อภินันทนาการ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ร่วมกับการผลิตหญ้าเนเปียร์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน - 2 มิ.ย. 2558
เลขทะเบียน 1676625
เลขเรียกหนังสือ จ TD
~~343~~
.3
พ5ก5
2557

โดย พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก และคณะ

กันยายน 2557

สัญญาเลขที่ R2556B047

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบึงประดิษฐ์
ร่วมกับการผลิตหญ้าเนเปียร์

คณะผู้วิจัย สังกัด

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิยาลัยนเรศวร

ดำรงศักดิ์ สุวรรณศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เขตพื้นที่พิษณุโลก

สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ และปริมาณและคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์จากระบบบำบัดในรูปของพืชอาหารสัตว์ ผลการศึกษาพบว่าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 2 และ 5 cm/d สามารถลดมลสารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ โดยระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD_5, TSS, NH_3N, TKN, Phosphate และ TP เฉลี่ยระหว่าง 36.08-63.47, 77.01-94.20, 51.57-67.51, 97.20-98.60, 93.84-97.64, 82.40-89.10 และ 68.33-74.24 % ตามลำดับ โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพในการลด Phosphate และระบบบึงประดิษฐ์ปลูกหญ้าเนเปียร์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 สูงกว่าหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยของ ค่า pH, BOD_5, COD, TSS และ TKN อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งนี้หญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์ มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.1114-0.2080 d^{-1} ผลผลิตน้ำหนักแห้งจาก 4 รอบของการเก็บเกี่ยว (5 เดือน) มีค่าสูงกว่าผลผลิตหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามพบว่าผลผลิตในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนะของผลผลิตหญ้าเนเปียร์นั้น พบว่าหญ้าเนเปียร์จากระบบบึงประดิษฐ์ มีค่าวัตถุแห้ง (DM) โปรตีนหยาบ (CP) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) ต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่ปลูกในระบบปกติ ขณะที่ ค่าฟอสฟอรัส (P) ของหญ้าเนเปียร์จากระบบบึงประดิษฐ์ มีค่าสูงกว่า ค่า P ของหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่ปลูกในระบบปกติ ทั้งนี้ พบว่าค่าแมกนีเซียม (Mg) ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์จากระบบบึงประดิษฐ์มีค่าต่ำกว่า ค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่ปลูกในระบบปกติ ส่วนค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์แคระจากระบบบึงประดิษฐ์มีค่าใกล้เคียงกันกับ ค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่ปลูกในระบบปกติ จากผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษาสามารถบำบัดมลสารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ และสามารถให้ผลผลิตหญ้าเนเปียร์ได้แต่คุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยังต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกด้วยระบบปกติ

Abstract

The objectives of this study was to investigate swine wastewater treatment using vertical subsurface flow constructed wetland (VSF CW) planted with Napier grass and investigate yield and quality of Napier grass harvested from VSF CW as feed plant. The results showed that Napier VSF CWs that were operated with 2 and 5 cm/d of hydraulic loading rate (HLR) could reduce pollutants in piggery wastewater. Average efficiencies of Napier VSF CWs for removal of COD, BOD_5, TSS, NH_3N, TKN, Phosphate and TP were 36.08-63.47, 77.01-94.20, 51.57-67.51, 97.20-98.60, 93.84-97.64, 82.40-89.10 and 68.33-74.24 %, respectively. Statistical analysis showed that efficiency of Giant napier VSF CWs with 2 cm/d of HLR for Phosphate reduction was significantly higher than efficiency of control unit with 2 cm/d of HLR for Phosphate reduction at $p<0.05$. Likewise, efficiency of Giant napier VSF CWs with 5 cm/d of HLR for BOD_5 reduction was significantly higher than efficiency of control unit with 5 cm/d of HLR for BOD_5 reduction at $p<0.05$. pH, BOD_5, COD, TSS and TKN in effluent of VSF CWs were in the standard criteria for wastewater discharged from swine farm. Relative growth rate (RGR) of Napier grass in VSF CWs were 0.1114-0.2080 d^{-1}. Dry yield of Napier grass for 4 time of harvesting (in 5 months) was higher than dry yield per year of Napier grass from normal production process. However, dry yield of Napier grass from VSF CWs was continuously decreasing. Dry matter, Crude protein, Calcium, Potassium of Napier grass from the VSF CWs were less than those of Napier grass from normal production process. Nevertheless, Phosphorus of Napier grass from the VSF CWs was higher than that of Napier grass from normal production process. In case of Magnesium, Magnesium of Giant napier grass from the VSF CWs was less than Magnesium of Giant napier grass from normal production process. However, Magnesium of Dwarf napier grass from the VSF CWs was similar to Magnesium of Dwarf napier grass from normal production process. It was found that Napier VSF CWs could reduce pollutants in swine wastewater and provide Napier yield. However, quality of Napier grass from the VSF CWs as feed plant was less than Napier grass from normal production process.

Executive summary

การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบึงประดิษฐ์ ร่วมกับการผลิตหญ้าเนเปียร์

1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาทรัพยากรน้ำ ทั้งด้านปริมาณและความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ ได้ส่งผลกระทบต่อทั้งกิจกรรมการดำรงชีวิต และกิจกรรมการเกษตรและอุตสาหกรรม ปริมาณน้ำที่มีน้อยจะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลน ขณะที่ปัญหาอุทกภัยจะส่งผลเสียต่อทั้งทรัพย์สินและการดำรงชีวิต ซึ่งปัญหาทรัพยากรน้ำนั้น มีสาเหตุมาจากสภาพทางธรรมชาติ และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ไม่เหมาะสม ในขณะที่ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำซึ่งมีกิจกรรมมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของปัญหา จะทำให้การขาดแคลนน้ำและปัญหาจากอุทกภัยมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ในพื้นที่ที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำนั้น ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำจะทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ลดลง ส่วนในพื้นที่ที่มีน้ำส่วนเกินเป็นปริมาณมากหรือมีปัญหาอุทกภัย มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำจะมีแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างและก่อผลกระทบอย่างรุนแรง หากมลสารที่ปนเปื้อนนั้นมีความเป็นพิษสูงหรือมีการปนเปื้อนในปริมาณมาก

กิจกรรมการปศุสัตว์โดยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีการผลิตน้ำเสียปริมาณมาก และมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยเฉพาะการปนเปื้อนอินทรียสาร ของแข็ง และธาตุอาหาร ซึ่งหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง รวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำด้วย และแม้จะมีการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร แต่ยังคงพบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์ม มักพบเพียงในฟาร์มขนาดใหญ่และยังเกิดขึ้นน้อยในฟาร์มขนาดเล็ก ทั้งนี้ เนื่องจากเกษตรกรต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ดังนั้น การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการลดปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้ โดยใช้ทุนในการสร้างและดำเนินการต่ำ รวมถึงเป็นระบบที่เกษตรกรสามารถดำเนินระบบและดูแลระบบได้ด้วยตนเอง จะทำให้การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มของเกษตรกรรายเล็กเกิดขึ้นได้มากขึ้น และหากการบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถก่อให้เกิดผลผลิตที่ให้ประโยชน์และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้ด้วย จะเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรเกิดความสนใจและทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการระบายน้ำเสียนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม

น้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นน้ำเสียที่มีธาตุอาหารปนเปื้อนในปริมาณสูง การบำบัดโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร จะช่วยสร้างผลตอบแทนเพิ่มเติมให้แก่เกษตรกร ขณะที่น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพยังสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำความสะอาดคอกสัตว์ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำ นอกเหนือจากการลดผลกระทบจะที่เกิดขึ้นจากการระบายน้ำเสียจากฟาร์มลงสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการใช้น้ำอย่างประหยัดอีกด้วย

โครงการวิจัยนี้ จึงมีแนวทางในการวิจัยเพื่อศึกษาถึงแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ดำเนินการได้จริง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ร่วมกับการใช้ประโยชน์จากมลสารในน้ำเสียซึ่งอยู่ในรูปของธาตุอาหารในการผลิตหญ้าเนเปียร์

ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ในรูปของพืชพลังงานในอนาคต ทั้งนี้ เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดปัญหามลพิษน้ำและเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

2.3 เพื่อศึกษาปริมาณ และคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

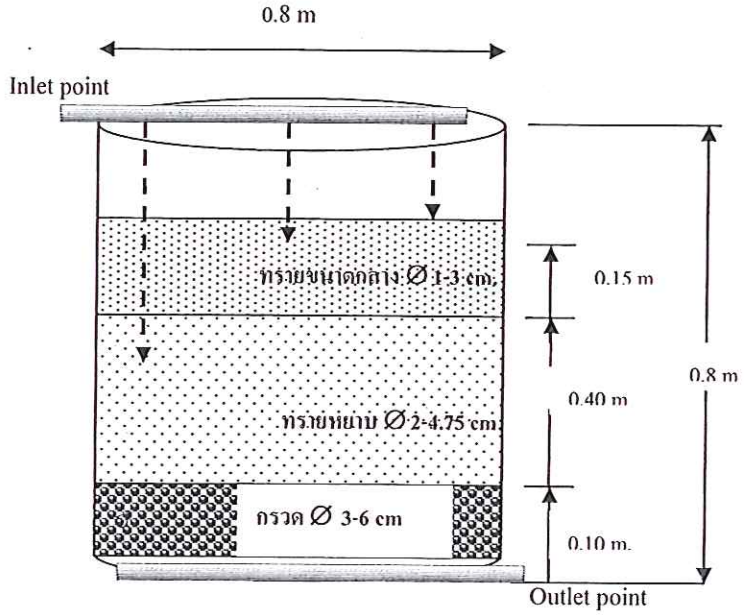
3 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง รวมถึงการศึกษาถึงปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิด ในการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ โดยมีขั้นตอน วิธีการวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง จากบล็อกคอนกรีตทรงกลม (วงส้วม) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m (พื้นที่ 0.5 m^2) สูง 0.8 m ระดับความลาดชันที่พื้นบ่อ 1 % บรรจุวัสดุปลูกซึ่งใช้เป็นตัวกลาง (Media) ของระบบ ประเภทกรวดขนาด $\varnothing$ = 3-6 cm ลงแปลง สูง 10 cm จากก้นแปลง บรรจุทรายหยาบ ($\varnothing$ = 2-4.75 mm) หนา 40 cm และ บรรจุทรายขนาดกลาง ($\varnothing$ = 1-3 mm) หนา 15 cm ตามลำดับ ติดตั้งท่อนำน้ำเข้าสู่ระบบที่บริเวณผิวหน้าของตัวกลาง และติดตั้งท่อรับน้ำออกที่บริเวณก้นแปลง โดยท่อนำน้ำเสียจะกระจายน้ำเสียลงสู่ระบบ และน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางและไหลเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำเสียที่บริเวณก้นแปลงซึ่งรวบรวมน้ำเสียออกนอกระบบ (ภาพที่ 1) หน่วยทดลองระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการศึกษา จะถูกจัดเตรียมในพื้นที่ของฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นแหล่งของน้ำเสียที่ทำการบำบัด โดยเป็นพื้นที่ฟาร์มสุกรในเขตตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

เมื่อการเตรียมหน่วยทดลองแล้วเสร็จ จึงทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ จำนวน 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์แคระ (*Pennisetum purpureum cv. Mott*) และ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (*Pennisetum purpureum cv. King grass*) ลงในหน่วยทดลอง ชนิดละ 6 แปลง โดยทำการปลูกด้วยท่อนพันธุ์ที่มี 2 ข้อ ปักเอียง 45 องศา จำนวน 2 ท่อนพันธุ์ต่อแปลง รดด้วยน้ำประปา จนกระทั่งหญ้าสามารถตั้งตัวได้ในระบบ



ภาพที่ 1 ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ใช้ในการศึกษา

3.2 การดำเนินการทดลอง

1) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ

เมื่อหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 2 ชนิด สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีแล้ว จึงระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงสู่ระบบบำบัด โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยหญ้าเนเปียร์แคระ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate: HLR) 2 ค่า คือ 2 cm/d หรือ 10.06 l/d และ 5 cm/d หรือ 25.15 l/d โดยทำการให้น้ำเป็นระยะ (Intermittent feed) ทั้งนี้ ในแต่ละรอบของการบำบัดจะทำการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบเพียง 1 ครั้ง ระบายน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ระบบภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง (20.12 l สำหรับระบบที่มี HLR = 2 cm/d และ 50.30 l สำหรับระบบที่มี HLR = 5 cm/d) จากนั้นทำการกักพักน้ำเสียไว้ในระบบเป็นระยะเวลา 2 วัน เพื่อให้น้ำเสียได้ถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แล้วจึงระบายน้ำเสียออกจากระบบ พักระบบไว้เป็นระยะเวลา 5 วัน เพื่อให้เกิดการเติมอากาศ จากนั้นจึงทำการระบายน้ำเสียลงระบบเพื่อเริ่มการบำบัดในรอบถัดไป ดำเนินระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยในระหว่างดำเนินระบบ ได้ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดออกจากระบบ 4 ครั้ง ดังนี้ ครั้งแรกภายหลังการปลูกเป็นเวลา 60 วัน และตัดครั้งต่อไปที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งแรก และที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นรอบการตัดตามปกติของเกษตรกร

ในระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบนั้น จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบควบคุม (Control system) ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการปลูกพืช ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน ไปพร้อมๆ กัน โดยจะมีระบบควบคุมจำนวน 1 แปลง ในแต่ละค่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

2) การศึกษาปริมาณและคุณภาพผลผลิตในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นพืชอาหารสัตว์

การเก็บเกี่ยวพืชที่ใช้ในกระบวนการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ออกจากระบบ จัดเป็นข้อกำหนดประการหนึ่ง ในการดูแลระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์แคระ และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่ทำการผลิตภายในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในกระบวนการผลิต ที่อัตราการให้น้ำที่แตกต่างกัน คือ 25.15 และ 50.3 l/d ออกจากระบบเป็นจำนวน 4 ครั้ง คือ ครั้งแรกภายหลังการปลูกเป็นเวลา 60 วัน และตัดครั้งต่อไปที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งแรก และที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งระยะตัดนี้เป็นระยะตัดปกติในการตัดหญ้าเนเปียร์ไปใช้ประโยชน์ (กรมปศุสัตว์, 2545) นำหญ้าอาหารสัตว์ที่เก็บเกี่ยวได้ จำนวน 16 ตัวอย่าง (หญ้าอาหารสัตว์ 2 ชนิด x อัตราการให้น้ำ 2 ค่า x การเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ 4 ครั้ง) จำนวนสิ่งทดสอบ (Treatment) ละ 3 ซ้ำ ไปศึกษาถึงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในการใช้ประโยชน์ในรูปของพืชอาหารสัตว์

3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ตัวอย่างวัสดุปลูก (Media)

นำตัวอย่างวัสดุปลูกแต่ละชนิด ที่ใช้บรรจุลงในหน่วยทดลอง มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ (%) Total N (%) และ available P (ppm) ในห้องปฏิบัติการ

2) ตัวอย่างน้ำ

เริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว หลังจากระบบได้เริ่มกระบวนการบำบัดแล้วเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายลงสู่แปลง (Influent) ขณะที่ทำการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบ และเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (Effluent) จากจุดระบายน้ำออก (Outlet point) ของทุกแปลง (ภาพที่ 1) จำนวนทั้งสิ้น 14 แปลง ขณะทำการระบายน้ำเสียที่ถูกกักพักอยู่ในระบบเป็นเวลา 2 วัน ออกจากระบบ ก่อนการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบเพื่อการบำบัดในรอบถัดไป ทั้งนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาดำเนินระบบ นำตัวอย่างน้ำที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำตามที่ได้ระบุใน ตารางที่ 1 โดยบางดัชนีได้ทำการตรวจวัดในภาคสนาม ณ จุดเก็บตัวอย่าง บางดัชนีทำการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการของคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีการในการเก็บตัวอย่าง รักษาตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตามที่กำหนดใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

ตารางที่ 1 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด และวิธีการในการวิเคราะห์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
COD	mg/l	Closed reflux method
BOD_5	mg/l	Azide modification method
TSS	mg/l	Gravimetric method, dried at 103-105 ^{o}C
TDS	mg/l	Multiprobe water analysis
TKN	mg/l	Kjeldahl method
NH_3N	mg/l	Distillation and Titration method
NO_3N	mg/l	Brucine method
NO_2N	mg/l	Colorimetric method
TP	mg/l	Digestion and Colorimetric method
Phosphate	mg/l	Colorimetric method
DO	mg/l	Membrane electrode meter (DO meter)
EC	µS/cm	Conductivity meter
Temperature	^{o}C	Thermometer
pH	-	Electrometric method (pH meter)

3) ตัวอย่างพืชอาหารสัตว์

ทำการตรวจวัดตัวอย่างพืชในภาคสนามและเก็บตัวอย่างพืชแต่ละชนิด มาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการเก็บตัวอย่างพืชมาทำการวิเคราะห์ จำนวน 4 ครั้ง ดังนี้ ครั้งแรก ทำการเก็บตัวอย่างพืชเมื่อทำการเก็บเกี่ยวพืช ครั้งแรก ที่ระยะ 60 วันหลังการปลูก และทำการเก็บตัวอย่างพืชครั้งที่ 2 ที่ระยะ 30 วันหลังการเก็บเกี่ยวพืชครั้งแรกและทำการเก็บตัวอย่างพืชครั้งที่ 3 และ 4 ที่ระยะ 30 วันหลังการเก็บเกี่ยวพืชครั้ง 2 และ 3 ตามลำดับ หรือที่อายุตัด 30 วัน ซึ่งเป็นอายุตัดในการนำหญ้าเนเปียร์มาใช้ประโยชน์ (กรมปศุสัตว์, 2545) โดยทำการตัดหญ้าเนเปียร์ที่เจริญเติบโตภายในแปลงทดลอง โดยตัดสูงจากระดับพื้นผิวของระบบ 5 ซม.

ตรวจวัดค่าดัชนีในการใช้ประโยชน์ในรูปพืชอาหารสัตว์ โดยทำการตรวจวัดหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิด ทั้งในภาคสนาม และนำตัวอย่างหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้ มาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ดัชนีตัวอย่างพืชที่ทำการตรวจวัด และระยะเวลาในการตรวจวัด/เก็บตัวอย่าง

ดัชนี	ระยะเวลาในการตรวจวัด/เก็บตัวอย่าง
ลักษณะทั่วไป	ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา
ปริมาณผลผลิต: - ผลผลิตน้ำหนักสด - ผลิตน้ำหนักแห้ง คุณภาพผลผลิต: - วัตถุแห้ง - โปรตีนหยาบ - ฟอสฟอรัส - โพแทสเซียม - แคลเซียม - แมกนีเซียม	ทุกระยะเก็บเกี่ยว ดังนี้ คือ - หญ้าอายุ 60 วัน/การเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งแรก - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งแรก/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 2 - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 2/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 3 - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 3/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 4

ตารางที่ 3 วิธีการหรือเครื่องมือในการวิเคราะห์พืช

ดัชนีที่ตรวจวัด	หน่วย	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
Fresh weight	kg/m^2	Weighting
Dry weight	kg/m^2	Drying method
Dry matter	%	AOAC method, AOAC (1984)
Crude protein	%	AOAC method, AOAC (1984)
Phosphorus	%	AOAC method, AOAC (1965)
Potassium	%	AOAC method, AOAC (1965)
Calcium	%	AAS, Perkin Elmer (1982)
Magnesium	%	AAS, Perkin Elmer (1982)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การบำบัดน้ำเสีย

นำผลการตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย ในแต่ละค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ในรูปร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด (Removal) วิเคราะห์ความเข้มข้น (Concentration) ของมลสารในน้ำเสียหลังการบำบัด รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่มีการบำบัดด้วยอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) ที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

2) การเจริญเติบโต ปริมาณ และคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์

วิเคราะห์การเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความสูง น้ำหนัก และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) และวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละอัตราการระบายน้ำเสียหรืออัตราการให้น้ำ และในแต่ละช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ร่วมถึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติในด้านการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ด้วย

4 สรุปผลการวิจัย

4.1 การศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การศึกษาความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพของของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งดำเนินการโดยการระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรในระดับครัวเรือน ที่เกษตรกรจะทำการรวบรวมและกักพักน้ำเสียเหล่านี้ไว้ในบ่อซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งพื้นที่กักเก็บน้ำเสียและพื้นที่บำบัดน้ำเสียขั้นต้น จากการตรวจวัดน้ำเสียในบ่อรวบรวมดังกล่าวนี้ พบว่ายังคงมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยเฉพาะสารอินทรีย์ซึ่งพบว่ามีการปนเปื้อนเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ประเภท ค หรือเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค ต้องมีค่า COD, BOD_5, TKN, และ TSS ไม่เกิน 400 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l และ 200 mg/l ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

โดยน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัดของระบบมีคุณลักษณะดังนี้ คือ น้ำเสีย มีค่าอุณหภูมิน้ำ 30.00-35.00 °C ค่า pH ของน้ำเสียมีค่า 5.91-7.54 ค่า EC ของน้ำเสียมีค่า 1565.00-1,469.00 µS/cm ค่า TDS ของน้ำเสียมีค่า 283.00-735.00 mg/l DO ของน้ำเสียมีค่า 0.02-3.88 mg/l ปริมาณมลสารในรูป BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate มีค่าระหว่าง 30.0-210.0, 176.0-872.0, 20.5-50.5, 34.72-111.44, 19.18-92.26, 2.04-7.30, 1.59-6.19, 29.10-168.50 และ 0.43-2.08 mg/l ตามลำดับ

เมื่อระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกรดังกล่าวลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ใช้หญ้าเนเปียร์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ หญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระเป็นพืชในระบบ โดยให้ระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือ อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดจากระบบพบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบำบัดดังกล่าวนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งบ่งชี้ได้จากประสิทธิภาพของระบบในการลดมลสารในน้ำเสียโดยที่องค์ประกอบของระบบโดยเฉพาะพืชในระบบยังคงสามารถดำรงอยู่และทำหน้าที่ได้ในระบบ

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ในการบำบัดมลสารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้น พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งหมดที่ทำการศึกษานี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate โดยเฉลี่ยระหว่าง 77.01-94.20, 36.08-63.47, 51.57-67.51, 93.84-97.64, 97.20-98.60, 38.86-79.26, -224.66-16.06, 68.33-74.24 และ 82.40-89.10 % ตามลำดับ

ขณะที่ หน่วยควบคุมซึ่งไม่มีพืชในระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate โดยเฉลี่ยระหว่าง 77.07-74.36, 61.58-68.16, 70.44-73.38, 90.94-97.65, 95.66-98.45, -205.78-(-205.36), 68.33-69.86 และ 77.43-81.79 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.008)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด Phosphate สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.004)

หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.003)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3N และ NO_2N สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ทั้งนี้ การทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าชนิดของหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d และชนิดของหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TSS และ BOD_5 เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d

นอกจากนั้น ยังพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TKN, NH_3N และ P ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ

โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้งหมด มีค่า pH อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และมีค่าอยู่ในระดับปกติซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการบำบัดของระบบ และพบว่าปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียหลังการบำบัดของระบบโดยส่วนใหญ่ คือ สารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ของแข็งในรูป TSS และปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งมาตรฐาน ก และ

มาตรฐาน ข ยกเว้นค่า COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดซึ่งพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงพบบางส่วนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข

ทั้งนี้ การลดมลสารปนเปื้อนภายในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการศึกษานี้ เกิดขึ้นจากการทำหน้าที่ขององค์ประกอบภายในระบบผ่านกระบวนการต่างๆ คือ การกรอง (Filtration) และดูดซับมลสารโดยตัวกลางและส่วนของพืช (Adsorption) การทำหน้าที่ย่อย (Degradation) และเปลี่ยนรูป (Transformation) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่ภายในระบบโดยมีตัวกลางและพืชเป็นผู้เอื้อที่อยู่อาศัยและเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในการทำงาน การทำปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดการตกตะกอนเคมีของมลสาร (Chemical precipitation) ซึ่งมีสารธาตุบางส่วนจากตัวกลางเป็นตัวร่วมในการเกิดปฏิกิริยา โดยมีตัวกลางและรากพืชเป็นตัวจับตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นนั้น นอกจากนั้น หญ้าเนเปียร์ยังทำหน้าที่ในการดูดซึม (Assimilation) ธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นการลดมลสารในน้ำเสียลง ดังนั้นจึงจะพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมสูงกว่าหน่วยควบคุม

4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยบ่งชี้ได้จากการอยู่รอดและเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดภายในระบบ ทั้งนี้จะพบว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวหญ้าออกจากระบบแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น หญ้าเนเปียร์จะสามารถเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นได้ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายในระบบบึงประดิษฐ์ มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.1119-0.2068 d^{-1} ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบึงประดิษฐ์ มีค่า RGR ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.1114-0.2152 d^{-1} ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า RGR ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันระหว่างหญ้าแต่ละชนิดในแต่ละอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีค่า RGR สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.036)

ทั้งนี้ การอยู่รอด เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งมีวัสดุปลูกเป็นหินและทราย โดยไม่มีการให้ปุ๋ยแก่หญ้าแต่อย่างใดนั้น เกิดขึ้นได้จากการที่หญ้าได้รับน้ำจากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบและได้รับธาตุอาหารจากธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวกลางและปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งนอกจากจะทำให้หญ้าเติบโตให้ผลผลิตได้แล้ว ยังช่วยลดธาตุอาหารในน้ำเสียและช่วยในกระบวนการบำบัดรูปแบบอื่นๆ ด้วย

4.3 การศึกษาปริมาณและคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

1) ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ผลการตรวจวัดอัตราการผลิตมวลชีวภาพในรูปของผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นรอบการเก็บเกี่ยวของระบบการปลูกหญ้าเนเปียร์ตามปกตินั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.57-15.21 และ 5.20-12.42 kg/m^2 ตามลำดับ

และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าต่างชนิดกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.022) อย่างไรก็ตาม ในรอบการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าทุกชนิดในทุกระบบมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้า

ผลการตรวจวัดอัตราการผลิตมวลชีวภาพในรูปของผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่ามีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.48-2.16 และ 0.57-2.11 kg/m^2 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าต่างชนิดกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์แคระ ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.036) อย่างไรก็ตาม ในรอบของการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าทุกชนิดในทุกระบบมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แม้เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติ ซึ่งกรมปศุสัตว์ (ม.ป.ป.) ระบุว่าหญ้าเนเปียร์ทุกสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและเหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ให้น้ำ โดยจะให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 3.0-4.0 ton/rai/yr หรือ 1.88-2.50 kg/m^2/yr นั้น จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษาซึ่งทำการเก็บเกี่ยว 4 รอบการเก็บเกี่ยว รวมเป็นเวลา 5 เดือนนั้น มีค่าสูงกว่าการปลูกในระบบปกติ โดยมีผลผลิตน้ำแห้งเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.80 kg/m^2/5 mo โดยไม่มีการให้ปุ๋ยเหมือนในระบบปกติ แต่หญ้าจะได้รับน้ำและอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียแทน แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าผลผลิตของหญ้าในระบบมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นผลจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น ขนาดของพื้นที่ปลูก ปริมาณและระยะเวลาของการให้น้ำเสีย และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อกำหนดที่เหมาะสมในการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับการสร้างผลผลิตหญ้าเนเปียร์ต่อไป

2) คุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

การตรวจวัดคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ในรูปของพืชอาหารสัตว์ด้วยดัชนีคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่า Dry matter, Crude protein, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium เฉลี่ยระหว่าง 9.94-14.26, 1.88-2.82, 0.35-0.56, 0.175-0.403, 0.016-0.022 และ 0.245-0.351 % ตามลำดับ

ขณะที่ มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่า Dry matter, Crude protein, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium เฉลี่ยระหว่าง 9.94-16.99, 1.82-2.59, 0.38-0.52, 0.255-0.365, 0.016-0.026 และ 0.258-0.414 % ตามลำดับ

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวหญ้านั้น หญ้าเนเปียร์ทุกชนิดจากทุกระบบอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จะมีค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะที่ทำการตรวจวัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีค่า Dry matter และ Potassium สูงกว่าหญ้าในระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะของหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์กับหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติ จะพบว่าค่า Dry matter, Crude protein, Potassium และ Calcium ในมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดที่ผลิตจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ มีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับหญ้าเนเปียร์แต่ละชนิด (กรมปศุสัตว์, 2547) ขณะที่ มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบึงประดิษฐ์ มี Magnesium ต่ำกว่าค่า Magnesium ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ส่วนมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบบึงประดิษฐ์ มี Magnesium ใกล้เคียงกับค่า Magnesium ของหญ้าเนเปียร์แคระที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามจะพบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ มีค่า Phosphorus สูงกว่าค่า Phosphorus ของหญ้าเนเปียร์แต่ละชนิดที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์

ดังนั้นในการพิจารณาถึงการผลิตหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบบึงประดิษฐ์และการใช้หญ้าเนเปียร์จากระบบบึงประดิษฐ์ในการเลี้ยงสัตว์ จึงควรต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตที่คำนึงถึงคุณค่าทางโภชนะของหญ้า และพิจารณาถึงการใช้หญ้าเนเปียร์ดังกล่าวในการเป็นอาหารของสัตว์ซึ่งควรจะต้องเป็นการให้ร่วมกับอาหารประเภทอื่นที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ครบถ้วนเพื่อให้สัตว์ได้รับสารอาหารอย่างเหมาะสม

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	**ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร	3
	2.2 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์	5
	2.3 หญ้าเนเปียร์	7
	2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	
	3.1 การเตรียมหน่วยทดลอง	9
	3.2 การดำเนินการทดลอง	10
	3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง	11
	3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	13
4	**ผลการทดลองและอภิปรายผล**	
	4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	15
	4.2 การเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง	60
5	**สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ**	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	82
	5.2 ข้อเสนอแนะ	87
	บรรณานุกรม	88
	Output ที่ได้จากโครงการ	90
	ภาคผนวก	91
	บทความวิจัยที่ตีพิมพ์บน Proceedings ในการประชุมวิชาการระดับชาติ	

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าความสกปรกของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	3
2.2	มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	5
3.1	ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด และวิธีการในการวิเคราะห์	12
3.2	ดัชนีตัวอย่างพืชที่ทำการตรวจวัด และระยะเวลาในการตรวจวัด/เก็บตัวอย่าง	13
3.3	วิธีการหรือเครื่องมือในการวิเคราะห์พืช	13
4.1	คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด	16
4.2	ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง	23
4.3	ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง	31
4.4	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง	39
4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง	54
4.6	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของตัวกลาง/วัสดุปลูก เมื่อสิ้นสุดการดำเนินระบบบำบัด	62
4.7	การเจริญเติบโตและผลผลิตหญ้าเนเปียร์ จากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์	66
4.8	คุณค่าทางโภชนะของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ จากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์	72

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
3.1	ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ใช้ในการศึกษา	10
4.1	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด	18
4.2	ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด	19
4.3	ค่า pH เฉลี่ย ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด	20
4.4	ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ย ในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด	21
4.5	ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	25
4.6	ค่าเฉลี่ย BOD_5 ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	29
4.7	ค่าเฉลี่ย TSS ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	34
4.8	ค่าเฉลี่ย TDS ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	37
4.9	ค่าเฉลี่ย TKN ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	41
4.10	ค่าเฉลี่ย NH_3N ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	45
4.11	ค่าเฉลี่ย NO_2N ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	48
4.12	ค่าเฉลี่ย NO_3N ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	52
4.13	ค่าเฉลี่ย P ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	56
4.14	ค่าเฉลี่ย TP ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม	59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาทรัพยากรน้ำ ทั้งด้านปริมาณและความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ ได้ส่งผลกระทบต่อทั้งกิจกรรมการดำรงชีวิต และกิจกรรมการเกษตรและอุตสาหกรรม ปริมาณน้ำที่มีน้อยจะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลน ขณะที่ปัญหาอุทกภัยจะส่งผลเสียต่อทั้งทรัพย์สินและการดำรงชีวิต ซึ่งปัญหาทรัพยากรน้ำนั้น มีสาเหตุมาจากสภาพทางธรรมชาติ และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ไม่เหมาะสม ในขณะที่ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำซึ่งมีกิจกรรมมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของปัญหา จะทำให้การขาดแคลนน้ำและปัญหาจากอุทกภัยมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ในพื้นที่ที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำนั้น ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำจะทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ลดลง ส่วนในพื้นที่ที่มีน้ำส่วนเกินเป็นปริมาณมากหรือมีปัญหาอุทกภัย มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำจะมีแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างและก่อผลกระทบอย่างรุนแรง หากมลสารที่ปนเปื้อนนั้นมีความเป็นพิษสูงหรือมีการปนเปื้อนในปริมาณมาก

กิจกรรมการปศุสัตว์โดยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีการผลิตน้ำเสียปริมาณมาก และมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยเฉพาะการปนเปื้อนอินทรียสาร ของแข็ง และธาตุอาหาร ซึ่งหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง รวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำด้วย และแม้จะมีการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร แต่ยังคงพบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์ม มักพบเพียงในฟาร์มขนาดใหญ่และยังเกิดขึ้นน้อยในฟาร์มขนาดเล็ก ทั้งนี้ เนื่องจากเกษตรกรต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ดังนั้น การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการลดปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้ โดยใช้ทุนในการสร้างและดำเนินการต่ำ รวมถึงเป็นระบบที่เกษตรกรสามารถดำเนินระบบและดูแลระบบได้ด้วยตนเอง จะทำให้การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มของเกษตรกรรายเล็กเกิดขึ้นได้มากขึ้น และหากการบำบัดน้ำเสียนั้น สามารถก่อให้เกิดผลผลิตที่ให้ประโยชน์และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้ด้วย จะเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรเกิดความสนใจและทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการระบายน้ำเสียนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม

น้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นน้ำเสียที่มีธาตุอาหารปนเปื้อนในปริมาณสูง การบำบัดโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร จะช่วยสร้างผลตอบแทนเพิ่มเติมให้แก่เกษตรกร ขณะที่น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพยังสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำความสะอาดคอกสัตว์ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำ นอกเหนือจากการลดผลกระทบจะที่เกิดขึ้นจากการระบายน้ำเสียจากฟาร์มลงสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการใช้น้ำอย่างประหยัดอีกด้วย

โครงการวิจัยนี้ จึงมีแนวทางในการวิจัยเพื่อศึกษาถึงแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ดำเนินการได้จริง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ร่วมกับการใช้ประโยชน์จากมลสารในน้ำเสียซึ่งอยู่ในรูปของธาตุอาหารในการผลิตหญ้าเนเปียร์ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ใน

รูปของพืชพลังงานในอนาคต ทั้งนี้ เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดปัญหามลพิษน้ำและเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

1.2.3 เพื่อศึกษาปริมาณ และคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยของโครงการ คือ การศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (Vertical subsurface flow constructed wetland) พร้อมกับการศึกษาถึงผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลิตได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง และคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ เมื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นหญ้าอาหารสัตว์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลการวิจัย ทำให้ทราบแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ได้พร้อมๆ กับการบำบัดน้ำ ซึ่งจะทำให้ได้แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มให้มีคุณภาพดีขึ้นและไม่ก่อผลกระทบต่อแหล่งรองรับน้ำเสียนั้น ในขณะเดียวกันกับการสร้างผลผลิตที่สามารถก่อเกิดมูลค่าในรูปอาหารสัตว์ ทั้งนี้ กลุ่มที่จะได้รับประโยชน์/หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ กลุ่มเกษตรกร ซึ่งจะได้แนวทางในการจัดการน้ำเสียจากฟาร์ม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีต้นทุนในการดำเนินการต่ำ เนื่องจากใช้เทคโนโลยีธรรมชาติในการจัดการ และได้แนวการในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ โดยการใช้ประโยชน์จากของเสียที่ไม่มีมูลค่าและไม่เป็นที่ต้องการจึงเป็นการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียในกระบวนการผลิต นอกจากนั้น หน่วยงานด้านการเกษตรและหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมเพื่อให้เกิดการจัดการน้ำเสียและการนำน้ำเสียจากฟาร์มมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม

1.4.2 ผลการวิจัย สามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการเผยแพร่ข้อมูล อันจะนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้หรือใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อยอดต่อไป

1.4.3 นักวิจัยรุ่นใหม่ โดยเฉพาะนักศึกษาในระดับบัณฑิต สามารถเข้าร่วมเรียนรู้และได้รับประสบการณ์ในการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2
ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งของน้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร ซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียจากการปศุสัตว์ น้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และน้ำเสียจากการเพาะปลูก โดยน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการทำความสะอาดคอก โรงเรือน และการทำความสะอาดสัตว์ ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ที่มีปริมาณน้ำเสียและมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง จึงเป็นน้ำเสียที่สามารถก่อกระทบได้หลายประการ เช่น การส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งรองรับน้ำทิ้ง โดยอาจก่อให้เกิดสภาพยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) จากการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายและพืชน้ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น การก่อผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ และสามารถก่ออันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ด้รับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้อีกด้วย

กรมควบคุมมลพิษ (2552) ได้ระบุอัตราการก่อน้ำเสียของสุกรไว้ ดังนี้ สุกรพ่อแม่พันธุ์ มีอัตราการเกิดน้ำเสีย 64 ลิตร/ตัว/วัน สุกรขุน มีอัตราการเกิดน้ำเสีย 24 ลิตร/ตัว/วัน และสุกรอนุบาล มีอัตราการเกิดน้ำเสีย 20 ลิตร/ตัว/วัน โดยลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร คือ มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ของแข็ง และธาตุอาหารในปริมาณสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความสกปรกของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ประเภทสุกร	ค่าความสกปรก (mg/l)							
	BOD		COD		TSS		TKN	
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
สุกรพ่อแม่พันธุ์	845	756	1,906	1,638	1,101	824	536	266
สุกรขุน	3,875	2,763	8,022	5,589	7,400	5,597	759	574
สุกรอนุบาล	2,842	2,433	6,279	4,907	3,474	2,511	398	353

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2552)

เพื่อเป็นการควบคุมการก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปัญหาน้ำเสียจากฟาร์มสุกร จึงมี ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร และ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ การบังคับใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจะเริ่ม

ใช้บังคับกับฟาร์มสุกรประเภท ก (ขนาดใหญ่) และ ประเภท ข (ขนาดกลาง) ก่อน โดยกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้งแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้งนี้ให้บังคับใช้เมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ค (ขนาดเล็ก) จะยังไม่บังคับใช้มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มดังกล่าว แต่จะใช้เสมือนเป็นมาตรฐานทางวิชาการที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้ฟาร์มสุกรขนาดเล็ก มีการจัดการฟาร์มที่ถูกต้องก่อนที่จะมีการใช้บังคับในระยะต่อไป เนื่องจากฟาร์มประเภท ค มีเป็นจำนวนมากและมีศักยภาพในการลงทุนต่ำ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการประชาสัมพันธ์สนับสนุนการปรับปรุงวิธีการจัดการฟาร์ม ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ หรือช่วยเหลือในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

ทั้งนี้ มาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรนั้น มาตรฐาน ก จะใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ก และมาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ข และ ค (ตารางที่ 2.2) ซึ่งการแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock unit เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาด และช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่าง โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- ฟาร์มสุกร ประเภท ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ มากกว่า 600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรมากกว่า 5,000 ตัว)
- ฟาร์มสุกร ประเภท ข มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60-600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว)
- ฟาร์มสุกร ประเภท ค มีน้ำหนักปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6-น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว)

โดยมีหลักเกณฑ์การใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ดังนี้ น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย เท่ากับน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ เท่ากับ 170 กิโลกรัม น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุนเท่ากับ 60 กิโลกรัม และน้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร เท่ากับ 12 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด		
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข	วิธีการตรวจสอบ
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9	pH meter แบบ Electronmetric Titration ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
บีโอดี (BOD)	มก./ล.	60	100	Azide Modification หรือ Membrane Electrode
ซีโอดี (COD)	มก./ล.	300	400	Potassium Dichromate Digestion แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux
สารแขวนลอย (SS)	มก./ล.	150	200	Glass Fiber Filter Disc และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C
ไนโตรเจนในรูปที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	120	200	Kjeldahl และตรวจวัดแอมโมเนียด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมลสารในของเสียจากฟาร์มสุกรส่วนหนึ่งเป็นมลสารที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งนอกจากจะเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าจากของเสียอีกด้วย ทั้งนี้ จึงพบว่ามีการนำของเสียจากฟาร์มสุกร รวมถึงฟาร์มปศุสัตว์อื่นๆ มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ กัน ดังนี้

1) นำมาใช้เป็นปุ๋ยในกิจกรรมการเพาะปลูก

2) นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ ซึ่งปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น

3) นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น การใช้มูลไก่และมูลสุกรเป็นอาหารปลาโดยตรง โดยการเลี้ยงไก่และสุกรบนบ่อปลา หรือการใช้มูลสุกรในการเพาะหนอนแมลงวัน และขายหนอนให้แก่ผู้เลี้ยงปลาในช่วงก่อนที่หนอนจะเจริญเป็นแมลง (ผกาพรรณ สกุลมั่น, 2549)

2.2 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ เป็นระบบที่ใช้กระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัด จึงเป็นระบบบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาถูก และเป็นระบบที่ง่ายในการดูแลและดำเนินการ ระบบบึงประดิษฐ์ สามารถจำแนกตามลักษณะการไหลของน้ำในระบบ ได้เป็น 3 ประเภท อันได้แก่ ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว (Free water surface flow constructed wetland: FWS

CW) ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวนอน (Horizontal subsurface flow constructed wetland: HSF CW) และระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (Vertical subsurface flow constructed wetland: VSF CW) (Shutes, 2001; Kadlec and Knight, 1996; Crites, 1994)

ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เป็นระบบที่ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียในหลายพื้นที่เช่นเดียวกับระบบอื่น โดยเฉพาะการใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีกากตะกอนปนเปื้อนสูง ซึ่งกระบวนการบำบัดหลักที่เกิดขึ้นภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง มีดังนี้ คือ น้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบจะผ่านกระบวนการกรองโดยรากพืช และตัวกลางประเภทต่างๆ ที่บรรจุอยู่ภายในระบบ ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยกรองสารแขวนลอยประเภทต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสีย สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ในระบบ ทั้งจากจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการย่อยจะเกิดบริเวณส่วนบนของระบบซึ่งสัมผัสกับอากาศและได้รับออกซิเจนส่วนหนึ่งจากรากพืช และส่วนที่เหลือจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการในการลดแบคทีเรียก่อโรคประเภทต่างๆ ในน้ำเสีย เกิดขึ้นจากการที่น้ำเสียถูกระบายเข้าสู่บริเวณที่มีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต ทำให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั้น ธาตุอาหารไนโตรเจนจะถูกดูดซึมโดยพืชภายในระบบ และถูกย่อยและเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ และบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซ ซึ่งช่วยลดการปนเปื้อนไนโตรเจนในน้ำเสีย ส่วนฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นจะถูกดูดซึมไปใช้โดยพืช ส่วนที่เหลือจะรวมตัวหรือจับตัวกับตัวกลาง (media) ภายในระบบ (U.S. EPA, 2000; Kadlec and Knight, 1996; U.S. EPA, 1993) กระบวนการบำบัดทั้งหมดนี้ เกิดขึ้นได้โดยการทำงานขององค์ประกอบที่มีอยู่ในระบบ ไม่ต้องการพลังงานหรือสารเคมีเพิ่มเติม จึงไม่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมข้างเคียง

พืชที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์นั้น เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียของระบบ โดยส่วนต่างๆ ของพืชจะทำหน้าที่ในการกรองของเสีย และเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ (Attached microbial) ในระบบ รากของพืชจะช่วยนำออกซิเจนลงสู่ส่วนล่างของระบบเพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบได้ใช้ในกระบวนการบำบัด นอกจากนั้นพืชยังช่วยดูดซึมธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช (Brix, 1994; Brix, 1997; Sakadevan and Bavor, 1999; Greenway, 1997) ทั้งนี้ การเลือกชนิดของพืชที่ใช้ในระบบ การดูแลระบบและการจัดการพืชเมื่อต้องทำการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบด้วย ทั้งนี้ การจัดการพืชที่ต้องทำการเก็บเกี่ยวออกจากระบบก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งหากพืชที่เลือกใช้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็จะเกิดเป็นผลพลอยได้จากระบบและไม่เกิดเป็นปัญหาเศษของเหลือที่ต้องทำการกำจัดต่อไป

2.3 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) เป็นหญ้าเขตร้อนที่มีอายุหลายปี มีทรงต้นเป็นกอตั้งตรงคล้ายอ้อย ขยายพันธุ์ด้วยท่อนพันธุ์ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงและมีการให้น้ำชลประทาน จะให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี หญ้าเนเปียร์มีหลายสายพันธุ์ สายพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ หญ้าเนเปียร์แคระ หญ้าเนเปียร์ธรรมดา และหญ้าเนเปียร์ลูกผสม ซึ่งมี 2 สายพันธุ์ คือ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ และ หญ้าบาน่า สำหรับหญ้าเนเปียร์ธรรมดา และหญ้าเนเปียร์ลูกผสม เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ จะสูงประมาณ 3-4 เมตร ส่วนหญ้าเนเปียร์แคระ จะมีการแตกกอดี มีส่วนใบมากกว่าต้น เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะสูงประมาณ 1-2 เมตร (กรมปศุสัตว์, 2545)

หญ้าเนเปียร์ สามารถเริ่มตัดใช้ประโยชน์ได้เมื่อหญ้าอายุ 60-70 วัน และตัดครั้งต่อไปทุก 30-45 วัน คุณค่าทางอาหารสัตว์ของหญ้าเนเปียร์จะแตกต่างกันในแต่ละชนิดและระยะการตัด หญ้าเนเปียร์แคระ ที่อายุตัด 30-35 วัน จะมีโปรตีน 12.06 % เยื่อใย ADF 33.32 % และ NDF 59.16 % มีธาตุอาหาร Ca เท่ากับ 0.57 % และ P เท่ากับ 0.36 % ส่วนหญ้าเนเปียร์ยักษ์โดยทั่วไป (ไม่ระบุอายุตัด) มีคุณค่าทางอาหารสัตว์ ดังนี้ คือจะมีโปรตีน 9.98 % เยื่อใย ADF 36.17 % และ NDF 63.06 % มีธาตุอาหาร Ca เท่ากับ 0.53 % และ P เท่ากับ 0.29 % (กรมปศุสัตว์, 2547) ทั้งนี้ หญ้าเนเปียร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ทั้งการใช้เป็นอาหารสัตว์ในรูปหญ้าสด หญ้าหมัก และหญ้าแห้ง และสามารถนำไปใช้ในรูปของพืชพลังงานได้อีกด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก (2555) ได้ทำการศึกษาการใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria decumbens*) หญ้าอะตราตั้ม (*Paspalum atratum*) และหญ้าขน (*Brachiaria mutica*) ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง รวมถึงศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการสะสมธาตุอาหาร และผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว โดยพบว่าระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษา ซึ่งมีอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 20 cm/day หรือ 100.6 l/day มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_xN และ TP เท่ากับ 36.59-92.50, -325.00-100.00, 19.40-97.62, -378.95-97.84, -3,421.00-60.00 และ -151.80-72.15 % ตามลำดับ แม้แปลงหญ้าอะตราตั้ม จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด COD, TKN และ NO_xN และแปลงหญ้าขน จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด TSS, TP และ NH_3N แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดในการบำบัดมลสารแต่ละประเภท มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีค่า 0.096-0.154, 0.106-0.178 และ 0.108-0.163 d^{-1} ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างของ ค่า RGR ระหว่างชนิดพืชและระหว่างระยะเก็บเกี่ยว ($P \geq 0.05$) ค่าเฉลี่ยผลผลิตแห้งของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ในระยะที่ 1 ของการเก็บ

เกี่ยวมีค่า 372.2, 608.8 และ 673.0 kg/rai ในระยะที่ 2 และ 3 ของการเก็บเกี่ยวมีค่า 388.9, 560.3 และ 429.9 kg/rai และ 318.4, 965.5 และ 602.0 kg/rai ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างชนิดพืช และระหว่างระยะเก็บเกี่ยว ($P \geq 0.05$)

Kantawanichkul, S (2009) ได้ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้นของมลสารสูงด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกธูปฤาษี (*Typha angustidfolia* L.) และกกกลม (*Cyperus involucratus* Rottb) โดยแต่ละระบบจะมีอัตราการรองรับน้ำเสียเท่ากับ 20, 50 และ 80 mm/d ซึ่งระบบบำบัดดังกล่าวนี้ได้ทำการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าสูง โดยมีค่า COD 300 mg/l และ TKN 300 mg/l ผลการศึกษาพบว่ากกกลมมีส่วนเหนือรากและมวลชีวภาพสูงกว่าธูปฤาษีซึ่งอาจเกิดภาวะเครียดจากการขาดน้ำ การสูญเสียน้ำของหน่วยบำบัดกกกลมจากการที่มีอัตราการคายระเหยน้ำสูง ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นของ COD และ TP สูงกว่าหน่วยควบคุมที่ไม่มีพืช แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการบำบัด COD ระหว่างหน่วยบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชและหน่วยควบคุมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราการบำบัด COD, TKN และ TP เฉลี่ยของระบบบำบัดที่มี HLR เท่ากับ 80 mm/d มีค่าเท่ากับ 17.8, 15.4 และ 0.69 $g/m^2/d$ จำนวนลำดับของจุลินทรีย์ Nitrosomonas ในระบบบำบัดที่ปลูกพืชมีค่าสูงกว่าในหน่วยควบคุม และระบบบำบัดที่ปลูกพืชมีอัตราการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าหน่วยควบคุม รวมถึงมีอัตราการส่งผ่านออกซิเจน และมีปริมาณของ ammonia-oxidizing bacteria สูงกว่าหน่วยควบคุม และโดยสรุปแล้วพบว่า VSF CW ที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน มีศักยภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

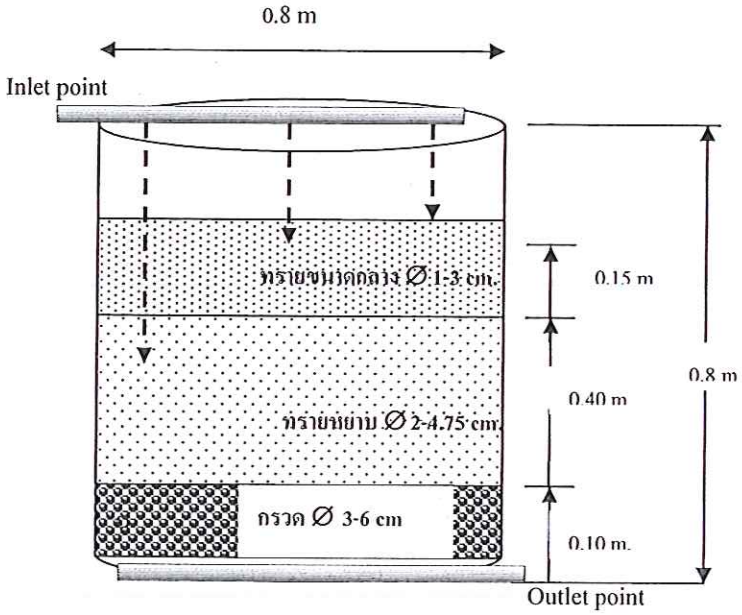
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง รวมถึงการศึกษาถึงปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิด ในการใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ โดยมีขั้นตอน วิธีการวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง จากบล็อกคอนกรีตทรงกลม (วงส้วม) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m (พื้นที่ 0.5 m^2) สูง 0.8 m ระดับความลาดชันที่พื้นบ่อ 1 % บรรจุวัสดุปลูกซึ่งใช้เป็นตัวกลาง (Media) ของระบบ ประเภทกรวดขนาด $\varnothing$ = 3-6 cm ลงแปลง สูง 10 cm จากก้นแปลง บรรจุทรายหยาบ ($\varnothing$ = 2-4.75 mm) หนา 40 cm และ บรรจุทรายขนาดกลาง ($\varnothing$ = 1-3 mm) หนา 15 cm ตามลำดับ ติดตั้งท่อนำน้ำเข้าสู่ระบบที่บริเวณผิวหน้าของตัวกลาง และติดตั้งท่อรับน้ำออกที่บริเวณก้นแปลง โดยท่อนำน้ำเสียจะกระจายน้ำเสียลงสู่ระบบ และน้ำเสียจะไหลผ่านขั้นตัวกลางและไหลเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำเสียที่บริเวณก้นแปลงซึ่งรวบรวมน้ำเสียออกนอกระบบ (ภาพที่ 3.1) หน่วยทดลองระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการศึกษา จะถูกจัดเตรียมในพื้นที่ของฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นแหล่งของน้ำเสียที่ทำการบำบัด โดยเป็นพื้นที่ฟาร์มสุกรในเขตตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

เมื่อการเตรียมหน่วยทดลองแล้วเสร็จ จึงทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ จำนวน 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์แคระ (*Pennisetum purpureum cv. Mott*) และ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (*Pennisetum purpureum cv. King grass*) ลงในหน่วยทดลอง ชนิดละ 6 แปลง โดยทำการปลูกด้วยท่อนพันธุ์ที่มี 2 ข้อ ปักเอียง 45 องศา จำนวน 2 ท่อนพันธุ์ต่อแปลง รดด้วยน้ำประปา จนกระทั่งหญ้าสามารถตั้งตัวได้ในระบบ



ภาพที่ 3.1 ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ใช้ในการศึกษา

3.2 การดำเนินการทดลอง

1) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ

เมื่อหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 2 ชนิด สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีแล้ว จึงระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงสู่ระบบบำบัด โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยหญ้าเนเปียร์แคระ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate: HLR) 2 ค่า คือ 2 cm/d หรือ 10.06 l/d และ 5 cm/d หรือ 25.15 l/d โดยทำการให้น้ำเป็นระยะ (Intermittent feed) ทั้งนี้ ในแต่ละรอบของการบำบัดจะทำการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบเพียง 1 ครั้ง ระบายน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ระบบภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง (20.12 l สำหรับระบบที่มี HLR = 2 cm/d และ 50.30 l สำหรับระบบที่มี HLR = 5 cm/d) จากนั้นทำการกักพักน้ำเสียไว้ในระบบเป็นระยะเวลา 2 วัน เพื่อให้น้ำเสียได้ถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แล้วจึงระบายน้ำเสียออกจากระบบ พักระบบไว้เป็นระยะเวลา 5 วัน เพื่อให้เกิดการเติมอากาศ จากนั้นจึงทำการระบายน้ำเสียลงระบบเพื่อเริ่มการบำบัดในรอบถัดไป ดำเนินระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยในระหว่างดำเนินระบบ ได้ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดออกจากระบบ 4 ครั้ง ดังนี้ ครั้งแรกภายหลังการปลูกเป็นเวลา 60 วัน และตัดครั้งต่อไปที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งแรก และที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นรอบการตัดตามปกติของเกษตรกร

ในระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบนั้น จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบควบคุม (Control system) ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการปลูกพืช ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน ไปพร้อมๆ กัน โดยจะมีระบบควบคุมจำนวน 1 แปลง ในแต่ละค่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

2) การศึกษาปริมาณและคุณภาพผลผลิตในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นพืชอาหารสัตว์

การเก็บเกี่ยวพืชที่ใช้ในกระบวนการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ออกจากระบบ จัดเป็นข้อกำหนดประการหนึ่ง ในการดูแลระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์แคระ และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่ทำการผลิตภายในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในกระบวนการผลิต ที่อัตราการให้น้ำที่แตกต่างกัน คือ 25.15 และ 50.3 l/d ออกจากระบบเป็นจำนวน 4 ครั้ง คือ ครั้งแรกภายหลังการปลูกเป็นเวลา 60 วัน และตัดครั้งต่อไปที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งแรก และที่ระยะตัด 30 วัน หลังการตัดครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งระยะตัดนี้เป็นระยะตัดปกติในการตัดหญ้าเนเปียร์ไปใช้ประโยชน์ (กรมปศุสัตว์, 2545) นำหญ้าอาหารสัตว์ที่เก็บเกี่ยวได้ จำนวน 16 ตัวอย่าง (หญ้าอาหารสัตว์ 2 ชนิด x อัตราการให้น้ำ 2 ค่า x การเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ 4 ครั้ง) จำนวนสิ่งทดสอบ (Treatment) ละ 3 ซ้ำ ไปศึกษาถึงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในการใช้ประโยชน์ในรูปของพืชอาหารสัตว์

3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ตัวอย่างวัสดุปลูก (Media)

นำตัวอย่างวัสดุปลูกแต่ละชนิด ที่ใช้บรรจุลงในหน่วยทดลอง มาทำการวิเคราะห์หา ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) Total N (%) และ available P (ppm) ในห้องปฏิบัติการ

2) ตัวอย่างน้ำ

เริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว หลังจากระบบได้เริ่มกระบวนการบำบัดแล้วเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายลงสู่แปลง (Influent) ขณะที่ทำการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบ และเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (Effluent) จากจุดระบายน้ำออก (Outlet point) ของทุกแปลง (ภาพที่ 3.1) จำนวนทั้งสิ้น 14 แปลง ขณะทำการระบายน้ำเสียที่ถูกกักพักอยู่ในระบบเป็นเวลา 2 วัน ออกจากระบบ ก่อนการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบเพื่อการบำบัดในรอบถัดไป ทั้งนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาดำเนินระบบ นำตัวอย่างน้ำที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำตามที่ได้ระบุใน ตารางที่ 3.1 โดยบางดัชนีได้ทำการตรวจวัดในภาคสนาม ณ จุดเก็บตัวอย่าง บางดัชนีทำการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการของคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีการในการเก็บตัวอย่าง รักษาตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตามที่กำหนดใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

ตารางที่ 3.1 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด และวิธีการในการวิเคราะห์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
COD	mg/l	Closed reflux method
BOD_5	mg/l	Azide modification method
TSS	mg/l	Gravimetric method, dried at 103-105 ^{o}C
TDS	mg/l	Multiprobe water analysis
TKN	mg/l	Kjeldahl method
NH_3N	mg/l	Distillation and Titration method
NO_3N	mg/l	Brucine method
NO_2N	mg/l	Colorimetric method
TP	mg/l	Digestion and Colorimetric method
Phosphate	mg/l	Colorimetric method
DO	mg/l	Membrane electrode meter (DO meter)
EC	µS/cm	Conductivity meter
Temperature	^{o}C	Thermometer
pH	-	Electrometric method (pH meter)

3) ตัวอย่างพืชอาหารสัตว์

ทำการตรวจวัดตัวอย่างพืชในภาคสนามและเก็บตัวอย่างพืชแต่ละชนิด มาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการเก็บตัวอย่างพืชมาทำการวิเคราะห์ จำนวน 4 ครั้ง ดังนี้ ครั้งแรก ทำการเก็บตัวอย่างพืชเมื่อทำการเก็บเกี่ยวพืชครั้งแรก ที่ระยะ 60 วันหลังการปลูก และทำการเก็บตัวอย่างพืชครั้งที่ 2 ที่ระยะ 30 วันหลังการเก็บเกี่ยวพืชครั้งแรก และทำการเก็บตัวอย่างพืชครั้งที่ 3 และ 4 ที่ระยะ 30 วันหลังการเก็บเกี่ยวพืชครั้ง 2 และ 3 ตามลำดับ หรือที่อายุตัด 30 วัน ซึ่งเป็นอายุตัดในการนำหญ้าเนเปียร์มาใช้ประโยชน์ (กรมปศุสัตว์, 2545) โดยทำการตัดหญ้าเนเปียร์ที่เจริญเติบโตภายในแปลงทดลอง โดยตัดสูงจากระดับพื้นผิวของระบบ 5 ซม.

ตรวจวัดค่าดัชนีในการใช้ประโยชน์ในรูปพืชอาหารสัตว์ โดย ทำการตรวจวัดหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิด ทั้งในภาคสนาม และนำตัวอย่างหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้ มาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 ดัชนีตัวอย่างพืชที่ทำการตรวจวัด และระยะเวลาในการตรวจวัด/เก็บตัวอย่าง

ดัชนี	ระยะเวลาในการตรวจวัด/เก็บตัวอย่าง
ลักษณะทั่วไป	ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา
ปริมาณผลผลิต: - ผลผลิตน้ำหนักสด - ผลิตน้ำหนักแห้ง คุณภาพผลผลิต: - วัตถุแห้ง - โปรตีนหยาบ - ฟอสฟอรัส - โพแทสเซียม - แคลเซียม - แมกนีเซียม	ทุกระยะเก็บเกี่ยว ดังนี้ คือ - หญ้าอายุ 60 วัน/การเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งแรก - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งแรก/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 2 - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 2/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 3 - 30 วัน หลังการเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 3/การเก็บเกี่ยวหญ้า ครั้งที่ 4

ตารางที่ 3.3 วิธีการหรือเครื่องมือในการวิเคราะห์พืช

ดัชนีที่ตรวจวัด	หน่วย	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
Fresh weight	kg/m^2	Weighting
Dry weight	kg/m^2	Drying method
Dry matter	%	AOAC method, AOAC (1984)
Crude protein	%	AOAC method, AOAC (1984)
Phosphorus	%	AOAC method, AOAC (1965)
Potassium	%	AOAC method, AOAC (1965)
Calcium	%	AAS, Perkin Elmer (1982)
Magnesium	%	AAS, Perkin Elmer (1982)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การบำบัดน้ำเสีย

นำผลการตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย ในแต่ละค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ในรูปร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด (Removal) วิเคราะห์ความเข้มข้น (Concentration) ของมลสารในน้ำเสียหลังการบำบัด รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่มีการบำบัดด้วยอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) ที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

2) การเจริญเติบโต ปริมาณ และคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์

วิเคราะห์การเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความสูง น้ำหนัก และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) และวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละอัตราการระบายน้ำเสียหรืออัตราการให้น้ำ และในแต่ละช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ร่วมถึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติในด้านการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ด้วย

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (Vertical subsurface flow constructed wetland) พร้อมกับการศึกษาถึงผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลิตได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง และคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ เมื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นพืชอาหารสัตว์ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย ในแต่ละค่าดัชนีคุณภาพน้ำในรูปร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด (Removal) และวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น (Concentration) ของมลสารในน้ำเสียหลังการบำบัด รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบที่มีการบำบัดด้วยอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) ที่แตกต่างกัน และผลวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ มีรายละเอียดดังนี้

1) คุณสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรที่ถูกระบายลงสู่บ่อรวบรวมน้ำเสีย ซึ่งบ่อรวบรวมน้ำเสียดังกล่าวนี้ถูกใช้เป็นพื้นที่รวบรวมน้ำเสียและใช้เป็นพื้นที่ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นตามสภาพธรรมชาติในขณะเดียวกัน การกักเก็บน้ำเสียไว้ในบ่อรวบรวมน้ำเสียของเกษตรกร เป็นการลดการปลดปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกพื้นที่เลี้ยง จึงเป็นการลดผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงด้วยวิธีการอย่างง่าย แต่อย่างไรก็ตาม หากน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงมีปริมาณสูงกว่าประสิทธิภาพการกักเก็บของบ่อรวบรวมน้ำ รวมถึงการได้รับน้ำที่ปนเปื้อนมลสารเพิ่มเติมจากฝนตกที่ไหลบ่าผ่านพื้นที่เลี้ยงลงสู่บ่อรองรับ อาจทำให้น้ำเสียและมลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นเกิดการล้นและแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำภายนอกได้ ดังนั้นการบำบัดหรือลดมลสารปนเปื้อนในน้ำเสียจะช่วยป้องกันและลดความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้

ผลจากการตรวจวัดคุณลักษณะของน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียก่อนการบำบัด พบว่าน้ำเสีย มีค่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 31.98 °C ค่า pH ของน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.66 ค่า EC ของน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,059.55 µS/cm ค่า TDS ของน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 530.40 mg/l ทั้งนี้ พบค่า DO มีค่าต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08 mg/l ปริมาณมลสารในรูป BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120.20, 372.80, 30.62, 70.56, 55.34, 4.52, 3.07, 68.27 และ 1.03 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด

Indicators	Unit	Influent characteristics[1/]
Temperature	^{o}C	30.00-35.00 (21)
pH	-	5.91-7.54 (21)
DO	mg/l	0.02-3.88 (21)
EC[2/]	µS/cm	565.00-1,469.00 (20)
TDS[2/]	mg/l	283.00-735.00 (20)
TSS	mg/l	20.50-50.50 (21)
BOD_5	mg/l	30.00-210.00 (15)
COD	mg/l	176.00-872.00 (15)
TKN	mg/l	34.72-111.44 (21)
NH_3N	mg/l	19.18-92.26 (21)
NO_3N	mg/l	2.04-7.30 (21)
NO_2N	mg/l	1.59-6.19 (21)
TP	mg/l	29.10-168.50 (21)
Phosphate	mg/l	0.43-2.08 (21)

Note: [1/] Min-Max are displayed and Sample size (n) is in parenthesis

น้ำเสียก่อนการบำบัด มีอุณหภูมิตามสภาพธรรมชาติ คือมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ค่า pH ของน้ำมีค่าเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างเล็กน้อย และอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร มาตรฐาน ข ซึ่งใช้สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ที่กำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์ม ทั้งประเภท ข และ ประเภท ค มีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำแสดงถึงการมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำและหากระบายน้ำเสียนี้ลงสู่แหล่งน้ำ อาจก่อผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้นได้ ค่า EC และ ค่า TDS ที่ตรวจพบในน้ำเสีย มีค่าสูงกว่าน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติปกติ ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีของแข็งละลายน้ำและสารละลายที่มีประจุสามารถนำไฟฟ้าได้ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ

ค่าเฉลี่ยของ BOD_5 ที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนการบำบัด มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค (มาตรฐาน ข) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค ต้องมีค่า COD, BOD_5, TKN, และ TSS ไม่เกิน 400 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l และ 200 mg/l ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) นอกจากนั้น ยังพบว่าค่าเฉลี่ยของ COD ที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าใกล้เคียง

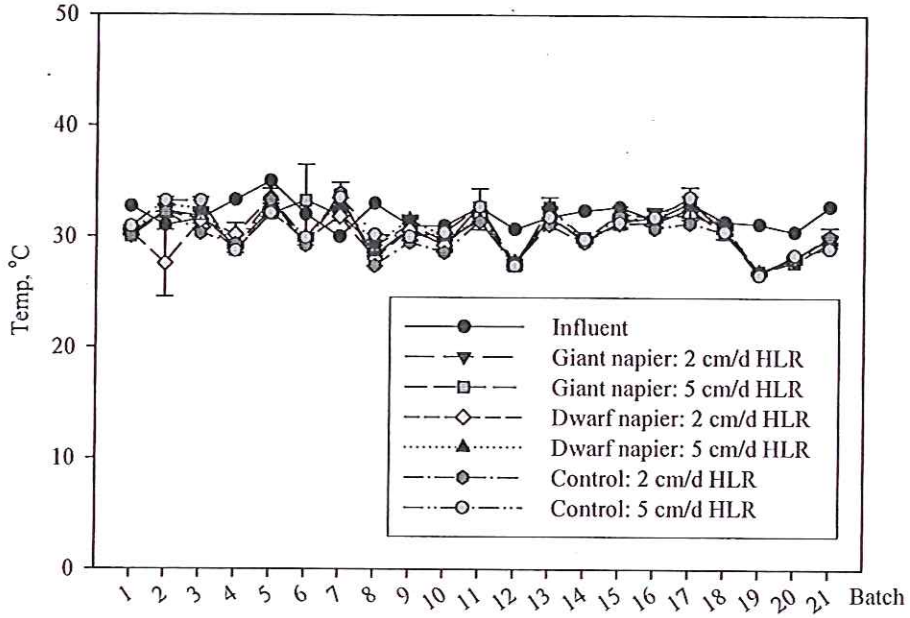
เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค โดยค่า COD สูงสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค

จากผลการตรวจวัด แม้จะพบว่ามลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร แต่ยังคงมีมลสารบางตัวที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งบ่งชี้ถึงความต้องการหรือความจำเป็นในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้ การลดปริมาณการปนเปื้อนของมลสารที่มีในน้ำเสีย ไม่ว่าจะมีค่าความเข้มข้นของมลสารที่ปนเปื้อนในระดับใดก็ตาม จะเป็นการช่วยป้องกันและลดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อมโดยรอบที่อาจกลายเป็นพื้นที่รองรับน้ำเสียนั้น และหากการบำบัดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นเป็นการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็จะยิ่งเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การบำบัดที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติเป็นหลักในการบำบัด ซึ่งเป็นการบำบัดที่ลงทุนต่ำ มีประสิทธิภาพและกระบวนการไม่ซับซ้อน จะเป็นแนวทางในการนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริง ซึ่งจะส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อม

2) คุณสมบัติของน้ำเสียภายหลังการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

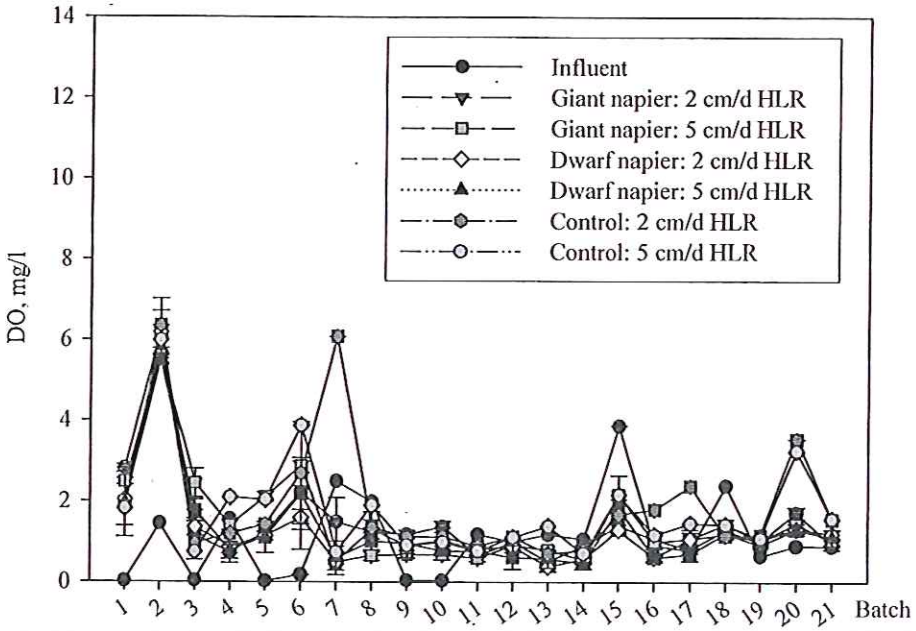
2.1) คุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำเสียหลังการบำบัด

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ และคุณภาพน้ำภายหลังการบำบัดด้วยหน่วยควบคุม ตลอดระยะเวลา 5 เดือน ของการดำเนินระบบ พบน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม มีค่าอุณหภูมิน้ำ ระหว่าง 26.7-39.7 ^{o}C, 22.3-35.0 ^{o}C และ 26.6-33.9 ^{o}C ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าอุณหภูมิน้ำ ระหว่าง 26.70-35.9 ^{o}C และ 26.90-39.7 ^{o}C ตามลำดับ น้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าอุณหภูมิน้ำ ระหว่าง 22.3-35.0 ^{o}C และ 26.7-34.4 ^{o}C ตามลำดับ และน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าอุณหภูมิน้ำ ระหว่าง 26.9-33.9 ^{o}C และ 26.6-33.6 ^{o}C ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1) โดยพบค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยทดลองแต่ละหน่วยและหน่วยควบคุมมีแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อย (ภาพที่ 4.1) โดยพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดทั้งจากหน่วยบำบัดและหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.48) ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำเสียที่ถูกบำบัดทั้งในหน่วยบำบัดและหน่วยควบคุมจะถูกกักพักไว้ภายใต้ชั้นกรองประเภท หิน และทราย น้ำจึงไม่ได้รับแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหลักที่ส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำโดยตรง นอกจากนั้น ในหน่วยบำบัดยังมีต้นหญ้าขึ้นปกคลุม ทำให้แสงที่ส่องผ่านชั้นกรองมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิน้ำที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเป็นไปตามสภาพธรรมชาติซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและการทำหน้าที่ของระบบในการบำบัดน้ำเสีย



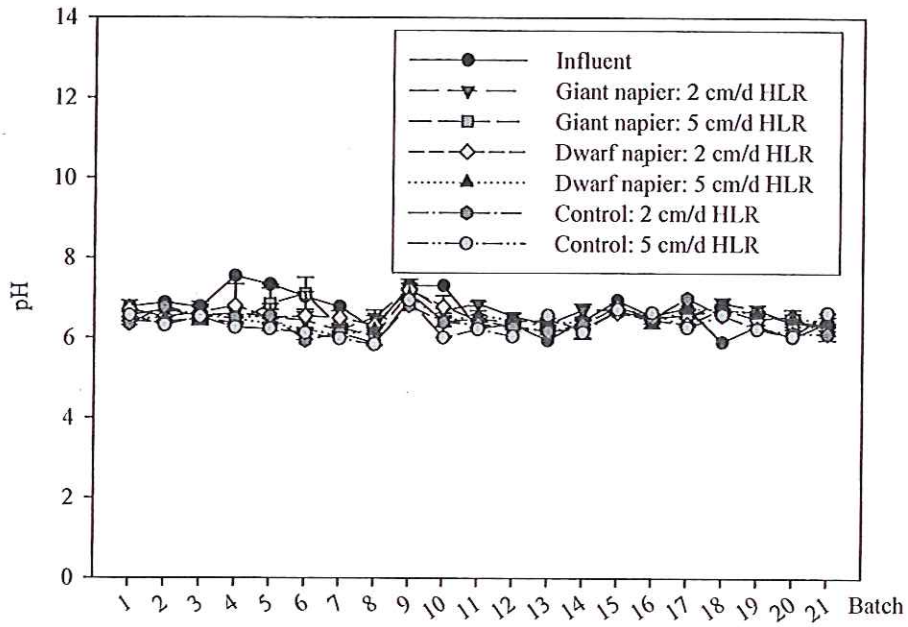
ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด

ค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม มีค่าระหว่าง 0.06-7.76, 0.11-7.25 และ 0.71-6.35 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าออกซิเจนละลาย ระหว่าง 0.06-7.76 และ 0.35-5.90 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าออกซิเจนละลาย ระหว่าง 0.11-7.25 และ 0.16-5.65 mg/l ตามลำดับ และน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่าออกซิเจนละลาย ระหว่าง 0.71-6.35 และ 0.71-5.99 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) โดยพบค่าออกซิเจนละลายในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้งจากหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 4.2) ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายเกิดจากน้ำเสียได้รับออกซิเจนจากการสัมผัสอากาศขณะถูกระบายลงสู่ระบบและได้รับออกซิเจนเพิ่มจากออกซิเจนที่มีอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลางภายในระบบและการเพิ่มเติมออกซิเจนที่บริเวณรากของพืช ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายนี้จะสัมพันธ์ในทิศทางผกผันกับค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย ทั้งนี้พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายสูงที่สุด



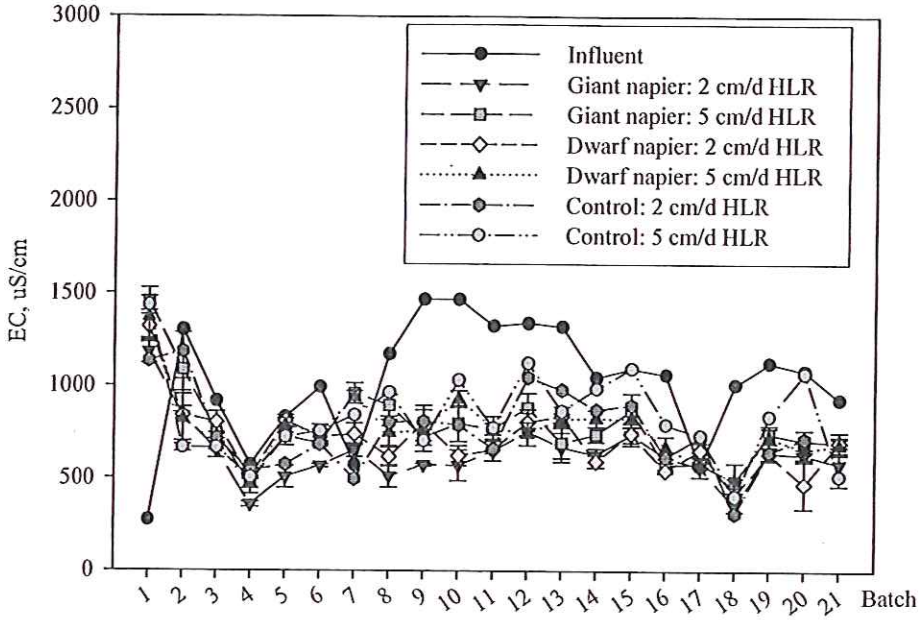
ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด

ค่า pH ของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม มีค่าระหว่าง 5.73-7.76, 5.76-7.86 และ 5.83-7.00 ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า pH ระหว่าง 6.03-7.25 และ 5.73-7.76 ตามลำดับ น้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า pH ระหว่าง 5.76-7.86 และ 5.98-7.58 ตามลำดับ และน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า pH ระหว่าง 5.87-7.00 และ 5.83-6.94 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) โดยพบ ค่า pH ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทั้งหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมมีค่าเฉลี่ยลดต่ำลงเล็กน้อย ทั้งนี้พบค่า pH เฉลี่ยต่ำสุด ในน้ำเสียจากหน่วยควบคุม อย่างไรก็ตาม ค่า pH ที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ปกติซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการบำบัดของระบบ



ภาพที่ 4.3 ค่า pH เฉลี่ย ของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม มีค่าระหว่าง 319.0-1,555.0, 378.0-1,524.0 และ 313.0-1,435 µS/cm ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า EC ระหว่าง 319.0-1,303 และ 420.0-1,555.0 µS/cm ตามลำดับ น้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า EC ระหว่าง 389.0-1,405.0 และ 378.0-1,524.0 µS/cm ตามลำดับ และน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีค่า EC ระหว่าง 313.0-1,184 และ 404.0-1,435 µS/cm ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4) โดยความนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้งจากหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้พบว่าค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าสูงกว่าค่าที่พบในน้ำเสียหลังการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งบ่งชี้ถึงการลดลงของเกลืออนินทรีย์ที่สามารถแตกตัวให้ประจุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ในน้ำ และอาจหมายรวมถึงการลดลงของมลสารประเภทสารอนินทรีย์ในน้ำ ทั้งนี้ อาจเกิดจากการสูญเสียออกจากระบบจากการระเหยโดยตรงหรือเกิดการเปลี่ยนรูปแล้วจึงระเหยออกจากน้ำ การลดลงจากการนำไปใช้โดยพืช หรือการลดการแตกตัวลงจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างไอออนของสสาร เป็นต้น



ภาพที่ 4.4 ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ย ในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด

2.2) ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียหลังการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

น้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของฟาร์มสุกรที่ทำการเลี้ยงในระดับครัวเรือนได้ถูกนำเข้าสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และการบำบัดด้วยหน่วยควบคุมซึ่งหมายถึงระบบบำบัดที่ไม่ปลูกพืชชนิดใด ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกันและหน่วยควบคุม เมื่อแต่ละระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกัน 2 อัตรา คือ 2 และ 5 cm/d

ระบบที่ทำการศึกษาเป็นหน่วยทดลองรูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m สูง 0.8 m ที่ทำการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate: HLR) เท่ากับ 2 cm/d หรือ 10.06 l/day และ 5 cm/d หรือ 25.15 l/day ทั้งนี้ ระบบมีระยะเวลาการกักพักน้ำเสียในแต่ละรอบของการบำบัดเท่ากับ 2 วัน ดังนั้น ปริมาณการป้อนน้ำเสียลงสู่ระบบในแต่ละรอบของการบำบัดจึงเท่ากับ 20.12 l (0.02012 m^3) และ 50.30 l (0.05030 m^3) ตามลำดับ

ทั้งนี้ ผลการศึกษาความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกัน และทำการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

(1) การบำบัดสารอินทรีย์

(1.1) การบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD

ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d นั้น พบว่าระบบบำบัดมีอัตราการรองรับสารอินทรีย์ในรูป COD (COD loading rate) เฉลี่ยเท่ากับ 14.92 และ 37.29 g/m^2 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ระหว่างร้อยละ -11.90-90.91 และร้อยละ -102.38-87.88 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ระหว่างร้อยละ -52.38-85.32 และร้อยละ -18.28-82.87 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ระหว่างร้อยละ -7.14-90.91 และร้อยละ -42.86-90.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น หน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงที่สุด รองลงมาคือ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.063) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าการบำบัดของหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.256) ระหว่างระบบ เช่นเดียวกันกับการบำบัดเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d (ตารางที่ 4.2) โดยจะพบว่าหน่วยควบคุมซึ่งไม่มีพืช มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด COD และรองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง .

Indicators/ operation time	Type of VSF CW			p value (F-test)
	Giant napier VSF CW	Dwarf napier VSF CW	Control	
COD (% removal)				
2 cm/d HLR	63.47±6.43(15)^{Aa}	41.91±9.41(15)^{Aa}	68.16±8.34(12)^{Aa}	0.063
5 cm/d HLR	44.40±12.68(15)^{Aa}	36.08±9.34(15)^{Aa}	61.58±9.40(13)^{Aa}	0.256
p value (T-test)	0.190	0.664	0.606	
BOD_5 (% removal)				
2 cm/d HLR	86.21±3.69(15)^{Aa}	78.63±7.38(15)^{Aa}	74.36±5.01(13)^{Aa}	0.337
5 cm/d HLR	94.20±0.89(15)^{Aa}	77.01±6.17(15)^{Ba}	77.07±4.02(13)^{Ba}	0.008
p value (T-test)	0.052	0.867	0.677	

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด COD ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.190) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.664) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นกัน และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.606) เช่นกัน ทั้งนี้จะพบว่าทั้งระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d เมื่อเทียบกับระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d (ตารางที่ 4.2) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่าง

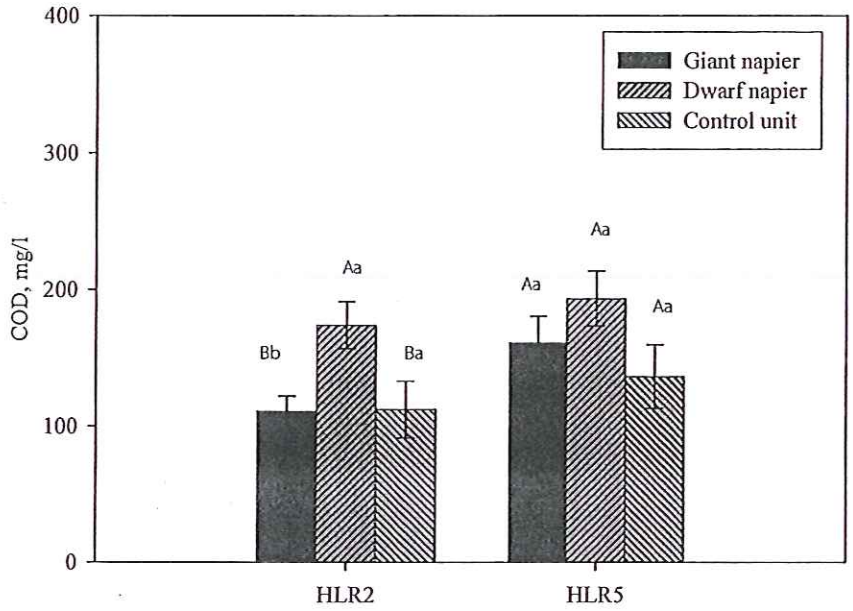
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

การลดของสารอินทรีย์ในรูปของค่า COD ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการลดปริมาณของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยเกิดจากการกรองของแข็ง (Filtration) ในน้ำโดยตัวกลางและวัตถุอื่นภายในระบบ ซึ่งในระบบที่ทำการศึกษานี้ตัวกลางของระบบคือทรายละเอียด ทรายหยาบ และหิน และนอกจากการกรองโดยตัวกลางแล้วรากของพืชยังช่วยทำหน้าที่ในการกรองและการดูดยึด (Adsorption) ของแข็งแขวนลอยไว้ด้วย นอกจากการกรองและการดูดยึดแล้ว การย่อยสลายของของแข็งอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์แล้วถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตหรือถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สามารถถูกกำจัดออกจากระบบได้ด้วยการระเหยยังเป็นกระบวนการที่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อีกด้วย ทั้งนี้การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยการปรับสภาพแวดล้อมของระบบให้มีความเหมาะสมต่อการบำบัดของแข็งแขวนลอยและการย่อยสลายและนำสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้ของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิติอื่นจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดสารอินทรีย์ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารอนินทรีย์แล้วจะถูกสิ่งมีชีวิตในระบบทั้งพืชและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและการสร้างสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ซึ่งหากสิ่งมีชีวิตนั้นตายลงหรือมีเศษชิ้นส่วนของพืชที่แก่หรือตายแล้วหลุดปะปนมากับน้ำที่ทำการบำบัดเศษอินทรีย์นั้นจะกลายเป็นมลสารที่เพิ่มทั้งค่าของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ ให้กับน้ำที่ทำการบำบัดและทำให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบมีค่าลดลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำให้พบค่าประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในบางรอบของการบำบัดของระบบมีค่าติดลบ โดยเฉพาะในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชไว้ในระบบ ในขณะที่การพบค่าการบำบัดสารอินทรีย์ของหน่วยควบคุมบางรอบของการบำบัดมีค่าติดลบเกิดขึ้นได้จากการปนเปื้อนของของแข็งอินทรีย์ที่ติดค้างอยู่กับตัวกลางจากกระบวนการกรองเข้ามาปนเปื้อนและเติมค่าทั้งของแข็งและสารอินทรีย์ให้กับน้ำเสียในรอบอื่นๆ ของการบำบัด ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าของของแข็งและสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของรอบการบำบัดนั้นๆ มีค่าสูงกว่ามลสารที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนการบำบัดและทำให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดในรอบนั้นมีค่าติดลบ ทั้งนี้สอดคล้องกับผลของประสิทธิภาพการบำบัดซึ่งพบค่าสูงในหน่วยควบคุมซึ่งไม่มีปัจจัยที่เป็นการเพิ่มเติมสารอินทรีย์กลับให้กับน้ำเสียจากระบบมากนัก ในขณะที่ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีพืชอาจมีการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับระบบจากเศษซากของพืชเองโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของมวลชีวภาพพืชที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายยากที่จะส่งผลต่อค่าการบำบัด COD ทั้งนี้การบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่าจะทำให้มลสารในน้ำเสียมีโอกาสได้รับการบำบัดอย่างเต็มที่โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากที่จุลินทรีย์ต้องการเวลาและสภาพที่เหมาะสมในการบำบัดมลสารนั้น ดังนั้นจึงพบประสิทธิภาพการบำบัด COD สูง เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่า

ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2

1 ศ163625
2 มิ.ย. 2558
สำนักหอสมุด
วิ ว ว
ว 10
383
.3
ท516ร
2557

และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 16.00-336.00 และ 16.00-624.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า COD ระหว่าง 16.00-672.00 และ 32.00-656.00 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า COD ระหว่าง 16.00-312.00 และ 16.00-320.00 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ COD ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า COD ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.006) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความ

เข้มข้นเฉลี่ยของ COD ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าค่า COD ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.297) แสดงดังภาพที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.028) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.466) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.452) แสดงดังภาพที่ 4.5

โดยจะพบว่า ค่าเฉลี่ย COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทั้งระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร โดยมีค่าต่ำกว่าค่า COD ของเกณฑ์มาตรฐาน ก (เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดสำหรับฟาร์มประเภท ก เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 300 mg/l และเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งใช้สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 400 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าค่า COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วนยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข

(1.2) การบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5

การศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบบำบัดมีอัตราการรองรับสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 4.81 และ 12.02 g/m^2 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ระหว่างร้อยละ 42.00-97.39 และร้อยละ 87.63-98.62 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ

และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ระหว่างร้อยละ -21.33-96.06 และร้อยละ -1.67-98.92 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ระหว่างร้อยละ 33.57-99.17 และร้อยละ 48.39-97.92 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 สูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.337) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือหน่วยควบคุม และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันระหว่างระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.008) แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยจะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด BOD_5 ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และ 5 cm/d ในกรณีที่ระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น ระบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ขณะที่เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ระบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 รองลงมาคือหน่วยควบคุมและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ซึ่งทั้งสองระบบนี้มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ใกล้เคียงกันมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด BOD_5 ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.052) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.867) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.677) ทั้งนี้จะพบว่าระบบที่มี

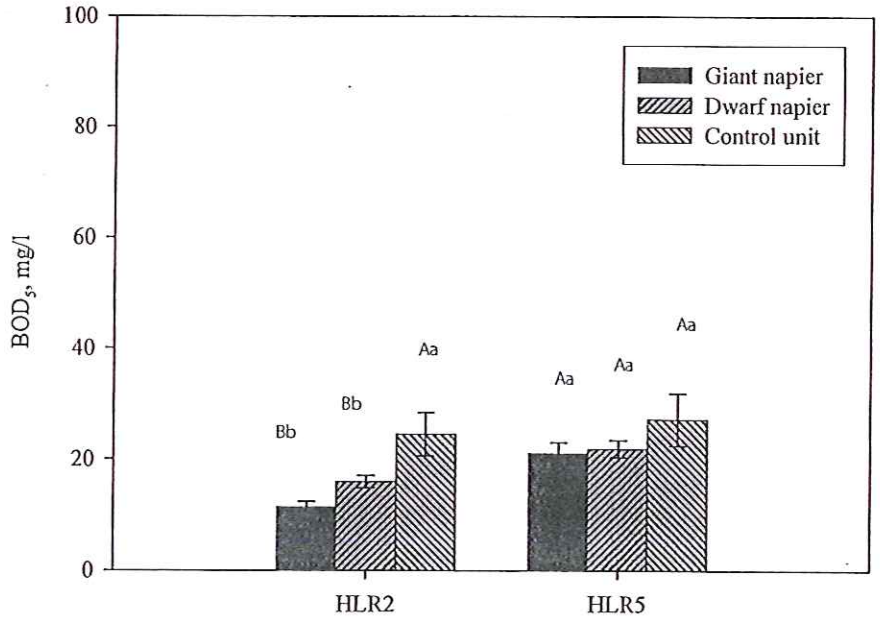
อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 สูงกว่าเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d (ตารางที่ 4.2) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของหญ้าทั้งสองชนิดนี้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 5 cm/d ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.015

การลด BOD_5 ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เกิดจากกระบวนการในการบำบัดของแข็งอินทรีย์และการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปอื่น เช่น การบำบัด COD และการบำบัดสารอินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนร่วมในการบำบัดหรือเปลี่ยนรูป ดังนั้น ปัจจัยที่ส่งเสริมกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ด้วย ในขณะที่ปัจจัยที่เพิ่มของแข็งอินทรีย์และสารอินทรีย์ในน้ำจะเป็นส่วนที่ลดประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของระบบ ดังนั้น โดยส่วนใหญ่จะพบประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 สอดคล้องกับประสิทธิภาพการ COD และ TSS ของระบบ อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองจะพบว่าการลด BOD_5 ในน้ำเสียโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่าหรือที่ 5 cm/d ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการบำบัด BOD_5 เป็นค่าการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเมื่อเทียบกับการลดค่า COD ซึ่งเป็นค่าแสดงการบำบัดที่รวมถึงสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากด้วย ดังนั้นในกรณีของการลดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย การรับน้ำเสียปริมาณมากขึ้นและมีสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายปนเปื้อนอยู่เพิ่มมากขึ้นนั้น ระบบก็จะยังคงสามารถแสดงศักยภาพในการบำบัดได้สูงกว่าเนื่องจากจุลินทรีย์ทำงานได้ง่ายกว่าการลดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากโดยเฉพาะเมื่อมีการรับน้ำเสียเข้าระบบในปริมาณที่สูงขึ้น ทั้งนี้ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด BOD_5 ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากลักษณะหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีการเจริญเติบโตได้ดี รากของหญ้ามีการชอนไชลงไปได้ลึกซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์และช่วยเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบจากการเพิ่มรูพรุนของตัวกลางและการเพิ่มออกซิเจนให้กับพื้นที่บริเวณรากทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายทำงานได้ดีขึ้น ส่วนระบบที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเช่นกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากรากของหญ้าเนเปียร์แคระมีลักษณะการแผ่กระจายมากกว่าการชอนไชลงในแนวดิ่งทำให้การเพิ่มออกซิเจนให้กับพื้นที่บริเวณด้านล่างของระบบเกิดขึ้นได้น้อยกว่า จึงอาจเป็นผลให้สารอินทรีย์ในเสียที่ถูกกักพักอยู่ในบริเวณดังกล่าวถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้ไม่เต็มที่นัก

ความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 2.55-34.20 และ 1.65-87.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทาง

ชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า BOD_5 ระหว่าง 3.75-43.50 และ 1.80-66.00 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า BOD_5 ระหว่าง 1.50-55.80 และ 3.75-72.75 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ BOD_5 ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า BOD_5 ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ BOD_5 ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า BOD_5 ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.098) แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย BOD_5 ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสีย สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.002) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.671) แสดงดังภาพที่ 4.6

ทั้งนี้จะพบว่า ค่า BOD_5 ที่ตรวจพบทั้งหมดมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ตามเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งใช้สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่า BOD_5 ไม่เกิน 100 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) อย่างไรก็ตาม พบค่า BOD_5 ที่ตรวจพบบางส่วนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ก (เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดสำหรับฟาร์มประเภท ก เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่า BOD_5 ไม่เกิน 60 mg/l โดยเฉพาะในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d ทั้งนี้จะพบว่าค่าเฉลี่ย BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทุกระบบมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั้งมาตรฐานน้ำทิ้งประเภท ก และมาตรฐานน้ำทิ้งประเภท ข (ภาพที่ 4.6)

(2) การบำบัดของแข็ง

(2.1) การบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS ระหว่างร้อยละ 34.40-92.89 และร้อยละ 22.86-90.82 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS ระหว่างร้อยละ 3.79-84.67 และร้อยละ 8.57-84.55 ตามลำดับ ขณะที่

หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS ระหว่างร้อยละ 4.35-96.36 และร้อยละ 16.33-94.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d การบำบัดของหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.575) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TSS ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่า การบำบัดของหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการบำบัดเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TSS เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.003) ระหว่างระบบ (ตารางที่ 4.3) โดยจะพบว่าหน่วยควบคุมซึ่งไม่มีพืช มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดในการบำบัด TSS และรองลงมาคือ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ทั้งนี้ พบว่ามีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบ

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง

Indicators/ operation time	Type of VSF CW			p value (F-test)
	Giant napier VSF CW	Dwarf napier VSF CW	Control	
TSS (% removal)				
2 cm/d HLR	67.51±3.81(21)^{Aa}	63.19±4.26(21)^{Aa}	70.44±6.42(19)^{Aa}	0.575
5 cm/d HLR	64.80±4.03(21)^{Aa}	51.57±4.49(21)^{Ba}	73.38±4.50(21)^{Aa}	0.003
p value (T-test)	0.628	0.068	0.439	
TDS (% removal)				
2 cm/d HLR	39.78±4.19(20)^{Aa}	30.92±5.27(20)^{Aa}	28.01±4.65(19)^{Aa}	0.196
5 cm/d HLR	25.62±5.83(20)^{Aa}	26.62±5.64(20)^{Aa}	20.16±5.85(20)^{Aa}	0.698
p value (T-test)	0.056	0.580	0.304	

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด TSS ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.612) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TSS สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.068) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TSS ต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.439) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d เมื่อเทียบกับระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ขณะที่หน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัด TSS สูงเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d (ตารางที่ 4.3) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของหญ้าทั้งสองชนิดนี้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 5 cm/d ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.0034

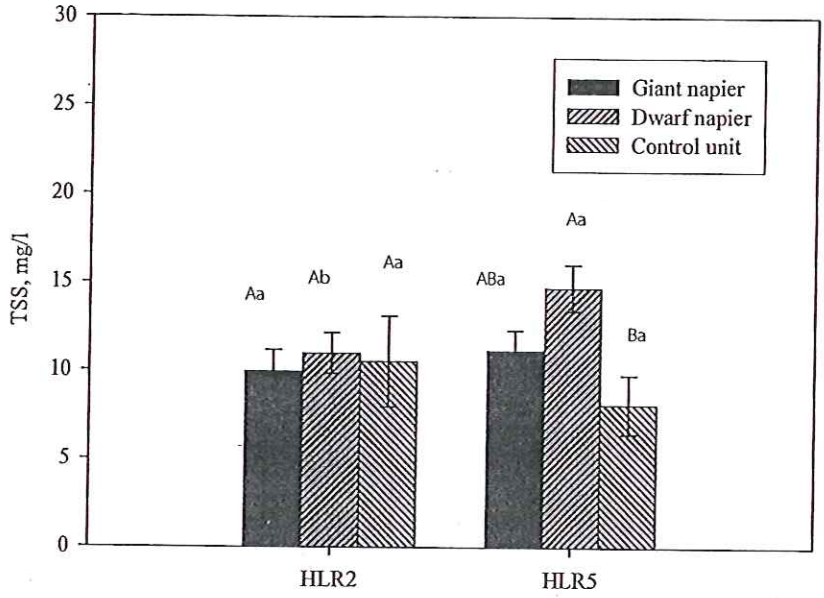
การลด TSS ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยส่วนใหญ่เกิดจากการกรองของแข็ง (Filtration) ของตัวกลางภายในระบบ และจากการย่อยสลายของของแข็งอินทรีย์ ซึ่งในระบบที่ทำการศึกษานี้ตัวกลางของระบบคือทรายละเอียด ทรายหยาบ และหิน และนอกจากการกรองโดยตัวกลางแล้วรากของพืชยังช่วยทำหน้าที่ในการกรองและการดูดยึด (Adsorption) ของแข็งแขวนลอยไว้ด้วย อย่างไรก็ตาม เศษชิ้นส่วนของพืชที่ตายและหลุดออกมากับน้ำจะกลายเป็นส่วนที่เพิ่มของแข็งแขวนลอยให้กับน้ำและทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบลดลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงอาจส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของหน่วยควบคุมมีค่าสูงกว่าหน่วยทดลองบึงประดิษฐ์ ในขณะที่ปริมาณและการระบายน้ำเข้าสู่ระบบจะส่งผลต่อการกรองด้วยเช่นกัน ทั้งนี้การกรองจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อน้ำเสียที่ระบายเข้าสู่ระบบมีปริมาณและอัตราการไหลที่ช้า ขณะที่อัตราการไหลของน้ำที่เร็วจะทำให้การกรองเกิดขึ้นได้น้อยกว่าจากการไหลของน้ำด้วยความแรงและพัดพาของแข็งแขวนลอยไปพร้อมกับน้ำ ดังนั้น จึงพบว่าการบำบัด TSS ของระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

ต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพการบำบัด TSS สูงกว่าการบำบัดของระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า

ความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.50-69.00 และ 1.00-43.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TSS ระหว่าง 1.00-45.50 และ 1.00-48.00 ตามลำดับ ขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TSS ระหว่าง 1.00-49.00 และ 2.50-35.50 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TSS ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า TSS ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.838) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TSS ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ และพบว่าค่า TSS ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.012) แสดงดังภาพที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.480) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.034) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความเข้มข้นของ TSS ในน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.561) แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย TSS ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

ทั้งนี้จะพบว่า ค่า TSS ที่ตรวจพบทั้งหมดมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร โดยมีค่าต่ำกว่าค่า TSS ของเกณฑ์มาตรฐาน ก (เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดสำหรับฟาร์มประเภท ก เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 150 mg/l และเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งใช้สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 200 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

(2.2) การบำบัดของแข็งละลายทั้งหมด

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งในรูปของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TDS ระหว่างร้อยละ -14.57-62.78 และร้อยละ -67.83-51.79 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TDS ระหว่างร้อยละ -29.02-59.20 และร้อยละ -64.10-51.44 ตามลำดับ ขณะที่หน่วย

ควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด TDS ระหว่างร้อยละ -25.80-68.97 และร้อยละ -46.85-59.92 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น การบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.196) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TDS ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TDS เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.698) ระหว่างระบบ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้จะพบว่าหน่วยบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าไว้ในระบบ มีประสิทธิภาพการบำบัด TDS สูงกว่าการบำบัดของหน่วยควบคุมซึ่งไม่มีพืช ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด TDS ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.056) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TDS สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.580) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TDS สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.304) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d เมื่อเทียบกับระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d (ตารางที่ 4.3) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์

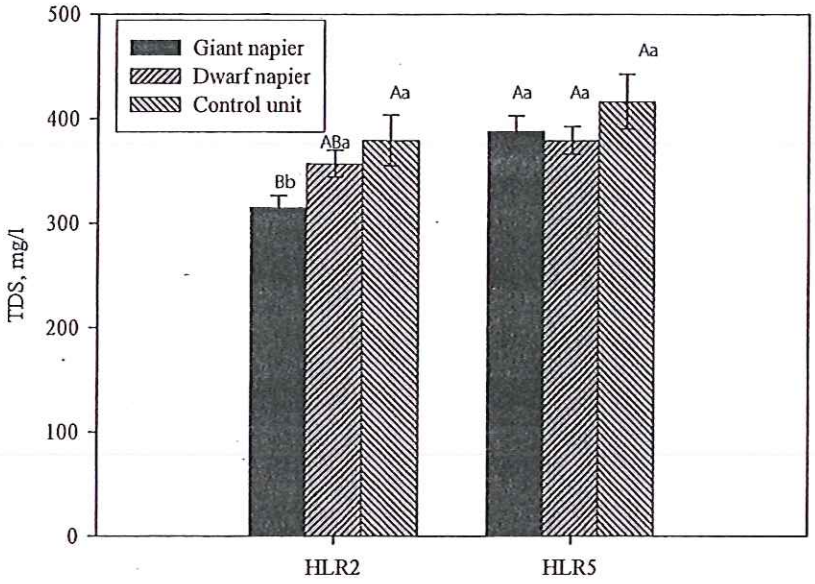
แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

จากผลการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของระบบบำบัดมีค่าไม่สูงนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีทั้งกระบวนการที่ลดและเพิ่ม TDS เกิดขึ้นในระบบ โดยการเพิ่มของ TDS ในระบบเป็นการเปลี่ยนรูปมาจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสียหรือจากวัตถุที่เป็นองค์ประกอบของระบบ เช่น ตัวกลางและพืชหรือจุลชีพ ขณะที่การลดค่า TDS ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เกิดจากการเปลี่ยนรูปของของแข็งละลายโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไอออนแล้วกลายเป็นของแข็งและตกตะกอน (Precipitation) หรือถูกดูดซับไว้ด้วยวัตถุหรือถูกกรองออกจากน้ำเสีย ขณะที่บางส่วนอาจเกิดการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซและระเหยออกจากระบบ (Volatilization) เช่น การระเหยไปในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจนก๊าซ นอกจากนั้นของแข็งละลายทั้งที่เป็นธาตุอาหารและโลหะหนักสามารถถูกดูดซึมไปด้วยสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและจุลินทรีย์ในระบบ (Absorption) ดังนั้นจึงพบว่าในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่มีพืชในระบบจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าหน่วยควบคุมในการลดของแข็งละลายทั้งหมด ขณะที่การบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่าจะทำให้ของแข็งละลายทั้งหมดในน้ำเสียมีโอกาสได้สัมผัสกับอากาศและรากพืชมากกว่าซึ่งส่งผลให้ระบบแสดงประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า

ความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 161.40-651.00 และ 210.00-778.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TDS ระหว่าง 194.00-703.33 และ 189.20-762.00 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TDS ระหว่าง 156.40-592.00 และ 202.00-718.00 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากหน่วยควบคุมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TDS ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า TDS ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.012$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียจากหน่วยควบคุมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TDS ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ โดยค่า TDS ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.425$) โดยจะพบว่าค่าเฉลี่ย TDS ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับ TDS

ในน้ำก่อนการบำบัด และพบว่าค่าของ TDS ในน้ำเสียสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด TDS ของแต่ละระบบ แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย TDS ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่า น้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.229) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TDS ใน

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง

Indicators/ operation time	Type of VSF CW			p value (F-test)
	Giant napier VSF CW	Dwarf napier VSF CW	Control	
TKN (% removal)				
2 cm/d HLR	97.64±0.24(20)^{Aa}	97.07±0.56(20)^{Aa}	97.65±0.41(20)^{Aa}	0.547
5 cm/d HLR	94.93±1.11(20)^{Ab}	93.84±1.92(20)^{Aa}	90.94±3.19(20)^{Aa}	0.434
p value (T-test)	0.026	0.120	0.050	
NH_3N (% removal)				
2 cm/d HLR	98.60±0.16(20)^{Aa}	98.58±0.21(20)^{Aa}	98.45±0.51(20)^{Aa}	0.939
5 cm/d HLR	97.20±0.43(20)^{Ab}	97.31±0.71(20)^{Aa}	95.66±1.20(20)^{Ab}	0.312
p value (T-test)	0.004	0.100	0.043	
NO_2N (% removal)				
2 cm/d HLR	(-224.66)±107.90(21)^{ABa}	16.06±49.89(21)^{Aa}	(-301.64)±101.86(21)^{Ba}	0.041
5 cm/d HLR	(-185.47)±91.69(21)^{ABa}	(-10.74)±33.18(21)^{Aa}	(-381.30)±93.23(21)^{Ba}	0.006
p value (T-test)	0.783	0.657	0.567	
NO_3N (% removal)				
2 cm/d HLR	44.23±15.92(21)^{Aa}	79.26±2.91(21)^{Aa}	(-205.78)±52.36(21)^{Ba}	0.000
5 cm/d HLR	38.86±18.10(21)^{Aa}	41.28±15.03(21)^{Ab}	(-205.36)±56.37(21)^{Ba}	0.000
p value (T-test)	0.825	0.021	0.996	

Note: Mean values±SEM (n) are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

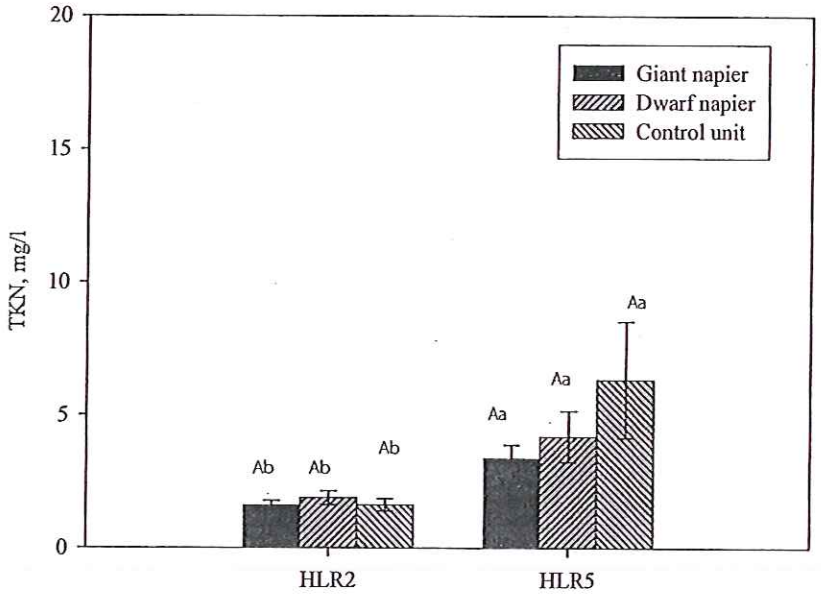
Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด TKN ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.026) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.120) ในขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทาง

ชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.050) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ รวมถึงหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN สูงกว่าระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d (ตารางที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

การลดลงของค่า TKN ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เกิดขึ้นจากการลดสารอินทรีย์ไนโตรเจน (ON) และการลดแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N) ในน้ำ ซึ่งการลดปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเกิดขึ้นพร้อมๆ กับกระบวนการในการลดสารอินทรีย์ในรูป BOD และ COD และการลดของแข็งอินทรีย์ในน้ำซึ่งเกิดจากกระบวนการกรอง การดูดซับ และการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปไป สำหรับการลด NH_3N ในน้ำเสียนั้น เกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่นโดยจุลินทรีย์ การดูดซึมไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต และการระเหยไปในรูปของก๊าซ ทั้งนี้ จะพบว่ามีปัจจัยแวดล้อมหลายประการที่ส่งผลต่อทั้งประสิทธิภาพการลด ON และ NH_3N ซึ่งส่งผลต่อการลดค่า TKN ในน้ำเสีย โดยผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้แต่ละระบบที่แตกต่างกันนี้อาจมีปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลด TKN ในรูปแบบต่างๆ กัน แต่ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม โดยรวมแล้วจะพบว่าทั้งระบบบำบัดและหน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพสูงในการลด TKN ทั้งนี้ การบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ TKN ในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดมากกว่าเมื่อระบบรองรับน้ำเสียในปริมาณที่มากขึ้น และเป็นแนวโน้มของประสิทธิภาพการบำบัดที่พบได้ในการบำบัดมลสารประเภทอื่นๆ ในน้ำเสีย โดยเฉพาะมลสารที่มีกระบวนการบำบัดเหมือนกันหรือเกิดขึ้นพร้อมกัน เช่น การบำบัดของแข็งทั้งของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งละลายทั้งหมด ดังที่พบในการศึกษาครั้งนี้

ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.28-7.84 และ 0.56-19.60 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TKN ระหว่าง 0.56-11.62 และ 0.56-44.52 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TKN ระหว่าง 0.56-3.92 และ 0.56-45.78 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย TKN ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: .Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า TKN ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.608) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า TKN ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.227) แสดงดังภาพที่ 4.9

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่า น้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.001) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.023) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d เช่นเดียวกับที่พบในระบบบึงประดิษฐ์ โดยพบค่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.040) แสดงดังภาพที่ 4.9

โดยจะพบว่า ค่า TKN ที่ตรวจพบทั้งหมดมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร โดยมีค่าต่ำกว่าค่า TKN ของเกณฑ์มาตรฐาน ก (เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดสำหรับฟาร์มประเภท ก เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 120 mg/l และเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งใช้สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 200 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

(3.2) การบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N)

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของ NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N ระหว่างร้อยละ 96.88-99.79 และร้อยละ 90.41-99.35 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N ระหว่างร้อยละ 96.66-99.58 และร้อยละ 85.73-99.29 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N ระหว่างร้อยละ 89.75-99.79 และร้อยละ 77.93-99.61 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น ทั้งหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ใกล้เคียงกันมาก โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุมตามลำดับ ขณะที่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.939) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ในน้ำเสีย

จากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน โดยพบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และการบำบัดของหน่วยควบคุมตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.312) ระหว่างระบบเช่นกัน (ตารางที่ 4.4) โดยจะพบว่า ทั้งหน่วยทดลองบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และยังพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบที่ทำการศึกษามีลักษณะเป็นไปในทิศเดียวกันกับประสิทธิภาพการบำบัด TKN

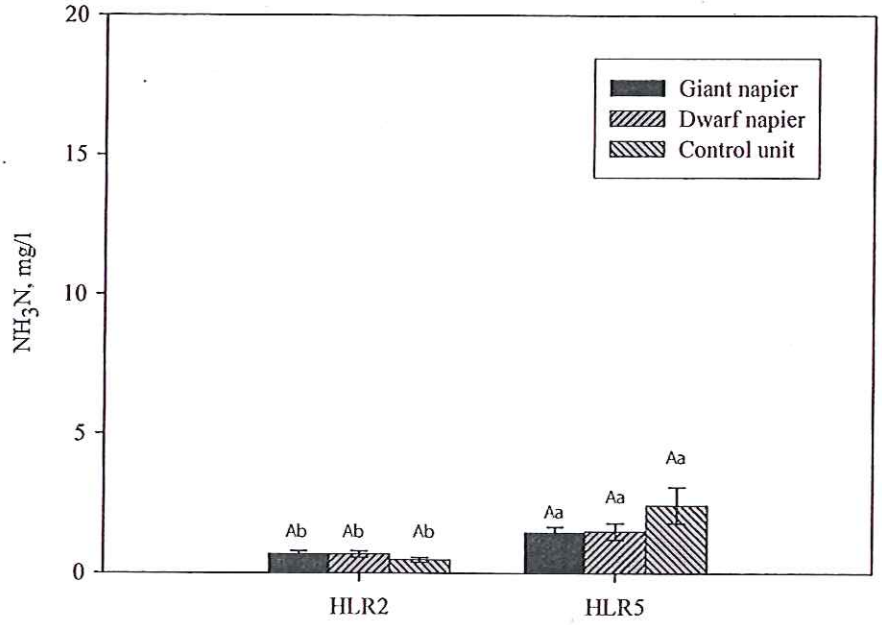
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด NH_3N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.004) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.100) ในขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของแต่ละอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.043) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ รวมถึงหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N สูงกว่าระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของแต่ละระบบ (ตารางที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในระบบนั้น มีกระบวนการทั้งที่เพิ่มและลดค่า NH_3N ในน้ำเสียที่ถูกบำบัดภายในระบบ ประสิทธิภาพการบำบัดจึงเป็นประสิทธิภาพรวมของการเพิ่มและลดปริมาณ NH_3N ของระบบ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่า NH_3N ในน้ำเสียเมื่อเทียบกับค่า NH_3N ในน้ำเสียขณะที่ระบายลงสู่ระบบนั้น ขึ้นกับรูปของไนโตรเจนที่ปรากฏในน้ำเสียขณะที่ระบายเข้าระบบซึ่งหากเป็นน้ำเสียสดที่มีปริมาณของออกานิคไนโตรเจนสูง (ON) การย่อยของ ON เหล่านี้ จะทำให้ค่า NH_3N ใน

น้ำเสียสูงขึ้นและอาจสูงกว่าปริมาณ NH_3N ที่ถูกลดลงจากกระบวนการลด NH_3N ของระบบ ซึ่งจะทำให้พบค่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบมีค่าต่ำ แต่หากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบมีค่า ON ต่ำ ระบบจะสามารถแสดงประสิทธิภาพในการลด NH_3N ในน้ำเสียได้สูง ทั้งนี้ กระบวนการลดค่า NH_3N ในน้ำเสียของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งนั้น เกิดขึ้นจากการดูดซึมไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและจุลชีพ การระเหยออกจากระบบในรูปของก๊าซ การเปลี่ยนรูปโดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Nitrifying bacteria ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งจะทำการเปลี่ยน NH_3N ไปอยู่ในรูปของ NO_xN ทั้งนี้ จากผลการศึกษาพบว่าแม้ระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมจะมีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ใกล้เคียงกัน แต่จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่มีหญ้าอยู่ในระบบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้พืชในระบบจะช่วยลด NH_3N ในน้ำเสียได้โดยตรงจากการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนั้นยังส่งเสริมการลด NH_3N โดยการเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์และเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ที่ทำการเปลี่ยนรูป NH_3N ทั้งนี้ การบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d เช่นเดียวกับการบำบัด TKN ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ NH_3N ในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดมากกว่าเมื่อระบบรองรับน้ำเสียในปริมาณที่มากขึ้น

ความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.06-5.88 และ 0.14-7.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า NH_3N ระหว่าง 0.14-4.76 และ 0.14-13.30 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า NH_3N ระหว่าง 0.06-4.06 และ 0.14-10.50 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NH_3N ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าใกล้เคียงกัน และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า NH_3N ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.984) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NH_3N ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า NH_3N ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.170) แสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย NH_3N ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่า น้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.001) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.011) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d เช่นเดียวกับที่พบในระบบบึงประดิษฐ์ โดยพบค่าความเข้มข้นของ NH_3N ใน

น้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.007) แสดงดังภาพที่ 4.10 โดยจะพบว่า ค่า NH_3N ที่ตรวจพบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่า TKN ที่ตรวจพบในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบ

(3.3) การบำบัดไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2N)

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของ NO_2N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_2N ระหว่างร้อยละ -1,349.24-92.34 และร้อยละ -1,604.46-87.40 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_2N ระหว่างร้อยละ -946.12-92.15 และร้อยละ -426.34-85.88 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_2N ระหว่างร้อยละ -1,629.46-83.19 และร้อยละ -1,679.91-29.90 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.041) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และการบำบัดของหน่วยควบคุม ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.006) ระหว่างระบบเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.4) โดยจะพบว่า บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระมีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_2N สูงสุด ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และ 5 cm/d และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ เป็นระบบที่มีค่าประสิทธิภาพรองลงมา

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด NO_2N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.783) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทาง ชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.657) ในขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d

มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ของแต่ละอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.567) แสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

เนื่องจาก NO_2N เป็นสารตัวกลาง (intermediate) ทั้งในกระบวนการ Nitrification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน จากแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^-) แสดงดังสมการที่ (1) ถึง (3) (Vymazal, 2007) และกระบวนการ Denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน จากไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^-) ไปเป็นไนโตรเจนก๊าซ (N_2, N_2O) แสดงดังสมการที่ (4) ถึง (6) (Vymazal, 2007)

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \quad (1)$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \rightarrow NO_3^- \quad (2)$$

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad (3)$$

$$6(CH_2O) + 4NO_3^- \rightarrow 6CO_2 + 2N_2 + 6H_2O \quad (4)$$

$$4(CH_2O) + 4NO_3^- \rightarrow 4HCO_3^- + 2N_2O + 2H_2O \quad (5)$$

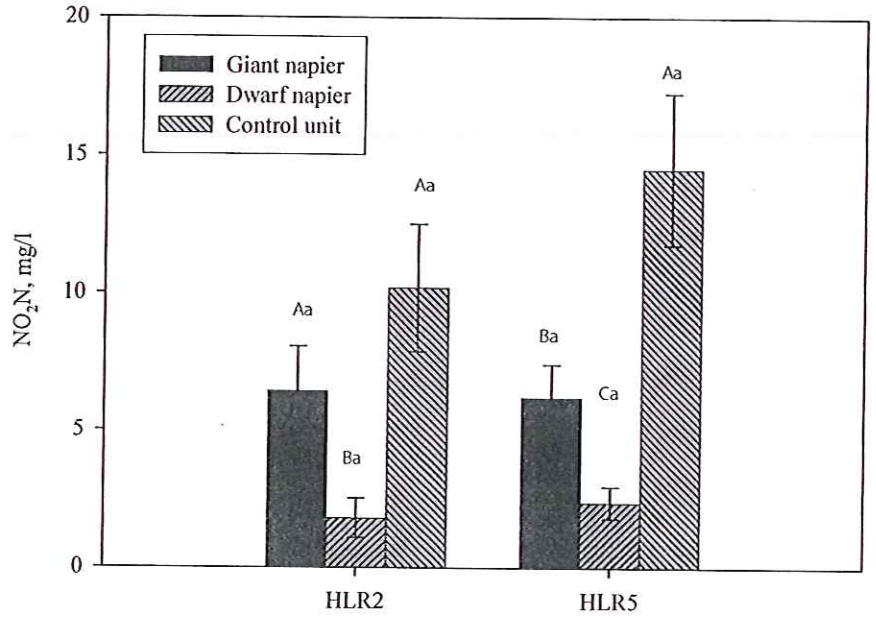
$$5(CH_2O) + 4NO_3^- \rightarrow H_2CO_3 + 4HCO_3^- + 2N_2 + 2H_2O \quad (6)$$

ซึ่งลำดับของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีจากไนเตรทไปสู่ก๊าซไนโตรเจนนั้น แสดงได้ดังนี้ คือ

$$2NO_3^- \rightarrow 2NO_2^- \rightarrow 2NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

ดังนั้น ปริมาณ NO_2N ที่พบในน้ำเสียในระบบจึงเป็นผลจากปฏิกิริยาร่วมจากทั้งสองกระบวนการ แม้ประสิทธิภาพการลด NO_2N ของระบบบำบัดที่ตรวจพบจะไม่สามารถใช้บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบในการเปลี่ยนรูปหรือบำบัดไนโตรเจน แต่อย่างไรก็ตาม ค่า NO_2N ในน้ำเสียก่อนการบำบัดนั้นสามารถบ่งชี้ได้ถึงการปนเปื้อนมลสารของน้ำเสีย ในขณะที่ ค่า NO_2N ที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นสามารถบ่งชี้ได้ถึงการเกิดกระบวนการในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน (Nitrogen transformation) ภายในระบบบำบัด ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนรูปเหล่านั้นโดยส่วนใหญ่จะส่งผลให้เกิดการลดความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียทั้งจากการนำไปสู่การนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตและการระเหยไปในรูปก๊าซ

ความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.13-46.72 และ 0.25-31.53 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า NO_2N ระหว่าง 0.14-31.76 และ 0.35-26.53 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า NO_2N ระหว่าง 0.92-30.50 และ 1.87-38.60 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย NO_2N ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $P \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $P \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NO_2N ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ โดยพบว่า

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.002) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NO_2N ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ตามลำดับ เช่นกัน และพบว่าค่า NO_2N ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) แสดงดังภาพที่ 4.11

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่า น้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.909) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.536) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบค่าความเข้มข้นของ NO_2N ในน้ำเสีย มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.237) แสดงดังภาพที่ 4.11

(3.4) การบำบัดไนไตรทไนโตรเจน (NO_3N)

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปของ NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3N ระหว่างร้อยละ -184.64-98.25 และร้อยละ -293.99-95.96 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3N ระหว่างร้อยละ 43.97-99.60 และร้อยละ -224.02-98.45 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3N ระหว่างร้อยละ -539.11-82.07 และร้อยละ -778.86-82.67 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก

หญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N สูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N สูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และการบำบัดของหน่วยควบคุม ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) ระหว่างระบบเช่นกัน (ตารางที่ 4.4)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าการบำบัด NO_3N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.825) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N สูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.021) ในขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของแต่ละอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของหน่วยควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.996) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ รวมถึงหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N สูงกว่าระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N และ TKN ของแต่ละระบบ (ตารางที่ 4.4) นอกจากนั้น ยังพบว่าหน่วยควบคุมและระบบบึงประดิษฐ์ที่มีชนิดหญ้าในระบบแตกต่างกันและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่แตกต่างกันนั้น มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N เป็นไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพในการลด NO_2N ของระบบ โดยจะพบประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N และ NO_3N สูงที่สุดในระบบที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และพบว่าระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_2N และ NO_3N สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.042) เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของหญ้าทั้งสองชนิดนี้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d

กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน (Nitrogen transformation) ในระบบบึงประดิษฐ์มีทั้งกระบวนการที่เพิ่มและลดค่า NO_3N ในน้ำเสีย ประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N จึงเป็นประสิทธิภาพรวมของการเพิ่มและลดปริมาณ NO_3N ของระบบ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่า NO_3N ในน้ำเสียเกิดจากกระบวนการ Nitrification ซึ่งทำให้แอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็น NO_3N แสดงดังสมการที่ (1) ถึง (3) ขณะที่การลดลงของ NO_3N เกิดขึ้นจากการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและจุลินทรีย์เช่นเดียวกับ NH_3N รวมถึงการลดลงจากกระบวนการ Denitrification ซึ่งจะเปลี่ยน NO_3N ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วย Denitrifying bacteria ภายใต้สภาพ anaerobic condition แสดงดังสมการที่ (4) ถึง (6) ดังนั้น หากการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (Nitrogen assimilation) และการเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซด้วยกระบวนการ Denitrification สูงกว่าการเกิด Nitrification อย่างมีนัยสำคัญ จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบจะสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำหน้าที่ขององค์ประกอบแต่ละชนิดภายในระบบว่ามีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่ของพืชและมีสภาพที่เหมาะสมต่อการทำหน้าที่ของ microbe ชนิดใด ทั้งนี้จากผลการศึกษาจะพบว่าหน่วยควบคุมที่ไม่มีพืชในระบบมีประสิทธิภาพต่ำในการลด NO_3N ซึ่งบ่งชี้ว่าหน่วยควบคุมมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเพิ่ม NO_3N มากกว่าการลด NO_3N ในน้ำเสียที่ทำการบำบัด ซึ่งส่วนหนึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ไม่มีพืชในระบบ ทั้งนี้พืชในระบบจะช่วยลด NO_3N ในน้ำเสียได้โดยตรงจากการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนั้นยังส่งเสริมการลด NO_3N โดยการเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์กลุ่ม Denitrifying bacteria ทั้งนี้ ในระบบบึงประดิษฐ์นั้น พบว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d เช่นเดียวกับการบำบัด TKN และ NH_3N ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ NO_3N ในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดมากกว่าเมื่อระบบต้องรองรับน้ำเสียในปริมาณที่มากขึ้น

ความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.01-27.68 และ 0.01-17.87 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า NO_3N ระหว่าง 0.02-3.67 และ 0.04-26.10 mg/l ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่า น้ำเสียจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดใกล้เคียงกัน และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.833) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.002) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.970) แสดงดังภาพที่ 4.12

(4) การบำบัดฟอสฟอรัส

(4.1) การบำบัดฟอสเฟต (Phosphate: P)

การบำบัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (P) ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด P ระหว่างร้อยละ 76.35-98.92 และร้อยละ 69.76-95.37 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด P ระหว่างร้อยละ 74.47-98.33 และร้อยละ 65.81-96.47 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด P ระหว่างร้อยละ 64.26-98.78 และร้อยละ 54.09-96.11ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด P ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกพืชต่างชนิดกันรวมถึงหน่วยควบคุม พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด P ของแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.004) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด P ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d นั้น พบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ

และหน่วยควบคุม ตามลำดับ เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.058) ทั้งนี้จะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัด P สูงที่สุด ทั้งในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง

Indicators/ operation time	Type of VSF CW			p value (F-test)
	Giant napier VSF CW	Dwarf napier VSF CW	Control	
Phosphate (% removal)				
2 cm/d HLR	89.10±1.08(21)^{Aa}	87.39±1.22(21)^{ABa}	81.79±2.11(21)^{Ba}	0.004
5 cm/d HLR	83.42±1.59(21)^{Ab}	82.40±1.78(21)^{Ab}	77.43±2.16(21)^{Aa}	0.058
p value$^{1/}$	0.006	0.026	0.157	
TP (% removal)				
2 cm/d HLR	74.24±2.97(21)^{Aa}	69.46±3.37(21)^{Aa}	68.33±4.58(21)^{Aa}	0.492
5 cm/d HLR	72.63±2.71(21)^{Aa}	68.33±2.92(21)^{Aa}	69.86±2.90(21)^{Aa}	0.559
p value$^{1/}$	0.692	0.802	0.779	

Note: Mean values±SEM(n) are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $p \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $p \geq 0.05$ of T-test

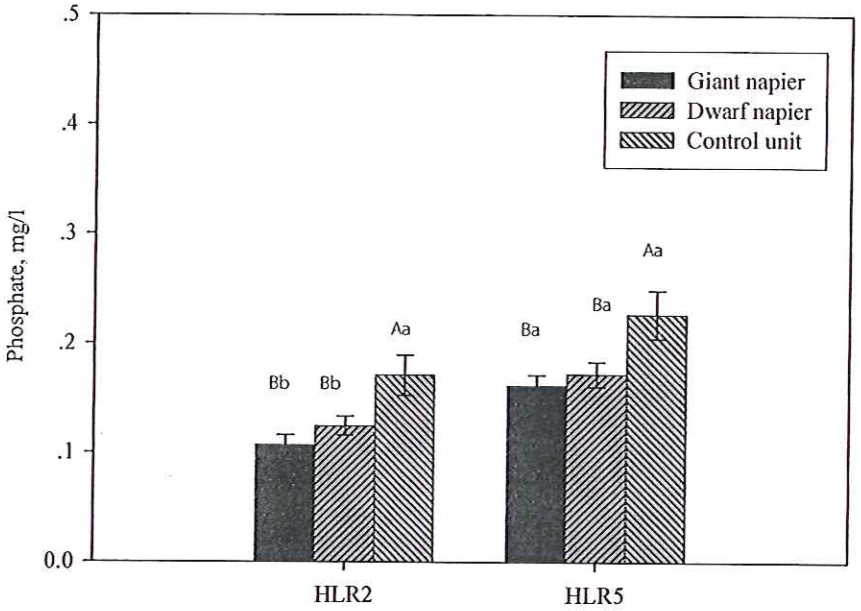
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด P ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด P สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.006) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด P สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นกัน และพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.026) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด P สูงกว่าหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.157) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มี

ประสิทธิภาพในการบำบัด P สูงกว่าระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า คืออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และพบว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัด P ระหว่างอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบบึงประดิษฐ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด P ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด P ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

การลดลงของ P ในน้ำเสียภายในระบบบำบัดเกิดขึ้นได้จากการนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ในระบบ (Uptake) และการตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) ของฟอสเฟตร่วมกับธาตุอื่น เช่น แคลเซียมซึ่งพบเป็นองค์ประกอบของตัวกลางที่ใช้ในระบบ จากนั้นตะกอนเคมีของแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อ pH ของน้ำเสียมีค่ามากกว่า 7 จะสามารถถูกดูดซับไว้กับรากพืชหรือวัสดุตัวกลาง (media) ขณะที่ Precipitation ระหว่าง PO_4^{3-} กับ Fe และ Al จะเกิดขึ้นเมื่อค่า pH เป็นกรด ทั้งนี้ตะกอนเคมีของฟอสเฟตอาจเกิดการละลาย (Dissolution) และปล่อยฟอสเฟตกลับคืนสู่น้ำเสียได้เช่นกัน เช่นการปล่อยปลด PO_4^{3-} ของตะกอน $AlPO_4$ และ $FePO_4$ ในสภาพ Anaerobic condition (US.EPA, 2000) อย่างไรก็ตาม Vymazal (2007) ระบุว่า กรวดหรือหินที่ใช้กันโดยทั่วไปในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวมีประสิทธิภาพในการลด P ด้วยกระบวนการ Sorption และ Precipitation ไม่สูงนัก นอกจากนั้น P ที่นำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ในปริมาณที่จำกัด และ P ในเนื้อเยื่อพืชอาจเกิดการปลดปล่อยกลับคืนสู่น้ำเสียได้เช่นกัน หากเนื้อเยื่อของพืชนั้นเกิดการย่อยสลายอยู่ภายในระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการพืชและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างเหมาะสม จากผลการศึกษาจะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหน่วยควบคุมในการบำบัด P เนื่องจากพืชในระบบสามารถลดปริมาณฟอสเฟตโดยการนำไปใช้โดยตรงหรือทำหน้าที่เอื้อให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการลด P ทั้งด้วยกระบวนการทางเคมีและทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังพบว่า การบำบัด P ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพสูงกว่าการบำบัด P ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d เช่นเดียวกับ การบำบัด NH_3N และ TKN ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ P ในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดมากกว่าเมื่อระบบต้องรองรับน้ำเสียในปริมาณที่มากขึ้น

ความเข้มข้นของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 0.010-0.377 และ 0.005-0.335 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า P ระหว่าง 0.005-0.332 และ 0.005-0.399 mg/l ตามลำดับ ขณะที่

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า P ระหว่าง 0.018-0.306 และ 0.017-0.505 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย P ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $p \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $p \geq 0.05$ of T-test

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ P ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.003) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ P ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการบำบัดเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์

เท่ากับ 2 cm/d นอกจากนั้น ยังพบว่าค่า P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.012) ทั้งนี้ จะพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่า P ต่ำที่สุด ทั้งในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ซึ่งพบว่าสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ซึ่งพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลด P

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัด เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ P ในน้ำเสียต่ำกว่าค่าความเข้มข้นของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า คืออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และพบว่าค่าความเข้มข้นของ P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และระบบที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของแต่ละระบบแตกต่างกันนั้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.000 และ p=0.001 ตามลำดับ

(4.2) การบำบัดฟอสฟอรัส (Phosphorus: TP)

การบำบัดฟอสฟอรัส (TP) ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TP ระหว่างร้อยละ 44.48-90.06 และร้อยละ 32.81-89.75 ตามลำดับ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TP ระหว่างร้อยละ 37.66-89.15 และร้อยละ 38.72-83.46 ตามลำดับ ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด TP ระหว่างร้อยละ 16.93-89.30 และร้อยละ 29.31-89.25 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

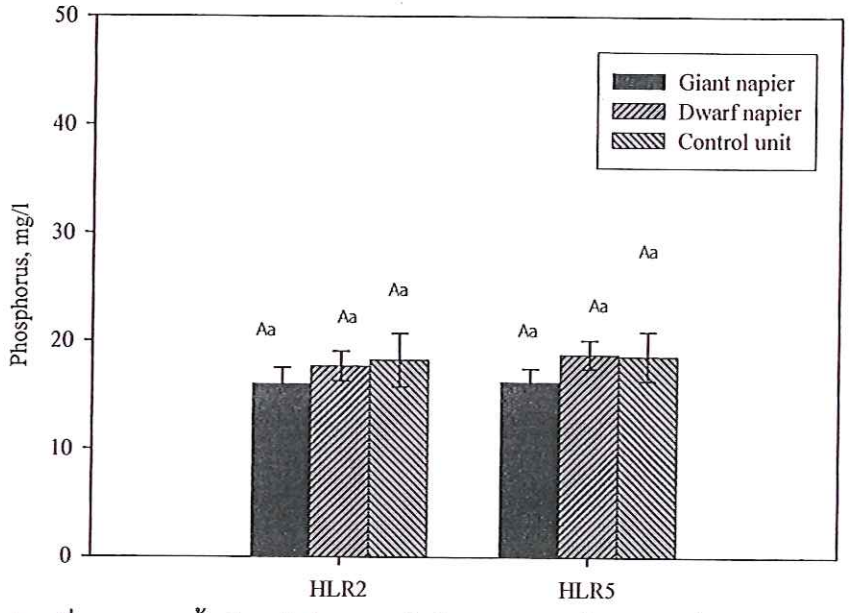
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกพืชต่างชนิดกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเมื่อระบบบำบัดมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d นั้น บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด TP รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.492) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d นั้น พบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือหน่วยควบคุมและบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.559) ทั้งนี้จะ

พบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงที่สุด เช่นเดียวกับการบำบัด P ทั้งในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แสดงดังตารางที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ระหว่างระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.692) บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ชนิดเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นกัน อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกันมากและพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.802) ขณะที่หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงกว่าหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกันมาก และพบว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.770) ทั้งนี้จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่าระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า คืออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d แสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่างชนิดกัน เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งเมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d

ประสิทธิการบำบัด TP ของระบบ เป็นผลจากการลด Soluble P และ Particulate P ดังนั้น กระบวนการในการลด Soluble P รวมถึง Particulate P ที่ถูกย่อยไปอยู่รูป Soluble P ของระบบจึงเป็นส่วนหนึ่งของประสิทธิภาพการลด TP ทั้งนี้ในส่วนของการลด Particulate P นั้น เกิดขึ้นได้จากการกรองและการดูดซับไว้ของวัสดุตัวกลาง และรากพืช ทั้งนี้จากผลการศึกษาจะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลด TP ซึ่งบ่งชี้ได้ถึงอิทธิพลของพืชในการลด TP เช่นเดียวกับการลด P ของระบบ โดยจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่สูงกว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d เล็กน้อย

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าระหว่าง 2.28-54.02 และ 3.55-51.58 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TP ระหว่าง 1.40-50.02 และ 2.72-51.02 mg/l ตามลำดับ ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า TP ระหว่าง 5.10-47.40 และ 7.37-42.95 mg/l ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ย TP ของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม

Note: Mean values±SEM are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between types of CW at $p \geq 0.05$ of F-test.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between HLRs at $p \geq 0.05$ of T-test .

