



วิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์
เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับธูปฤาษี

**Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Suphanburi Municipal
Slaughterhouse Wastewater by Alternated Flooding and Drying
of Soil and *Typha angustifolia***

นางสาววลัยนุช พรรณสังข์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหานักคิด (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....

สาขา

.....วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม.....

ภาควิชา

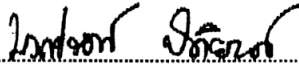
เรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาล
เมืองสุพรรณบุรีในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับชูปลาญี

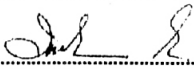
Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Suphanburi Municipal Slaughterhouse

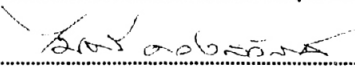
Wastewater by Alternated Flooding and Drying of Soil and *Typha angustifolia*

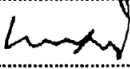
นามผู้วิจัย นางสาวลัญจพร พรรณสังข์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

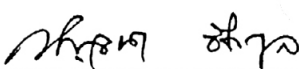
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 
(..... รองศาสตราจารย์บังกชรัตน์ ปิติกยนต์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 
(..... ศาสตราจารย์วิทย์ ธารชลาณกิจ, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 
(..... อาจารย์ไมตรี ควงสวัสดิ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา 
(..... ศาสตราจารย์เกษม จันทน์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

..... 
(..... รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๑ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี
ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับธูปฤาษี

Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Suphanburi Municipal Slaughterhouse
Wastewater by Alternated Flooding and Drying of Soil and *Typha angustifolia*

โดย

นางสาววลัยนุช พรรณสังข์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร'สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

วลัยนุช พรรณสังข์ 2551: ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย
โรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีในสภาพคินน้ำขังสลับบ้างร่วมกับรูปถ่าย ปริมาณ
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิต) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัย
สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์บังกชรัตน์ ปิทยานต์,
Ph.D. 119 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์
เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีในสภาพคินน้ำขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ในแปลงทดลอง ร่วมกับ
รูปถ่าย ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย
ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต ในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ของโรง
ฆ่าสัตว์หลังการบำบัดมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนีย
ไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 หลังการบำบัดยังคงสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ
ยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ
หลังการบำบัด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพ
การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 สูงกว่าน้ำเสียจาก
บ่อฝั่งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด และ
ออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) การตรวจสอบ
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 พบว่าสูงกว่าปริมาณไนโตรเจน
ทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนฟอสฟอรัส
ในดินหลังการบำบัดน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ความสูงของรูปถ่าย
ในแปลงทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามมวลชีวภาพ
ของรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 สูงกว่ารูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ
พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการศึกษารูปได้ว่าในสภาพคินน้ำขังสลับบ้าง
ร่วมกับรูปถ่ายสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงได้

วลัยนุช พรรณสังข์

ลายมือชื่อนิติ

บังกชรัตน์ ปิทยานต์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

๑๙ / ๗.๓. / ๒๕๕๑

Walainut Pansung 2008: Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Suphanburi Municipal Slaughterhouse Wastewater by Alternated Flooding and Drying of Soil and *Typha angustifolia*. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Collage of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Bongotrat Pitiyont, Ph.D. 119 pages.

This study examined the removal efficiency of nitrogen and phosphorus from wastewater at the Suphanburi municipal slaughterhouse by treating with alternate flooding and drying of soil containing the cattail (*Typha angustifolia*) in a CRD experimental design. The result indicated that most TKN, NH₃-N, Total P and orthophosphate from the 1st and 2nd oxidation ponds were decreased after treatments. However TKN and NH₃-N of 1st oxidation pond wastewater after treatment were statistically higher than 2nd oxidation pond wastewater ($p < 0.01$) but total P and orthophosphate were not significantly different ($p < 0.05$). Removal efficiency of TKN and NH₃-N from the 2nd oxidation pond wastewater were statistically higher than from the 1st oxidation pond ($p < 0.01$) but total P and orthophosphate treatment efficiencies were not significantly different ($p < 0.05$). TKN in soil after 1st oxidation pond wastewater treatment was statistically higher than 2nd oxidation pond wastewater treatment ($p < 0.05$) however total P in soil after wastewater treatment from 2nd oxidation pond was not statistically different ($p < 0.05$). Observed of cattail height in treatment systems receiving 1st and 2nd oxidation ponds wastewater were not statistically different ($p < 0.05$). However cattail biomass receiving 1st oxidation pond wastewater was statistically higher than cattail biomass receiving 2nd oxidation pond wastewater ($p < 0.05$). N and P in cattails after wastewater treatment were not statistically different ($p < 0.05$). From these results we conclude that the alternate flooding and drying of soil and *Typha angustifolia* treatment can be used to remove high concentration of nitrogen in slaughterhouse wastewater.

Walainut Pansung
Student's signature

Bongotrat Pitiyont
Thesis Advisor's signature

29 / May / 2008

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.บงกชรัตน์ ปิติยนต์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ศ.วิทย์ ธารชลาณกิจ และ ดร.ไมตรี ดวงสวัสดิ์ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาใช้เวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และแนะนำช่วยเหลือตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณมูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ และศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทรแก้ว ในนามประธานโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคลุ่มแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ได้ช่วยเหลือและให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์พงศ์เชษฐ พิษิตกุล อาจารย์ผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และขอขอบคุณ คุณสุรพล เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ขอขอบคุณ คุณอรทัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ขอบคุณคุณธนาภรณ์ ที่สละเวลามาช่วยอ่านตรวจทาน และทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จลุล่วงขอขอบคุณ พี่เพ็ญแขที่ได้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ขอขอบคุณ คุณปวีณา คุณจานนท์ และเพื่อนๆ เพื่อนนิสิตปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมรุ่น 29 และพี่น้องชาวสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจในการเก็บข้อมูลภาคสนามและการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการทำเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ มอบความดี และคุณประโยชน์ทั้งหลายที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ได้เลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้า ทั้งยังเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งให้ข้าพเจ้าจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

วลัยนุช พรรณสังข์

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
ผลแลวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	94
สรุป	94
ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	98
ภาคผนวก	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะน้ำเสียรวมจากกระบวนการฆ่าสุกรในโรงฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก	7
2	ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ตามลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน	16
3	ดัชนีคุณภาพน้ำ การเก็บรักษาตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	38
4	ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการฆ่าสุกรของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี	41
5	คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีก่อนเข้าแปลงบำบัดน้ำเสียใน 12 รอบการทดลองตั้งแต่เดือน เมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2550	45
6	คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีก่อนเข้าแปลงบำบัดน้ำเสีย ใน 12 รอบการทดลอง ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2550	46
7	คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึง เดือนกรกฎาคม 2550	48
8	คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึง เดือนกรกฎาคม 2550	49
9	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	50
10	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่มีมิพีซ ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	53
12	ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อน และหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายิ ใน 12 รอบการทดลองระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	54
13	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสีย ก่อน และหลังบำบัดตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	55
14	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	56
15	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อน และหลังการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายิ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	58
16	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัด ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	59
17	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ค่า t-test แสดงความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	61
19	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนและหลังบำบัดในสภาพคินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	63
20	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัด ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	64
21	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	65
22	ค่า t-test แสดงความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	66
23	ประสิทธิภาพการบำบัดในโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ในสภาพคินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	68
24	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดในโตรเจนทั้งหมด (%) ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	69
25	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดในโตรเจนทั้งหมดจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ในสภาพคินน้ำขังสลั้บแห่งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	71
27	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจน (%) ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	72
28	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจน จากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	73
29	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ในสภาพคินน้ำขังสลั้บแห่งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	74
30	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (%) ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	75
31	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	76
32	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ในสภาพคินน้ำขังสลั้บแห่งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
33	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต (%) ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	79
34	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตจากบ่อฝั้งที่ 1 และบ่อฝั้งที่ 2 หลังบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	79
35	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินทั้งหมดก่อนการบำบัดน้ำเสียตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	81
36	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับจุลินทรีย์ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	82
37	อิทธิพลของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	83
38	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝั้งที่ 1 และบ่อฝั้งที่ 2 หลังบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	84
39	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสีย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
40	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในสภาพดินน้ำขังสลับ แห้งร่วมกับรูปธาตุใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	86
41	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบำบัดน้ำ เสีย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	87
42	อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบำบัดน้ำ เสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	87
43	ความสูงของรูปธาตุที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่า สัตว์ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	89
44	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปร และ t-test ของความสูงรูปธาตุ ตลอดระยะเวลา 12 รอบการ ทดลอง	90
45	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปร และ t-test ของมวลชีวภาพรูปธาตุ ตลอดระยะเวลา 12 รอบการ ทดลอง	91
46	อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของ ความผันแปร และ t-test ของการสะสมธาตุอาหารของรูปธาตุ ตลอด ระยะเวลา 12 รอบการทดลอง	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	105
2	ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	106
3	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	107
4	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	108
5	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	109
6	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	110
7	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	111
8	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
9	ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน ในแปลงรูปถาฐี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ก่อนบ้ำบัดน้ำเสี่ย ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	113
10	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบ้ำบัดน้ำเสี่ยบ้ำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห่งร่วมกับรูปถาฐี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	114
11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบ้ำบัดน้ำเสี่ยบ้ำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห่งร่วมกับรูปถาฐี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	115
12	ความสูงของรูปถาฐีที่ได้รับน้ำเสี่ยจากบ่อฝั้งที่ 1 และบ่อฝั้งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550	116
13	มวลชีวภาพของรูปถาฐี (กิโกลกรัมต่อแปลง) หลังการบ้ำบัดน้ำเสี่ยจากบ่อฝั้งที่ 1 และบ่อฝั้งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ในสภาพดินน้ำขังสลับแห่ง	117
14	การสะสมธาตุอาหารในรูปถาฐีหลังการบ้ำบัดหลังการบ้ำบัดน้ำเสี่ยในสภาพดินน้ำขังสลับแห่ง	118

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังการใช้น้ำในการฆ่าและชำแหละสุกรแบบมาตรฐาน	9
2	วัฏจักรไนโตรเจน	25
3	วัฏจักรฟอสฟอรัส	29
4	ผังการทดลอง	33
5	ลักษณะรูปแบบแปลงทดลอง	34
6	แผนภาพการนำน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ เข้าแปลงทดลอง	36
7	บ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี	42
8	บ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี	42

**ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาล
เมืองสุพรรณบุรี ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับธูปฤาษี**

**Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Suphanburi Municipal
Slaughterhouse Wastewater by Alternated Flooding and Drying
of Soil and *Typha angustifolia***

คำนำ

โรงฆ่าสัตว์เป็นสถานที่ประกอบกิจกรรมการแปรรูปสัตว์มาเป็นเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคในชุมชน จากกิจกรรมที่เกิดในโรงฆ่าสัตว์ตามกระบวนการการฆ่าสัตว์ จะมีน้ำเสียจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ คอกกักกันสัตว์ โรงฆ่า และโรงชำแหละ น้ำเสียจากแหล่งต่างๆ เหล่านี้เมื่อมารวมกันแล้วจะมีค่าความสกปรกสูง โดยเฉพาะค่าบีโอดีซึ่งสูงถึง 1,170 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2541) และมีปริมาณน้ำเสียไหลทิ้งเป็นจำนวนมากถึง 4.52 ลูกบาศก์เมตรต่อตันสุกร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539) โดยน้ำเสียเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเน่าเสียในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ในเขตเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี มีโรงฆ่าสัตว์ที่เป็นของเทศบาลจำนวน 1 โรง ทำการฆ่าสุกรเพียงอย่างเดียว โดยจะรวบรวมสุกรที่ต้องการฆ่าในเขตเทศบาลจังหวัดสุพรรณบุรี มาเข้ากระบวนการฆ่าสัตว์ที่โรงฆ่าสัตว์แห่งนี้ประมาณวันละ 25-30 ตัว น้ำเสียที่มาจากกระบวนการฆ่าสัตว์ของโรงฆ่าสัตว์สุพรรณบุรี มีบีโอดีประมาณ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 60-70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศไทย ในปัจจุบันน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์นี้ยังไม่ได้มีการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งแต่อย่างใด เพียงแต่รวบรวมน้ำเสียไว้ในบ่อฝังของโรงฆ่าสัตว์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน และไม่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้

จากแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ที่มีพระราชประสงค์ให้ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถนำไปใช้ได้ง่าย และประหยัดค่าใช้จ่าย ภายใต้หลักการที่ว่าให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย จึงได้มีโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา

สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริเกิดขึ้น ทั้งนี้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียที่โครงการฯ ได้พัฒนาขึ้นจะอยู่ในรูปแบบของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมหรือบึงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นการสร้างเลียนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ โดยจะปลูกพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีสภาพน้ำท่วมขังและมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียทางเคมีและชีวภาพ เช่น กกกลม แผลก ธูปฤาษี เป็นต้น โดยอาศัยกระบวนการการทำงานร่วมกันระหว่างดิน น้ำ และพืช จากการศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าว มีความสามารถในการลดค่า บีโอดีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีได้สูงถึงร้อยละ 93.47 หรือ อยู่ในช่วงร้อยละ 85 – 90 (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2547)

จากการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสีย ภายใต้หลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติดังที่ได้กล่าวมาแล้ว น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการทดลองนำมาประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ โดยไม่ต้องลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียทางด้านวิศวกรรมอย่างเช่นในปัจจุบัน ที่เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบสูงมาก

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี โดยอาศัยกระบวนการการทำงานร่วมกันระหว่างดิน น้ำ และพืช พืชที่เลือกนำมาศึกษา คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการทำงานจักรสาน นำไปเป็นวัสดุตกแต่งสถานที่ หรือนำปุยของดอกแก่ไปใช้ในการกรองไขมันได้ โดยใช้ร่วมกับหลักการของระบบ Flooding and drying system มีลักษณะการให้น้ำแบบขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน โดยใช้น้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ที่มีระดับความเข้มข้นของระดับไนโตรเจน และฟอสฟอรัสแตกต่างกัน เข้าสู่ระบบบำบัด แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ ความเจริญเติบโตของต้นพืช และมวลชีวภาพ โดยวัดจากคุณภาพน้ำที่ปล่อยจากระบบบำบัดการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน และในพืช การศึกษาดังกล่าวจะเป็นแนวทางในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์แห่งอื่นๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการบำบัด ในสภาพดินน้ำขังสลบแห่งร่วมกับรูปธาตุ
2. ศึกษาปริมาณการสะสมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ในสภาพดินน้ำขังสลบแห่งร่วมกับรูปธาตุ
3. ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพ และการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปธาตุ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ในสภาพดินน้ำขังสลบแห่งร่วมกับรูปธาตุ

ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี การสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินภายหลังการทดลอง รวมถึงการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ และการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของรูปธาตุที่ใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ บริเวณแปลงพืชบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์ภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี

การตรวจเอกสาร

น้ำเสีย

1. ความหมาย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

มันสิน (2537) ได้ให้นิยามว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ส่วนฉัตรไชย (2539) ได้กล่าวถึงน้ำเสียว่า หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์มาแล้ว ซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์ทั้งในบ้านเรือน ในการเกษตร หรือกิจการอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งการใช้น้ำเหล่านี้จะทำให้น้ำมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม

2. ประเภทของน้ำเสีย

การจำแนกประเภทของน้ำเสีย สามารถจำแนกได้ตามแหล่งกำเนิดของน้ำเสียได้ดังนี้

2.1 น้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์ จึงมีลักษณะไม่ต่างกันมาก ส่วนใหญ่ของเสียจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะ หรือวัตถุดิบที่ใช้ในการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

พัฒนา (2539) ได้กล่าวถึงประเภทของน้ำเสียชุมชนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ก็จะมีปริมาณและคุณลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ น้ำเสียชุมชนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกันก็

อาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียได้เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลาและฤดูกาล น้ำเสียจากแหล่งชุมชนสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท ตามแหล่งกำเนิด ดังนี้

2.1.1 แหล่งน้ำเสียจากแหล่งบ้านพักอาศัย

น้ำเสียที่เกิดจากแหล่งที่อยู่อาศัยมักเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในบ้าน เช่น การซักล้าง การประกอบอาหาร คุณลักษณะโดยทั่วไปของน้ำเสียที่เกิดจากบ้านพักอาศัยมักจะมีส่วนที่เป็นของแข็งประมาณร้อยละ 1 ส่วนที่เหลือเป็นของเหลวร้อยละ 99 และในส่วนที่เป็นของแข็งมักจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 50 – 70

2.1.2 แหล่งน้ำเสียจากสถานที่ทำการ

น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากสถานที่ทำการต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของสถานที่ทำการนั้น ๆ เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัยและโรงพยาบาล น้ำเสียส่วนใหญ่จะเกิดจากการใช้น้ำในห้องน้ำห้องส้วม การใช้น้ำล้างวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานตามแต่ลักษณะของหน่วยงานนั้นๆ ซึ่งคุณลักษณะของน้ำเสียก็จะมีคล้ายกันกับน้ำเสียที่เกิดจากบ้านพักอาศัย

2.1.3 สถานที่ที่ใช้ในการันทนาการ

น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากแหล่งันทนาการต่างๆ ได้แก่ โรงแรม รีสอร์ท บ้านพักตากอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการประกอบอาหาร การใช้ห้องน้ำห้องส้วม การซักล้าง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้จะมีคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกับน้ำเสียที่เกิดจากบ้านพักอาศัยและน้ำเสียที่เกิดจากสถานที่ทำการต่างๆ แต่จะแตกต่างในส่วนของคุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและประเภทของแหล่งันทนาการนั้น ๆ

2.1.4 สถานที่ประกอบธุรกิจการค้า

สถานที่ประกอบธุรกิจการค้า ได้แก่ ตลาด โรงภาพยนตร์ ศูนย์การค้า ร้านอาหาร ซึ่งมักจะเป็นสถานที่ที่มีประชาชนใช้บริการในจำนวนที่แตกต่างกันไปตามช่วงเวลา น้ำเสียส่วนใหญ่

มักเกิดจากการใช้ห้องน้ำห้องส้วม การประกอบอาหาร ซึ่งคุณลักษณะของน้ำเสียจะคล้ายกันกับน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยแต่จะแตกต่างกันในส่วนของคุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้น

2.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกิดจากการใช้น้ำในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบ น้ำล้างวัสดุอุปกรณ์ น้ำล้างทำความสะอาดโรงงาน น้ำเสียจากกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งคุณลักษณะและปริมาณของน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับการดำเนินกิจการอุตสาหกรรม (พัฒนา, 2539)

2.3 น้ำเสียจากการเกษตร

น้ำเสียเกษตรกรรมเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่ทำเป็นลักษณะของการอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา และ กุ้ง เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะมีส่วนประกอบสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง อันจะเป็นต้นเหตุสำคัญของปัญหายูโทรฟิเคชัน นอกจากนี้ยังมีสารพิษตกค้างจากสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรอีกหลายอย่าง เช่น ยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อรา เป็นต้น (ฉัตรไชย, 2539)

3. น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงฆ่าสัตว์มาจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการ เช่น การล้างตัวสุกร ล้างเครื่องใน ล้างซาก ล้างพื้น ล้างรถ และการลวก นอกจากนี้ยังมาจากของเสียส่วนที่เป็นของเหลวเช่น เลือด ปัสสาวะ น้ำเหลือง น้ำดี เป็นต้น โดยเฉพาะการฆ่าสุกรผลิตน้ำเสียประมาณ 300-500 ลิตรต่อวัน Ockerman และ Hansen (2000) รายงานว่า น้ำเสียจากกระบวนการในโรงฆ่าสัตว์ มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น โดยมีค่าเฉลี่ยต่อน้ำหนักสัตว์ 1,000 กิโลกรัม คิดเป็น 13.3 10.3 5.2 และ 1.3 กรัมตามลำดับซึ่งนับว่ามีการปนเปื้อนของมลพิษอยู่ในปริมาณสูง ถ้าหากมีการระบายน้ำเสียที่ไม่ผ่านระบบบำบัด หรือการบำบัดที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำรวมทั้งการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำของประชาชนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการฆ่าและชำแหละสุกรขนาดเล็กแบบมาตรฐานที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 5-100 ตัวต่อวัน แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียรวมจากกระบวนการฆ่าสุกรในโรงฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก

ลักษณะ ของน้ำเสีย	บีโอดี	ซีโอดี	ของแข็ง	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ไขมัน
	(มก./ลิตร)	(มก./ลิตร)	แขวนลอย (มก./ลิตร)	(มก./ลิตร)	(มก./ลิตร)	และน้ำมัน (มก./ลิตร)
น้ำเสียก่อน การบำบัด	1,170	1,580	660	192	8	110

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2541)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539) ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการฆ่า และฆ่าและสุกรแบบมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดน้ำเสียในกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ไว้ดังนี้ (ภาพที่ 1)

3.1 การรับสุกร

โดยทั่วไปสุกรที่ส่งไปฆ่ามีน้ำหนักตั้งแต่ 90-130 กิโลกรัม มีอายุประมาณ 20-30 สัปดาห์ ในการขนส่ง สุกรมักจะเกิดความเครียดที่เกิดจากการไล่ต้อนจับ อากาศที่ร้อน การอดอาหารและน้ำขณะขนส่ง ดังนั้นโรงฆ่าสัตว์จะต้องมีคอกพักสัตว์ก่อนฆ่าอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้เลือดไหลออกได้มาก ก่อนที่จะนำไปฆ่าต้องมีสัตวแพทย์ตรวจสุขภาพสุกรก่อน ถ้ามีโรคติดต่อหรือสงสัยว่ามีโรคติดต่อก็ทำลายเสีย ส่วนสุกรสุขภาพสมบูรณ์ถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนนี้ใช้น้ำปริมาณ 0.50 ลบ.ม.ต่อตันสุกร เป็นน้ำเสียจากการฉีดล้างสุกร 0.50 ลบ.ม.ต่อตันสุกร

3.2 การทำให้สุกรหมดความรู้สึก การฆ่า และการรวบรวมเลือด

ตามมาตรฐานสากลวิธีการทำให้สลบก่อนการฆ่ามี 3 วิธี คือ การใช้ปืนยิง การใช้วิธีช็อกไฟฟ้า และการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ โรงฆ่าสัตว์ในประเทศไทยนิยมใช้การช็อกไฟฟ้า เมื่อสุกรสลบแล้วจึงแทงคอ เพื่อเอาเลือดออกให้เร็วที่สุด

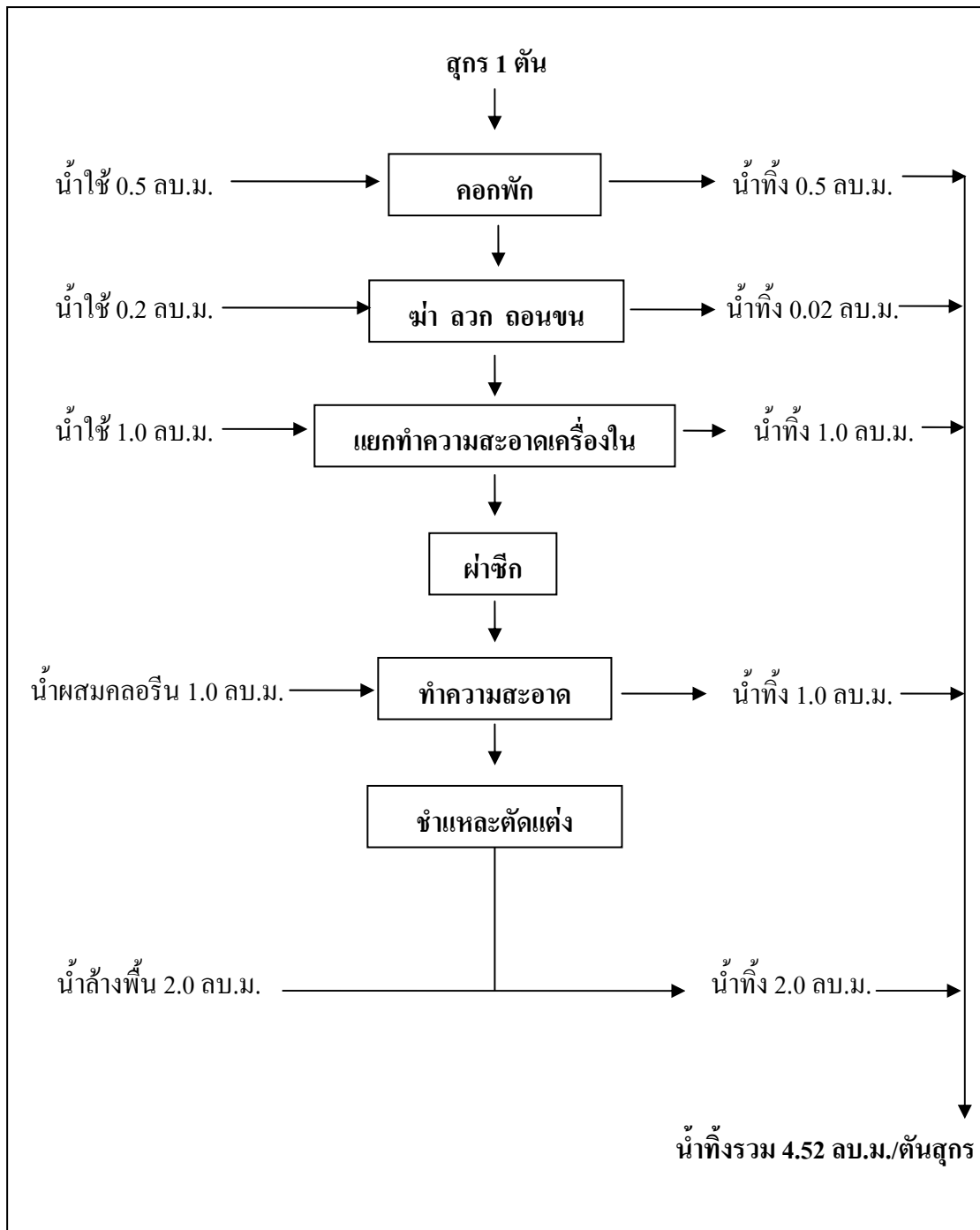
3.3 การลวกและถอนขน

ซากสุกรที่เอาเลือดออกแล้ว นำไปลวกน้ำร้อน เพื่อให้ถอนขนได้ง่ายขึ้น โดยใช้เวลาในการลวกประมาณ 2-3 นาที ในขั้นตอนนี้มีน้ำเสียเกิดจากการลวกและถอนขนสุกรประมาณ 0.02 ลบ.ม.ต่อตันสุกร

3.4 การชำแหละ

สุกรที่ผ่านการถอนขนและขัดทำความสะอาดแล้วจะถูกนำไปชำแหละ เริ่มจากการผ่าเอาเครื่องในและลำไส้ ออก นำไปทำความสะอาด จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นก่อนส่งไปจำหน่าย ส่วนซากสุกรถูกผ่าซีก ล้างทำความสะอาด ตรวจสอบและคัดซากที่มีคุณภาพไปเก็บในห้องเย็นเพื่อลดอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้ใช้น้ำที่มีคลอรีนเหลืออยู่ 5 พีพีเอ็ม ประมาณ 1 ลบ.ม. ต่อตันสุกร และน้ำเสียจากการล้างเครื่องในและทำความสะอาดซากสุกรประมาณ 2.0 ลบ.ม.ต่อตันสุกร ในภาพที่ 1 แสดงแผนผังการใช้น้ำในการฆ่า และชำแหละสุกรแบบมาตรฐาน แสดงในภาพที่ 1

น้ำเสียจากกระบวนการฆ่า และชำแหละสุกร ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี จะถูกปล่อยลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบฝิ่งบ่อที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ โดยบ่อฝิ่งที่ 1 นี้จะรับน้ำเสียโดยตรง จากนั้นจะปล่อยน้ำเสียไหลลงสู่บ่อฝิ่งที่ 2 แต่เนื่องจากทั้ง 2 บ่อมีความลึกประมาณ 2 เมตร จึงไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ และมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูง จึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในบ่อฝิ่งต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังการใช้น้ำในการฆ่าและฆ่าหละสูตรแบบมาตรฐาน

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539)

การบำบัดน้ำเสีย

1. ประเภทของการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีวิธีการและขั้นตอนในการบำบัดที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสียนั้น โดยอาจจะใช้วิธีเดียวหรือหลายๆ วิธีผสมผสานกันก็ได้ กระบวนการหลักๆ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1.1 กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพเป็นการกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ ไขมัน เศษวัสดุ ทราช และสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนด้วยตัวเองได้ง่าย กระบวนการทางกายภาพจะประกอบไปด้วย การคัดด้วยตะแกรง การกำจัดกรวดทราย การตัดไขมัน การทำให้ลอย และการทำให้ตกตะกอน กระบวนการทางกายภาพนี้มักใช้เป็นขั้นตอนแรกในการบำบัดน้ำเสีย

1.2 กระบวนการทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ ประเภทใช้ออกซิเจน และประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีหลักการทำงานเดียวกัน คือ ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในน้ำเสีย ต่างกันที่จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายนั้นต้องการออกซิเจนหรือไม่

ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนมีหลายแบบ เริ่มตั้งแต่ระบบที่ง่ายที่สุดอาศัยธรรมชาติมากที่สุด และไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ใดๆ เลย จนถึงระบบที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรมากที่สุด แบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1.2.1 จุลินทรีย์อยู่ในลักษณะแขวนลอย ได้แก่ ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) และระบบตะกอนเร่ง (activated sludge process)

1.2.2 จุลินทรีย์ยึดเกาะกับตัวกลาง ได้แก่ tricking filter และ biological disc

1.3 กระบวนการทางเคมี

น้ำเสียบางประเภทไม่สามารถบำบัดได้โดยกระบวนการทางกายภาพ และชีวภาพ จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางเคมีมาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียประเภทนี้ส่วนมากเป็นโลหะหนัก และสารพิษต่างๆ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย คือ โคแอกกูเลชัน การตกผลึก การปรับพีเอช คลอรีเนชัน การแลกเปลี่ยนไอออน และการออกซิเดชัน-รีดักชัน

2. การบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539) ได้รายงานว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ในประเทศไทยมีการดำเนินการอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 1

น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยเฉพาะน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างตัวสัตว์ และการล้างเครื่องในสัตว์ จะมีปริมาณสารแขวนลอยสูง ซึ่งหากปล่อยน้ำเสียส่วนนี้ไหลไปลงในบ่อบำบัดน้ำเสียจะทำให้บ่อบำบัดน้ำเสียตื่นเงินอย่างรวดเร็ว อีกทั้งน้ำเสียส่วนนี้มีปริมาณไขมันและน้ำมันสูง ไขมันและน้ำมันเหล่านี้จะเป็นตัวขวางการถ่ายเทอากาศจากรรยากาศสู่ผิวน้ำ และส่งผลกระทบต่อกรย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดได้ การบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนที่ 1 มีการดำเนินการดังนี้

2.1.1 การกำจัดของเสียด้วยการกรองหรือการตกตะกอน

เนื่องจากของแข็งที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจากกระบวนการฆ่าสุกรมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก การกำจัดของแข็งเหล่านี้มักใช้การกรอง (screen) มี 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบ มีระยะห่างระหว่างเหล็กตะแกรงตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรขึ้นไป และตะแกรงละเอียดที่มีช่องว่างระหว่างตะแกรง 2-6 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังใช้การตกตะกอนในการแยกตะกอนหนักพวกกรวด ทราย หรือตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะสูง

2.1.2 การกำจัดไขมันและน้ำมัน

การกำจัดไขมันและน้ำมันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเติมคลอรีนโดยใช้คลอรีนประมาณ 2-5 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้คลอรีนร่วมกับการเป่าอากาศ การเพิ่มอุณหภูมิ การทำให้ตะกอนลอย เช่น บ่อดักไขมัน (grease trap) และการทำให้ลอยด้วยอากาศละลาย เป็นต้น

2.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2

น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 ซึ่งเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพ ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานกันโดยทั่วไปได้แก่บ่อหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic pond) ซึ่งไม่สามารถลดค่าภาระอินทรีย์ให้ต่ำลงจนถึงมาตรฐานที่กำหนดได้

การที่น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เหมาะสมกับการบำบัดทางชีวภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยง่าย และน้ำเสียไม่มีการปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตรายต่อการทำงานของจุลินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศเป็นการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้เป็นก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ อีกเล็กน้อย โดยมีแบคทีเรียในระบบ 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกทำหน้าที่ผลิตกรดอินทรีย์ และกลุ่มที่สองทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน ข้อดีของระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ คือ ใช้พลังงานในการดำเนินการต่ำ สามารถบำบัดเสียที่มีภาระอินทรีย์สูงๆ ได้ มีตะกอนเกิดขึ้นน้อยมาก การใช้

การใช้ระบบบำบัดแบบบ่อหมักไร้อากาศต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.2.1 มีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 ไม่สามารถทำให้ค่าบีโอดีต่ำลงจนได้มาตรฐานน้ำทิ้งได้

2.2.3 ไม่สามารถลดปริมาณที่เคเอ็นได้

2.2.4 ไม่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้

2.2.5 ถ้าระบบมีพีเอชต่ำกว่า 6 จะมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากเกิดก๊าซไฮโดรเจน แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7 จะเกิดตะกอนแมกนีเซียม แอม โมเนีย ฟอสฟอรัส อุคตันในระบบ

2.2.6 ถ้าหากมีเกลือในระบบสูงจะมีผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ

2.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3

เนื่องจากระบบบ่อหมักที่ใช้ในประเทศไทยมาสามารถลดค่าภาระอินทรีย์ให้ต่ำลงจนถึงค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ส่วนใหญ่จึงต้องมีระบบอื่นมาช่วยในการบำบัด เช่น ระบบบ่อหมักที่ตามด้วยบ่อกึ่งหมักและบ่อฝิ่ง ระบบบ่อหมักที่ตามด้วยบ่อเติมอากาศและบ่อฝิ่ง ระบบบ่อหมักที่ตามด้วยบ่อกึ่งหมักและระบบตะกอนเร่ง

2.3.1 บ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond)

สภาวะช่วงบนของบ่อเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน โดยรับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนช่วงล่างของบ่อที่แสงส่องไม่ถึง และมีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีเลย จะอยู่ในสภาวะแบบไร้ออกซิเจนซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วแปรสภาพเป็นก๊าซต่างๆ ในลักษณะเดียวกับบ่อไร้อากาศ แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้กลายเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นเหม็น (โดยทั่วไปจะมีความลึก 1.0-1.5 เมตร) โดยทางปฏิบัติ โรงฆ่าสัตว์จะใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียต่อบ่อหมักไร้อากาศ

2.3.2 บ่อฝิ่ง (oxidation pond)

มีความลึกประมาณ 0.5-1.0 เมตร ดังนั้นแสงแดดจะส่องทะลุถึงความลึกของบ่อทำให้มีสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี และสังเคราะห์แสงให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ในบ่อ อีกทั้งมีออกซิเจนถ่ายเทที่ผิวน้ำ น้ำในบ่อจึงอยู่ในสภาวะมีอากาศ เนื่องจากความสามารถในการให้ออกซิเจนของระบบต่ำ ทำให้อัตราการบรรทุกเชิงปริมาตรค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 20 กรัมบีโอดีต่อ

ตร.ม.ต่อวัน) ใช้พื้นที่มากในการสร้างระบบบำบัด น้ำเสียที่ออกจากระบบมีสาหร่ายปะปนออกมา มาก ต้องมีบ่อฟุ้งมารองรับ

2.3.3 ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนจาเครื่องเติมอากาศ โดยทั่วไปบ่อ มีความลึกประมาณ 2.5-4.0 เมตร ระบบนี้ใช้พื้นที่น้อยกว่าบ่อกึ่งไร้อากาศและบ่อฟุ้งมาก การเติม อากาศแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1) แบบมีการผสมแบบสมบูรณ์ แบบนี้เครื่องเติมอากาศต้องมีกำลังมากพอที่จะ ทำให้ตะกอนทั้งหมดแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ จึงไม่มีการตกตะกอนที่ก้นบ่อ และมีออกซิเจนทั่วถึงทั้ง ระบบ

2) แบบผสม เครื่องเติมอากาศในระบบมีกำลังมากพอที่จะให้ออกซิเจนเพียงพอ ทั้งระบบ แต่ไม่มากพอที่จะทำให้ตะกอนทั้งหมดแขวนลอยอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงมีตะกอนบางส่วนที่ จมลงก้นบ่อแล้วถูกย่อยสลายแบบไร้อากาศ

2.3.4 ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge process)

ในระบบนี้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมาก มากที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ตะกอนในถังเติมอากาศ และมีการควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ใน ระบบที่เหมาะสม โดยการหมุนเวียนเอาจุลินทรีย์บางส่วนในถังตะกอนกลับมาใช้ในถังเติมอากาศ ขณะที่จุลินทรีย์ส่วนเกินจะถูกนำไปใช้กำจัด น้ำใสส่วนบนจะถูกระบายออกไป วิธีนี้ทำให้คุณภาพ น้ำที่บำบัดได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบดินน้ำข้างสลับแห้ง

หลักการบำบัดน้ำเสียของระบบดินน้ำข้างสลับแห้ง ยึดหลักการของระบบนิเวศดินนา นำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพของระบบที่มีการขังน้ำ ทำให้เกิดสภาพรีดักชัน (reduction) โดยจะมีทั้งผลดีและผลเสียต่อสภาพนิเวศเมื่อดินมีการขังน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของดิน และปัจจัยควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์เมื่อมีการขังน้ำ และระบายน้ำออกปล่อยให้ดินแห้งบางส่วน จากหลักการดังกล่าวข้างต้นพอจะอธิบายหลักการบำบัดน้ำเสียของระบบได้ดังนี้

1. การเกิดสภาพไร้ออกซิเจน

ดินที่มีการขังน้ำจะทำให้เกิดการลดลงของออกซิเจนในดินจนปราศจากออกซิเจน โดยน้ำที่ท่วมขังอยู่บริเวณหน้าดินจะป้องกันออกซิเจนจากบรรยากาศไม่ให้ซึมผ่านลงไป在地ได้ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านน้ำนิ่งช้ากว่าในอากาศมากกว่า 10,000 เท่า ออกซิเจนซึ่งถูกกักไว้ตามช่องในดินที่ถูกน้ำท่วมขังจะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic microorganism) และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน (facultative microorganism) นำมาใช้เพื่อการหายใจ ออกซิเจนจึงหมดไปอย่างรวดเร็ว เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ในดิน โดยการสะสม และค่อยๆ เพิ่มความดันจนเกิดเป็นฟองสูญหายไปจากดินได้ องค์ประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป在地ที่มีน้ำขัง ย่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจลน์เคมี และชีวภาพของระบบได้ (ไพบูลย์, 2528)

2. การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องในระบบ

การที่ดินมีน้ำท่วมจะทำให้ ออกซิเจนถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว โดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน จุลินทรีย์กลุ่มนี้ใช้ได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และ/หรือไม่มีออกซิเจนจะยังคงดำเนินกิจกรรมต่อไป โดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดิน ซึ่งมีระดับออกซิเดชันสูงเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งได้มาจากอินทรีย์วัตถุ ก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันต่างๆ ขึ้น สารประกอบที่มีความสามารถในการเป็นสารรับอิเล็กตรอนในดินนั้น ได้แก่ ไนเตรต แมงกานีสออกไซด์ เพอริกออกไซด์ ซัลเฟต และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับ

ทาง Thermodynamic ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชัน ชนิด และ ปริมาณของสารที่ได้จากการเกิดรีดักชัน ขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือ

- 1) ธรรมชาติ และปริมาณของอาหารของจุลินทรีย์ (อินทรีย์วัตถุ) หรือสารให้อิเล็กตรอน
- 2) ปริมาณและชนิดของสารรับอิเล็กตรอน
- 3) อุณหภูมิ
- 4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- 5) ระยะเวลาที่มีน้ำท่วมขัง

ตารางที่ 2 ปฏิกริยาทางไฟฟ้าเคมี ตามลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน

System	E_0 (V)	pE_0	pE_0^7
$1/4 O_{2(g)} + H^+_{(aq)} + e = 1/2 H_2O$	1.229	20.80	13.80
$1/5 NO_3^-_{(aq)} + 6/5 H^+_{(aq)} + e = 1/10 N_{2(g)} + 3/5 H_2O_{(l)}$	1.245	21.06	12.66
$1/2 NO_3^-_{(aq)} + H^+_{(aq)} + e = 1/2 N_{2(g)} + 1/2 H_2O_{(l)}$	0.834	14.11	7.11
$1/2 MnO_{2(g)} + 2 H^+_{(aq)} + e = 1/2 Mn^{2+}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$	1.229	20.80	6.80
$1/2 CH_3COCOOH_{(aq)} + H^+_{(aq)} + e = 1/2 CH_3CHOCOOH_{(aq)}$	0.256	4.33	-2.67
$Fe(OH)_{3(g)} + 3 H^+_{(aq)} + e = Fe^{2+}_{(aq)} + 3 H_2O_{(l)}$	1.057	17.87	-3.13
$1/2 CH_3CHO_{(aq)} + H^+_{(aq)} + e = 1/2 CH_3CH_2OH_{(aq)}$	0.221	3.74	-3.26
$1/6 SO_4^{2-}_{(aq)} + 5/4 H^+_{(aq)} + e = 1/8 H_2S_{(aq)} + 1/2 H_2O_{(l)}$	0.303	5.12	-3.63
$1/8 CO_{2(g)} + H^+_{(aq)} + e = 1/8 CH_{4(g)} + 1/4 H_2O_{(l)}$	0.169	2.86	-4.14
$1/6 N_{2(g)} + 4/3 H^+_{(aq)} + e = 1/2 NH_4^+_{(aq)}$	0.274	4.64	-4.69
$1/8 HPO_4^{2-}_{(aq)} + 5/4 H^+_{(aq)} + e = 1/8 PH_{3(g)} + 1/2 H_2O_{(l)}$	0.212	3.59	-5.16
$1/2 NADP^+_{(aq)} + 1/2 H^+_{(aq)} + e = 1/2 NADPH_{(aq)}$	-0.106	-1.79	-5.29
$1/2 NAD^+_{(aq)} + 1/2 H^+_{(aq)} + e = 1/2 NADH_{(aq)}$	-0.123	-2.08	-5.58
$H^+_{(aq)} + e = 1/2 H_{2(g)}$	0.000	0.00	-7.00
$Ferredoxin (ox)_{(aq)} + e = Ferredoxin (red)_{(aq)}$	-0.432	-7.31	-7.31

ที่มา: ไพบูลย์ (2528)

ลำดับของการใช้อิเล็กตรอนของจุลินทรีย์เพื่อการหายใจแบบไม่ต้องการออกซิเจนจะเป็นตามลำดับของ pE_0^7 ในตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อใช้ในเตรตหมดแล้ว แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) เพอริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) จะถูกจุลินทรีย์ใช้ ตามลำดับ จากนั้นสารประกอบอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในระบบไพรูเวต (pyruvate system) เมื่อคืนถูกรีดิวซ์มากๆ ค่า redox potential เป็นลบมากๆ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และจะเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลเหล็กและตกตะกอน

3. การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินน้ำขังเพื่อใช้ในระบบบำบัด

การลดลงของ redox potential หรือ Eh ซึ่งเมื่อมีค่าต่ำหรือเป็นลบ แสดงให้เห็นถึงสภาวะรีดักชัน ดินที่มีเหล็กหรือแมงกานีสที่ว่องไว (active Fe และ active Mn) น้อย ค่า Eh จะลดลงอย่างรวดเร็ว ดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีหรือไม่มีการขังน้ำ ค่า Eh จะมีค่าสูงหรือมีค่าเป็นบวกซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาวะออกซิเดชัน ซึ่งคาดหวังว่า การนำเอาระบบการขังน้ำ และการระบายออกทำให้เกิดสภาวะรีดักชันและออกซิเดชันสลับกันจะสามารถนำมาบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ โดยลดปริมาณของ BOD, COD และเป็นที่ดูดซับ โลหะหนักต่างๆ จากน้ำเสียโดยร่วมกับพืชบางชนิดที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขัง เช่น กกกลม กกสามเหลี่ยม หัวกระดาน หญ้าคาร์รา และรูปฤาษี ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขังและระบายออกให้ดินแห้งสลับกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแปรสภาพของสารอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ในโตรเจนในดินนาที่มีน้ำขังจะมาถึงที่สุดที่เกิดแอมโมเนีย เพราะการขาดออกซิเจนจะทำให้เกิดไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดจะเป็นประโยชน์กับพืชที่ปลูก (ไพบูลย์, 2528)

Shiori และ Tanada (1954) अनुमानได้ว่าการผลิตแอมโมเนียโดยการทำให้ดินแห้งก่อนการขังน้ำอาจทำให้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียสูงถึง 20 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ เนื่องจากการจัดการดินก่อนการขังน้ำ จะส่งเสริมให้เกิด ammonification โดยฮิวมัสจะถูกปล่อยออกมาจากคอลลอยด์ดิน

Mitsui (1955) ได้รายงานถึงการตากดินให้แห้งก่อนขังน้ำ จะทำให้การปลดปล่อยแอมโมเนียสูงกว่าดินที่แช่น้ำถึง 2 เท่า

วิโรจน์ (2531) รายงานว่า การเปียกและแห้งของดินนาสลับกัน จะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน คือ เมื่อดินถูกน้ำท่วมอย่างไม่ต่อเนื่อง กระบวนการ mineralization ของไนโตรเจนจะไม่หยุดแค่ ammonification ที่จะให้ NH_4^+ แต่จะต่อไปถึง nitrification และให้ NO_3^- ตามลำดับ

เมื่อดินถูกน้ำท่วมซึ่ง NO_3^- จะเปลี่ยนเป็น NH_4^+ เมื่อดินแห้ง NH_4^+ จะเปลี่ยนเป็น NO_3^- เมื่อดินถูกน้ำท่วมซึ่งอีกจะสูญเสียไปในกระบวนการ denitrification หรือถูกชะล้างออกไปจากดิน

4. ลักษณะบางประการของพืชที่ใช้ในการทดลอง

ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* Lin.) มีชื่อสามัญว่า narrow-leaved cattail จัดอยู่ใน Family Typhaceae เป็นวัชพืชที่แข็งแรงทนทานและมีอายุข้ามปี สูงประมาณ 1-3 เมตร ลำต้นใต้ดินแบบ rhizome แตกกิ่งก้านสาขา ลำต้นเหนือดินแข็ง ประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผงสองแนว ด้านข้างใบเดี่ยวมีแต่แผ่นใบแบบเรียวยาว โคนใบแผ่เป็นกาบอบหนาหุ้มประกอบต้นไว้ ใบแก่อยู่ด้านบนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียวๆ ขอบในหนา โคนใบอบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียวเข้ม (สุชาดา, 2530) ดอกออกเป็นแบบช่อ spike แน่นเป็นรูปทรงกระบอก ช่อดอกมอดดูเหมือนรูปใหญ่ๆ ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบนของช่อดอก ส่วนดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง

ในปัจจุบันธูปฤาษีเป็นวัชพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีปัญหาไม่น้อยไปกว่าผักตบชวา โดยเฉพาะคลองชลประทานและแหล่งเก็บกักน้ำทั่วไป สามารถขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก แม้วางานวิจัยที่นำธูปฤาษีมาบำบัดน้ำเสียจะมีน้อยเมื่อเทียบกับผักตบชวา แต่ก็พบว่าเป็นวัชพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการกำจัดน้ำเสีย ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีงานวิจัยที่ใช้ธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียแทนผักตบชวา ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวผักตบชวาจะตาย ส่วนธูปฤาษีนั้นส่วนของรากเหง้ายังสามารถพักตัวอยู่ได้ และเจริญงอกงามขึ้นมาใหม่ได้ในช่วงฤดูใบไม้ผลิต่อมา จึงไม่จำเป็นต้องปลูกทดแทนใหม่ทุกๆ ปี และเป็นวัชพืชที่สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยส่วนรากเหง้าใต้ดินด้วย (สุชาดา และคณะ, 2537)

Boyde (1970) กล่าวว่า ธูปฤาษีเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพในการกำจัด และบำบัดน้ำเสีย เพราะรากของต้นธูปฤาษีมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสียได้ค่อนข้างสูง ดังนั้นธูปฤาษีจึงทำหน้าที่เหมือนตัวกรองน้ำเสีย

แหล่งที่มาและความสำคัญของธาตุอาหาร

Hewlett และ Nutter (1969) กล่าวว่า น้ำในวัฏจักรจะมีความสมดุลตามธรรมชาติ มีส่วนเป็นน้ำเค็มร้อยละ 97 น้ำจืดประมาณร้อยละ 3 เพื่อการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ ในทำนองเดียวกัน ไมครี และจาร์วธรณ (2528) ชี้ให้เห็นว่า น้ำที่ใช้ประโยชน์จริงๆ นั้นมีเพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่บนผิวโลกจะมีน้อย แต่น้ำจืดเหล่านั้นก็ได้ให้ประโยชน์แก่มนุษย์อย่างมาก ในด้านที่เป็นแหล่งผลิตสัตว์น้ำ พืชน้ำ เพราะในแหล่งน้ำจืดนั้นมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยธาตุอาหารเหล่านั้นมาจาก น้ำฝน และการละลายของแร่ หิน ดิน ธาตุอาหารที่เจือปนมากับน้ำจะเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชน้ำ ซึ่งเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิ (primary producer) ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้มีหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ ไนโตรเจน โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คาร์บอนेट คลอไรด์ ซัลเฟต ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ธาตุบางชนิดพืชต้องการใช้ในปริมาณมาก (macronutrient) สำหรับการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น การขยาย การยึดของส่วนต่างๆ ใบ และการขยายพันธุ์ ซึ่งแบ่งเป็นธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน (เกษมศรี, 2536) นอกจากนี้ Carpenter และคณะ (1972) กล่าวว่า แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) สามารถใช้ในโตรเจนได้ทั้งรูปไนเตรต แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดอะมิโน แต่จะใช้มากน้อยในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับภาวะธาตุอาหารในขณะนั้น และชนิดของแพลงก์ตอนพืชนั้นๆ สำหรับฟอสฟอรัสจะถูกใช้ในรูปฟอสเฟต โปแทสเซียมจะถูกใช้ในรูปไอออน (Fogg, 1971) สำหรับธาตุอาหารพืชอื่นๆ นั้น พืชต้องการแต่ในปริมาณที่ไม่มากนัก

ธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน ธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาสะสมในดิน หลังจากการสลายตัวของจุลินทรีย์ (ณัฐกานต์, 2537) ในที่นี้จะกล่าวถึงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้

1. ไนโตรเจน (nitrogen)

1.1 แหล่งที่มาของไนโตรเจนและสารประกอบของไนโตรเจน มีดังนี้ คือ

1.1.1 บรรยากาศ ได้แก่ ฟ้าผ่า การสลายตัวของวัตถุสารบนพื้นโลก (terrestrial matter) การระเบิดของภูเขาไฟ

1.1.2 ไนโตรเจนในดินจะถูกตรึงด้วยจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืช

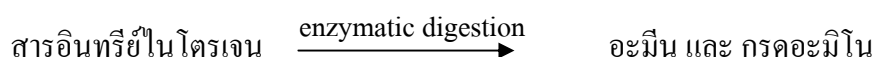
1.1.3 น้ำใต้ดินและน้ำพุ (ground and spring water) สำหรับในแหล่งน้ำ สารประกอบไนโตรเจนจะได้จากการตกตะกอนของน้ำผิวดินที่ไหลเข้ามา ซึ่งจะนำสารประกอบไนโตรเจนมาด้วยและจากน้ำใต้ดิน เช่น น้ำพุ นอกจากนี้อาจได้จากภายในแหล่งน้ำเอง ซึ่งเกิดจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนของ จุลินทรีย์ และสาหร่ายบางชนิด สำหรับการสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนจากแหล่งน้ำนั้น ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และการนำสลายนของอินทรีย์วัตถุ และบางส่วนสูญเสียไปกับน้ำที่ไหลออก (out flow) โดยรวมกับธาตุอื่น ๆ เป็นตะกอน (ณัฐกานต์, 2537)

ประมาณ (2531) รายงานไว้ว่า สารประกอบไนโตรเจน มีทั้งสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน ยูเรีย และกรดอะมิโน ซึ่งจะมียอยู่ในชั้นของผิวน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงถึงผลผลิตของแหล่งน้ำ ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งพืชสีเขียวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ Jenny (1929); Millar *et al.*, (1964) รายงานไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนนั้น ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ชนิดพรรณไม้ ความชื้นและอุณหภูมิ การระบายน้ำและอากาศในดิน ความสูงของภูมิประเทศ ความหยาบ และความละเอียดของดิน ซึ่งคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) รายงานไว้ว่า ไนโตรเจนในดินเฉลี่ยแล้วจะมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ การแสดงการเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์วัตถุเป็นสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับ สรสิทธิ์ (2518); ขงยุทธ และสุรเดช (2521) และสมสุข (2524) สรุปได้ว่า ไนโตรเจนในอากาศมีประมาณร้อยละ 78 แต่มีสิ่งมีชีวิตเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้ไนโตรเจนในรูปก๊าซ และยังมีอยู่ในองค์ประกอบของโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ของสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงรวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์เหล่านั้นจะถูกแปรสภาพไปโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (ภาพที่ 2)

1.2 ขั้นตอนของกระบวนการแปรสภาพสารอินทรีย์ในโตรเจน อธิบายได้ดังนี้

1.2.1 อะมิไนเซชัน (aminization)

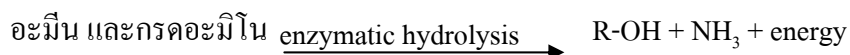
เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph) กระบวนการย่อยสลายนี้เป็นแบบ enzymatic digestion ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน พวก amino compounds ต่างๆ เช่น proteose และ peptone จนในที่สุดก็จะเปลี่ยนต่อไปอีกเป็นพวกอะมีน (amine) และกรดอะมิโน (amino acid) ต่างๆ กระบวนการอะมิโนเซชันสามารถเขียนได้ดังสมการ



จุลินทรีย์ได้พลังงานจากกระบวนการย่อยสลายโปรตีน ส่วนสารประกอบอะมีนและกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนจะถูกนำมาสร้างเซลล์ของพืชและจุลินทรีย์ และบางส่วนจะถูกแปรสภาพต่อไปอีกกลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่น โดยกระบวนการที่เรียกว่า ammonification

1.2.2 แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบพวกอะมีนและกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอลกอฮอล์ (R-OH) และพลังงาน โดยจุลินทรีย์พวก heterotroph ดังสมการ



แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์แล้วแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไอออนและไฮดรอกซิลไอออน ไฮดรอกซิลไอออนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนซึ่งมาจากกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นน้ำ ส่วนแอมโมเนียมไอออนนั้นก็จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก โดยมีทางเปลี่ยนแปลงได้ 4 ทางคือ

1) จุลินทรีย์นำไปใช้

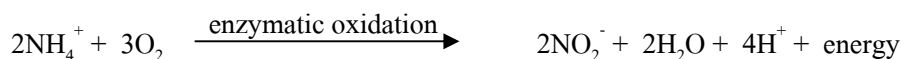
2) พืชนำไปใช้ โดยเฉพาะพืชที่ยังอ่อนๆ อยู่ เช่น ต้นกล้าของข้าว จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย

3) ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึกของอนุภาคแร่ดินเหนียว

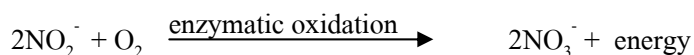
4) ถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

1.2.3 ไนตริฟิเคชัน (nitrification)

เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation ซึ่งเกิดขึ้นโดย nitrifying bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการก๊าซออกซิเจน กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันสองขั้น กล่าวคือ NH_4^+ จะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรท์ก่อนโดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* ดังสมการ



ต่อมาไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งหนึ่งให้เป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก *Nitrobacter* ดังสมการ



ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นขั้นแรกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตซึ่งจะเป็นผลดีต่อพืช เพราะถ้ามีไนไตรท์สะสมอยู่มากจะเกิดความเป็นพิษต่อพืช ส่วนไนเตรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ดังนี้ คือ

- 1) จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างโปรตีนหรือสารคล้ายโปรตีน
- 2) พืชชั้นสูงนำไปใช้สร้างโปรตีนหรือสารคล้ายโปรตีน
- 3) สูญหายไปโดยกระบวนการชะล้างภายในดินลงไปลึกกว่าบริเวณรอบราก (root zone) เนื่องจากไนเตรตละลายน้ำได้ง่าย

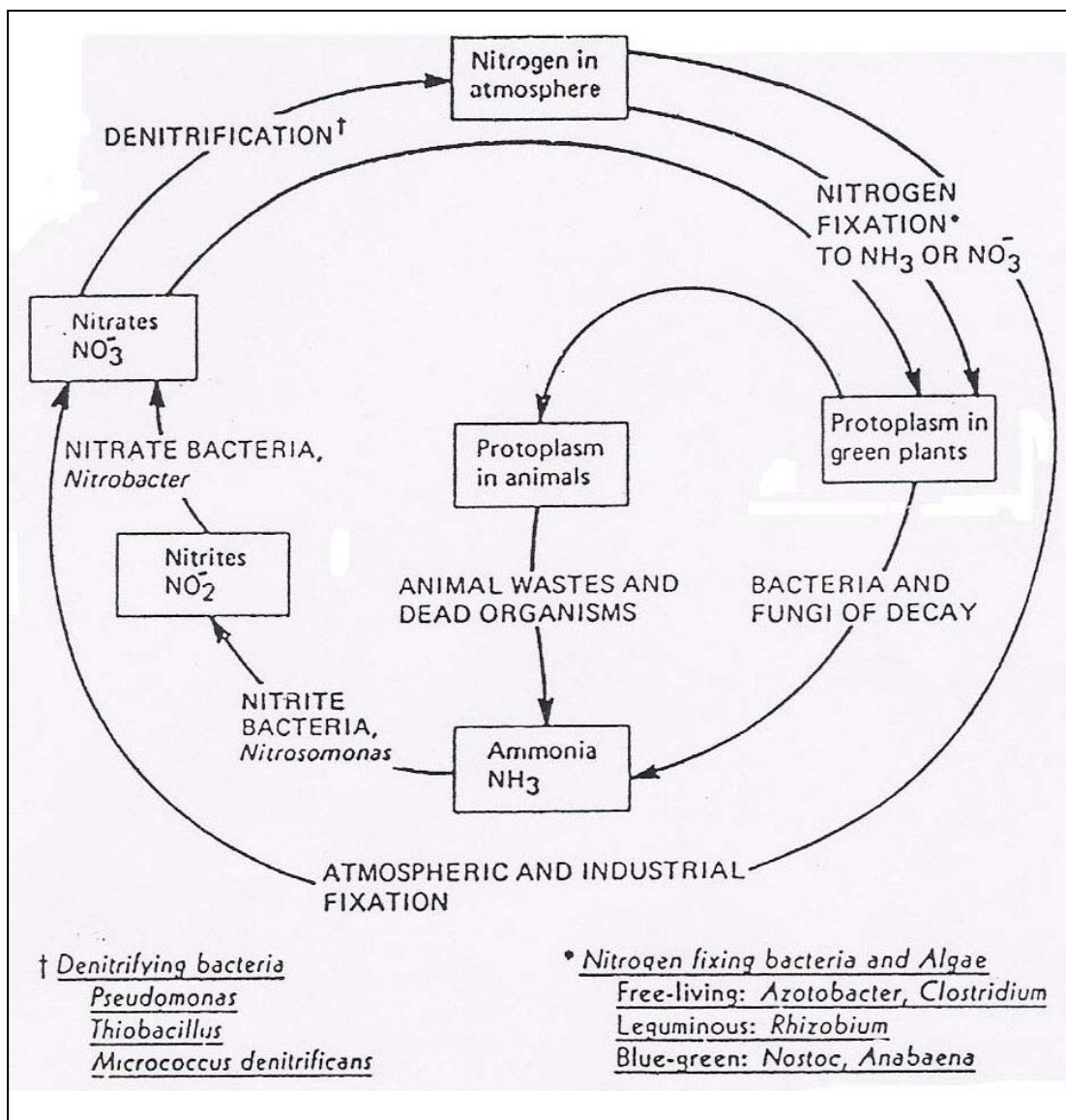
4) สูญหายไปในรูปแบบของก๊าซไนโตรเจน(denitrification) เพราะจุลินทรีย์พวกไม่ต้องการใช้ก๊าซออกซิเจนนำไปใช้ในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) สำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำในเขตร้อนชื้นนั้น กระบวนการที่เกิดขึ้นน่าจะหยุดอยู่ที่กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน เพราะโอกาสที่ก๊าซออกซิเจนจะแทรกซึมลงไปใต้น้ำนั้นน้อยมากและจุลินทรีย์พวกที่ต้องการใช้ก๊าซออกซิเจนจะหายใจเพื่อให้ได้พลังงานสำหรับทำกิจกรรมต่างๆ จนก๊าซออกซิเจนต่างๆ นั้นหมดไป

สำหรับสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีหลายรูปแบบ ที่สำคัญ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท โดยแบคทีเรียหรือสาหร่ายชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ พืชสีเขียวจะใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรทในการสังเคราะห์โปรตีน สำหรับสัตว์ไม่สามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศ และสารอนินทรีย์ไนโตรเจนมาทำการสังเคราะห์โปรตีนได้ ต้องอาศัยโปรตีนจากพืชหรือสัตว์อื่นในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนแทน และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงร่างกายจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนทั้ง 4 ประเภทในน้ำ คือ อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งบ่งชี้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำธรรมชาติได้ เช่น แหล่งน้ำที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียสูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นเพิ่งได้รับสิ่งสกปรกมาไม่นาน และความสกปรกนั้น เกิดจากการระบายของเสียจากชุมชน แต่ถ้ามีปริมาณไนไตรท์สูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพที่กำลังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรท หรือในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณไนเตรทสูงแสดงว่า แหล่งน้ำนั้นได้รับสิ่งสกปรกมานานจนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นไนเตรทแล้ว นอกจากนี้ เปียมศักดิ์ (2533) พบว่า ในน้ำปกติจะมีปริมาณของแอมโมเนียและสารประกอบแอมโมเนียละลายอยู่เพียงเล็กน้อย หรือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสีย ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้ามีความเสียหายมากความเข้มข้นของแอมโมเนียอาจมีมากถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่า และเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ถ้าตรวจพบความเข้มข้นของไนเตรทมาก แสดงว่า การเน่าเสียของน้ำได้เกิดขึ้นมานานแล้วและไม่มีอันตรายต่อสัตว์น้ำอีกต่อไป (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

สมชาย (2531) รายงานว่า ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชทั้งในสภาพธรรมชาติและการเพาะปลูก ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายง่าย ถ้าพืชขาด

ไนโตรเจนจะมีใบเหลือง แต่ถ้าได้รับมากเกินไปพืชจะเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบมาก เรียกว่า อาการเฟื่อซึ่งวงจันทร์ (2535) รายงานไว้เช่นเดียวกันว่าถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะเกิดการสะสมอาหาร การเจริญของผลและเมล็ดจะช้าหรือพืชไม่ออกดอกออกผล Jones และคณะ (1991) กล่าวว่า ปริมาณของไนโตรเจนในพืชจะอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.50 ถึง 6.00 ของร้อยละ 2.50 ถึง 3.50 ส่วนค่าวิกฤตของปริมาณไนโตรเจนขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและส่วนของพืชที่ทำการวิเคราะห์



ภาพที่ 2 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา: Southwick (1976)

2. ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ยงยุทธ และสุรเดช (2521) รายงานว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญธาตุหนึ่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และพืชนอกเหนือไปจากไนโตรเจน ฟอสฟอรัสมีอยู่ในส่วนที่เป็นดิน (lithosphere) เป็นส่วนใหญ่โดยอยู่ในหิน แร่ และแหล่งสะสมอื่นๆ ซึ่งมนัส (2525) ได้รายงานว่ามีฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ พืชสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ได้เมื่ออยู่ในรูปของไอออนเท่านั้น ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ ฟอสเฟตไอออน เช่น H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ซึ่งปริมาณของไอออนทั้งสองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดิน และไอออนของธาตุนี้จะยึดเกาะอยู่กับตะกอนดินจึงทำให้พืชดูดไปใช้ได้น้อย วงจันทร์ (2535) รายงานว่า พืชได้รับฟอสฟอรัสในรูปของ H_2PO_4^- มากที่สุดเมื่อ $\text{pH} = 7$ รองลงมา คือ รูป HPO_4^{2-} เมื่อ pH สูงกว่า 7

วัฏจักรของฟอสฟอรัส (ภาพที่3) เริ่มจากการละลายฟอสเฟตจากหินและแร่ที่อยู่ในรูปสารละลายในดินที่มีความเข้มข้นต่ำ พืชและ phosphating bacteria จะดูดฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ไปสร้างโปรโตพลาสซึม เมื่อพืชตายลงหรือถูกสัตว์กินในห่วงโซ่อาหารและสัตว์ตาย ฟอสเฟตจะลงสู่ดินและนำเข้าสู่วัฏจักรดั้งเดิม การละลายฟอสเฟตจากหินและแร่ดำเนินไปอย่างช้าๆ ปริมาณส่วนใหญ่จะถูกน้ำพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ บางส่วนจะตกตะกอนในที่ลึก บางส่วนจะตกตะกอนในที่ตื้นแล้วกลับขึ้นมาในรูปของมูลนกทะเลและปลาทะเล แต่เมื่อเปรียบเทียบส่วนที่กลับเข้าสู่วัฏจักรกับส่วนที่สูญเสียไปนั้น ไม่สมดุลกัน โดยพบว่า ส่วนที่พืชบกจะได้รับนั้นมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ นอกจากนี้ มนุษย์ยังมีส่วนช่วยเร่งการสูญเสียฟอสฟอรัสโดยการไถ่ดินไม่ถูกวิธี ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายสูง การใส่ปุ๋ยที่ละลายน้ำง่ายในไร่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลเพิ่มขึ้น (Southwick, 1976)

สำหรับฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำนั้น พบได้ทั้งรูปสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตเช่นกัน ได้แก่ สารประกอบออร์โธฟอสเฟต เช่น PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งจำเป็นในระบบถ่ายเทพลังงาน โดยปกติจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าขาดแคลนจะทำให้จำกัดการเจริญของแพลงก์ตอนพืชและมีผลไปถึงกำลังผลิตของแหล่งน้ำ ส่วนสารประกอบฟอสฟอรัสอีกอย่างหนึ่ง คือ โพลีฟอสเฟต พบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเนื่องจากเป็นส่วนผสมของผงซักฟอก สารประกอบโพลีฟอสเฟตสามารถ

เปลี่ยนมาเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสเมื่ออยู่ในน้ำ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลง (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

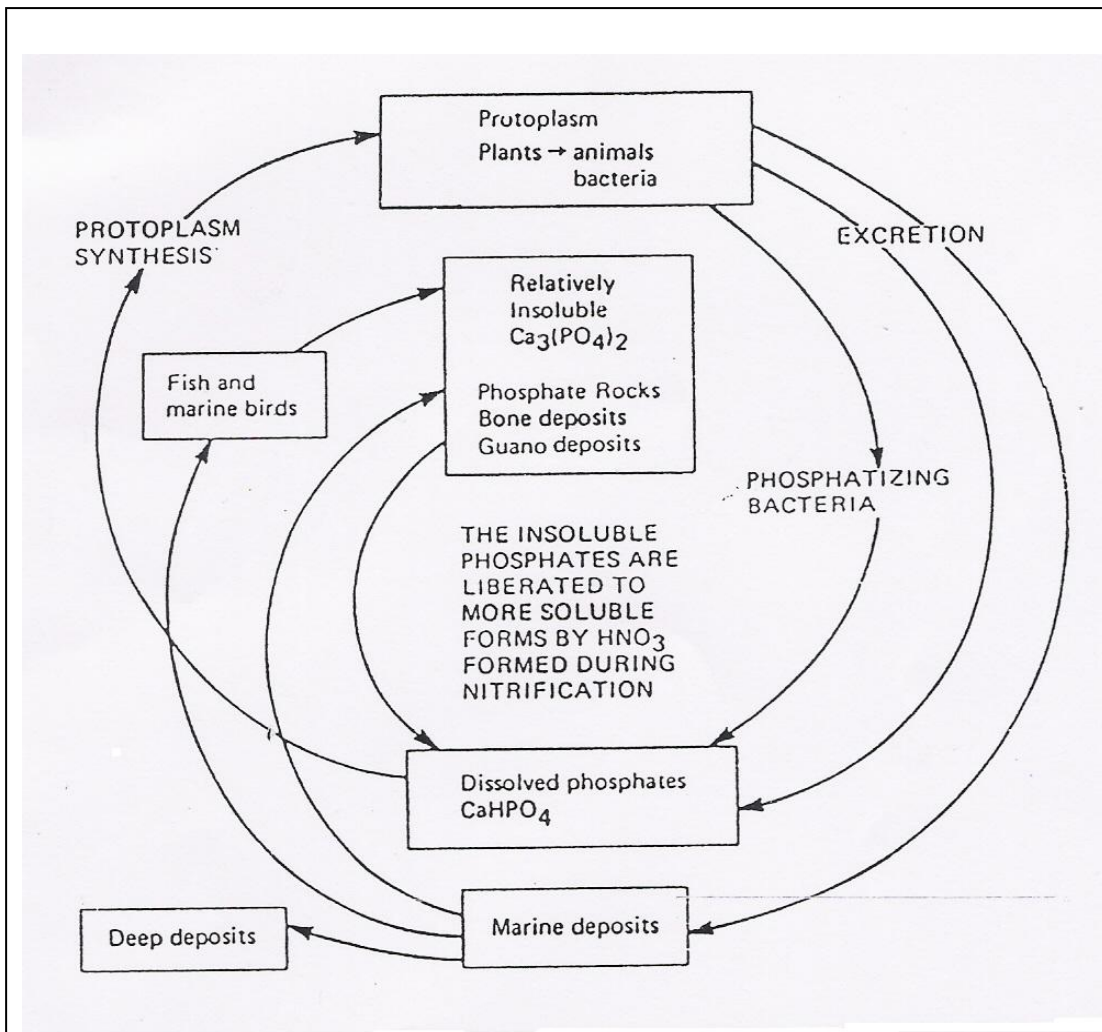
โดยธาตุอาหารพวกฟอสเฟตนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) อย่างไรก็ตาม Fair และคณะ (1971) รายงานว่า eutrophication นั้น ถ้าเกิดขึ้นในแหล่งน้ำโดยมีขอบเขต หรือปริมาณที่พอเหมาะก็จะช่วยให้แหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น เหมาะกับสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่เพราะเป็นการเพิ่มปริมาณอาหารให้แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะมีผลเสียต่อแหล่งน้ำเพราะจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลง ในขณะที่เดียวกันก็จะเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นและทำให้เกิดการบังแสงของพืชน้ำ ทำให้พืชน้ำสังเคราะห์แสงไม่ได้ และตายลง Pavoni (1977) ได้ใช้ฟอสเฟตเป็นดัชนีสำหรับจำแนกประเภทของแหล่งน้ำ โดยกล่าวว่า แหล่งน้ำใดมีปริมาณฟอสเฟตน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็น oligotrophic lake หรือเป็นแหล่งน้ำประเภทที่มีธาตุอาหารน้อยเกินไป ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นมลภาวะประการหนึ่งอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร แต่ถ้าแหล่งน้ำใดมีปริมาณฟอสเฟตมากกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็น eutrophic lake คือ เป็นแหล่งน้ำประเภทที่มีอาหารมาก นอกจากนี้ Fair และคณะ (1971) ได้รายงานสอดคล้องกัน คือ ในแหล่งน้ำใดที่มีธาตุอาหารมากเกินไปจะมีอนินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 0.01-0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแม่น้ำที่เกิดมลภาวะจะมีฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 9-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประมาณ (2531) ได้กล่าวว่า ฟอสเฟตในน้ำอาจรวมกับไอออนอื่นๆ ได้ ที่พบบ่อยคือ เหล็ก (Fe) และแคลเซียม (Ca) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยังเป็นตัวกำหนดหรือควบคุมคุณสมบัติของสารประกอบฟอสเฟต เช่น ถ้าน้ำเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยจะพบแคลเซียมฟอสเฟตมาก ถ้าเป็นด่างมากจะพบว่ามีโซเดียมฟอสเฟต แต่ถ้าน้ำเป็นกรดจะมีเฟอริกฟอสเฟต นอกจากนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์จะใช้อินทรีย์ฟอสเฟตสะสมไว้ในตัว หรืออาจเปลี่ยนรูปให้กลายเป็นอินทรีย์ฟอสเฟต ทำให้ธาตุอาหารสำหรับพืชสีเขียวลดน้อยลง แหล่งน้ำที่มีการระเหยของน้ำสูงและไม่ได้อยู่ในบริเวณที่มีหินฟอสเฟตจะมีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่าง 0.01-0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร แหล่งน้ำที่อยู่ในเขตที่มีหินฟอสเฟตจะทำให้มีฟอสฟอรัสทั้งหมดละลายอยู่สูงถึง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แหล่งน้ำที่มีผลผลิตต่ำจะมีฟอสฟอรัสละลายอยู่ต่ำกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร (เปี่ยมศักดิ์, 2525)

ชัยฤกษ์ (2530) รายงานว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบ หรือสะสมอยู่ในพืชเป็นปริมาณที่น้อยกว่าธาตุอาหารหลักและรองอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม และแคลเซียม แต่จะสูงกว่าธาตุแมกนีเซียม และกำมะถัน สารประกอบอินทรีย์ของพืชหลายชนิดที่มีฟอสฟอรัสเป็น

องค์ประกอบ เช่น ไฟติน (phytin) โดยสารประเภทนี้ส่วนมากจะพบอยู่ในเมล็ดพืช ซึ่งจะเป็นแหล่งสะสมของฟอสฟอรัสให้พืชได้ใช้ในการที่เมล็ดพืชงอกเป็นต้นอ่อน เพราะช่วงระยะเริ่มแรก เมื่อพืชงอกขึ้นมาจะยังคงมีระบบรากที่หาอาหารเองไม่ได้จากธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดิน นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังช่วยการเจริญเติบโตของรากฝอย และรากแขนงในระยะแรกๆ ของการเจริญเติบโต ช่วยในการดูดดึงธาตุโพแทสเซียมเข้ามาใช้ประโยชน์มากขึ้น ช่วยแก้ผลเสียเนื่องจากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไป ช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ดของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพดีขึ้น และช่วยทำให้พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคและแมลง

สมชาย (2531) รายงานว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ในพืช จึงแสดงอาการผิดปกติในส่วนที่แก่ หรือมีอายุมากกว่าของพืช ที่พบกันเสมอ คือ ใบแก่ หรือบริเวณส่วนล่างของลำต้นจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีม่วง ถ้าเกิดรุนแรงมากขึ้นใบก็จะร่วงหลุดไปจากลำต้นก่อนที่ควรจะเป็น บางครั้งลำต้นของพืชอาจมีลักษณะออกเป็นสีแดงอมม่วง นอกจากนั้นพืชจะแคระแกรน บางครั้งลำต้นอาจบิดเป็นเกลียว เนื้อไม้จะแข็ง แต่เปราะและหักง่าย ดอกและผลที่ออกมาจะไม่สมบูรณ์ถ้าเกิดขาดธาตุนี้ในช่วงที่กำลังออกดอกสร้างผลหรือเมล็ด ถ้าขาดรากจะพบว่าระบบรากจะไม่เจริญเติบโต และแพร่กระจายเท่าที่ควร

เกษมศรี (2536) กล่าวไว้ว่า ฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก กระตุ้นให้พืชออกดอก ช่วยสร้างพลังงานต่างๆ เช่น ATP และ ADP สำหรับสังเคราะห์แสง ดังนั้น ฟอสฟอรัสจึงเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก โดยพืชที่ขาดฟอสฟอรัสทุกส่วนของพืชจะแคระแกรน ใบแก่จะกลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผลิดอกออกผลช้า แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากทำให้รากเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตของลำต้นทำให้อัตราส่วนของลำต้นต่อรากลดลง และฟอสฟอรัสจะกระจายไปทั่วทุกส่วนของพืชได้ง่าย โดยจะย้ายจากใบแก่ไปสะสมที่ใบอ่อน ดอก และเมล็ดที่กำลังเจริญ ดังนั้น อาการขาดฟอสฟอรัสจะปรากฏในตัวอย่างที่แก่ก่อน (วงจันทร์, 2535) Jones และคณะ (1991) รายงานไว้ว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสในตัวอย่างพืชที่อบแห้ง จะอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.15-1.00 เป็นส่วนใหญ่ ค่าวิเคราะห์ที่บ่งบอกความพอเพียงที่พืชได้รับในใบพืชที่เติบโตเต็มที่ได้นาน ฟอสฟอรัสจะอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.20-0.40 ค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสโดยทั่วไปจะน้อยกว่าร้อยละ 0.20 เมื่อพืชขาดแคลน และมากกว่าร้อยละ 1.00 (เมื่อพืชได้รับมากเกินไป)



ภาพที่ 3 วัฏจักรฟอสฟอรัส

ที่มา: Southwick (1976)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับแปลงทดลอง

1.1 แปลงทดลองสร้างด้วยดินขนาด 3x30 เมตร จำนวน 8 แปลง โดยแบ่งเป็นแปลงทดลองจำนวน 6 แปลง และแปลงควบคุมจำนวน 2 แปลง โดยในแต่ละแปลงมีทางระบายน้ำออก 1 ทาง ที่ส่วนล่างของชั้นดินและทราย

1.2 ดินที่ใช้ปลูกเป็นดินนา ซึ่งเป็นดินเหนียวจากอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี นำมาผสมทรายหยาบ อัตราส่วนของดินนา : ทราย = 3:1

1.3 พืชทดลอง ใช้หน่อพันธุ์รูปถุณี ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* linn. ชื่อสามัญ Cattail ความสูงของหน่อพันธุ์ 45 เซนติเมตร

1.4 น้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งที่ 1 และ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

1.5 เครื่องปั้มน้ำสำหรับนำน้ำเสียเข้าแปลง

2. อุปกรณ์ภาคสนาม

2.1 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

2.1.1 ขวดพลาสติกโพลีเอสเตอร์ลิ้นปากกว้าง สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสียขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2.1.2 กรดกำมะถันเข้มข้น (conc. H_2SO_4) สำหรับรักษาตัวอย่างน้ำที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

2.1.3 เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ เช่น บีกเกอร์ และหลอดหยด เป็นต้น

2.1.4 ถังน้ำแข็งสำหรับบรรจุตัวอย่าง

2.1.5 เครื่องมือวิเคราะห์ภาคสนาม ดังนี้คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ ได้แก่ ออกซิเจนละลาย (DO), อุณหภูมิ (temperature), การนำไฟฟ้า (EC), และความเป็นกรดด่าง (pH)

1) เครื่องวัดออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen Meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น 550 DO

2) เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ WTW รุ่น 315i

3) เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity-Meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น Model 33

2.2 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน

2.2.1 พลั่ว

2.2.1 ถังพลาสติกขนาด 9 x 14 นิ้ว สำหรับใส่ตัวอย่างดินแปลงละ 1 กิโลกรัม

2.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างพืช

2.3.1 ไม้เมตรสำหรับวัดระดับความสูงของพืชทดลอง

2.3.2 เครื่องชั่ง

2.3.3 ถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืชทดลอง จำนวน 1 กิโลกรัม เพื่อวิเคราะห์หามวลชีวภาพ

3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ประกอบด้วย เครื่องย่อยสลาย และเครื่องมือที่ใช้ในการกลั่น ซึ่งประกอบด้วย kjeldahl flasks, condensers และ heaters และสารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น KI 26

3.2 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ HACH รุ่น DR/2010 โดยกำหนดค่าความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร พร้อมเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve) ในช่วงความเข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารเคมีที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี Ascorbic acid method

วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูลสถิติของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

การศึกษาข้อมูลสถิติของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ทำการศึกษาข้อมูลต่อไปนี้

1.1 ศึกษาจำนวนของสุกรที่ทำการฆ่า และฆ่าแต่ละต่อวัน ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

1.2 ศึกษาปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฆ่าสุกรทั้งหมด โดยใช้เวียร์ที่ติดตั้งบริเวณปล่อยน้ำเสียลงบ่อบำบัดของโรงฆ่าสัตว์

