



การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*)

ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำ

Swine Wastewater Treatment Using Water Fern

(*Azolla microphylla*) in Floating Aquatic Plant

Wastewater Treatment System

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก^{1*} วิภา หอมหวน² ดำรงค์ศักดิ์ สุวรรณศรี³ และ นุชนันท์ พลฤทธิ¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำ โดยศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำที่ใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*) เป็นพืชในระบบในการบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราส่วนของน้ำเสียร้อยละ 25 เมื่อระบบมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแหนแดงออกจากระบบแตกต่างกัน คือ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD₅, TSS, TDS, TKN และ TP ของระบบบำบัดในแต่ละสัปดาห์ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ (-125.0)-35.4, (-22.2)-60.0, (-502.9)-54.7, (-1.7)-13.7, (-79.5)-51.5 และ (-429.5)-52.0 ตามลำดับ ทั้งนี้ ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงออกจากระบบแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดมีค่าต่ำกว่าการเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในพื้นที่เลี้ยงที่มีสภาพเหมาะสม ทั้งนี้ ตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ ของการดำเนินระบบ ระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงทุกสัปดาห์ เป็นระบบที่ให้ผลผลิตแหนแดงสดสุทธิสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับผลผลิตแหนแดงสดสุทธิที่ได้จากระบบที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดง ทุก 2 สัปดาห์

¹ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์เกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

³ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่พิษณุโลก ต.บ้านกร่าง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

*Corresponding Author, E-mail: pantipk@nu.ac.th

ABSTRACT

The purposes of this study were to evaluate of swine wastewater treatment and production of water fern in floating aquatic plant wastewater treatment system. Efficiency of the system with water fern (*Azolla microphylla*) for treating of 25 % dilution swine wastewater was examined. Pollutant removal efficiencies of the system at different plant harvest intervals (every 1, 2 and 3 week) were compared. The result showed that average removal efficiencies of the system for COD, BOD₅, TSS, TDS, TKN and TP in each week were (-125.0)-35.4, (-22.2)-60.0, (-502.9)-54.7, (-1.7)-13.7, (-79.5)-51.5 and (-429.5)-52.0 %, respectively. There were not significantly different between pollutant removal efficiencies of systems operated at various plant harvest intervals. Increasing of water fern yield in tested system was low comparing with yield from conventional culture system in suitable environment. For 6 weeks of operation, the highest net fresh water fern yield was found in the system operated at every week of harvest interval however it was similar to net fresh yield of water fern from the system operated at every 2 week of harvest interval.

คำสำคัญ: แหนแดง น้ำเสียฟาร์มสุกร การบำบัดน้ำเสีย การลดมลสาร ผลผลิต

Keywords: *Azolla microphylla*, Swine wastewater, Wastewater treatment, Pollutants removal, Yield

บทนำ

ปัจจุบันคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน กำลังประสบปัญหาความเสื่อมโทรมจากการปนเปื้อนมลสารประเภทต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งจากกิจกรรมชุมชน กิจกรรมการผลิตและบริการทั้งด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการท่องเที่ยว การปนเปื้อนมลสารของน้ำในแหล่งน้ำ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของทรัพยากรน้ำ จนส่งผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศแหล่งน้ำ และเกิดผลกระทบต่อการนำน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์

การเลี้ยงสุกรเป็นการปศุสัตว์ที่พบว่ามี การขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค ทั้งนี้ นอกเหนือจากผลผลิตที่ได้แล้ว การเลี้ยงสุกรยัง

ก่อให้เกิดของเสียทั้งในรูปของของแข็ง และของเหลว หรือน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดสุกรและคอก ซึ่งจะมีทั้งเศษอาหาร และสิ่งขับถ่ายจากสุกรปนเปื้อนอยู่ในน้ำ และหากไม่มีการจัดการที่ดี น้ำเสียและมลสารอาจแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณข้างเคียง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งรองรับน้ำเสียนั้น โดยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีมลสารในรูปของของแข็ง สารอินทรีย์ และธาตุอาหารปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง การบำบัดน้ำเสียหรือการลดปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลง ด้วยวิธีการนำมลสารบางรูปเช่นธาตุอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ จะสามารถช่วยลดผลกระทบจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในขณะที่ เกษตรกร

สามารถได้รับผลประโยชน์กลับคืนจากการบำบัดน้ำเสียนั้น และหารูปแบบของการบำบัดที่ใช้มีต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการไม่สูง มีวิธีดำเนินการไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน จะทำให้ระบบบำบัดนั้นมีโอกาสเกิดการนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริงโดยเกษตรกร ซึ่งจะส่งผลดีทั้งต่อสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรผู้ดำเนินการ

การวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ร่วมกับการใช้ประโยชน์จากมูลสารในรูปของธาตุอาหารในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการผลิตเห็ดนางฟ้า ทั้งนี้ การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า Fomi et al. (2001) ได้ศึกษาการลดลงของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชนน้ำเสียจากการเกษตร และน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ที่ใช้เห็ดนางฟ้า (*Azolla filiculoides* Lam.) ในการบำบัด ญัฐสิมาและคณะ (2554) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้เห็ดนางฟ้า โดยน้ำเสียที่นำมาบำบัดเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อหมักไร้อากาศ ขณะที่ เพ็ญจาและคณะ (2540) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ทำการปรับความเข้มข้นของน้ำทิ้งเป็น 100 50 และ 25% โดยเปรียบเทียบการบำบัดมลสารด้วยวิธีการฟอกตัวของน้ำเสียตามธรรมชาติ การบำบัดโดยใช้เห็ดนางฟ้า การบำบัดโดยการเติมอากาศในน้ำเสีย และการบำบัดโดยการเติมอากาศในน้ำเสียร่วมกับเห็ดนางฟ้า ซึ่งพบว่าลดมลสารได้ดีกว่าการบำบัดด้วยระบบอื่น

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งเป็นน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำที่ไม่ผ่านระบบบำบัดประเภทใด ด้วยระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่ใช้เห็ดนางฟ้า (*Azolla microphylla*) เป็นพืชในระบบและศึกษาปริมาณผลผลิตเห็ดนางฟ้าที่ได้จากระบบบำบัด ซึ่งเป็นรูปแบบการบำบัดอย่างง่ายที่ผู้เลี้ยงสุกรในระดับครัวเรือนสามารถนำไปใช้ได้จริง ผลจากการศึกษาได้ให้องค์ความรู้ถึงผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและเติมแทน

แต่งลงสู่ระบบต่อประสิทธิภาพของเห็ดนางฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและปริมาณผลผลิตเห็ดนางฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเห็ดนางฟ้าเป็นพืชที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปของปุ๋ยพืชสด และพืชอาหารสัตว์ ทั้งนี้ เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1 การเตรียมหน่วยทดลองและการดำเนินการทดลอง

เตรียมหน่วยทดลองจากวงบ่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร สูง 1 เมตร สำหรับบรรจุน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงที่ทำการปรับระดับความเข้มข้นของน้ำเสียด้วยน้ำบาดาลที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 25 โดยปริมาตร เติมน้ำเสียลงสู่หน่วยทดลองจนถึงระดับความสูง 0.8 เมตร จากพื้นบ่อ ซึ่งจะทำให้แต่ละหน่วยทดลอง มีปริมาตรการรองรับน้ำเสีย เท่ากับ 0.9 m^3 จากนั้นจึงนำเห็ดนางฟ้า (*Azolla microphylla*) เติมลงในหน่วยทดลอง ที่อัตราการเติม 0.5 kg/plot

การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากผลการศึกษาขั้นต้น ซึ่งพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่ใช้เห็ดนางฟ้าเป็นพืชในระบบนั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าการบำบัดด้วยระบบควบคุมที่ไม่มีเห็ดนางฟ้า และประสิทธิภาพการบำบัดเกิดขึ้นได้ดีที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 25 โดยปริมาตร (นุชนันท์และพันธ์ทิพย์, 2556) การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ เมื่อทำการเก็บเกี่ยวและเติมเห็ดนางฟ้าใหม่ลงสู่ระบบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (treatment) คือ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ โดยมีหน่วยทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ในแต่ละสิ่งทดลอง (treatment) ที่ทำการศึกษา และวางแผนการทดลองแบบ complete randomize

design ทั้งนี้ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะเก็บเกี่ยวแทน
แดงออกจนหมด แล้วจึงนำแทนแดงในอัตราเดิมเติมลง
สู่ระบบอีกครั้งก่อนการเก็บเกี่ยวในรอบถัดไป และได้ทำ
การเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียออกจากทุกหน่วยทดลอง เมื่อ
ครบ 6 สัปดาห์ ของการบำบัด จากนั้นทำการทดลอง
ซ้ำเดิมอีกครั้ง รวมระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 12
สัปดาห์

2 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 ตัวอย่างน้ำเสีย

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และ
ตัวอย่างน้ำเสียภายหลังการเจือจางน้ำเสียที่ระดับความ
เข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 25 โดยปริมาตร ก่อนการระบาย
น้ำเสียลงสู่ระบบ (influent) ด้วยวิธีจ้วง (grab
sampling) และเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากทุกหน่วย
ทดลอง ในทุกสัปดาห์ของการบำบัด ด้วยวิธีผสม
(composite sampling) จาก 3 ระดับความลึกของน้ำ
เสียในหน่วยทดลองหรือระบบบำบัด นำตัวอย่างน้ำเสีย
ไปวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ (Temp)
ออกซิเจนละลาย (DO) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)
สภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด
(TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ความต้องการ
ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวเคมี
(BOD₅) ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย
สารอินทรีย์ทางเคมี (COD) ค่าเจลดาร์ลไนโตรเจน
ทั้งหมด (total Kjeldahl nitrogen: TKN) และค่า
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โดยใช้วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง
และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ใน Standard
methods for the examination of water and
wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

2.2 ตัวอย่างพืช

สังเกตลักษณะทั่วไปของแทนแดงตลอด
ระยะเวลาที่ทำการศึกษา ทำการเก็บตัวอย่างแทนแดง
ทุกครั้งก่อนการเติมแทนแดงใหม่ลงสู่ระบบและทุกครั้ง

ที่เก็บเกี่ยวแทนแดงออกจากแต่ละหน่วยทดลอง นำ
ตัวอย่างแทนแดงไปตรวจวิเคราะห์ค่าน้ำหนักสดและ
น้ำหนักแห้งด้วยวิธีชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของ
ตัวอย่างภายหลังการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 °C เป็น
เวลา 3 วัน และวิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์
(relative growth rate: RGR) จากสมการ
$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$
 เมื่อ W_1 และ W_2 คือ
น้ำหนักแห้งขณะเวลาเริ่มต้น (t_1) และน้ำหนักแห้งเมื่อ
เวลาเก็บเกี่ยว (t_2) (Beadle, 1982)

3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การลดมลสารในน้ำเสียของระบบ

วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการ
บำบัดหรือลดมลสารในน้ำเสียในรูปร้อยละของการ
บำบัด (% removal efficiency) จากสมการ
$$\% \text{ removal efficiency} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$
 เมื่อ C_0
และ C_1 คือความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียก่อน
บำบัด และความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียหลังผ่าน
การบำบัด (Metcalf and Eddy, 1985) ทั้งนี้ หาก
ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดสูง
กว่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียก่อนบำบัด
ประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าเป็นลบ และวิเคราะห์ค่า
ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียในแต่ละสัปดาห์ของ
การบำบัด ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดมล
สารในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีระยะเวลาการเก็บ
เกี่ยวและเติมแทนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกันด้วย
สถิติ Kruskal-Wallis Test และ Duncan's New
Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญร้อย
ละ 95

3.2 การใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการผลิต แหนแดง

วิเคราะห์อัตราการผลิตไบโอสัมพัทธ์ของแหนแดงและปริมาณผลผลิตแหนแดงของแต่ละระบบ และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของอัตราการผลิตไบโอสัมพัทธ์ของแหนแดงและผลผลิตแหนแดงที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบบำบัดที่มีระยะเวลาเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกันด้วยสถิติ Kruskal-Wallis Test และ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ทั้งนี้ หากแหนแดงที่ทำการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณของแหนแดงที่เติมลงสู่ระบบ ค่าของผลผลิตจะมีค่าเป็นลบ

ผลการวิจัย

1 การลดมลสารในน้ำเสียของระบบ

น้ำเสียที่ศึกษาเป็นน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ถูกรวบรวมไว้ในบ่อรวมน้ำเสียที่เกษตรกรขุดไว้เพื่อกักเก็บน้ำเสียไว้ในพื้นที่ โดยมลสารในน้ำเสียบางส่วนจะถูกบำบัดตามธรรมชาติภายในบ่อรวมน้ำ ทั้งนี้ หากน้ำเสียมีปริมาณมากเกินไปประสิทธิภาพการกักเก็บของบ่ออาจเกิดการแพร่กระจายของน้ำเสียและมลสารออกสู่แหล่งน้ำภายนอกได้

การตรวจวัดน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสีย พบน้ำเสีย มีค่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 29.4°C ค่า pH, EC, TDS และ DO ของน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.17, 993.0 $\mu\text{S/cm}$, 496.5 mg/l และ 2.15 mg/l ตามลำดับ ปริมาณมลสารในรูป BOD₅, COD, TSS, TKN และ TP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.3, 143.7, 130.5, 39.6 และ 86.1 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่ศึกษาหรือน้ำเสียที่ทำการบำบัดเป็นน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียที่ทำการเจือจางด้วยน้ำบาดาลที่สัดส่วนความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 25 พบมีค่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 29.3°C ค่า pH, EC, TDS และ DO ของน้ำเสียที่ทำการบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

7.05, 650.8 $\mu\text{S/cm}$, 325.2 mg/l และ 3.9 mg/l ปริมาณมลสารในรูป BOD₅, COD, TSS, TKN และ TP มีค่าเท่ากับ 11.8, 52.0, 23.5, 9.8 และ 39.0 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียภายในระบบบำบัด ตลอด 6 สัปดาห์ ของการดำเนินระบบ พบค่า Temp, DO, pH และ EC ของน้ำเสียในระบบ มีค่าระหว่าง $25.3\text{-}31.9^{\circ}\text{C}$, 0.26-5.52 mg/l, 6.02-8.88 และ 489.0-670.0 $\mu\text{S/cm}$ ตามลำดับ