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TP ในน้ำเสียสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.634) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ย

ของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TP ในน้ำเสียสูงที่สุดโดยมีค่าสูงกว่า ค่า TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมเล็กน้อย ขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่า TP ในน้ำเสียต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.338) ทั้งนี้ จะพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่า TP ต่ำที่สุดทั้งในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d เช่นเดียวกับค่า P ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบ ซึ่งทั้งนี้พบว่าสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบซึ่งพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลด TP เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการลด P

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัด เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันสองค่าคือ 2 และ 5 cm/d พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบึงประดิษฐ์ทั้งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงกว่า คืออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d อย่างไรก็ตามพบว่า ค่า TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.692 และ p=0.802 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.14 ขณะที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียสูงกว่า ค่า TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดียวกันที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าเฉลี่ย TP ในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.779

4.2 การเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง

การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยทำการวิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าหรือผลผลิตออกจากระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้านการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ มีรายละเอียดของผลการศึกษา ดังนี้

1) คุณสมบัติของวัสดุปลูก

ตัวกลางที่ใช้ในระบบบำบัดที่ทำการศึกษา ซึ่งตัวกลางดังกล่าวนี้ทำหน้าที่เป็นวัสดุปลูกของระบบบึงประดิษฐ์ด้วยนั้น ประกอบด้วย หิน ทรายหยาบและทรายละเอียด ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุตัวกลางหรือวัสดุปลูก พบว่า วัสดุประเภทหิน มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 0.46 %, 0.028 %, 39.68 µgP/g (0.004 %) และ 3.133 µgP/g (0.0003 %) ตามลำดับ วัสดุประเภททรายหยาบ มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 0.39 %, 0.018 %, 16.47 µgP/g (0.002 %) และ 3.133 µgP/g (0.0003 %) ตามลำดับ และวัสดุประเภททรายละเอียด มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 0.47 %, 0.018 %, 31.49 µgP/g (0.003 %) และ 2.486 µgP/g (0.0002 %) ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์วัสดุตัวกลางเมื่อสิ้นสุดการดำเนินระบบ พบว่า วัสดุตัวกลางประเภทหินในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 8.47-8.92, 0.66 %, 0.028-0.042 %, 0.0045-0.0076 % และ 0.0014-0.0019 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภทหินในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 8.56-9.09, 0.49-0.66 %, 0.035-0.042 %, 0.0043-0.0048 % และ 0.0016-0.0018 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.55-7.88, 0.66-0.98 %, 0.032-0.042 %, 0.0019-0.0025 % และ 0.0007-0.0010 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.51-7.71, 0.98 %, 0.042 %, 0.0022-0.0038 % และ 0.0007-0.0009 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.47-7.62, 0.66 %, 0.049-0.056 %, 0.0021-0.0025 % และ 0.0010-0.0012 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.43-7.65, 0.98 %, 0.049-0.056 %, 0.0021-0.0042 % และ 0.0011-0.0012 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของตัวกลาง/วัสดุปลูก เมื่อสิ้นสุดการดำเนินระบบบำบัด

Indicators (Unit)	Type of media	CW with Napier grass		CW with Dwarf grass		Control unit	
		2 cm/d of HLR	5 cm/d of HLR	2 cm/d of HLR	5 cm/d of HLR	2 cm/d of HLR	5 cm/d of HLR
pH	Stone	8.72	8.84	8.68	8.61	9.08	8.72
	Coarse sand	7.67	7.59	7.68	7.77	7.47	7.87
	Fine sand	7.55	7.52	7.55	7.60	7.69	7.71
Organic matter (%)	Stone	0.66	0.60	0.55	0.49	0.33	0.49
	Coarse sand	0.77	0.98	0.77	0.77	0.66	0.98
	Fine sand	0.66	0.98	0.66	0.87	0.66	0.98
Total N (%)	Stone	0.034	0.040	0.034	0.035	0.035	0.042
	Coarse sand	0.036	0.042	0.034	0.033	0.035	0.042
	Fine sand	0.053	0.053	0.049	0.051	0.049	0.056
Available P (%)	Stone	0.0017	0.0017	0.0015	0.0014	0.0016	0.0016
	Coarse sand	0.0009	0.0008	0.0010	0.0008	0.0009	0.0009
	Fine sand	0.0011	0.0011	0.0010	0.0009	0.0010	0.0011
Total P (%)	Stone	0.0057	0.0045	0.0061	0.0058	0.0031	0.0055
	Coarse sand	0.0023	0.0028	0.0020	0.0025	0.0023	0.0031
	Fine sand	0.0022	0.0029	0.0023	0.0026	0.0022	0.0034

วัสดุตัวกลางประเภทหินในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 8.27-9.01, 0.33-0.66 %, 0.032-0.035 %, 0.0043-0.0091 % และ 0.0014-0.0017 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภทหินในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 8.51-8.68, 0.33-0.66 %, 0.035 %, 0.0043-0.0068 % และ 0.0013-0.0016 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และavailable P เท่ากับ 7.52-7.89, 0.66-0.98 %, 0.032-0.035 %, 0.0020-0.0021 % และ 0.0010-0.0011 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.66-7.92, 0.66-0.98 %, 0.032-0.035 %, 0.0023-0.0028 % และ 0.0007-0.0008 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.42-7.64, 0.66 %, 0.049 %, 0.0022-0.0023 % และ 0.0010-0.0011 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.51-7.68, 0.66-0.98 %, 0.049-0.053 %, 0.0022-0.0023 % และ 0.0009-0.0010 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภทหินในหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 9.08, 0.33 %, 0.035 %, 0.0031 % และ 0.0016 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภทหินในหน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 8.72, 0.49 %, 0.042 %, 0.0055 % และ 0.0016 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.47, 0.66 %, 0.035 %, 0.0023 % และ 0.0009 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายหยาบในหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.87, 0.98 %, 0.042 %, 0.0031 % และ 0.0009 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.69, 0.66 %, 0.049 %, 0.0022 % และ 0.0010 % ตามลำดับ วัสดุตัวกลางประเภททรายละเอียดในหน่วยควบคุม ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า pH ปริมาณ OM ปริมาณ Total N ปริมาณ Total P และ available P เท่ากับ 7.71, 0.98 %, 0.056 %, 0.0034 % และ 0.0011 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

ทั้งนี้ จะพบว่าเมื่อสิ้นสุดการดำเนินระบบ วัสดุตัวกลางทุกประเภททั้งหิน ทรายหยาบและทรายละเอียด มีปริมาณของ OM, Total N, Total P และ available P เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทั้งปริมาณของสารอินทรีย์และปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นนี้ ได้มาจากสารอินทรีย์และปริมาณธาตุอาหารที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียและได้ถูกตัวกลางเหล่านี้กรองและดูดซับไว้ รวมถึงบางส่วนได้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับตัวกลางเกิดเป็นตะกอนเคมีแล้วถูกดูซับไว้กับตัวกลาง นอกจากนั้น สารอินทรีย์และปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นบางส่วนยังมาจากการหลุดร่วงและย่อยสลายของหญ้าในระบบซึ่งได้รับธาตุอาหารส่วนใหญ่จากน้ำเสียเพื่อสร้างเป็นสารอินทรีย์ และเมื่อมวลชีวภาพของหญ้าเกิดการหลุดร่วงลงสู่ระบบจะเกิดการสะสมและเพิ่มสารอินทรีย์และธาตุอาหารให้กับตัวกลาง ทำให้พบค่าสารอินทรีย์และธาตุอาหารในตัวกลางเพิ่มสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เป็นกระบวรการที่ช่วยบำบัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลง

2) การเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

(1) ความสูงของหญ้า

การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ด้วยการตรวจวัดความสูงของหญ้าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าความสูง ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 275-283, 91-213, 50-81 และ 57-77 cm ตามลำดับ ขณะที่ ความสูงของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 273-278, 99-205, 49-67 และ 41-70 cm ตามลำดับ

ความสูงของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 235-261, 91-215, 59-69 และ 57-74 cm ตามลำดับ ขณะที่ความสูงของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 235-269, 207-214, 67-85 และ 69-85 cm ตามลำดับ

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่าความสูงของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของการรองรับน้ำเสียนั้น มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ

5 cm/d มีค่าความสูง สูงที่สุดและแตกต่างจากค่าความสูงของหญ้าในระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.035)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสูงของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกันโดยเปรียบเทียบค่าความสูงระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าความสูงของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าความสูงสูงที่สุดในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวและมีค่าแตกต่างจากรอบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เมื่อพิจารณา ค่าความสูงของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสูงของหญ้าที่ปลูกในระบบ เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ขณะที่ ชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสูงของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ยกเว้น หญ้าที่เก็บเกี่ยวในรอบที่ 1 จากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน ที่พบว่าความสูงของหญ้าทั้งสองชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.046) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษามีค่าความสูงไม่แตกต่างกันนัก ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่าความสูงของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบความสูงของหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์กับความสูงของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบปกติ พบว่าทั้งหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระในระบบบึงประดิษฐ์มีความสูงน้อยกว่าความสูงของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบปกติมาก ซึ่งหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะมีความสูงถึง 3-4 m ส่วนหญ้าเนเปียร์แคระจะมีความสูง 1-2 m. (กรมปศุสัตว์, ม.ป.ป.) ทั้งนี้จะพบว่าความสูงของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในทั้งสองระบบอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าความสูงลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง

(2) อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR)

การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในรูปของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า RGR ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.1109-0.1127, 0.1862-0.2072, 0.1740-0.1912 และ 0.1749-0.1878 d^{-1} ตามลำดับ ขณะที่อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 0.1155-0.1183, 0.2015-0.2124, 0.1745-0.1978 และ 0.1712-0.2005 d^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 การเจริญเติบโตและผลผลิตหญ้าเนเปียร์ จากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

Parameters	Unit	Napier grass		Dwarf grass		*p* value
		CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	
Relative growth rate (RGR)	d^{-1}					
1st harvest 1/		0.1119±0.0005^{Ba}	0.1165±0.0009^{Ab}	0.1114±0.0006^{Bc}	0.1160±0.0013^{Ac}	0.036
2nd harvest 2/		0.1981±0.0062^{Aa}	0.2068±0.0031^{Aa}	0.2080±0.0026^{Aa}	0.2152±0.0034^{Aa}	0.099
3th harvest 2/		0.1839±0.0051^{Aa}	0.1887±0.0072^{Aa}	0.1884±0.0017^{Ab}	0.1958±0.0033^{Ab}	0.248
4th harvest 2/		0.1823±0.0038^{Aa}	0.1893±0.0091^{Aa}	0.1907±0.0022^{Ab}	0.1951±0.0020^{Ab}	0.257
p value		0.053	0.025	0.024	0.024	
Fresh yield	kg/m^2					
1st harvest 1/		11.86±0.24^{Ba}	15.21±1.17^{Aa}	9.66±0.06^{Ca}	12.42±0.38^{Ba}	0.022
2nd harvest 2/		7.82±1.16^{Ab}	9.61±0.91^{Ab}	8.00±0.39^{Ab}	10.61±0.22^{Ab}	0.112
3th harvest 2/		4.91±0.70^{Ac}	5.77±1.02^{Ab}	5.37±0.46^{Ac}	7.09±0.87^{Ac}	0.281
4th harvest 2/		4.57±0.43^{Ac}	6.16±1.64^{Ab}	5.20±0.33^{Ac}	7.00±0.27^{Ac}	0.200
p value		0.033	0.025	0.024	0.024	
Dry yield	kg/m^2					
1st harvest 1/		1.64±0.05^{Ba}	2.16±0.12^{Aa}	1.59±0.05^{Ba}	2.11±0.17^{Aa}	0.036
2nd harvest 2/		0.78±0.14^{Aa}	0.99±0.09^{Ab}	1.03±0.08^{Ab}	1.28±0.13^{Ab}	0.095
3th harvest 2/		0.51±0.07^{Aa}	0.59±0.11^{Ab}	0.57±0.03^{Ac}	0.71±0.07^{Ac}	0.270
4th harvest 2/		0.48±0.05^{Aa}	0.63±0.15^{Ab}	0.61±0.04^{Ac}	0.70±0.04^{Ac}	0.257
p value		0.053	0.025	0.024	0.024	

Note: Mean values ± SEM with sample size (n) = 3 are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between 4 types of CW at $p \geq 0.05$.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between sequences of harvest at $p \geq 0.05$

1/ 60 days after plantation

2/ 30 days after previous harvest

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 0.1106-0.1125, 0.2032-0.2122, 0.1859-0.1918 และ 0.1866-0.1943 d^{-1} ตามลำดับ ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า RGR ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.1142-0.1186, 0.2091-0.2207, 0.1893-0.1997 และ 0.1912-0.1980 d^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า RGR ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า RGR สูงที่สุดและแตกต่างจากค่า RGR ของหญ้าในระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.036) แสดงดังตารางที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกัน โดยเปรียบเทียบ ค่า RGR ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า RGR ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าสูงที่สุดในรอบที่ 2 ของการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า RGR ของหญ้าในระบบนี้ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.053) ในขณะที่ ทั้งหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และหญ้าเนเปียร์แคระในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า RGR สูงที่สุดในรอบที่ 2 ของการเก็บเกี่ยวและสูงกว่ารอบอื่นของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงดังตารางที่ 4.7

เมื่อพิจารณาอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าที่ปลูกในระบบ เช่นเดียวกับชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระ ที่พบว่าไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ที่ $p \geq 0.05$ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษา มีค่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกันนัก ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้า

แม้จะพบว่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะพบว่าหญ้าในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงจะมีค่า RGR ที่สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหญ้าสามารถได้รับน้ำและธาตุอาหารที่มากกว่า ในขณะที่ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่า มีปริมาณน้ำและธาตุอาหารที่สัมผัสกับระบบรากซึ่งเป็นส่วนที่ดูดน้ำและนำธาตุ

อาหารเหล่านั้นไปใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า นอกจากนั้น ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่าจะมีปริมาณของน้ำเสียที่ถูกกักพักไว้ในระบบน้อยกว่าและมีระดับที่ต่ำกว่าและอาจต่ำกว่าระดับการแผ่กระจายของรากทำให้พืชได้รับน้ำและธาตุอาหารที่น้อยกว่า

(3) ผลผลิตน้ำหนักสด

การศึกษาผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในรูปน้ำหนักสดของหญ้าในระบบบึงประดิษฐ์ พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่าน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 11.41-12.25, 5.67-9.64, 3.58-5.97 และ 3.78-5.27 kg/m^2 ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่าน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 13.26-17.30, 8.65-11.43, 3.78-7.16 และ 2.98-8.45 g/m^2 ตามลำดับ

ผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 9.55-9.74, 7.46-8.75, 4.57-6.16 และ 4.57-5.67 g/m^2 ตามลำดับ ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า RGR ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 11.73-13.05, 10.34-11.04, 5.37-8.15 และ 6.46-7.36 g/m^2 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุดและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.022$) เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดค่า RGR แสดงดังตารางที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกันโดยเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักสดระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าสูงที่สุดในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว และแตกต่างจากผลผลิตน้ำหนักสดที่เก็บเกี่ยวได้จากรอบการเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากหญ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบแรกนั้นมีระยะเวลาในการเติบโตภายในระบบเป็นเวลา 60 วัน ซึ่งสูงกว่าระยะเวลาที่หญ้าใช้ในการเจริญเติบโตในรอบอื่นๆ ถึง 2 เท่า จึงเป็นผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงกว่า แต่หากพิจารณาผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ในอีกสามรอบของการเก็บเกี่ยวที่เหลือจะพบว่า หญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวในรอบที่ 2 จากทุกระบบมีผลผลิตน้ำหนักสดสูงกว่ารอบที่ 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้จะพบว่าปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดมีความสอดคล้องกับค่าความสูงของหญ้าเนเปียร์และค่า RGR ของรอบที่ 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว

เมื่อพิจารณาผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าที่ปลูกในระบบ เช่นเดียวกับชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระที่พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ที่ $p \geq 0.05$ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษามีผลผลิตน้ำหนักสดไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้า

แม้จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะพบว่าหญ้าในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงจะมีผลผลิตน้ำหนักสดที่สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้จะพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการตรวจวัดค่า RGR ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากสาเหตุหรือปัจจัยเดียวกัน คือ หญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงนั้น หญ้าสามารถได้รับน้ำและธาตุอาหารที่มากกว่า ในขณะที่ในระบบที่มีอัตราการรองรับที่ต่ำกว่าจะมีปริมาณน้ำและธาตุอาหารที่สัมผัสกับระบบรากซึ่งเป็นส่วนที่ดูดน้ำและนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า นอกจากนั้นในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ต่ำกว่าจะมีปริมาณของน้ำเสียที่ถูกกักพักไว้ในระบบน้อยกว่าและมีระดับที่ต่ำกว่าและอาจต่ำกว่าระดับการแผ่กระจายของรากทำให้พืชได้รับน้ำและธาตุอาหารที่น้อยกว่า

(4) ผลผลิตน้ำหนักแห้ง

การศึกษาผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในรูปน้ำหนักแห้ง พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 1.54-1.71, 0.53-1.00, 0.37-0.62 และ 0.38-0.56 kg/m^2 ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 2.03-2.40, 0.84-1.16, 0.37-0.75 และ 0.34-0.82 g/m^2 ตามลำดับ

ขณะที่ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 1.52-1.70, 0.88-1.16, 0.53-0.63 และ 0.54-0.68 g/m^2 ตามลำดับ และหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 1.88-2.45, 1.05-1.49, 0.58-0.80 และ 0.62-0.76 g/m^2 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.036$) เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดค่า RGR และผลผลิตน้ำหนักสด แสดงดังตารางที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกันโดยเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักแห้งระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าสูงที่สุดในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว และเกือบทั้งหมดมีค่าแตกต่างจากผลผลิตน้ำหนักแห้งที่เก็บเกี่ยวได้จากรอบการเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องหญ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบแรกนั้นมีระยะเวลาในการเติบโตภายในระบบเป็นเวลา 60 วัน ซึ่งสูงกว่าระยะเวลาที่หญ้าใช้ในการเจริญเติบโตในรอบอื่นๆ ถึง 2 เท่า จึงเป็นผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงกว่า แต่หากพิจารณาผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในอีกสามรอบของการเก็บเกี่ยวที่เหลือจะพบว่าหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวในรอบที่ 2 จากทุกระบบมีผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงกว่าอีกรอบที่ 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้จะพบว่าปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งมีความสอดคล้องค่าความสูงของหญ้าเนเปียร์ ค่า RGR และผลผลิตน้ำหนักสด ของรอบที่ 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว

เมื่อพิจารณาผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าที่ปลูกในระบบ เช่นเดียวกับชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระที่พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ที่ $p \geq 0.05$ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษามีผลผลิตน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้า

แม้จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงจะมีผลผลิตน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้จะพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการตรวจวัดค่า RGR และผลผลิตน้ำหนักแห้ง ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากสาเหตุหรือปัจจัยเดียวกัน คือการได้รับน้ำและธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติ ซึ่ง กรมปศุสัตว์ (ม.ป.ป.) ระบุว่าหญ้าเนเปียร์ทุกสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและเหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ให้น้ำ โดยจะให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 3.0-4.0 ton/rai/yr หรือ 1.88-2.50 kg/m^2/yr นั้น จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษาซึ่งทำการเก็บเกี่ยว 4 รอบการเก็บเกี่ยว รวมเป็นเวลา 5 เดือนนั้น มีค่าสูงกว่าการปลูกในระบบปกติ โดยมี

ผลผลิตน้ำแห้งเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.80 kg/m^2/5 mo ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องจากในระบบบึงประดิษฐ์ใช้ระยะการปลูกที่ใกล้กันมากกว่าการปลูกปกติ แต่อย่างไรก็ตามได้ทำการปลูกเพียง 1 ท่อนพันธุ์ต่อหลุม ซึ่งการปลูกปกติทำการปลูก 2 ท่อนพันธุ์ต่อหลุม ดังนั้นโดยรวมแล้วจึงมีการปลูกด้วยจำนวนท่อนพันธุ์ต่อพื้นที่ปลูกใกล้เคียงกัน แต่ข้อแตกต่างที่ชัดเจนคือหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบบำบัดนี้ไม่ได้รับการให้ปุ๋ยใดๆ ดังเช่นการปลูกด้วยระบบปกติ ทั้งนี้หญ้าในระบบจะได้รับธาตุอาหารจากตัวกลางที่เป็นวัสดุปลูกซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าตัวกลางที่ใช้ซึ่งเป็นหิน ทรายหยาบและทรายละเอียดนั้นมีธาตุอาหารไม่มากนัก ดังนั้นธาตุอาหารที่หญ้าในระบบใช้ในการเจริญเติบโตส่วนใหญ่จึงมาจากธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นเอง ซึ่งการนำไปใช้โดยพืชยังเป็นกระบวนการในการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วย (Brix, 1994 และ Brix, 1997)

3) คุณค่าทางโภชนะของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

ผลการตรวจวิเคราะห์ดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกัน คือ อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะแต่ละค่าดัชนีระหว่างระบบที่ทำการศึกษา รวมถึงการเปรียบเทียบคุณภาพของหญ้าเนเปียร์เมื่อใช้ในรูปของพืชอาหารสัตว์ มีรายละเอียดของผลการศึกษาและผลการวิเคราะห์ ดังนี้

(1) ค่าวัตถุแห้ง (Dry matter: DM)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปของค่าวัตถุแห้ง (DM) ของหญ้าเนเปียร์ พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยวระหว่าง 13.49-13.99, 9.37-10.33, 10.28-10.38 และ 10.00-10.64 % ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 13.58-15.32, 9.60-11.26, 9.89-10.50 และ 9.65-11.33 % ตามลำดับ

ค่า DM ของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 15.67-17.84, 11.38-15.49, 10.16-11.48 และ 11.48-11.93 % ตามลำดับ ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า DM ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 15.34-19.59, 10.09-13.54,9.76-10.85 และ 9.54-10.56 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 คุณค่าทางโภชนะของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ จากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

Parameters	Unit	Napeir grass		Dwaf grass		*p* value
		CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	
Dry matter (CP)	%					
1st harvest 1/		13.81±0.16^{Ca}	14.26±0.54^{BCa}	16.51±0.67^{ABa}	16.99±1.32^{Aa}	0.040
2nd harvest 2/		9.94±0.29^{Aa}	10.35±0.84^{Aa}	12.93±1.29^{Ab}	12.02±1.02^{Ab}	0.141
3th harvest 2/		10.33±0.03^{Aa}	10.28±0.19^{Aa}	10.65±0.42^{Ab}	10.15±0.35^{Ab}	0.776
4th harvest 2/		10.40±0.20^{Aa}	10.37±0.50^{Aa}	11.72±0.13^{Ab}	9.94±0.31^{Ab}	0.063
p value		0.058	0.099	0.038	0.038	
Crude protein (CP)	%					
1st harvest 1/		1.59±0.47^{Aa}	2.06±0.16^{Aa}	2.12±0.18^{Aa}	1.82±0.21^{Aa}	0.674
2nd harvest 2/		1.94±0.47^{Aa}	1.88±0.46^{Aa}	2.47±0.27^{Aa}	1.82±0.36^{Aa}	0.494
3th harvest 2/		2.82±0.18^{Aa}	2.23±0.06^{Aa}	2.23±0.41^{Aa}	2.17±0.21^{Aa}	0.137
4th harvest 2/		2.12±0.61^{Aa}	2.47±0.27^{Aa}	2.00±0.65^{Aa}	2.59±0.16^{Aa}	0.875
p value		0.234	0.549	0.856	0.145	
Phosphorus (P)	%					
1st harvest 1/		0.36±0.01^{Aa}	0.35±0.03^{Ac}	0.38±0.02^{Aa}	0.43±0.04^{Aa}	0.221
2nd harvest 2/		0.50±0.01^{Aa}	0.54±0.02^{Aa}	0.46±0.01^{Aa}	0.47±0.03^{Aa}	0.084
3th harvest 2/		0.48±0.04^{Aa}	0.56±0.01^{Aa}	0.52±0.04^{Aa}	0.52±0.03^{Aa}	0.537
4th harvest 2/		0.48±0.01^{Aa}	0.45±0.00^{Ab}	0.46±0.04^{Aa}	0.47±0.00^{Aa}	0.248
p value		0.076	0.022	0.090	0.453	

ตารางที่ 4.8 คุณค่าทางโภชนะของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ จากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ (ต่อ)

Parameters	Unit	Napeir grass		Dwaf grass		*p* value
		CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	CW with 2 cm/d of HLR	CW with 5 cm/d of HLR	
Potassium (Ca)	%					
1st harvest 1/		0.175±0.020^{Ba}	0.177±0.019^{Ba}	0.353±0.044^{Aa}	0.345±0.047^{Aa}	0.040
2nd harvest 2/		0.299±0.024^{Aa}	0.324±0.025^{Aa}	0.272±0.028^{Aa}	0.310±0.026^{Aa}	0.468
3th harvest 2/		0.274±0.089^{A}a	0.403±0.040^{Aa}	0.343±0.045^{Aa}	0.365±0.038^{Aa}	0.644
4th harvest 2/		0.290±0.023^{Aa}	0.328±0.036^{Aa}	0.255±0.022^{Aa}	0.329±0.038^{Aa}	0.183
p value		0.147	0.055	0.235	0.764	
Calcium (Ca)	%					
1st harvest 1/		0.019±0.002^{Aa}	0.016±0.002^{Aa}	0.016±0.001^{Aa}	0.020±0.002^{Aa}	0.409
2nd harvest 2/		0.020±0.004^{Aa}	0.017±0.002^{Aa}	0.022±0.002^{Aa}	0.024±0.001^{Aa}	0.249
3th harvest 2/		0.018±0.001^{Aa}	0.022±0.001^{Aa}	0.025±0.002^{Aa}	0.022±0.002^{Aa}	0.068
4th harvest 2/		0.021±0.002^{Aa}	0.017±0.003^{Aa}	0.026±0.002^{Aa}	0.023±0.002^{Aa}	0.102
p value		0.714	0.264	0.060	0.530	
Magnesium (Mg)						
1st harvest 1/		0.247±0.015^{Ab}	0.245±0.026^{Aa}	0.258±0.014^{Aa}	0.286±0.012^{Aa}	0.384
2nd harvest 2/		0.346±0.008^{Aa}	0.321±0.022^{Aa}	0.350±0.029^{Aa}	0.332±0.012^{Aa}	0.715
3th harvest 2/		0.264±0.018^{Ab}	0.351±0.039^{Aa}	0.414±0.049^{Aa}	0.364±0.019^{Aa}	0.121
4th harvest 2/		0.343±0.012^{Aa}	0.278±0.027^{Aa}	0.382±0.017^{Aa}	0.338±0.026^{Aa}	0.106
p value		0.038	0.147	0.077	0.066	

Note: Mean values ± SEM with sample size (n) = 3 are shown for each treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different between 4 types of CW at $p \geq 0.05$.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different between sequences of harvest at $p \geq 0.05$

1/ 60 days after plantation

2/ 30 days after previous harvest

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่าวัตถุแห้งของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า DM สูงที่สุดและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.040) ซึ่งโดยรวมแล้วอาจกล่าวได้ว่า หญ้าแต่ละชนิดที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน มีค่า DM ของหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้ไม่แตกต่างกัน หรือปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของหญ้าและอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบไม่ส่งผลต่อค่า DM ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบ ค่า DM ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกันโดยเปรียบเทียบ ค่า DM ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ทั้งในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว ที่ p=0.058 และ p=0.099 ตามลำดับ ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า DM สูงที่สุดในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยว และแตกต่างจาก ค่า DM ของหญ้าเนเปียร์แคระที่เก็บเกี่ยวได้จากรอบการเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p= 0.038 (ตารางที่ 4.8)

เมื่อพิจารณา ค่า DM ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า DM ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบ และชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า DM ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้มีค่า DM ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่า DM ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และ ค่า DM ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 45 วัน มีค่าเท่ากับ 26.21 และ 23.57 % ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า DM ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าถึงประมาณ 50 % ซึ่งบ่งชี้ว่า มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าความชื้นค่อนข้างสูง

(2) โปรตีนหยาบ (Crude protein: CP)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปของโปรตีนหยาบ (CP) พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยวระหว่าง 0.70-2.29, 1.06-2.64, 2.64-3.17 และ 1.06-3.17 % ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ใน

ระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 1.76-2.29, 1.06-2.64, 2.12-2.29 และ 2.12-3.00 % ตามลำดับ

ค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 1.94-2.47, 1.94-2.82, 1.41-2.64 และ 0.70-2.64 % ตามลำดับ และมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า CP ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยวระหว่าง 1.41-2.12, 1.06-2.82, 1.76-2.47 และ 2.29-2.82 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า CP ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าไม่แตกต่างกันเอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า CP ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบเดียวกันโดยเปรียบเทียบค่า CP ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อพิจารณา ค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีผลต่อ ค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบเมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U อย่างไรก็ตามพบว่า ค่า CP ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในรอบที่ 3 ของการเก็บเกี่ยวมีค่า CP แตกต่างกันระหว่างอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ระดับนัยสำคัญ $p=0.043$ นอกจากนั้น การทดสอบด้วยสถิติยังพบว่าชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อ ค่า CP ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบเมื่อพิจารณา ค่า CP ของหญ้าแต่ละชนิดเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้มีค่า CP ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อค่า CP ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า CP ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า CP ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเท่ากับ 9.98 % และ ค่า CP ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 14, 21, 30-35 และ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 18.12, 13.55, 12.06 และ 9.80 % ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า CP ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าค่า CP ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบปกติเป็นอย่างมาก ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลเนื่องจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบบำบัดนี้ไม่ได้รับปุ๋ยใดๆ ดังเช่นการปลูกด้วยระบบปกติ โดยหญ้าในระบบบำบัดจะได้รับธาตุอาหารจากตัวกลางที่เป็นวัสดุปลูกซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าตัวกลางที่ใช้ซึ่งเป็นหิน ทรายหยาบและทรายละเอียดนั้นมีธาตุอาหารไม่มากนัก ดังนั้นธาตุอาหารที่หญ้าในระบบบำบัดใช้ในการเจริญเติบโตส่วนใหญ่จึงมาจากธาตุอาหารที่ปนเปื้อน

ในน้ำเสีย ขณะที่การปลูกด้วยระบบปกตินั้น จะมีการใส่ปุ๋ยทั้งก่อนปลูกและหลังการตัดทุกครั้ง โดยก่อนปลูกมีคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 50-100 kg/rai และใส่ปุ๋ยคอกร่วมด้วย ขณะที่หลังการตัดแต่ละรอบของการตัด มีคำแนะนำให้ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 10-20 kg/rai (กรมปศุสัตว์, ม.ป.ป.) ซึ่งจะพบว่าในระบบการปลูกปกติ หญ้าเนเปียร์จะได้รับธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนอย่างพอเพียงและสม่ำเสมอ

(3) ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยวจากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ระหว่าง 0.35-0.36, 0.49-0.52, 0.41-0.56 และ 0.46-0.51 % ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.30-0.39, 0.50-0.57, 0.55-0.58 และ 0.44-0.45 % ตามลำดับ

ค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 0.34-0.41, 0.43-0.48, 0.45-0.58 และ 0.39-0.50 % ตามลำดับ และมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า P ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.37-0.51, 0.42-0.51, 0.46-0.58 และ 0.46-0.48 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า P ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า P ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน โดยเปรียบเทียบค่า P ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d และ และหญ้าเนเปียร์แคระทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า P ไม่แตกต่างกันระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 ในขณะที่ มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d ที่เก็บเกี่ยวได้จากรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวมีค่า P สูงที่สุดและแตกต่างจากค่า P ของมวลชีวภาพในรอบการเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.022$)

เมื่อพิจารณา ค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบ และชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มี

อิทธิพลต่อ ค่า P ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้มีค่า P ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่า P ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า P ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า P ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.29 % และ ค่า P ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 14, 21, 30-35 และ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 0.35, 0.35, 0.36 และ 0.35% ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า P ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้มีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับค่า P ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากหญ้าในระบบบึงประดิษฐ์ ได้รับ P จากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบ ซึ่งการนำ P จากน้ำเสียไปใช้โดยหญ้าเนเปียร์เป็นกระบวนการหนึ่งในการลด P ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย (Brix, 1994 และ Brix, 1997) ซึ่งพบว่าสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง

(4) โพแทสเซียม (Potassium: K)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว จากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ระหว่าง 0.15-0.22, 0.26-0.34, 0.16-0.45 และ 0.25-0.33 % ตามลำดับ ขณะที่หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 0.14-0.21, 0.28-0.36, 0.36-0.48 และ 0.27-0.39 % ตามลำดับ

ขณะที่ ค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 0.27-0.41, 0.23-0.32, 0.27-0.43 และ 0.21-0.28 % ตามลำดับ และมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า K ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.26-0.42, 0.26-0.34, 0.29-0.42 และ 0.29-0.40 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า K ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบของอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 ยกเว้นรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวที่พบว่าหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า K สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.040$)

เมื่อเปรียบเทียบ ค่า K ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากันโดยเปรียบเทียบค่า K ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า K ไม่แตกต่างกันระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อพิจารณา ค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบ และชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า K ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้ มีค่า K ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่า K ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า K ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า K ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเท่ากับ 1.77 % และ ค่า K ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 14, 21, 30-35 และ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 5.19, 4.86, 3.23 และ 1.83 % ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า K ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับค่า K ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการปลูกในระบบปกตินั้นมีการใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นการเติมโพแทสเซียมให้กับหญ้าด้วย ดังจะพบว่าปุ๋ยที่แนะนำให้ใส่ก่อนการปลูกหญ้าเนเปียร์ซึ่งเป็นปุ๋ยสูตร 15-15-15 นั้น เป็นปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบด้วย

(5) แคลเซียม (Calcium: Ca)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปธาตุอาหารแคลเซียม (Ca) พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว จากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ระหว่าง 0.016-0.022, 0.016-0.028, 0.017-0.019 และ 0.017-0.024 % ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 0.013-0.020, 0.014-0.019, 0.019-0.024 และ 0.013-0.022 % ตามลำดับ

ค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 0.014-0.018, 0.019-0.027, 0.023-0.029 และ 0.024-0.030 % ตามลำดับ และมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า Ca ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บ

เกี่ยว ระหว่าง 0.017-0.023, 0.022-0.026, 0.020-0.026 และ 0.020-0.028 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า Ca ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า Ca ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน โดยเปรียบเทียบค่า Ca ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยว จะพบว่าค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า Ca ไม่แตกต่างกันระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อพิจารณา ค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบ และชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า Ca ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้ มีค่า Ca ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่า Ca ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Ca ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า Ca ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.53 % และ ค่า Ca ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 14, 21, 30-35 และ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 0.71, 0.73, 0.57 และ 0.63 % ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า Ca ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ มีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับค่า Ca ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบปกติ ทั้งนี้แม้ตัวกลางที่ใช้เป็นวัสดุปลูกหญ้าในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะเป็นหินและทรายที่มี Ca เป็นองค์ประกอบอยู่ แต่คาดว่า Ca ในรูปสารละลายที่ได้จากวัสดุปลูกอาจเกิดการทำปฏิกิริยากับมลสารในน้ำเสียและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ขณะที่น้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบไม่มีสารละลาย Ca เป็นองค์ประกอบมากพอต่อการนำไปใช้ของพืช

(6) แมกนีเซียม (Magnesium: Mg)

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตหญ้าเนเปียร์ที่เก็บเกี่ยวจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในรูปธาตุอาหารแมกนีเซียม (Mg) พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว จากระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d มีค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ระหว่าง 0.22-0.27, 0.34-0.36, 0.23-0.30 และ 0.32-0.37 % ตามลำดับ ขณะที่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า Mg ของมวล

ชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว มีค่าระหว่าง 0.20-0.29, 0.28-0.35, 0.28-0.42 และ 0.23-0.32 % ตามลำดับ

ค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าระหว่าง ระหว่าง 0.23-0.28, 0.30-0.40, 0.34-0.51 และ 0.36-0.42 % ตามลำดับ และมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d มีค่า Mg ในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.27-0.31, 0.31-0.35, 0.33-0.39 และ 0.31-0.39 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่า Mg ของหญ้าแต่ละชนิดจากแต่ละระบบอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า Mg ของหญ้าชนิดเดียวกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน โดยเปรียบเทียบค่า Mg ระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 5 cm/d และหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 และ 5 cm/d มีค่า Mg ไม่แตกต่างกันระหว่างรอบของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 ขณะที่มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบำบัดที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2 cm/d ที่เก็บเกี่ยวได้จากรอบที่ 2 ของการเก็บเกี่ยว มีค่า Mg สูงที่สุดและแตกต่างจากรอบการเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.038$)

เมื่อพิจารณา ค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าชนิดเดียวกันในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวจะพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันของระบบไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบ และชนิดของหญ้าที่แตกต่างกันคือเนเปียร์ยักษ์และเนเปียร์แคระไม่มีอิทธิพลต่อ ค่า Mg ของมวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันและเก็บเกี่ยวในรอบเดียวกัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Mann-Whitney U ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดนี้ มีค่า Mg ในมวลชีวภาพของหญ้าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของระบบที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อค่า Mg ของหญ้า

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเท่ากับ 0.56 % และ ค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์แคระที่อายุการตัด 14, 21, 30-35 และ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.26, 0.32 และ 0.47 % ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2547) จะพบว่าค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ปลูกในระบบปกติ ขณะที่ค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่า Mg ของหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในระบบปกติ ทั้งนี้แม้ตัวกลางที่ใช้เป็นวัสดุปลูกหญ้าในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์จะเป็นหินและทรายที่อาจมี Mg เป็นองค์ประกอบอยู่บ้าง แต่คาดว่า Mg ในรูปสารละลายที่ได้จากวัสดุปลูก

อาจเกิดการทำปฏิกิริยากับมลสารในน้ำเสียและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ขณะที่น้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบไม่มีสารละลาย Mg เป็นองค์ประกอบมากพอต่อการนำไปใช้ของหญ้าโดยเฉพาะต่อการนำไปใช้ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การศึกษาความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพของของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งดำเนินการโดยการระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรในระดับครัวเรือน ที่เกษตรกรจะทำการรวบรวมและกักพักน้ำเสียเหล่านี้ไว้ในบ่อซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งพื้นที่กักเก็บน้ำเสียและพื้นที่บำบัดน้ำเสียขั้นต้น จากการตรวจวัดน้ำเสียในบ่อรวบรวมดังกล่าวนี้ พบว่ายังคงมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยเฉพาะสารอินทรีย์ซึ่งพบว่ามีการปนเปื้อนเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ประเภท ค หรือเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค ต้องมีค่า COD, BOD_5, TKN, และ TSS ไม่เกิน 400 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l และ 200 mg/l ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

โดยน้ำเสียก่อนผ่านการบำบัดของระบบมีคุณลักษณะดังนี้ คือ น้ำเสีย มีค่าอุณหภูมิน้ำ 30.00-35.00 °C ค่า pH ของน้ำเสียมีค่า 5.91-7.54 ค่า EC ของน้ำเสียมีค่า 1565.00-1,469.00 µS/cm ค่า TDS ของน้ำเสียมีค่า 283.00-735.00 mg/l DO ของน้ำเสียมีค่า 0.02-3.88 mg/l ปริมาณมลสารในรูป BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate มีค่าระหว่าง 30.0-210.0, 176.0-872.0, 20.5-50.5, 34.72-111.44, 19.18-92.26, 2.04-7.30, 1.59-6.19, 29.10-168.50 และ 0.43-2.08 mg/l ตามลำดับ

เมื่อระบายน้ำเสียจากฟาร์มสุกรดังกล่าวลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ใช้หญ้าเนเปียร์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ หญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระเป็นพืชในระบบ โดยให้ระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือ อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 2 และ 5 cm/d จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดจากระบบพบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบำบัดดังกล่าวนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งบ่งชี้ได้จากประสิทธิภาพของระบบในการลดมลสารในน้ำเสียโดยที่องค์ประกอบของระบบโดยเฉพาะพืชในระบบยังคงสามารถดำรงอยู่และทำหน้าที่ได้ในระบบ

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ในการบำบัดมลสารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนั้น พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ทั้งหมดที่ทำการศึกษานี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate โดยเฉลี่ยระหว่าง 77.01-94.20, 36.08-63.47, 51.57-67.51, 93.84-97.64, 97.20-98.60, 38.86-79.26, -224.66-16.06, 68.33-74.24 และ 82.40-89.10 % ตามลำดับ

ขณะที่ หน่วยควบคุมซึ่งไม่มีพืชในระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5, COD, TSS, TKN, NH_3N, NO_3N, NO_2N, TP และ Phosphate โดยเฉลี่ยระหว่าง 77.07-74.36, 61.58-68.16, 70.44-73.38, 90.94-97.65, 95.66-98.45, -205.78-(-205.36), 68.33-69.86 และ 77.43-81.79 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.008)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด Phosphate สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.004)

หน่วยควบคุมที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.003)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระและมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d มีประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3N และ NO_2N สูงกว่าหน่วยบำบัดอื่นที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ทั้งนี้ การทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าชนิดของหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d และชนิดของหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TSS และ BOD_5 เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d

นอกจากนั้น ยังพบว่าอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TKN, NH_3N และ P ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในขณะที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด NO_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ

โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทั้งหมด มีค่า pH อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และมีค่าอยู่ในระดับปกติซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการบำบัดของระบบ และพบว่าปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียหลังการบำบัดของระบบโดยส่วนใหญ่ คือ สารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ของแข็งในรูป TSS และปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข ยกเว้นค่า COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดซึ่งพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงพบบางส่วนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ทั้งมาตรฐาน ก และมาตรฐาน ข

ทั้งนี้ การลดมลสารปนเปื้อนภายในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ทำการศึกษานี้ เกิดขึ้นจากการทำหน้าที่ขององค์ประกอบภายในระบบผ่านกระบวนการต่างๆ คือ การ

กรอง (Filtration) และดูดซับมลสารโดยตัวกลางและส่วนของพืช (Adsorption) การทำหน้าที่ย่อย (Degradation) และเปลี่ยนรูป (Transformation) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่ภายในระบบโดยมีตัวกลางและพืชเป็นผู้เอื้อที่อยู่อาศัยและเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในการทำงาน การทำปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดการตกตะกอนเคมีของมลสาร (Chemical precipitation) ซึ่งมีสารธาตุบางส่วนจากตัวกลางเป็นตัวร่วมในการเกิดปฏิกิริยา โดยมีตัวกลางและรากพืชเป็นตัวจับตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นนั้น นอกจากนั้น หญ้าเนเปียร์ยังทำหน้าที่ในการดูดซึม (Assimilation) ธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นการลดมลสารในน้ำเสียลง ดังนั้นจึงจะพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมสูงกว่าหน่วยควบคุม

5.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยบ่งชี้ได้จากการอยู่รอดและเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดภายในระบบ ทั้งนี้จะพบว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวหญ้าออกจากระบบแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวนั้น หญ้าเนเปียร์จะสามารถเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นได้ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายในระบบบึงประดิษฐ์ มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.1119-0.2068 d^{-1} ขณะที่หญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบึงประดิษฐ์ มีค่า RGR ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.1114-0.2152 d^{-1} ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า RGR ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันระหว่างหญ้าแต่ละชนิดในแต่ละอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีค่า RGR สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.036)

ทั้งนี้ การอยู่รอด เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งมีวัสดุปลูกเป็นหินและทราย โดยไม่มีการให้ปุ๋ยแก่หญ้าแต่อย่างใดนั้น เกิดขึ้นได้จากการที่หญ้าได้รับน้ำจากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบและได้รับธาตุอาหารจากธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวกลางและปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งนอกจากจะทำให้หญ้าเติบโตให้ผลผลิตได้แล้วยังช่วยลดธาตุอาหารในน้ำเสียและช่วยในกระบวนการบำบัดรูปแบบอื่นๆ ด้วย

5.1.3 การศึกษาปริมาณและคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

1) ปริมาณของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ผลการตรวจวัดอัตราการผลิตมวลชีวภาพในรูปของผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นรอบการเก็บเกี่ยวของระบบการปลูกหญ้าเนเปียร์ตามปกตินั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.57-15.21 และ 5.20-12.42 kg/m^2 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าต่างชนิดกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.022) อย่างไรก็ตาม ในรอบการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของหญ้าทุกชนิดในทุกระบบมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้า

ผลการตรวจวัดอัตราการผลิตมวลชีวภาพในรูปของผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่ามีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.48-2.16 และ 0.57-2.11 kg/m^2 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าต่างชนิดกันในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์แตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์แคระ ในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 cm/d มีผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.036) อย่างไรก็ตาม ในรอบของการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าทุกชนิดในทุกระบบมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แม้เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติ ซึ่งกรมปศุสัตว์ (ม.ป.ป.) ระบุว่าหญ้าเนเปียร์ทุกสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง และเหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ให้น้ำ โดยจะให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 3.0-4.0 ton/rai/yr หรือ 1.88-2.50 kg/m^2/yr นั้น จะพบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษาซึ่งทำการเก็บเกี่ยว 4 รอบการเก็บเกี่ยว รวมเป็นเวลา 5 เดือนนั้น มีค่าสูงกว่าการปลูกในระบบปกติ โดยมีผลผลิตน้ำแห้งเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.80 kg/m^2/5 mo โดยไม่มีการให้ปุ๋ยเหมือนในระบบปกติ แต่หญ้าจะได้รับน้ำและอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียแทน แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าผลผลิตของหญ้าในระบบมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นผลจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น ขนาดของพื้นที่ปลูก ปริมาณและระยะเวลาของการให้น้ำเสีย และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อกำหนดที่เหมาะสมในการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับการสร้างผลผลิตหญ้าเนเปียร์ต่อไป

2) คุณภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ผลผลิตภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในรูปของพืชอาหารสัตว์

การตรวจวัดคุณภาพของหญ้าเนเปียร์ในรูปของพืชอาหารสัตว์ด้วยดัชนีคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่า Dry matter, Crude protein, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium เฉลี่ยระหว่าง 9.94-14.26, 1.88-2.82, 0.35-0.56, 0.175-0.403, 0.016-0.022 และ 0.245-0.351 % ตามลำดับ

ขณะที่ มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยว มีค่า Dry matter, Crude protein, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium เฉลี่ยระหว่าง 9.94-16.99, 1.82-2.59, 0.38-0.52, 0.255-0.365, 0.016-0.026 และ 0.258-0.414 % ตามลำดับ

ทั้งนี้ จะพบว่าในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวหญ้านั้น หญ้าเนเปียร์ทุกชนิดจากทุกระบบอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จะมีค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะที่ทำการตรวจวัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในรอบที่ 1 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งพบว่าหญ้าเนเปียร์แคระในระบบที่มีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 cm/d มีค่า Dry matter และ Potassium สูงกว่าหญ้าในระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะของหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์กับหญ้าเนเปียร์ในระบบการปลูกปกติ จะพบว่าค่า Dry matter, Crude protein, Potassium และ Calcium ในมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดที่ผลิตจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์มีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับหญ้าเนเปียร์แต่ละชนิด (กรมปศุสัตว์, 2547) ขณะที่ มวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในระบบบึงประดิษฐ์ มี Magnesium ต่ำกว่าค่า Magnesium ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ส่วนมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์แคระในระบบบึงประดิษฐ์ มี Magnesium ใกล้เคียงกับค่า Magnesium ของหญ้าเนเปียร์แคระที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามจะพบว่ามวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ มีค่า Phosphorus สูงกว่าค่า Phosphorus ของหญ้าเนเปียร์แต่ละชนิดที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์

ดังนั้นในการพิจารณาถึงการผลิตหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบบึงประดิษฐ์และการใช้หญ้าเนเปียร์จากระบบบึงประดิษฐ์ในการเลี้ยงสัตว์ จึงควรต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตที่คำนึงถึงคุณค่าทางโภชนะของหญ้า และพิจารณาถึงการใช้หญ้าเนเปียร์ดังกล่าวในการเป็นอาหารของสัตว์ซึ่งควรจะต้องเป็นการให้ร่วมกับอาหารประเภทอื่นที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ครบถ้วนเพื่อให้สัตว์ได้รับสารอาหารอย่างเหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผลการศึกษาบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ด้วยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และระบบเดียวกันนี้ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ เมื่อระบบมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 2 และ 5 cm/d ทั้งนี้ พบว่าการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้งสองค่าที่ทำการศึกษานี้ อาจยังไม่ให้ข้อมูลที่แสดงถึงศักยภาพสูงสุดของระบบทั้งในด้านการบำบัดมลสารและการผลิตพืชอาหารสัตว์ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเดียวกันนี้ เมื่อมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์อัตราอื่นๆ เพิ่มเติม จะทำให้ได้องค์ความรู้ที่ละเอียดและชัดเจนขึ้นในการนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมที่จะทำให้ระบบแสดงประสิทธิสูงสุดในการบำบัดมลสาร

5.2.2 เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาในหน่วยทดลองที่สร้างจากวงบ่อ ที่มีขนาดของพื้นที่ผิวของระบบไม่มากนัก ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการเติบโต การให้ผลผลิต และการทำหน้าที่ในการบำบัดทั้งทางตรงและทางอ้อมของหญ้าเนเปียร์ในระบบ ดังนั้น การศึกษาการบำบัดด้วยระบบดังกล่าวนี้เมื่อระบบมีขนาดของพื้นที่ผิวของระบบมากขึ้น จะทำให้ได้องค์ความรู้ที่ละเอียดและชัดเจนขึ้นถึงผลของขนาดพื้นที่ผิวของระบบที่อาจนำไปสู่การแสดงประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของระบบในการลดมลสารในน้ำเสีย รวมถึงการให้ผลผลิตในรูปของพืชอาหารสัตว์ ซึ่งจะส่งผลดีต่อการนำไปสู่การประยุกต์ใช้ต่อไป

5.2.3 เนื่องจากระบบบำบัดดังกล่าวนี้เป็นระบบบำบัดอย่างง่ายที่เกษตรกรสามารถนำไปปรับใช้ได้จริง จึงควรทำการศึกษาระบบดังกล่าวนี้เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงการจัดการระบบที่เหมาะสมเพื่อการนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5.2.4 ควรศึกษาถึงการนำน้ำเสียหลังการบำบัด ซึ่งมลสารในรูปสารอินทรีย์บางส่วนได้ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ขณะผ่านการบำบัดของระบบ ทั้งนี้องค์ความรู้ที่ได้จะนำไปสู่การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรที่ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยและเพื่อลดการปลดปล่อยมลสารออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). **คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษา ระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร ตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2551. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กชกร พับลิชชิง.

กรมปศุสัตว์. (2545). หญ้าเนเปียร์. เอกสารคำแนะนำ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ISBN 974-682-051-6. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมปศุสัตว์. (2547). **ตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมปศุสัตว์. (ม.ม.ป.). **พืชอาหารสัตว์พันธุ์ดี**. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ผกาพรรณ สกุลมั่น. (2549). ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์: มูลค่าหรือมลพิษ. **สุกรสาส์น**, 32(128), 47-53.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก. (2555). ประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง. **วิทยาศาตร์ มข.**, 41(2), 443-458.

APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th edition. American Public Health Association Inc., Washington D.C, USA.

Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetland. *Water Science and Technology*, **29(4)**, pp. 71-78.

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? *Water Science and Technology*, **35(5)**, pp. 11-17.

Crites, R.W. (1994). Design criteria and practice for constructed wetland. *Water Science and Technology*, **29**, pp. 1-6.

Greenway, M. (1997). Nutrient content of wetland plants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Australia. *Water Science and Technology*, **35**, pp. 135-142.

Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Florida.

Kantawanichkul, S. Kladprasert, S. and Brix, H. (2009). Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*. *Ecological Engineering*, **35**, pp. 238-247.

Sakadevan, K. and Bavor, H.J. (1999). Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management. *Water Science and Technology*, **40**, pp. 121-128.

Shutes, R.B.E. (2001). Artificial wetlands and water quality improvement. *Environment International*, **26**, pp. 441-447.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development. (2000). *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Cincinnati, Ohio: U.S. EPA.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment.* Washington, DC.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). (2000). *Constructed Wetland Treatment of Municipal Wastewaters*. Cincinnati, Ohio.

Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, **380**, pp. 48-65.

Output ที่ได้จากโครงการ

1. บทความวิจัยที่ตีพิมพ์บน Proceedings ในการประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ "Interdisciplinary Research and Studies on Sustainable Development" มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร วันที่ 5 สิงหาคม 2557 จำนวน 1 เรื่อง คือ เรื่อง "การลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์" (ภาคผนวก ก)

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์บน Proceedings ในการประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ
"Interdisciplinary Research and Studies on Sustainable Development"
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร วันที่ 5 สิงหาคม 2557

การลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์

Removal of Nutrient in Swine Wastewater Using Napier Grass in Constructed Wetland

นายมโน อุ่นแก้ว[1]

ผศ.ดร. พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก[2]

[1]นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

[2]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้หญ้าเนเปียร์ในระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (Vertical subsurface flow constructed wetland: VSF CW) ในการลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การศึกษาครั้งนี้ใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) และหญ้าเนเปียร์แคระ (*Pennisetum purpureum* cv. Mott.) เป็นพืชในระบบบึงประดิษฐ์ โดยตรวจวัดประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของหญ้าทั้งสองชนิด ทั้งนี้รวมถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และของแข็งของบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม โดยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรถูกระบายเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมที่อัตราการรองรับน้ำเสียทางชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate: HLR) เท่ากับ 5 ซม./วัน ผลการศึกษาพบว่าบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์สามารถลด COD, BOD_5 และ TSS ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงได้ และค่า BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์มีค่าต่ำกว่า BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์มีค่า COD และ TSS สูงกว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม ตลอดระยะเวลา 5 เดือนของการดำเนินระบบ พบว่าประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ในการบำบัด TKN, NH_3-N, NO_3-N, NO_2-N, TP และ Phosphate มีค่าเฉลี่ย 93.90-95.05, 97.06-97.20, 38.87-41.27, -185.47-(-10.74), 68.33-72.63 และ 82.40-83.42 % ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด NO_3-N และ NO_2-N ระหว่างบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์และหน่วยควบคุมมีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนั้นผลการศึกษายังพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด TKN และ NH_3-N ขณะที่ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด NO_3-N และ NO_2-N อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแม้ว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด TP และ Phosphate แต่พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่ทำการศึกษารวมถึงหน่วยควบคุม

คำสำคัญ

ธาตุอาหาร, น้ำเสียจากฟาร์มสุกร, หญ้าเนเปียร์

Abstract

The objective of this study was to investigate application of Napier grass in vertical subsurface flow constructed wetland (VSF CW) for removal of nutrient in swine wastewater. In this study, Giant napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) and Dwarf napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. Mott.) were used as macrophyte in VSF CW and efficiencies of these species in VSF CW for nitrogen and phosphorus removal were evaluated. In addition, removal efficiencies for organic matter and solid of each VSF CW unit and control unit were also examined when the VSF CW and control unit were fed with swine wastewater at 5 cm/day of HLR. The results showed that VSF CWs with Napier grass could reduce COD, BOD_5 and TSS in swine wastewater and BOD_5 in effluent of the VSF CWs was less than that in effluent of control unit. However, COD and TSS in effluent of the VSF CWs were found higher than those in effluent of control unit. Throughout 5 months of operation, average efficiencies of the VSF CWs with Napier grass for removal of TKN, NH_3-N, NO_3-N, NO_2-N, TP and Phosphate were 93.90-95.05, 97.06-97.20, 38.87-41.27, -185.47-(-10.74), 68.33-72.63 and 82.40-83.42 %, respectively. Statistical analysis showed that efficiencies of VSF CWs with Napier grass and control unit for removal of NO_3-N and NO_2-N were significantly different at $p<0.05$. VSF CWs with Giant napier grass showed the highest efficiency for TKN and NH_3-N removal meanwhile VSF CWs with Dwarf napier grass showed the highest efficiency for NO_3-N and NO_2-N removal. However, the removal efficiencies for TKN, NH_3-N, NO_3-N and NO_2-N were not significantly different between Giant napier grass VSF CW and Dwarf napier grass VSF CW. Although Giant napier grass VSF CW provided the highest efficiency for TP and Phosphate removal, the efficiencies for TP and Phosphate removal were not statistically different between all tested systems and control unit.