1.3 ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

2. การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง (Treatment) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง โดยกำหนดให้

2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียเป็น treatment 2 แหล่ง คือ

W1 = ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบฝังบ่อที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์

W2 = ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบฝังบ่อที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์

2.2 รูปถ่าย และแปลงควบคุม

เนื่องจากสถานที่ก่อสร้างแปลงทดลองมีจำกัด จึงสามารถก่อสร้างแปลงทดลองได้จำกัดเพียง 8 แปลง ดังนั้นในการทดลองจึงกำหนดให้

P1 = แปลงที่ทำการปลูกรูปถ่าย

P2 = แปลงควบคุมที่ไม่มีการปลูกรูปถ่าย แสดงดังภาพที่ 4

W1				W2			
P1	P1	P1	P2	P1	P1	P1	P2

ภาพที่ 4 ฝังบ่อทดลอง

ในแปลงที่ปลูกรูปถ่ายทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่สร้างแปลงทดลองจึงมีแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชชุดการทดลองละ 1 แปลง การเก็บตัวอย่างในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช จะสุ่มเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ บริเวณหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง

2.3 ระดับน้ำเสียขังสูงเหนือระดับพื้นดิน 25 เซนติเมตร ทุกแปลงทดลองโดยให้มีระยะเวลาการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน

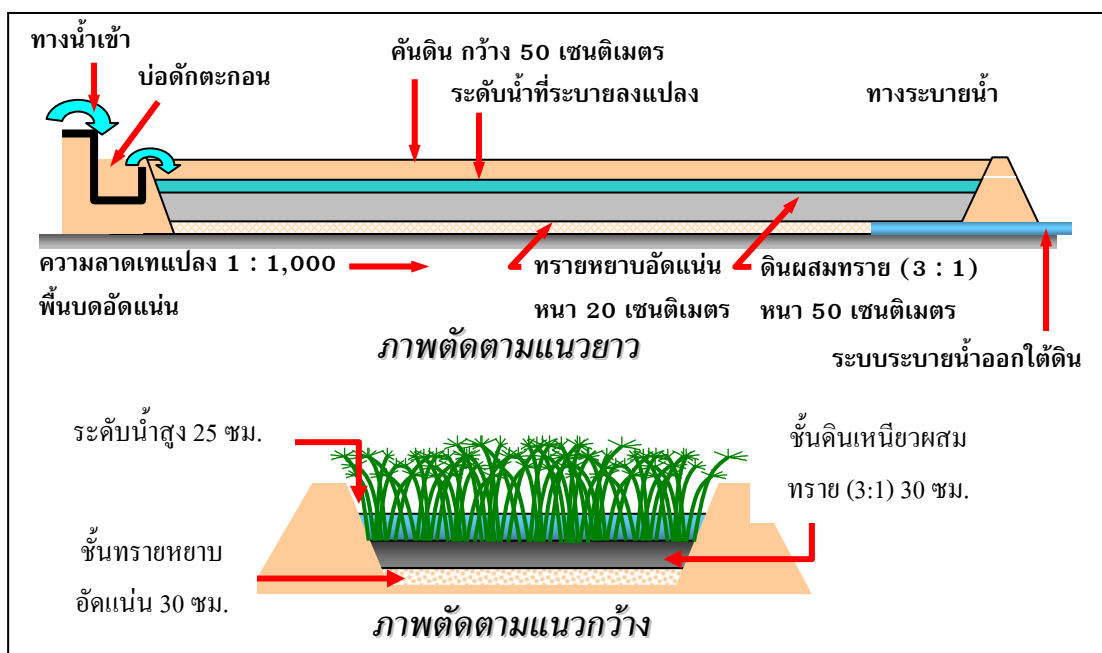
2.4 ระยะปลูกพืช 25x25 เซนติเมตรต่อแปลง

2.5 ระยะเวลาทดลอง ตั้งแต่วันที่ 26 เมษายน 2550 ถึง 17 กรกฎาคม 2550 รวมระยะเวลาในการทำการทดลองทั้งสิ้น 83 วัน

3. การเตรียมแปลงทดลอง

3.1 การก่อสร้างแปลงทดลอง

ทำการก่อสร้างแปลงทดลองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี จำนวน 8 แปลง ขนาดความกว้าง 3 เมตร ยาว 30 เมตร ในการสร้างแปลงทดลองดังกล่าวจะดำเนินการปรับพื้นที่แล้วนำดินมาทำการบดอัดให้เสมอกัน เพราะพื้นที่บริเวณนี้เป็นที่ฝังกลบขยะเดิมของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี แล้วทำการสร้างคันดินให้มีความลาดชัน 45 องศา สูง 50 เซนติเมตร และปรับพื้นแปลงให้มีความลาดชันจากหัวแปลงไปยังท้ายแปลงในอัตราส่วน 1: 1,000 รองพื้นด้วยทรายหยาบหนา 5 เซนติเมตร ตามด้วย ดินนาผสมทรายในสัดส่วน ดินนาต่อดินทราย 3:1 หนา 50 เซนติเมตร (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ลักษณะรูปแบบแปลงทดลอง

3.2 การวางระบบน้ำเข้าและน้ำออกจากแปลงทดลอง

3.2.1 การวางระบบน้ำเสียเข้าแปลงทดลอง โดยการวางท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ฝังดินจากบ่อฝั่งของโรงฆ่าสัตว์ของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรีมายังแปลงทดลอง เป็นระยะทาง 150 เมตร และทำการก่อสร้างฐานวางเครื่องสูบน้ำเสียจำนวน 2 ตำแหน่งเพื่อวางเครื่องสูบน้ำของแต่ละบ่อ บริเวณบ่อฝั่งของโรงฆ่าสัตว์บ่อที่ 1 และบ่อที่ 2 เพื่อทำการสูบน้ำเข้ามายังแปลงทดลอง บริเวณส่วนที่น้ำเข้าจะมีวาวปิดเปิดน้ำเข้าแปลงของแต่ละแปลงเพื่อบังคับอัตราการไหลของน้ำ และบริเวณหัวแปลงจะมีรางรับน้ำจากวาวทำด้วยท่อพีวีซี ผ่าครึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ทำการรองรับน้ำเข้าแปลงแล้วให้น้ำไหลสม่ำเสมอจากหัวแปลงไปยังท้ายแปลง

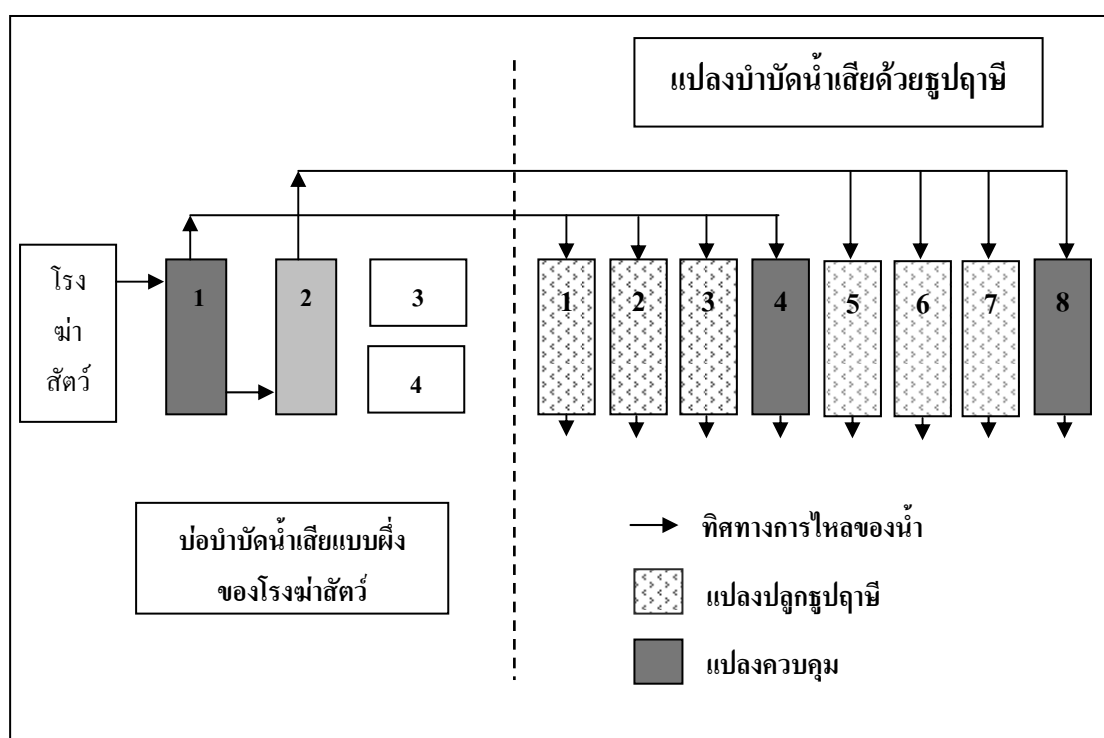
3.2.2 การวางระบบน้ำออกจากแปลงทดลอง มีการฝังท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เป็นรูปตัว T ไว้ใต้คันบริเวณท้ายแปลง โดยทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร บริเวณท่อ PVC ที่อยู่ท้ายแปลง เพื่อให้น้ำซึมผ่านใต้ดินเข้าสู่ท่อน้ำออก และบริเวณปลายท่อน้ำมีวาวปิดเปิดเพื่อบังคับอัตราการปล่อยน้ำออกจากแปลงและง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง

4. การเตรียมพืช

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) ซึ่งนำมาจากพื้นที่ชุ่มน้ำในอำเภอเมืองสุพรรณบุรี นำมาปลูกเพื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี โดยทำการตัดต้นพืชธูปฤาษีจากแหล่งพื้นที่ชุ่มน้ำให้มีขนาดความยาว 45 เซนติเมตร แล้วนำมาปลูกในแปลงทดลองจำนวน 6 แปลง ส่วนแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีจำนวน 2 แปลง เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างแปลงปลูกธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ในการปลูกธูปฤาษีจะปลูกระยะห่างกัน 25 x 25 เซนติเมตร ทำการอนุบาลกล้าพันธุ์ของธูปฤาษีในแปลงทดลองด้วยน้ำประปาทุก 5 วัน เป็นระยะเวลา 15 วัน ของการอนุบาล เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองในแปลงบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคแม่เปินอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์ภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งได้มีการปลูกพืชทดลองไว้แล้ว ในการทดลองศึกษารุ่นนี้ จึงทำการตัดต้นพืชก่อนทำการทดลองให้มีขนาด 45 เซนติเมตร เหนือระดับดินทุกแปลง

5. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ทำการทดลองเป็นน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ซึ่งถูกปล่อยลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบฝิ่งของโรงฆ่าสัตว์ ที่เป็นบ่อฝิ่งที่ 1 แล้วปล่อยล้นลงสู่บ่อฝิ่งที่ 2 จากนั้นน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ ที่มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสแตกต่างกันมาทำการทดลอง น้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 จะสูบเข้าแปลงทดลองที่ 1-4 และน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 จะสูบเข้าแปลงทดลองที่ 5-8 แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภาพการนำน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ เข้าแปลงทดลอง

6. วิธีการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบฝิ่งบ่อที่ 1 และ 2 ช่วงเวลาการขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

6.1 การทดลองบำบัดน้ำเสีย

6.1.1 สูบน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 ลงแปลงบำบัดน้ำเสียที่ 1 2 3 และ 4 จนระดับน้ำในแปลงทดลองสูง 25 เซนติเมตร จากนั้นสูบน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 ลงในแปลงบำบัดน้ำเสียที่ 5 6 7 และ 8 จนมีระดับน้ำสูง 25 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ชั่งน้ำไว้ในแปลงทดลอง 5 วัน แล้วระบายน้ำออกจนแห้ง 2 วัน คิดเป็น 1 รอบการทดลอง ก่อนทำการชั่งน้ำในรอบการทดลองต่อไป

6.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียลงขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร ที่เขียนฉลากระบุรหัส และวันที่เก็บตัวอย่าง แปลงละ 2 ขวด เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างน้ำทุกรอบการทดลองหลังชั่งน้ำไว้ในแปลงทดลอง 5 วัน แล้วระบายแห้ง 2 วัน ทำการทดลอง 12 รอบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำตามวิธีการที่กำหนดไว้ใน Standard Method for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA และ WEF, 1995) โดยกำหนดดัชนีคุณภาพน้ำดังตารางที่ 3

6.1.3 เมื่อทำการชั่งน้ำครบ 5 วัน เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว หลังจากปล่อยให้ให้น้ำไหลล้างท่อไปประมาณ 10-15 นาที จากแต่ละแปลงทดลอง และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเหมือนข้อ 5.1.2 ส่วนน้ำในแปลงที่เหลือก็ระบายทิ้งออกไปจนหมด

6.1.4 การคาดคะเนประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยสมมติให้ปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไป และน้ำที่ระบายออกมาไม่แตกต่างกัน สามารถหาประสิทธิภาพการบำบัดได้จากสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณของสารก่อนการบำบัด} - \text{ปริมาณของสารหลังการบำบัด}}{\text{ปริมาณของสารก่อนการบำบัด}} \times 100$$

ตารางที่ 3 ดัชนีคุณภาพน้ำ การเก็บรักษาตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	การเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือและวิธีการ
คุณสมบัติทางกายภาพ		
1. อุณหภูมิ (temperature, °C)	วิเคราะห์ภาคสนาม	Thermometer
คุณสมบัติทางเคมี		
2. ความเป็นกรดต่าง (pH)	วิเคราะห์ภาคสนาม	pH-Meter
3. ความเป็นด่าง(alkalinity, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Titration method
4. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO, mg/l)	วิเคราะห์ภาคสนาม	DO-meter
5. ค่าการนำไฟฟ้า(EC,µs/cm)	วิเคราะห์ภาคสนาม	Conductivity-meter
6. ของแข็งละลาย (TDS, ppm)	วิเคราะห์ภาคสนาม	Conductivity-meter
7. ไนเตรต(nitrate, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Cadmium reduction method
8. ไนไตรท์(nitrite, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Colorimetric method
9. แอมโมเนีย(ammonia, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Koroleff's Indophenol Blue method
10. ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Kjeldahl method
11. ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Ascorbic acid method
12. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus, mg/l)	แช่เย็นที่ 4° C	Ascorbic acid method

6.2 การศึกษาสมบัติของดิน

เก็บตัวอย่างดินบน (top soil) ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ที่บริเวณหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลงทดลอง แล้วนำมารวมกันให้ได้ปริมาณแปลงละ 1 กิโลกรัม ทั้งในแปลง ฤๅษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ รอบการทดลองจนครบ 12 รอบการทดลอง นำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาตากแห้งด้วยวิธีผึ่งในที่ร่ม (air dry) บดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ที่ห้องปฏิบัติการ

6.3 การศึกษาการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ และธาตุอาหารในพืช

6.3.1 การเจริญเติบโตของรูปถ่ายในแต่ละแปลงนั้นจะวัดความสูงของรูปถ่ายทั้งหมด 10 ต้น ต่อ 1 รอบการทดลอง โดยในแต่ละแปลงจะทำเครื่องหมายไว้ที่ต้นรูปถ่ายทั้ง 10 ต้น เมื่อครบรอบการทดลองใหม่จะวัดความสูงของรูปถ่ายต้นเดิมอีก เพื่อให้ได้ผลการวัดความสูงของรูปถ่ายที่ถูกต้อง นำค่าความสูงทั้ง 10 ค่า มาหาค่าเฉลี่ย ก็จะได้เป็นความสูงของรูปถ่ายทดลองในแต่ละแปลงทดลอง

6.3.2 การศึกษามวลชีวภาพของรูปถ่าย เมื่อทดลองครบ 83 วัน ทำการตัดต้นพืชทั้งหมด 6 แปลง แปลงละ 1 กิโลกรัม โดยตัดต้นพืชทั้งหมดในแปลงทดลองตั้งแต่ส่วนที่เหนือดินขึ้นไป ชั่งน้ำหนักพืชที่ตัดมาทั้งแปลง (น้ำหนักเปียกทั้งแปลง) จากนั้นสุมตัวอย่างมาแปลงละ 1 กิโลกรัม เก็บตัวอย่างพืชใส่ถุงกระดาษที่ได้ชั่งน้ำหนักไว้เรียบร้อยแล้ว นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างพืชแห้ง และบันทึกน้ำหนักแห้ง ซึ่งน้ำหนักแห้งก็คือ มวลชีวภาพของพืชทดลองจำนวน 1 กิโลกรัม นำข้อมูลที่ได้นี้มาคูณกับน้ำหนักพืชทั้งแปลง ก็จะได้มวลชีวภาพของพืชในแต่ละแปลง นำตัวอย่างพืชที่บดไว้มาอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อบจนแห้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อไป

7. การนำเสนอข้อมูล

การนำเสนอข้อมูลดิบของการทดลอง คือ คำนีคุณภาพน้ำ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ก่อนและหลังการทดลอง การเจริญเติบโตของพืช มวลชีวภาพ ตลอดจนปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในพืชและในดิน จะนำเสนอไว้ในตารางภาคผนวก จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติ และนำเสนอค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของอิทธิพลแหล่งน้ำเสีย โดยค่าคุณภาพน้ำภายหลังการทดลอง และประสิทธิภาพในการบำบัด ที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิตินั้นจะใช้ดัชนีไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและออร์โธฟอสเฟต ซึ่งดัชนีเหล่านี้เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียจากน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (coefficient of variation; CV) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% เป็นตัววัดความแตกต่าง

ทางสถิติ ถ้าพบว่ามีค่าแตกต่างถึงระดับนัยสำคัญ (*) และนัยสำคัญยิ่ง (**) หากเป็น ns แสดงว่า
ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

8. สถานที่ทำการทดลอง

8.1 สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และพืช : บริเวณแปลงพืชน้ำบำบัดน้ำเสียโครงการศึกษา
วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์ภาคตะวันตก จังหวัด
สุพรรณบุรี และบ่อบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

8.2 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ : ห้องปฏิบัติการคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างดิน: ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.4 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างพืช: ห้องปฏิบัติการกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร

ผลและวิจารณ์

การบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี โดยใช้สภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ 1 และ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ซึ่งมีลักษณะเป็นบ่อฝั่งเชื่อมถึงกัน โดยใช้ช่วงเวลากำจัดน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน ในแปลงที่ปลูกรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช เริ่มทำการศึกษาดังแต่เดือนเมษายน 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550 รวมระยะเวลา 3 เดือน หัวข้อที่ทำการศึกษาคือ ข้อมูลทั่วไปของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี คุณภาพของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ความสูงของพืช มวลชีวภาพ การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลำต้นและรากของรูปธาตุ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

โรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี เป็นโรงฆ่าสัตว์เพียงแห่งเดียวของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่ทำการฆ่าและชำแหละสุกร มีปริมาณสุกรที่ทำการฆ่าและชำแหละประมาณ 24-32 ตัวต่อวัน ดำเนินการ 6 วันในหนึ่งสัปดาห์ยกเว้นวันพระ โดยในกระบวนการฆ่าสุกรและชำแหละสุกร 24 27 และ 32 ตัว จะมีปริมาณน้ำเสียประมาณ 5,976 4,376 และ 9,674 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการฆ่าสุกรของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

ปริมาณสุกร (ตัว)	ความเร็วของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)	ปริมาณน้ำทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตร)
24	0.83	5,976.14
27	0.61	4,376.74
32	1.34	9,674.19

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฆ่าและชำแหละสุกร จะถูกรวบรวมในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบฝิ่งของโรงฆ่าสัตว์ ที่มีจำนวน 4 บ่อ โดยน้ำเสียไหลลงสู่บ่อฝิ่งที่ 1 และสามารถไหลล้นจากบ่อฝิ่งที่ 1 ไปสู่บ่อฝิ่งที่ 2 ได้เท่านั้น ส่วนบ่อฝิ่งที่ 3 และ 4 จะไม่มีน้ำเสียไหลล้นไปเข้า มีเพียงน้ำฝนที่ขังสะสมอยู่ภายในบ่อ ดังนั้นแหล่งน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่นำมาทดลองบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งจึงนำมาจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 (ภาพที่ 7-8)



ภาพที่ 7 บ่อฝิ่งที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี



ภาพที่ 8 บ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

2 คุณภาพน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

2.1 คุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัด

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือน้ำเสียที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมต่างๆ ในโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งถูกปล่อยลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ที่เป็นบ่อฝั่งบ่อที่ 1 แล้วปล่อยให้ น้ำไหลล้นลงสู่บ่อที่ 2 โดยน้ำเสียจากบ่อที่ 1 จะสูบเข้าแปลงทดลองที่ 1 ถึงแปลงทดลองที่ 4 และน้ำเสียจากบ่อที่ 2 จะสูบเข้าแปลงทดลองที่ 5 ถึงแปลงทดลองที่ 8 โดยแปลงทดลองที่ 4 และแปลงทดลองที่ 8 เป็นแปลงที่ไม่ได้ปลูกพืช และเป็นแปลงควบคุมที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำการทดลอง 12 รอบการทดลอง รวมทั้งสิ้น 83 วัน มีดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำ การตรวจวิเคราะห์ 12 ดัชนี คือ อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) การนำไฟฟ้า (EC) ของแข็งละลาย (TDS) ความเป็นด่าง (alkalinity) ไนเตรต (nitrate) ไนไตรท์ (nitrite) แอมโมเนีย (ammonia) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) และไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) นำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเสนอผลการวิเคราะห์ในรอบการทดลอง นำเสนอไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ก่อนการบำบัด

ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำจากบ่อฝั่งที่ 1 ก่อนเข้าแปลงบำบัด มีอุณหภูมิ 31.1 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่าง 6.93 ปริมาณออกซิเจนละลาย 0.70 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำไฟฟ้า 877 ไมโครซิเมน ของแข็งละลาย 465 พีพีเอ็ม ความเป็นด่าง 414 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 32.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 11.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด 12.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 55.88 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของข้อมูลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆ พบว่า ไนเตรตมีความแปรปรวนสูงสุด คือ 140 เปอร์เซ็นต์ ไนไตรท์ 53.33 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 17.86 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนีย 8.36 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจน ตามวัฏจักรไนโตรเจน ส่วนฟอสฟอรัสในรูปแบบออร์โธฟอสเฟต มีความแปรปรวน 13.81 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความแปรปรวน 14.78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

2.1.2 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ก่อนการบำบัด

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากบ่อฝังที่ 2 ก่อนเข้าแปลงบำบัด มีอุณหภูมิ 31.0 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง 7.51 ปริมาณออกซิเจนละลาย 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำไฟฟ้า 630 ไมโครซิเมน ของแข็งละลาย 259 พีพีเอ็ม ความเป็นด่าง 345 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 18.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 11.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด 12.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 25.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของข้อมูลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ พบว่า ไนเตรตมีความแปรปรวนสูงสุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ ไนไตรท์ 58.82 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 18.64 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนีย 17.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่างๆของไนโตรเจน ตามวัฏจักรไนโตรเจน ส่วนฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความแปรปรวน 9.98 เปอร์เซ็นต์ และ ออร์โธฟอสเฟต มีความแปรปรวน 10.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีก่อนการบำบัด พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้ง 2 บ่อ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของทั้ง 2 บ่อ พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในรอบการทดลองที่ 1-4 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใกล้เคียงกัน รอบการทดลองที่ 5 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด จากนั้นจะลดต่ำลงและเพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบการทดลองที่ 9 สาเหตุที่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 2 บ่อไม่คงที่ เนื่องจาก ปริมาณสุกรที่ทำการฆ่าแต่ละวันไม่เท่ากัน โดยปริมาณสุกรที่ทำการฆ่าจะอยู่ในช่วง 24-36 ตัว ประกอบกับช่วงที่ทำการศึกษาเป็นฤดูฝน จึงมีน้ำฝนมาเจือจางความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนอีกด้วย ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ฯ มีปริมาณค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมการล้างทำความสะอาดภายในโรงฆ่าสัตว์ เมื่อพิจารณาตลอด 12 รอบการทดลองแล้วพบว่าค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีก่อนเข้าแปลง
บำบัดน้ำเสียใน 12 รอบการทดลองระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

ดัชนี	รอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
T. (°C)	33.5	27.8	31.7	29.1	30.1	31.3	33.5	33.5	31.0	29.1	28.8	33.5	31.1	2.3	7.59
pH	7.13	7.13	6.92	6.95	5.62	6.93	6.94	7.08	7.26	6.95	7.17	7.13	6.93	0.43	6.20
DO (mg/l)	1.18	1.13	0.96	0.85	0.47	0.46	0.46	0.45	0.18	0.85	0.29	1.18	0.70	0.37	52.86
EC (µs)	1060	1055	1100	714	752	629	752	1034	582	759	1060	1034	877	191	21.82
TDS (ppm)	575	580	584	371	380	321	380	575	297	371	575	575	465	116	25.04
Alkalinity (mg/l)	491	379	400	393	454	459	474	454	462	165	379	467	414	85	20.67
Nitrate (mg/l)	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	0.06	0.05	0.01	0.15	0.09	0.22	0.00	0.05	0.07	140
Nitrite (mg/l)	0.02	0.14	0.09	0.15	0.09	0.11	0.22	0.30	0.15	0.10	0.20	0.27	0.15	0.08	53.33
Ammonia (mg/l)	35.07	33.50	35.52	30.77	35.52	23.59	27.96	28.47	30.34	32.71	33.30	31.23	32.18	2.69	8.36
Ortho P (mg/l)	11.89	7.43	8.74	10.27	8.74	12.14	9.76	10.32	17.19	8.27	12.12	13.64	11.22	1.55	13.81
Total P (mg/l)	12.85	7.99	10.57	12.32	10.57	13.39	10.79	11.85	11.33	15.70	25.76	14.63	12.72	1.88	14.78
TKN (mg/l)	67.50	59.25	61.25	56.75	65.75	39.75	36.25	26.68	44.25	48.00	64.58	60.53	55.88	9.98	17.86

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีก่อนเข้าแปลง
บำบัดน้ำเสีย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