1.1 การบำบัดสารอินทรีย์

เมื่อเริ่มระบายน้ำเสียที่ทำการบำบัดลงสู่ระบบ ทำให้ระบบบำบัดมีอัตราการรองรับสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ผิวต่อเวลา ในรูปของค่า COD และ BOD loading rate ตลอด 6 สัปดาห์ของการบำบัด เท่ากับ 0.71-0.86 และ 0.16-0.29 $\text{g/m}^2/\text{d}$ ตามลำดับ โดยระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า COD และ BOD loading rate ในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด เท่ากับ 3.2-17.1, 1.6-11.6 และ 1.7-14.8 $\text{g COD/m}^2/\text{d}$ และ 0.2-1.7, 0.1-1.4 และ 0.2-2.0 $\text{g BOD/m}^2/\text{d}$ ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบที่เก็บเกี่ยวและเติมแหนแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์ มีค่าร้อยละ (-250.0)-72.2, (-300.0)-71.4 และ (-300.0)-72.7 ตามลำดับ ในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด พบว่าระบบที่มีระยะเวลาเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัด COD ของแต่ละระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดง ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสัปดาห์ของการบำบัด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำเสียที่ทำการบำบัด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ประเภทของน้ำเสีย	
		น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของฟาร์ม ^{1/}	น้ำเสียที่ทำการบำบัด ^{2/} (น้ำเสียเจือจางที่ความเข้มข้นน้ำเสีย ร้อยละ 25)
Temp	°C	28.6-30.2	27.9-30.5
pH	-	6.77-7.57	6.41-7.84
DO	mg/l	1.22-3.08	3.28-4.89
EC	µS/cm	929.0-1,057.0	604.0-720.0
TDS	mg/l	464.0-529.0	301.0-360.0
TSS	mg/l	70.0-191.0	10.0-38.0
BOD ₅	mg/l	49.5-63.0	8.7-16.2
COD	mg/l	63.0-152.0	40.0-88.0
TKN	mg/l	13.4-65.8	2.2-23.0
TP	mg/l	51.9-129.39	13.5-63.9

หมายเหตุ: ^{1/} จำนวนตัวอย่าง = 2, ^{2/} จำนวนตัวอย่าง = 6

ค่า COD ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า 32.0-144.0, 16.0-112.0 และ 16.0-144.0 mg/l ตามลำดับ โดยในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด พบความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสียของแต่ละระบบเก็บเกี่ยวมีค่าผันแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบเก็บเกี่ยว ขณะที่ COD ในน้ำเสียของแต่ละระบบการเก็บเกี่ยวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสัปดาห์ของการบำบัด (รูปที่ 1)

ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD₅ ในแต่ละสัปดาห์ ระหว่างร้อยละ (-68.8)-77.5, (-70.0)-77.9 และ (-37.5)-84.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยประสิทธิภาพในการบำบัด BOD₅ ในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บเกี่ยวแทนแแดงที่แตกต่างกัน ขณะที่การบำบัด BOD₅ ของระบบที่เก็บเกี่ยวแทนแแดง ทุก 2 และ 3

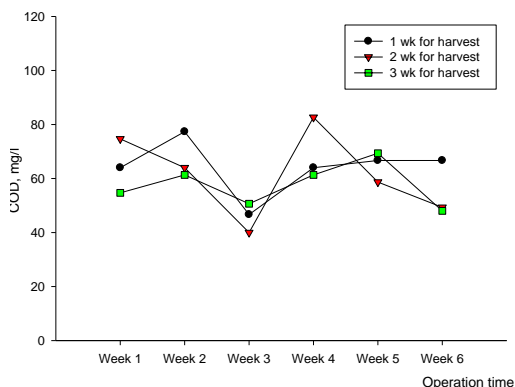
สัปดาห์ มีประสิทธิภาพสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 ของการบำบัด และแตกต่างจากสัปดาห์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า BOD₅ ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า 1.2-15.2, 1.1-14.3 และ 1.1-18.8 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้ ในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด ค่า BOD₅ ในน้ำเสียของแต่ละระบบมีทิศทางผันแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และค่า BOD₅ ของน้ำเสียในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่เก็บเกี่ยวแทนแแดงแตกต่างกันเช่นเดียวกันกับค่า COD อย่างไรก็ตาม พบค่า BOD₅ ในน้ำเสียของทั้งสามระบบเก็บเกี่ยวมีค่าสูงสุดในสัปดาห์แรกของการบำบัด และแตกต่างจากสัปดาห์อื่นของการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ พบ BOD₅ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาของการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นนับตั้งแต่เริ่มกระบวนการบำบัด (รูปที่ 2)

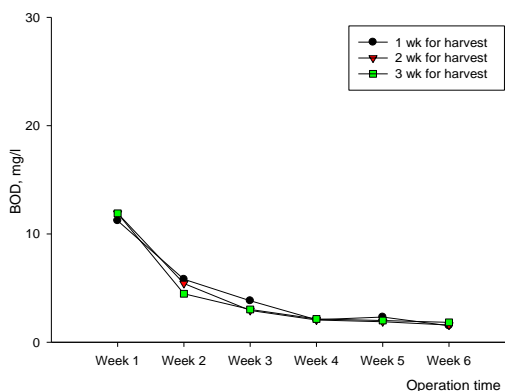
ตารางที่ 2 ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียพีชลอยน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ/ ระยะเวลาการบำบัดของระบบ	ระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแฉงใหม่ลงสู่ระบบ		
	ทุก 1 สัปดาห์	ทุก 2 สัปดาห์	ทุก 3 สัปดาห์
COD (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	(-45.6)±20.5 ^{aA}	(-55.6)±35.1 ^{aA}	(-5.8)±51.9 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 2	(-38.9)±40.6 ^{aA}	(-56.9)±63.7 ^{aA}	(-88.1)±57.8 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	15.1±28.1 ^{aA}	35.4±3.4 ^{aA}	6.4±22.3 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	(-36.7)±15.6 ^{aA}	(-125.0)±30.3 ^{aA}	(-39.3)±29.6 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 5	(-40.3)±48.8 ^{aA}	29.2±13.5 ^{aA}	(-22.4)±16.9 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 6	(-34.9)±40.8 ^{aA}	(-3.4)±21.8 ^{aA}	27.5±9.9 ^{aA}
BOD₅ (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	1.4±13.5 ^{aA}	(-22.2)±13.7 ^{bA}	6.0±12.9 ^{bA}
สัปดาห์ที่ 2	41.5±13.5 ^{aA}	50.7±12.3 ^{aA}	60.0±7.2 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	26.0±21.6 ^{aA}	38.9±12.1 ^{aA}	20.9±15.0 ^{bA}
สัปดาห์ที่ 4	31.6±11.5 ^{aA}	17.1±19.0 ^{abA}	26.6±5.8 ^{bA}
สัปดาห์ที่ 5	(-13.4)±13.9 ^{aA}	8.3±9.2 ^{abA}	5.0±9.4 ^{bA}
สัปดาห์ที่ 6	29.6±10.9 ^{aA}	9.4±11.2 ^{abA}	10.4±6.9 ^{bA}

หมายเหตุ: ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ค่าร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดติดลบ หมายถึง การบำบัดของระบบในสัปดาห์นั้น ๆ ไม่สามารถลดมลสารลงได้ โดยพบความเข้มข้นของมลสารสูงกว่าความเข้มข้นของมลสารก่อนการบำบัด, ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยอักษรตัวใหญ่ (capital letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่มีระยะเก็บเกี่ยวและเติมแทนแฉงแตกต่างกัน (p≥0.05), ค่าในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรตัวเล็ก (small letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน (p≥0.05), จำนวนตัวอย่าง (n) = 6



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ย COD ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแฉงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ย BOD₅ ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแฉงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน

1.2 การบำบัดของแข็ง

ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการบำบัด TSS และ TDS ในแต่ละสัปดาห์ ระหว่างร้อยละ (-233.3)-77.8, (-1,614.3)-96.7 และ (-400.0)-81.8 และระหว่างร้อยละ (-6.7)-9.4, (-8.5)-12.1 และ (-4.7)-16.9 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ประสิทธิภาพการบำบัด TSS ในแต่ละสัปดาห์ ของระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงแตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัด TSS ของแต่ละระบบการเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสัปดาห์ของการบำบัด

ประสิทธิภาพการบำบัด TDS ในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างระบบที่เก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงแตกต่างกัน ยกเว้นในสัปดาห์แรกของการบำบัด ซึ่งพบว่าระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงทุก 3 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการบำบัด TDS สูงกว่าระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับค่า TDS ในน้ำเสียของระบบ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าระบบอื่น นอกจากนี้ ยังพบว่า การบำบัด TDS ของระบบที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงทุก 3 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสัปดาห์แรกของการบำบัดและแตกต่างจากสัปดาห์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

TSS ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า 2.0-20.0, 2.0-240.0 และ 2.0-46.0 mg/l ตามลำดับ (รูปที่ 3) แม้สัปดาห์แรกของการบำบัด จะพบ TSS ในน้ำเสียของระบบที่เก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงทุก 2 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าระบบอื่น อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับค่า TSS ของน้ำเสียในสัปดาห์อื่นของการบำบัด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบ

ด้วย ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 ของการบำบัด ซึ่งพบว่าน้ำเสียของระบบที่เก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงทุก 2 สัปดาห์ มีค่า TSS สูงที่สุดและแตกต่างจากระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังคงพบว่ามีระบบที่มีการเก็บเกี่ยวแหนแดงทุกสัปดาห์ มีค่า TSS ในน้ำเสียสูงที่สุดในสัปดาห์แรกของการบำบัดและแตกต่างจากสัปดาห์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

TDS ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า 275.0-335.0, 256.0-325.0 และ 244.0-324.0 mg/l ตามลำดับ (รูปที่ 4) ค่า TDS ในน้ำเสียของแต่ละระบบ มีแนวโน้มลดลงในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด โดยในแต่ละสัปดาห์ยกเว้นสัปดาห์แรกของการบำบัด พบ TDS ในน้ำเสียสูงที่สุดในระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงทุกสัปดาห์ และแตกต่างจากระบบเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าระบบที่เก็บเกี่ยวแหนแดงทุกสัปดาห์ มีค่า TDS ในน้ำเสียสูงที่สุดในสัปดาห์แรกของการบำบัดและแตกต่างจากสัปดาห์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3 การบำบัดธาตุอาหาร

ระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดง ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในแต่ละสัปดาห์ ระหว่างร้อยละ (-166.7)-80.4, (-200.0)-83.2 และ (-350.0)-86.6 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัด TP ในแต่ละสัปดาห์ ระหว่างร้อยละ (-645.1)-87.8, (-1,865.5)-92.2 และ (-246.2)-93.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด พบประสิทธิภาพการบำบัด TKN มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบการเก็บเกี่ยวแหนแดง และประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของแต่ละระบบ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสัปดาห์ของการบำบัดเช่นกัน ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัด TP ในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่

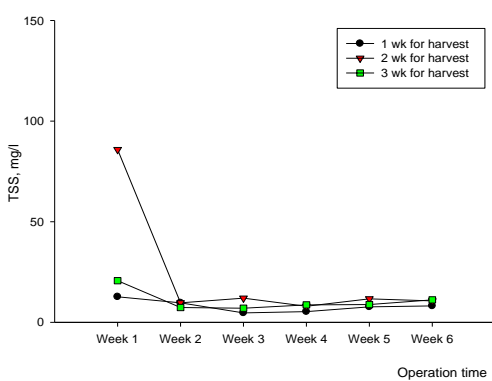
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบการเก็บเกี่ยว โดยพบว่าระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวแหวนแดงทุกสัปดาห์ มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูง

ที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 และแตกต่างจากสัปดาห์ที่ 5 ของการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

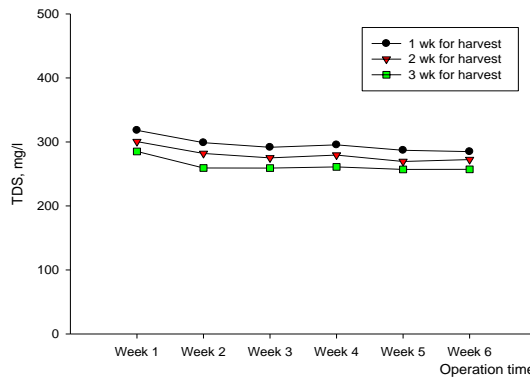
ตารางที่ 3 ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งของระบบบำบัดน้ำเสียพีชลอยน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ/ ระยะเวลาการบำบัดของระบบ	ระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแหวนแดงใหม่ลงสู่ระบบ		
	ทุก 1 สัปดาห์	ทุก 2 สัปดาห์	ทุก 3 สัปดาห์
TSS (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	24.4±18.7 ^{aA}	(-502.9)±293.5 ^{aA}	(-47.5)±61.7 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 2	21.1±14.6 ^{aA}	(-9.1)±62.4 ^{aA}	54.7±11.7 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	43.5±10.5 ^{aA}	(-52.7)±40.4 ^{aA}	(-27.9)±34.8 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	(-22.2)±23.4 ^{aA}	22.6±19.7 ^{aA}	(-30.6)±16.3 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 5	(-66.7)±49.6 ^{aA}	(-58.9)±71.7 ^{aA}	(-0.7)±24.1 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 6	(-32.2)±20.5 ^{aA}	10.0±6.6 ^{aA}	(-86.1)±68.5 ^{aA}
TDS (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	4.9±1.2 ^{aB}	3.3±2.4 ^{aB}	13.7±1.0 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 2	6.1±0.7 ^{aA}	6.1±0.7 ^{aA}	8.7±1.8 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	2.2±2.4 ^{aA}	2.3±1.3 ^{aA}	(-0.09)±1.5 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	(-1.3)±1.3 ^{aA}	(-1.7)±1.0 ^{aA}	(-0.7)±0.8 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 5	2.8±1.8 ^{aA}	3.5±1.5 ^{aA}	1.5±0.9 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 6	0.7±0.7 ^{aA}	(-1.2)±1.8 ^{aA}	(-0.08)±1.1 ^{aA}

หมายเหตุ: ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ค่าร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดติดลบ หมายถึง การบำบัดของระบบในสัปดาห์นั้น ๆ ไม่สามารถลดมลสารลงได้ โดยพบความเข้มข้นของมลสารสูงกว่าความเข้มข้นของมลสารก่อนการบำบัด, ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยอักษรตัวใหญ่ (capital letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่มีระยะเก็บเกี่ยวและเติมแหวนแดงแตกต่างกัน (p≥0.05), ค่าในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรตัวเล็ก (small letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน (p≥0.05), จำนวนตัวอย่าง (n) = 6



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ย TSS ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะการเก็บเกี่ยวและเติมแหวนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ย TDS ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะการเก็บเกี่ยวและเติมแหวนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน

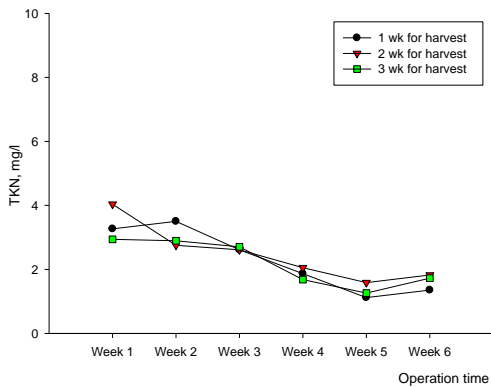
ตารางที่ 4 ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร ของระบบบำบัดน้ำเสียพีชลอยน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ/ ระยะเวลาการบำบัดของระบบ	ระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแ่งใหม่ลงสู่ระบบ		
	ทุก 1 สัปดาห์	ทุก 2 สัปดาห์	ทุก 3 สัปดาห์
TKN (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	26.0±21.1 ^{aA}	32.4±15.5 ^{aA}	51.5±14.6 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 2	(-7.1)±34.7 ^{aA}	26.2±23.4 ^{aA}	4.5±20.3 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	(-16.6)±34.8 ^{aA}	(-43.0)±39.2 ^{aA}	(-79.5)±67.3 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	17.2±13.8 ^{aA}	21.9±17.0 ^{aA}	36.2±7.0 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 5	41.3±8.6 ^{aA}	23.5±19.2 ^{aA}	26.1±15.7 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 6	(-42.9)±26.3 ^{aA}	(-41.3)±34.9 ^{aA}	(-51.4)±20.9 ^{aA}
TP (ร้อยละของการบำบัด)			
สัปดาห์ที่ 1	20.3±9.6 ^{aA}	35.3±7.0 ^{aA}	(-5.4)±24.1 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 2	(-23.3)±23.9 ^{aA}	(-11.4)±13.4 ^{aA}	(-12.4)±15.1 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 3	(-48.4)±25.7 ^{abA}	(-34.0)±40.0 ^{aA}	(-24.1)±25.3 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	(-4.0)±36.0 ^{aA}	(-429.5)±301.4 ^{aA}	(-3.6)±42.1 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 5	(-191.0)±121.1 ^{ba}	52.0±12.1 ^{aA}	(-22.0)±45.9 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 6	17.3±25.1 ^{aA}	(-294.4)±118.7 ^{aA}	(-36.5)±53.1 ^{aA}

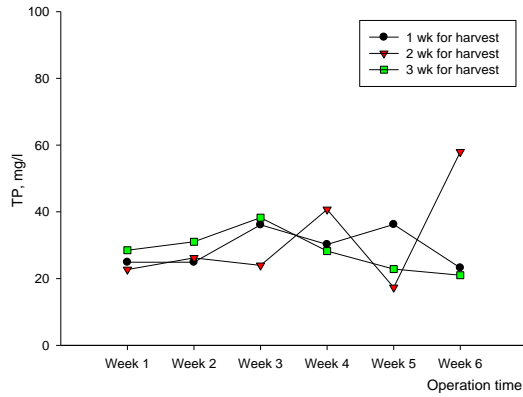
หมายเหตุ: ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ค่าร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดคิดลบ หมายถึง การบำบัดของระบบในสัปดาห์นั้น ๆ ไม่สามารถลดมลสารลงได้โดยพบความเข้มข้นของมลสารสูงกว่าความเข้มข้นของมลสารก่อนการบำบัด, ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยอักษรตัวใหญ่ (capital letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่มีระยะเก็บเกี่ยวและเติมแทนแ่งแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$), ค่าในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรตัวเล็ก (small letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$), จำนวนตัวอย่าง (n) = 6

TKN ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแ่งใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่าความเข้มข้นระหว่าง 0.6-6.2, 0.6-7.8 และ 0.6-5.3 mg/L ตามลำดับ (รูปที่ 5) โดยค่า TKN ในน้ำเสียของแต่ละระบบมีแนวโน้มลดต่ำลงในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด ทั้งนี้ ค่า TKN ในน้ำเสียในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบการเก็บเกี่ยวแทนแ่ง ขณะที่ ค่า TKN ในน้ำเสียของแต่ละระบบเก็บเกี่ยวมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างสัปดาห์ของการบำบัดเช่นกัน

TP ในน้ำเสียของระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแทนแ่งใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า 7.1-58.3, 3.2-106.5 และ 2.8-53.4 mg/L ตามลำดับ (รูปที่ 6) โดยพบ TP ในน้ำเสียของแต่ละระบบมีค่าสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้ ในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด พบ TP ในน้ำเสีย มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบการเก็บเกี่ยวแทนแ่ง ขณะที่ ค่า TP ในน้ำเสียของแต่ละระบบเก็บเกี่ยวแทนแ่ง มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างสัปดาห์ของการบำบัด



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ย TKN ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ย TP ในน้ำเสีย ของระบบบำบัดที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกัน

2. การใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการผลิตแหนแดง

แหนแดงในระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบบำบัด ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่า RGR ระหว่าง (-0.160)-0.155, 0.014-0.107 และ (-0.006)-0.071 d⁻¹ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยค่า RGR ของแหนแดงในระบบที่เก็บเกี่ยวแหนแดงทุก 1 และ 3 สัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรอบการเก็บเกี่ยว ขณะที่แหนแดงในระบบที่มีการเก็บเกี่ยวทุก 2 สัปดาห์ มีค่า RGR สูงในรอบที่ 3 ของการเก็บเกี่ยวหรือสัปดาห์ที่ 6 ของการบำบัด และในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด ระบบที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแหนแดงแตกต่างกัน มีค่า RGR ของแหนแดงที่เก็บเกี่ยวออกจากระบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงในระบบบำบัดที่เก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่าระหว่าง (-29.76)-124.40, 16.07-116.37 และ (-3.97)-66.27 g/m²/d ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยระบบที่มีการเก็บเกี่ยวทุก 1 และ 2 สัปดาห์ มีผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดในรอบแรกของการเก็บเกี่ยวหรือสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของการบำบัด ตามลำดับ

และแตกต่างจากสัปดาห์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงที่เก็บเกี่ยวในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน ทั้งนี้ แหนแดงในระบบที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยอัตราการเพิ่มของน้ำหนักสดเท่ากับ 1.78 1.37 และ 0.78 เท่าต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าอัตราการขยายตัวของแหนแดงในพื้นที่เลี้ยงที่เหมาะสม ทั้งนี้ ในพื้นที่เลี้ยงที่เหมาะสมในสภาพการเลี้ยงปกติ แหนแดงจะขยายตัวได้เป็น 2 เท่า (doubling time) ใน 3-6 วัน โดยพื้นที่เลี้ยงแหนแดงที่เหมาะสมจะต้องมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำอย่างเพียงพอ และมีธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดง ได้แก่ K, Fe, Mo, Mg, Ca, Mn และ B ในปริมาณที่เหมาะสมด้วย (ประยูรและบรรพหาญ, 2544)

ระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ ให้ผลผลิตแหนแดงสดรวมตลอด 6 สัปดาห์ของการบำบัด เท่ากับ 5.66 5.46 และ 3.33 kg/m² หรือเฉลี่ย 0.94 0.91 และ 0.56 kg/m²/wk โดยพบกำลังการผลิตแหนแดงสดสุทธิสูงสุดในระบบที่เก็บเกี่ยวแหนแดงทุกสัปดาห์ ซึ่งไม่

แตกต่างจากระบบบำบัดที่มีการเก็บเกี่ยวแห้งแดง ทุก 2 สัปดาห์ มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของ 2 สัปดาห์ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของแห้งแดงในระบบที่เก็บเกี่ยวและเติมแห้งแดงใหม่ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ มีค่าระหว่าง (-1.60)-4.70, 0.26-4.19 และ (-0.10)-2.72 g/m²/d ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยระบบที่เก็บเกี่ยวแห้งแดง ทุก 2 สัปดาห์ มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของแห้งแดงเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 ของการบำบัด หรือรอบที่ 3 ของการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม น้ำหนักแห้งของแห้งแดงที่เก็บเกี่ยวในแต่ละสัปดาห์ มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่มีการเก็บเกี่ยวต่างกัน

ตารางที่ 6 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์และผลผลิตแห้งแดง จากระบบบำบัดน้ำเสียพีชลอยน้ำ

ดัชนี (หน่วย)/ ระยะเวลาการบำบัดของระบบ	ระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแห้งแดงใหม่ลงสู่ระบบ		
	ทุก 1 สัปดาห์	ทุก 2 สัปดาห์	ทุก 3 สัปดาห์
Relative growth rate (d⁻¹)			
สัปดาห์ที่ 1	0.0818±0.01 ^a	-	-
สัปดาห์ที่ 2	0.0495±0.015 ^{aA}	0.0488±0.010 ^{bA}	-
สัปดาห์ที่ 3	(-0.0087)±0.017 ^{aA}	-	0.0193±0.007 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	0.0560±0.045 ^{aA}	0.0478±0.013 ^{bA}	-
สัปดาห์ที่ 5	0.0275±0.053 ^a	-	-
สัปดาห์ที่ 6	0.026±0.072 ^{aA}	0.0933±0.007 ^{aA}	0.0278±0.007 ^{aA}
Fresh yield (g/m²/d)			
สัปดาห์ที่ 1	91.57±8.01 ^a	-	-
สัปดาห์ที่ 2	70.04±16.19 ^{abA}	71.23±14.94 ^{aA}	-
สัปดาห์ที่ 3	21.23±6.49 ^{bA}	-	31.28±13.86 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	32.84±17.20 ^{bA}	26.19±4.52 ^{bA}	-
สัปดาห์ที่ 5	29.66±17.24 ^b	-	-
สัปดาห์ที่ 6	28.81±23.21 ^{bA}	64.98±13.19 ^{aA}	21.56±6.14 ^{aA}
Dry yield (g/m²/d)			
สัปดาห์ที่ 1	1.90±0.33 ^a	-	-
สัปดาห์ที่ 2	1.09±0.36 ^{aA}	1.29±0.34 ^{bA}	-
สัปดาห์ที่ 3	(-0.06)±0.26 ^{aA}	-	0.46±0.18 ^{aA}
สัปดาห์ที่ 4	2.03±1.16 ^{aA}	1.35±0.45 ^{bA}	-
สัปดาห์ที่ 5	1.58±1.2 ^a	-	-
สัปดาห์ที่ 6	1.86±1.39 ^{aA}	3.27±0.46 ^{aA}	1.28±0.53 ^{aA}

หมายเหตุ: ค่าในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ค่า RGR และ yield ที่ติดลบ หมายถึง แห้งแดงที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบในสัปดาห์นั้น ๆ ไม่มีอัตราการเติบโตที่เพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักผลผลิตแห้งแดงต่ำกว่าน้ำหนักแห้งแดงตั้งต้นที่เติมลงสู่ระบบ, ค่าในแต่ละแถวที่ตามด้วยอักษรตัวใหญ่ (capital letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระบบที่มีระยะเก็บเกี่ยวและเติมแห้งแดงแตกต่างกัน (p≥0.05), ค่าในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรตัวเล็ก (small letter) เหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกัน (p≥0.05), จำนวนตัวอย่าง (n) =

วิจารณ์ผลการวิจัย

1 การลดมลสารในน้ำเสียของระบบ

น้ำเสียที่ทำการบำบัด มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของฟาร์ม อย่างไรก็ตาม การเจือจางทำให้ค่าดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนมลสารมีค่าลดลง โดยน้ำเสียที่บำบัด มีค่า pH เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย ค่า DO สูงกว่าน้ำเสียจากบ่อรวบรวม ซึ่งเกิดจากการผสมกับน้ำที่มีค่า DO สูงกว่า และการเติมออกซิเจนจากอากาศในขณะที่เจือจางและเมื่อน้ำได้สัมผัสกับอากาศ ค่า EC และ TDS มีค่าลดต่ำลงหลังการเจือจาง ทั้งนี้ ค่า TSS ของน้ำเสียจากบ่อรวบรวม มีค่าสูงกว่าค่า TSS ของเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มประเภท ก (เทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว) หรือเกณฑ์มาตรฐาน ก ซึ่งกำหนดให้ค่า TSS เท่ากับ 150 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) และหลังการเจือจาง TSS ของน้ำเสียมีค่าลดต่ำลง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.5 mg/l ค่า BOD₅ ในน้ำเสียจากบ่อรวบรวม มีค่าสูงกว่าค่า BOD₅ ของเกณฑ์มาตรฐาน ก ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 60 mg/l เล็กน้อย แต่มีค่าต่ำกว่าค่า BOD₅ ของเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจาก ฟาร์มประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 500-5,000 ตัว) และฟาร์มประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) หรือเกณฑ์มาตรฐาน ข ซึ่งกำหนดให้มีค่า BOD₅ ในน้ำทิ้งไม่เกิน 100 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ขณะที่ค่า BOD₅ ในน้ำเสียหลังการเจือจางก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.8 mg/l ค่า COD ในน้ำเสียจากบ่อรวบรวม มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน ก ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 300 mg/l ขณะที่ COD ในน้ำเสียหลังการเจือจางก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.0 mg/l ค่า TKN ในน้ำเสียจากบ่อรวบรวม มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน ก ซึ่งกำหนดค่าเท่ากับ 120 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ,

2546) ส่วน TKN ในน้ำเสียหลังการเจือจาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.8 mg/l

จากการตรวจวัดพบว่า ค่า DO ของน้ำเสียที่ทำการบำบัดในแต่ละหน่วยทดลอง มีค่าลดต่ำลงในสัปดาห์แรกของการบำบัด แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่โดยมีการผันแปรในช่วงแคบๆ ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า DO ของน้ำเสียในระบบบำบัดคือความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปมลสารของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้ ค่า DO ในน้ำเสียลดลง โดยเฉพาะในสัปดาห์แรกซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการบำบัดของระบบ จากนั้น DO จึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ลดลงอันเป็นผลจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายในน้ำเสียมีปริมาณลดลง นอกจากนั้น ค่า DO ที่เพิ่มขึ้นยังเกิดจากการเติมออกซิเจนจากอากาศและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ (ประมาณ, 2531) อย่างไรก็ตาม การปกคลุมผิวน้ำของแหนแดงที่มีปริมาณมากเกินไปอาจขัดขวางการละลายของออกซิเจนจากบรรยากาศ และการเติมออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (US. EPA., 2000) pH ของน้ำเสียในระบบ มีค่าผันแปรในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า pH ของน้ำเสีย ได้แก่ การลดลงของ CO₂ ในน้ำ จากการนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และการได้รับ free CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻, H⁺ และ OH⁻ ของน้ำจากกระบวนการทางชีวภาพและเคมี (ประมาณ, 2531) ค่า EC ของน้ำเสียในแต่ละสัปดาห์ของการบำบัด มีแนวโน้มลดต่ำลงเป็นลำดับ ซึ่งบ่งชี้ถึงการลดลงของเกลืออนินทรีย์ที่สามารถแตกตัวให้ประจุที่นำไฟฟ้าได้ และรวมถึงการลดลงของมลสารประเภทสารอนินทรีย์จากกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในระบบ และพบว่าค่า EC มีความสัมพันธ์กับค่า TDS ของน้ำเสียด้วย

การผันแปรของค่า COD และ BOD loading rate พบว่าเป็นผลจากการผันแปรของค่า COD และ BOD₅ ในน้ำเสีย จากกระบวนการบำบัด และการผันแปรของปริมาณน้ำในระบบจากการระเหยและการได้รับน้ำฝนของระบบ เนื่องจากระบบตั้งอยู่ในพื้นที่โล่ง จึงได้รับอิทธิพลจากสภาพตามธรรมชาติ ที่ส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของระบบบำบัดที่ขลอยน้ำซึ่งเป็นระบบที่อาศัยกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติ การบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของระบบบำบัดที่ขลอยน้ำนี้ ส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ทำให้สารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (particulate organic matter: POM) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved organic matter: DOM) และ DOM จะเกิดการย่อยสลายเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซเช่นคาร์บอนไดออกไซด์แล้วระเหยออกจากระบบ ซึ่งการเปลี่ยนรูปนี้จะเกิดได้ดีภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic condition) นอกจากนี้ สารอินทรีย์ในรูป POM ยังสามารถถูกบำบัดออกจากน้ำเสียได้ด้วยการตกตะกอน (sedimentation) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ช่วยลดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย (Kadlec and Knight, 1996; Reddy and D'Angelo, 1997) นอกจากนี้ การดูดซับ (adsorption) ของ POM และสารอินทรีย์ในรูปคอลลอยด์ (colloid) กับผนังของหน่วยทดลอง และส่วนต่างๆ ของพืช สามารถช่วยลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงได้บ้าง แต่เกิดได้น้อยเนื่องจากแหวนแดงมีส่วนที่จมอยู่ในน้ำไม่มากนัก จากกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ระบบสามารถลดสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ได้ด้วยค่า BOD₅ และทำให้ค่า BOD₅ ในน้ำเสียลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม จะพบประสิทธิภาพการบำบัด COD บางส่วนมีค่าเป็นลบ และค่า COD ในน้ำเสียมีการผันแปรขึ้นลง ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีการสูญเสียน้ำจากการระเหย ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของมลสารในน้ำ

เสียมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นตามระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เศษซากแหวนแดงและสารอินทรีย์ที่ติดมากับแหวนแดงใหม่ที่เติมลงสู่ระบบยังเป็นปัจจัยหนึ่ง que เพิ่มค่า COD และ BOD₅ ให้กับน้ำเสียในระบบ ทั้งนี้ ค่า BOD₅ เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ ขณะที่ ค่า COD บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางเคมีซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลาย ผลการศึกษาจึงบ่งชี้ว่าการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบนั้น สามารถลดสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ง่ายลงได้ ขณะที่สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากยังคงเหลืออยู่ในน้ำซึ่งบ่งชี้ได้ด้วยค่า COD ในน้ำเสีย ที่พบว่ามีความผันแปรขึ้นลง ขณะที่ค่า BOD₅ ในน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้ พบว่าการบำบัด BOD₅ ในน้ำเสียของระบบ มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า การบำบัด BOD₅ ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียบ่อหมักไร้อากาศด้วยแหวนแดง ซึ่ง ณัฐสิมาและคณะ (2554) ได้รายงานประสิทธิภาพการบำบัด BOD₅ ในช่วงเวลา 7-21 วัน ของการบำบัด มีค่าระหว่างร้อยละ 60-95 ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมแหวนแดงใหม่ลงสู่ระบบเป็นระยะอาจเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ลงสู่ระบบ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง COD และ BOD₅ ของระบบ

การบำบัด TSS ในน้ำเสียของระบบบำบัด โดยทั่วไปและรวมถึงระบบบำบัดที่ขลอยน้ำนั้น มักเกิดพร้อมกับการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดย TSS ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดด้วยการตกตะกอน และ TSS บางส่วนจะถูกบำบัดโดยการดูดซับติดอยู่กับวัตถุต่างๆ และรากหรือใบของแหวนแดงส่วนที่สัมผัสน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีพื้นผิวสัมผัสน้อยดังนั้นการดูดซับของ TSS ติดอยู่กับแหวนแดงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไม่มากนัก ขณะที่

เศษซากของแผนแดงรวมถึงเศษสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ติดมากับแผนแดงใหม่ที่เติมลงสู่ระบบแทนที่แผนแดงที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากระบบ จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่า TSS และมลสารรูปอื่นให้กับน้ำเสียในระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TSS บางส่วนมีค่าติดลบ นอกเหนือจากความเข้มข้นของ TSS ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการสูญเสียจากการระเหย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า TSS ในน้ำเสียของแต่ละระบบเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มสูงขึ้น จะพบว่า TSS มีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์แรกของการบำบัดอย่างชัดเจนในทุกกระบวนการเก็บเกี่ยวแผนแดง

ค่าประสิทธิภาพการบำบัด TDS ในน้ำเสียเป็นผลรวมทั้งจากการเปลี่ยนรูปของของแข็งไม่ละลายน้ำมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ซึ่งจะทำให้ค่า TDS สูงขึ้น และจากการสูญเสีย TDS ออกไปจากน้ำจากการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซแล้วระเหยออกไป (volatilization) สูญเสียจากการตกตะกอนเคมี (precipitation) และจากการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (assimilation) ดังนั้น ประสิทธิภาพการบำบัด TDS จึงมีค่าผันแปรทั้งในทิศทางบวกและลบ ทั้งนี้รวมถึงการได้รับอิทธิพลจากการระเหยของน้ำออกจากระบบด้วย

การลดไนโตรเจนในน้ำเสียของระบบบำบัดพืชลอยน้ำส่วนใหญ่เป็นผลจากการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนผ่านกระบวนการ ammonification, nitrification และ denitrification (US. EPA, 1988) ซึ่งสองกระบวนการแรกจะทำให้ได้ธาตุอาหารที่ถูกนำไปใช้ได้โดยสิ่งมีชีวิต ขณะที่ denitrification จะทำให้ได้ผลผลิตในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2O , N_2) ซึ่งจะระเหยออกจากระบบ นอกเหนือจากการระเหยของไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) (Reddy and D'Angelo, 1997) และเนื่องจากไนโตรเจนบางส่วนอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (particulate nitrogen) ดังนั้นกระบวนการบำบัด TSS ในน้ำเสียที่เกิดในระบบจึง

ส่งผลต่อการลดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วย การนำไนโตรเจนไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (plant and microbial uptake) โดยเฉพาะแผนแดงและสาหร่ายที่เกิดในระบบจะทำให้ไนโตรเจนในน้ำเสียมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตาม การนำแผนแดงกลุ่มใหม่ลงสู่ระบบซึ่งอาจมีเศษซากแผนแดงและสารอินทรีย์อื่น ๆ ติดมากับแผนแดงด้วยนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มค่าไนโตรเจนและมลสารอื่นให้กับน้ำเสียในระบบ ดังนั้นจึงพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในแต่ละสัปดาห์ มีค่าผันแปรทั้งในทิศทางบวกและลบเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัดมลสารอื่น อย่างไรก็ตาม โดยรวมแล้วพบว่า ค่าไนโตรเจนในน้ำเสียมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ ญัฐสิมา และคณะ (2554) ได้รายงานประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียบ่อหมักไร้อากาศด้วยแผนแดง ในช่วงเวลา 7-21 วันของการบำบัด มีค่าระหว่างร้อยละ 6-76 ซึ่งหมายถึง TKN ในน้ำเสียได้ถูกบำบัดและมีค่าลดต่ำลง ขณะที่การเติมแผนแดงใหม่ลงสู่ระบบที่ทำการศึกษานี้ เป็นระยะ ๆ อาจเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์รวมถึงอินทรีย์ไนโตรเจนให้กับระบบ ทำให้ค่า TKN ในน้ำเสียของระบบมีค่าผันแปรขึ้นลง และส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของระบบ

การลด TP ในระบบบำบัดพืชลอยน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการตกตะกอนเคมีของฟอสฟอรัส ร่วมกับ Fe, Al หรือ Ca และการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (Reddy and D'Angelo, 1997) สำหรับระบบบำบัดที่ศึกษานี้ ฟอสฟอรัสอาจตกตะกอนร่วมกับ Ca ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวงคอนกรีต และ Fe ในน้ำ อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนเคมีสามารถผันกลับคืนสู่รูปของสารละลายและเพิ่มค่าฟอสฟอรัสให้กับน้ำเสียได้เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า DO และ pH ของน้ำเสีย ดังนั้นกระบวนการ precipitation จึงไม่สามารถลด TP ใน

น้ำเสียลงได้อย่างถาวร และยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมหลายประการด้วยกัน อย่างไรก็ตาม การนำฟอสเฟตไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตสามารถลดฟอสฟอรัสในน้ำเสียลงได้เช่นเดียวกับไนโตรเจน และคาดว่าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อแนวโน้มการลดลงของ TP ในน้ำเสียของระบบ

2 การใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในการผลิตแหนแดง

ผลผลิตแหนแดงสดที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่มีระยะเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบการเก็บเกี่ยว ที่ศึกษานี้ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m² ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำหนักสดสูงสุดของแหนแดงจากระบบบำบัด มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำหนักสดสูงสุดของแหนแดงจากระบบการเพาะเลี้ยงตามปกติ ซึ่ง ประยูร และคณะ (2527) ระบุว่า แหนแดง (*Azolla* spp.) จะให้ปริมาณน้ำหนักสดสูงสุด ระหว่าง 1,250.0-1,870.0 g/m² หลังจากเริ่มการเพาะพันธุ์ ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่ทำการศึกษานี้ เป็นผลจากในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้ โดยจะพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงลดลงตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของค่า TKN ใน น้ำเสียในระบบบำบัด ทั้งนี้ ผลการศึกษาค่า RGR และผลผลิตน้ำหนักแห้งของแหนแดงที่พบค่าเป็นลบนั่นเป็นผลเนื่องจากแหนแดงที่เก็บเกี่ยวได้ในรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าน้ำหนักแห้งต่ำกว่าค่าน้ำหนักแห้งของแหนแดงตั้งต้นที่เติมลงสู่ระบบ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลผลิตน้ำหนักสดในรอบการเก็บเกี่ยวดังกล่าวมีค่าต่ำ ประกอบกับแหนแดงจากรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าความชื้นสูง ซึ่งหมายถึงแหนแดงมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำสูง ดังนั้นค่าน้ำหนักแห้งและค่า RGR ของแหนแดงจึงมีค่าต่ำ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำที่ใช้แหนแดงเป็นพืชในระบบ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ (COD และ BOD₅) ของแข็ง (TSS และ TDS) และธาตุอาหาร (TKN และ TP) ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ทั้งนี้ช่วงเวลาหรือความถี่ของการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบที่แตกต่างกัน คือ ทุก 1 2 และ 3 สัปดาห์ ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการลดมลสารของระบบ อย่างไรก็ตาม พบค่า BOD₅, TSS, TDS และ TKN ในน้ำเสียของแต่ละระบบมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ นอกจากอิทธิพลของกระบวนการบำบัดหลัก อันได้แก่ การตกตะกอนของแข็ง การย่อยสลายและเปลี่ยนรูปมลสารโดยจุลินทรีย์ การตกตะกอนเคมี และการดูดซึมธาตุอาหารไปใช้โดยพืช ที่เกิดขึ้นในระบบแล้ว การระเหยของน้ำออกจากระบบและการได้รับเศษซากอินทรีย์และมลสารอื่นที่ติดมากับแหนแดงใหม่ที่เติมลงสู่ระบบภายหลังการเก็บเกี่ยว ยังเป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลสารของระบบ และผลการศึกษาข้างสรุปได้ว่า การเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ลงสู่ระบบทุก 2 สัปดาห์ เป็นระบบการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมหากต้องการผลผลิตแหนแดง เนื่องจากให้ผลผลิตสูงเทียบเท่ากับระบบการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงใหม่ทุกสัปดาห์ โดยไม่ต้องทำการเก็บเกี่ยวและเติมแหนแดงลงสู่ระบบถี่เกินความจำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และขอขอบคุณภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่

ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวก
สะดวกให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและ
บำรุงรักษา ระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบ
มาตรฐานกรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า
25-27.
- ณัฐสิมา โทชน์ ชูสิมาศ บุญไทย อิวาย และมงคล ต๊ะอุ่น.
(2554). การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้
แหนแดง. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเสนอ
ผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 12.
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 779-783.
- นุชนันท์ พลฤทธิ์ และพันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก. (2556). การลด
มลสารในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของแหนแดงในระบบ
พืชลอยน้ำ. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเสนอ
ผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 29.
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, เชียงราย. 319-327.
- ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. (2531). ชลชีววิทยา. กรุงเทพฯ: คณะ
ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 76-103.
- ประยูร สวัสดิ์ และบรรพชาญ แดงฉ่ำ. (2544). แหนแดง ชีววิทยา
และการใช้ประโยชน์. ใน: เอกสารวิชาการเรื่องปุ๋ย
ชีวภาพ. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา
กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 168-224.
- ประยูร สวัสดิ์ นันทกร บุญเกิด และสมพร ชุนท์ลือชานนท์.
(2527). รายงานการสัมมนาเทคโนโลยีชีวภาพ:
ปัจจุบันและอนาคต. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
224-238
- เพ็ญจา จิตจำรูญโชคไชย ศรีศักดิ์ สีหะเนิน และนิรุทธ์ เจริญ
โมรา. (2540). การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหารโดยใช้
แหนแดง (*Azolla microphylla*). ใน: เอกสาร
ประกอบการประชุม การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 สาขาประมง
วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ การจัดการทรัพยากร
และสิ่งแวดล้อม คหกรรมศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ และ
เศรษฐศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 589-597.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Standard Methods for the
Examination of Water and Wastewater, 18th
edition. Washington D.C.: American Public
Health Association Inc.
- Beadle, C.L. (1982). Plant growth analysis. *In*
Techniques in Bio-productivity and
Photosynthesis. New York: Pergamon Press.
pp. 20-24.
- Forni, C., Chen, J., Tancioni, L. and Caiola, M.G. (2001):
Evaluation of the fern *Azolla* for growth,
nitrogen and phosphorous removal from
wastewater. *Water Res.* 35(6): 1592-1598.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996). Treatment
Wetlands. Florida: Lewis Publishers. pp. 316-
320.
- Metcalf and Eddy Inc. (1985). Wastewater Engineering:
Treatment, Disposal and Reuse. 3rd edition.
New York: McGraw-Hill. pp. 420-422.
- Reddy, K.R. and D'Angelo, E.M. (1997). Biogeochemical
indicators to evaluate pollutant removal
efficiency in constructed wetlands. *Wat. Sci.*
Tech. 35(5): 1-10.
- U.S. EPA. (1988). Design manual: Constructed
Wetlands and Aquatic Plant Systems for
Municipal Wastewater Treatment. Cincinnati,
Ohio: Center for Environmental Research
Information. pp. 9-13.
- U.S. EPA. (2000). Constructed Wetlands Treatment of
Municipal Wastewater. Cincinnati, Ohio:
Office of Research and Development. pp.
46-52.

