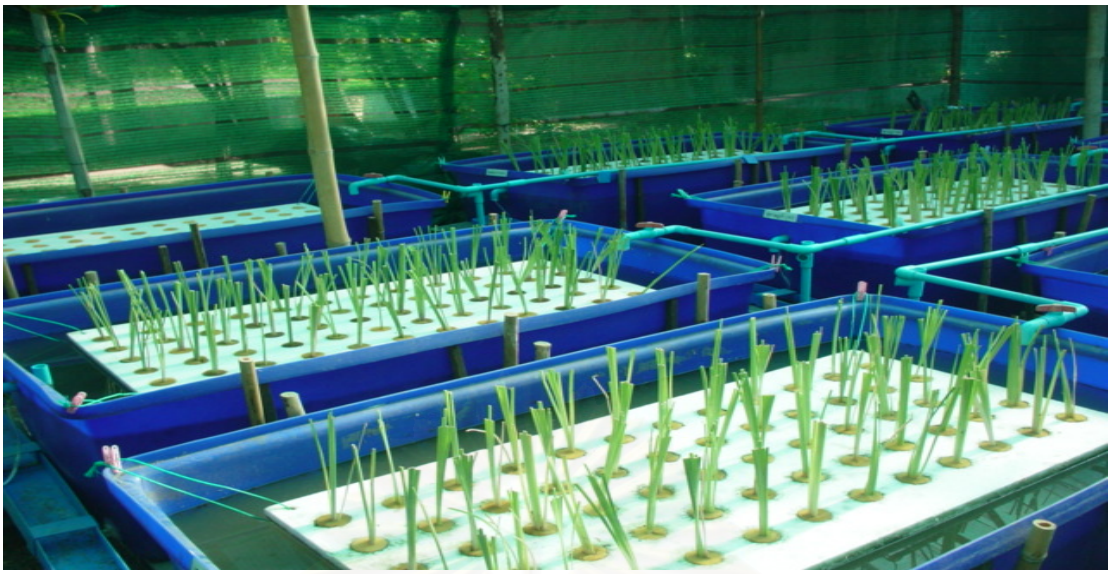
รูปที่ ก 1 ชุดทดลองในการทดลองระยะที่ 1

(ก) สภาพการจัดวางชุดทดลองและเรือนทดลอง ในระยะที่ 1

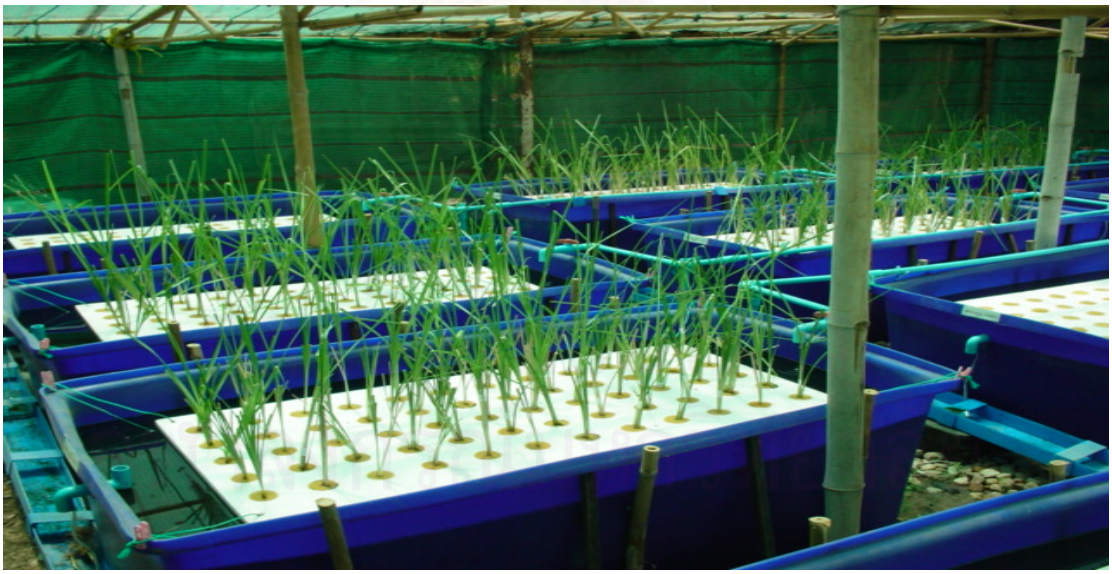
(ข) ต้นและใบของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

(ค) รากของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

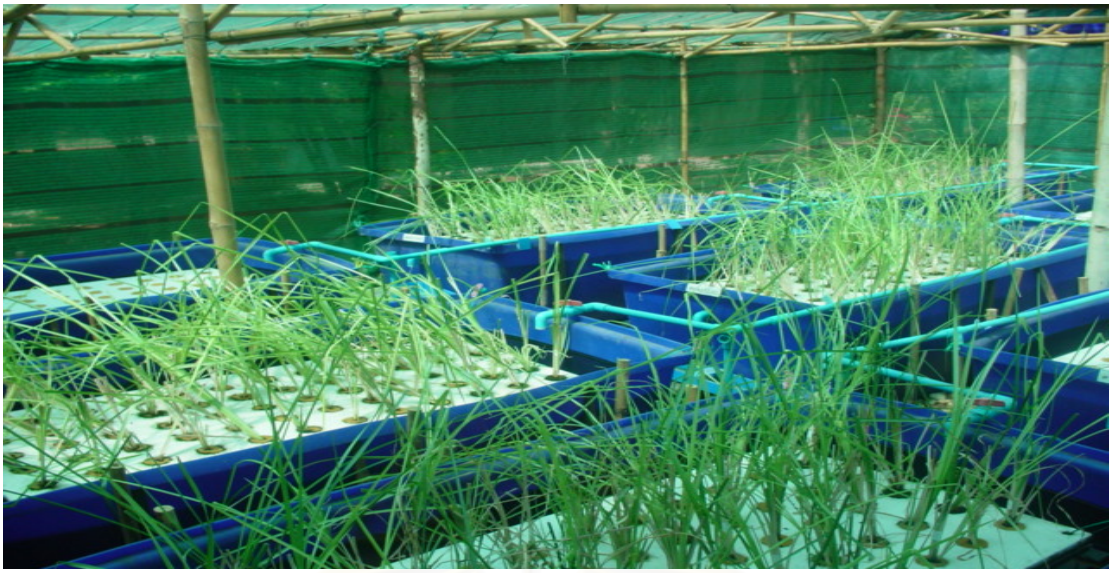
(ง) ลักษณะการแตกกอใหม่ของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3



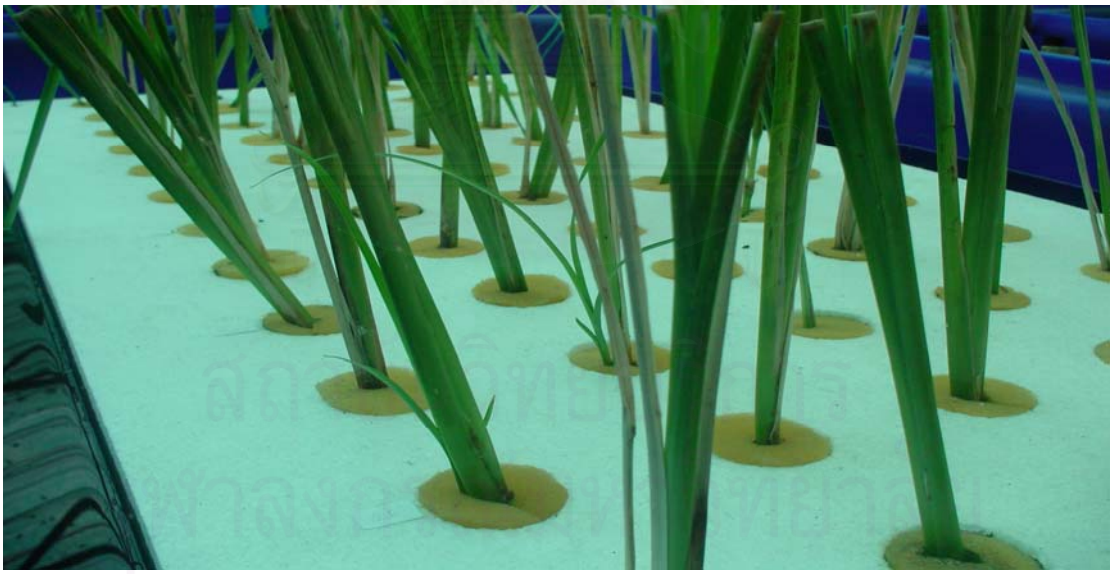
รูปที่ ก 2 สภาพชุดทดลองเมื่อเริ่มการทดลอง เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน ในระยะที่ 2



รูปที่ ก 3 สภาพชุดทดลองในสัปดาห์ที่ 2 เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน ในระยะที่ 2



รูปที่ ก 4 สภาพชุดทดลองในสัปดาห์ที่ 8 เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน ในระยะที่ 2



รูปที่ ก 5 ลักษณะการแตกกอใหม่ในสัปดาห์ที่ 2 ของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ในระยะที่ 2

รูปที่ ก 6 รากของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ในระยะที่ 2

รูปที่ ก 7 การแตกรากใหม่ของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน ในระยะที่ 2

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 1 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ในระยะที่ 2

Dependent Variable: BOD

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	36049.62485	2120.56617	15.34	0.0001
Error	270	37322.53813	138.23162		
Corrected Total	287	73372.16299			

R-Square	C.V.	Root MSE	BOD Mean
0.491326	15.45965	11.75719	76.05086

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	20292.31045	10146.15522	73.40	0.0001
CONC	1	10189.50691	10189.50691	73.71	0.0001
HRT*CONC	2	1714.27747	857.13874	6.20	0.0023
PLANTS	2	1590.19358	795.09679	5.75	0.0036
HRT*PLANTS	4	1314.84298	328.71075	2.38	0.0522
CONC*PLANTS	2	665.64507	332.82253	2.41	0.0920
HRT*CONC*PLANTS	4	282.84839	70.71210	0.51	0.7273

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	20292.31045	10146.15522	73.40	0.0001
CONC	1	10189.50691	10189.50691	73.71	0.0001
HRT*CONC	2	1714.27747	857.13874	6.20	0.0023
PLANTS	2	1590.19358	795.09679	5.75	0.0036
HRT*PLANTS	4	1314.84298	328.71075	2.38	0.0522
CONC*PLANTS	2	665.64507	332.82253	2.41	0.0920
HRT*CONC*PLANTS	4	282.84839	70.71210	0.51	0.7273

หมายเหตุ เมื่อ HRT = ระยะเวลากักเก็บ (7, 5 และ 3 วัน)

CONC = ความเข้มข้นของน้ำเสีย (น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ)

PLANTS = กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ระหว่างระยะเวลากักเก็บและระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ในระยะที่ 2

Duncan's Multiple Range Test for variable: BOD

Alpha= 0.05 df= 282 MSE= 146.0144

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Treatment
A	91.125	48	7*H
B	81.642	48	7*L
B C	79.698	48	5*H
C D	75.174	48	3*H
D	72.194	48	5*L
E	56.472	48	3*L

หมายเหตุ เมื่อ 7, 5 และ 3 = ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ

H = น้ำเสียความเข้มข้นสูง

L = น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 3 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น ในระยะที่ 2

Dependent Variable: TKN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	77145.30874	4537.95934	21.34	0.0001
Error	270	57424.06129	212.68171		
Corrected Total	287	134569.37003			

R-Square	C.V.	Root MSE	TKN Mean
0.573275	37.00690	14.58361	39.40782

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	62365.03002	31182.51501	146.62	0.0001
CONC	1	11895.79857	11895.79857	55.93	0.0001
HRT*CONC	2	1178.77171	589.38586	2.77	0.0644
PLANTS	2	858.42868	429.21434	2.02	0.1349
HRT*PLANTS	4	744.67516	186.16879	0.88	0.4791
CONC*PLANTS	2	27.85200	13.92600	0.07	0.9366
HRT*CONC*PLANTS	4	74.75259	18.68815	0.09	0.9862

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	62365.03002	31182.51501	146.62	0.0001
CONC	1	11895.79857	11895.79857	55.93	0.0001
HRT*CONC	2	1178.77171	589.38586	2.77	0.0644
PLANTS	2	858.42868	429.21434	2.02	0.1349
HRT*PLANTS	4	744.67516	186.16879	0.88	0.4791
CONC*PLANTS	2	27.85200	13.92600	0.07	0.9366
HRT*CONC*PLANTS	4	74.75259	18.68815	0.09	0.9862

หมายเหตุ เมื่อ HRT = ระยะเวลากักเก็บ (7, 5 และ 3 วัน)

CONC = ความเข้มข้นของน้ำเสีย (น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ)

PLANTS = กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 4 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในระยะที่ 2

Dependent Variable: NH_3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	82218.14750	4836.36162	12.80	0.0001
Error	270	102023.59083	377.86515		
Corrected Total	287	184241.73833			

R-Square	C.V.	Root MSE	NH3 Mean
0.446251	57.09073	19.43875	34.04888

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	78979.92925	39489.96463	104.51	0.0001
CONC	1	439.41301	439.41301	1.16	0.2818
HRT*LEVEL	2	203.03674	101.51837	0.27	0.7646
PLANTS	2	1086.62863	543.31431	1.44	0.2392
HRT*PLANTS	4	1058.52007	264.63002	0.70	0.5923
CONC*PLANTS	2	28.54994	14.27497	0.04	0.9629
HRT*CONC*PLANTS	4	422.06985	105.51746	0.28	0.8913

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	78979.92925	39489.96463	104.51	0.0001
LEVEL	1	439.41301	439.41301	1.16	0.2818
HRT*CONC	2	203.03674	101.51837	0.27	0.7646
PLANTS	2	1086.62863	543.31431	1.44	0.2392
HRT*PLANTS	4	1058.52007	264.63002	0.70	0.5923
CONC*PLANTS	2	28.54994	14.27497	0.04	0.9629
HRT*CONC*PLANTS	4	422.06985	105.51746	0.28	0.8913

หมายเหตุ เมื่อ HRT = ระยะเวลากักเก็บ (7, 5 และ 3 วัน)

CONC = ความเข้มข้นของน้ำเสีย (น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ)

PLANTS = กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 5 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระยะที่ 2

Dependent Variable: TP

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	18652.79013	1097.22295	33.75	0.0001
Error	270	8778.91703	32.51451		
Corrected Total	287	27431.70716			

R-Square	C.V.	Root MSE	TP Mean
0.679972	34.27853	5.702149	16.63475

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	3754.787271	1877.393635	57.74	0.0001
CONC	1	5013.317189	5013.317189	154.19	0.0001
HRT*CONC	2	2277.287528	1138.643764	35.02	0.0001
PLANTS	2	6605.621807	3302.810903	101.58	0.0001
HRT*PLANTS	4	363.526910	90.881727	2.80	0.0266
CONC*PLANTS	2	345.804099	172.902049	5.32	0.0054
HRT*CONC*PLANTS	4	292.445323	73.111331	2.25	0.0642