ดัชนี	รอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
T. (°C)	31.1	29.1	32.0	28.7	33.1	34.0	31.1	30.9	32.2	28.7	29.8	31.1	31.0	1.8	6.10
pH	7.76	7.76	8.19	7.24	6.71	7.59	7.21	7.66	7.53	7.24	7.56	7.76	7.51	0.39	5.19
DO (mg/l)	2.14	2.06	2.48	1.32	1.20	0.97	0.97	0.80	2.64	1.32	0.73	2.14	1.56	0.76	48.72
EC (µs)	777	777	771	317	376	536	376	866	532	587	777	866	630	210	33.34
TDS (ppm)	288	296	283	167	254	266	254	288	270	167	288	288	259	44	17.32
Alkailnity (mg/l)	348	353	385	348	362	365	383	357	367	164	353	357	345	62	18.09
Nitrate (mg/l)	0.00	0.00	0.06	0.04	0.06	0.06	0.08	0.01	0.15	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05	100
Nitrite (mg/l)	0.01	0.18	0.07	0.12	0.07	0.15	0.18	0.30	0.22	0.11	0.31	0.26	0.17	0.10	58.82
Ammonia (mg/l)	20.76	18.03	21.20	17.90	21.20	16.16	12.74	14.58	15.44	15.26	21.61	21.89	18.06	3.23	17.88
Ortho P (mg/l)	13.13	9.03	10.94	12.34	10.94	12.97	12.56	12.92	20.86	8.24	18.26	12.81	11.98	1.27	10.60
Total P (mg/l)	12.30	9.21	12.83	13.33	12.83	13.60	11.98	13.91	11.46	14.41	13.64	13.98	12.93	1.29	9.98
TKN (mg/l)	25.25	23.75	28.25	25.50	32.75	15.50	8.05	11.90	7.05	7.30	11.09	13.78	25.06	4.67	18.64

การที่น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีมีปริมาณไนโตรเจนสูงทั้ง 2 บ่อ โดยพบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 55.88 และ 25.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละรอบการทดลองไม่คงที่ เนื่องจากปริมาณสุกรที่ทำการฆ่าในแต่ละวันไม่เท่ากัน จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของซากสุกร เลือด และสิ่งขับถ่ายจากสุกร เป็นต้น ไหลลงบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ไม่เท่ากัน ประกอบกับช่วงที่ทำการศึกษาเป็นฤดูฝน จึงมีน้ำฝนลงมาปะปนกับน้ำเสียในบ่อบำบัด จึงทำให้ในรอบการทดลองที่ 6-9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำลง Gary และคณะ (1994) กำหนดไว้ว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในแหล่งน้ำที่มีโอกาสก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี จึงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำได้

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และ บ่อฝังที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 12.72 และ 12.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเกิดจากกิจกรรมการล้างทำความสะอาดในกิจกรรมการฆ่าสัตว์ด้วยสบู่หรือผงซักฟอก และเกิดจากเสียจากสัตว์เอง

2.2 คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัด

คุณภาพน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำข้างสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี แสดงดังตารางที่ 7 และ 8 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 หลังการบำบัด

ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำจากบ่อฝังที่ 1 หลังจากผ่านแปลงบำบัดน้ำเสียด้วยระบบน้ำข้างสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี มีอุณหภูมิ 28.0 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดค่า 7.57 ปริมาณออกซิเจนละลาย 1.28 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำไฟฟ้า 600 ไมโครซิเมน ของแข็งละลาย 313.25 พีพีเอ็ม ความเป็นด่าง 390 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 18.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 9.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด 10.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 26.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของข้อมูลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆ พบว่า ไนเตรตมีความแปรปรวนสูงสุด คือ 108.33 เปอร์เซ็นต์ ไนไตรท์ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 18.09 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนีย 16.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจน ตามวัฏจักรไนโตรเจน ส่วนฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความแปรปรวน 14.57 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต มีความแปรปรวน 18.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

2.2.2 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 หลังการบำบัด

ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำจากบ่อฝังที่ 2 หลังจากผ่านแปลงบำบัดน้ำเสียด้วยระบบน้ำข้างสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี มีอุณหภูมิ 27.8 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดค่า 7.63 ปริมาณออกซิเจนละลาย 1.64 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำไฟฟ้า 507 ไมโครซิเมน ของแข็งละลาย 217 พีพีเอ็ม ความเป็นด่าง 322 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรต 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย 2.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 10.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด 10.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 7.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของข้อมูล (CV) ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆ พบว่า ไนเตรตมีความแปรปรวนสูงสุด คือ 84.62 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 57.84 เปอร์เซ็นต์ ไนไตรท์ 66.67 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนีย 16.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจน ตามวัฏจักรไนโตรเจน ส่วนฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความแปรปรวน 14.57 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต มีความแปรปรวน 18.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลบแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลองระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

ดัชนี	รอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
T. (°C)	27.8	27.8	27.8	28.8	28.2	27.8	29.6	27.8	29.6	26.4	26.5	29.5	28.1	1.4	4.81
pH	7.51	7.57	7.20	7.48	7.50	7.43	7.62	7.62	7.88	7.86	7.74	7.47	7.57	0.33	4.36
DO (mg/l)	2.04	1.34	1.34	0.54	0.54	1.34	1.23	1.23	1.66	1.41	1.34	1.34	1.28	0.45	35.16
EC (µs)	752	430	430	555	555	752	738	555	532	461	440	999	600	184	30.70
TDS (ppm)	399	222	399	276	276	399	387	276	276	226	220	399	313	80	25.81
Alkalinity (mg/l)	382	372	323	450	382	314	418	344	410	448	427	412	390	45	11.56
Nitrate (mg/l)	0.01	0.22	0.04	0.33	0.07	0.16	0.17	0.26	0.15	0.08	0.01	0.00	0.12	0.13	108
Nitrite (mg/l)	0.09	0.07	0.13	0.12	0.23	0.14	0.04	0.04	0.09	0.17	0.11	0.26	0.12	0.08	66.67
Ammonia (mg/l)	18.44	18.43	17.62	14.45	16.42	15.62	17.03	17.68	20.15	21.46	24.46	22.74	18.71	3.04	16.25
Ortho P (mg/l)	10.18	7.43	8.25	9.42	8.74	10.89	9.61	9.34	10.45	8.27	11.53	13.21	9.78	1.77	18.10
Total P (mg/l)	10.76	7.99	8.68	10.59	11.01	11.71	10.69	10.64	11.09	12.71	12.88	13.04	10.98	1.60	14.57
TKN (mg/l)	25.75	27.75	24.50	19.00	25.75	26.58	23.88	24.23	25.68	30.75	35.10	28.78	26.48	4.79	18.09

ตารางที่ 8 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

ดัชนี	รอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
T. (°C)	28.0	25.5	28.0	28.5	25.2	28.0	29.4	28.0	29.7	26.6	27.9	29.4	27.8	1.6	5.85
pH	7.39	7.48	7.32	7.73	7.77	7.63	7.61	7.61	7.87	7.70	7.71	7.81	7.63	0.52	6.84
DO (mg/l)	2.93	1.91	1.91	0.58	0.58	1.91	1.51	1.51	1.83	1.24	1.91	1.91	1.64	0.66	40.24
EC (µs)	604	439	439	432	432	604	594	432	408	524	407	774	507	126	24.93
TDS (ppm)	322	241	322	220	220	322	369	220	243	255	194	322	271	61	22.59
Alkailnity (mg/l)	316	318	282	364	316	269	349	292	327	356	336	341	322	37	11.73
Nitrate (mg/l)	0.02	0.14	0.00	0.19	0.06	0.14	0.18	0.38	0.14	0.13	0.11	0.10	0.13	0.11	84.62
Nitrite (mg/l)	0.07	0.10	0.22	0.09	0.24	0.11	0.04	0.04	0.14	0.17	0.11	0.23	0.13	0.07	53.85
Ammonia (mg/l)	4.05	1.71	3.96	1.80	1.25	0.94	0.78	1.95	2.32	1.48	1.99	3.42	2.14	1.15	53.74
Ortho P (mg/l)	10.27	8.90	9.00	10.28	10.89	10.77	10.61	10.40	10.71	8.24	10.86	11.33	10.19	1.14	11.19
Total P (mg/l)	10.45	9.04	9.13	10.68	11.79	11.10	11.46	10.86	11.46	11.60	11.18	11.97	10.89	1.16	10.65
TKN (mg/l)	12.63	14.43	12.78	4.43	4.30	4.70	2.73	5.55	4.89	4.38	5.30	12.73	7.40	4.28	57.84

3. ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย

ปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์หลังการบำบัด มีดัชนีที่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเป็นรูปแบบของไนโตรเจนที่มีในน้ำเสีย ปริมาณฟอสฟอรัสที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติมีดัชนี คือ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัด ใน 12 รอบการทดลอง ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช แสดงไว้ในตารางที่ 9 ดังนี้

ตารางที่ 9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝิ่งที่ 1															
ก่อนบำบัด	67.50	59.25	61.25	56.75	65.75	52.80	39.60	39.10	47.05	50.37	64.58	65.52	56.28	10.18	18.09
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่าย	25.33	28.33	25.33	19.00	25.33	26.43	23.67	24.03	25.57	31.00	35.00	34.17	26.93	4.48	16.62
แปลงควบคุม	27.00	26.00	22.00	19.00	27.00	27.00	24.50	24.80	26.00	30.00	35.40	32.60	25.11	5.48	21.85
บ่อฝิ่งที่ 2															
ก่อนบำบัด	25.25	23.75	28.25	25.50	35.25	22.40	17.45	18.77	22.80	25.87	29.07	26.32	25.04	4.62	18.43
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่าย	12.50	13.60	12.20	3.77	4.13	4.13	1.83	5.43	5.08	4.33	5.30	12.83	7.09	4.21	59.40
แปลงควบคุม	13.00	16.90	14.50	6.40	4.80	6.40	5.40	5.90	4.30	4.50	5.30	12.40	8.25	4.30	52.11

จากตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 ก่อนการบำบัด หลังการบำบัดด้วยรูปถ่าย และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 56.28 ± 10.18 26.93 ± 4.48 และ 25.11 ± 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 18.09 16.62 และ 21.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด หลังการบำบัดด้วยรูปถ่าย และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชมีค่าเฉลี่ย 25.04 ± 4.62 7.09 ± 4.21 และ 8.25 ± 4.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 18.48 59.40 และ 54.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีตามตารางภาคผนวกที่ 1 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัดของทั้ง 2 ชุดการทดลองลดลงอย่างชัดเจน เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 (ตารางที่ 10) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปถุนา และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 11) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์ทางสถิติ พบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียที่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียทั้งก่อนบำบัด หลังบำบัดด้วยรูปถุนา และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังแสดงในตารางที่ 10 การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียก่อนบำบัด หลังบำบัดด้วยรูปถุนา และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชแตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากจากน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อที่รับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยตรงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ไหลล้นมาจากบ่อฝั่งที่ 1 การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 ต่ำกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 เนื่องจาก ในช่วงที่เก็บกักน้ำเสียในบ่อฝั่งที่ 1 ก่อนจะไหลล้นลงสู่บ่อฝั่งที่ 2 จุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนไปแล้วบางส่วน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจึงลดลง

การที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียลดลงหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้ง ร่วมกับรูปถุนา เนื่องมาจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะสลายตัวเกิดเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียมไอออนจะแพร่กระจายในน้ำที่ขังอยู่เหนือดินซึ่งเป็นชั้นที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำ แอมโมเนียมไอออนจึงถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งจะอยู่ในชั้นที่มีออกซิเจนนี้ เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไป ไนเตรตจะถูกดีไนตริไฟส์ (denitrified) ไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) หรือก๊าซไนโตรเจน (N_2) (ทัศนีย์, 2534) ซึ่งสอดคล้องกับ ไพบูลย์ (2528) ที่กล่าวว่า เมื่อดินมีการขังน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนอิสระระหว่งอากาศในดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง โดยก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศจะแพร่กระจายอยู่ในชั้นน้ำที่ขังอยู่เหนือดินเท่านั้น ดินจึงอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์ในกลุ่มที่อยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facultative bacteria) จะใช้ในเตรตเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน จึงทำให้ไนโตรเจนในน้ำเสียลดลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 10 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
ก่อนบำบัด	บ่อฝังที่ 1	56.28	10.18	18.09	16.76 **
	บ่อฝังที่ 2	25.04	4.62	18.43	
หลังบำบัด (แปลงรูปธาตุ)	บ่อฝังที่ 1	26.93	4.48	16.62	19.36 **
	บ่อฝังที่ 2	7.09	4.21	59.40	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	25.11	5.48	21.85	14.51 **
	บ่อฝังที่ 2	8.25	4.30	52.11	

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

อิทธิพลของการปลูกพืช ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัด ใน 12 รอบการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัดของแปลงปลูกรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยรูปธาตุ มีปริมาณสูงกว่าในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ในน้ำเสียก่อนบำบัดที่เข้ามาในแปลงบำบัดน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สูงมากจนทำให้เกิดจากการไล่ที่แอมโมเนียมไอออนที่ดินเหนียวดูดซับเอาไว้ด้วย Fe^{2+} ซึ่งเกิดจากการ reduction ของ Fe (III) ในแปลงควบคุมที่มากกว่าเมื่อมีพืช เพราะพืชจะดูดดึงเอา Fe^{2+} ไปใช้ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อรทัย (2550) ที่ทำการศึกษการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองสุพรรณบุรีด้วยพุทธรักษา 3 ชนิด แล้วพบว่าแปลงในพุทธรักษาใบเขียวดอกเหลืองมีประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำน้อยกว่าดินเปล่า เนื่องจากสาเหตุที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น และอีกสาเหตุหนึ่งน่าจะมาจากการที่ระยะเวลาในการขังน้ำเพียง 5 วัน อาจทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่ม anaerobes ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้ไม่หมด จึงยังมีปริมาณไนโตรเจนปนออกมากับน้ำหลังการบำบัดอยู่สูง ส่วนในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัด

ด้วยรูปถ่ายที่มีปริมาณต่ำกว่าในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบยึดเอาแอมโมเนียมไอออนที่มีประจุบวกเอาไว้ และรูปถ่ายคูดเอาแอมโมเนียมไอออนไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอรทัย (2550) ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ถึงแม้ว่าอิทธิพลอิสระของการปลูกพืชจะไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายหลังการบำบัดมีความแตกต่างกันทางสถิติจนถึงระดับนัยสำคัญ แต่ก็ควรปลูกพืชร่วมด้วยในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากพืชจะเป็นตัวช่วยในการขนย้ายมลสารอื่นออกจากระบบ และพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้อีก

ตารางที่ 11 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่าย และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝั่งที่ 1				
แปลงรูปถ่าย	26.93	4.48	16.62	1.546 ^{ns}
แปลงควบคุม	25.11	5.48	21.85	
บ่อฝั่งที่ 2				
แปลงรูปถ่าย	7.09	4.21	59.40	-1.151 ^{ns}
แปลงควบคุม	8.25	4.30	52.11	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.2 แอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียหลังการบำบัด

เมื่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ไหลลงไปในดินในระบบบำบัดแล้ว จะถูกจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph) ย่อยสลายโปรตีนในอินทรีย์ไนโตรเจน การย่อยสลายนี้เป็นแบบ enzymatic digestion ซึ่งจะเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compound เช่น proteose และ peptone และในที่สุดจะเปลี่ยนไปเป็นอะมิโนและกรดอะมิโนต่างๆ โดยจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากระบวนการย่อยสลายโปรตีนนี้ ส่วน

สารประกอบอะมีน และกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปแบบอื่นๆ โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ทำการย่อยสลายสารประกอบพวกอะมีน และกรดอะมิโน แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอลกอฮอล์ (R-OH) และพลังงาน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แล้วแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออน แอมโมเนียมไอออนจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ 2 ทาง คือ ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ และพืชนำไปใช้ ส่วนไฮดรอกไซด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนที่มาจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต แล้วกลายเป็นน้ำ

ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียของบ่อสิ่งที่ 1 และบ่อสิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ หลังการบำบัด ใน 12 รอบการทดลอง ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อสิ่งที่ 1 และบ่อสิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อน และหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อสิ่งที่ 1															
ก่อนบำบัด	35.07	33.50	35.52	30.77	35.52	23.59	27.96	28.47	30.34	32.71	33.30	31.23	32.28	2.75	8.53
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่าย	17.69	18.48	18.63	14.46	16.59	15.87	16.90	17.48	20.30	22.03	24.68	22.67	18.81	3.04	16.13
แปลงควบคุม	20.71	18.28	14.58	14.40	15.92	14.89	17.44	18.28	19.69	19.73	23.82	22.96	18.40	3.04	16.52
บ่อสิ่งที่ 2															
ก่อนบำบัด	20.76	18.03	21.20	17.90	21.20	16.16	12.74	14.58	15.44	15.26	21.61	21.89	18.28	3.37	18.45
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่าย	3.78	1.62	4.26	1.71	1.14	0.91	0.88	1.62	2.14	1.24	1.82	3.33	2.04	1.15	56.26
แปลงควบคุม	4.83	1.98	3.05	2.07	1.58	1.02	0.49	2.92	2.88	2.21	2.48	3.68	2.43	1.13	46.63

จากตารางที่ 12 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อสิ่งที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนการบำบัด หลังการบำบัดด้วยรูปถ่าย และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย

32.28±2.75 18.81±3.04 และ 18.04±3.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 8.53 16.13 และ 17.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนการบำบัด หลังการบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 18.28±3.37 2.04 ±1.15 และ 2.43±1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 18.45 56.26 และ 46.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีตามตารางภาคผนวกที่ 2 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียหลังการบำบัดของทั้ง 2 ชุดการทดลองลดลงอย่างชัดเจน เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 13) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 14) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์ทางสถิติพบว่า

ตารางที่ 13 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัดตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
ก่อนบำบัด	บ่อฝังที่ 1	32.28	2.75	8.53	19.31 **
	บ่อฝังที่ 2	18.28	3.37	18.45	
หลังบำบัด (แปลงรูปถ่ายิ)	บ่อฝังที่ 1	18.81	3.04	16.13	31.80 **
	บ่อฝังที่ 2	2.04	1.15	56.26	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	18.40	3.04	16.52	29.52 **
	บ่อฝังที่ 2	2.43	1.13	46.63	

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 13 พบว่า อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียที่ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีก่อนบำบัด หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) การที่ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีก่อนบำบัด หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชแตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากจากน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อที่รับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยตรงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ไหลล้นมาจากบ่อฝั่งที่ 1 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันจึงสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2

อิทธิพลของการปลูกพืช ต่อปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีก่อนการบำบัด พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสีก่อนการบำบัดของแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝั่งที่ 1				
แปลงรูปถ่ายิ	18.81	3.04	16.13	0.58 ^{ns}
แปลงควบคุม	18.40	3.04	16.52	
บ่อฝั่งที่ 2				
แปลงรูปถ่ายิ	2.04	1.15	56.26	-1.46 ^{ns}
แปลงควบคุม	2.43	1.13	46.63	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การที่ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนภายหลังการบำบัดมีปริมาณลดลงทั้งในแปลงที่มีพืชและแปลงที่ไม่มีพืช เป็นเพราะสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่หายใจได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งแอมโมเนียนี้เป็นรูปแบบของไนโตรเจนที่มีประโยชน์ต่อพืชและมีประจุบวกซึ่งจะถูกอนุภาคของดินเหนียวที่มีประจุลบดูดซับไว้ การลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำน่าจะเริ่มต้นจากการดูดซับแอมโมเนียที่มีอยู่แล้วในน้ำเสียโดยอนุภาคดินเหนียว จากนั้นพืชจะดูดซับเอาแอมโมเนียในน้ำไปใช้โดยผ่านราก เนื่องจากในตอนกลางวันรากพืชจะต้องดูดน้ำตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนออกทางผิวใบด้วยกระบวนการคายน้ำ ส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ไม่ได้เกิดกระบวนการดังกล่าวก็จะไม่ถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวและพืช จึงถูกระบายออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วการที่แปลงควบคุมที่มีพืชมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังการบำบัดน้อยกว่าในแปลงรูปฤาษี น่าจะมีสาเหตุจากรูปฤาษีอาจดูดดึงเอาแอมโมเนียไปใช้ได้ไม่ดี แอมโมเนียไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำจึงไม่ถูกใช้โดยพืช แต่ยังคงถูกอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้ จึงน่าจะมีสาเหตุจากการไล่ที่แอมโมเนียที่ดินเหนียวดูดซับเอาไว้ด้วย Fe^{2+} ซึ่งเกิดจากการ reduction ของ Fe (III) ในแปลงควบคุมที่มากกว่าเมื่อมีพืช เพราะพืชจะดูดดึงเอา Fe^{2+} ไปใช้ด้วย เช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

3.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัด

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมักพบว่าเป็น growth limiting nutrient ของแหล่งน้ำ ดังนั้นการปล่อยน้ำเสียดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำอาจจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำ จนก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้ รูปแบบของฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้นั้นจะอยู่ในรูปฟอสฟอรัสละลายน้ำ หรือออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) ส่วนโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) ที่พบมากจากการซักล้าง และอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) ที่มาจากกระบวนการทางชีวภาพนั้นพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียของบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี หลังบำบัดด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 12.70 ± 1.89 11.02 ± 1.47 และ 10.87 ± 1.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 14.90 13.35 และ 17.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนการบำบัด ภายหลังการบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชมีค่าเฉลี่ย 12.89 ± 1.27 11.02 ± 1.04 และ 10.52 ± 1.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 9.86 9.48 และ 13.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อน และหลังการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายิ ใน 12 รอบการ ทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝังที่ 1															
ก่อนบำบัด	12.85	7.99	10.57	12.32	10.57	13.39	10.79	11.85	11.33	15.70	25.76	14.63	12.70	1.89	14.90
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่ายิ	10.96	8.04	8.66	11.13	11.16	11.57	10.52	11.20	10.95	12.52	12.60	12.88	11.02	1.47	13.35
แปลงควบคุม	10.17	7.85	8.76	8.96	10.56	12.11	11.21	8.96	11.51	13.29	13.71	13.49	10.87	1.94	17.84
บ่อฝังที่ 2															
ก่อนบำบัด	12.30	9.21	12.83	13.33	12.83	13.60	11.98	13.91	11.46	14.41	13.64	13.98	12.89	1.27	9.86
หลังบำบัด															
ด้วยรูปถ่ายิ	10.49	9.04	9.16	11.33	12.05	11.26	11.29	11.56	11.67	10.98	11.32	12.07	11.02	1.04	9.48
แปลงควบคุม	10.34	9.03	9.03	8.75	11.04	10.62	11.96	8.75	10.86	13.47	10.76	11.65	10.52	1.41	13.42

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมือง สุพรรณบุรีตามตารางภาคผนวกที่ 3 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัด ใกล้เคียงกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนการบำบัด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เมื่อนำข้อมูลมา วิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝัง ที่ 2 (ตารางที่ 16) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปถ่ายิ และ แปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 17) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

ตารางที่ 16 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัดตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
ก่อนบำบัด	บ่อฝั่งที่ 1	12.70	1.89	14.90	-0.50 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	12.89	1.27	9.86	
หลังบำบัด (แปลงรูปฤาษี)	บ่อฝั่งที่ 1	11.02	1.47	13.35	-0.004 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	11.02	1.04	9.48	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝั่งที่ 1	10.87	1.94	17.84	0.88 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	10.52	1.41	13.42	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 16 พบว่า อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียที่ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียทั้งก่อนบำบัด หลังการบำบัดด้วยรูปฤาษี และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) การที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเนื่องมาจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียก่อนการบำบัดของทั้ง 2 บ่อ มีค่าใกล้เคียงกันมากจนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช จึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อิทธิพลของการปลูกพืช ต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดภายหลังการบำบัด พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียหลังการบำบัดในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีปลูกพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ในแปลงรูปฤาษี และในแปลงควบคุมที่ไม่มีปลูกพืช การที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังบำบัดในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีสาเหตุมาจากฟอสฟอรัสในน้ำเสียส่วนมากจะกลายเป็นฟอสโฟโปรตีนใน

เซลล์ของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ อรทัย (2550) ที่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีหลังการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลัดแห้งร่วมกับพุทธรักษา ในแปลงปลูกพืช และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 17 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝิ่งที่ 1				
แปลงรูปฤาษี	11.02	1.47	13.35	0.35 ^{ns}
แปลงควบคุม	10.87	1.94	17.85	
บ่อฝิ่งที่ 2				
แปลงรูปฤาษี	11.02	1.04	9.48	1.69 ^{ns}
แปลงควบคุม	10.52	1.41	13.42	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียภายหลังการบำบัดลดลงน้อยมากจึงได้ทำการทดสอบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนบำบัดและหลังบำบัด ด้วยค่า t-test เพื่อแสดงความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำก่อนและหลังการบำบัดดังตารางที่ 18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียภายหลังการบำบัดจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็เป็นการลดลงที่ระดับนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ยกเว้นในแปลงรูปฤาษีที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 ที่เป็นการลดลงที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 18 ค่า t-test แสดงความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียก่อนและหลัง
การทดลองตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	t-test
บ่อฝังที่ 1	แปลงรูปถ่าย	4.21 **
	แปลงควบคุม	4.04 **
บ่อฝังที่ 2	แปลงรูปถ่าย	6.82 *
	แปลงควบคุม	7.43 **

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียลดลง มีสาเหตุมาจากฟอสฟอรัสในน้ำก่อนบำบัดจะถูกจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเพื่อการหายใจดูดเอาไปใช้สร้างฟอสโฟโปรตีนในนิวเคลียสของมันแล้วไม่ขับถ่ายอนินทรีย์ฟอสเฟตออกมา แต่ในแปลงที่มีพืชซึ่งเจริญเติบโตปกดินกระทั่งออกดอกนั้น พืชน่าจะต้องการดูดไอออนินทรีย์ฟอสเฟต อนินทรีย์ฟอสเฟตที่เข้าไปอยู่ในพืชนี้น่าจะเกิดจากการรูดักชั้นเป็นเฟอร์ส-ฟอสเฟตของเฟอร์ริกฟอสเฟต เพราะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนร่วมกับสารประกอบเฟอร์ริก(FeIII) ทั้งเฟอร์ริกออกไซด์และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอน หลักเพราะมีอยู่มากในเปลือกโลก (ไพบูลย์, 2528) และแมงกานีส (Mn IV) โดยเฉพาะแมงกานีสไดออกไซด์ เฟอร์สฟอสเฟตนี้ละลายน้ำได้มากกว่าเฟอร์ริกฟอสเฟตมากและเป็นประโยชน์ต่อข้าวและพืชที่ทนน้ำท่วมได้ทั่วไป (Islam and Elahi, 1954; Shapiro, 1958; Chang and Chu, 1959; Davide, 1961; Tyner and Davide, 1962; Valencia, 1962; Ponnampereuma, 1965; Patrick and Mahapatra, 1968; Phongpan, 1977; ไพบูลย์, 2528 และ ทักษิณีย์, 2543) เฟอร์ริกฟอสเฟตเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตหลักในดินนาของประเทศไทย (Kawaguchi and Kyuma, 1969; Cholitul and Tyner, 1971; and Phongpan, 1977) การทดลองนี้ได้ใช้ดินนาซึ่งเป็นดินเหนียวมาผสมกับทรายหยาบอัตรา 3:1 เพื่อปรับเนื้อดินให้เป็นดินร่วน (loam) เพื่อให้มีช่องว่างขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้การซึมน้ำที่จะใช้บำบัดได้เร็วขึ้นและถูกบำบัดด้วยระบบดิน

