

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผล

5.1.1 การบำบัดน้ำเสียชุมชนของหลุมอาหารสัตว์ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง

1) คุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัด

ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนการบำบัด ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมชุมชนพบว่าน้ำเสียก่อนการบำบัด มีค่า pH เป็นกลางถึงกรดเล็กน้อย ค่าของของแข็งแขวนลอยมีช่วงกว้าง โดยมีค่าระหว่าง 2.0-114.0 mg/l มีค่าเฉลี่ย 20.4 mg/l ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) อย่างไรก็ตาม ในบางขณะยังคงตรวจพบปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งในระดับสูง จึงจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียก่อนการระบายลงสู่แหล่งรองรับ ทั้งนี้ การตรวจพบค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียในระดับต่ำนั้น เนื่องมาจากในกระบวนการบำบัดนั้น น้ำเสียสดที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดได้ถูกสูบและนำมาพักไว้ในถังรวบรวมน้ำเสียก่อนแล้วจึงทำการระบายลงสู่ระบบบำบัดด้วยสายยางขนาดเล็ก ทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียบางส่วนเกิดการตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นถังรวบรวมน้ำเสีย ทำให้ปริมาณของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่าลดลง รวมถึงค่าของมลสารอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ในรูปของ COD และธาตุอาหารในรูปของอินทรียสาร จึงทำให้ ค่าสารอินทรีย์ในรูป COD ค่า TSS ค่า TKN และค่า TP ที่พบในน้ำเสียที่ทำการบำบัด มีค่าความเข้มข้นจัดอยู่ในเกณฑ์น้ำเสียชุมชนที่มีค่าความเข้มข้นระดับต่ำ (Metcalf and Eddy, 1991) ดังนั้น การรวบรวมและพักน้ำเสียไว้ในถังรวบรวมน้ำก่อนระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ จึงทำให้มลสารในน้ำเสียเกิดการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอน เช่นเดียวกับการบำบัดภายในรางดักกรวดทราย (Grit Chamber) และถังตกตะกอน (Sedimentation tank)

แม้คุณสมบัติของน้ำเสียภายหลังการรวบรวมก่อนระบายลงสู่ระบบบำบัดจะมีค่าความเข้มข้นของมลสารที่ปนเปื้อนในระดับต่ำ แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สามารถก่อผลกระทบให้กับแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ได้ จึงยังคงต้องการการบำบัดเพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบ ทั้งนี้ด้วยคุณสมบัติของน้ำเสียเอง จะพบว่ากระบวนการในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ทำการศึกษานี้ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ระบบบำบัดที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงที่มีความซับซ้อนในการดำเนินการ การบำบัดด้วยระบบบำบัดตามธรรมชาติ โดยการใช้หรือประยุกต์ใช้กระบวนการหรือวิธีการที่เหมาะสม ก็มีความเพียงพอสำหรับการลดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อผลกระทบได้

2) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง และคุณภาพน้ำเสียภายหลังการบำบัด

ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่า น้ำเสียภายหลังการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณความเข้มข้นของมลสารปนเปื้อนลดลง โดยน้ำเสียหลังการบำบัด มี

อุณหภูมิ ระหว่าง 20.10-32.00 °C ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเป็นไปตามสภาพธรรมชาติ และไม่ส่งผลกระทบต่อ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในแหล่งรองรับ ทั้งนี้ รวมถึงค่า pH ของน้ำเสียภายหลังการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ประเภท ซึ่งพบว่ามีค่าระหว่าง 6.21-8.01 ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งกำหนดให้มีค่าระหว่าง 5-9 ทั้งนี้ ค่า pH ของน้ำเสียภายหลังการบำบัด มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชนิดหญ้าที่ใช้ในการบำบัด โดยน้ำเสียภายหลังการบำบัด จากแปลงหญ้า มีค่า pH เฉลี่ย ระหว่าง 7.11-7.26 เช่นเดียวกับค่าอุณหภูมิ น้ำ ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ถูกบำบัดด้วยแปลงหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิของน้ำเสีย ภายหลังการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 25.64-25.77 °C น้ำเสียหลังการบำบัดมีค่า DO สูงขึ้น และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่า DO ในน้ำเสียก่อนการบำบัด ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่า DO ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า DO เฉลี่ย เท่ากับ 5.49-5.66 mg/l ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ทั้งนี้ ปริมาณ DO ที่พบในน้ำเสียหลังการบำบัด บ่งชี้ถึงปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปมลสารของ Aerobic microorganism มีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงการมีมลสารโดยเฉพาะสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำลดลงนั่นเอง และยังแสดงถึงสภาพของระบบที่เอื้ออำนวยให้ Aerobic microorganism สามารถทำหน้าที่ในการบำบัดได้อย่างเต็มที่