Keyword

Nutrient, Swine wastewater, Napier grass

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษน้ำของประเทศ นอกจากจะเกิดจากการระบายน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง อาทิเช่น กิจกรรมชุมชนและกิจการอุตสาหกรรมแล้ว น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตรก็เป็นอีกสาเหตุ

หนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ซึ่งปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ อันประกอบด้วยฟาร์มสุกรตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ รวมถึงการเลี้ยงตามบ้านแบบดั้งเดิม ทั้งนี้ปริมาณของเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งวัดในรูปของค่าบีโอดีที่ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสำคัญ 25 แหล่งน้ำทั่วประเทศ ในปี พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553 พบว่า มีค่าสูงถึง 111,218.99 และ 108,547.50 กิโลกรัมบีโอดี/วัน ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554 ก) ทั้งนี้นอกจากสารอินทรีย์แล้ว น้ำเสียจากฟาร์มสุกรยังปนเปื้อนมลสารอื่นๆ อีกมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนธาตุอาหารในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากเศษอาหารและของเสียจากสุกร และหากน้ำเสียดังกล่าวนี้ไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม อาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ความสกปรกของแหล่งน้ำเพิ่มสูงขึ้น ก่อผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และส่งผลต่อการนำน้ำในแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ เป็นต้น เพื่อลดผลกระทบจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกร รัฐจึงได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ขณะที่ กรมควบคุมมลพิษ (2554 ข) ได้เสนอแนะรูปแบบของระบบบำบัดสำหรับใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร อันได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) ระบบคัฟเวอร์ลากูนหรือระบบบ่อปิดคลุมพลาสติก (Covered lagoon) ระบบฟิกซ์โดม (Fixed dome) และระบบถังเกรอะ-กรองไร้อากาศ (Septic tank-Anaerobic filter) ซึ่งระบบเหล่านี้สามารถลดค่า BOD และ COD ในน้ำเสียได้ดี อย่างไรก็ตาม มีฟาร์มสุกรขนาดเล็กเป็นจำนวนมากที่ไม่สามารถลงทุนในการสร้างระบบบำบัดตามรูปแบบดังกล่าวได้ ทำให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรบางส่วนยังคงถูกปล่อยทิ้งโดยไม่มีการบำบัดหรือยังบำบัดไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ขณะที่น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่มีอยู่ บางส่วนยังคงมีธาตุอาหารปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งหากมีการระบายน้ำเสียดังกล่าวลงสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดปัญหาการเบ่งบานของพืชสีเขียว (Eutrophication) ในแหล่งน้ำ และทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้

ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย (Constructed wetland) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการออกแบบระบบทางวิศวกรรมโดยเลียนแบบสภาพบึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ (Natural wetland) และใช้ขบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดและฟื้นฟูสภาพน้ำเสีย โดยการใช้องค์ประกอบที่สำคัญของระบบได้แก่ พืช ตัวกลาง และจุลินทรีย์ ร่วมกันทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (Vymazal, 2007; Kadlec and Knight, 1996) ทั้งนี้ บึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านการดำเนินงาน และด้านเทคนิคในการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ เป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการก่อสร้างไม่สูงนักเมื่อเทียบกับระบบบำบัดชนิดอื่นๆ (Shutes, 2001) ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำไปสู่การใช้ประโยชน์จริงของเกษตรกรรายย่อย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (VSF CW) ที่ใช้หญ้าเนเปียร์เป็นพืชในระบบในการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ทั้งนี้เพื่อนำเสนอทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากระบบบึงประดิษฐ์ เป็นระบบบำบัดที่มีต้นทุนในการสร้างและดำเนินการไม่สูงนัก นอกจากนั้น เกษตรกรยังสามารถใช้ประโยชน์หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าอาหารสัตว์ และพืชพลังงานได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ในระบบบึงประดิษฐ์

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ ในระบบบึงประดิษฐ์

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการลดธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ของหญ้าเนเปียร์จำนวน 2 ชนิด คือหญ้าเนเปียร์แคระ (*Pennisetum purpureum* cv. Mott.) และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยอัตราการรองรับน้ำเสีย (HLR) เท่ากับ 5 ซม./วัน

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1 การเตรียมหน่วยทดลอง

1.1 การเตรียมท่อนพันธุ์

นำท่อนพันธุ์ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ลงปลูกในแปลงเพาะท่อนพันธุ์ที่ระยะปลูก 50x50 ซม. และเมื่อท่อนพันธุ์เจริญเติบโตสมบูรณ์แล้ว ทำการตัดท่อนพันธุ์โดยให้แต่ละท่อนมีข้อจำนวน 2 ข้อ (กรมปศุสัตว์, 2547) แล้วจึงนำไปปลูกในหน่วยทดลองที่เตรียมไว้ โดยปลูกท่อนพันธุ์จำนวน 2 ท่อน ลงในแต่ละหน่วยทดลองให้มีระยะห่างระหว่างท่อนพันธุ์ 50 ซม. รดหญ้าที่ปลูกด้วยน้ำบาดาลธรรมชาติจนกระทั่งเจริญเติบโตและปรับสภาพได้ในหน่วยทดลอง

1.2 การเตรียมหน่วยทดลองระบบบึงประดิษฐ์

หน่วยทดลองระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เตรียมจากบล็อกคอนกรีตทรงกระบอก (วงคอนกรีต) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ม. สูง 0.8 ม. บรรจุตัวกลางที่ใช้ในการปลูกพืชและทำหน้าที่ในการบำบัดจำนวน 3 ชนิด โดยชั้นแรกบรรจุหินกรวดขนาด 3-6 ซม. ที่ความสูง 10 ซม. จากพื้นบ่อ ชั้นที่ 2 บรรจุทรายหยาบขนาด 2.5-7.5 ซม. สูง 40 ซม. ต่อจากหินกรวด และชั้นที่ 3 บรรจุทรายละเอียดขนาด 1-3 ซม. ที่ความสูง 15 ซม. ติดตั้งถังสำหรับจ่ายน้ำเสียไว้ที่ด้านบนของหน่วยทดลองและต่อระบบท่อระบายน้ำออกที่บริเวณฐานของหน่วยทดลอง จากนั้นปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์แคระ ลงในหน่วยทดลองชนิดละ 3 หน่วย และเตรียมหน่วยทดลองในลักษณะเดียวกันแต่ไม่มีการปลูกหญ้าเพื่อใช้เป็นหน่วยควบคุม (Control unit)

2 การดำเนินการทดลอง

เมื่อหญ้าเนเปียร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในระบบ จึงทำการตัดหญ้าให้มีความสูงเท่าๆ กัน ที่ระดับ 5 ซม. แล้วจึงระบายน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ที่เกษตรกรใช้เป็นบ่อกักเก็บน้ำเสียไว้ในพื้นที่เลี้ยงโดยไม่มีการปล่อยออกจากพื้นที่ ระบายน้ำเสียเข้าระบบบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ เท่ากับ 5 ซม./วัน หรือประมาณ 25.15 ลิตร/วัน ทั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ค่า HLR จากเกณฑ์การออกแบบของ Cooper (1996) ร่วมกับการพิจารณาความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ โดยน้ำเสียจะถูกระบายจากถังจ่ายน้ำเสียที่ติดตั้งไว้ด้านบนของหน่วยทดลอง และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบแล้ว น้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ทั้งนี้น้ำเสียจะถูกกักพักและถูกบำบัดอยู่ภายในระบบเป็นระยะเวลา 2 วัน จากนั้นน้ำเสียจะถูกระบายออกและทำการพักระบบไว้เป็นระยะเวลา 5 วัน เพื่อให้ระบบได้รับการเติมอากาศตามธรรมชาติก่อนการระบายน้ำเสียรอบถัดไป โดยดำเนินระบบอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 เดือน

3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Influent) และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด (Effluent) จากแต่ละหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมทุกสัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการดำเนินระบบ จากนั้นนำตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ COD, BOD_5, TSS, TDS, TKN, NH_3-N, NO_3-N, NO_2 -N, TP, Phosphate, DO, EC, Temp และ pH ตามวิธีวิเคราะห์ของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005)

4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

4.2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของหน่วยทดลองบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าต่างกัน 2 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ด้วยสถิติ ANOVA, F-test และ Duncan's Multiple Rang Test (DMRT)

สรุปผลการวิจัย

1 คุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด

ผลการตรวจวัดคุณภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด ซึ่งเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ถูกระบายลงสู่บ่อรวบรวมน้ำเสียโดยตรงโดยยังไม่ผ่านระบบบำบัดใดๆ พบว่าน้ำเสียมีค่าของ COD, BOD_5, TSS, DO, pH, EC, TDS, Temp, TKN, NH_3-N, NO_3-N, NO_2-N, TP และ Phosphate เท่ากับ 176.00-872.00 mg/l, 18.75-210.00 mg/l, 20.50-50.50 mg/l, 0.02-3.88 mg/l, 5.91-7.54, 272.00-

1,469.00 µS/cm, 283.00-1,060.00 mg/l, 30.0-35.0 °C, 34.72-111.40 mg/l, 19.18-92.26 mg/l, 2.04-7.30 mg/l, 1.59-6.19 mg/l, 29.10-168.50 mg/l และ 0.43-2.07 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยของ BOD_5 ที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนการบำบัด มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) ซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค ต้องมีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 มีค่า COD, BOD_5, TKN, และ TSS ไม่เกิน 400 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l และ 200 mg/l ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554 ข) นอกจากนั้น ยังพบว่าค่าสูงสุดของค่า COD ที่ตรวจวัดได้ยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค เช่นกัน

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียก่อนการบำบัด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าความเข้มข้น [1/]
COD	mg/l	372.80±53.90
BOD_5	mg/l	114.41±16.93
TSS	mg/l	30.62±1.76
DO	mg/l	1.08±0.22
pH	-	6.66±0.10
EC	µS/cm	1022.05±69.67
TDS	mg/l	555.62±38.80
Temp	°C	31.98±0.26
TKN	mg/l	70.56±4.42
NH_3-N	mg/l	55.34±4.89
NO_3-N	mg/l	4.52±0.30
NO_2-N	mg/l	3.07±0.30
TP	mg/l	68.27±8.94
Phosphate	mg/l	1.03±0.07

หมายเหตุ: [1/] ค่าในตาราง คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
จำนวน Sample size (n) = 21

2 คุณภาพน้ำเสียภายหลังการบำบัด

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ พบว่าน้ำเสียมีค่า COD, BOD_5, TSS, DO, pH, EC, และ TDS เท่ากับ 21.33-501.33 mg/l, 1.95-54.95 mg/l, 3.17-32.00 mg/l, 0.16-5.90 mg/l, 5.73-7.76, 358.00-1,555.00 µS/cm และ 189.20-778.00 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งจะพบว่าค่าของ pH, COD, BOD_5 และ TSS

ของน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรประเภท ค ขณะที่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่า COD, BOD_5, TSS, DO, pH, EC, และ TDS เท่ากับ 16.00-320.00 mg/l, 3.80-48.00 mg/l, 2.50-35.50 mg/l, 0.71-5.99 mg/l, 5.83-6.94, 404.00-1,435.00 µS/cm และ 202.00-718.00 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทั้งระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมมีค่าเฉลี่ยของ EC และ TDS ในน้ำลดต่ำลง ขณะที่ค่า DO ในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำเสียก่อนบำบัด

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำเสียภายหลังการบำบัด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าความเข้มข้น[1/]			p-value
		หน่วยควบคุม	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ	
COD	mg/l	136.53±23.30[a]	156.32±30.30[a]	184.88±28.77[a]	0.510
BOD_5	mg/l	24.11±3.85[a]	21.13±2.76[a]	21.79±2.20[a]	0.767
TSS	mg/l	8.10±1.66[b]	11.14±1.62[ab]	14.71±1.43[a]	0.016
DO	mg/l	1.77±0.28[a]	1.50±0.26[a]	1.28±0.24[a]	0.398
pH	-	6.33±0.06[b]	6.51±0.06[a]	6.49±0.05[a]	0.046
EC	µS/cm	832.05±52.40[a]	744.71±46.73[a]	735.56±39.11[a]	0.469
TDS	mg/l	416.43±26.18[a]	387.94±23.38[a]	380.21±19.96[a]	0.516

หมายเหตุ: [1/] ค่าในตาราง คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จำนวน Sample size (n) = 21

3 การบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์

3.1 การบำบัดไนโตรเจน

1) การบำบัด TKN ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม หน่วยทดลองบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า TKN เท่ากับ 0.56-45.78 mg/l, 0.93-11.76 mg/l และ 0.65-28.61 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร โดยค่า TKN ในน้ำเสียจากทั้งบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.363) ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ 43.23-98.99 %, 77.35-98.65 % และ 64.53-98.545 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด TKN รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของบึงประดิษฐ์ทั้งสองและหน่วยควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.360)

2) การบำบัด NH_3-N ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า NH_3-N เท่ากับ 0.14-10.50 mg/l, 0.23-4.01 mg/l และ 0.28-5.97 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยค่า NH_3-N ในน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ทั้งสองและหน่วยควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.255) ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ NH_3-N ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ 77.93-99.61 %, 90.41-99.35 % และ 85.73-99.30 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดพืชและหน่วยควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัด NH_3-N ใกล้เคียงกัน (p=0.336)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำเสียภายหลังการบำบัด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำเสีย (mg/l)[1/]		
	หน่วยควบคุม	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ
TKN	6.35±2.18[a]	3.36±0.63[a]	4.20±1.33[a]
NH_3-N	2.44±0.65[a]	1.54±0.24[a]	1.50±0.37[a]
NO_3-N	13.54±2.27[a]	2.56±0.74[b]	2.73±0.72[b]
NO_2-N	14.50±2.75[a]	6.19±1.76[b]	2.37±1.18[b]
TP	18.63±2.26[a]	16.23±1.64[a]	18.78±1.71[a]
Phosphate	0.23±0.02[a]	0.16±0.01[b]	0.17±0.01[b]

หมายเหตุ: [1/] ค่าในตาราง คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่ $p \geq 0.05$
จำนวน Sample size (n) = 21

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียของระบบบำบัด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)[1/]		
	หน่วยควบคุม	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์	บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ
TKN	90.84±3.03[a]	95.05±1.06[a]	93.90±1.83[a]
NH_3-N	95.64±1.14[a]	97.20±0.40[a]	97.06±0.74[a]
NO_3-N	-205.36±56.37[b]	38.87±18.93[a]	41.27±15.03[a]
NO_2-N	-381.30±93.23[b]	-185.47±91.69[ab]	-10.74±33.18[a]
TP	69.86±2.90[a]	72.63±2.71[a]	68.33±2.92[a]
Phosphate	77.43±2.16[a]	83.42±1.59[a]	82.40±1.78[a]

หมายเหตุ: [1/] ค่าในตาราง คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่ $p \geq 0.05$
จำนวน Sample size (n) = 21

3) การบำบัด NO_3-N ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า NO_3-N เท่ากับ 0.81-31.29 mg/l, 0.08-16.38 mg/l และ 0.08-13.47 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่า NO_3-N สูงและแตกต่างจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ NO_3-N ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ (-778.86)-82.67 %, (-293.99)-95.96 % และ (-224.00)-98.45 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด NO_3-N และแตกต่างจากประสิทธิภาพการบำบัด NO_3-N ของหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000)

4) การบำบัด NO_2-N ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า NO_2-N เท่ากับ 1.87-38.60 mg/l, 0.58-30.06 mg/l และ 0.58-9.28 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุมมีค่า NO_2-N สูงสุดและแตกต่างจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ทั้งสองชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ NO_2-N ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ (-1,679.91)-29.90 %, (-1,604.46)-87.40 % และ (-426.34)-85.88 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าหน่วยควบคุมมีประสิทธิภาพการบำบัด NO_2-N ต่ำกว่าระบบบึงประดิษฐ์ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.006) ทั้งนี้จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_2-N ของหน่วยควบคุมและระบบบึงประดิษฐ์ มีความสัมพันธ์กับค่า NO_2-N ที่พบในน้ำเสียหลังการบำบัด

3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัส

1) การบำบัด TP ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า TP เท่ากับ 7.37-42.95 mg/l, 6.97-41.42 mg/l และ 7.79-41.18 mg/l (ตารางที่ 3) โดย TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทั้งบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.567) ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ 29.31-89.25 %, 32.81-89.75 % และ 38.72-83.46 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด TP ซึ่งสัมพันธ์กับค่า TP ในน้ำเสียหลังการบำบัด อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของบึงประดิษฐ์ทั้งสองชนิดพืชและหน่วยควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.559)

2) การบำบัด Phosphate ในน้ำเสีย ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่า Phosphate เท่ากับ 0.02-0.51, 0.02-0.27 และ 0.04-0.31 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยพบค่า Phosphate สูงที่สุดในน้ำเสียจากหน่วยควบคุมและมีค่าแตกต่างจากระบบบึงประดิษฐ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.022) ทั้งนี้

พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นของ Phosphate ในน้ำเสียของหน่วยควบคุม บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าเท่ากับ 54.09-96.11 %, 69.76-95.37 % และ 65.81-96.47 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด Phosphate รองลงมาคือบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ และหน่วยควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด Phosphate ของระบบบึงประดิษฐ์และหน่วยควบคุม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.058)

อภิปรายผลการวิจัย

1 คุณภาพน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนการบำบัด

น้ำเสียก่อนการบำบัด เป็นน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรของเกษตรกรรายย่อย ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพบค่า pH, COD, TSS, และ TKN ในน้ำเสีย มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแห่งนี้ ได้ถูกระบายลงสู่บ่อพักน้ำเสีย ซึ่งมีลักษณะเป็นบ่อขุดเพื่อรองรับน้ำและมีพืชน้ำ เช่น ผักตบชวาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเจริญเติบโตอยู่ภายในบ่อพักน้ำ โดยในบ่อพักน้ำดังกล่าวนี้ไม่มีการจัดการให้เกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสียใดๆ นอกจากการบำบัดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยการกักพักน้ำเสียไว้ในบ่อทำให้เกิดการตกตะกอน (Sedimentation) ของของแข็งแขวนลอยทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งจะทำให้ค่าของสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD_5 และค่า TSS รวมถึงค่า TKN ในน้ำลดต่ำลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนของพืชน้ำขนาดเล็ก และเศษซากของพืชน้ำในบ่อพักน้ำสามารถทำให้สารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยในน้ำเพิ่มสูงขึ้นได้เช่นกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พบค่า BOD_5 ในน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ซึ่งหากมีการปล่อยน้ำเสียนี้ออกสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ ทั้งนี้ นอกจากการตกตะกอนแล้ว การนำธาตุอาหารไปใช้โดยพืชน้ำในบ่อพักน้ำสามารถช่วยลดค่า TKN ในน้ำเสียลงได้เช่นกัน

2 คุณภาพน้ำเสียภายหลังการบำบัด

น้ำเสียหลังการบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ มีค่า COD, BOD_5 และ TSS ในน้ำเสียลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าของ COD และ TSS ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าสูงกว่า ค่า COD และ TSS ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม โดยเฉพาะ ค่า TSS ซึ่งพบว่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.016) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากเศษซากของหญ้า โดยเฉพาะเศษของรากหญ้าที่มีลักษณะแผ่กระจายอยู่ในชั้นกรอง เมื่อหลุดปะปนมากับน้ำจะเป็นส่วนที่เพิ่มของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ให้กับน้ำ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) โดยเฉพาะกลุ่มสารอินทรีย์ย่อยสลายยากเช่นเซลลูโลส ดังนั้นจึงส่งผลให้ ค่า TSS และ COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ มีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม อย่างไรก็ตาม จะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์สามารถลดค่า BOD_5 ได้ดี โดยพบค่า BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์มีค่าต่ำกว่า ค่า BOD_5 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากหน่วยควบคุม นอกจากนั้น บึงประดิษฐ์ยังสามารถลดค่า EC และ TDS ในน้ำเสียลงได้ ขณะที่ DO ในน้ำมีค่า

เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากกระบวนการบำบัดภายในบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อันได้แก่ การกรองด้วยตัวกลางและรากของหญ้า การดูดซับโดยอนุภาคของชั้นกรองและรากหญ้า การดูดซึมและสะสมธาตุอาหารของหญ้า และการเปลี่ยนรูปมลสารโดยจุลินทรีย์ในระบบ เป็นต้น (จักราพิชญ์ อัตโน และประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2551) ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดทั้งจากหน่วยควบคุม และบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ มีค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ pH, BOD_5, TSS, COD และ TKN เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ประเภท ค ซึ่งหมายถึงมีคุณภาพในเกณฑ์ที่สามารถระบายสู่แหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติได้ ทั้งนี้ ยกเว้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ซึ่งพบว่าค่า COD สูงสุดที่ตรวจวัดได้ ยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ประเภท ค เล็กน้อย และควรต้องได้รับการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้คุณภาพน้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานต่อไป

3 การบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์

3.1 การบำบัดไนโตรเจน

ผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์สามารถลดค่า TKN, NH_3-N, NO_3-N และ NO_2-N ในน้ำเสียลงได้ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน จะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพในการลดค่า TKN, NH_3-N, NO_3-N และ NO_2-N สูงกว่าหน่วยควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ในระบบบึงประดิษฐ์ทำหน้าที่ช่วยส่งเสริมกระบวนการบำบัดไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยรากของหญ้าช่วยเพิ่มรูพรุนซึ่งเป็นการเพิ่มช่องทางเติมออกซิเจนให้กับระบบ รากทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ และรากยังช่วยให้เกิดการดูดซับและการกรองของแข็ง นอกจากนั้น หญ้ายังดูดซึมไนโตรเจนในรูปสารละลายไปใช้ในการเจริญเติบโตอีกด้วย (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) ดังนั้น จึงพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NO_3-N และ NO_2-N ของบึงประดิษฐ์สูงกว่าหน่วยควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ในระบบบึงประดิษฐ์นั้น จุลินทรีย์เป็นตัวการที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน โดยการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ และทำให้เกิดไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งนอกจากหญ้าเนเปียร์ในระบบจะนำไนโตรเจนในน้ำเสียไปใช้แล้ว หญ้าเนเปียร์ยังส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์โดยการเป็นที่อยู่อาศัยและส่งเสริมการเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ในกระบวนการ Ammonification ซึ่งเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็น NH_3-N และกระบวนการ Nitrification ซึ่งเปลี่ยน NH_3-N ไปเป็น NO_x- N โดย NO_x- N สามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนในรูปก๊าซด้วยกระบวนการ Denitrification และถูกปลดปล่อยด้วยการระเหยออกจากระบบ นอกจากนั้น ไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์อาจสูญเสียไปในรูปของ NH_3-N โดยการระเหยออกจากระบบได้เช่นกัน (Rogers et al., 1985) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ ในการลดไนโตรเจนจะพบว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด TKN และ NH_3-N ในขณะที่บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด NO_3-N และ NO_2-N อย่างไรก็ตาม พบว่าบึงประดิษฐ์ทั้งสองประเภทมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งในรูปของ TKN, NH_3-N, NO_3-N และ NO_2-N ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้หญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดจะมีลักษณะลำต้น

แตกต่างกัน โดยหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีลำต้นสูงใหญ่ ทรงต้นเป็นกอค่อนข้างตั้งตรงคล้ายอ้อย ขณะที่ หญ้าเนเปียร์แคระมีทรงต้นเป็นพุ่มค่อนข้างตั้ง ความสูงน้อยกว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์แต่สามารถแตกกอได้ดีกว่า (กรมปศุสัตว์, 2545) อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดน้ำหนักแห้งและปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อบ่งชี้ว่าหญ้าเนเปียร์ทั้งสองชนิดมีการดูดซึมไนโตรเจนไปใช้ในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนระหว่างแปลงหญ้าทั้งสองชนิดคาดว่าเป็นผลเนื่องจากลักษณะของราก โดยรากของหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีลักษณะหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่ง ซึ่งจะช่วยให้ออกซิเจนสามารถแทรกซึมลงไปในส่วนลึกของระบบบำบัด ขณะที่จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic microorganism) มีการแพร่กระจายและสัมผัสกับน้ำเสียที่กักพักอยู่ในที่ลึกได้มากซึ่งจะส่งผลดีต่อการลดค่า TKN และ NH_3-N ในน้ำเสีย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ในรูปของ COD และ BOD_5 ด้วยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ซึ่งพบว่ามีค่าสูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ ขณะที่รากของหญ้าเนเปียร์แคระมีลักษณะแผ่กระจายออกด้านข้าง ทำให้การแทรกซึมของออกซิเจนลงสู่ที่ลึกเกิดขึ้นน้อย จึงทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic microorganism) สามารถทำงานได้ดีและส่งผลดีต่อการลดค่า NO_3-N และ NO_2-N ในน้ำเสียผ่านกระบวนการ Denitrification โดยการเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนก๊าซ (Vymazal, 2007)

3.2 การบำบัดฟอสฟอรัส

ผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่งที่ปลูกหญ้าเนเปียร์สามารถลดค่าของ TP และ Phosphate ในน้ำเสียลงได้ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด จะพบว่า บึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดทั้ง TP และ Phosphate สูงกว่าหน่วยควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าในระบบบึงประดิษฐ์ช่วยให้การลดฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการดูดซึมสารละลายฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนั้นรากยังช่วยกรองและดูดซับฟอสฟอรัสในรูปสารแขวนลอยและคอลลอยด์เอาไว้ และการชอนไชของรากยังช่วยเพิ่มออกซิเจนที่ส่งผลต่อการตกตะกอนทางเคมีของฟอสฟอรัส (U.S. EPA, 2000) อย่างไรก็ตาม แม้บึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลด TP และ Phosphate ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการตกตะกอนทางเคมีของฟอสฟอรัสในสภาวะที่มีออกซิเจน ผ่านกระบวนการ Precipitation (Vymazal, 2007) ที่เกิดได้ดีในบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ แต่จะพบว่าประสิทธิภาพการลด TP ดังกล่าวไม่แตกต่างจากบึงประดิษฐ์ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อเสนอแนะ

1 การนำระบบไปประยุกต์ใช้ ควรใช้หน่วยบำบัดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้หญ้าเนเปียร์สามารถเติบโตและทำหน้าที่ส่งเสริมการบำบัดได้อย่างเต็มที่ และควรนำน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดจากระบบผ่านการกรองของแข็งแขวนลอยอีกครั้งก่อนการระบายน้ำออก

2 ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบที่ค่าอัตราบรรทุกทางชลศาสตร์อื่นๆ นอกเหนือจากที่ผู้วิจัยได้ทำโดยปรับปรุงตามความเหมาะสม รวมถึงศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งอื่นเพิ่มเติม