น้ำขัง (ดินแห้งสนิทมาก่อน) สลับกับระบายให้แห้งได้รวดเร็วขึ้น และมีพืชเพื่อขนย้ายสารอินทรีย์ที่ถูกบำบัดแล้วออกไปจากระบบดินไปทำให้พืชเจริญเติบโตและทำให้ระบบทำงานได้ตลอดไปด้วย การเก็บเกี่ยวเอาพืชนั้นๆ การที่ในแปลงที่มีพืชนั้นเหลือฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียนั้นมากกว่าเมื่อไม่มีพืชนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอินทรีย์ฟอสฟอรัสบางส่วนน่าจะเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชที่ตายลงจึงเกิดความแตกต่างไม่ชัดเจนของแปลงที่มีการปลูกพืชและแปลงควบคุม

การที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียนั้นภายหลังการบำบัดลดลงเพียงเล็กน้อยน่าจะมีสาเหตุมาจาก ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียนั้นก่อนการบำบัดมีสูงมากจนอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำเสียถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการหายใจเอาไปใช้ในการสร้างเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอาไปเป็นฟอสโฟโปรตีนในนิวเคลียสแล้วจะมีการขับถ่ายเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตออกมาก หรือน่าจะมีมากจนจุลินทรีย์นำไปใช้ไม่หมด เพราะพลังงานที่ใช้สร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ฟอสเฟต (พลังงานศักย์) นั้นสูงมาก พลังงานที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้รับจากการหายใจโดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และใช้สารประกอบเฟอร์ริก (FeIII) เช่น เฟอร์ริกออกไซด์ และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ และแมงกานีส (Mn IV) เช่น แมงกานีสไดออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนน่าจะพอเพียงเพื่อใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจนเป็นแอมโมเนียมเท่านั้น (ประเสริฐ, 2540) อนุกรมโมโนฟอสเฟต (H_2PO_4) ซึ่งอาจมีอยู่บ้างอาจถูกพืชที่ปลูกและสาหร่าย (ในแปลงควบคุม) เอาไปใช้ได้บ้างแต่คงจะน้อยมากจึงเหลือฟอสฟอรัสทั้งหมดปนมากับน้ำเสียนั้นหลังการบำบัดมาก

อีกสาเหตุหนึ่งของการที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียนั้นลดลงเพียงเล็กน้อยน่าจะมาจาก ฟอสฟอรัสในดินที่ทำการทดลองมีอยู่สูง อนุภาคดินเหนียวจึงดูดซับเอาอนุกรมฟอสเฟตไว้ได้น้อย จึงมีพืชเพียงอย่างเดียวที่ดึงเอาอนุกรมฟอสเฟตไปใช้ แต่ในการดึงเอาอนุกรมฟอสเฟตไปใช้ในพืชก็มีข้อจำกัดในเรื่องของชนิดพันธุ์ด้วย

3.4 ออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียนั้นหลังการบำบัด

ออร์โธฟอสเฟต เป็นรูปแบบของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำที่พืช และจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยปกติจะพบในรูป $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^{2-}$, PO_4^{2-} ซึ่งมีอยู่ในน้ำธรรมชาติ ส่วนที่มาของออร์โธฟอสเฟตในน้ำมาจากการที่สารประกอบ โพลีฟอสเฟต (ส่วนมากมาจากผงซักฟอก) เกิดขบวนการไฮโดรไลซิส กลายเป็นโพลีฟอสเฟต

ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีหลังการบำบัด ใน 12 รอบการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 19 ดังนี้

ตารางที่ 19 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับจุลินทรีย์ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งน้ำเสีย	ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝังที่ 1															
ก่อนบำบัด	11.89	7.43	8.74	10.27	8.74	12.14	9.76	10.32	17.19	8.27	12.12	13.64	11.23	1.51	13.46
หลังบำบัด															
ด้วยจุลินทรีย์	10.24	7.41	8.16	10.30	8.59	10.58	9.51	10.19	10.27	8.22	10.81	13.20	9.79	1.57	16.06
แปลงควบคุม	10.01	7.5	8.52	6.67	9.16	11.84	9.91	6.71	11.01	8.42	13.67	13.25	9.74	2.26	23.24
บ่อฝังที่ 2															
ก่อนบำบัด	13.13	9.03	10.94	12.34	10.94	12.97	12.56	12.92	20.86	8.24	18.26	12.81	12.01	1.18	9.81
หลังบำบัด															
ด้วยจุลินทรีย์	10.34	8.91	9.01	10.99	11.17	10.92	10.59	11.15	10.72	8.2	10.93	11.68	10.38	1.12	10.80
แปลงควบคุม	10.08	8.89	8.98	8.14	10.05	10.33	10.66	8.14	10.66	8.38	10.67	10.27	9.61	0.99	10.30

จากตารางที่ 19 พบว่า ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนการบำบัด หลังการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 11.23 ± 1.51 9.79 ± 1.57 และ 9.74 ± 2.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 13.46 16.06 และ 23.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ก่อนการบำบัดภายหลังการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 12.01 ± 1.18 10.38 ± 1.12 และ 9.61 ± 0.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า CV 9.81 10.80 และ 10.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีตามตารางภาคผนวกที่ 4 พบว่า ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียหลังการบำบัดใกล้เคียงกับปริมาณออร์โทฟอสเฟตก่อนการบำบัด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 (ตารางที่ 20) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีปลูกพืช (ตารางที่ 21) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลให้ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียทั้งก่อนบำบัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียหลังบำบัดด้วยรูปถาวยี่ และในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20 ถึงแม้ว่าปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียทั้ง 2 บ่อก่อนการบำบัดจะมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน จึงอาจทำให้ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียหลังบำบัดทั้งในแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ของทั้ง 2 บ่อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 20 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย ก่อนและหลังบำบัด ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำ เสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
ก่อนบำบัด	บ่อฝั่งที่ 1	11.23	1.51	13.46	-2.44 *
	บ่อฝั่งที่ 2	12.01	1.18	9.81	
หลังบำบัด (แปลงรูปถาวยี่)	บ่อฝั่งที่ 1	9.79	1.57	16.06	-1.848 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	10.38	1.12	10.80	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝั่งที่ 1	9.74	2.26	23.24	0.33 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	9.61	0.99	10.30	

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสียดังกล่าว	ค่าทางสถิติ			
	mean (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝังที่ 1				
แปลงรูปธาตุ	9.79	1.57	16.06	0.10 ^{ns}
แปลงควบคุม	9.74	2.26	23.24	
บ่อฝังที่ 2				
แปลงรูปธาตุ	10.38	1.12	10.80	3.12 [*]
แปลงควบคุม	9.61	0.99	10.30	

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 21 พบว่า อิทธิพลของการปลูกพืชต่อปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวหลังบำบัดในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียดังกล่าวจากบ่อฝังที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวหลังบำบัดในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียดังกล่าวจากบ่อฝังที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เนื่องจากปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวภายหลังการบำบัดลดลงน้อยมาก จึงได้ทำการทดสอบความแตกต่างของปริมาณออร์โทฟอสเฟตก่อนบำบัดและหลังบำบัด ด้วยค่า t-test เพื่อแสดงความแตกต่างของปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวก่อนและหลังการบำบัด แสดงดังตารางที่ 22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียดังกล่าวหลังการบำบัดจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็เป็น การลดลงที่ระดับนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ตารางที่ 22 ค่า t-test แสดงความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียก่อนและหลัง
การทดลองตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	t-test
บ่อฝังที่ 1	แปลงรูปถ่าย	3.97 **
	แปลงควบคุม	3.28 **
บ่อฝังที่ 2	แปลงรูปถ่าย	6.01 **
	แปลงควบคุม	9.38 **

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

การที่ปริมาณออร์โธฟอสเฟตภายหลังการบำบัดของน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อของโรง
ฆ่าสัตว์ลดลงเนื่องจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจใช้
สารอินทรีย์ฟอสเฟตในการสร้างฟอสโฟโปรตีนในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต และให้อินทรีย์
ฟอสเฟตในรูปออร์โธฟอสเฟตออกมา พืชจึงเอาออร์โธฟอสเฟตเหล่านี้ไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อ
แต่การที่ยังมีออร์โธฟอสเฟตเหลือในน้ำเสียในปริมาณที่สูงน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ออร์โธ
ฟอสเฟตในน้ำเสียมีสูงมาก จนรูปถ่าย และสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืช และจุลินทรีย์ในน้ำ
นำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ไม่หมด อีกสาเหตุหนึ่งน่าจะมาจากการที่ดินในแปลงบำบัดน้ำเสียมี
ฟอสฟอรัสอยู่สูงจึงสามารถดูดซับอนุมูลฟอสเฟตในอนุภาคดินเหนียวได้น้อย ซึ่งจะทำให้การศึกษาใน
เรื่องปริมาณฟอสฟอรัสในดินต่อไป

การที่ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียภายหลังการบำบัดลดลงเพียงเล็กน้อย และมีค่า
ใกล้เคียงกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด แสดงว่าฟอสเฟตที่อยู่ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นออร์โธ
ฟอสเฟต และมีอินทรีย์ฟอสเฟตเป็นส่วนน้อย การที่ออร์โธฟอสเฟตลดลงเพียงเล็กน้อยน่าจะเป็น
เพราะพืช และจุลินทรีย์ในน้ำดูดซับออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย และดิน
ในแปลงบำบัดน้ำเสียจะมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่มากจนไม่สามารถที่จะดูดซับเอาอนุมูลฟอสเฟต
ไว้ในอนุภาคดินเหนียวได้อีก จึงมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเหลือมาในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

4. ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ

ในส่วนนี้เป็นการหาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ และแปลงควบคุม โดยมีระยะเวลาการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน โดยนำข้อมูลดิบของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต ก่อนและหลังการบำบัดมาหาประสิทธิภาพการบำบัด โดยในการคำนวณสมมติให้ปริมาณน้ำก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดเท่ากัน สามารถหาประสิทธิภาพการบำบัดได้จากสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณของสารก่อนการบำบัด} - \text{ปริมาณของสารหลังการบำบัด}}{\text{ปริมาณของสารก่อนการบำบัด}} \times 100$$

4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝังที่ 1 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 50.97 ± 9.64 และ 49.10 ± 9.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 18.93 และ 20.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 23) การที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดทั้งในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืชไม่สูงมากนัก แสดงว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนน่าจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้ไม่หมด แต่ส่วนที่ถูกย่อยสลายได้จะถูกเปลี่ยนอนุภาคดินเหนียวดูดซับเอาไว้และอีกส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดเอาไปใช้ด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือในน้ำที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดจึงยังมีค่อนข้างสูง และอาจทำให้เกิดผลกระทบของระบบนิเวศของแหล่งน้ำใกล้เคียงที่เกี่ยวข้องได้

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝังที่ 2 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 71.60 ± 14.40 และ 65.89 ± 17.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 22.81 และ 22.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 23) การที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช สูงกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 น่าจะเป็นเพราะปริมาณ

สารอินทรีย์ในโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 น่าจะมีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียในโตรเจนที่สามารถถูกดูดซับไว้ได้ในอนุภาคดินเหนียว และพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือในน้ำที่ปล่อยออกมาจากระบบจึงไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำใกล้เคียงที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 23 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุฯ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝังที่ 1															
แปลงรูปธาตุฯ	63.64	51.99	58.91	63.83	61.81	50.17	40.53	39.10	45.46	38.82	46.44	47.97	50.97	9.64	18.93
แปลงควบคุม	56.67	55.22	61.12	65.69	56.63	46.75	37.42	32.67	42.73	38.91	46.22	49.19	49.10	9.94	20.24
บ่อฝังที่ 2															
แปลงรูปธาตุฯ	49.95	43.23	56.94	85.15	88.03	81.44	89.75	71.34	77.39	83.15	82.00	50.78	71.60	16.40	22.81
แปลงควบคุม	50.33	26.51	47.33	75.22	86.56	71.27	66.26	67.53	82.00	82.30	81.33	54.08	65.89	17.56	22.64

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 5 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 24) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปธาตุฯ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 25) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์ความแตกต่างทางสถิติพบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดด้วยรูปธาตุฯ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 24 การที่อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เกี่ยวกับการเกิด แอมโมเนียฟิเคชัน ของ facultative anaerobe ซึ่งทำกิจกรรมได้อย่างดีเนื่องจากมีอาหารเพื่อสร้างเซลล์ และเพื่อการหายใจ โดยใช้ active Fe (III) และ Mn (IV) เป็นตัวสารรับอิเล็กตรอนแทน

ออกซิเจนในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน แล้วแอมโมเนียจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบ และบางส่วนจะถูกรากพืชเอาไปใช้ (แปลงรูปถ่ายยิม) การที่ระบบที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 นั้นน่าจะเกิดจากการที่ในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 มีไนโตรเจนทั้งหมดคั่งอยู่สูงมากจน facultative anaerobe ทำให้เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ได้น้อย

ตารางที่ 24 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียดต่ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปถ่ายยิม	บ่อฝังที่ 1	50.97	9.65	18.93	-6.51 **
	บ่อฝังที่ 2	71.60	16.39	22.81	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	49.10	9.94	20.24	-4.99 **
	บ่อฝังที่ 2	65.89	17.56	26.64	

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการปลูกพืช ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของแปลงรูปถ่ายยิม และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 25 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงรูปถ่ายยิมและแปลงควบคุมจะแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาแล้ว จะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงที่ปลูกรูปถ่ายยิมมีสูงกว่าแปลงดินเปล่าซึ่งน่าจะมาสาเหตุจากการที่รูปถ่ายยิมได้ช่วยดูดดึงเอาแอมโมเนียที่เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ไปจากระบบดิน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตอีกส่วนหนึ่งด้วย ดังนั้นจึงควรมีการปลูกพืชร่วมในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเพื่อเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบ และยังสามารถนำพืชไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

ตารางที่ 25 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดใน ไตรเจนทั้งหมดจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่าย และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝิ่งที่ 1				
แปลงรูปถ่าย	50.97	9.65	18.93	0.81 ^{ns}
แปลงควบคุม	49.10	9.94	20.24	
บ่อฝิ่งที่ 2				
แปลงรูปถ่าย	71.60	16.39	22.81	1.42 ^{ns}
แปลงควบคุม	65.89	17.56	26.64	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในไตรเจน

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในไตรเจนในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝิ่งที่ 1 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในไตรเจน มีค่าเฉลี่ย 41.40 ± 10.09 และ 40.75 ± 9.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 24.36 และ 22.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 26) การที่ประสิทธิภาพการบำบัดในไตรเจนทั้งหมดทั้งในแปลงรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชค่อนข้างต่ำ เนื่องจากน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง facultative anaerobe จึงย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียได้ไม่หมด จึงมีแอมโมเนียในไตรเจนที่ถูกดูดซับไว้ได้ในอนุภาคดินเหนียว และถูกรากรูปถ่ายดูดเอาไปใช้ได้บ้าง ปริมาณแอมโมเนียในไตรเจนที่เหลือในน้ำที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดจึงยังมีสูง และอาจทำให้เกิดผลกระทบของระบบนิเวศของแหล่งน้ำใกล้เคียงที่เกี่ยวข้องได้

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝังที่ 2 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 89.12 ± 4.99 และ 85.63 ± 6.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 5.60 และ 7.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 26) การที่ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนในแปลงรูปถ่าย และแปลงดินเปล่าสูงมาก น่าจะเป็นเพราะ facultative anaerobe ย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียได้มาก จึงมีแอมโมเนียในโตรเจนที่ถูกดูดซับไว้ในอนุภาคดินเหนียว และถูกรากรูปถ่ายดูดเอาไปใช้ได้มาก ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนที่เหลือในน้ำที่ปล่อยออกมาจากระบบจึงไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำใกล้เคียงที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งน้ำเสีย	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝังที่ 1															
แปลงรูปถ่าย	49.75	45.17	48.01	53.82	53.61	50.13	38.07	39.59	33.90	33.03	25.42	26.30	41.40	10.09	24.36
แปลงควบคุม	40.68	42.38	49.59	50.42	53.17	52.77	40.82	31.88	31.00	37.92	29.13	29.14	40.75	9.13	22.40
บ่อฝังที่ 2															
แปลงรูปถ่าย	82.07	91.12	80.42	90.37	94.76	92.21	92.95	89.11	85.95	91.85	91.62	85.07	89.12	4.99	5.60
แปลงควบคุม	75.3	88.48	84.14	88.57	90.63	92.60	96.28	77.18	81.16	85.20	85.99	82.06	85.63	6.08	7.10

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 6 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 27) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 28) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์แตกต่างทางสถิติ พบว่า

ตารางที่ 27 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปถ่าย	บ่อฝังที่ 1	41.40	10.09	24.36	-25.44 **
	บ่อฝังที่ 2	89.12	4.99	5.60	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	40.75	9.94	20.24	-24.56 **
	บ่อฝังที่ 2	85.63	6.08	7.10	

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 27 พบว่า อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนด้วยรูปถ่าย และแปลงควบคุม ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง แตกต่างกันทางสถิติถึงระดับนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง สาเหตุที่อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของแปลงที่ใช้น้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ที่สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของแปลงที่ใช้น้ำเสียจากบ่อที่ 1 เกี่ยวกับการเกิดแอมโมนิฟิเคชัน ของ facultative anaerobe ซึ่งทำกิจกรรมได้อย่างดีเนื่องจากมีอาหารเพื่อสร้างเซลล์และเพื่อการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน แล้วแอมโมเนียจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบ และบางส่วนจะถูกรากพืชเอาไปใช้ (แปลงรูปถ่าย) ส่วนการมีประสิทธิพลต่ำกว่าในแปลงที่ใช้ น้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 นั้นน่าจะเกิดจากการที่ในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 มีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่สูงมากเกินกว่าที่จุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobe จะทำให้เกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ได้หมด

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการปลูกพืช ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของแปลงรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 28 ถึงแม้ว่าอิทธิพลของการปลูกพืชจะไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนแตกต่าง

กันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าในแปลงรูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนสูงกว่าแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ดังนั้นจึงควรปลูกพืชร่วมในการบำบัดน้ำเสียด้วย เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนสูงขึ้น

ตารางที่ 28 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝิ่งที่ 1				
แปลงรูปฤาษี	41.40	10.09	24.36	0.29 ^{ns}
แปลงควบคุม	40.75	9.94	20.24	
บ่อฝิ่งที่ 2				
แปลงรูปฤาษี	89.12	4.99	5.60	2.66 [*]
แปลงควบคุม	85.63	6.08	7.10	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การที่ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า รูปฤาษีได้ช่วยดูดซับแอมโมเนียที่เกิดจากกระบวนการ แอมโมนิฟิเคชัน ไปจากระบบดิน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตอีกส่วนหนึ่งด้วย เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบดินน้ำขังสลับแห้ง ส่วนการที่ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อที่ 1 ที่มีความแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาแล้ว พบว่าในแปลงรูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนได้สูงกว่า ดังนั้นจึงควรมีการปลูกพืชร่วมในระบบ

บำบัดน้ำเสียด้วยเพื่อเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบ และยังสามารถนำพีชไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อเลี้ยงที่ 1 และบ่อเลี้ยงที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 29 ดังนี้

ตารางที่ 29 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงที่ 1 และบ่อเลี้ยงที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อเลี้ยงที่ 1															
แปลงรูปฤาษี	16.03	11.59	14.62	10.47	16.63	14.06	5.51	7.98	1.60	20.22	14.85	11.20	12.89	5.68	6.84
แปลงควบคุม	16.90	10.03	21.74	24.01	10.53	8.44	7.79	22.10	7.66	15.12	12.47	10.48	13.94	6.04	43.31
บ่อเลี้ยงที่ 2															
แปลงรูปฤาษี	20.23	4.06	28.02	15.51	6.41	17.71	5.69	13.60	5.64	22.30	17.46	12.17	14.07	8.08	57.42
แปลงควบคุม	20.32	2.82	30.35	30.65	14.89	20.49	5.37	32.82	11.47	11.47	19.62	19.77	18.34	9.48	51.67

จากตารางที่ 29 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อเลี้ยงที่ 1 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพีช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 12.89 ± 5.68 และ 13.98 ± 6.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 6.84 และ 43.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การที่ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดทั้งในแปลงปลูกรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพีชมีค่าต่ำมาก แสดงว่าระบบสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ดีต่ำมาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากในน้ำเสียก่อนการบำบัดมีฟอสฟอรัสอยู่สูงมาก ซึ่งฟอสฟอรัสทั้งหมดนี้จะประกอบไปด้วยอินทรีย์ฟอสฟอรัสและออร์โธฟอสเฟต โดยพีชและจุลินทรีย์จะใช้ส่วนที่เป็นออร์โธฟอสเฟตในการสร้างฟอสโฟโปรตีนที่ใช้ในการเจริญเติบโต การที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำก่อนการบำบัดมากเกินไปจึงทำให้ทั้งจุลินทรีย์ และพีชดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้ได้ไม่หมด จึงเหลือปนออกมากับน้ำเสียหลังการบำบัด

ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝังที่ 2 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 14.07 ± 8.08 และ 18.34 ± 9.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 57.42 และ 51.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งในแปลงรูปธาตุและแปลงดินเปล่า พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ระหว่าง 14.07-18.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำมาก น่าจะเป็นเพราะเหตุผลเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 7 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 30) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 31) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติพบว่า

ตารางที่ 30 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำ	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปธาตุ	บ่อฝังที่ 1	12.89	5.68	6.84	-0.71 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	14.07	8.08	57.42	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	13.94	6.04	43.31	-3.35 [*]
	บ่อฝังที่ 2	18.34	9.48	51.67	

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 30 พบว่า อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงรูปฤาษีแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในแปลงควบคุมจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่า เพราะฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้ได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ฟอสฟอรัสในน้ำควรจะถูกจุลินทรีย์ดินนำไปใช้สร้างเซลล์และหายไปจากน้ำที่ออกจากระบบบำบัด การที่ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดค่อนข้างต่ำ และมีความแตกต่างกันไม่ถึงระดับนัยสำคัญในแปลงรูปฤาษี มีสาเหตุมาจากการที่น้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนการบำบัดใกล้เคียงกัน และมีปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์และพืชที่ดูดดึงเอาอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของฟอสฟอรัสทั้งหมดไปใช้ได้ไม่หมด จึงมีอนินทรีย์ฟอสเฟตปนมากับอินทรีย์ฟอสเฟตที่พืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ไม่ได้อยู่แล้ว ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจึงลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย ระบบจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อย

ตารางที่ 31 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปฤาษี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝั่งที่ 1				
แปลงรูปฤาษี	12.89	5.68	6.84	-0.76 ^{ns}
แปลงควบคุม	13.94	6.04	43.31	
บ่อฝั่งที่ 2				
แปลงรูปฤาษี	14.07	8.08	57.42	-2.05 ^{ns}
แปลงควบคุม	18.34	9.48	51.67	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาอิทธิพลของการปลูกพืช ต่อประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 31 การที่ ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อีกทั้งในแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัส ทั้งหมดสูงกว่าในแปลงรูปฤาษี ซึ่งน่าจะเกิดมาจากการที่ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียนั้นมีมากและ น่าจะอยู่ในรูปที่เป็นอินทรีย์ฟอสเฟตที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ มีเพียงจุลินทรีย์ในดิน และในน้ำ เสียนั้นที่สามารถนำเอาไปใช้ในการสร้างฟอสโฟโปรตีนในเซลล์ ประสิทธิภาพในการบำบัด ฟอสฟอรัสทั้งหมดในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชจึง ไม่มีความแตกต่างกัน

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียนของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อ ฝั่งที่ 1 ที่ผ่านการบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ย 12.45 ± 10.39 และ 13.21 ± 10.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 83.43 และ 77.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 32) การที่ประสิทธิภาพ การบำบัดออร์โธฟอสเฟตทั้งในแปลงปลูกรูปฤาษี และแปลงดินเปล่ามีค่าต่ำมาก แสดงว่าระบบ บำบัดออร์โธฟอสเฟตได้น้อยมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ในน้ำก่อนการบำบัดมีออร์โธฟอสเฟตสูง มากจนพืชและจุลินทรีย์จะใช้ออร์โธฟอสเฟตในการสร้างฟอสโฟโปรตีนที่ใช้ในการเจริญเติบโต คูณจึงออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้ไม่หมด จึงเหลือออร์โธฟอสเฟตปนออกมากับน้ำเสียนหลังการบำบัด

ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียนของโรงฆ่าสัตว์จากบ่อฝั่งที่ 2 ที่ผ่าน การบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ย 13.39 ± 6.82 และ 17.31 ± 10.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า CV 50.91 และ 59.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 32) การที่ประสิทธิภาพ การบำบัดออร์โธฟอสเฟตต่ำมาก น่าจะเป็นเพราะเหตุผลเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธ ฟอสเฟตในน้ำเสียนจากบ่อฝั่งที่ 1 ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ตารางที่ 32 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2
ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุฯ ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่าง
เดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟต (เปอร์เซ็นต์) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝังที่ 1															
แปลงรูปธาตุฯ	11.05	17.05	8.77	2.33	30.40	14.42	5.21	2.99	11.35	31.45	10.25	41.5	12.45	10.39	83.43
แปลงควบคุม	15.18	12.83	7.61	29.83	12.21	2.94	4.96	27.88	9.48	30.07	4.47	0.32	13.21	10.41	78.78
บ่อฝังที่ 2															
แปลงรูปธาตุฯ	17.18	2.87	19.58	15.81	5.08	16.56	9.24	12.46	10.59	25.28	17.41	8.55	13.39	6.82	50.91
แปลงควบคุม	19.68	2.18	9.92	20.46	1.11	21.12	13.56	35.60	10.27	31.27	18.22	24.33	17.31	10.27	59.31

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟตของน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 8 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 33) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงรูปธาตุฯ และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 34) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัววัดความแตกต่างทางสถิติ ได้ผลดังนี้

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟตด้วยรูปธาตุฯ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งใน 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 33 การที่อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟตในแปลงรูปธาตุฯ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำ มีสาเหตุมาจากการที่น้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อมีปริมาณออร์โทพอสเฟตก่อนการบำบัดใกล้เคียงกัน และมีปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์และพืชที่คูดึงเอาอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของฟอสฟอรัสทั้งหมดไปใช้ได้ไม่หมด จึงมีอนินทรีย์ฟอสเฟตปนมากับอินทรีย์ฟอสเฟตที่พืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ไม่ได้อยู่แล้ว ปริมาณออร์โทพอสเฟตในน้ำเสียจึงลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย ระบบจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โทพอสเฟตน้อย

ตารางที่ 33 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปถ่าย	บ่อฝังที่ 1	12.45	10.39	83.46	-0.45 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	13.39	6.82	50.91	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	13.21	10.41	78.78	-1.68 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	17.31	10.27	59.31	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 34 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่าย และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (เปอร์เซ็นต์)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
บ่อฝังที่ 1					
	แปลงรูปถ่าย	12.45	10.39	83.46	-0.312 ^{ns}
	แปลงควบคุม	13.21	10.41	78.78	
บ่อฝังที่ 2					
	แปลงรูปถ่าย	13.39	6.82	50.91	- 1.912 ^{ns}
	แปลงควบคุม	17.31	10.27	59.31	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 34 พบว่า อิทธิพลของการปลูกพืชต่อประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟต พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โทพอสเฟตของแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง การที่ประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โทพอสเฟตในแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อีกทั้งในแปลงดินเปล่ามีประสิทธิภาพการบำบัดออร์โทพอสเฟตสูงกว่าในแปลงรูปถาวยี่ มีสาเหตุมาจากการที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียสูง และน่าจะอยู่ในรูปที่เป็นอินทรีย์ฟอสเฟตที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

5. ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน

การใส่ น้ำเสียที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงลงไปแปลงทดลองบำบัดน้ำเสีย ย่อมน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน โดยทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน ก่อนทำการบำบัดน้ำเสีย และหลังการบำบัดน้ำเสียในทุกรอบการทดลอง เป็นเวลา 12 รอบการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ซึ่งแต่ละชุดการทดลองจะประกอบไปด้วยแปลงปลูกรูปถาวยี่จำนวน 3 แปลง และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช 1 แปลง และในแต่ละชุดการทดลองจะได้รับน้ำเสียจากจากบ่อสิ่งที 1 และ บ่อสิ่งที 2 ของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

5.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

5.1.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสีย

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนบำบัดน้ำเสียในแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อสิ่งที 1 มีค่าเฉลี่ย $1,033.33 \pm 305.51$ และ $1,100 \pm 100$ พีพีเอ็ม และมีค่า CV 29.57 และ 9.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแปลงรูปถาวยี่ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อสิ่งที 2 มีค่าเฉลี่ย 966.67 ± 208.17 และ 833.33 ± 57.75 พีพีเอ็ม และมีค่า CV 21.53 และ 6.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 35)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดิบของไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดที่แสดงในตารางผนวกที่ 9 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำ

เสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 (ตารางที่ 35) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสียในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ในแปลงรูปถาวยี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) และไนโตรเจนในดินก่อนการบำบัดน้ำเสียในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 ในแปลงรูปถาวยี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน (ตารางที่ 35)

ตารางที่ 35 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินทั้งหมดก่อนการบำบัดน้ำเสียตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
	mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
บ่อฝั่งที่ 1				
แปลงรูปถาวยี	1033.33	305.51	29.57	-0.36 ^{ns}
แปลงควบคุม	1100	100	9.09	
บ่อฝั่งที่ 2				
แปลงรูปถาวยี	966.67	208.17	21.53	1.07 ^{ns}
แปลงควบคุม	833.33	57.75	6.93	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการใช้ตลอดช่วงเวลาของการเจริญเติบโต จนถึงช่วงที่ออกดอกออกผล แหล่งที่มาสำคัญของไนโตรเจนในดิน คือ อินทรีย์วัตถุ ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่างๆ แล้ว ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูป

ให้กลายเป็น อนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 36 มีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในแปลงที่ปลูกธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อสิ่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย $1,169.4 \pm 198.3$ และ $1,100 \pm 183.6$ พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีค่า CV 16.96 และ 16.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในแปลงที่ปลูกธูปฤาษีและแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อสิ่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย $1,047.2 \pm 188.9$ และ 994.4 ± 205.6 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีค่า CV 18.04 และ 20.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 36)

ตารางที่ 36 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับ
แห่งร่วมกับธูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งน้ำเสีย	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย (พีพีเอ็ม)												mean	SD	CV (%)	
	ในรอบการทดลองที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
บ่อสิ่งที่ 1																
แปลงธูปฤาษี	866.7	900	1000	1100	1133.3	1133.3	1133.3	1166.7	1300	1366.7	1433.3	1500	1169.4	198.3	16.96	
แปลงควบคุม	866.7	800	1033.3	966.7	1033.3	1033.3	1133.3	1166.7	1166.7	1233.3	1366.7	1400	1100	183.6	16.92	
บ่อสิ่งที่ 2																
แปลงธูปฤาษี	833.3	833.3	866.7	866.7	900	966.7	1100	1166.7	1200	1200	1266.7	1366.7	1047.2	188.9	18.04	
แปลงควบคุม	800	700	800	833.3	866.7	933.3	1033.3	1033.3	1133.3	1233.3	1266.7	1300	994.4	205.6	20.67	

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 10 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อสิ่งที่ 1 และบ่อสิ่งที่ 2 (ตารางที่ 37) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (ตารางที่ 38) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์แตกต่างทางสถิติ พบว่า

ตารางที่ 37 อิทธิพลของแหล่งน้ำต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปถ่าย	บ่อฝังที่ 1	1169.44	198.31	16.96	2.68 *
	บ่อฝังที่ 2	1047.22	188.96	18.04	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝังที่ 1	1100	183.61	16.69	2.30 *
	บ่อฝังที่ 2	994.44	205.56	20.67	

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 37 พบว่า อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังบำบัดด้วยรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดสูงกว่าแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 เนื่องจากน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2

อิทธิพลของการปลูกพืชมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการบำบัดน้ำเสียปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแปลงที่ปลูกรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช หลังการบำบัดน้ำเสีย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 38

การเพิ่มมากขึ้นของไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการบำบัดน้ำเสียจากทั้ง 2 บ่อ สอดคล้องกับการที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายหลังการบำบัดน้ำเสียที่ลดลง เนื่องจากการที่จุลินทรีย์ในดินทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้เป็นแอมโมเนีย ในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน แอมโมเนียไนโตรเจนนี้จะถูกดูดดึงไว้ในอนุภาคดินเหนียวปริมาณไนโตรเจนในดินหลังจากการบำบัดน้ำเสียจึงเพิ่มขึ้น และการที่ในแปลงปลูกรูปถ่าย และแปลงดินเปล่ามีปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเกิดเนื่องมาจากในแปลงทดลองที่เป็นดินเปล่ามีสาหร่ายอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อสาหร่ายเหล่านั้นตายลงก็จะมีไนโตรเจนออกมาด้วย นอกจากนี้สาหร่ายยังมีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนให้แก่ดิน จึงอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดมีสูงขึ้น

ตารางที่ 38 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
	mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
บ่อฝิ่งที่ 1				
แปลงรูปถ่ายิ	1169.44	198.31	16.96	1.54 ^{ns}
แปลงควบคุม	1100	183.61	16.69	
บ่อฝิ่งที่ 2				
แปลงรูปถ่ายิ	1047.22	188.96	18.04	-0.25 ^{ns}
แปลงควบคุม	994.44	205.56	20.67	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน

5.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสีย

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสียในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 236.00 ± 51.88 และ 348.00 ± 72.99 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีค่า CV 21.98 และ 20.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 243.33 ± 24.58

และ 311.67 ± 34.99 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีค่า CV 10.10 และ 11.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 39)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดที่แสดงในตารางผนวกที่ 9 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 (ตารางที่ 39) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียนำผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสีย ทั้งในแปลงรูปถ่าย และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดน้ำเสีย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝังที่ 1				
แปลงรูปถ่าย	236.00	51.88	21.98	-2.17 ^{ns}
แปลงควบคุม	348.00	72.99	20.97	
บ่อฝังที่ 2				
แปลงรูปถ่าย	243.33	24.58	10.10	-2.77 ^{ns}
แปลงควบคุม	311.67	34.99	11.23	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในแปลงที่ปลูกธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 365.4 ± 35.4 และ 367.4 ± 34.9 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีค่า CV 9.71 และ 9.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในแปลงธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 363 ± 35.5 และ 363.3 ± 34.5 พีพีเอ็ม ตามลำดับ มีค่า CV 9.72 และ 9.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 40)

ตารางที่ 40 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียในสภาพดินน้ำขังสลับแห้ง ร่วมกับธูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งน้ำ เสีย	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (พีพีเอ็ม) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝั่งที่ 1															
แปลงธูปฤาษี	300.3	317	332.3	354	359	364	380.3	380.7	390.3	374	415.3	417	365.4	35.5	9.71
แปลงควบคุม	307	311.7	342.7	352	355.7	365.7	378	380.7	394	390.7	416.3	414.7	367.4	34.9	9.51
บ่อฝั่งที่ 2															
แปลงธูปฤาษี	304	307.3	329.7	351.3	356.7	368.3	378.7	358.7	384.7	392.7	411.7	412.3	363	35.5	9.72
แปลงควบคุม	298.7	314.3	331.3	350	362	365.3	372	371.3	385	398	405	407	363.3	34.5	9.51

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดดินภายหลังการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีที่เสนอไว้ในตารางภาคผนวกที่ 11 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 (ตารางที่ 41) และวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของการปลูกพืชในแปลงธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช (ตารางที่ 42) โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัตถุประสงค์ ความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยธูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบำบัดน้ำเสียตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
แปลงรูปถาญี	บ่อฝั่งที่ 1	365.36	35.47	9.71	0.28 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	363.00	35.51	9.78	
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	บ่อฝั่งที่ 1	367.42	34.95	9.51	0.50 ^{ns}
	บ่อฝั่งที่ 2	363.33	34.55	9.51	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 42 อิทธิพลของการปลูกพืชต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 หลังบำบัดด้วยรูปถาญี และแปลงควบคุม ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean (พีพีเอ็ม)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
บ่อฝั่งที่ 1					
	แปลงรูปถาญี	365.36	35.47	9.71	-0.25 ^{ns}
	แปลงควบคุม	367.42	34.95	9.51	
บ่อฝั่งที่ 2					
	แปลงรูปถาญี	363.00	35.51	9.78	-0.04 ^{ns}
	แปลงควบคุม	363.33	34.55	9.51	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 42 พบว่า อิทธิพลของการปลูกพืชมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินภายหลังการบำบัดน้ำเสีย ในแปลงรูปฤาษี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช ในระยะเวลา 12 รอบการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียหลังการบำบัดที่ลดลง ถึงแม้จะลดเพียงเล็กน้อย แสดงถึงการสะสมของฟอสฟอรัสอยู่ในแปลงทดลอง หรือมีการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสไป เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแม้จะเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งจะก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสในดิน หรือการละลายของฟอสฟอรัสออกมาอยู่ในสารละลายดินในอัตราที่สูงขึ้น (วิโรจน์, 2531)

ทัศนีย์ (2534) กล่าวว่า เคมีของฟอสเฟตในดินที่มีน้ำขังจะเกี่ยวข้องกับเหล็ก ในดินที่มีสภาพแห้ง (มีออกซิเจน) ฟอสเฟตจะรวมตัวกับเหล็กในรูป strengite ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ และจะอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต และแมกนีเซียมฟอสเฟต ซึ่งจะถูกละลายด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อดินมีน้ำขังสารประกอบเหล่านี้จะถูกรีดิวส์ไปเป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และฟอสเฟตที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ คือ H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ซึ่งสอดคล้องกับการที่ในน้ำเสียหลังการบำบัดมีฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงและในดินมีฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้น

6. การเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตของพืชเป็นการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงของพืชที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพและการแพร่ขยายพันธุ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์และเกิดจากการแบ่งตัวและขยายตัวของเซลล์ คัพชณีที่สามารถบ่งบอกหรือวัดการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ผลผลิตในหน่วยน้ำหนัก ความสูง ความยาว กระบวนการพัฒนาดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนหรือลักษณะของเนื้อเยื่อเจริญ ปริมาณของสารอาหารที่มาเลี้ยงต้นพืช ฮอร์โมน และสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการเจริญเติบโต สำหรับการทดลองนี้ทำการปลูกรูปฤาษี ในสภาพที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลา 5 วัน สลับปล่อยให้แห้งอีก 2 วัน โดยพืชจะได้รับ น้ำและธาตุอาหารพืชที่มากับน้ำเสียของโรง

ฆ่าสัตว์จากทั้ง 2 บ่อ ทั้งสารอินทรีย์ในโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในดินที่มีน้ำท่วมขังนี้เปลี่ยนให้เป็นอนุมูลแอมโมเนียและอนุมูลฟอสเฟตในเวลาต่อมา ควรจะส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยจะมีความสูงเพิ่มขึ้น เพราะมีการสร้างเซลล์เนื้อเยื่อและส่วนต่างๆของพืชได้มากขึ้น

6.1 ความสูงของของพืช

ความสูงของพืชเป็นดัชนีการเจริญเติบโตของพืชที่เด่นชัดชนิดหนึ่ง เพราะพืชที่ได้รับปัจจัยทางบวกต่างๆ ซึ่งในที่นี้คือ น้ำและธาตุอาหารหลักที่ติดมากับน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ ทั้งสารอินทรีย์ในโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในดินที่มีน้ำท่วมขังนี้เปลี่ยนให้เป็นอนุมูลแอมโมเนียและส่งเสริมให้เกิดอนุมูลฟอสเฟตในเวลาต่อมา ควรจะส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยจะทำให้พืชมีความสูงเพิ่มขึ้น เพราะมีการสร้างเซลล์เนื้อเยื่อและส่วนต่างๆของพืชได้มากขึ้น ความสูงของพืชนอกจากจะมาจากลักษณะทางพันธุกรรมของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ควรจะมี ความสูงมากกว่ารูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 ที่มีปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียน้อยกว่า

ความสูงของรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 232.77 ± 59.61 และ 219.68 ± 54.68 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่า CV 25.61 และ 24.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 43)

ตารางที่ 43 ความสูงของรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์

ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่ง น้ำเสีย	ความสูงของรูปถ่าย (เซนติเมตร) ในรอบการทดลองที่												mean	SD	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
บ่อฝั่งที่ 1	110.88	147.27	181.50	198.83	223.37	240.75	261.18	270.45	282.75	287.67	293.45	293.67	232.77	59.61	25.61
บ่อฝั่งที่ 2	108.85	146.5	169.23	187.93	211.15	223.83	243.75	252.23	261.42	269.90	279.32	283.00	219.68	54.68	24.88

จากผลการตรวจวิเคราะห์ความสูงของรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 โดยนำข้อมูลดิบจากตารางผนวกที่ 12 มาวิเคราะห์ความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งน้ำ

เสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 โดยใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของความสูงรูปถาพี ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
	mean (เซนติเมตร)	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
บ่อฝั่งที่ 1	232.77	59.61	25.61	0.96 ^{ns}
บ่อฝั่งที่ 2	219.76	54.68	24.88	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

อิทธิพลอิสระของแหล่งที่มาของน้ำเสียมิผลให้ให้ความสูงของรูปถาพีใน 12 รอบการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 44 เมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า ความสูงของรูปถาพีในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 มีความสูงมากกว่าแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 มีมากกว่าน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 การมีไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียในโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งเป็นสารอาหารของผู้ย่อยสลายดังกล่าวมาแล้วในส่วนของน้ำเสียหลังการบำบัด ทำให้มีสารอินทรีย์ที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และเนื่องจากพืชที่ปลูกในการบำบัดน้ำเสียเป็นพืชชนิดเดียวกัน ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตจึงไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

6.2 มวลชีวภาพของพืช

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษามวลชีวภาพของรูปถาพี ที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และ บ่อฝั่งที่ 2 ภายหลังจากที่พืชออกดอก โดยทำการตัดรูปถาพีในส่วนเหนือดินทั้งแปลง สุ่มตัวอย่างมาแปลงละ 1 กิโลกรัม นำไปเข้าตูบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนพืชแห้ง นำน้ำหนักแห้งที่ได้นี้ไปคูณกับน้ำหนักพืชทั้งแปลงก็จะได้มวลชีวภาพที่แท้จริง ซึ่งได้นำเสนอข้อมูลดิบไว้ในตารางผนวกที่ 16 การศึกษานี้มีความต้องการที่จะศึกษาความแตกต่างของมวลชีวภาพของรูปถาพีที่ได้รับน้ำเสียจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกันว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยนำข้อมูลดิบจากตาราง

ผนวกที่ 13 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทดสอบความแตกต่างของอิทธิพลอิสระของแหล่งที่มาของน้ำเสีย จากบ่อฝังที่ 1 และ บ่อฝังที่ 2 ใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ แสดงผลไว้ในตารางที่ 45 สามารถอธิบายได้ดังนี้

น้ำหนักสดของรูปถ่ายในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และ บ่อฝังที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 6.88 ± 2.80 และ 5.67 ± 24.11 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ มีค่า CV 0.45 และ 4.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของรูปถ่ายในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และ บ่อฝังที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 0.44 ± 0.96 และ 0.28 ± 4.40 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ มีค่า CV 2.41 และ 17.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์น้ำในพืชของรูปถ่ายในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และ บ่อฝังที่ 2 มีค่าเฉลี่ย $1,458 \pm 38.50$ และ $1,941.85 \pm 328.51$ เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่า CV 2.64 และ 16.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 45)

ตารางที่ 45 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของมวลชีวภาพรูปถ่าย ตลอดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			t-test
		mean	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	
น้ำหนักสด (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	บ่อฝังที่ 1	6.88	2.80	0.45	7.82 *
	บ่อฝังที่ 2	5.67	24.11	4.73	
น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	บ่อฝังที่ 1	0.44	0.96	2.41	5.51 *
	บ่อฝังที่ 2	0.28	4.40	17.33	
เปอร์เซ็นต์ น้ำในพืช (เปอร์เซ็นต์)	บ่อฝังที่ 1	1458.85	38.50	2.64	-2.53 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	1941.85	328.51	16.92	

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

อิทธิพลของแหล่งน้ำส่งผลให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำในพืชของ

รูปถ่ายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 45 สาเหตุที่ทำให้อิทธิพลของแหล่งที่มาของน้ำเสียส่งผลต่อมวลของรูปถ่ายนั้นน่าจะมาจากการที่น้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 มีอินทรีย์ไนโตรเจนมากผู้ย่อยสลายจึง เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สลายเป็นอินทรีย์ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มาก รูปถ่ายจึงมีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงและความอวบ สำหรับการที่ความชื้นของพืชไม่แตกต่างกันนั้นน่าจะเป็นธรรมชาติของรูปถ่ายที่ค่อนข้างมีความอวบน้ำอยู่แล้ว

6.3 การสะสมธาตุอาหารในพืช

การศึกษาการสะสมของธาตุอาหารในพืชภายหลังการทดลองหลังจากทำการทดลองครบ 12 รอบ ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือดินของรูปถ่ายในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ในน้ำหนักแห้ง

เมื่อนำข้อมูลดิบของปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สะสมในพืชที่แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 14 มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทดสอบความแตกต่างของอิทธิพลของแหล่งที่มาของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 บ่อฝั่งที่ 2 และให้รูปถ่ายในแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ทดลอง เป็นพืชควบคุม ใช้ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ วัดความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 46 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในลำดับส่วนเหนือดินของรูปถ่ายที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 บ่อฝั่งที่ 2 และในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 1.18 ± 0.25 1.07 ± 0.05 และ 1.12 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่า CV 19.62 4.86 และ 63.53 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 1.18 ± 0.25 1.07 ± 0.05 และ 1.12 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่า CV 2.70 21.96 และ 219.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 46)

อิทธิพลของแหล่งน้ำมีผลให้ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในรูปถ่ายหลังทำการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 46 โดยรูปถ่ายในแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าแปลงที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 2 มีสาเหตุมาจากการที่มีไนโตรเจนสะสมในรูปถ่ายในส่วนที่อยู่เหนือดิน (กาบใบ และแผ่นใบ) เพราะส่วนที่มีสีเขียวจะต้องมีไนโตรเจนสูงเสมอ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ

คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียวในพืชทุกชนิด เมื่อมีไนโตรเจนมากก็ย่อมต้องการฟอสฟอรัสมากตามไปด้วยเพื่อรักษาสสมดุล การที่ไนโตรเจนในรูปธาตุมีสูงสังเกตได้จากใบของรูปธาตุมีสีเขียวสด ดังนั้นในแปลงรูปธาตุที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนสูงจึงมีการสะสมของไนโตรเจนสูงกว่า แต่เนื่องจากชนิดพืชทดลองเป็นชนิดเดียวกันจึงไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 46 อิทธิพลของแหล่งน้ำเสียต่อค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ t-test ของการสะสมธาตุอาหารของรูปธาตุ คอลดระยะเวลา 12 รอบการทดลอง

ธาตุอาหาร	แหล่งน้ำเสีย	ค่าทางสถิติ			
		mean	SD	CV (เปอร์เซ็นต์)	t-test
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	บ่อฝังที่ 1	1.18	0.23	19.62	1.31 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	1.07	0.05	4.86	
	แหล่งน้ำธรรมชาติ	1.12	0.71	63.53	
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)	บ่อฝังที่ 1	0.21	0.01	2.70	-1.11 ^{ns}
	บ่อฝังที่ 2	0.19	0.04	21.96	
	แหล่งน้ำธรรมชาติ	0.19	0.42	219.63	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ในสภาพคินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุ โดยให้มีการขังน้ำ 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยให้แหล่งที่มาของน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ (บ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2) เป็นชุดการทดลอง ภายในชุดการทดลองมีแปลงปลูกรูปธาตุ 3 แปลง และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช 1 แปลง ทำการทดลองตั้งแต่เดือน เมษายน 2550-กรกฎาคม 2550 เป็นระยะเวลา 12 รอบการทดลอง สรุปผลได้ดังนี้

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 56.28 ± 10.18 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 26.93 ± 4.48 และ 25.11 ± 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 25.04 ± 4.67 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 7.09 ± 4.21 และ 8.25 ± 4.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 50.97 ± 9.64 และ 49.10 ± 9.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 71.60 ± 16.40 และ 65.89 ± 17.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 32.28 ± 2.75 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 18.18 ± 3.04 และ 18.40 ± 3.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 18.28 ± 3.37 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 2.04 ± 1.15 และ 2.43 ± 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 49.40 ± 10.09 และ 40.75 ± 9.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ในแปลงรูปธาตุ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 89.12 ± 4.99 และ 85.63 ± 6.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 12.70 ± 1.89 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 11.02 ± 1.47 และ 10.87 ± 1.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 12.89 ± 1.27 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 11.02 ± 1.04 และ 10.52 ± 1.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 12.89 ± 5.68 และ 13.94 ± 6.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 14.07 ± 8.08 และ 18.34 ± 9.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 11.23 ± 1.51 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 9.79 ± 1.57 และ 9.74 ± 2.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ ก่อนการบำบัด มีค่าเฉลี่ย 12.01 ± 1.18 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังบำบัดด้วยรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 10.38 ± 1.12 และ 9.61 ± 0.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 12.45 ± 10.39 และ 13.21 ± 10.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 13.39 ± 6.82 และ 17.31 ± 10.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ก่อนการบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ย $1,033 \pm 305.51$ พีพีเอ็ม และ $1,100 \pm 100$ พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังบำบัดในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย $1,169.4 \pm 198.3$ พีพีเอ็ม และ $1,100 \pm 183.6$ พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 2 ก่อนบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ย 966.67 ± 208.17 พีพีเอ็ม และ 833.33 ± 57.75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังบำบัดน้ำเสียในแปลงรูปถ่ายิ และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย $1,047.2 \pm 188.9$ พีพีเอ็ม และ 994.4 ± 205.6 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

6. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในแปลงรูปถาผี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชที่ได้รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 1 ก่อนการบ้ำบัดน้ำเสียด มีค่าเฉลี่ย 236 ± 51.88 พีพีเอ็ม และ 348 ± 72.99 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบ้ำบัดในแปลงรูปถาผี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 365.4 ± 35.5 พีพีเอ็ม และ 367.4 ± 34.9 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในแปลงรูปถาผี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืชที่ได้รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 2 ก่อนบ้ำบัดน้ำเสียด มีค่าเฉลี่ย 243.33 ± 24.58 พีพีเอ็ม และ 311.67 ± 67.11 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังบ้ำบัดน้ำเสียดในแปลงรูปถาผี และแปลงควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ย 363.0 ± 35.5 พีพีเอ็ม และ 363.3 ± 34.5 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

7. ความสูงของรูปถาผีที่ได้น้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 232.77 ± 59.61 เซนติเมตร และ 219.68 ± 54.68 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำนักสด น้ำนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำในพืชของรูปถาผีที่รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 6.88 ± 2.80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร 0.44 ± 0.96 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ $1,458.85 \pm 38.50$ เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำนักสด น้ำนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำในพืชของรูปถาผีที่รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 5.67 ± 24.11 กิโลกรัมต่อตารางเมตร 0.28 ± 4.40 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ $1,941.85 \pm 328.51$ เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

8. การสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปถาผีที่ได้รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 1.18 ± 0.23 และ 0.21 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปถาผีที่ได้รับน้ำเสียดจากบ่อฝิ่งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 0.17 ± 0.05 และ 0.19 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ย 1.12 ± 0.71 และ 0.19 ± 0.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบมีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ ที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยประมาณ 25.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีไนโตรเจนสูงมากๆ เช่น ในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 ที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยประมาณ 60.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้น้อยลง
2. ระบบบำบัดนี้สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ต่ำมากเนื่องจากดินอิ่มตัวไปด้วยฟอสฟอรัส จึงควรมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทดลอง เช่น ชนิดพืชที่ใช้ในการทดลอง หรือ ระยะเวลาในการขังน้ำ เพื่อหารูปแบบการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสได้สูงขึ้น
3. ในการทดลองบำบัดน้ำเสียครั้งต่อไปควรมีการปรับเปลี่ยน ชนิดพืช และจำนวนวันขังน้ำเพื่อทดสอบจำนวนวันขังที่เหมาะสม ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ เนื่องจากน้ำเสียนี้อาจมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง
4. ควรมีการปลูกพืชในน้ำธรรมชาติที่ไม่ใช่ในน้ำเสีย เพื่อทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในน้ำเสีย และที่ปลูกด้วยน้ำธรรมชาติ
5. ดินที่ใช้ในการสร้างแปลงทดลองบำบัดน้ำเสีย ควรมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำ เพื่อให้ดูดซับปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้สูง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น.**
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **รายงานผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงฆ่าสัตว์ในเขตเทศบาล.**
กองจัดการคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ. (เอกสาร โรเนียว).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2539. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงฆ่าสัตว์.** กรมโรงงาน
อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 3.
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- กฤตธี วงศ์สถิต. 2544. **การบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.** วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.** โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เกษมศรี ชับช้อน. 2536. **ปฐพีวิทยา.** กองวิทยาลัยเกษตรกรรม กรมอาชีวศึกษา, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จันทวรรณ วรธนะพงษ์. 2539. **การบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียมและ
แมกนีเซียมในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2530. เอกสารการสอนวิชา เกษตรทั่วไป 4: ดิน น้ำ และปุ๋ย. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.
- ณัฐกานต์ พันชนะ. 2537. ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการสูญเสียธาตุอาหาร บริเวณลุ่มน้ำลันถิ่น จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปกรณ์ ประดิษฐ์ทอง. 2540. การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสียจังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. 2531. เอกสารการสอนวิชาชลธีวิทยา. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2540. อิทธิพลของฟอสฟอรัสในดินที่มีต่อการผลิตมวลชีวภาพ และคุณภาพของโสนแอฟริกันที่จะเป็นปุ๋ยพืชสดของข้าวในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เปี่ยมศักดิ์ มานะเสวต. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- _____. 2533. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พัฒนา มุลพุกษ์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก.เอ็น.เอส.แอล.พรินติ้ง, กรุงเทพฯ.
- ไพบุลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เเคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนัส สุจิตพันธ์. 2525. **ธาตุอาหารของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันกุลเวศม์. 2537. **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. **คู่มือเทคโนโลยีการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ**, น. 1-1 ถึง 1-20 ใน เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ **การประยุกต์เทคโนโลยีการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริสู่ท้องถิ่น**. มูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง**. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา และสุรเดช จันตกานนท์. 2521. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วงจันทร์ วงแก้ว. 2535. **หลักสรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิโรจน์ อัมพิทักษ์. 2531. **การจัดการดินเล่มที่ 2**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย องค์กรประเสริฐ. 2531. **เอกสารคำสอนปฐพีศาสตร์เบื้องต้น**. ภาควิชาดินและปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.

