JPAGS
Journal of Physics & General Science

การดูดซับสีย้อมโดยใช้เซลลูโลสจากหญ้าขน

Adsorption of Dye Stuff using Cellulose Extracted from Para Grass (*Brachiaria mutica*)

รสิกรณ์ รูปายี อรยา เพ็งเกตุ และสุพัฒน์ บุตรดี*

Rasikorn Rupayee, Araya Pengket and Supat Buddee*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

General Science Program, Faculty of Education, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakorn Si Thammarat

*Corresponding author e-mail: supat_buddee@yahoo.com

(Received: November 2, 2019, Revised: November 26, 2019, Accepted: December 24, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของเซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขน ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส ความเข้มข้นของสีย้อม โดยระยะเวลาในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง เก็บผลการทดลอง 4 ครั้ง คือ เมื่อเวลา 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที โดยใช้ปริมาณผงเซลลูโลสจากหญ้าขน 1 และ 1.5 กรัม ความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้มี 3 ระดับ คือ 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm พบว่า เซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขนสามารถดูดซับสีย้อมทั้งคริสตัลไวโอเล็ต crystal violet หรือ CV และสีย้อมเมทิลีนบลู methylene blue หรือ MB ได้เป็นอย่างดี และสามารถดูดซับได้ถึง 90 - 98 % ซึ่งถือได้ว่ามีประสิทธิภาพที่ดีมาก เมื่อเวลาในการดูดซับมากขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียจากสีย้อมของเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียจากสีย้อมคริสตัลไวโอเลตและเมทิ-ลีนบลู ในความเข้มข้นที่ 10 ppm พบว่าเป็นความเข้มข้นที่มีการดูดซับได้ดีที่สุด โดยค่าร้อยละของประสิทธิภาพการดูดซับของ CV มีค่าเท่ากับ 94.96 % และค่าร้อยละของประสิทธิภาพการดูดซับของ MB มีค่าเท่ากับ 99.43 % เมื่อตรวจหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่สกัดได้จากหญ้าขนด้วยเทคนิค FTIR พบว่าการดูดกลืนแสงบริเวณเลขคลื่นอยู่ในช่วง 1245 cm^{-1}, 1052.25 cm^{-1} และ 890 – 900 cm^{-1}

คำสำคัญ: เซลลูโลส กระบวนการดูดซับ สีย้อม

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the factors affecting the dye adsorption efficiency of cellulose extracted from the Para Grass (*Brachiaria Mutica*), such as the amount of cellulose and dye concentration. In this test, spend a total time of 1 hour, the results of the experiment were collected 4 times, i.e., at 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes and 60 minutes by using cellulose powder from Para Grass at 1 and 1.5 grams. The concentration of dyes used for three concentrations was 10 ppm, 20 ppm and 30 ppm. It was found that the cellulose extracted from the Para Grass could absorb the dye, both crystal violet (CV) and methylene blue (MB). The percentage of absorption up to 90 – 98 %, which has a very good performance. When the absorption time increases, increasing the efficiency of absorbing waste water from cellulose dyes. For the adsorption efficiency of the dye from CV and MB at the concentration of 10 ppm, it was found that the adsorption concentration was the best. The percentage of adsorption efficiency of CV is 94.96 % and the percentage of adsorption efficiency of MB is 99.43 %. When inspect the function group and chemical structure of cellulose extracted from Para Grass by FTIR technique, found that the wave numbers of absorption are 1245 cm^{-1}, 1052.25 cm^{-1} and 890 - 900 cm^{-1}.

Keywords: cellulose, adsorption, dye

บทนำ

ในปัจจุบันสีย้อม (dyes) ถูกใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ฟอกหนัง ผลิตกระดาษ ผลิต เครื่องสำอาง อาหาร และการพิมพ์ [1] สีย้อมที่ปนเปื้อนมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากเป็นสารเคมีสังเคราะห์ทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นสารก่อมะเร็งหรือทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ เนื่องจากในโครงสร้างของสีย้อมส่วนใหญ่มีวงแหวนแอโรมาติกอยู่ในโมเลกุล นอกจากนี้สีย้อมยังปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องลงไปในน้ำ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในน้ำ และทำให้เสียทัศนียภาพ [2-3] สีย้อมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดีแต่ย่อยสลายยาก เนื่องจากทนทานต่อแสงและความเป็นกรดด่าง ทำให้ยากต่อการบำบัด [4] การบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เช่น การตกตะกอน (coagulation) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) การดูดซับด้วยผงถ่าน (carbon adsorption) การบำบัดทางชีววิทยา (biological treatment) เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (membrane technology) และนาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration) อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวข้างต้นนั้น มีข้อเสียคือ ไม่สามารถกำจัดของเสียให้หมดภายในครั้งเดียวได้ [5] โดยการบำบัดน้ำเสียอีกหนึ่งวิธี คือ การดูดซับน้ำเสียโดยใช้เซลลูโลสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ซังข้าวโพด วิธีนี้นับเป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังมีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียมากที่สุด จากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดและได้จัดทำงานวิจัยเรื่อง การดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเลตและสีย้อมแมททิวลีนบลูโดยใช้เซลลูโลสจากหญ้าขนขึ้นมาเพื่อทำการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ให้มีปริมาณที่ลดน้อยลงเพื่อช่วยด้านสุขภาพอนามัยของผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงกับแหล่งน้ำ ซึ่งในอนาคต ถ้างานวิจัยนี้สำเร็จได้ผลดี จะต่อยอดจนถึงสามารถกำจัดไอออนของโลหะด้วยเซลลูโลสได้ [6]

เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการรวมตัวกันของกลูโคสหลายหมื่นโมเลกุล การที่กลูโคสจำนวนมากมาต่อกันเป็นสายยาวจึงทำให้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวที่ไม่ละลายน้ำ เซลลูโลสมีบทบาทหน้าที่แตกต่างไปจากแป้งและไกลโคเจน คือ ไม่ได้อยู่ในรูปแบบการเก็บสะสมอาหารของสิ่งมีชีวิต แต่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ของพืช ช่วยทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของพืช

หญ้าขน (Para Grass) จัดเป็นหญ้าอาหารสัตว์ที่นิยมปลูก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถเติบโตได้ดีทั้งพื้นที่ดอนและชุ่มน้ำ ลำต้นหญ้าขนนั้นมีขนปกคลุมใบ ลำต้นสามารถเลื้อยได้ยาวกว่า 1 เมตร และอาจพบความสูงหรือความยาวได้มากถึง 3 เมตร โดยลำต้นจะมีลักษณะกลมเป็นข้อปล้อง ผิวลำต้นเรียบ สีเขียวสด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของเซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขน

วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1) คัดเลือกหญ้าขนสดที่มีลักษณะต้นสมบูรณ์ อายุประมาณ 3-10 สัปดาห์ แบบกินเต็มที่จากบริเวณพื้นที่ทุ่งกว้างของตำบลท่างิ้ว และตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเลือกหญ้าที่มีความยาว 0.9-1.0 เมตร นับจากยอด จากนั้นนำมาตัดให้มีความยาว 1-2 นิ้ว ล้างให้สะอาด 2-3 ครั้ง

2) นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วันละ 6 ชั่วโมง จำนวน 2 วัน

3) นำหญ้าขนที่ผ่านการอบปั่นละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร

2. ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส

1) นำผงหญ้าขนที่ผ่านการบดละเอียด ตัวอย่างละ 50 กรัม แช่ด้วยเอทานอล 95 % ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ครั้ง

2) นำมากรองแล้วล้างตะกอนจนกระทั่งเป็นกลาง

3) นำมาสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 8 % (w/v) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดโปรตีนที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง

4) นำมากรองและล้างตะกอนจนกระทั่งเป็นกลาง

5) นำมาฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นในช่วง 8 % (w/v) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดลิกนิน ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ Magnetic bar และ Magnetic stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

6) นำมากรองและล้างตะกอนจนกระทั่งเป็นกลาง

7) นำไปอบแห้งในตู้อบแห้งชนิดลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3. ขั้นตอนการทดสอบเซลลูโลส

1) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของผลึกเซลลูโลสโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Nicolet 6700 ระหว่าง 4000 – 400 cm^{-1} โดยใช้ KBr plate

2) ศึกษาพื้นผิวของผลึกเซลลูโลสโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

4. การศึกษาประสิทธิภาพของเซลลูโลสในการดูดซับน้ำสีย้อม

1) เตรียมน้ำสีย้อม CV และน้ำสีย้อม MB ที่ความเข้มข้น 50 ppm และเจือจางให้ได้สามความเข้มข้น คือ 10 ppm , 20 ppm และ 30 ppm

2) นำเซลลูโลสที่ผ่านการสกัดชั่งให้ได้ครั้งละ 1 และ 1.5 กรัม และนำไปใส่ในบีกเกอร์อย่างละ 6 บีกเกอร์

3) นำน้ำสีย้อม CV และน้ำสีย้อม MB ที่ความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm เทใส่บีกเกอร์ที่มีผงเซลลูโลส 1 กรัม และ 1.5 กรัม บีกเกอร์ละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 บีกเกอร์

4) นำ Magnetic bar หย่อนลงในสารละลายน้ำสีย้อม แล้วนำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่อง Magnetic stirrer แล้วเปิดเครื่องให้มีความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที

5) เมื่อเวลาครบ 15 นาที ปิดเครื่อง Magnetic stirrer ตั้งสารละลายไว้ให้ตกตะกอนสัก 2-3 นาที ใช้หลอดหยดดูดสารละลายในบีกเกอร์ขึ้นมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

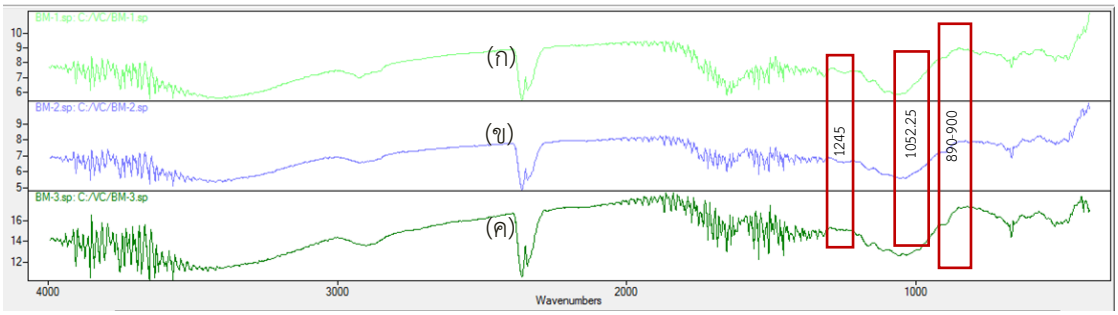
6) เปิดเครื่อง Magnetic stirrer แล้วจดบันทึกเวลา หลังจากนั้นเก็บสารละลายน้ำสีย้อมในบีกเกอร์ ทุก ๆ 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง

7) นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดย CV ถูกทดสอบที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร และ MB ถูกทดสอบที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นสารกับค่าการดูดกลืนแสงและหาเปอร์เซ็นค่าการดูดซับ

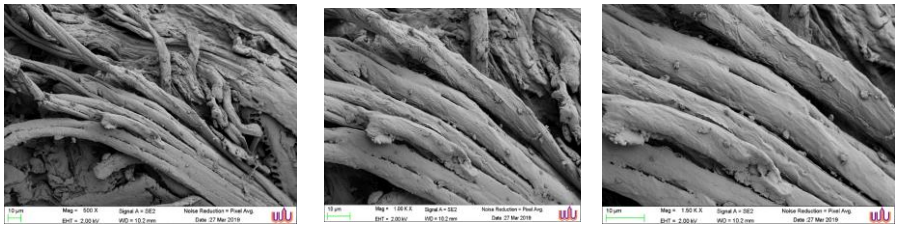
ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเซลลูโลส โดยพิจารณาหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Nicolet 6700 เพื่อยืนยันหมู่ฟังก์ชันในส่วนใบของหญ้าขน ดังนี้

ในแถบ (ก) ของภาพที่ 1 ช่วงเลขคลื่น 1245, 1052.25 และ 890 – 900 cm^{-1} เห็นได้ชัดเจนว่า มีส่วนประกอบของลิกนินและมีน้ำมาก ในแถบ (ข) ช่วงเลขคลื่น 1245 cm^{-1}, 1052.25 cm^{-1} เห็นว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง แต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นเซลลูโลส เนื่องจากสเปกตรัม ในช่วง 890 – 900 cm^{-1} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ในแถบ (ค) ที่เลขคลื่น 1245 cm^{-1}, 1052.25 cm^{-1} และในช่วง 890 – 900 cm^{-1} เห็นได้ชัดเจนว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สูญเสียลิกนิน การสูญเสียน้ำ และความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส



ภาพที่ 1 สเปกตรัม FTIR ของเซลลูโลสจากหญ้าขน



(ก) (ข) (ค)

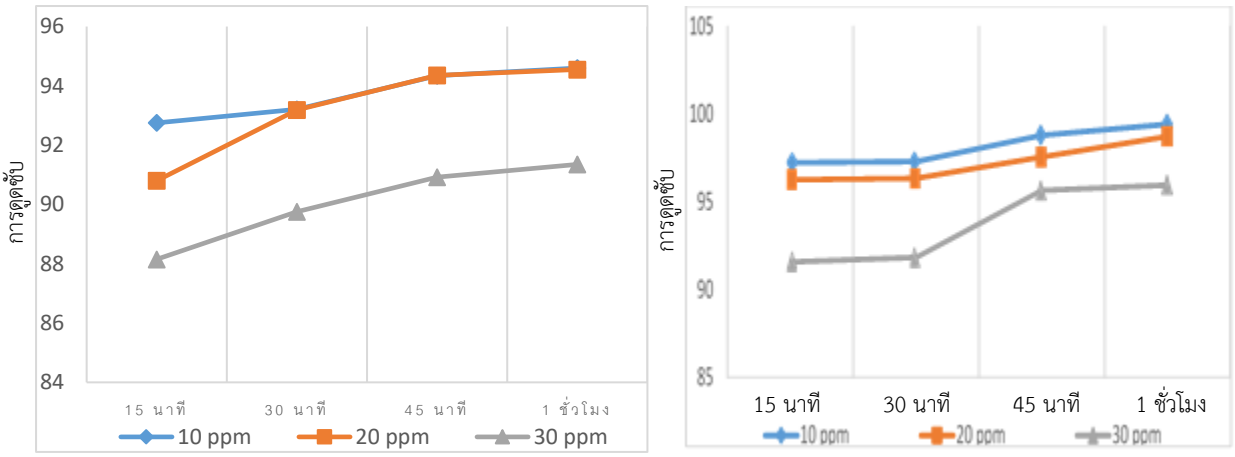
ภาพที่ 2 ผลึกเซลลูโลสของใบหญ้าขนหลังจากการสกัด (ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า และ (ค) กำลังขยาย 1500 เท่า จากเครื่อง FESEM

จากการทดสอบเซลลูโลส เพื่อพิจารณาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยานั้น ได้ใช้เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) รุ่น Merlin compact, Zeiss เพื่อดูผลึกเซลลูโลสในส่วนใบของหญ้าขน ซึ่งจากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นเส้นใยของเซลลูโลสจากผงใบหญ้าขน ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยจะมีลักษณะขรุขระเล็กน้อยและเส้นใยมีการเชื่อมต่อติดกันบางช่วง จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยขึ้น ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เซลลูโลสที่สกัดได้จากใบของหญ้าขนมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมคริสตัลไวโอเล็ตและเมทิลีนบลูได้ดี เนื่องจากธรรมชาติของเส้นใยเป็นวัสดุที่ชอบดูดซับน้ำ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของเซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขน พบว่า เซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขนสามารถดูดซับสีย้อมทั้งคริสตัลไวโอเล็ตและเมทิลีนบลูได้เป็นอย่างดี และค่าที่ดูดซับได้เมื่อนำมาหาค่าร้อยละ พบว่าสมารถดูดซับได้ถึง 90- 98 % ซึ่งถือได้ว่ามีประสิทธิภาพที่ดีมาก และปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของเซลลูโลสที่สกัดจากหญ้าขน ได้แก่ ความเข้มข้น และเวลา ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลา 4 ช่วงเวลา คือ 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที โดยใช้ปริมาณผงเซลลูโลสจากหญ้าขน ปริมาณ 1 กรัม และ 1.5 กรัม ความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้ 3 ค่าได้แก่ 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm สำหรับผลการศึกษาปริมาณของเซลลูโลสและระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ สำหรับความเข้มข้นของสีย้อมที่ต่างกัน จะกล่าวถึงต่อไป

ปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการดูดซับน้ำสีย้อมเมทิลีนบลูและการดูดซับน้ำสีย้อมคริสตัลไวโอเล็ต ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 10, 20, และ 30 ppm นั้น ได้แสดงไว้ในกราฟของภาพที่ 3



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 การดูดซับน้ำสีย้อม (ก) คริสตัลไวโอเล็ตและ (ข) เมทิลีนบลู ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm

ผลการศึกษาระยะเวลาและปริมาณที่เหมาะสมของการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้ปริมาณเซลลูโลสจากหญ้าขน 1.0, 1.5 กรัม ในการดูดซับของสีย้อมคริสตัลไวโอเล็ต ความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm โดยใช้ระยะเวลา 4 ช่วง คือ เมื่อเวลา 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที ดังภาพที่ 3 (ก) พบว่าเกิดการดูดซับดีที่สุด เมื่อเวลา 60 นาที สำหรับความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm คิดเป็น 94.96 % และ 94.72 % ตามลำดับ สำหรับเซลลูโลสจากหญ้าขน 1.0 กรัม และสำหรับความเข้มข้น 30 ppm คิดเป็น 91.35 % สำหรับเซลลูโลสจากหญ้าขน 1.5 กรัม และในภาพที่ 3 (ข) เป็นผลในการดูดซับของสีย้อมเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm โดยใช้ระยะเวลา 4 ช่วงเวลา คือ เมื่อเวลา 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที พบว่าเกิดการดูดซับดีที่สุด เมื่อเวลา 60 นาที สำหรับความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm คิดเป็น 99.43 %, 98.74 % และ 95.97 % ตามลำดับ สำหรับเซลลูโลสจากหญ้าขน 1.5 กรัม

สรุปผลการวิจัย

การดูดซับของสีย้อมคริสตัลไวโอเล็ตและเมทิลีนบลูนั้น เกิดได้ดีที่สุด เมื่อเวลาไปนาน ๆ เช่น 60 นาที ตามผลที่ได้จากการทดลอง นอกจากนั้น การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของคริสตัลไวโอเล็ตและเมทิลีนบลูมีค่าน้อย

ข้อเสนอแนะ

1 ในการสกัดเซลลูโลสควรมีการทดลองใช้สารที่เป็นเบสหรือกรดตัวอื่น ๆ นอกเหนือจาก NaOH และ H_2O_2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการสกัดเซลลูโลส

2 หญ้าขนที่นำมาใช้ในการสกัดควรมาจากแหล่งเดียวทั้งหมด เพื่อประสิทธิภาพที่ดีและเท่าเทียมกัน

3 ควรมีการศึกษาความเข้มข้นที่หลากหลายมากขึ้น เช่น 0.1, 0.2, 0.5, 1 หรือ 5 ppm เพราะจากการทดลอง ได้แสดงให้เห็นว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของคริสตัลไวโอเล็ตและเมทิลีนบลูมีค่าน้อย และควรเพิ่มระยะเวลาให้มากขึ้น เพื่อความถูกต้องของข้อมูล

4 ควรมีการนำเซลลูโลสที่ได้จากหญ้าขนไปทดสอบการบำบัดในน้ำเสียจากสภาพความเป็นจริงเพื่อทดสอบการดูดซับสีย้อมและสารอื่น ๆ รวมถึงศึกษาการย่อยสลายของเซลลูโลส

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Mittal, J. Mittal, A. Malviya, D. Kaur and V. Gupta, "Adsorption of hazardous dye crystal violet from waste water by waste materials," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 343, pp. 463–473, 2010.

[2] J. H. Weisburger, "Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health," *Mutation Research Fundamental of Molecular Mechanics and Mutagenesis,* vol. 506-507, pp. 9-20, 2002.

[3] Y. Dong, Y. Su, W. Chen, J. Peng, Y. Zhang and Z. Jiang, "Ultrafiltration enhanced with activated Carbon adsorption for efficient dye removal from aqueous solution," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, no. 5, pp. 863-869, 2011,

[4] R. Han, D. Ding, Y. Xu, W. Zou, Y. Wang, Y. Li and L. Zou, "Use of rice husk for the adsorption of Congo red from aqueous solution in column mode," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 8, pp. 2938-2946, 2008.

[5] C. Hachem, F. Bocquillon, O. Zahraa and M. Bouchy, "Decolourization of textile industry wastewater by the photocatalytic degradation process," *Dyes and Pigments*, vol. 49, no. 2, pp. 117-125, 2001.

[6] C. Dong, F. Zhang, Z. Pang and G. Yang, "Efficient and selective adsorption of multi-metal ions using sulfonated cellulose as adsorbent," *Carbohydrate Polymers*, vol. 151, pp. 230-236, 2016.