11R2-02

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าโดยใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษี

Efficiency Comparison of Waste-water Treatment from Dyes using *Cyperus alternifolius L.* and *Typha angustifolia*

จุฑามาศ แก้วมณี[1*] และ ไชนะ มูเล็ง[2]

อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

*โทรศัพท์ : 082-2670177, โทรสาร : 0-7329-9629, E-mail : hang_touleg@hotmail.com

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยกับเนื้อหาและข้อคิดเห็นของบทความ

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้า โดยใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษีในการกำจัดค่าสี ซีโอดี และโลหะหนัก และทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองดังนี้ 1) ชุดควบคุม 2) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นกก 3) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นธูปฤาษี 4) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษีร่วมกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในรูปแบบของบึงประดิษฐ์ ชั้นกรองที่เลือกมาใช้โดยเป็นวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติ คือ กรวด ดิน และทราย โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดดังต่อไปนี้ คือ สี ซีโอดี แคดเมียม ตะกั่ว และโครเมียม โดยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 15 วัน พบว่า การใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษีร่วมกันสามารถลดค่าสีและซีโอดีได้ดีที่สุด และระยะเวลาเก็บกักมีผลให้ค่าสีลดลงตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่นานขึ้น โดยชุดการทดลองที่ปลูกพืชสองชนิดร่วมกันสามารถลดค่าสีและซีโอดีได้รวดเร็วที่สุด และต้นธูปฤาษีสามารถลดค่าตะกั่วและโครเมียมได้ดีที่สุด แต่การใช้พืชร่วมกันสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมได้เร็วที่สุด ส่วนต้นกกสามารถลดค่าซีโอดีและแคดเมียมได้ดีที่สุด และพบว่าการใช้พืชชนิดเดียวสามารถกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่าการปลูกพืชร่วมกัน แต่ต้นกกสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมถึง 100% ได้เร็วกว่าต้นธูปฤาษี ควรมีการทดลองต่อยอดโดยเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่นานขึ้น และอาจมีการขยายขนาดการทดลองเป็นระดับประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : การกำจัดสี, น้ำเสียจากสีย้อมผ้า, ต้นกก, ต้นธูปฤาษี, บึงประดิษฐ์

Abstract

The comparison study of dyes treatment from industrial wastewater using *Cyperus alternifolius L.* and *Typha angustifolia* for color, COD and heavy metal removal. The study aims to gain knowledge and basic standard for dyes wastewater effluence. The laboratory scale experiment was conducted. The testing experiment consists of *Cyperus alternifolius L.* constructed wetland treatment, *Typha angustifolia* constructed wetland treatment and the combining system for efficiency comparison. The selected filtration medias were stone, gravel and sand. The hydraulic retention time is 15 days. The measuring parameters were color, COD, Cd, Pb and Cr. The result shown that the combing system has the best color and COD removal efficiency. The hydraulic retention time plays an important role in reducing dyes color based on time. The combining system has the most rapid rate of color and COD removing. The heavy metal removal of *Typha angustifolia* is the best in Pb and Cr removal but the combining system is better in terms of removal time. *Cyperus alternifolius L.* is the best for COD and Cd removal. The separated system gives better Cd removal efficiency comparing to the combining system but *Cyperus alternifolius L.* can yield 100% Cd removal efficiency faster than *Typha angustifolia* using only 9 days of hydraulic retention time. The further study is needed for practical system or pilot scale test in order to obtain real life efficiency and reduce parameters error and fluctuation.

Keywords : color removal, dye wastewater, *Cyperus alternifolius L.*, *Typha angustifolia*, constructed wasteland

บทนำ

น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าอาจเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะมีค่าสีที่มีความเข้มข้นสูง ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจและไม่น่ามองต่อผู้ที่พบเห็น และมักมีกลิ่นฉุน และสีย้อมผ้าอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดผสมอยู่ เช่น โครเมียม แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว เป็นต้น สำหรับการศึกษานี้จะใช้สีย้อมผ้าโดยการเตรียมเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ และเป็นสีที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป ปัจจุบันยังไม่มีการกระบวนการใดที่สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกระบวนการบำบัดสีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำทิ้ง ชนิดของสีย้อม และปริมาณสีที่ใช้ ซึ่งปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้โอโซน การตกตะกอนด้วยสารเคมี การกรองด้วยแผ่นเยื่อ การแลกเปลี่ยนอิออน แต่วิธีการที่กล่าวมาเป็นวิธีที่มีความซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงควรหาเทคโนโลยีที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียซึ่งใช้ต้นทุนน้อยในการบำบัด โดยใช้พืชสองชนิดในการบำบัด ได้แก่ ต้นกกและธูปฤาษี เป็นพืชที่นำมาทำการทดลองเพื่อช่วยในการดูดซับสีและโลหะหนักในน้ำเสียเพื่อดูว่าพืชชนิดใดหรือแบบร่วมกัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าได้มากที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา และให้คุณภาพน้ำทิ้งดีขึ้นก่อนปล่อยลงสู่คูระบายน้ำสาธารณะ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการวิจัยนี้ทำการทดลองในระดับห้องทดลอง เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าระหว่างต้นกกและต้นธูปฤาษี โดยใช้ระยะเวลา 11 เดือน คือเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือน พ.ศ. พฤศจิกายน 2558 ทำการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมผ้า และเตรียมชุดการลอง 4 ชุดการทดลองดังนี้ 1) ชุดควบคุม 2) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นกก 3) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นธูปฤาษี 4) ชุดการทดลองโดยใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษีร่วมกัน โดยใช้พารามิเตอร์ในการตรวจวิเคราะห์ ดังนี้ สี (Color), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand), แคดเมียม (Cadmium), ตะกั่ว (Lead), โครเมียม (Chromium) ซึ่งบึงประดิษฐ์มีตำแหน่งในการปลูกพืชบำบัดดังต่อไปนี้ คือ ทุกต้นห่างจากผนัง 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น แนวยาว 15 เซนติเมตร จะปลูกต้นธูปฤาษีและต้นกกได้ชุดการทดลองละ 6 ต้น ส่วนชั้นกรองที่เลือกมาใช้ในบึงประดิษฐ์เป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด ดิน และทราย โดยใช้ชั้นกรวดหนา 2 ซม. เป็นชั้นบนสุดและชั้นดินผสมทราย อัตราส่วน 3:1 สูง 15 ซม. เป็นชั้นล่าง ซึ่งความสูงของวัสดุชั้นกรองจะเป็นตัวแปรที่กำหนดโอกาสสัมผัสระหว่างสารแขวนลอย และวัสดุชั้นกรอง เพื่อให้เกิดกลไกการดูดติดผิว และเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยเพราะคุณภาพน้ำที่กรองจะใสขึ้นโดยการกรองด้วยชั้นหิน ดินผสมทรายสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำจะถูกกักไว้ในช่องว่างระหว่างหิน ดิน ทราย ซึ่งเปรียบเสมือนบ่อดักตะกอนเล็กๆ จำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นตัวกลางทำหน้าที่ให้รากพืชกับจุลินทรีย์ยึดเกาะ และทำให้เกิดการกระจายของน้ำเสีย บ่อทดลองสร้างด้วยอิฐบล็อกฉาบปูน รองรับปริมาตรน้ำเสียได้ 90 ลิตร โดยขนาดบ่อทดลอง มีความกว้าง 0.3 เมตร ความยาว 1 เมตร และความลึก 0.3 เมตร จำนวน 4 บ่อ และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในแต่ละบ่อ 42 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 1-4

การหาประสิทธิภาพในการกำจัดหรือเปอร์เซ็นต์การดูดซึมนั้นคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\% \text{ Removal} = \frac{(Ci - Ce)}{Ci} \times 100 \qquad [1]$$

โดยที่ % Removal = ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)

Ci = ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)

Ce = ความเข้มข้นที่สมดุล (mg/L)

รูปที่ 1 ชุดควบคุม

รูปที่ 2 ต้นกก

รูปที่ 3 ต้นธูปฤาษี

รูปที่ 4 ต้นกกและต้นธูปฤาษี

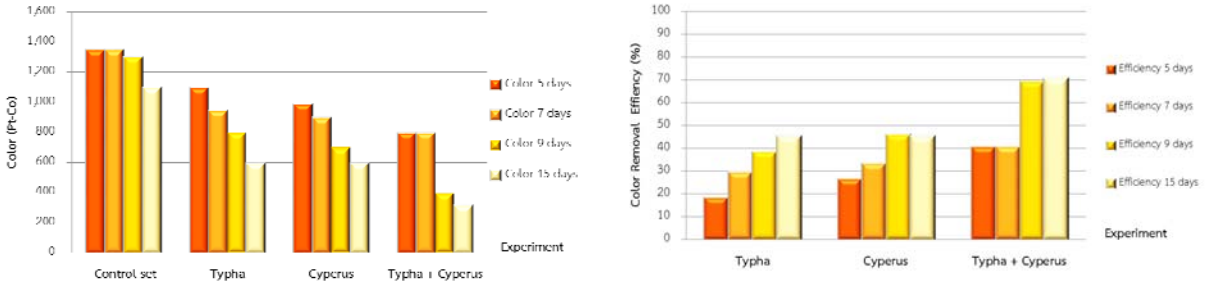
ผลการทดลองและวิจารณ์

ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของน้ำเสียก่อนการบำบัด มีค่าสีอยู่ 1,400 Pt-Co ดังตารางที่ 1 ซึ่งหากเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษ พิจารณาได้ว่าเป็นที่พึงรังเกียจ สำหรับค่า ซีโอดี นั้นมีค่าเท่ากับ 643.80 mg/L ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 mg/L ส่วนค่าแคดเมียม ตะกั่ว และโครเมียม มีค่าเท่ากับ 0.007, 0.01 และ 0.008 mg/L ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานทั้งสิ้น แต่ทั้งนี้ในการทดลองนี้เราจะพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้งสามชนิดนี้ด้วย เพราะค่าประสิทธิภาพการกำจัด และแนวโน้มที่ได้จากการทดลองนี้อาจนำไปใช้อ้างอิงหรือเทียบสัดส่วนหากมีการขยายขนาดของบึงประดิษฐ์ตามสัดส่วนเดิมให้ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับน้ำเสียที่มีค่าโลหะหนักเข้มข้นกว่าเดิมได้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองน้ำก่อนเข้าระบบบำบัด

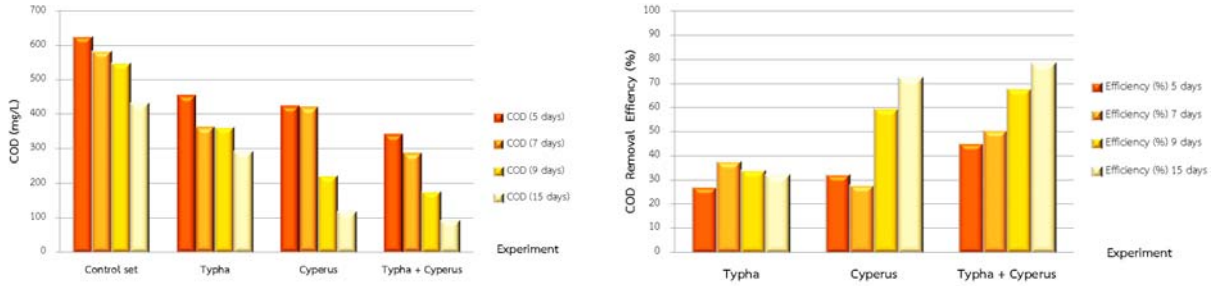
Parameter	Result	Unit
Color	1,400	Pt-Co
COD	643.80	mg/L
Cd	0.007	mg/L
Pb	0.010	mg/L
Cr	0.008	mg/L

สี ค่าสีของน้ำเสียจากสีย้อมผ้า เมื่อผ่านบึงประดิษฐ์แล้วนำค่าสีที่ผ่านการบำบัดแล้วมาพล็อตกราฟ แสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีของชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชบำบัดผสมกันทั้งสองชนิดที่ระยะเวลา 5 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าสีสูงที่สุด โดยที่ค่าสีลดลงเหลือเพียง 800 Pt-Co เมื่อถึงวันที่ 9 พบว่าค่าสีจะลดลงอย่างมากเหลือเพียง 400 Pt-Co และจะมีค่าสีต่ำที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 15 ในขณะเดียวกันในชุดการทดลองที่ใช้ต้นธูปฤาษี และต้นกกพบว่าค่าสีลดลงจาก 1,100 และ 990 Pt-Co ในวันที่ 5 เหลือเพียง 950 และ 900 Pt-Co ในวันที่ 7 ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษี และต้นกกมีการลดลงของค่าสีอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอจนถึงวันที่ 15 ซึ่งเมื่อเทียบการลดลงของค่าสีในชุดควบคุมแล้ว พบว่ามีการลดลงของค่าสีอย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆ เช่นกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 15 แล้ว ค่าสีในน้ำเสียก็ยังคงมีปริมาณสูงกว่าน้ำเสียในชุดการทดลองอื่นๆ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสี จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่าการทดลองที่มีการปลูกพืชสองชนิดร่วมกันมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด แต่จะสังเกตได้ว่าในชุดการทดลองที่มีการปลูกต้นกกและต้นธูปฤาษีนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับในระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ผ่านไป ในขณะที่ในชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดในวันที่ 5 และ 7 ใกล้เคียงกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้วจึงมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากในวันที่ 9 และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในวันที่ 15 ซึ่ง Rahul V. et al., 2015 [2] ทำการทบทวนเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้บึงประดิษฐ์ปลูกพืชหลายชนิดรวมทั้งพืชน้ำอย่างต้นกก และต้นธูปฤาษีในการบำบัดสีในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า พบว่าการใช้พืชบำบัดเป็นวิธีที่พึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย อีกทั้งไม่เหลือสารเคมีตกค้างเมื่อเทียบกับการบำบัดโดยวิธีอื่นๆ ซึ่งพืชเหล่านี้มีเอ็นไซม์ที่สามารถย่อยสายทางชีวภาพ โดยเข้าทำลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของสี และทำให้เกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการทดลองที่มีการปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีถึง 70% ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 15 วัน และสามารถลดค่าสีได้ถึง 1000 Pt-Co เมื่อเทียบกับชุดควบคุม



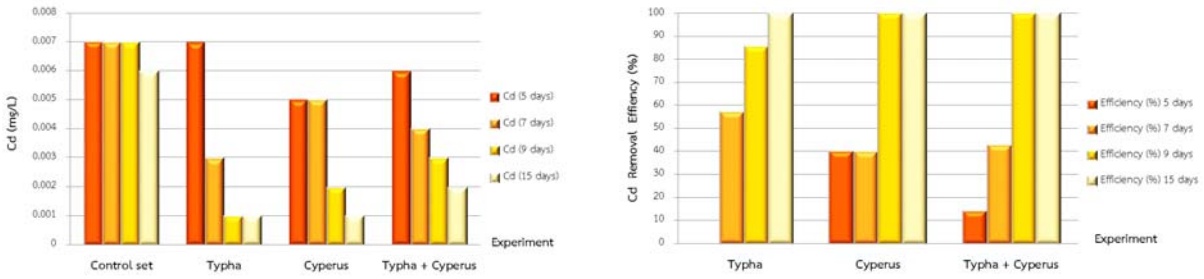
รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าสี (Color) และประสิทธิภาพการกำจัดสี ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 5, 7, 9 และ 15 วัน

ซีโอดี ค่าซีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัด แสดงดังรูปที่ 3 โดยชุดการทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีจะมีค่าซีโอดีสูงที่สุดในวันที่ 5 เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ปลูกต้นกกและชุดที่ปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 455.12 mg/L แต่จะมีการลดลงเหลือ 362.36 mg/L ในวันที่ 7 และจะลดลงเพียงเล็กน้อยในวันที่ 9 และลดลงอีกในวันที่ 15 ซึ่งมีแนวโน้มต่างจากชุดการทดลองที่ปลูกต้นกกที่ในช่วงวันที่ 5 และ 7 จะมีค่าซีโอดีใกล้เคียงกันและลดลงเพียงเล็กน้อยคือ 423.65 mg/L และ 420.31 mg/L ตามลำดับ แต่จะพบว่าในวันที่ 9 นั้น ค่าซีโอดีจะลดลงเกือบเท่าตัวจนเหลือ 221.18 mg/L และลดลงอีกจนเท่ากับ 118.26 mg/L ในวันที่ 15 ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชร่วมกันสองชนิดจะมีการลดลงของค่าซีโอดีลดหลั่นกันตามลำดับ และจะลดลงต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองในวันที่ 15 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 92.61 mg/L สำหรับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชร่วมกันสองชนิดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ผ่านไป ซึ่งมีค่า 45.29% ในวันที่ 5 จนถึง 78.47% ในวันที่ 15 ตามลำดับ เนื่องจากชุดทดลองที่มีการปลูกพืชจะมีการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ชุดทดลองผ่านทางรากพืช ซึ่งสารอินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถกำจัดได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกาะกับตัวกลางและรากพืช การกรองและการติดค้างเมื่อน้ำเสียผ่านต้นพืชและชั้นตัวกลาง ซึ่งในช่วงแรกของการทดลองจุลินทรีย์และต้นพืชอยู่ระยะปรับตัวให้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมใหม่ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจึงยังไม่สูงนัก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์และต้นพืชสามารถปรับตัวได้และอยู่ในสภาวะคงตัวแล้วซีโอดีจะถูกใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ และยังมีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันซึ่งต้องใช้ซีโอดีเป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาและยังต้องใช้ซีโอดีในการสร้างเซลล์และใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ด้วย จึงทำให้ค่าซีโอดีลดลง (สุวศา กานตวนิชกูช,2544) [3]



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าซีโอดี (COD) และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 5, 7, 9 และ 15 วัน

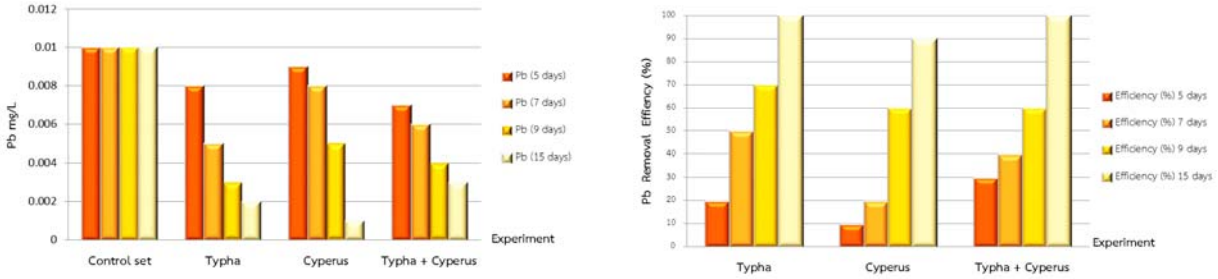
แคดเมียม ค่าแคดเมียมในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วแสดงดังรูปที่ 4 ชุดควบคุมนั้นค่าแคดเมียมมีค่าลดลงเล็กน้อย เหลือเท่ากับ 0.006 mg/L ในวันที่ 15 ชุดการทดลองที่มีการปลูกต้นธูปฤาษีในวันที่ 5 มีค่าแคดเมียมเท่ากับ 0.007 mg/L ลดลงเหลือ 0.001 mg/L ในวันที่ 9 และคงที่ไปจนสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 15 ค่าแคดเมียมในน้ำเสียที่ปลูกต้นกกลดลงต่ำสุดที่ 0.001 mg/L ในวันที่ 15 ส่วนชุดการทดลองที่มีการปลูกร่วมกัน ในวันที่ 5 ของการทดลอง มีการลดลงของแคดเมียมในน้ำเสียได้ช้ากว่าชุดการทดลองที่ปลูกต้นกก และค่าแคดเมียมในชุดการทดลองที่ปลูกพืชร่วมกันมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชเพียงชนิดเดียวคือเท่ากับ 0.002 mg/L สำหรับค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสีย พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ในวันที่ 9 และ 15 ของการทดลอง ซึ่งมีเฉพาะชุดการทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีเท่านั้นที่ช่วง 5 วันแรกไม่มีการกำจัดของแคดเมียมเลย จนถึงวันที่ 15 ของการทดลองจึงกำจัดแคดเมียมได้หมด สำหรับชุดการทดลองที่ปลูกต้นกกมีประสิทธิภาพในการกำจัดวันที่ 5 เท่ากับ 40% และมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 9 นั้นประสิทธิภาพการกำจัดพุ่งขึ้นถึง 100% ชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชบำบัดร่วมกันในวันที่ 5 ของการทดลองจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 14.29% และสามารถกำจัดแคดเมียมได้ถึง 100% ในวันที่ 9 ของการทดลอง Ammari et a., 2015 [4] ทำการทดลองการดูดซับแคดเมียมจากน้ำเสีย โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกต้นกก พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลาสัมผัสของน้ำเสียกับต้นพืช ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณแคดเมียมที่มีในน้ำเสีย และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าต้นกกมีความสามารถในการนำมาใช้เป็นพืชบำบัดแคดเมียมในน้ำเสียโดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ได้ดี และมีค่าดูดซับแคดเมียมเท่ากับ 65.4% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทดลองครั้งนี้ในช่วงระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 7 วันแรก แต่เมื่อถึงวันที่ 9 พบว่าระบบที่ปลูกพืชร่วมกันสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมถึง 100% ซึ่งสูงกว่าการทดลองที่ผ่านมา



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าแคดเมียม (Cd) และประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 5, 7, 9 และ 15 วัน

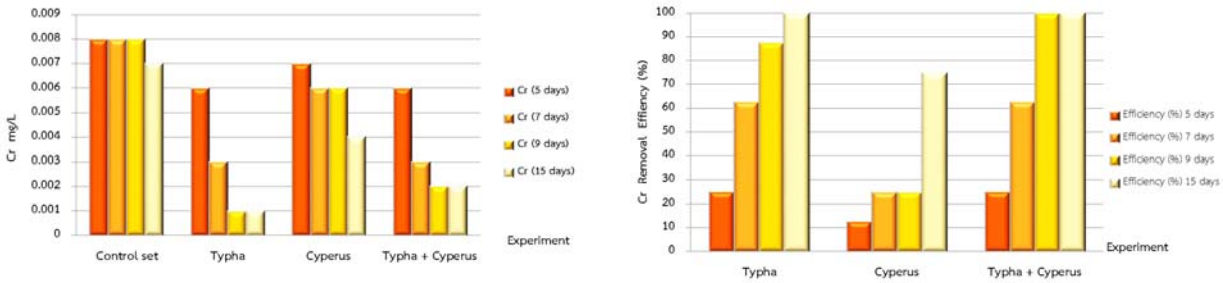
ตะกั่ว ค่าของตะกั่วในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้วแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในชุดควบคุม ค่าตะกั่วในน้ำเสียไม่มีการลดลงเลยแม้เวลาจะผ่านไปก็ตาม และชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชบำบัดทั้งสามชุดมีแนวโน้มในการลดลงของค่าตะกั่วเมื่อเวลาผ่านไปเช่นเดียวกัน แต่สังเกตได้ว่า ชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชร่วมกันมีความคงที่ในการกำจัดตะกั่วที่ดีกว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชเพียงอย่างเดียว แม้ว่าที่สิ้นสุดการทดลองต้นกกสามารถลดค่าตะกั่วให้เหลือต่ำที่สุดก็ตาม อีกทั้งการปลูกพืชสองชนิดร่วมกัน สามารถลดค่าตะกั่วในน้ำเสียให้ลดลงอย่างรวดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น โดยในวันที่ 5 สามารถลดค่าตะกั่วเหลือเพียง 0.007 mg/L เท่านั้น สำหรับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของต้นกกมีค่าต่ำสุด ส่วนต้นธูปฤาษีนั้น แม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดในช่วง 5 วันแรกจะเกิดขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการปลูกพืชร่วมกันก็ตาม แต่ต้นธูปฤาษีจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงขึ้นยิ่งกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในวันที่ 7 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว ชุดการทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีและชุดที่มีการปลูกพืชร่วมกันมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีเยี่ยมเท่าเทียมกัน Lyubenova L at al., 2012 [5] ทำการทดลองศึกษาการดูดซับตะกั่วของต้นธูปฤาษี โดยศึกษา

ถึงปริมาณการดูดซับตะกั่วในแต่ละส่วนของต้นธูปฤาษี พบว่าต้นธูปฤาษีจะมีการดูดซับตะกั่วเอาไว้ในบริเวณรากและไรโซมได้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากตะกั่วสามารถจับตัวกับฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ที่อยู่บริเวณรากและไรโซม และต้นธูปฤาษีนั้นมีบริเวณหน้าสัมผัสของรากและไรโซมสูง จึงทำหน้าที่หลักในการดูดซับตะกั่วได้ดี



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าตะกั่ว (Pb) และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 5, 7, 9 และ 15 วัน

โครเมียม ค่าโครเมียมในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดแล้ว แสดงดังรูปที่ 6 ต้นธูปฤาษีสามารถกำจัดโครเมียมได้ดีกว่าชุดที่มีการปลูกพืชร่วมกันในวันที่ 9 และ 15 ตามลำดับ ส่วนต้นกกต้องใช้เวลาถึง 15 วัน จึงจะสามารถลดค่าโครเมียมจาก 0.007 mg/L เหลือ 0.004 mg/L ได้ ในขณะที่ต้นธูปฤาษีสามารถลดค่าโครเมียมในน้ำเสียเหลือเพียง 0.01 mg/L ได้ตั้งแต่วันที่ 9 เป็นต้นไป ซึ่งดีกว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชร่วมกัน ที่สามารถลดค่าโครเมียมได้เหลือ 0.002 mg/L ในวันที่ 9 และคงที่จนถึงวันที่ 15 สำหรับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย พบว่าในวันที่ 9 ของการทดลองชุดการทดลองที่ปลูกพืชร่วมกันสามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสียได้หมดสิ้น ซึ่งเร็วกว่าชุดการทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ชุดการทดลองที่ปลูกต้นกกเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 15 นั้น ไม่สามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสียให้หมดไปได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่สิ้นสุดการทดลองเพียง 75% เท่านั้น ซึ่งกลไกที่ต้นกกและต้นธูปฤาษีสามารถกำจัดโครเมียมได้นั้น พัณณ์ชิตา ปิงชัย 2555 [6] ได้ศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวแนวดิ่ง พบว่ามีการสะสมของโครเมียมที่รากมากที่สุด รองลงมาคือลำต้น ตัวกลาง และใบ ซึ่งการบำบัดโลหะหนักโดยใช้พืชนั้นอาศัยความทนทานและความสามารถในการเก็บสะสมโลหะหนักของพืช โดยพื้นผิวของรากจะทำหน้าที่ในการดูดซึมโลหะหนักผ่านเข้าไปในเยื่อหุ้มเซลล์ของรากพืช แล้วทำการเก็บโลหะหนักนั้นในช่องว่างของเซลล์พืช ซึ่งหากโลหะหนักมีปริมาณมากขึ้น หรือระบบบึงประดิษฐ์มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียยาวนานขึ้น โลหะหนักที่เก็บสะสมที่รากจะถูกส่งไปเก็บที่ท่อลำเลียงน้ำในลำต้น ของพืช (Matagi *et al*., 1998 [7]) ซึ่งการทดลองนี้ในช่วงแรกพืชอยู่ระหว่างการปรับตัว เมื่อเวลาผ่านไป พืชจึงสามารถเก็บกักโครเมียมได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมถึง 100% ดังข้างต้น



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าโครเมียม (Cr) และประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 5, 7, 9 และ 15 วัน

สรุป

การใช้ต้นกกและต้นธูปฤาษีร่วมกัน จะสามารถลดค่าสีและซีโอดี อีกทั้งให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดพารามิเตอร์ทั้งสองได้ดีที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุดด้วย ซึ่งจะเห็นว่าระยะเวลาเก็บกักมีผลให้ค่าสีและค่าซีโอดีลดลงตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่นานขึ้น และพบว่าต้นกกสามารถลดค่าซีโอดีและแคดเมียมในน้ำเสียได้ดีและรวดเร็วที่สุด โดยสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 100% ภายในระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 9 วัน ในขณะที่ต้นธูปฤาษีสามารถลดค่าตะกั่วและโครเมียมในน้ำเสียได้ดีที่สุด เมื่อถึงวันที่สิ้นสุดการทดลอง พบว่าการปลูกพืชสองชนิดร่วมกันสามารถให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักทั้งสามชนิดได้ถึง 100% โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้พืชเพียงชนิดเดียว

จากผลทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าควรเลือกใช้การปลูกพืชสองชนิดร่วมกันในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้า จึงจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีกว่าการใช้พืชชนิดเดียว

ข้อเสนอแนะ ควรมีการขยายขนาดการทดลองเป็นระดับประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจเลือกพืชชนิดอื่นๆ ที่มีความเป็นไปได้ในการใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียมาทดลองเปรียบเทียบเพิ่มเติมด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัย งบบำรุงการศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2557 คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] APHA, AWWA and WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21 ^{2th} edition, Washington, DC: American Pubic Health Association.

[2] Rahul V. Khandarea and Sanjay P. Govindwar. 2015. Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects. Biotechnology Advances, 33 (8), 1697-1714.

[3] อุไรวรรณ เอกสินธุ์, ศุวศา กานตวนิชกูร. (2545). การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานด้วยธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 10(3), 17-24.

[4] Tarek G. Ammari, Ibrahim Al-Labadi, Alaedeen Tahboub, Ayoup Ghrair. (2015). Assessment of unmodified wetland bio-waste: Shoots of Cyperus laevigatus, for cadmium adsorption from aqueous solutions. Process Safety and Environmental Protection, 95, 77-85.

[5] Lyudmila Lyubenova, Paula Pongrac, Katarina Vogel-Mikuš, Gašper Kukec Mezek, Primož Vavpetič, Nataša Grlj, Peter Kump, Marijan Nečemer, Marjana Regvar, Primož Peliconc and Peter Schrödera. (2012). Localization and quantification of Pb and nutrients in Typha latifolia by micro-PIXE. Global approaches to metals in the biosciences, 4, 333-341.

[6] พัณณ์ชิตา ปิงชัย. (2555). การกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวแนวดิ่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 48-53

[7] Matagi S. V, Swai D. and Mugabe R. (1998). A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. African Journal of Tropical Hydrobiology and Fisheries, 8 (1), 23-35.