สมสุข มัจฉาชีพ. 2524. **นิเวศวิทยา**. สำนักพิมพ์แพรววิทยา, กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2518. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สิทธิชัย ตันธนะสฤกษ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช
เป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. พรรณไม้น้ำ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, สายัณห์ ทัดศรี, จันทนา สุขปรีดี, สุวพงษ์ สวัสดิ์พานิช, สุมน มาสุชน และ
สมบัติ ชินะวงษ์. 2537. การคัดเลือกพืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี
grass filtration, เอกสารบรรยายหมายเลข 7. น. 1-7 ใน การประชุมเชิงวิชาการ โครงการ
ศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ณ โรงแรม
ริเจนท์ชะอำ อำเภชะอำ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2537. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภสิริ กุลวิฑิต. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน เพื่อการบำบัดขั้นที่ 3
สำหรับน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2541. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงาน
ฆ่าสุกร กรมโรงงานอุตสาหกรรม. โรงพิมพ์สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. สำนักงานนโยบายและแผน
สิ่งแวดล้อมกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อรทัย เชื้อวงษ์. 2550. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรีด้วย
พืชรักษา 3 พันธุ์ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th (ed.). America Public Health Association, Washington, DC.
- Boyd, C.E. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. **Econ. Bot.** 2444: 94-103.
- Carpenter. E.T., C.C. Remsen and S.W. Watson. 1972. Uptake and assimilation of amino acid by *Platymanas*. **Bull.** 140: 241-254.
- Fair, G.M. J.C. Geyer and D.A. Odum. 1971. **Element of water supply and water disposal**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Fogg, G.E. 1971. **Agal cultures and phytoplankton ecology**. The University of Wisconsin Press, U.S.A.
- Hammer, D.A. and R.K.Bastian. 1989. **Wetland Ecosystems**: Natural water purifiers, pp. 5-19. *In* D.A. Hammer (ed.). **Constructed Wetlands for Wastewater treatment**. Lewis Publishers, Inc., Michigan.
- Hewlett, J.D. and W.L. Nutter. 1969. **An outline forest hydrology**. **Geogia University Press**, Geogia.
- Jenny, H. 1929. Relative of Temperature to the amount of nitroger in soils. **Soil Sci.** 27: 188.
- Jones, Jr., J.B.,B. Wolf and H.A. Mills. 1991. **Plant analysis handbook**. Micro-Macro Publishing, Inc., Georgia, U.S.A.
- Millar, C.E., L.M. Turk and H.D. Foth. 1964. **Fundamental of soil science**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Mitsui, S. 1955. **Inorganic Nutrition Fertilization and Soil Amelioration for Lowland Rice.**
2d Yokendo Press, Tokyo.

Ockerman, H.W. and C.L. Hansen. 2000. **Animal By-Product.** Processing and Utilization
Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania USA.

Pavoni, J.L. 1977. **Handbook of water quality management planning.** Van Nostrand
Reinhold Company, New York.

Ponnamperuma F.N. 1955. **The chemistry of submerged soil in relation to the growth and
Yield of rice.** Ph.D. thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York.

Shiori, m., and t. Tanada. 1954. **The chemistry of paddy soils in Japan.** Min. Agr. Forestry,
Tokyo.

Southwick, C.H. 1976. **Ecology and the quality of our environment.** 2nd(ed)., Litton
educational publishing, Inc., New York

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
ก่อนบำบัด	1	64.00	59.00	62.00	55.00	66.00	52.20	39.40	39.00	44.00	49.00	65.70	65.50
	2	74.00	58.00	61.00	58.00	67.00	53.00	40.00	39.40	49.00	52.00	66.30	65.70
	3	72.00	60.00	62.00	59.00	66.00	54.00	40.00	40.00	48.00	51.00	64.00	65.80
หลังบำบัด ด้วยรูปถ่าย	1	26.00	29.00	25.00	19.00	26.00	26.50	24.00	24.30	25.80	30.00	35.00	32.70
	2	26.00	27.00	26.00	19.00	25.00	27.30	23.20	23.00	24.90	32.00	36.00	34.60
	3	24.00	29.00	25.00	19.00	25.00	25.50	23.80	24.80	26.00	31.00	34.00	35.20
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	27.00	26.00	22.00	19.00	27.00	27.00	24.50	24.80	26.00	30.00	35.40	12.60
	2	26.00	25.00	20.00	19.00	27.50	27.00	24.00	24.80	26.00	31.00	35.40	12.50
	3	28.00	27.00	24.00	19.00	26.50	27.00	25.00	24.80	26.00	29.00	35.40	12.70
บ่อฝังที่ 2													
ก่อนบำบัด	1	24.00	24.00	29.00	26.00	32.00	22.20	18.00	18.50	22.70	26.40	30.60	25.60
	2	25.00	23.00	27.00	25.00	39.00	22.00	16.80	19.60	22.10	25.10	29.70	26.40
	3	26.00	25.00	29.00	25.00	34.00	22.70	18.80	18.80	22.50	25.70	28.10	26.20
หลังบำบัด ด้วยรูปถ่าย	1	12.60	13.80	12.60	4.30	4.80	5.40	2.10	5.40	6.40	4.30	5.30	12.10
	2	12.30	13.80	11.70	3.20	3.80	3.80	1.60	5.50	4.30	4.30	5.50	13.20
	3	12.60	13.20	12.30	3.80	3.80	3.20	1.80	5.40	4.540	4.40	5.10	13.20
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	13.00	16.90	14.50	6.40	4.80	6.40	5.40	5.90	4.30	4.50	5.30	12.40
	2	12.00	17.00	14.70	6.30	5.00	6.00	5.00	6.00	4.30	4.40	5.00	12.41
	3	11.00	16.80	14.30	6.50	5.20	6.80	5.80	5.80	4.30	4.60	5.60	12.39

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ก่อนและหลัง
บำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่าย ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่าง
เดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจน (มก./ล.) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
ก่อนบำบัด	1	34.29	34.13	34.49	31.94	34.49	31.72	28.29	28.85	30.13	32.01	33.19	31.20
	2	35.13	32.03	35.96	31.18	35.96	31.76	24.65	28.85	30.93	33.93	33.36	28.69
	3	36.17	34.86	36.88	30.82	36.88	31.97	29.22	29.09	31.10	32.74	32.73	32.64
หลังบำบัด ด้วยรูปถ่าย	1	16.69	17.65	16.46	14.76	16.22	15.93	16.91	17.65	20.49	21.75	24.55	23.22
	2	18.56	17.28	19.57	14.83	17.00	16.03	16.42	17.28	20.21	22.98	24.89	22.45
	3	17.82	20.50	19.85	13.80	16.54	15.64	17.36	17.50	20.20	21.36	24.60	22.33
แปลง ควบคุม (ไม่มีพืช)	1	20.71	18.28	14.58	14.40	15.92	14.89	17.44	18.28	19.69	19.73	23.82	22.96
	2	20.72	18.30	15.00	14.40	15.93	14.85	17.50	18.20	19.70	19.70	23.80	22.90
	3	20.70	18.26	14.56	14.60	15.91	14.93	16.98	18.36	19.68	19.76	23.84	23.02
บ่อฝังที่ 2													
ก่อนบำบัด	1	21.67	18.79	22.00	17.78	22.00	15.57	12.46	13.59	16.74	15.39	21.10	22.69
	2	20.58	17.79	20.32	17.74	20.32	15.91	11.51	16.08	15.87	15.12	21.97	21.75
	3	21.24	18.09	22.94	17.78	22.94	17.57	13.73	15.61	13.53	15.20	22.11	22.49
หลังบำบัด ด้วยรูปถ่าย	1	3.27	1.89	4.29	1.84	1.20	2.08	1.18	1.89	2.12	1.44	1.60	3.42
	2	4.25	1.53	3.90	1.52	1.06	0.38	0.77	1.53	2.09	1.04	2.01	3.32
	3	3.83	1.44	4.60	1.78	1.16	0.28	0.69	1.44	2.21	1.25	1.86	3.25
แปลง ควบคุม (ไม่มีพืช)	1	4.83	1.98	3.05	2.07	1.58	1.02	0.49	2.92	2.88	2.21	2.48	3.68
	2	4.80	2.00	3.00	2.05	1.60	1.00	0.50	2.90	2.90	2.20	2.50	3.65
	3	4.86	1.96	3.10	2.09	1.56	1.04	0.48	2.94	2.86	2.22	2.46	3.71

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ก่อนและหลังบำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปธาตุไน ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
ก่อนบำบัด	1	13.18	9.86	10.07	12.39	13.78	13.15	11.04	12.39	12.11	15.27	14.39	14.44
	2	12.99	9.06	9.37	12.39	13.64	13.54	11.38	12.04	12.94	15.48	14.35	14.58
	3	13.00	8.51	11.04	12.53	12.77	13.71	10.97	12.08	12.15	16.35	15.69	14.51
หลังบำบัด ด้วยรูปธาตุไน	1	10.63	7.78	8.96	11.94	11.07	11.34	10.1	11.14	10.93	12.39	11.42	12.81
	2	11.18	7.85	8.12	11.42	11.37	11.42	10.87	11.42	10.95	12.46	13.36	12.94
	3	11.07	8.48	8.89	10.03	11.04	11.96	10.59	11.03	10.97	12.70	13.02	12.90
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	10.17	7.85	8.76	8.96	10.56	12.11	11.21	8.96	11.51	13.29	13.71	13.49
	2	10.16	7.83	8.74	8.92	10.54	12.09	11.25	8.90	11.53	13.25	13.70	13.50
	3	10.18	7.87	8.78	9.00	10.58	12.13	11.17	9.02	11.49	13.04	13.73	13.51
บ่อฝังที่ 2													
ก่อนบำบัด	1	13.25	9.15	12.57	12.67	12.98	14.13	12.32	13.36	12.49	13.85	14.16	14.37
	2	13.07	9.93	12.90	13.71	12.90	13.50	11.70	13.44	12.43	14.02	13.47	14.33
	3	13.12	9.23	12.73	13.92	12.73	13.40	11.91	13.36	12.15	14.58	13.47	12.63
หลังบำบัด ด้วยรูปธาตุไน	1	10.52	8.85	9.90	11.38	12.57	11.92	11.52	11.38	11.91	11.45	12.22	11.69
	2	10.76	9.11	8.72	11.35	11.91	10.76	11.14	11.35	11.91	11.00	11.35	12.69
	3	10.18	9.16	8.85	11.25	11.66	11.1	11.21	11.95	11.18	10.48	10.38	11.83
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	10.34	9.03	9.03	8.75	11.04	10.62	11.96	8.75	10.86	13.47	10.76	11.65
	2	10.30	9.00	9.00	8.77	11.00	10.64	11.90	8.71	10.86	13.47	10.75	11.64
	3	10.38	9.06	9.06	8.73	11.08	10.60	12.02	8.79	10.86	13.47	10.76	11.66

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ก่อนและหลัง
บำบัดในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปฤาษี ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่าง
เดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	รอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
ก่อนบำบัด	1	11.28	9.70	8.55	10.22	12.20	12.18	10.03	10.19	11.68	10.86	11.77	13.59
	2	12.07	9.09	8.52	10.92	13.26	12.70	10.26	10.92	11.65	12.25	11.04	13.81
	3	11.21	8.13	9.84	10.52	11.80	12.18	9.81	10.43	11.44	13.10	13.34	13.88
หลังบำบัด ด้วยรูปฤาษี	1	10.33	7.50	7.88	10.08	7.88	10.03	9.42	10.08	9.88	8.40	10.40	12.41
	2	10.40	7.38	8.06	10.48	8.06	11.04	9.55	10.57	10.41	7.88	10.02	13.40
	3	9.99	7.34	8.55	10.34	9.84	10.66	9.55	9.93	10.52	8.38	12.02	13.78
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	10.01	7.50	8.52	6.77	9.16	11.84	9.91	6.77	11.01	8.42	13.67	13.26
	2	10.00	7.60	8.50	6.79	9.14	11.84	9.90	6.75	11.04	8.40	13.65	13.25
	3	10.02	7.70	8.54	6.75	9.18	11.86	9.92	6.79	10.97	8.40	13.69	13.27
บ่อฝังที่ 2													
ก่อนบำบัด	1	12.28	9.01	11.12	12.77	11.97	13.62	11.92	12.58	12.07	11.07	13.37	12.88
	2	12.33	9.53	11.92	13.34	11.92	12.62	11.54	12.69	12.02	11.32	13.14	13.48
	3	12.86	8.99	10.66	13.03	11.42	13.01	11.56	12.95	11.89	10.52	13.18	11.94
หลังบำบัด ด้วยรูปฤาษี	1	10.41	8.85	9.78	10.69	11.12	11.6	10.76	10.69	10.99	8.42	11.42	11.53
	2	10.60	8.99	8.61	11.19	11.75	10.23	10.52	11.19	10.63	8.47	11.06	12.51
	3	10.00	8.89	8.64	11.08	10.66	10.93	10.50	11.58	10.55	7.71	10.3	10.99
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	10.08	8.89	8.98	8.14	10.05	10.33	10.66	8.14	10.66	8.38	10.67	10.27
	2	10.10	8.85	9.00	8.16	10.00	10.30	10.68	8.16	10.68	8.38	10.65	10.25
	3	10.06	8.93	8.96	8.18	10.10	10.36	10.70	8.12	10.64	8.38	10.69	10.29

ตารางผนวกที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2
 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน
 เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝั่งที่ 1													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	59.38	50.85	59.68	65.45	60.61	49.23	39.09	37.69	41.36	38.78	46.73	50.08
	2	64.86	53.45	57.38	67.24	62.69	48.49	42.00	41.62	49.18	38.46	45.70	47.34
	3	66.67	51.67	59.68	67.80	62.12	52.78	40.50	38.00	45.83	39.22	46.88	46.50
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	55.00	56.67	63.33	65.45	57.81	48.08	37.18	34.74	44.92	39.39	46.61	49.92
	2	58.00	55.00	60.33	66.73	55.08	48.00	38.13	32.14	42.13	39.00	45.18	48.89
	3	57.00	54.00	59.69	64.89	57.00	44.16	36.96	31.13	41.14	38.33	46.88	48.77
บ่อฝั่งที่ 2													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	47.50	42.50	56.55	83.46	85.00	75.68	88.33	70.81	71.81	83.71	82.68	52.73
	2	50.80	40.00	56.67	87.20	90.26	82.73	90.48	71.94	80.54	82.87	81.48	50.00
	3	51.54	47.20	57.59	84.80	88.82	85.90	90.43	71.28	79.82	82.88	81.85	49.62
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	50.00	26.52	48.21	75.38	86.67	71.81	66.67	67.58	82.01	82.89	81.00	54.24
	2	52.00	26.00	47.66	74.12	86.00	70.00	65.00	67.00	82.00	82.00	81.00	54.00
	3	49.00	27.00	46.12	76.16	87.00	72.00	67.12	68.00	82.00	82.00	82.00	54.00

ตารางผนวกที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน (%) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
บำบัดด้วย	1	51.33	48.27	52.28	53.79	52.99	49.78	40.24	38.82	32.00	32.04	26.02	25.58
รูปถ่าย	2	47.17	46.06	45.57	52.43	52.72	49.52	33.38	40.11	34.65	32.28	25.39	21.74
	3	50.74	41.18	46.18	55.24	55.13	51.09	40.59	39.85	35.04	34.76	24.84	31.59
แปลง	1	40.33	44.55	58.04	50.55	54.20	52.82	41.22	32.53	32.57	38.64	29.81	29.14
ควบคุม (ไม่มีพืช)	2	41.00	42.60	42.24	50.20	52.21	53.00	40.11	31.11	30.10	37.12	28.76	29.11
	3	40.70	40.00	48.48	50.50	53.10	52.50	41.12	32.00	30.33	38.00	29.01	29.18
บ่อฝังที่ 2													
บำบัดด้วย	1	84.92	89.94	80.50	89.68	94.54	86.67	90.53	86.08	87.34	90.64	92.42	84.93
รูปถ่าย	2	79.35	91.40	80.80	91.44	94.78	97.59	93.35	90.48	86.85	93.14	90.85	84.74
	3	81.95	92.03	79.95	89.98	94.95	98.38	94.98	90.76	83.67	91.78	91.59	85.55
แปลง	1	75.30	88.66	84.41	88.72	91.90	93.48	96.29	77.64	81.56	85.61	88.32	82.17
ควบคุม (ไม่มีพืช)	2	74.80	88.77	83.13	88.00	90.00	92.18	96.13	75.89	80.92	84.00	88.00	83.00
	3	75.80	88.00	84.87	89.00	90.00	92.14	96.43	78.00	81.01	86.00	81.64	81.00

ตารางผนวกที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2
 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน
 เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (%) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝิ่งที่ 1													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	19.37	21.07	11.03	3.64	19.72	13.81	8.47	10.08	9.74	18.86	20.65	11.30
	2	13.91	13.35	13.37	7.84	16.62	15.64	4.55	5.18	15.36	19.50	6.86	11.24
	3	14.82	0.35	19.45	19.94	13.54	12.74	3.50	8.67	9.71	22.29	17.03	11.05
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	16.90	10.00	25.73	27.92	10.53	7.96	9.25	26.28	7.38	15.26	12.61	10.00
	2	17.00	11.02	20.21	18.72	10.00	8.13	9.00	20.13	7.71	14.22	12.13	10.45
	3	16.80	9.08	19.28	25.39	11.05	9.22	5.12	19.98	7.89	15.88	12.66	11.00
บ่อฝิ่งที่ 2													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	20.56	3.23	21.2	10.13	3.18	15.65	6.49	14.80	4.72	17.29	13.72	18.65
	2	17.67	8.21	32.43	17.21	7.70	20.30	4.76	15.58	4.19	21.53	15.72	11.47
	3	22.46	0.75	30.44	19.20	8.36	17.17	5.81	10.60	8.00	28.09	22.93	6.38
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	20.87	3.34	31.20	32.89	15.89	20.56	5.59	35.04	11.33	11.41	20.10	20.05
	2	18.97	2.14	29.19	30.06	14.63	20.12	4.79	30.15	12.34	12.01	16.98	19.15
	3	21.12	2.98	30.67	29.01	14.14	20.78	5.72	33.28	10.75	11.00	21.78	20.12

ตารางผนวกที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2
 ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับรูปถ่ายใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน
 เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต (%) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	8.44	22.71	7.80	1.36	35.41	17.66	6.05	1.02	15.42	22.67	11.60	8.68
	2	13.87	18.82	5.37	3.97	39.18	13.06	6.93	3.18	10.64	35.68	9.27	3.01
	3	10.85	9.63	13.14	1.65	16.61	12.53	2.65	4.76	8.00	36.01	9.87	0.75
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	16.64	13.06	7.02	31.44	11.26	2.71	5.30	32.86	9.65	30.10	4.59	0.00
	2	16.30	11.41	8.04	29.33	12.23	3.12	5.23	26.62	8.92	31.02	3.69	0.18
	3	15.00	14.02	7.78	28.72	13.14	3.00	4.34	24.16	9.88	29.10	5.12	0.78
บ่อฝังที่ 2													
บำบัดด้วย รูปถ่าย	1	15.21	1.76	12.04	16.30	7.10	14.82	9.70	15.03	8.93	23.97	14.57	10.46
	2	14.06	5.68	27.80	16.12	1.45	18.88	8.81	11.76	11.55	25.14	15.84	7.20
	3	22.27	1.16	18.89	15.02	6.68	15.99	9.20	10.59	11.28	26.72	21.81	7.99
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	20.85	2.61	10.6	20.36	0.52	22.01	13.72	38.56	10.76	32.34	18.67	25.99
	2	19.18	2.00	9.05	21.02	1.29	20.18	12.98	35.09	9.93	30.43	19.00	24.00
	3	19.00	1.92	10.10	20.00	1.52	21.16	13.99	33.14	10.12	31.04	17.00	23.00

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน ในแปลงรูปถากี และแปลงควบคุม
ที่ไม่มีพืช ก่อนบำบัดน้ำเสีย ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณในดิน (พีพีเอ็ม)	
		ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
บ่อฝังที่ 1			
แปลงรูปถากี	1	1100	252
	2	700	178
	3	1300	278
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	1100	432
	2	1000	300
	3	1200	312
บ่อฝังที่ 2			
แปลงรูปถากี	1	1200	215
	2	900	256
	3	800	259
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	800	351
	2	900	284
	3	800	300

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียบำบัดในสภาพดินน้ำขัง
 สลับแห้งร่วมกับรูปธาตุไน ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน
 เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย (พีพีเอ็ม)											
		ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
แปลงรูปธาตุไน	1	900	900	1000	1100	1100	1200	1100	1200	1300	1400	1400	1500
	2	800	900	1100	1100	1200	1100	1100	1200	1300	1300	1400	1500
	3	900	900	900	1100	1100	1100	1200	1100	1300	1400	1500	1500
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	800	800	1100	900	1000	1100	1100	1200	1200	1200	1300	1500
	2	900	800	1000	1000	1000	1000	1100	1200	1200	1200	1400	1400
	3	900	800	1000	1000	1100	1000	1200	1100	1100	1300	1400	1300
บ่อฝังที่ 2													
แปลงรูปธาตุไน	1	800	800	800	900	900	1000	1100	1200	1200	1200	1300	1300
	2	800	900	900	900	900	1000	1100	1200	1200	1200	1200	1400
	3	900	800	900	800	900	900	1100	1100	1200	1200	1300	1400
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	700	800	800	800	800	900	1100	1000	1200	1300	1200	1200
	2	900	600	800	800	900	900	1000	1100	1100	1200	1300	1300
	3	800	700	800	900	900	1000	1000	1000	1100	1200	1300	1400

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสียบำบัดในสภาพดินน้ำขัง
 สลับแห้งร่วมกับรูปธาตุใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือน
 เมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย (พีพีเอ็ม)											
		ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
แปลงรูปธาตุ	1	312	314	330	355	362	366	382	381	390	346	411	415
	2	300	321	332	351	356	362	379	379	392	388	420	417
	3	289	316	335	356	359	364	380	382	389	388	415	419
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	311	300	335	355	350	362	377	366	392	390	418	417
	2	310	321	342	349	357	365	376	388	391	391	421	417
	3	300	314	351	352	360	370	381	388	399	391	410	410
บ่อฝังที่ 2													
แปลงรูปธาตุ	1	300	321	328	348	366	366	374	363	388	396	413	411
	2	302	303	346	351	351	371	376	358	387	390	410	414
	3	310	298	315	355	353	368	386	355	379	392	412	412
แปลงควบคุม (ไม่มีพืช)	1	295	286	320	342	362	377	377	366	383	398	405	405
	2	300	325	333	350	362	360	370	378	384	396	410	403
	3	301	332	341	358	362	359	369	370	388	400	400	413

ตารางผนวกที่ 12 ความสูงของรูปฤาษีที่ได้รับน้ำเสียจากบ่อฝังที่ 1 และบ่อฝังที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์
ใน 12 รอบการทดลอง ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2550

แหล่งที่มา ของน้ำ	ซ้ำ	ความสูงของรูปฤาษี (เซนติเมตร) ในรอบการทดลองที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บ่อฝังที่ 1													
ความสูง	1	117.46	145.8	177.5	195.5	221.03	243.5	264.64	270.56	286.07	288.5	291.21	291
รูปฤาษี	2	108.51	150.5	181.14	203.4	224.24	240.46	261.05	271.23	282.73	286.3	290.63	290
	3	106.66	145.5	185.85	197.6	224.84	238.3	260.85	269.57	279.44	288.2	300.01	300
บ่อฝังที่ 2													
ความสูง	1	102.45	140	165.35	185	210.87	220.6	245.88	255.43	260.02	270.6	280.18	282
รูปฤาษี	2	113.22	155	173.69	190.8	210.76	228.4	246.53	252.39	265.58	270.3	277.76	287
	3	110.88	144.5	168.65	188	211.82	222.5	238.85	248.87	258.67	268.8	280.02	280

ตารางผนวกที่ 13 มวลชีวภาพของรูปถ่าย (กิโลกรัมต่อแปลง) หลังการบำบัดน้ำเสียจากบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 ของโรงฆ่าสัตว์ในสภาพดินน้ำขังสลับแห้ง

แหล่งที่มาของน้ำ	มวลของรูปถ่าย		
	น้ำหนักสด (กก./ ม. ²)	น้ำหนักแห้ง (กก./ ม. ²)	เปอร์เซ็นต์น้ำในพืช (%)
บ่อฝิ่งที่ 1			
ซ้ำ 1	6.91	0.45	1,435.55
ซ้ำ 2	6.89	0.43	1,502.33
ซ้ำ 3	6.85	0.44	1,456.82
บ่อฝิ่งที่ 2			
ซ้ำ 1	5.84	0.34	1,617.65
ซ้ำ 2	5.80	0.24	2,316.67
ซ้ำ 3	5.36	0.27	1,885.18

ตารางผนวกที่ 14 การสะสมธาตุอาหารในรูปปุ๋ยหลังการบำบัดหลังการบำบัดน้ำเสียในสภาพ
ดินน้ำขังสลับแห้ง

แหล่งน้ำ	ปริมาณในรูปปุ๋ย (% โดยน้ำหนักแห้ง)	
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส
บ่อฝังที่ 1		
ซ้ำ 1	1.19	0.21
ซ้ำ 2	1.15	0.22
ซ้ำ 3	1.19	0.21
บ่อฝังที่ 2		
ซ้ำ 1	1.1	0.17
ซ้ำ 2	1.1	0.17
ซ้ำ 3	1.01	0.14
แหล่งน้ำธรรมชาติ		
ซ้ำ 1	1.18	0.15
ซ้ำ 2	1.04	0.23
ซ้ำ 3	1.13	0.19

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววลัยนุช พรรณสังข์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 ธันวาคม 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-