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้ง ในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปความเข้มข้นของ COD มีค่าระหว่าง 36.59-92.50 % โดยแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีประสิทธิภาพในการลดค่า COD ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทั้งนี้ จะพบว่า น้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่า COD ลดลง และแตกต่างจากค่า COD ในน้ำเสียก่อนการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยค่า COD ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าแต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq 0.05$) การลดลงของค่า COD เป็นผลจากการลดลงของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือการลดลงของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั่นเอง ซึ่งการลดลงของสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้งนี้ เกิดขึ้นได้จากการบวนการบำบัดหลายประการด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการกรองที่เกิดขึ้นขณะน้ำเสียไหลผ่านชั้นกรองและรากพืช ซึ่งวัสดุกรองและรากพืชจะช่วยกรองและดูดซับสารแขวนลอยไว้ ทั้งนี้ พบว่าสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย ดังนั้นการกรองในระบบจึงช่วยลด ค่าของดัชนีคุณภาพน้ำทั้งในรูปของ TSS, COD และสารอินทรีย์แขวนลอยตัวอื่นๆ ด้วย (Klomjek and Nitisoravut, 2005)

นอกจาก การกรองแล้ว กระบวนการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ภายในระบบ เป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยการย่อยของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้ ออกซิเจนในการทำงาน จะทำการเปลี่ยนสารอินทรีย์โดยได้ผลผลิตเป็นสารประกอบที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารประกอบเหล่านั้น ได้แก่ H_2O , CO_2 และอื่นๆ เช่น NH_3-N ซึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนรูปอื่นต่อไป เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม

เมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ที่ทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน พบว่า ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้ง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลที่ได้กล่าวถึงข้างต้น คือกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นร่วมกันภายในระบบ คือกระบวนการกรองและการย่อยสลายจะช่วยลดทั้งค่าของของแข็งแขวนลอยและค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ โดยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้งนี้ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะถูกกรองด้วย รากของพืช และวัสดุกรองหลายประเภทและหลายขนาด โดยน้ำเสียจะถูกกรองตลอดระยะทางของการ ไหลในระบบตั้งแต่ทางเข้าจนกระทั่งถึงทางออกจากระบบ ทั้งนี้ ภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหล ใต้ผิวในแนวตั้งนี้ น้ำเสียมีโอกาสในการสัมผัสตัวกรองได้อย่างทั่วถึงและมีระยะเวลาในการสัมผัสตลอด ระยะเวลาของการกักกักภายในระบบ ซึ่งนอกจากจะทำให้การกรองเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยัง ทำให้มลสารในน้ำเสียได้สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปมลสาร ซึ่งเกาะ อาศัยอยู่กับรากพืชและวัสดุกรอง รวมถึงมลสารได้สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำด้วย นอกจากนี้ นั้น การไหลของน้ำในแนวตั้งซึ่งน้ำไม่ได้ท่วมขังอยู่ตลอดเวลา จะทำให้ระบบได้รับการเติมออกซิเจนจาก อากาศ ซึ่งส่งผลต่อศักยภาพของ Aerobic microorganism ในระบบบำบัด และด้วยเหตุผลดังกล่าว จึง ทำให้ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้ง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และ ของแข็งแขวนลอยสูง

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย (TSS) ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหล ใต้ผิวในแนวตั้ง ที่ทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกันนั้น พบว่ามีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือมีค่า อยู่ในช่วงกว้างระหว่าง -325.00 ถึง 100.00 % ซึ่งหมายถึงในบางขณะพบค่าของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่าน การบำบัดจากระบบ มีค่าสูงกว่าค่าของ TSS ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียก่อนการบำบัด ขณะที่บางขณะระบบ สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้ทั้งหมด ทั้งนี้ เนื่องจากการไหลของน้ำเสีย ภายในระบบในแนวตั้งทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียถูกกรองไว้ด้วยรากของพืชและวัสดุกรองหลาก หลายขนาดที่บรรจุไว้ในระบบ ทำให้กระบวนการกรองเกิดขึ้นได้ดี ในขณะที่ของแข็งที่ถูกกรองไว้ในระบบ นั้น อาจเกิดการหลุดลุดออกจากระบบในขณะใดขณะหนึ่งซึ่งเป็นการเพิ่มค่าของ TSS ให้กับน้ำเสีย และ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดเป็นลบได้ โดยเฉพาะในช่วงที่ค่าของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อน การบำบัดมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม จะพบว่า ค่าสูงสุดของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากทุกแปลงหญ้า อาหารสัตว์นั้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจาก ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งกำหนดให้มีค่า TSS ไม่เกิน 30 mg/l (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) โดยค่าของ TSS ในน้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่าระหว่าง 0-22 mg/l ทั้งนี้มีค่าเฉลี่ยของ TSS ใน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิดระหว่าง 2.5-3.8 mg/l ซึ่งไม่แตกต่างกันทาง สถิติ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TSS โดยเฉลี่ย ซึ่งมีค่า 53.5-67.4 % มีค่าสูงกว่า ประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในการบำบัด ระหว่าง (-17.4) ถึง (-16.5) % ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย ภายหลังการบำบัด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับน้ำเสียด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของของแข็ง แขนวลอยดังกล่าวนี้ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการเพิ่มจำนวนของพืชสีเขียวขนาดเล็กที่เจริญเติบโตอยู่ใน น้ำเสียที่กักกักอยู่ภายในระบบซึ่งอยู่ในที่โล่งได้รับแสงแดดและได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสีย จึงทำให้พืช สีเขียวขนาดเล็ก เช่น สาหร่าย ตะไคร้น้ำ มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การบำบัดของระบบและส่งผลต่อค่าของสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียภายหลังการบำบัด ด้วย (พันธ์ทิพย์, 2552)

ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวตั้งที่ทำการศึกษา มีประสิทธิภาพการ บำบัดธาตุอาหารฟอสฟอรัส ในรูปความเข้มข้นของ TP ระหว่าง -151.80 ถึง 72.15 % ทั้งนี้ แปลงหญ้า อาหารสัตว์แต่ละชนิด มีประสิทธิภาพในการลดค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสีย โดยเฉลี่ย 34.6-46.9 % ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ระหว่างแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด

แม้บางขณะ ค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียหลังการบำบัดจะมีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียก่อนการบำบัด แต่จะพบว่า ค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียหลังการบำบัดโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของ TP ในน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์ มีค่าความเข้มข้นของ TP ระหว่าง 0.20-1.42 mg/L ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่กำหนดให้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน มีค่าของ TP ไม่เกิน 2 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข) โดยจะพบว่า ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าแต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ การตรวจพบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบบึงประดิษฐ์มีค่าติดลบนั้น เป็นผลเนื่องมาจากการบำบัด TP ในระบบบึงประดิษฐ์โดยส่วนใหญ่ เป็นการบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่ไม่เสถียรนัก โดย TP ที่ถูกบำบัดสามารถคืนสภาพสู่น้ำเสียได้ โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ระบบบำบัดเป็นระยะเวลายาวนาน หรือมีการจัดการพืชในระบบอย่างไม่เหมาะสม (U.S. EPA, 2000; Kadlec and Knight, 1996)

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือฝว ที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด TP เฉลี่ย ระหว่าง 11.9-26.7 % นั้น (พันธ์ทิพย์, 2551) จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝวในแนวตั้ง มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการบวนการไหลของน้ำเสียในแนวตั้งผ่านชั้นวัสดุกรอง ทำให้สารละลายฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีโอกาสสัมผัสและถูกดูดซับโดยรากพืชมากขึ้น รวมถึงสารละลายฟอสฟอรัสมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับตัวรวมกับสารอื่นกลายเป็นสารประกอบแล้วเกิดการตกตะกอน (Precipitation) ออกจากน้ำเสีย ซึ่งการลดลงของ TP ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝวในแนวตั้ง ที่ทำการศึกษานี้ บางส่วนอาจเป็นผลจากการตกผลึกของ P ร่วมกับ Ca ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัสดุกรองที่ใช้ในระบบ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ในสภาพที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่ามากกว่า 7 (EPA, 2000) ทั้งนี้ จะพบว่า ค่า pH ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด มีค่าเป็นกลางถึงเป็นด่างอ่อนๆ ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ในขณะที่ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำรวมถึงผลึกฟอสฟอรัสจะถูกกรองหรือถูกดูดซับติดอยู่กับรากพืช วัสดุกรอง และวัตถุต่างๆ ในระบบ ทำให้ค่าของ TP ในน้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พันธ์ทิพย์ (2550) ซึ่งพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝวในแนวราบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่าการบำบัดโดยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือฝวดินเช่นกัน ทั้งนี้ เนื่องจากการไหลของน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝวในแนวราบ ทำให้น้ำเสียมีโอกาสและมีระยะเวลาในการสัมผัสกับรากของพืชและตัวกลางภายในระบบ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด TP ของระบบเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจน ในรูปความเข้มข้นของ TKN, NH_3N และ NO_xN ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝวในแนวตั้งที่ทำการศึกษา พบว่า มีค่าระหว่าง 19.40-97.62, -378.95-97.84 และ -3,421.00-60.00 % ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการบำบัด TKN, NH_3N และ NO_xN ของแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ย 71.20-86.86, 5.16-49.49 และ -1,051.56-(-838.83) % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์ มีค่า TKN ระหว่าง 0.28-15.68 mg/L ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/L และไม่เกินค่ามาตรฐาน

ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด สำหรับอาคารประเภท ก ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 mg/l (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) โดยความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เช่นเดียวกัน

ค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับค่าของ NH_3N ในน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์ มีค่า NH_3N ระหว่าง 0.28-19.04 mg/l ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าของ TKN และ NH_3N ในน้ำเสียแล้วจะพบว่า ค่าของ TKN ที่ตรวจพบในน้ำเสียหลังการบำบัดโดยส่วนใหญ่เป็นค่าของ NH_3N ทั้งนี้ พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์มีค่า NH_3N ปนเปื้อนโดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอะตราตัม และแปลงหลุมแวงโกล่า ตามลำดับ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์ มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ NH_3N ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมแวงโกล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ความเข้มข้นของ NO_xN ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับค่าของ NO_xN ในน้ำเสียก่อนการบำบัด ทำให้ค่าประสิทธิภาพในการบำบัด NO_xN ของระบบมีค่าติดลบ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหลุมอาหารสัตว์ มีค่า NO_xN ระหว่าง 0.06-3.40 mg/l โดยความเข้มข้นของ NO_xN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของแปลงหลุมอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

การบำบัดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ เป็นกระบวนการบำบัดทั้งทางด้านกายภาพ เช่น กระบวนการกรองและตกตะกอนของสารอินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การระเหยของแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจน และกระบวนการทางชีวภาพโดยการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ทั้งประเภทที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (Vymaza, 2007) ทั้งนี้ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมของระบบ โดยไนโตรเจนที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้น จะถูกเปลี่ยนรูปไปตามลำดับของการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปโดยการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ คือมีลำดับการเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน หรือมีลำดับการเปลี่ยนรูปจากค่าดัชนีที่ทำการตรวจวัดในการศึกษาครั้งนี้ คือจากค่า TKN ไปเป็น NH_3N และ NO_xN ตามลำดับ ดังนั้น จากผลการศึกษาจึงพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าลดลง ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการลดลงของทั้งอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen: ON) และ NH_3N ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของระบบโดยเฉลี่ยมีค่าเป็นบวก เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N ของระบบ ซึ่งพบว่ามีค่าของประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเป็นบวก และค่าความเข้มข้นของ NH_3N ในน้ำเสียหลังการบำบัดโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง แม้ว่าระบบจะได้รับ NH_3N เพิ่มเติมจากการเปลี่ยนรูปของ ON ไปเป็น NH_3N ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด NH_3N ทั้ง NH_3N ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียก่อนบำบัด และ NH_3N ที่เปลี่ยนรูปมาจากกระบวนการย่อยสลาย ON ในน้ำเสีย ขณะที่ ประสิทธิภาพการบำบัด NO_xN ของแปลงหลุมอาหารสัตว์ทุกชนิดมีค่าเป็นลบ และพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NO_xN ในน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งไม่ได้หมายถึงระบบบึงประดิษฐ์ไม่มีกระบวนการลดความเข้มข้นของ NO_xN ในน้ำเสีย แต่เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของ NH_3N ไปเป็น NO_xN ในปริมาณที่สูงกว่านั่นเอง ทั้งนี้ ปริมาณของ NO_xN เป็นผลรวมของ NO_3N และ NO_2N ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เสถียรและมีการเปลี่ยนรูปผันกลับไปมาระหว่าง NO_3N และ NO_2N อยู่ตลอดเวลา สำหรับกระบวนการที่จะช่วยลดหรือบำบัด NO_xN ที่เกิดขึ้นในระบบบึงประดิษฐ์ คือการนำไปใช้โดยพืชและการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนแก๊ส ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปโดย Anaerobic microorganism ซึ่งจาก

ผลการศึกษา คาดว่า Anaerobic microorganism จะทำงานได้ไม่ติดนัก เนื่องจากพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า DO ค่อนข้างสูง

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N เฉลี่ย ระหว่าง 77.1-89.1 % นั้น จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง โดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่ามาก ทั้งนี้ เป็นผลจากปัจจัยร่วมหลายประการ ดังนี้คือ ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว มีโอกาสได้รับการเติมออกซิเจนจากบรรยากาศ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนรูปของ NH_3N โดยผ่านการทำงานของ Aerobic microorganism นอกจากนี้ NH_3N ในน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ยังถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของพืชที่ปลูกในระบบ (Brix, 1997) รวมถึงพืชสีเขียวขนาดเล็กที่พบอยู่เป็นจำนวนมาก ภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ พันธุ์ทิพย์ (2550) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัด NH_3N ของระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวนอน ซึ่งพบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด NH_3N เป็นลบ

โดยสรุปจะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ หญ้าขน (*Brachiaria mutica*) หญ้าอะตราบัตัม (*Paspalum atratum*) และหญ้าแพงโกล่า (*Digitaria decumbens*) มีประสิทธิภาพในการลดมลสารในน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากอาคารโภชนาการ โดยคุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำเสียภายหลังการบำบัด ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดมลสาร อันได้แก่ ประสิทธิภาพในการลดค่า COD, TSS, TKN, NH_3N , NO_xN และ TP ในน้ำเสียของแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่า TSS, TKN และ TP อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ที่ทำการศึกษานี้ สามารถใช้ในการบำบัดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนได้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารในน้ำเสียชุมชนของแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่ศึกษาไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) จึงสามารถเลือกใช้ได้ โดยการพิจารณาปัจจัยความเหมาะสมอื่นๆ ประกอบ เช่น ความยากง่ายในการจัดหาพันธุ์ ความต้องการหญ้าอาหารสัตว์ไปใช้ประโยชน์ ปริมาณและคุณภาพของหญ้าอาหารสัตว์ที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบ เหล่านี้เป็นต้น

5.1.2 ประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์ภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ในการสะสมธาตุอาหาร

1) อัตราการสะสมธาตุอาหาร

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรากของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราบัตัม และหญ้าขน มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ พบว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา รากของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราบัตัม และหญ้าขน มีอัตราการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนไว้ในส่วนของราก เท่ากับ 0.0032-0.0090, 0.0111-0.0172 และ 0.0081-0.0139 $\text{g/m}^2/\text{d}$ ตามลำดับ โดยอัตราการสะสมไนโตรเจนในรากของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดิน คือลำต้นและใบของหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรกมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และ 3 ทั้งนี้ คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าอาหารสัตว์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรกนั้น มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตภายในระบบยาวนานกว่าในระยะที่ 2 และ 3 ของการเก็บเกี่ยวถึง 15 วัน โดยจะพบว่าเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าแพงโกล่าและหญ้าอะตราตัม มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าหญ้าขน

อัตราการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าแพงโกล่าและหญ้าอะตราตัมในแต่ละระยะเก็บเกี่ยวมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากในระยะแรกของการเก็บเกี่ยวนั้น ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าแพงโกล่าและหญ้าอะตราตัมมีค่าสูง และลดลงในระยะที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์สูงขึ้น มีการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณของมวลชีวภาพมากขึ้น ทั้งนี้ สอดคล้องกับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ซึ่งพบว่า ในระยะที่ 2 ของการเก็บเกี่ยวมีค่า RGR เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการเก็บเกี่ยวครั้งแรก (พันธ์ทิพย์, 2551) จากปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารและอัตราการเติบโตในรูปมวลชีวภาพ จึงทำให้อัตราการสะสมธาตุอาหารของพืชซึ่งคำนวณต่อพื้นที่ต่อช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกัน โดยการลดลงของความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชนั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณด้านมวลชีวภาพของพืชนั่นเอง อย่างไรก็ตาม จะพบว่าเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าขนที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะแรกมีอัตราการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนสูงกว่าระยะเก็บเกี่ยวอื่น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าขนในระยะแรกของการเก็บเกี่ยวมีค่าของทั้งความเข้มข้นของไนโตรเจนและค่าของวัตถุแห้งสูงกว่าในระยะที่ 2 และ 3 ของการเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของหญ้าอาหารสัตว์ที่ศึกษา จะพบว่าหญ้าอะตราตัม มีอัตราการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นในทุกระยะเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะระยะที่ 1 และ 2 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรากของหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรากก่อนการบำบัด ทั้งนี้ ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษารากของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตัม และหญ้าขน มีอัตราการสะสมธาตุอาหารฟอสฟอรัสไว้ในส่วนของราก เท่ากับ 0.0031-0.0055, 0.0034-0.0135 และ 0.0033-0.0062 g/m²/d ตามลำดับ ซึ่งอัตราการสะสมฟอสฟอรัสของรากเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการสะสมไนโตรเจน คือ รากของหญ้าอะตราตัม มีอัตราการสะสมฟอสฟอรัสเฉลี่ย สูงกว่ารากของหญ้าขน และหญ้าแพงโกล่าตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าแพงโกล่า และหญ้าขน ในแต่ละระยะเก็บเกี่ยวมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับหญ้าชนิดเดียวกัน ขณะที่ หญ้าอะตราตัม ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก มีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินสูงกว่าระยะเก็บเกี่ยวอื่น ทั้งนี้ โดยส่วนใหญ่ จะพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว โดยเนื้อเยื่อที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรกจะมีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงที่สุด เช่นเดียวกับค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน และพบว่าเนื้อเยื่อของหญ้าแพงโกล่ามีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงกว่าหญ้าขน เช่นเดียวกับกับค่าของไนโตรเจน

อัตราการสะสมธาตุอาหารฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของหญ้าอะตราตัม และหญ้าขน ในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ระหว่างระยะเก็บเกี่ยว ทั้งนี้มีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการสะสมไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลจากค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อร่วมกับอัตราการเติบโตหรืออัตราการผลิตมวลชีวภาพของพืช ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพบค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อสูงในระยะแรกของการเก็บเกี่ยว ซึ่งหญ้าอาหารสัตว์มีช่วงเวลาในการเจริญเติบโตยาวนานกว่าระยะเก็บเกี่ยวถัดไป ซึ่งพบว่ามีความเข้มข้นของธาตุอาหารลดลง ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากการผลิตมวลชีวภาพหรือมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น ทำให้ธาตุอาหารมีการกระจายไปสู่ผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตาม พบว่าหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 มีอัตราการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับหญ้าแพงโกล่าที่ระยะเก็บเกี่ยวอื่น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดหญ้า จะพบว่าหญ้าอะตราตัม มีอัตราการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นในทุกระยะเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับอัตราการสะสมไนโตรเจน โดยจะพบว่าระยะที่ 1 และ 3 ของการเก็บเกี่ยว นั้น อัตราการสะสมฟอสฟอรัสของหญ้าแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ด้วย

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ และอัตราการสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของหญ้าอาหารสัตว์ที่พบนั้น บ่งชี้ได้ถึงการทำหน้าที่ของพืชภายในระบบ ในการลดปริมาณธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากในการดำเนินระบบนั้น ไม่ได้มีการเพิ่มเติมปุ๋ยลงในระบบแต่อย่างใด นอกจากนั้น จะพบว่าวัสดุกรองที่ใช้ในระบบเป็นกรวด และทราย ที่มีธาตุอาหารอยู่ต่ำ ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารที่พบในพืชและทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ คือธาตุอาหารที่มากับน้ำเสีย โดยอยู่ในเงื่อนไขที่มลสารอื่นที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย คุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำเสีย และการดำเนินระบบที่ทำการศึกษานี้อยู่ในลักษณะที่หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถดำรงชีวิตอยู่และสามารถดูดซับธาตุอาหารในน้ำเสียนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบที่พบว่าแปลงหญ้าแต่ละชนิดมีความสามารถในการลดปริมาณธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ทั้งนี้ จะพบว่าระยะของการเก็บเกี่ยวมีผลต่อค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชอยู่บ้าง โดยเฉพาะค่าของไนโตรเจน ซึ่งจะพบว่ามีความสูงในการเก็บเกี่ยวครั้งแรก ซึ่งพืชมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตก่อนทำการเก็บเกี่ยวยาวนานกว่าระยะอื่นๆ ของการเก็บเกี่ยว ขณะที่ ชนิดของหญ้าส่งผลต่ออัตราการสะสมธาตุอาหารต่อหน่วยพื้นที่ต่อช่วงเวลา โดยจะพบว่า หญ้าอะตราตัมมีอัตราการสะสมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น

2) ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate: RGR) ของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตัม และหญ้าขน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้ง โดยทั่วไปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของหญ้าชนิดเดียวกัน ในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ขณะที่ ในระยะเก็บเกี่ยวเดียวกันนั้น หญ้าอะตราตัมจะมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์สูงกว่า แต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชนิดหญ้า ($P \geq 0.05$) เช่นเดียวกัน

ค่า RGR ที่พบนี้ สามารถบ่งชี้ได้ถึงความเป็นไปได้ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ในการดำรงอยู่ เจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตได้ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษา ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิวน้ำ ซึ่งพบว่าหญ้าสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้เช่นกัน (พันธ์ทิพย์, 2551) ทั้งนี้ เนื่องจากหญ้าอาหารสัตว์ในระบบ

บึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ได้รับปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต คือแสงตามสภาพธรรมชาติ และได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสีย โดยน้ำเสียชุมชนที่ระบายลงสู่ระบบนั้น มีคุณสมบัติทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ที่หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ประกอบกับวิธีการในการดำเนินการบำบัดของระบบที่ไม่ทำให้รากของหญ้าถูกน้ำท่วมขังอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้หญ้าสามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้

จากการศึกษาอัตราการผลิตมวลชีวภาพทั้งในรูปของผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตัม และหญ้าขน จะพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด สามารถเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพได้หลังจากการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้ง โดยส่วนใหญ่ หญ้าอะตราตัมจะสร้างผลผลิตมวลชีวภาพได้สูงกว่าหญ้าชนิดอื่น ซึ่งความสามารถในการดำรงอยู่ และเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ของหญ้าอาหารสัตว์เหล่านี้ ภายใต้ปัจจัยแวดล้อมที่กำหนด สามารถบ่งชี้ได้ด้วย ค่า RGR และปริมาณผลผลิต (yield) ที่ได้ ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

มวลชีวภาพในรูปผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตัม และหญ้าขนที่ได้จากการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ครั้ง (ในระยะเวลา 140 วัน หรือ 4.5 เดือน) มีค่าเฉลี่ย 1,079.52, 2,134.60 และ 1,704.88 kg/rai ซึ่งพบว่ามวลชีวภาพในรูปผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอะตราตัมที่ผลิตได้ในระยะเวลาประมาณ 4.5 เดือนนี้ มีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอะตราตัมต่อปี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.5-3.5 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2553) สำหรับหญ้าแพงโกลานั้น คาดว่าหากมีการดำเนินระบบอย่างต่อเนื่องและทำการเก็บเกี่ยวหญ้าจนครบรอบปี จะมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้ง โดยประมาณเท่ากับ 3.0 ton/rai/yr ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตโดยทั่วไปของหญ้าแพงโกล่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.0-7.0 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2553) ส่วนหญ้าขนนั้น คาดว่าหากมีการดำเนินระบบอย่างต่อเนื่องและทำการเก็บเกี่ยวหญ้าจนครบรอบปี จะมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าขนโดยประมาณเท่ากับ 4.5 ton/rai/yr ซึ่งสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าขนที่ปลูกในพื้นที่ดินเหนียวที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ซึ่งหญ้าขนจะให้ผลผลิตเท่ากับ 3.1 ton/rai/yr และสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าขนที่ผลิตโดยทั่วไป ซึ่งหญ้าขนจะให้ผลผลิตน้ำหนักรากและผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.4-3.7 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2539) จากการศึกษาจะพบว่า แม้หญ้าอาหารสัตว์บางชนิดจะให้ผลผลิตต่ำกว่าปริมาณการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ด้วยวิธีการของเกษตรกร โดยทั่วไป แต่ผลผลิตที่ได้นี้มาจากกระบวนการผลิตที่สามารถให้ประโยชน์ในรูปของการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่ได้มีการให้ธาตุอาหารเพิ่มเติมกับหญ้าแต่อย่างใด ในขณะที่ หญ้าอาหารสัตว์บางชนิดให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตด้วยวิธีการของเกษตรกรทั่วไป ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากหญ้าอาหารสัตว์ได้รับน้ำ และธาตุอาหารจากน้ำเสีย ได้รับแสงแดดจากสภาพพื้นที่ที่เปิดโล่ง จึงอยู่ในสภาพที่หญ้าอาหารสัตว์ พร้อมใช้ธาตุอาหารเหล่านั้นในการเจริญเติบโต

ผลจากการตรวจวัดคุณภาพและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคุณภาพของผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ พบว่าผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าวัตถุแห้งระหว่าง 18.4-53.1 % โดยจะพบว่ามีค่าวัตถุแห้งของหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดมีค่าสูงที่สุดในระยะเก็บเกี่ยวที่ 3 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าค่าวัตถุแห้งของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด ที่มีอายุตัด 45 วัน ตามตารางคุณค่าทางโภชนาการ ทั้งนี้พบว่าหญ้าขนในทุกระยะเก็บเกี่ยว มีค่าของวัตถุแห้งที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าค่าวัตถุแห้ง ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งจะพบว่าสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของหญ้าขนที่ปรากฏ คือมีลักษณะไม่อวบ

ปริมาณโปรตีนหยาบต่อน้ำหนักแห้งในหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าระหว่าง 1.66-5.09 % โดยจะพบว่าค่าโปรตีนหยาบของหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดมีค่าสูงที่สุด ในหญ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก โดยพบว่าค่าโปรตีนหยาบมีแนวโน้มลดลงในระยะที่ 2 และ 3 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นชื้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของหญ้าอาหารสัตว์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าโปรตีนหยาบส่วนหนึ่งเป็นผลจากหญ้ามีการเติบโตและมีการสร้างมวลชีวภาพเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้ จะพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ มีค่าโปรตีนหยาบ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานอาหารสัตว์ ซึ่งกำหนดให้ปริมาณโปรตีนในพืชอาหารสัตว์ไม่ควรต่ำกว่า 6.875 % หรือ ไม่ควรต่ำกว่า 1.1 % ฟอสฟอรัส (สายัณห์, 2522) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว หญ้าอะตราดัม จะมีปริมาณโปรตีน 7-8 % หญ้าแพงโกล่า มีปริมาณโปรตีน 7-11 % (กรมปศุสัตว์, 2553) และหญ้าขนจะมีปริมาณโปรตีนรวม 6-10 % (กรมปศุสัตว์, 2539) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ได้จากระบบบึงประดิษฐ์ที่ศึกษานี้ เป็นการผลิตที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีในการผลิต ซึ่งแตกต่างจากการผลิตของเกษตรกรโดยทั่วไป

จากการศึกษา พบว่า แม่น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้งที่ทำการศึกษานี้ จะมีค่าของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียปริมาณที่สูงกว่าน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว แต่จะพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง มีค่าโปรตีนหยาบต่ำกว่าหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกันนี้ ที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ทั้งนี้ คาดว่าส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง โดยเฉพาะการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซ ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ และมีการสูญเสียออกไปจากระบบโดยการระเหย เช่น การระเหยในรูปของก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น

ปริมาณเยื่อใยหยาบต่อน้ำหนักแห้งในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าระหว่าง 24.55-31.88 % โดยจะพบว่าปริมาณเยื่อใยหยาบที่พบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตาม จะพบว่าหญ้าแพงโกล่าจะมีปริมาณเยื่อใยหยาบสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น โดยเฉพาะในระยะที่ 1 และ 3 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าแตกต่างจากหญ้าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้ พบว่าค่าเยื่อใยหยาบในเนื้อเยื่อของหญ้าอาหารสัตว์ที่ผลิตจากระบบบำบัดที่ทำการศึกษา โดยส่วนใหญ่ มีค่าต่ำกว่าค่าเยื่อใยหยาบที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาของหญ้าแต่ละชนิดในแต่ละระยะเก็บเกี่ยวเล็กน้อย ยกเว้นหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากระยะเก็บเกี่ยวที่ 1 และ 3 ซึ่งพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาเล็กน้อย ทั้งนี้ พบว่าค่าเยื่อใยหยาบของหญ้าอาหารสัตว์ที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้ง มีค่าต่ำกว่าค่าเยื่อใยหยาบของหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกันที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ยกเว้นหญ้าแพงโกล่าซึ่งมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย

ปริมาณฟอสฟอรัสต่อน้ำหนักแห้งในหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด มีค่าระหว่าง 0.20-0.43 % โดยจะพบปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของหญ้าแพงโกล่าสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นในทุกระยะเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะระยะที่ 1 และ 2 ของการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าแตกต่างจากหญ้าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ โดยส่วนใหญ่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกันที่มีระยะเก็บเกี่ยวต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น หญ้าอะตราดัม ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดในระยะแรกของการเก็บเกี่ยว และแตกต่างจากระยะเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของหญ้าอาหารสัตว์ที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลได้ผิวในแนวตั้งที่ทำการศึกษานี้ มีค่าสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของหญ้า

อาหารสัตว์ชนิดเดียวกันที่ผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือฝ ในทุกระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัด TP ซึ่งพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝในแนวตั้ง มีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยสูงกว่า และเนื่องจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ ไม่ได้มีการเพิ่มปุ๋ยประเภทใดให้กับระบบ ดังนั้น ฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชโดยส่วนใหญ่จึงเป็นฟอสฟอรัสที่มีปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบ จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าการนำฟอสฟอรัสไปใช้โดยพืชภายในระบบบึงประดิษฐ์ ส่งผลในการลดปริมาณการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย และในขณะเดียวกัน สามารถบ่งชี้ได้ว่า ฟอสฟอรัสในน้ำเสียสามารถใช้ในการเพิ่มผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ได้

ผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าอะตราตัม หญ้าขน และหญ้าแพงโกล่า ภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝในแนวตั้ง ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยจะพบว่าหญ้าทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถดำรงอยู่ เจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้ในระบบ แม้จะเป็นการปลูกในวัสดุรองที่เป็นกรวดและทราย และไม่มีการให้ปุ๋ย แต่สามารถตรวจพบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งพืชได้รับจากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบบำบัด คาดว่าหากมีการดำเนินระบบและทำการเก็บเกี่ยวจนครบรอบปี ปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอะตราตัม และหญ้าขนที่ได้จะมีค่าสูงกว่าปริมาณการผลิตต่อปีด้วยระบบการผลิตตามปกติ ส่วนหญ้าแพงโกล่ามีปริมาณการผลิตที่ต่ำกว่า ส่วนคุณภาพของผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ได้นั้น พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดที่ได้จากทุกระยะเก็บเกี่ยวมีค่าฟอสฟอรัสสูงกว่าค่าฟอสฟอรัสที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาการ ส่วนค่าวัตถุแห้ง ปริมาณโปรตีนหยาบ ปริมาณเยื่อใยหยาบ ของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าโดยส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาการ ยกเว้นหญ้าขน ซึ่งพบว่ามีค่าวัตถุแห้งสูงกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนาการ สำหรับหญ้าขนที่ระยะเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยรวมแล้ว จะพบว่าเกษตรกรสามารถทำการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับการบำบัดน้ำเสีย หรือเกษตรกรสามารถใช้น้ำเสียในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดได้ เมื่อเกิดข้อจำกัดด้านน้ำหรือขาดแคลนน้ำในกระบวนการผลิต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผลการศึกษาได้บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าขน หญ้าอะตราตัม และหญ้าแพงโกล่า ในการลดมลสารในน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝในแนวตั้ง ภายใต้เงื่อนไขการบำบัดที่ทำการศึกษา ดังนั้น จึงสามารถนำรูปแบบที่ทำการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในลักษณะเดียวกัน เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมได้

5.2.2 ผลการศึกษาได้บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด คือ หญ้าขน หญ้าอะตราตัม และหญ้าแพงโกล่า ด้วยน้ำเสียชุมชน ภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ฝในแนวตั้ง ภายใต้เงื่อนไขการบำบัดที่ทำการศึกษา โดยผลการศึกษาได้แสดงถึงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่เกิดขึ้นจากระบบ ซึ่งมีความคุ้มค่าในการนำรูปแบบที่ทำการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ เมื่อมีข้อจำกัดด้านน้ำ หรือมีปัญหาการขาดแคลนน้ำในการผลิต รวมถึงเมื่อต้องการลดการใช้ปุ๋ยในกระบวนการผลิต

5.2.3 ควรทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้ซ้ำ โดยมีช่วงระยะเวลาการศึกษาที่ต่อเนื่อง และยาวนานขึ้นจนครบรอบปี เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัด และการให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตพืชอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ ในระยะยาว

5.2.4 ควรทำการศึกษาถึงการนำระบบบำบัดนี้ ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์ม หรือน้ำเสียจากกิจกรรมภายในพื้นที่ฟาร์ม พร้อมๆ กับการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ใช้ภายในฟาร์มนั้นๆ

5.2.5 ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

5.2.6 ควรศึกษาถึงผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม