วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30:2 (28-38)

ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนะของหญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง

Yield and Nutritive Value of Forage Planted in Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนะของหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด (หญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน) ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่สร้างจากบล็อกคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m สูง 1 m โดยปลูกหญ้าลงในหน่วยทดลองบึงประดิษฐ์ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ชนิดละ 2 ซ้ำ ระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่อัตราการไหล 100.6 l/day ตรวจวัดคุณภาพของตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ขณะดำเนินระบบทำการเก็บเกี่ยวหญ้าทั้งหมดที่ระดับความสูง 20 cm เหนือวัสดุปลูก ออกจากระบบ จำนวน 3 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ศึกษานี้ สามารถลดมลสารในน้ำเสียได้ดี โดยสามารถบำบัดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) Total Suspended Solid (TSS) Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) Ammonia Nitrogen (NH_3N) และ Total Phosphorus (TP) ได้โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 68.95-72.90, 53.49-67.42, 71.20-86.86, 5.16-49.49 และ 34.69-46.90 % ตามลำดับ ในขณะที่ หญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขนที่ปลูกในระบบบำบัด สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้และมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.096-0.154, 0.106-0.178 และ 0.108-0.163 per day ตามลำดับ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก มีค่า 372.2±87.0, 608.8±25.1 และ 673.0±11.8 kg/rai ตามลำดับ ส่วนการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และ 3 มีค่า 388.9±111.5, 560.3±23.6 และ 429.9±9.2 kg/rai และ 318.4±45.8, 965.5±395.1 และ 602.0±89.8 kg/rai ตามลำดับ ค่าวัตถุแห้ง (Dry Matter: DM) ปริมาณของโปรตีนหยาบ (Crude Protein: CP) เยื่อใยหยาบ (Crude Fiber: CF) และปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) ของผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ มีค่า 18.4-53.1, 1.66-5.09, 24.55-31.88 และ 0.20-0.43 % ตามลำดับ โดยพบว่าผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ มีค่าของ DM ปริมาณ CP และปริมาณ CF ต่ำกว่าระดับปกติ แต่พบค่า P ในระดับสูง เมื่อเทียบกับคุณค่าทางโภชนะของหญ้าอาหารสัตว์ที่กรมปศุสัตว์เคยรายงานไว้

คำสำคัญ : ระบบบึงประดิษฐ์, การบำบัดน้ำเสีย, หญ้าอาหารสัตว์, ผลผลิต, คุณค่าทางโภชนะ

Abstract

Growth, yield and nutritive value of 3 forages (Pangolar grass, Atratum grass and Para grass) planted in vertical subsurface flow constructed wetland (VSF CW) were evaluated. CW was constructed by cylinder concrete block with dimensions of 0.8 m diameter and 1.0 m height. Studied grasses with 2 replications were planted in the CW units using simple random method. Domestic wastewater was drained into the CW at 100.6 l/day. Quality of influent and effluent were analyzed to assess treatment efficiency of the CW system. All studied grasses were cut at 20 cm above ground surface for 3 times. The results

[1]ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000 Email: pantipk@nu.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

showed a good efficiency of the CW planted with studied forages for COD, TSS, TKN, NH_3N and TP removal at 68.95-72.90, 53.49-67.42, 71.20-86.86, 5.16-49.49 and 34.69-46.90 %, respectively. Meanwhile, all studied species were able to grow and provide yield throughout experimental period. Relative growth rate (RGR) of Pangolar grass, Atratum grass and Para grass were 0.096-0.154, 0.106-0.178 and 0.108-0.163 per day, respectively. Dry yield of Pangolar grass, Atratum grass and Para grass at the 1st harvest were 372.2±87.0, 608.8±25.1 and 673.0±11.8 kg/rai, respectively. The dry yield of those at the 2nd and the 3rd harvest were 388.9±111.5, 560.3±23.6 and 429.9±9.2 kg/rai and 318.4±45.8, 965.5±395.1 and 602.0± 89.8 kg/rai, respectively. Content of DM, CP, CF and P in tissue of all studied species were 18.4-53.1, 1.66-5.09, 24.55-31.88 and 0.20-0.43 %, respectively. Studied forages contained less DM, CP and CF but higher in P content than those reported by Department of Livestock Development (2004).

Keyword : Constructed wetland, Wastewater treatment, Forage crop, Yield, Nutritive value

คำนำ

น้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำทิ้งจากการชำระล้างร่างกาย เครื่องเรือนและเครื่องใช้รวมถึงน้ำทิ้งจากกิจกรรมการประกอบอาหาร ดังนั้น มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนโดยส่วนใหญ่จึงเป็นมลสารประเภทสารอินทรีย์ ของแข็ง และธาตุอาหาร ที่ไม่มีความเป็นพิษรุนแรง แต่อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ก่อนการระบายน้ำเสียนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันและลดผลกระทบจากปัญหามลพิษน้ำ ทั้งนี้ ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพในการลดมลสารในน้ำเสียชุมชน และเนื่องจากบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่ใช้กลไกทางธรรมชาติในการบำบัด จึงเป็นระบบที่มีราคาในการก่อสร้างและดำเนินการต่ำ ดูแลรักษาง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (US.EPA, 2000: Kivaisi, 2001) ดังนั้นการนำระบบบึงประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งในระดับบ้านเรือน ระดับชุมชน หรือใช้ในการรองรับน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณมาก จึงมีความเป็นไปได้สูง ทั้งนี้ พืชที่ใช้ปลูกในบึงประดิษฐ์จัดเป็นองค์ประกอบประการสำคัญในการทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียของระบบการคัดเลือกชนิดของพืชที่นำมาใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบแล้ว ยังส่งผลต่อการจัดการพืชเพื่อการคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ รวมถึงส่งผลต่อการนำพืชที่เก็บเกี่ยวออกจากระบบไปกำจัด หรือนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปอีกด้วย