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	3754.787271	1877.393635	57.74	0.0001
CONC	1	5013.317189	5013.317189	154.19	0.0001
HRT*CONC	2	2277.287528	1138.643764	35.02	0.0001
PLANTS	2	6605.621807	3302.810903	101.58	0.0001
HRT*PLANTS	4	363.526910	90.881727	2.80	0.0266
CONC*PLANTS	2	345.804099	172.902049	5.32	0.0054
HRT*CONC*PLANTS	4	292.445323	73.111331	2.25	0.0642

หมายเหตุ เมื่อ HRT = ระยะเวลากักเก็บ (7, 5 และ 3 วัน)

CONC = ความเข้มข้นของน้ำเสีย (น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ)

PLANTS = กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 6 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดระหว่างระยะเวลากักเก็บ ความเข้มข้นของน้ำเสีย และกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก ในระยะที่ 2

Duncan's Multiple Range Test for variable: TP

Alpha= 0.05 df= 270 MSE= 32.51451

General Linear Models Procedure

Duncan Grouping	Mean	N	Treatment
A	35.872	16	7*H*Su
A			
A	35.324	16	7*H*S
B	21.179	16	5*H*Su
B			
C B	20.285	16	3*H*Su
C B			
C B D	18.838	16	5*H*S
C B D			
C E B D	18.246	16	5*L*Su
C E B D			
C E B D	18.005	16	3*H*S
C E B D			
C E B D	17.776	16	7*H*Cont.
C E D			
C E D	16.126	16	7*L*s
C E D			
C E D	16.006	16	7*L*Su
E D			
E D	15.608	16	5*L*S
E			
E F	14.152	16	3*L*Su
F			
G F	10.139	16	5*H*Cont.
G F			
G F	10.039	16	3*L*s
G F			
G F	9.844	16	3*H*Cont.
G			
G	8.465	16	7*L*Cont.
G			
G	7.225	16	5*L*Cont.
G			
G	6.296	16	3*L*Cont.

หมายเหตุ เมื่อ 7, 5 และ 3 = ระยะเวลากักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ

H = น้ำเสียความเข้มข้นสูง

L = น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

S = หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สงขลา3

Su = หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี

Cont. = ชุดควบคุมไม่ปลูกพืช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข 7 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต ในระยะที่ 2

Dependent Variable: ortho-PO_4

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	5349.120437	314.654143	9.60	0.0001
Error	270	8850.924305	32.781201		
Corrected Total	287	14200.044742			

R-Square	C.V.	Root MSE	PO4 Mean
0.376697	39.01318	5.725487	14.67578

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	575.753211	287.876605	8.78	0.0002
CONC	1	1887.303682	1887.303682	57.57	0.0001
HRT*CONC	2	109.402113	54.701057	1.67	0.1904
PLANTS	2	2537.771685	1268.885842	38.71	0.0001
HRT*PLANTS	4	57.910211	14.477553	0.44	0.7785
CONC*PLANTS	2	84.634065	42.317032	1.29	0.2767
HRT*CONC*PLANTS	4	96.345470	24.086367	0.73	0.5689

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HRT	2	575.753211	287.876605	8.78	0.0002
CONC	1	1887.303682	1887.303682	57.57	0.0001
HRT*CONC	2	109.402113	54.701057	1.67	0.1904
PLANTS	2	2537.771685	1268.885842	38.71	0.0001
HRT*PLANTS	4	57.910211	14.477553	0.44	0.7785
CONC*PLANTS	2	84.634065	42.317032	1.29	0.2767
HRT*CONC*PLANTS	4	96.345470	24.086367	0.73	0.5689

หมายเหตุ เมื่อ HRT = ระยะเวลากักเก็บ (7, 5 และ 3 วัน)

CONC = ความเข้มข้นของน้ำเสีย (น้ำเสียความเข้มข้นสูงและน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ)

PLANTS = กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝก (สงขลา3 สุราษฎร์ธานี และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalinet
3 0021 00266718 6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย