



การประยุกต์ใช้ต้นสมิ (Sesbania sesban (L.) Merr.) ร่วมกับการเติมอากาศ
สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกร
Applications of *Sesbania sesban* (L.) Merr. Combined with Aeration
for Treating Anaerobic Digester Effluent of Swine Farm

นัทธพงศ์ จันทร์หอม¹ และ อรุณทัย จำปีทอง^{2*}

¹หลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Natthapong Janhom¹ and Arunothai Jampeetong^{2*}

¹Master's Degree Program in Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

¹Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200 Thailand

*Corresponding Author, E-mail: arunothai.2519@gmail.com

Received: 4 April 2019 | Revised: 13 December 2019 | Accepted: 26 December 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทำฟาร์มสุกรได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียอย่างหนึ่ง แต่น้ำทิ้งจากกระบวนการดังกล่าวยังคงเหลือสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจำนวนมากซึ่งจำเป็นต้องถูกกำจัดออกก่อนที่จะถูกปล่อยทิ้ง การใช้พืชร่วมกับการเติมอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นได้ ต้นสมิ (*Sesbania sesban* (L.) Merr.) เป็นพืชที่เติบโตเร็ว ขึ้นในที่น้ำขังได้ดีและสามารถดูดซับไนโตรเจนได้ดีแม้ที่ความเข้มข้นสูง (800 mg. L⁻¹) ทำให้เป็นพืชที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำได้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและการตอบสนองของต้นสมิในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกร ต้นสมิอายุ 30 วัน ที่ได้จากการเพาะเมล็ด นำมาชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปปลูกในถังที่มีน้ำเสีย 20 L ชุดการทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด (5 ซ้ำ) คือ ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่ไม่มีการปลูกพืช (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ไม่มีการปลูกพืช ชุดการทดลองแบบที่มีการปลูกต้นสมิร่วมกับการเติมและไม่เติมอากาศตามลำดับ วิเคราะห์คุณภาพน้ำ (DO BOD TSS TDS EC pH NH₄-N NO₃-N และ PO₄-P) ในทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 6 จากนั้นบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชและคำนวณอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ และไนโตรเจนอนินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืชจากตัวอย่างแห้ง จากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองแบบเติมอากาศทั้งที่มีและไม่มีการปลูกพืชสามารถกำจัด NH₄-N ในน้ำได้หมดภายในระยะเวลาเพียง 2 สัปดาห์ ในขณะที่ NO₃-N มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ การลดลงของ NH₄-N จะใช้เวลาจนถึง 3 สัปดาห์ ในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืชและน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งที่มีและไม่มีการปลูกพืชสามารถเพิ่มปริมาณ DO ได้ 26% 92% และ 57% รวมถึงยังช่วยลดปริมาณ BOD 34% 66% และ 56% และลดปริมาณ TSS 86% 91% และ 90% ตามลำดับ นอกจากนี้การเติมอากาศยังมีผลต่อพืช โดยพืชที่ปลูกแบบเติมอากาศมีจำนวนใบ ปมราก และการสะสม NO₃-N ในใบสูงกว่าพืชที่ปลูกแบบไม่เติมอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่จำนวนรากแขนง ปริมาณคลอโรฟิลล์ รวมถึงการสะสม NH₄-N ในราก

NO₃-N ในลำต้นและรากของพืชที่ปลูกแบบไม่เติมอากาศมีมากกว่าพืชที่ปลูกแบบเติมอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาต้นสมิจัดเป็นพืชที่น่าสนใจชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของกิจกรรมทางการเกษตรได้

ABSTRACT

Nowadays, swine farming has been increased, resulting in wastewater discharged into natural waterbodies. Anaerobic digestion process is a conventional method that has been used for treating the wastewater. However, the effluent still has excess nutrients particularly nitrogen and phosphorus that need to be removed before drained. Using plants associated with aeration is an alternative option that may improve water quality. *Sesbania sesban* (L.) Merr. is a fast-growing species. It can grow in water saturated soil and can absorb nitrogen even at high concentrations (800 mg. L⁻¹), makes this species interesting for use in water treatments. This study aims to evaluate the water treatment efficiency and responses of *S. sesban* to the anaerobic digester effluent of swine farms. The plants (30 days-old) sown from seeds were measured for their fresh weight, then placed in buckets containing 20 L wastewater. Treatments were divided into 4 treatments (5 replicates) which were i) non-aerated wastewater without plants (control); ii) aerated wastewater without plants; treatments which growing plants combined with iii) aerated and iv) non-aerated wastewater, respectively. Water quality (DO, BOD, TSS, TDS, EC, pH, NH₄-N, NO₃-N and PO₄-P) was analysed every week after begin the experiment until week 6. Then, plant morphology was recorded, and relative growth rates were calculated. Chlorophyll contents and inorganic nitrogen in the plant tissues were analyzed from dry samples. From the study, it was found that aerated wastewater treatments both with and without plants can eliminate NH₄-N in the wastewater within 2 weeks, whereas NO₃-N concentrations increased. Compared with the treatments of non-aerated wastewater, NH₄-N was removed within 3 weeks. DO concentrations increased 26%, 92% and 57% in the treatments of non-aerated wastewater with plants, and aerated wastewater with and without plant, respectively. Moreover, BOD concentrations reduced 34%, 66% and 56% and TSS concentrations reduced 86%, 91% and 90%, respectively in these treatments. Furthermore, the aeration also affects plants. In the aerated treatments, plants had number of leaves, nodule and NO₃-N accumulation in the leaves were significantly higher than the plant growing in the non-aerated treatments. While the number of lateral roots, chlorophyll content, NH₄-N accumulation in roots and NO₃-N accumulation in the stems and roots of the plant growing in the non-aerated treatments were significantly higher than the plant growing in the aerated treatments. Therefore, *S. sesban* is an interesting species that can be used for treating wastewater from anaerobic digester effluent of livestock activities.

คำสำคัญ: การเติมอากาศ สมิจัด น้ำเสียจากฟาร์มสุกร การบำบัดน้ำเสีย

Keywords: Aeration, *Sesbania sesban*, Swine wastewater, Wastewater treatment

บทนำ

ในปัจจุบันพบว่าปริมาณสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชน กิจกรรมทางการเกษตรโดยเฉพาะการเลี้ยงสุกรที่มี

การขยายตัวอย่างรวดเร็วตามความต้องการของผู้บริโภค (Arnell, 2004) ก่อให้เกิดน้ำเสียจากน้ำล้างคอกและการทำความสะอาดตัวสุกรที่มีของเสียจากการขับถ่ายและสิ่งปฏิกูลปะปนมากับน้ำหลังจากกิจกรรมดังกล่าว ซึ่งโดยปกติที่ปนเปื้อนสิ่งปฏิกูลเหล่านี้จะถูกลบทิ้งโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

(anaerobic digester) แล้วผลิตแก๊สมีเทนที่สามารถใช้ในครัวเรือน และยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดให้ดีขึ้นอีกด้วย (Mateescu, 2016) อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีข้างต้นยังขาดการจัดการที่ดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Evans et al., 1984) จึงยังคงหลงเหลือสารอินทรีย์ที่ต้องอาศัยออกซิเจนในการย่อยสลายและสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนปริมาณสูงในรูปของไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) และแอมโมเนียม ($\text{NH}_4\text{-N}$) และสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต ($\text{PO}_4\text{-P}$) (Fahmy et al., 2004) ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารสำคัญที่ส่งเสริมการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช หากมีปริมาณสารอาหารดังกล่าวในน้ำเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วจนก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำเหล่านั้น การใช้พืชบำบัดน้ำเสียถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดต้นทุนในการบำบัดโดยพืชมีบทบาทด้านดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำจัดเป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Brix, 2003; Ansari et al., 2011) จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีพืชหลายชนิดที่สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่เป็นน้ำทิ้งซึ่งอุดมไปด้วยสารอินทรีย์จำนวนมากจากกิจกรรมทางปศุศัตว์ นอกจากนี้ Deng et al. (2006) ได้รายงานถึงการเติมอากาศลงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ดีขึ้นโดยสามารถกำจัด COD และ $\text{NH}_4\text{-N}$ ได้ 7% และ 81% ตามลำดับ Gonzalez et al. (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การใช้พืชในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของประเทศเม็กซิโก พบว่า *Typha latifolia* L. และ *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. and Schult. มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน และมีความสามารถในการกำจัด TSS, COD, BOD, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ และ $\text{PO}_4\text{-P}$ ที่ 78%, 78%, 74%, 79%, 81% และ 28% ตามลำดับ และจากรายงานของ Klomjek (2016) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของหญ้าเนเปียร์ 2 สายพันธุ์ คือ Giant Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumacher cv. King grass) และ Dwarf Napier grass (*P. purpureum* cv. Mott.) พบว่า ทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถกำจัด BOD และ TKN ได้มากกว่า 70%

สำหรับต้นสมิ (*Sesbania sesban* (L.) Merr.) จัดเป็นพืชที่พบขึ้นทั่วไป (Dan et al., 2011) ในที่ชื้นแฉะหรือพื้นที่น้ำท่วมถึง (Young, 1997) จัดเป็นพืชที่เติบโตเร็ว มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน (Phiri et al., 2003) และยังสามารถดูดซับไนโตรเจนได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึง $800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Indieka and Odee, 2005) ดังนั้นจึงคาดว่าต้นสมิน่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรให้มีปริมาณลดลงได้ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของต้นสมิและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรร่วมกับการเติมอากาศ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพืชสำหรับการบำบัดน้ำเสียและการออกแบบระบบด้านการเติมอากาศเพื่อเพิ่มศักยภาพของระบบบำบัดน้ำให้ดียิ่งขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 400 L ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกร สังกัดภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นวัดคุณภาพของน้ำเสีย (อุณหภูมิ, DO, BOD, TSS, pH, EC, TDS, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ และ $\text{PO}_4\text{-P}$) ก่อนเริ่มการทดลอง (ตารางที่ 1)

2. การเตรียมพืชทดลอง

คัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ของต้นสมิเพาะลงในถุงดำที่มีดินปลูก เมื่อต้นสมิอายุครบ 30 วันนำมาใช้สำหรับทำการทดลอง โดยก่อนเริ่มการทดลองคัดเลือกพืชที่มีขนาดเท่ากัน (สูงประมาณ 25 cm และน้ำหนักสดประมาณ 16 g) จำนวน 5 ต้น นำมาชั่งน้ำหนักสด (FW) และนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้ง (DW) แล้วคำนวณ FW/DW ratio เพื่อนำไปใช้คำนวณอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate, RGR) ของพืชต่อไป

3. การเตรียมการทดลอง

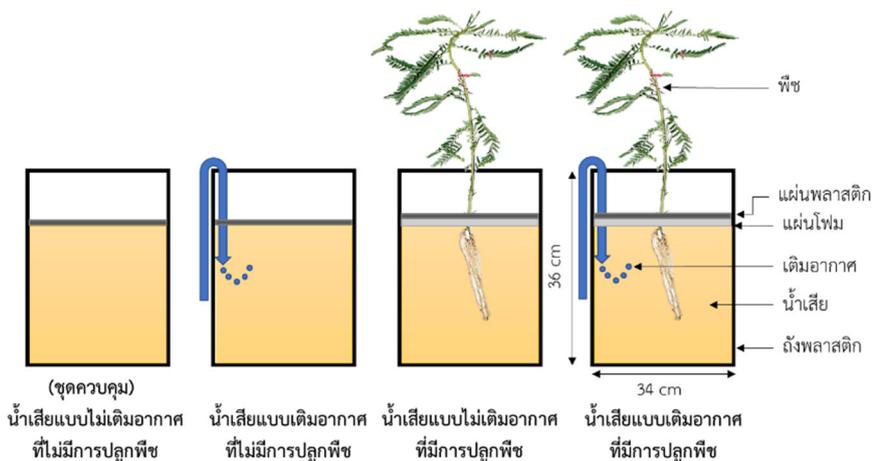
นำตัวอย่างน้ำเสียใส่ในถัง ถังละ 20 L แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด (n=5) (รูปที่ 1) ได้แก่ 1) น้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ (ชุดควบคุม) 2) น้ำเสียแบบเติมอากาศ 3) น้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกต้นสมิ และ 4) น้ำเสียแบบเติมอากาศที่มี

การปลูกต้นสนมี ใช้แผ่นพลาสติกสีดำปิดคลุมที่ผิวน้ำทุกชุดการ ทดลองเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและการเติบโตของสาหร่าย ทำการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ภายใต้สภาวะเรือนเพาะชำของ

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้รับแสงสว่างกลางวันต่อกลางคืนเป็น 11h/13h และมี อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันต่อกลางคืนเป็น 30±5 °C : 22±5 °C

ตารางที่ 1 คุณภาพของน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (mean±SD)
Water temperature (°C)	28.0±5.0
Dissolved Oxygen (mg. L ⁻¹)	3.0±0.3
Biological Oxygen Demand (mg. L ⁻¹)	54.0±6.2
Total Suspended Solid (mg. L ⁻¹)	174.0±2.5
pH	7.0±0.03
Electrical Conductivity (mS cm ⁻¹)	1.8±1.6
Total Dissolved Solid (ppt)	0.8±0.1
NH ₄ -N concentration (mM)	2.6±6.8
NO ₃ -N concentration (mM)	0.3±2.4
PO ₄ -P concentration (mM)	0.8±2.0



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงชุดการทดลองในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรโดยใช้ต้นสนร่วมกับ การเติมและไม่เติมอากาศ

4. การศึกษาด้านการเติบโตและสัณฐานวิทยาของพืช

เมื่อครบ 6 สัปดาห์ เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทาง สัณฐานวิทยาของพืช ในด้านความสูง ความยาวราก จำนวนราก แขนง จำนวนปมราก จำนวนใบ และคำนวณอัตราการเติบโตจาก ความสูงของพืชที่เพิ่มขึ้น (Shoot Elongation Rate, SER) จากนั้นแยกพืชออกเป็น 3 ส่วน คือ ใบ ลำต้น และรากแล้วนำไป ทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งแบบสุญญากาศ (freeze-dryer) จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชแต่ละต้นเพื่อนำมา คำนวณหาอัตราการเติบโตสัมพัทธ์โดยวิธีการของ Evans (1972) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร $RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$ โดยที่ W_1

และ W_2 คือน้ำหนักแห้งของพืชก่อนและหลังการทดลอง ตามลำดับ และ t_1 และ t_2 คือ วันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ตามลำดับ

5. การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

น้ำใบของพืชที่ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง แบบสุญญากาศ (n=5) ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนัก 5 mg ใส่ ในหลอดทดลองและนำมาสกัดคลอโรฟิลล์ โดยใช้เอทานอล 96% จำนวน 8 mL เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่า การดูดกลืนแสงของสารสกัดด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer (Lambda 25, PerkinElmer, USA) ที่ความยาว

คลื่น 648.6 และ 664.2 nm และคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chl *a*), คลอโรฟิลล์ บี (chl *b*) และคลอโรฟิลล์รวม (total chlorophylls) ตามวิธีการของ Lichtenthaler (1987)

6. การวัดปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืช

นำตัวอย่างส่วนใบ ลำต้น และรากของพืชที่ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งแบบสุญญากาศ ($n=5$) ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนัก 5 mg ใส่ในหลอด centrifuge เติมน้ำกลั่นจำนวน 15 mL แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วดูดสารละลายจำนวน 5 mL มาวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer (Lambda 25, PerkinElmer, USA) เพื่อหาปริมาณแอมโมเนียม ($\text{NH}_4\text{-N}$) โดยใช้ Salicylate method (Quikchem Method No. 10- 107- 06- 3- B; Lachat Instruments, Milwaukee, WI, USA) ที่ความยาวคลื่น 690 nm และปริมาณไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยใช้ UV-method (Cedergreen and Madsen, 2002) ที่ความยาวคลื่น 202 nm คำนวณหาความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนเตรตจากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เทียบกับค่าในกราฟมาตรฐาน

7. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในแต่ละชุดการทดลอง ($n=5$) ทำการวิเคราะห์น้ำก่อนและหลังการทดลอง โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุก ๆ สัปดาห์ สัปดาห์ละครั้งต่อเนื่องกันเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยตวงน้ำ 800 mL นำไปวิเคราะห์หา (1) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) โดยใช้ Azide modification method (4500-O C) (APHA, 1998) (2) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical oxygen demand, BOD) ด้วยวิธีการ standard method 2510 B (APHA, 1998) ในส่วนของ (3) ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (Total dissolved solid, TDS) (4) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) และ (5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง multi-parameter analyzer (CyberScan PC 300, Eutech Instruments Pte Ltd., Singapore) (6) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Total suspended solid, TSS) ตามวิธีการ standard method 2540

D (APHA, 1998) โดยน้ำที่ผ่านการกรองจาก TSS จะนำมาวิเคราะห์หา แอมโมเนียม ($\text{NH}_4\text{-N}$) โดยใช้ Salicylate method (Quikchem Method No. 10- 107- 06- 3- B; Lachat Instruments, Milwaukee, WI, USA), ไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) ด้วยวิธี UV-method (Cedergreen and Madsen, 2002) และ ออร์โธฟอสเฟต ($\text{PO}_4\text{-P}$) ตามวิธีการ Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method (APHA, 1998)

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) ในส่วนคุณภาพน้ำ นำค่าคุณภาพน้ำที่วัดได้ในแต่ละสัปดาห์มาจัดทำกราฟเส้น แสดงการเปลี่ยนแปลงทั้ง 6 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของคุณภาพน้ำในแต่ละสัปดาห์ด้วยวิธีการ one-way analysis of variance (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างในแต่ละชุดทดลองด้วยวิธี Tukey's HSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนการเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืช นำข้อมูลมาทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืช

หลังจากทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการเติมอากาศไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ ความสูงของพืช อัตราการเติบโตจากความสูงของพืชที่เพิ่มขึ้น และความยาวราก แต่การเติมอากาศไปมีผลต่อจำนวนใบ และจำนวนปมราก ทำให้พืชในชุดการทดลองดังกล่าวมีจำนวนใบและปมรากมากกว่าชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันพบว่าพืชที่ปลูกในน้ำเสียแบบเติมอากาศมีจำนวนรากแขนง น้อยกว่าพืชที่ปลูกในน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

2. ปริมาณคลอโรฟิลล์

พืชที่ ปลูกในน้ำเสียแบบเติมอากาศจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ คลอโรฟิลล์รวม ต่ำกว่าพืชที่ปลูกในน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นสมิ (S. sesban) ที่ปลูกภายใต้การบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร วิเคราะห์ผลโดยใช้ T-Test (mean±SE) และทดสอบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง

	เต็มอากาศ	ไม่เต็มอากาศ	p-value
อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) (g. g ⁻¹ d ⁻¹)	0.0065±0.0019	0.01±0.0031	0.37 ^{ns}
ความสูง (cm)	80.20±1.62	82.80±3.31	0.50 ^{ns}
อัตราการเติบโตจากความสูงของพืชที่เพิ่มขึ้น (SER) (mm d ⁻¹)	1.31±0.05	1.35±0.6	0.63 ^{ns}
จำนวนใบ (ใบ)	31.40±0.75	28.20±0.86	0.02*
จำนวนรากแขนง (ราก)	46.60±1.66	71.80±2.31	0.00***
จำนวนปมราก (ปม)	68.6±4.68	35±7.62	0.005**
ความยาวราก (cm)	11.40±2.16	11.60±1.21	0.93 ^{ns}

*, p < 0.05; **, p < 0.01; ***, p < 0.001; ns, non-significant

ตารางที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์และการสะสมไนโตรเจนอนินทรีย์ของต้นสมิ (S. sesban) ที่ปลูกภายใต้การบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร วิเคราะห์ผลโดยใช้ T-Test (mean±SE) และทดสอบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง

	เต็มอากาศ	ไม่เต็มอากาศ	p-value
Chlorophyll a (mg. g ⁻¹ DW)	4.39±0.42	7.51±0.43	0.00***
Chlorophyll b (mg. g ⁻¹ DW)	2.22±0.25	3.75±0.19	0.00***
total chlorophylls (mg. g ⁻¹ DW)	6.62±0.67	11.26±0.63	0.00***
NH ₄ -N ในใบ (mg. g ⁻¹ DW)	295.20±8.63	325.44±27.05	0.31 ^{ns}
NH ₄ -N ในลำต้น (mg. g ⁻¹ DW)	213.02±14.94	217.63±11.76	0.81 ^{ns}
NH ₄ -N ในราก (mg. g ⁻¹ DW)	122.50±10.62	161.66±10.12	0.02*
NO ₃ -N ในใบ (mg. g ⁻¹ DW)	3591.09±34.58	3162.62±128.20	0.01*
NO ₃ -N ในลำต้น (mg. g ⁻¹ DW)	1338.74±81.98	1526.78±53.87	0.02*
NO ₃ -N ในราก (mg. g ⁻¹ DW)	646.06±44.17	878.40±41.12	0.005**

*, p < 0.05; **, p < 0.01; ***, p < 0.001; ns, non-significant

3. ปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืช

จากการทดลองพบว่า ในชุดการทดลองแบบไม่เต็มและเต็มอากาศมีการสะสม NO₃-N ในเนื้อเยื่อทุกส่วนของพืชมากกว่า NH₄-N โดยส่วนใบ ของพืชที่ปลูกในน้ำเสียแบบเต็มอากาศมีแนวโน้มการสะสม NO₃-N สูงกว่าในชุดการทดลองแบบไม่เต็มอากาศ ในขณะที่ส่วนของลำต้น และราก มีการสะสม NO₃-N น้อยกว่าชุดที่ไม่มีการเติมอากาศ สำหรับการสะสม NH₄-N พบว่า พืชมีแนวโน้มการสะสม NH₄-N เพิ่มขึ้นในกรณีที่ไม่มีการเติมอากาศ โดยจะเห็นชัดเจนในส่วนราก (ตารางที่ 3)

4. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

หลังจาก 6 สัปดาห์ของการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเต็มอากาศทั้งมีและไม่มีการปลูกพืชสามารถลดปริมาณ NH₄-N (รูปที่ 2ก) ได้มากกว่า 50% ในช่วงสัปดาห์แรก และยังช่วยกำจัด NH₄-N ให้หมดไปภายในระยะเวลา

เพียง 2 สัปดาห์ ส่วนชุดควบคุม (ไม่เต็มอากาศ) และชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เต็มอากาศที่มีการปลูกพืช (รูปที่ 2ก) สามารถกำจัด NH₄-N ได้หมดต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 3 สัปดาห์ ส่วนปริมาณ NO₃-N (รูปที่ 2ง) ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุมแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ ตลอด 6 สัปดาห์ของการทดลอง ส่วนปริมาณ PO₄-P พบว่า ในแต่ละชุดการทดลองจะมีแนวโน้มลดลงในช่วงสัปดาห์แรก จากนั้นในแต่ละชุดการทดลองช่วงสัปดาห์ที่ 2-3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วค่อนข้างคงที่ แต่ในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เต็มอากาศที่มีการปลูกพืชจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 (รูปที่ 2ข)

สำหรับคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดโดยใช้ต้นสมิ พบว่า ในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเต็มอากาศที่มีการปลูกต้นสมิจะมีค่า DO เพิ่มขึ้นถึง 92% (รูปที่ 2ข) ส่วนในชุดการ

ทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ไม่มีการปลูกพืชและชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืชมีค่า DO ที่เพิ่มขึ้นเป็น 57% และ 26% ตามลำดับและเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีค่า DO ลดลง 86% ส่วน BOD ในชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืช ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งไม่มีและมีการปลูกพืชสามารถลดปริมาณ BOD ได้ประมาณ 47% 34% 56% และ 66% ตามลำดับ (รูปที่ 2ค) และ TSS ในชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืช ชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งไม่มีและมีการปลูกพืชสามารถลดปริมาณ TSS ได้ประมาณ 85% 86% 90% และ 91% ตามลำดับ (รูปที่ 2จ) ในขณะที่ค่า pH ในทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.8-7.3 (รูปที่ 2ฉ) ในทำนองเดียวกันกับค่า EC และ TDS ค่อนข้างคงที่ในทุกชุดการทดลองตลอดช่วง 5 สัปดาห์ของการทดลอง และในช่วงสัปดาห์สุดท้ายจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืช (รูปที่ 2ช และ 2ฉ)

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเติบโตและสัณฐานวิทยาของพืช

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของต้นสมิระหว่างชุดการทดลองแบบเติมและไม่เติมอากาศ พบว่าในทั้ง 2 ชุดการทดลอง พืชมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าออกซิเจนไม่มีผลต่อการเติบโตของต้นสมิ สอดคล้องกับการศึกษาในต้น *Hordeum marinum* Huds. (Malik et al., 2009) อย่างไรก็ตาม สภาวะการขาดออกซิเจนส่งผลทำให้พืชเกิดการปรับตัวทางด้านสัณฐานวิทยาในด้านจำนวนใบ การเกิดปมราก และจำนวนรากแขนง โดยในสภาวะขาดออกซิเจนพืชจะมีกลไกการลดการหายใจจึงส่งผลให้จำนวนใบลดลง ซึ่งการศึกษาของ Mckee (1996) พบว่า จำนวนใบของต้นแสม *Avicennia germinans* (L.) L. ลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน เช่นเดียวกับจำนวนปมรากที่พบในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศมีจำนวนลดลง เนื่องจากสภาวะขาดออกซิเจนในน้ำส่งผลต่อกระบวนการหายใจ ทำให้การเติบโตและการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างปมรากใหม่ลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาในต้น *Alnus maritima* (Marshall) Muhl. ex Nutt. ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำและน้ำท่วมขังส่งผลให้พืชมีจำนวนปมรากลดลง

(Kratsch and Graves, 2005) ส่วนจำนวนรากแขนงที่เกิดใหม่ในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศมีการเกิดรากแขนงใหม่มากกว่าแบบเติมอากาศ เนื่องจากชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศอาจทำให้รากพืชขาดออกซิเจนกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene) ช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรากแขนงที่เกิดใหม่เพิ่มขึ้น (Dawood et al., 2013) ทั้งนี้อนุมูลอิสระที่สร้างขึ้นจากการกระตุ้นของเอทิลีนในสภาวะความเครียดจากการขาดออกซิเจน (Yang, 2014) โดยเฉพาะ hydrogen peroxide (H_2O_2) ยังสามารถส่งเสริมการเกิดรากแขนงเพิ่มขึ้นดังการศึกษาในต้นมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Cui et al., 2017) และต้นองุ่น (*Vitis vitifera* L.) (Vergara et al., 2012; Yang, 2014)

2. ปริมาณคลอโรฟิลล์

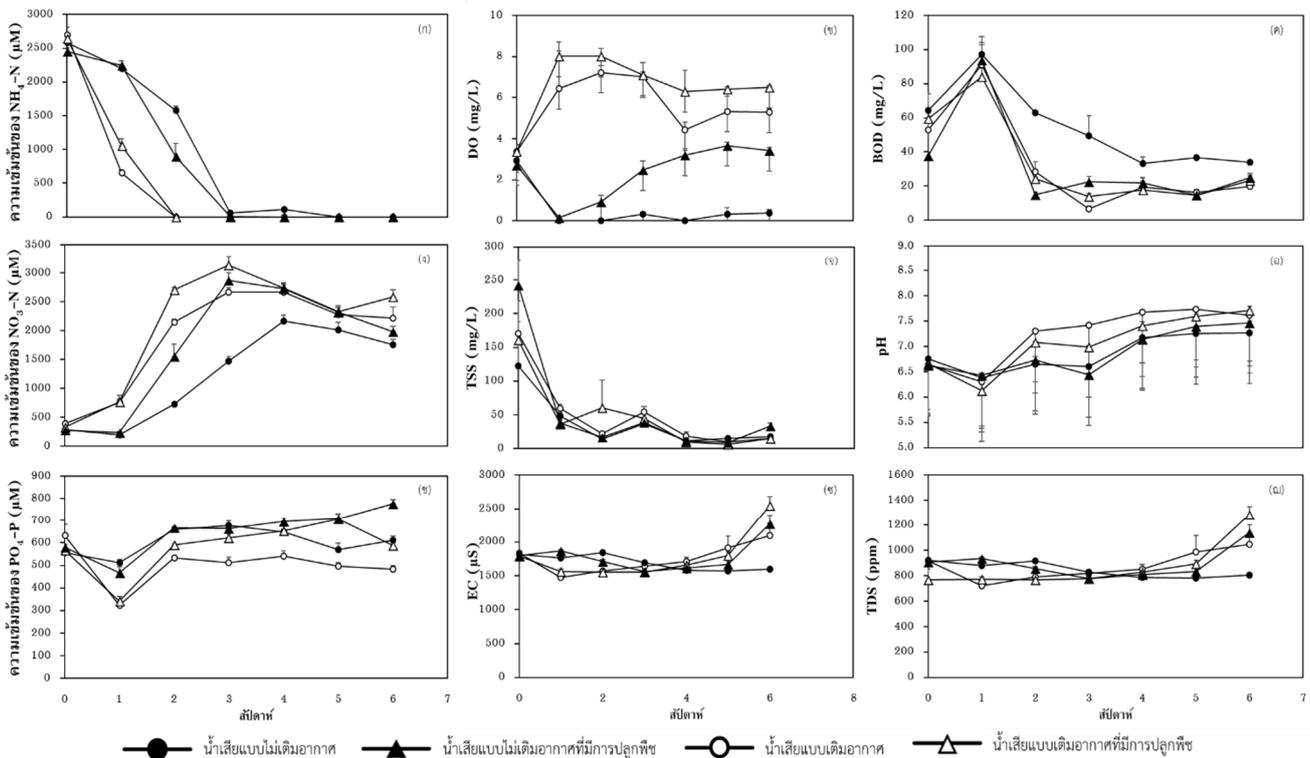
เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่า ในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ คลอโรฟิลล์รวม มากกว่าแบบเติมอากาศ เนื่องจากการปรับตัวของพืชต่อสภาวะการขาดออกซิเจนแสดงให้เห็นว่าต้นสมิสามารถปรับตัวต่อการขาดออกซิเจนได้ ดังการศึกษาของ Herrera (2013) ในต้น *Cecropia latiloba* Miq. ซึ่งเป็นพืชที่สามารถทนต่อสภาวะน้ำท่วมขังได้ พบว่าส่วนใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น และในการศึกษาของ Caudle and Maricle (2012) ที่พบว่า ต้นหญ้าริบบิ้นต่าง (*Phalaris arundinacea* L.) มีการปรับตัวโดยมีการสะสมคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน โดยการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้พืชรอดจากสภาวะเครียดที่เกิดขึ้น

3. ปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ในเนื้อเยื่อพืช

สำหรับการสะสมไนโตรเจนอนินทรีย์ คือ NH_4-N และ NO_3-N พบว่าในชุดการทดลองแบบเติมอากาศพืชจะมีการสะสม NH_4-N ในทั้ง 3 ส่วน คือใบ ลำต้น และราก น้อยกว่าในชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวเกิดกระบวนการ nitrification (Guo et al., 2009) ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าว NH_4-N ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็น NO_3-N ส่งผลให้ NH_4-N ในน้ำมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วแล้วทำให้ปริมาณ NO_3-N เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วพืชจึงดูดซับ NH_4-N ไปใช้น้อยลง ซึ่ง NO_3-N ความเข้มข้นสูงมีผลชะลอการเจริญของรากแขนง โดยไปยังยังกระบวนการส่งสัญญาณในการยืดยาวของรากแขนง

ในชุดการทดลองแบบเติมอากาศจึงมีรากแขนงมีจำนวนลดลงและไม่พัฒนาทำให้พืชดูดซับ $\text{NO}_3\text{-N}$ เข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้น้อยลง (Zhang and Forde, 2000) ในขณะที่ชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นสามารถกระตุ้นการเจริญและพัฒนาของรากแขนง ทำให้เกิดการเจริญและพัฒนาเป็นรากแขนงส่งผลให้มีจำนวนและความยาวของรากแขนงเพิ่มขึ้น (Sun et al. 2017) ทำให้พืชดูดซับ $\text{NO}_3\text{-N}$ เข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น (Zhang and Forde, 2000) และการ

สะสม $\text{NO}_3\text{-N}$ ในส่วนใบมีแนวโน้มลดลงในพืชที่ปลูกในน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ เนื่องจากพืชเกิดสภาวะเครียดจากการขาดออกซิเจน ส่งผลให้เอนไซม์ nitrate reductase ในใบมีการทำงานเพิ่มขึ้นทำให้มีการสะสม $\text{NO}_3\text{-N}$ ลดลง (Horchari and Aschi-smiti, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นกาฬพฤกษ์ (*Hymenaea courbaril* L.) (Cardoso et al., 2017) และต้นมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) (Horchari and Aschi-smiti, 2010)



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของ $\text{NH}_4\text{-N}$ (ก), dissolved oxygen, DO (ข), biological oxygen demand, BOD (ค), ความเข้มข้นของ $\text{NO}_3\text{-N}$ (ง), total suspended solid, TSS (จ) pH (ฉ), ความเข้มข้นของ $\text{PO}_4\text{-P}$ (ช), Electroconductivity, EC (ซ) และ total dissolve solid, TDS (ฉ) ของต้นสมิ (S. sesban) (mean±SE) ที่ปลูกภายใต้การบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกร

4. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งมีและไม่มีมีการปลูกพืชจะสังเกตเห็นปริมาณของ $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่ลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งหมดไปในช่วง 2 สัปดาห์แรก ทั้งนี้เนื่องจาก $\text{NH}_4\text{-N}$ ส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดซับเอาไว้เพื่อใช้กิจกรรมของเซลล์การสร้างโปรตีน และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็น $\text{NO}_3\text{-N}$ ผ่านทางกระบวนการ nitrification ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งคาดว่าเป็นสาเหตุหลักในการลดลงของแอมโมเนียม

(Guo et al., 2009) โดย $\text{NH}_4\text{-N}$ ที่ลดลงสอดคล้องกับปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1-3 ทั้งในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งมีและไม่มีมีการปลูกพืช ขณะที่ในชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืชจะมีการลดลงของปริมาณ $\text{NH}_4\text{-N}$ ช้ากว่า คาดว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำที่จำกัดในสภาวะขาดออกซิเจนส่งผลต่อการเกิดกระบวนการ nitrification ทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ เกิดขึ้นช้ากว่า โดยปริมาณของ $\text{NH}_4\text{-N}$ มีการ

ลดลงอย่างช้า ๆ และจะหมดไปในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง โดยปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชจะอาจทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำในภายหลังจากการบำบัดได้ (Fahmy et al., 2004) นอกจากนี้ จะเห็นว่าความเข้มข้นของ $\text{PO}_4\text{-P}$ ในชุดการทดลองทั่วไปส่วนใหญ่มีปริมาณคงที่ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-6 ยกเว้นในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศแต่มีการปลูกพืชจะมีปริมาณ $\text{PO}_4\text{-P}$ เพิ่มขึ้นมากที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากรากพืชมีการปล่อยออกซิเจนออกมา ซึ่งไปมีผลต่อการเกิดกระบวนการ mineralization ที่เปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ยึดติดอยู่กับตะกอนให้เปลี่ยนรูปกลับไปเป็น $\text{PO}_4\text{-P}$ ที่ละลายน้ำ ดังที่พบเช่นเดียวกับการศึกษาของ AFS series, (2005) ส่งผลให้ในน้ำเสียมีปริมาณ $\text{PO}_4\text{-P}$ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ต้นสมิสามารถดูดซับ $\text{PO}_4\text{-P}$ ได้เพียง 2.2% เท่านั้น (Gonzalez et al. 2009; Dan et al. 2011)

ส่วนค่า DO ที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศทั้งมีและไม่มีมีการปลูกพืชจะมีค่าสูงในช่วงสัปดาห์แรก แล้วหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเพียงเล็กน้อยแล้วมีความคงที่ตามการเติมอากาศลงในน้ำ โดยในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศที่มีการปลูกพืชสามารถเพิ่มปริมาณ DO ในน้ำได้มากที่สุด ส่วนในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืชจะค่อย ๆ มีค่า DO ที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในทุกสัปดาห์ เนื่องจากตัวพืชเองมีการปลดปล่อยออกซิเจนจากรากทำให้ในน้ำเสียมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น (Brix, 2003) ในชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมอากาศที่มีการปลูกพืชมีประสิทธิภาพอย่างมากในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยแบคทีเรียที่หายใจแบบใช้ออกซิเจนจะมีการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในน้ำส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอาหารมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของค่า BOD และ TSS อย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงสัปดาห์แรกสอดคล้องกับ Dan et al. (2011) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของต้นสมิในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กในประเทศเวียดนามด้วยบึงประดิษฐ์โดยใช้ระบบน้ำไหลใต้พื้นผิวแนวตั้ง (vertical subsurface flow system, VF) ซึ่งจะเป็นการปล่อยน้ำเสียให้ไหลซึมผ่านดินที่มีการปลูกพืช แล้วมีการต่อท่ออากาศลงไปใต้ดินเพื่อเติมอากาศ พบว่า การปลูกพืชในระบบ VF สามารถลดปริมาณ BOD มากถึง 72% ทั้งนี้ชนิดของพืชที่ใช้ปลูกส่งผลต่อการลดลงของสารอินทรีย์ในน้ำดังในทดลองของ

Gonzalez et al. (2009) ที่พบว่า พืช 5 ชนิดคือ *Fimbristylis spadicea* (L.) Vahl., *T. latifolia*, *E. interstincta*, *Arundinella berteroniana* (Schult.) Hitchc. and Chase และ *Cladium jamaicensis* Crantz เป็นพืชที่มีประสิทธิภาพปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีสามารถช่วยลดค่า TSS และ BOD ได้ถึง 78% และ 74% ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถใกล้เคียงกับการบำบัดด้วยต้นสมิ แสดงให้เห็นว่า ต้นสมิเป็นหนึ่งในพืชที่มีประสิทธิภาพสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี นอกจากนั้นค่า EC และ TDS ยังมีแนวโน้มคงที่และมีการเพิ่มขึ้นในสัปดาห์สุดท้ายของชุดการทดลองที่เป็นน้ำเสียแบบเติมและไม่เติมอากาศที่มีการปลูกพืช ซึ่งคาดว่าเกิดจากความเสื่อมสภาพของเซลล์ราก ส่งผลให้มีการรั่วไหลไอออนของสารอาหารที่เซลล์รากได้ดูดซับเข้าไปก่อนหน้านี้อีกกลับเข้าสู่ในน้ำเสีย (Mashauri et al. 2000)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษานี้ การปลูกพืชร่วมกับการเติมอากาศลงในน้ำเสียจัดเป็นวิธีที่ให้ผลการบำบัดน้ำที่ที่ดีที่สุด โดยสามารถช่วยเพิ่มปริมาณ DO มากถึง 92% และลดปริมาณ $\text{NH}_4\text{-N}$ BOD และ TSS ได้ 100% 66% และ 91% ตามลำดับ โดยการเติมอากาศเป็นวิธีการที่ช่วยลดปริมาณ $\text{NH}_4\text{-N}$ ได้ดี แต่ส่งผลให้เกิดการสะสม $\text{NO}_3\text{-N}$ ซึ่งอาจต้องอาศัยพืชเป็นตัวดูดซับต่อไป และจากปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่สะสมในเนื้อเยื่อใบของพืชชนิดนี้ทำให้คาดว่าพืชชนิดนี้สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนร่วมกับพืชอาหารหลักให้แก่สัตว์กินพืชในฟาร์ม ปศุสัตว์หลังการเก็บเกี่ยวได้ ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าพืชนั้นผ่านการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารเคมีอื่นที่อาจส่งผลต่อสุขภาพของสัตว์ได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณวิสูตร ศิริณพพานันท์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทำยสุดขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AFS Series. (2005). Phosphorus basic-the phosphorus cycle. Department of Crop and Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, USA. pp. 1-2.
- Ansari, A. A., Babourina, O. and Rengel, Z. (2011). Eutrophication: Causes, Consequences and Control (eds.). Springer Science and Business Media B.V. 18: 355.
- APHA, AWWA and WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Arnell, N. W. (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 31-52.
- Brix, H. (2003). Plants used in constructed wetlands and their functions. In Dias, V. and J. Vymazal (eds), Proceedings of Conference on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands. ICN and INAG, Lisboa 81-109.
- Cardoso, K. P. S., Palheta, J. G., Sousa, J. C. M., Nascimento, V. R., Nogueira, G. A. S., Machado, L. C., Martins, J. T. S., Costa, T. C., Júnior, W. V. A., Neto, C. F. O. and Filho, B. G. S. (2017). Physiological and biochemical metabolism in Jatoba plants (*Hymenaea courbaril* L.) affected by water stress and flooding. *Australian Journal of Crop Science* 11(7): 844-852.
- Caudle, K. L. and Maricle, B. R., (2012). Effects of flooding on photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and oxygen stress in plants of varying flooding tolerance. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 115(1/2): 5-18.
- Cedergreen, N. and Madsen, T. V. (2002). Nitrogen uptake by the floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytologist* 155: 285-292.
- Cui, W., Zhu, D., Shen, W., Mei, Y., Hu, D., Shi, Y., Ren, Y., Shen, W., Gu, Q., Xu, D. and Huang, L. (2017). Hydrogen peroxide is involved in β - cyclodextrin-hemin complex-induced lateral root formation in Tomato Seedling. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-12.
- Dan, T. H., Quang, L. N., Chiem, N. H. and Brix, H. (2011). Treatment of high-strength wastewater in tropical constructed wetlands planted with *Sesbania sesban*: horizontal subsurface flow versus vertical downflow. *Ecological Engineering* 37(5): 711-720.
- Dawood, T., Rieu, I. Wolters-Arts, M., Derksen, E. B., Mariani, C. and Visser, E. J. W. (2013). Rapid flooding-induced adventitious root development in *Solanum dulcamara*. *AoB Plants* 6: 1-13.
- Deng, L. W., Zheng, P. and Chen, Z. A. (2006). Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater. *Process Biochemistry* 41(4): 965-969.
- Evans, C. G. (1972). The quantitative analysis of plant growth. Oxford: Blackwell Scientific.
- Evans, R. O., Westerman, P. W. and Over, M. R. (1984). Subsurface drainage water quality from land application of swine lagoon effluent. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers Journal* 27: 473-480.
- Fahmy, M. A., Abdel-Aziz, N. E. and Dorgham, M. M. (2004). Water quality observations in the Dekhaila Harbour, Alexandria, Egypt. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 22: 206-216.
- Gonzalez, E. T., Vallejos, G. G., Silveira, J. H., Franco, C. Q., Garcia, J. and Puigagut J. (2009). Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, Mexico: Influence of plant species and contact time. *Water SA* 35(3): 335-342.
- Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Zheng, Y., Huang, H. and Wang, Z. (2009). Long-term effect of dissolved oxygen on partial nitrification performance and microbial community structure, *Bioresource Technology* 100: 2786-2802.
- Herrera, A. (2013). Responses to flooding of plant water relation and leaf gas exchange in tropical tolerant trees of a black-water wetland. *Frontiers in Plant Science* 4: 1-12.
- Horchani, F. and Aschi-Smiti, S. (2010). Prolonged root hypoxia effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato plants. *Plant signaling and Behavior* 5(12): 1583-1589.
- Indieka, S. A. and Odee, D. W. (2005). Nodulation and growth response of *Sesbania sesban* (L.) Merr. to increasing nitrogen (ammonium) supply under glasshouse conditions. *African Journal of Biotechnology* 4: 57-60.
- Klomjek, P. (2016). Swine wastewater treatment using vertical subsurface flow constructed wetland planted with

- Napier grass. Sustainable Environment Research 26: 217-223.
- Kratsch, H. and Graves W. R. (2005). Oxygen concentration affects nodule anatomy and nitrogenase activity of *Alnus maritima*. Plant, Cell and Environment 28: 688-696.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: Pigment of photosynthetic membranes. Methods Enzymology 148: 350-382.
- Malik, A. L., English, J. P. and Colmer, T. D. (2009). Tolerance of *Hordeum marinum* accessions to O₂ deficiency, salinity and the stress combined. Annals of Botany 103(2): 237-248.
- Mashauri, D. A., Mulungu, D. M. M. and Abdulhussein B. S. (2000). Constructed wetland at the university Dar Es Salaam. Water Research 34(4): 1135-1144.
- Mateescu, C. (2016). Influence of the hydrostatic pressure on biogas production in anaerobic digesters. Romanian Biotechnological Letters 21(5): 11941-11948.
- Mckee, K. L. (1996). Growth and Physiological responses of neotropical mangrove seedling to root zone hypoxia. Tree Physiology 16(11/12): 883-889.
- Phiri, E., Verplancke, H., Kwesiga, F. and Mafongoya, P. (2003). Water balance and maize yield following improved *Sesbania* fallow in eastern Zambia. Agroforestry Systems 59: 197-205.
- Sun, C. H., Yu. J. Q. and Hu, D. G. (2017). Nitrate: A Crucial Signal during lateral roots development. Frontiers in Plant Science 8: 1-9.
- Vergara, R., Parada, F., Rubio, S. and Pérez, F. J. (2012). Hypoxia induces H₂O₂ production and activates antioxidant defence system in grapevine buds through mediation of H₂O₂ and ethylene. Journal of Experimental Botany 63(11): 4123-4131.
- Yang, C. Y. (2014). Ethylene and hydrogen peroxide are involved in hypoxia signaling that modulates *AtERF73/HRE1* expression. Plant signaling and Behavior 9: 1-9.
- Young, A. (1997). Agroforestry for Soil Management. Wallingford, UK: CAB International.
- Zhang, H. and Forde, B.G. (2000). Regulation of Arabidopsis root development by nitrate availability. Journal of Experimental Botany 51(342): 51-59.