เนื่องจากน้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียที่มีธาตุอาหารปนเปื้อนอยู่ และพืชที่ปลูกในระบบสามารถลดปริมาณมลสารเหล่านี้ได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงพิจารณาทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้หญ้าอาหารสัตว์เป็นพืชในระบบในการบำบัดมลสารซึ่งรวมถึงธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย รวมถึงทำการศึกษาถึงปริมาณผลผลิต และคุณค่าทางโภชนะของหญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งผลการศึกษาของโครงการ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ ในภาวะที่เกษตรกรมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรน้ำ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ในช่วงฤดูแล้ง หรือนำไปประยุกต์ใช้เมื่อเกษตรกรต้องการลดการใช้ปุ๋ยในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ รวมถึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำทรัพยากรน้ำและธาตุอาหารกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ภายใต้สถานการณ์ที่ปัญหาด้านทรัพยากรน้ำและปัญหามลพิษน้ำมีความรุนแรงเช่นในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง จากบล็อกคอนกรีตทรงกระบอก (วงคอนกรีต) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m สูง 1.0 m บรรจุวัสดุปลูกประเภทกรวด ลงสู่ก้นแปลง สูง 15 cm จากนั้น บรรจุทรายหยาบหนา 45 cm และทรายขนาดกลางหนา 10 cm ตามลำดับ ซึ่งวัสดุปลูกเหล่านี้ จะถูกใช้เป็นตัวกลาง (media) และเป็นวัสดุกรองของระบบติดตั้งท่อนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่บริเวณผิวหน้าของตัวกลาง และติดตั้งท่อรับน้ำออกที่บริเวณก้นแปลง โดยท่อนำน้ำเสียนี้จะกระจายน้ำเสียลงสู่ระบบ โดยน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นของตัวกลางเข้าสู่ท่อรับน้ำ ซึ่งจะรวบรวมน้ำออกนอกระบบ

ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*: Pangolar grass) หญ้าอะตราตั้ม (*Paspalum atratum:* Atratum grass) และหญ้าขน (*Brachiaria mutica*: Para grass) ซึ่งเป็นหญ้าที่เติบโตได้ในพื้นที่ลุ่มที่มีน้ำท่วมขังเป็นบางช่วงเวลา (กรมปศุสัตว์, 2545ก; กรมปศุสัตว์, 2545ข; กรมปศุสัตว์, 2539) โดยใช้ท่อนพันธุ์ปลูกลงในหน่วยทดลอง ซึ่งจัดวางอยู่ในพื้นที่บริเวณเดียวกัน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย หน่วยทดลองละหนึ่งชนิดชนิดละ 2 ซ้ำ จำนวน 10 plants/m^2 รดหญ้าด้วยน้ำประปาเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จนกระทั่งหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ จึงระบายน้ำเสียซึ่งรวบรวมจากอาคารโรงอาหารลงสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate: HLR) เท่ากับ 20 cm/day หรืออัตราการไหล (Flow rate) เท่ากับ 100.6 l/day โดย $HLR = \frac{Q}{A_w}$ (U.S. EPA, 2000) เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสีย (cm^3/day) และ A_w คือพื้นที่ผิวของระบบ (cm^2) ในระหว่างการบำบัดของระบบ ได้ทำการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ทั้งหมดออกจากระบบที่ระดับความสูง 20 cm จากผิววัสดุปลูก จำนวน 3 ครั้ง คือ เก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังจากระบบเริ่มทำการบำบัดเป็นระยะเวลา 60 วัน เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ที่ระยะ 40 วัน หลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรก และเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 ที่ระยะ 40 วัน หลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ของเกษตรกรโดยทั่วไป

เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระบายลงสู่หน่วยทดลอง (Influent) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (Effluent) จากทุกหน่วยทดลอง ทุกๆ สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาดำเนินระบบ ทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ Dissolved Oxygen (DO), pH, COD, TSS, TKN, NH_3N และ TP โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่าง การรักษาตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างตามที่ได้กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992) และทำการเก็บตัวอย่างหญ้าอาหารสัตว์ทุกครั้ง เมื่อมีการเก็บเกี่ยวหญ้าอาหารสัตว์ออกจากระบบ โดยมีดัชนีที่ทำการตรวจวิเคราะห์ คือ ปริมาณผลผลิตรวมที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละครั้งจากแต่ละหน่วยทดลอง วิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ จากสูตร $RGR = \frac{InW_2 - InW_1}{(t_2 - t_1)}$ (Beadle, 1982) เมื่อ W_1 และ W_2 คือ น้ำหนักแห้งของพืชก่อนและหลังดำเนินระบบ (g) และ $(t_2 - t_1)$ คือระยะเวลาของการดำเนินระบบหรือการเติบโตของพืช (day) นำตัวอย่างหญ้าอาหารสัตว์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 48 hr ไปวิเคราะห์หาค่าดัชนีคุณค่าทางโภชนะ ได้แก่ ค่า DM ปริมาณ CP และปริมาณ CF ตามวิธีการวิเคราะห์ของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ปริมาณ P ตามวิธีการวิเคราะห์ของ AOAC (1965)

วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย วิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและปริมาณมลสารในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และใช้ Duncan's multiple range test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเนื่องจากขนาดของจำนวนตัวอย่างของหญ้าอาหารสัตว์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติมีค่าน้อย (n<30) ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการใช้ Parametric test ในการทดสอบ (เพ็ญแข, 2546) ในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ ปริมาณผลผลิตและคุณค่าทางโภชนะ ระหว่าง สิ่งทดลองที่ 1 คือชนิดของหญ้าอาหารสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทดสอบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองที่ 2 คือระยะการเก็บเกี่ยว ด้วย Nonparametric statistic ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้ ไม่รวมถึงอิทธิพลของปัจจัยร่วมของสิ่งทดลองทั้งสองประการข้างต้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ

ผลการศึกษา พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง (VSF CW) ที่ทำการปลูกหญ้าอาหารสัตว์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ หญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีประสิทธิภาพในการลดมลสารในน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากอาคารโภชนาการ โดยระบบบึงประดิษฐ์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ของแข็งแขวนลอย (TSS) ปริมาณไนโตรเจนในรูปของ TKN แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N) และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) เท่ากับ 36.59-92.50, -325.00-100.00, 19.40-97.62, -378.95-97.84 และ -151.80-72.15 % ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการลดมลสารแต่ละชนิดของแปลงหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของ VSF CW ในประเทศตุรกี ซึ่งเป็นระบบที่ปลูกต้นอ้อ (*Phragmites australis*) ซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน จะพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด TSS ใกล้เคียงกันกับระบบที่ทำการศึกษานี้ ซึ่งใช้หญ้าอาหารสัตว์เป็นพืชในระบบ อย่างไรก็ตาม พบว่า VSF CW ที่ศึกษานี้ มีประสิทธิภาพการบำบัด COD และ TP สูงกว่า แต่บำบัด NH_3N ได้ต่ำกว่า โดย VSF CW ในประเทศตุรกี ซึ่งใช้อ้อเป็นพืชในระบบ มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, TSS, NH_3N และ TP โดยเฉลี่ย เท่ากับ 44.0-47.0, 59.0-63.0, 53.3-88.4 และ 4.3-44.8 % ตามลำดับ (Korkusuz *et al*., 2005) และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของ VSF CW ในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Chen *et al*., 2008) ซึ่งใช้อ้อ (*Phragmites australis*) หน่อไม้น้ำ (*Zizania aquatica*) และธูปฤาษี (*Typha latifolia*) เป็นพืชในระบบ พบว่า VSF CW ที่ศึกษานี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่า แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, TSS และ NH_3N ต่ำกว่า

Table 1 Efficiency of vertical subsurface flow constructed wetland planted with forage for pollutant removal

Indicators	Removal efficiencies (%)		
	Pangolar grass treatment unit	Atratum grass treatment unit	Baffalo grass treatment unit
COD	68.95±13.6	72.90±16.7	69.54±14.70
TSS	61.69±80.7	53.49±90.1	67.42±71.5
TKN	71.20±30.1	86.86±10.69	85.22±11.9
NH_3N	5.16±125.0	18.21±147.8	49.49±110.9
TP	43.39±16.4	34.69±49.1	46.90±18.1

Note: Mean±SD are shown for species treatment.

คุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยแปลงหญ้าอาหารสัตว์ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ผลการตรวจวัด พบว่าน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าของมลสารปนเปื้อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยมีค่า COD ระหว่าง 7.3-98.8 mg/l ค่า TSS ระหว่าง 0.0-22.0 mg/l ปริมาณของ TKN และ NH_3N มีค่าระหว่าง 0.28-15.68 และ 0.28-19.04 mg/l ปริมาณ TP มีค่าระหว่าง 0.20-1.42 mg/l ทั้งนี้ พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าของ TSS, TKN และ TP อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้อง โดยมีค่า TSS อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกำหนดให้มีค่า TSS ไม่เกิน 30 mg/l (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) โดยค่าเฉลี่ยของ TSS ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้า อาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าระหว่าง 2.5-3.8 mg/l ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า TKN ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l และไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด สำหรับอาคารประเภท ก ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 mg/l (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) โดยความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.99-5.58 mg/l ซึ่งพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ค่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่กำหนดให้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน มีค่าของ TP ได้ไม่เกิน 2 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) โดยความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าแต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.55-0.61 mg/l ซึ่งพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยสรุปจะพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ที่ปลูกหญ้าอาหารสัตว์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ หญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีประสิทธิภาพในการลดมลสารในน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากอาคารโภชนาการ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารแต่ละชนิด อันได้แก่ COD, TSS, TKN, NH_3N และ TP ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากแปลงหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่า TSS, TKN และ TP อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้อง จึงสามารถนำระบบที่ศึกษานี้ไปใช้ประโยชน์ได้ โดยพิจารณาเลือกใช้ชนิดของหญ้าอาหารสัตว์จากความเหมาะสมด้านอื่นๆ เช่น ความสะดวกในการจัดหาท่อนพันธุ์ และการใช้ประโยชน์จากหญ้าอาหารสัตว์ที่เก็บเกี่ยวได้ เหล่านี้เป็นต้น

2. การเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์

ผลการศึกษา พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ที่ศึกษาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้ภายในระบบ VSF CW โดยผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก มีค่าเท่ากับ 310.7-433.7, 591.1-626.6 และ 664.6-681.4 kg/rai การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 310.1-467.7, 543.6-577.0 และ 423.4-436.4 kg/rai ตามลำดับ และการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 286.0-350.8, 686.1-1,244.8 และ 538.5-665.5 kg/rai ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้ พบว่าหญ้าอะตราตั้ม มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าหญ้าขน และหญ้าแพงโกล่าตามลำดับ ในทุกระยะเก็บเกี่ยว ยกเว้นในการเก็บเกี่ยวครั้งแรก ซึ่งหญ้าขนมีผลผลิตสูงกว่าหญ้าอะตราตั้มเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พบว่าผลผลิตทั้งในรูปน้ำหนักสดและผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากระยะเก็บเกี่ยวเดียวกัน มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ปริมาณผลผลิตของหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน ที่ได้จากระยะเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่าในระบบ VSF CW มีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าแพงโกล่าที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ขณะที่ หญ้าอะตราตั้มและหญ้าขน มีปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งต่ำกว่าปริมาณผลผลิตในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว (พันธ์ทิพย์, 2551)

จากการศึกษา พบว่าหญ้าอะตราตั้มที่ผลิตได้ในระยะเวลา 4.5 เดือน มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอะตราตั้มที่ผลิตด้วยระบบปกติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.5-3.5 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2553) สำหรับหญ้าแพงโกล่านั้น คาดว่าหากมีการดำเนินระบบ VSF CW อย่างต่อเนื่องและเก็บเกี่ยวหญ้าจนครบรอบปี จะมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้ง โดยประมาณ 3.0 ton/rai/yr ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตโดยทั่วไปของหญ้าแพงโกล่า ซึ่งมีค่า 5.0-7.0 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2553) ส่วนหญ้าขน คาดว่าหากมีการดำเนินระบบอย่างต่อเนื่องและเก็บเกี่ยวหญ้าจนครบรอบปี จะมีปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งโดยประมาณ 4.5 ton/rai/yr ซึ่งสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าขนที่ผลิตโดยทั่วไป ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หญ้าขนจะให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 1.4-3.7 ton/rai/yr (กรมปศุสัตว์, 2539) อย่างไรก็ตาม การผลิตหญ้าอาหารสัตว์ของระบบ VSF CW ที่ทำการศึกษานี้ เป็นการผลิตผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่มีการบูรณาการร่วมกันกับการบำบัดธาตุอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย โดยการนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้โดยหญ้าอาหารสัตว์ ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในรูปของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการใช้ประโยชน์และธาตุอาหารที่มีปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปของการเพาะปลูก ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Zurita *et al*. (2009) ซึ่งได้ใช้ไม้ดอก 4 ชนิด ได้แก่ คาล่า ลิลลี่ (*Zantedeschia aethiopica*) เบิร์ดออฟพาราไดซ์ (*Strelitzia reginae*) หน้าวัว (*Anturium andreanum*) และลิลลี่ แอฟริกัน (*Agapanthus africanus*) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ซึ่งพบว่าไม้ดอกที่ปลูกในระบบโดยส่วนใหญ่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ตลอด 12 เดือน ของการศึกษา ทั้งนี้ เบิร์ดออฟพาราไดซ์ และลิลลี่ แอฟริกัน สามารถเจริญเติบโตได้ดีและสามารถให้ดอกได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดของ

Table 2 Yield of 3 forages harvested from vertical subsurface flow constructed wetland

Parameters (unit)	Forage species		
	Pangolar grass (*Digitaria eriantha*)	Atratum grass (*Paspalum atratum*)	Para grass (*Brachiaria mutica*)
Dry yield (kg/rai)[1/]			
- 1st harvest	372.2±87.0	608.8±25.1	673.0±11.8
- 2nd harvest	388.9±111.5	560.3±23.6	429.9±9.2
- 3rd harvest	318.4±45.8	965.5±395.1	602.0±89.8

Note: Mean values±SD are shown for species treatment.

[1/]Sample size (n) = 2

1st harvest = harvest at 60 day after operation startup

2nd harvest = harvest at 40 day after 1st harvest

3rd harvest = harvest at 40 day after 2nd harvest

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate: RGR) ของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง มีค่าเท่ากับ 0.096-0.154, 0.106-0.178 และ 0.108-0.163 per day ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งพบว่า ที่ระยะเก็บเกี่ยวเดียวกันนั้น ค่า RGR ของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ค่า RGR ของหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ระหว่างระยะเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า RGR ของหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว ซึ่งศึกษาโดย พันธ์ทิพย์ (2551) พบว่าค่า RGR ของหญ้าแพงโกล่า ในระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสองประเภท มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขนในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลเหนือผิว มีค่า RGR สูงกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า RGR ของหญ้าแต่ละชนิดในระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสองประเภทมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ หญ้าอะตราตั้ม มีค่า RGR สูงกว่าหญ้าขน และหญ้าแพงโกล่าตามลำดับ

จากการศึกษา จะพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด สามารถเจริญเติบโตได้ภายในระบบ VSF CW ที่ทำการศึกษา และสามารถเจริญเติบโตได้อีกภายหลังจากการเก็บเกี่ยวหญ้าแต่ละครั้ง เช่นเดียวกับการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ของเกษตรกรโดยทั่วไป ซึ่งบ่งชี้ได้ถึงความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ ในระบบ VSF CW ที่ทำหน้าที่รองรับและบำบัดน้ำเสียชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

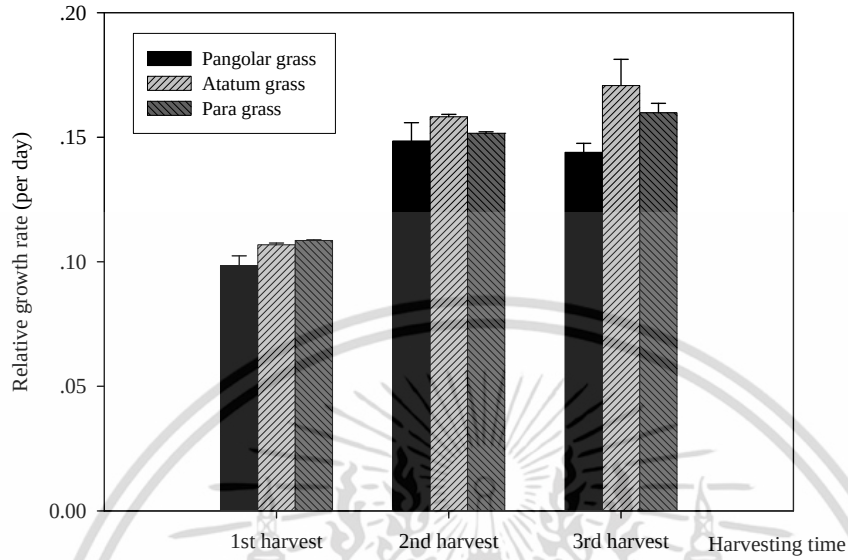

Figure 1 Relative growth rate of 3 forages in vertical subsurface flow constructed wetland

3. คุณค่าทางโภชนะของหญ้าอาหารสัตว์

การตรวจวัดคุณค่าทางโภชนะ พบว่าหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีค่าวัตถุแห้ง (DM) เท่ากับ 21.9-53.1, 18.4-25.4 และ 29.2-50.5 % ตามลำดับ (Table 3) ทั้งนี้ พบว่าหญ้าขน มีค่า DM สูงที่สุดในทุกระยะเก็บเกี่ยว ขณะที่ หญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีค่า DM สูงที่สุดในระยะเก็บเกี่ยวที่ 3 โดยพบว่าในแต่ละระยะเก็บเกี่ยวนั้น ค่า DM ของหญ้าอาหารสัตว์แต่ละชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ค่า DM ของหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยของ DM ของหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่า DM ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัดมากกว่า 59 วัน ซึ่งระบุไว้ในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เท่ากับ 42.51% (กรมปศุสัตว์, 2547) ขณะที่ DM ของหญ้าแพงโกล่า ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะที่ 2 มีค่าต่ำกว่าค่า DM ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัด 45 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.80 % ตามตารางคุณค่าทางโภชนะ (กรมปศุสัตว์, 2547) อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าเฉลี่ยของ DM ของหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะที่ 3 มีค่าสูงกว่าค่า DM ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัด 45 วัน ส่วนหญ้าอะตราตั้ม ที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยของ DM ต่ำกว่าค่า DM ที่กำหนดในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งระบุว่าหญ้าอะตราตั้มที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน มีค่า DM เท่ากับ 27.60 และ 25.06% (กรมปศุสัตว์, 2547) อย่างไรก็ตาม หญ้าอะตราตั้มที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ 3 มีค่า DM ใกล้เคียงกับค่า DM ของหญ้าอะตราตั้มที่อายุการตัด 45 วัน ค่าเฉลี่ยของ DM ของหญ้าขนที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกับค่า DM ของหญ้าขนที่อายุตัด 60 วัน และ 45 วัน ตามตารางคุณค่าทางโภชนะ ซึ่งมีค่าของ DM เท่ากับ 29.88 และ 28.45 % ขณะที่ DM ของหญ้าขนที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะที่ 3 มีค่าสูงกว่า ค่า DM ของหญ้าขนที่อายุตัด 45 วัน

ปริมาณโปรตีนหยาบต่อน้ำหนักแห้ง (CP) ในผลผลิตหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีค่า 2.51-5.09, 1.66-4.32 และ 1.68-4.22% ตามลำดับ (Table 3) โดยปริมาณของ CP ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกันมีค่าแตกต่างกันระหว่างระยะเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพบว่าผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บเกี่ยวครั้งแรกมีปริมาณ CP สูงที่สุด นอกจากนั้น ยังพบว่าปริมาณ CP ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และ 3 มีค่าแตกต่างกันระหว่างชนิดของหญ้าอาหารสัตว์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 3 Nutritive value of 3 forages harvested from vertical subsurface flow constructed wetland

Parameters (unit)	Forage species		
	Pangolar grass (*Digitaria eriantha*)	Atratum grass (*Paspalum atratum*)	Para grass (*Brachiaria mutica*)
Dry matter (%)[1/]			
- 1st harvest	23.3±0.5	19.0±0.8	30.2±1.4
- 2nd harvest	23.3±2.0	21.1±0.3	29.7±0.1
- 3rd harvest	52.3±1.0	24.5±1.3	48.4±3.0
Crude protein (% on dry weight basis)[2/]			
- 1st harvest	4.83±0.49a	4.20±0.10a	3.93±0.46a
- 2nd harvest	2.93±0.45ABc	3.62±0.42Ab	2.31±0.39Bb
- 3rd harvest	3.85±0.51Ab	2.15±0.52Bb	2.10±0.48Bb
Crude fiber (% on dry weight basis)[2/]			
- 1st harvest	30.18±1.28A	25.95±0.77B	27.62±0.81ABa
- 2nd harvest	26.76±0.65	25.45±0.57	25.22±0.63b
- 3rd harvest	29.95±0.93A	26.64±1.52B	26.24±0.57Bb
P (% on dry weight basis)[2/]			
- 1st harvest	0.396±0.020A	0.386±0.031Aa	0.248±0.039B
- 2nd harvest	0.365±0.042	0.261±0.042b	0.304±0.060
- 3rd harvest	0.352±0.038A	0.226±0.011Bb	0.239±0.008B

Note: Mean values±SD are shown for species treatment.

Mean values within each row followed by the same letter (capital letter) are not significantly different for tested species at $P \geq 0.05$.

Mean values within each column followed by the same letter (small letter) are not significantly different for each harvesting time at $P \geq 0.05$.

[1/]Sample size (n) = 2, [2/]Sample size (n) = 4

1st harvest = harvest at 60 day after operation startup

2nd harvest = harvest at 40 day after 1st harvest

3rd harvest = harvest at 40 day after 2nd harvest

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ CP ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะ (กรมปศุสัตว์, 2547) พบว่าค่าเฉลี่ยของ CP ในหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในระยะที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่า CP ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัดมากกว่า 59 วัน ซึ่งตามตารางคุณค่าทางโภชนะ ระบุค่า CP ไว้เท่ากับ 5.18% ขณะที่ ค่า CP ของหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวระยะที่ 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่า CP ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัด 45 วัน และอายุตัด 30 วัน ซึ่งระบุค่าไว้เท่ากับ 7.88 และ 12.27% เช่นเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของ CP ในหญ้าอะตราตั้ม ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่า CP ของหญ้าอะตราตั้ม ที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน ซึ่งมีค่าของ CP เท่ากับ 5.91 และ 7.02% ค่าเฉลี่ยของ CP ในหญ้าขน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่า CP ในหญ้าขนที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน ซึ่งมีค่าของ CP เท่ากับ 5.85 และ 7.43 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเยื่อใยหยาบต่อน้ำหนักแห้ง (CF) ในผลผลิตหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีค่า 25.83-31.88, 24.70-28.31 และ 24.55-28.13 % ตามลำดับ (Table 3) ทั้งนี้ปริมาณของ CF ทั้งในหญ้าแพงโกล่าและหญ้าอะตราตั้ม มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเก็บเกี่ยว ($P \geq 0.05$) ขณะที่ผลผลิตหญ้าขน มีปริมาณ CF แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเก็บเกี่ยว และเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเก็บเกี่ยวเดียวกัน พบว่าผลผลิตหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 และ 3 มีปริมาณ CF สูงที่สุดและแตกต่างจากหญ้าอาหารสัตว์ชนิดอื่น ($P<0.05$) ส่วนผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 มีปริมาณ CF ไม่แตกต่างกันระหว่างชนิดหญ้า ($P \geq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของ CF ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะ (กรมปศุสัตว์, 2547) พบว่าค่าเฉลี่ยของ CF ในหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก มีค่าสูงกว่าค่า CF ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัดมากกว่า 59 วัน ตามตารางคุณค่าทางโภชนะ ซึ่งระบุค่าของ CF ไว้เท่ากับ 27.89% เล็กน้อย ขณะที่ CF ของหญ้าแพงโกล่า ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 มีค่าต่ำกว่าค่า CF ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัด 45 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.57% เล็กน้อย ส่วนหญ้าแพงโกล่า ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 มีค่า CF ใกล้เคียงกับค่า CF ของหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัด 45 วัน ขณะที่ค่าเฉลี่ยของ CF ในหญ้าอะตราตั้ม ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่า CF ของหญ้าอะตราตั้มที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน ซึ่งระบุค่าของ CF ไว้เท่ากับ 32.73 และ 27.95% ส่วนค่าเฉลี่ยของ CF ในหญ้าขน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่า CF ในหญ้าขนที่กำหนดในตารางคุณค่าทางโภชนะเล็กน้อย โดยตารางคุณค่าทางโภชนะได้ระบุให้หญ้าขนที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน มีค่าของ CF เท่ากับ 27.85 และ 29.71%

ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ต่อน้ำหนักแห้งในผลผลิตหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน มีค่า 0.31-0.42, 0.22-0.43 และ 0.20-0.37% ตามลำดับ (Table 3) ทั้งนี้ พบว่าปริมาณของ P ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ชนิดเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างระยะเก็บเกี่ยว ($P \geq 0.05$) ยกเว้นหญ้าอะตราตั้ม ซึ่งพบว่าผลผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก มีค่า P สูงที่สุดและแตกต่างจากระยะเก็บเกี่ยวอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ ในการเก็บเกี่ยวครั้งแรกและครั้งที่ 3 ผลผลิตหญ้าแพงโกล่าจะมีปริมาณ P สูงที่สุดและแตกต่างจากหญ้าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลผลิตหญ้าอาหารทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 มีปริมาณของ P ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของ P ในผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์ที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะ (กรมปศุสัตว์, 2547) พบว่าค่าเฉลี่ยของ P ในหญ้าแพงโกล่าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ครั้ง มีค่าสูงกว่าค่าที่ระบุไว้ในตารางคุณค่าทางโภชนะ ซึ่งหญ้าแพงโกล่าที่อายุตัดมากกว่า 59 วัน และอายุตัด 45 วัน จะมีค่า P เท่ากับ 0.15 และ 0.20% ขณะที่ค่าเฉลี่ยของ P ในหญ้า อะตราตั้ม และหญ้าขนที่ได้จากการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ครั้ง มีค่าสูงกว่าค่า P ของหญ้าอะตราตั้มและหญ้าขนที่กำหนดในตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่นเดียวกัน ซึ่งตามตารางคุณค่าทางโภชนะ ค่า P ของหญ้า อะตราตั้มที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน จะมีค่าเท่ากับ 0.21 และ 0.19% ส่วนหญ้าขนที่อายุการตัด 60 และ 45 วัน มีค่าของ P เท่ากับ 0.28 และ 0.34 %

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตหญ้าอะตราตั้ม หญ้าขน และหญ้าแพงโกล่า ในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยจะพบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถดำรงอยู่ เจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้ในระบบ แม้จะเป็นการปลูกในวัสดุกรองประเภทกรวดและทรายซึ่งเป็นวัตถุที่มีธาตุอาหารต่ำ และไม่มีการใส่ปุ๋ยให้กับระบบ แต่เป็นผลเนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียที่ระบายลงสู่ระบบบำบัด และคาดว่าหากมีการดำเนินระบบและเก็บเกี่ยวจนครบรอบปี ปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขนที่ได้จะมีค่าสูงกว่าปริมาณการผลิตด้วยระบบการผลิตตามปกติ ขณะที่ หญ้าแพงโกล่าจะมีปริมาณการผลิตที่ต่ำกว่า ในส่วนของคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผลผลิต พบว่าหญ้าอาหารสัตว์ทุกชนิดที่ได้จากทุกระยะเก็บเกี่ยว มีค่าฟอสฟอรัสสูงกว่าค่าฟอสฟอรัสที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะ ส่วนค่าวัตถุแห้ง ปริมาณโปรตีนหยาบ และปริมาณเยื่อใยหยาบของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าโดยส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุในตารางคุณค่าทางโภชนะ ทั้งนี้โดยรวมแล้ว จะพบว่าเกษตรกรสามารถทำการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียภายในระบบบึงประดิษฐ์ประเภทน้ำไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง หรือเกษตรกรสามารถใช้น้ำเสียชุมชนในการผลิตหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้ได้ เมื่อเกิดข้อจำกัดด้านน้ำหรือขาดแคลนน้ำในกระบวนการผลิต โดยพบว่าปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด ต่อพื้นที่การผลิต มีปริมาณใกล้เคียงกับการผลิตของเกษตรกรเพื่อการปศุสัตว์ตามปกติ แต่สำหรับหน่วยทดลองบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้ เป็นหน่วยทดลองที่ศึกษาถึงการทำหน้าที่หลักของระบบในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียโดยมีผลผลิตหญ้าอาหารสัตว์เป็นผลพลอยได้ การออกแบบและการดำเนินระบบจึงคำนึงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารในน้ำเสียของระบบเป็นหลัก โดยการกำหนดขนาดของระบบซึ่งจะส่งผลต่อขนาดของพื้นที่ปลูกและส่งผลต่อปริมาณของผลผลิตด้วยนั้น มีปริมาณของน้ำเสียที่ต้องการการบำบัดเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบ สำหรับหน่วยทดลองที่ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกขนาด 2.1 m^2 นั้น การเก็บเกี่ยวหญ้าออกจากแปลงปลูกแต่ละแปลงในแต่ละครั้งนั้น จะได้หญ้าสดในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับความต้องการอาหารหยาบของสัตว์ในแต่ละวัน โดยหญ้าแพงโกล่า หญ้าอะตราตั้ม และหญ้าขน ในระบบที่ศึกษาจะให้ผลผลิตหญ้าสดเท่ากับ 698.4- 2,390, 3,206- 6,173.5 และ 1,342.5-2,936 g/plot ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณของหญ้าแพงโกล่าหรือหญ้าขนจากแต่ละแปลง สามารถใช้เป็นอาหารหยาบสดของแพะพื้นเมืองซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 20-25 kg ซึ่งต้องการอาหารหยาบร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว (กรมปศุสัตว์, 2531) ได้เพียง 1 ตัว เท่านั้น ส่วนผลผลิตหญ้าอะตราตั้มสดจากแต่ละแปลง จะมีปริมาณเพียงพอสำหรับเลี้ยงแพะพื้นเมือง จำนวน 1-2 ตัว หรือมีปริมาณเพียงพอสำหรับเลี้ยงแพะพันธุ์ต่างประเทศ ซึ่งมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 60-70 kg และต้องการหญ้าสดในแต่ละวันประมาณ 6-7 kg (กรมปศุสัตว์, 2531) ได้ประมาณ 1 ตัว เท่านั้น

การปรับปรุงรูปแบบและการดำเนินระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ โดยการขยายพื้นที่ผิวและลดปริมาณ HLR ของระบบ หรือการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเวียนกลับเข้ามาในระบบบำบัดอีกครั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ระบบมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียที่มีการผลิตทุกวันได้ในปริมาณที่ลดน้อยลงนั้น การปรับปรุงรูปแบบและการดำเนินระบบดังกล่าวข้างต้นนี้ อาจทำให้ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ สามารถเพิ่มผลพลอยได้ในรูปของผลผลิตหญ้าสดในปริมาณที่สูงขึ้นได้ โดยยังคงประสิทธิภาพหลักของระบบในการลดมลสารในน้ำเสีย ซึ่งการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจะทำให้ทราบแนวทางในการประยุกต์ใช้ที่ชัดเจนขึ้น

คำขอบคุณ

ผู้ศึกษา ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และพื้นที่ศึกษาวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ที่เอื้อเฟื้อให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวก จนทำให้การศึกษาวิจัยนี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. พ.ร.บ. กฎหมาย และมาตราฐาน ที่เกี่ยวกับการควบคุมมลพิษ. สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2554, จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html

กรมปศุสัตว์. 2531. คำแนะนำ การเลี้ยงแพะ โครงการพัฒนาปศุสัตว์ภาคใต้เพื่อการส่งออก. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2539. หญ้าขน. รายงานผลงานวิชาการ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรมปศุสัตว์. 2545ก. หญ้าแพงโกล่า. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
กรมปศุสัตว์. 2545ข. หญ้าอะตราตั้ม. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
กรมปศุสัตว์. 2547. ตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
กรมปศุสัตว์. 2553. พืชอาหารสัตว์พันธุ์ดี. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2547. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ และกฎกระทรวง ประกาศกฎกระทรวง ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เล่มที่ ๑ (พ.ศ. ๒๕๓๕ - พ.ศ. ๒๕๔๑). โรงพิมพ์ดอกเบี้ย, กรุงเทพฯ.
พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก. 2551. การประยุกต์ใช้หญ้าอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 36(4): 312-326.
เพ็ญแข ศิริวรรณ. 2546. สถิติเพื่อการวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ (SPSS Version 10). พิมพ์ครั้งที่ 2. บจก. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.
AOAC. 1965. Official Methods of Analysis, 10th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C, U.S.A.
AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C, USA.
APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition. American Public Health Association Inc., Washington D.C, USA.
Beadle, C.L. 1982. Plant growth analysis. In: Coombs, J., Hall, D.O. (Eds), Techniques in Bio-productivity and Photosynthesis. Pergamon Press, New York.
Chen, Z.M., B. Chen, J.B. Zhou, Z. Li, Y. Zhou, X.R. Xi, C. Lin and G.Q. Chen. 2008. A vertical subsurface-flow constructed wetland in Beijing. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 13: 1986-1997.
Kivaisi, A.K. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering 16: 545-560.
Korkusuz, E.A., M. Beklioglu and G.N. Demirer. 2005. Comparison of the treatment performances of blast furnace slag-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for domestic wastewater treatment in Turkey. Ecological Engineering. 24: 185-198.
U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. Constructed Wetland Treatment of Municipal Wastewaters. Cincinnati, Ohio.
Zurita, F., J. De Anda and M.A. Belmont. 2009. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. Ecological Engineering. 35: 861–869.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้