

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานเกล็ดปลาเพื่อประยุกต์ใช้ในการเตรียม แผ่นฟิล์มชีวภาพดูดซับสีย้อม

สาวิกา เบญจเดชะ¹, ธัญพิชชา คำใหญ่¹, ปริณดา ห้องแก้ว¹ และสุภาวดี สุกดำ^{2*}

¹โรงเรียนบางแก้วพิทยาคม อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง

²โรงเรียนบางแก้วพิทยาคม สำนักสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพัทลุง

* Corresponding author: (supawadee.sukdam@gmail.com)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยดพัทลุง ได้วิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส พบว่ามีองค์ประกอบเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 25.68 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐาน สัญญาณเลขคลื่นของเซลลูโลส จากเทคนิค TGA พบว่าเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากฟางข้าวทนต่อความร้อนสูง และได้ศึกษาการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ได้วิเคราะห์ปริมาณไคโตซาน พบว่ามี องค์ประกอบไคโตซานปริมาณร้อยละ 40.24 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐานสัญญาณ เลขคลื่นของไคโตซาน จากเทคนิค TGA พบว่าไคโตซานที่สกัดได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี จากนั้นนำเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานที่สกัดได้มาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้เป็นแผ่นบาง พื้นผิวเรียบ มีสีน้ำตาล ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐานสัญญาณเลขคลื่นการ เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลส โดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางสำเร็จ จากเทคนิค TGA พบว่าแผ่นกรองชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสในแผ่นฟิล์ม ชีวภาพร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพต่อการกำจัดสีย้อมมากที่สุด จากการศึกษา pH 7 ในช่วงเวลา 60 – 120 นาที มีความเหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีย้อม จากการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำแผ่นกรองชีวภาพที่เตรียม ได้มาประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีวัสดุ เช่นวัสดุบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมกระจุด น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีย้อม ผ้า โพลีเมอร์ดูดซับน้ำหรือไฮโดรเจล รวมถึงแผ่นฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: ฟางข้าวสังข์หยด / เส้นใยเซลลูโลส / ไคโตซาน / แผ่นฟิล์มชีวภาพ / ดูดซับสีย้อม

Cellulose fiber extracted from Sang Yod rice straw and Chitosan from fish scales for biopolymer film application for dye adsorbent

Sawika Benlato¹, Thanphitcha Kumyai¹, Parinda Hongkaew¹ and Supawadee Sukdam^{2*}

¹Bangkaew Pittayakom School, Bangkaew District, Phatthalung Province

²Bangkaew Pittayakom School, Phatthalung Secondary Educational Service Area Office

* Corresponding author: (supawadee.sukdam@gmail.com)

Abstract

In this research work, the cellulose fibers were extracted from indigenous rice straw (Sang Yod Phatthalung rice). The chemical composition cellulose contents were determined. It was found that the cellulose content from rice straw were 25.68%, respectively. The results of FTIR analysis revealed the evidence of wave numbers of functional groups in the structure of cellulose fibers. From TGA analysis, the extracted cellulose fibers exhibited high thermal stability. Additionally, chitosan was extracted from fish scales collected in Phatthalung province, with a chitosan content of 40.24%. The results FTIR analysis revealed the evidence of wave numbers of functional groups in the structure of chitosan, and TGA results demonstrated its good thermal stability. The extracted cellulose fibers and chitosan were then used to prepare biopolymer films. The resulting films were thin, smooth, and brown in color. FTIR analysis confirmed the successful crosslinking reaction between chitosan and cellulose using citric acid as a crosslinking agent. TGA results further confirmed the high thermal stability of the biopolymer film. The study found that a film containing 5% cellulose exhibited the highest efficiency in dye adsorption. The optimal conditions for dye adsorption were at pH 7, with an adsorption time between 60 and 120 minutes. From the results in this study, it is possible to apply the prepared biopolymer film in the field of material technology i.e., material for treating wastewater from the dyeing industry, water-absorbing polymer or hydrogel including biodegradable packaging films.

Keywords: Rice straw, Cellulose fiber, Chitosan, Biopolymer film, Dye adsorption

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากงานจากกระเจตถือเป็นงานหัตถกรรมที่มีชื่อเสียงของจังหวัดพัทลุง และได้รับการพัฒนาให้เป็นสินค้า OTOP ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างรายได้และส่งเสริมเศรษฐกิจในระดับชุมชน [1] ปัจจุบันมีการออกแบบและพัฒนาให้มีความร่วมสมัยมากขึ้น เพื่อให้ สอดคล้องกับรสนิยมและความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตจากกระเจตมักใช้สี ย้อมที่มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งหากถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม อาจ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง โลหะหนักปนเปื้อน และมีสาร แควนลอยที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ [8] การพัฒนาแนวทางบำบัดน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นประเด็นที่ควรได้รับการส่งเสริม ทั้งในด้านการวิจัย การ ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากกระเจตเติบโตอย่างยั่งยืน ควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

จังหวัดพัทลุงมีพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรรวมทั้งสิ้น 1,495,976 ไร่ โดยในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ปลูก ข้าว 150,041.82 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 10.03 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด และสามารถให้ผลผลิตรวม 66,647.40 ตันต่อปี [9] ข้าวพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกส่วนใหญ่เป็นข้าวพื้นเมือง เช่น ข้าวสังข์หยดพัทลุง และข้าวฉะเลียงพัทลุง ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 450 กิโลกรัมต่อไร่ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเหลือฟางข้าวในปริมาณมากมักถูกกำจัดโดยการเผา ซึ่งการเผาฟางก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ [6] การนำ ฟางข้าวมาเพิ่มมูลค่าจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการลดผลกระทบด้าน สิ่งแวดล้อม จากการศึกษาทางเคมีพบว่า ฟางข้าว ประกอบด้วยไฮโดรเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 63.32 และมี เซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 49.42 [5] ซึ่งสามารถนำฟางข้าวไปใช้ใน อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์ เป็นต้น การพัฒนาแนวทางในการใช้ประโยชน์จาก ฟางข้าวอย่างคุ้มค่าจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น

จังหวัดพัทลุงมีพื้นที่ติดกับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทำให้ชาวบ้านบริเวณดังกล่าวประกอบอาชีพประมง พื้นบ้านเป็นหลัก หนึ่งในการเสียจากการทำประมงคือเกล็ดปลา ซึ่งมักถูกทิ้งโดยไม่มีการนำมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ จากงานวิจัยพบว่าเกล็ดปลามี องค์ประกอบสำคัญ เช่น โคโคซาน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมวัสดุชีวภาพ [7] การนำ เกล็ดปลากลับมาใช้ประโยชน์ไม่ เพียงช่วยลดปริมาณของเสียจากการทำประมง แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่ง เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งโคโคซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ คุณสมบัติพิเศษในการจับกับไอออนของ โลหะหนักผ่านหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้สามารถใช้เป็นสารดูดซับมลพิษ เช่น สีย้อมที่มีพิษได้และโคโคซานยังสามารถเปลี่ยนเป็น ฟองน้ำที่มีโครงสร้างรูพรุนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การกรองและบำบัดมลพิษทางน้ำได้ [17]

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตสำหรับการดูดซับสีย้อม โดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง จากชุมชนให้เกิด ประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ ผู้วิจัยให้ความสนใจในการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มชีวภาพจากเซลลูโลส-โคโคซาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูด ซับสีย้อมจากกระเจต ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในพื้นที่ นอกจากนี้ วัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นยังสามารถต่อยอดเป็น ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ช่วยลด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสกัดและสมบัติทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวสังข์หยดและโคโคซานจากเกล็ดปลา
2. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลส-โคโคซาน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยที่มีผลในการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

3. ขอบเขตของการศึกษา

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

- 1) ตัวแปรต้น คือ แผ่นฟิล์มชีวภาพเส้นใยเซลลูโลสไคโตซาน จากวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่จังหวัดพัทลุง
- 2) ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพเส้นใยเซลลูโลสไคโตซาน
- 3) ตัวแปรที่ควบคุม คือ ความเข้มข้นของสีย้อม

4. วิธีการศึกษา

4.1 กำหนดจุดศึกษา

การสกัดฟางข้าว ใช้ฟางข้าวสังขยัตพัทลุง จากตำบลนาปะขอ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง และการสกัดไคโตซาน ใช้เกล็ดปลา จากตำบลจากตำบลนาปะขอ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง และ จากตำบลทะเลน้อย อำเภควนขนุน จังหวัดพัทลุง

4.2 การดำเนินงานวิจัย

4.2.1 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังขยัต

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังขยัตพัทลุงเริ่มจากการตัดฟางข้าวให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำสะอาดอุณหภูมิ 60°C นำฟางข้าวไปตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟางข้าวชั่งน้ำหนัก 50 กรัม เติมสารละลาย 17% w/v NaOH ให้ความร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำฟางข้าวที่ผ่านการกำจัดลิกนินไปฟอกขาวด้วยสารละลาย 10% w/v H₂O₂ ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำมาไฮโดรไลซิสเยื่อที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลาย 2 M HCl ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นให้เป็นกลาง (ทดสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์) จากนั้นกรองและนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ไปทำให้แห้ง [14]

4.2.2 การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลา

การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาเริ่มจากล้างเกล็ดปลาด้วยน้ำสะอาด และนำเกล็ดปลาไปตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเกล็ดปลาชั่งน้ำหนัก 50 กรัม เติมสารละลาย 2 M HCl ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำเกล็ดปลาที่ผ่านการกำจัดโปรตีนและไขมันไปกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลาย 2 M NaOH ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำมาทำให้ไคโตซานบริสุทธิ์มากขึ้นและลดสิ่งเจือปนด้วยสารละลาย 95% CH₃CH₂OH จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง จะได้เป็นไคติน และนำไคตินมาปรับสภาพด้วยสารละลาย 2 M NaOH ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เป็นไคโตซาน [18]

4.2.3 การศึกษาร้อยละผลได้ของเส้นใยเซลลูโลสสกัดและไคโตซานสกัด

การศึกษาร้อยละผลได้ของเส้นใยเซลลูโลสสกัดและไคโตซานสกัดนำเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวและไคโตซานจากเกล็ดปลามาคำนวณหาผลผลิตร้อยละ โดยใช้สูตร ผลผลิตร้อยละ = (ผลผลิตที่แท้จริง/ผลผลิตตามทฤษฎี) × 100 [14]

4.2.4 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานนำตัวอย่างวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR โดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้นวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR โดยการวัดการดูดกลืนรังสีในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm⁻¹ [13]

4.2.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

การศึกษาศสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานนำตัวอย่าง มาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องTGAโดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้น บดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียด นำไปวิเคราะห์ในช่วง 30 °C - 800 °C อัตราการให้ความร้อน 10.00°C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน [14]

4.2.6 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเริ่มจากการนำเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานที่สกัดได้มาผสมกัน โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง ที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยปริมาณเซลลูโลสและไคโตซานที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1. การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยเซลลูโลสและไคโตซาน (ชุดทดลอง)

สูตรที่	เซลลูโลส (%)	น้ำหนักไคโตซาน (g)	น้ำหนักเซลลูโลสที่สกัดได้ (g)
1	0	5.000	0.000
2	2.5	4.875	0.125
3	5	4.750	0.250
4	10	4.500	0.500
5	15	4.250	0.750

หมายเหตุ ทดลองการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสไคโตซาน (ชุดควบคุม) โดยใช้เซลลูโลสและไคโตซานมาตรฐาน

4.2.7 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

นำแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 1 – 5 มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม MB removal (%) = $[(C_0 - C_e) / C_0] \times 100$ โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนบำบัด (mg/L) C_e = ความเข้มข้นหลังบำบัด (mg/L)

4.2.8 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพ นำแผ่นฟิล์มชีวภาพมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย ATR-FTIR นำตัวอย่างอบไล่ความชื้น วัดการดูดกลืนรังสีช่วงอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1} [14]

4.2.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ นำแผ่นฟิล์มชีวภาพมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA โดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้น นำไปวิเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง 30 °C - 800 °C อัตราการให้ความร้อน 10.00°C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน [14]

4.2.10 การศึกษาผลของpH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม เตรียมสารละลาย Methylene blue (MB) เข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 25 mL ที่ pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และนำไปแช่ในแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 3 (เซลลูโลสร้อยละ 5) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

4.2.11 การศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม เตรียมสารละลาย Methylene blue เข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 25 mL ที่ pH 7 และนำไปแช่ในแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 3 (เซลลูโลสร้อยละ 5) เก็บตัวอย่างสารละลายในช่วงเวลาต่างๆ คือ 0, 2, 5, 20, 60 และ 120 นาที จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

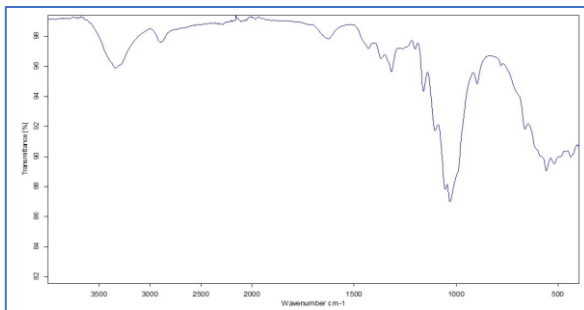
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การสกัดและศึกษาผลผลิตร้อยละเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

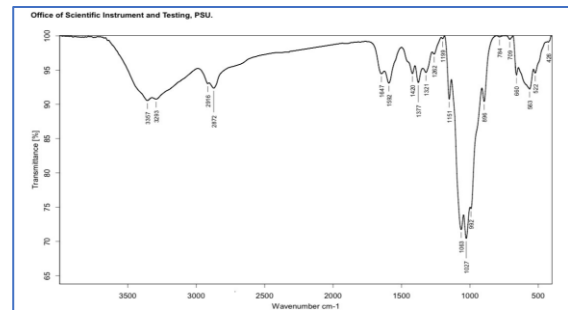
ผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสเฉลี่ยร้อยละ 25.68 และผลผลิตร้อยละของไคโตซานเฉลี่ยร้อยละ 40.24

5.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

5.2.1 การศึกษาโครงสร้างทางเคมี (หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน)



รูปที่ 5.1 สเปกตรอินฟราเรดของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว

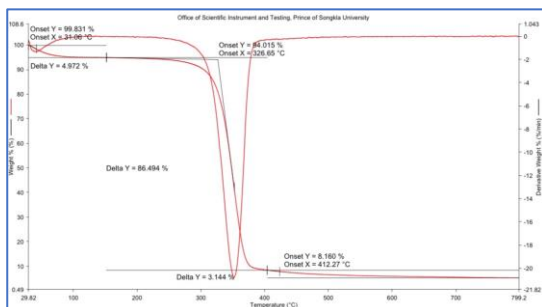


รูปที่ 5.2 สเปกตรอินฟราเรดของไคโตซานจากเกล็ดปลา

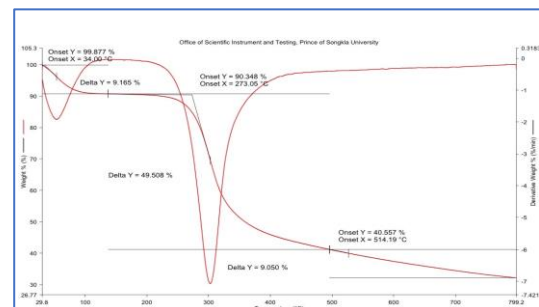
รูปที่ 5.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว พบพีกหลักที่ $3400\text{--}3340\text{ cm}^{-1}$ (พันธะ O-H) และ 1028 cm^{-1} (พันธะไกลโคซิดิก) รูปที่ 5.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานเกล็ดปลา พบพีกที่ $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ (หมู่ไฮดรอกซิลและอะมิโน), $1650\text{--}1670\text{ cm}^{-1}$ (หมู่คาร์บอนิลจากไคติน) และ $1020\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ (พันธะไกลโคซิดิกในไคโตซาน)

5.2.2 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 5.3 ที่ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักตัวอย่างเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าสูญเสียน้ำที่ 80°C สลายเอมิเซลลูโลสและกลีนิทที่ 300°C และสลายแอลฟาเซลลูโลสที่ 380°C แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสมีความเสถียรทางความร้อนสูง และสมบัติทางความร้อนของไคโตซานเกล็ดปลาแสดงดังรูปที่ 5.4 และตารางรังที่ 5.1 ที่ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักตัวอย่างไคโตซานที่ผ่านการสกัดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าไคโตซานเกล็ดปลาสลายสูญเสียที่ 80°C และสลายพันธะไกลโคซิดิกรวมถึงโปรตีนและสิ่งเจือปนที่ $200\text{--}350^\circ\text{C}$



รูปที่ 5.3 เทอร์โมแกรมของเส้นใยเซลลูโลส



รูปที่ 5.4 เทอร์โมแกรมของไคโตซาน

5.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

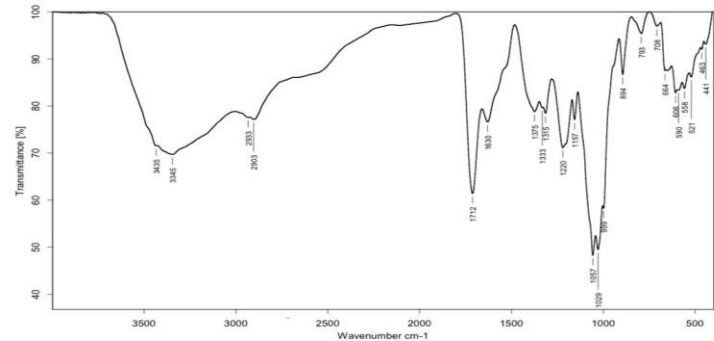
5.3.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยการเชื่อมขวาง

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง พื้นผิวเรียบ มีสีน้ำตาล โดยเส้นใยเซลลูโลสมีการกระจายตัวทั่วทั้งเพลท เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพทำให้แผ่นฟิล์มชีวภาพมีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) ของกรดซิตริก กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของสายโซ่เซลลูโลสและไคโตซาน และเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ของหมู่เอสเทอร์ (COO) เชื่อมโยงพอลิเมอร์ 2 สายโซ่เข้าด้วยกัน

ตารางที่ 5.2 แผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสฟางข้าวและไคโตซานโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง

เซลลูโลส (%)	น้ำหนักไคโตซาน (g)	น้ำหนักเซลลูโลส (g)	แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เตรียมได้
0	5.000	0.000	
2.5	4.875	0.125	
5	4.750	0.250	
10	4.500	0.500	
15	4.250	0.750	

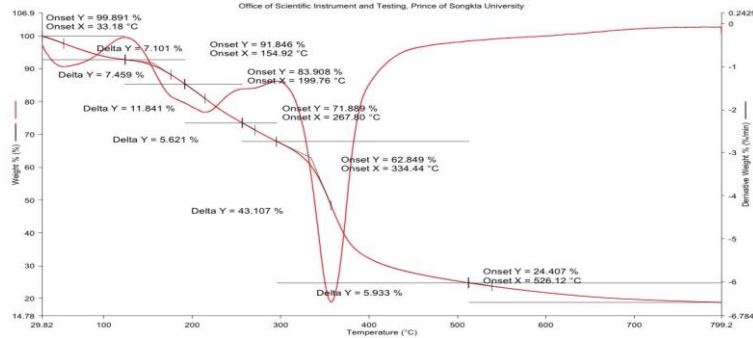
5.3.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพ



รูปที่ 5.5 สเปกตรอินฟราเรดของแผ่นกรองชีวภาพ

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นกรองชีวภาพด้วยเทคนิค FTIR ได้สเปกตราดังรูปที่ 5.5 พบพิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3400-3300, 2900, 1712, 1375, 1220, 1054, 1029 cm^{-1} ซึ่งบ่งชี้ถึงหมู่ O-H, C-H, CH_2 , aryl-alkyl ether, C-O-C และ C-C พิกที่ 1712 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ Carbonyl (C=O) จากปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลส โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง

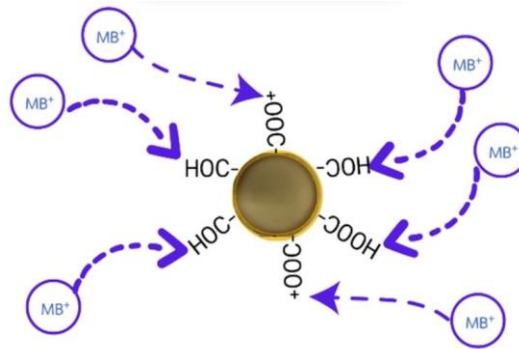
5.3.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ



รูปที่ 5.6 เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพแสดงดังรูปที่ 5.6 ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักแผ่นฟิล์มชีวภาพเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เกิดการระเหยไปของความชื้นในเส้นใย ที่อุณหภูมิประมาณ 250 °C – 350 °C ตัวอย่างมีน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 25 -50 เกิดการสลายของแอลฟาเซลลูโลสและการสลายตัวของสายโซ่ไคโตซาน รวมถึงหมู่ไฮดรอกซิลและกลุ่มอะมิโนและองค์ประกอบที่เหลือ ถ้าเปรียบเทียบกับสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพกับไคโตซานและเส้นใยเซลลูโลสก่อนการเชื่อมขวางพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพมีเสถียรทางความร้อนที่ดีกว่า

5.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสแผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม



รูปที่ 5.7 กลไกการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเซลลูโลสสกัด 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.85, 72.03, 79.73, 68.63 และ 58.63 ตามลำดับ และ (ตารางที่ 5.5) ที่ความเข้มข้นเซลลูโลสมาตรฐาน 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 36.49, 70.55, 81.65, 67.04 และ 55.39 ตามลำดับ พบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ กลไกการดูดซับสีย้อม MB (รูปที่ 5.7) พบว่า หมู่ OH ของไคโตซานและเซลลูโลสสามารถจับกับสีย้อม MB ได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล พันธะไฮโดรเจน หมู่ C=O และแรงดึงดูดระหว่างขั้ว

5.5 ศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

การศึกษาค่าของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 7.0 และ 8.0 ที่ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 60.01, 68.52, 69.83, 71.47, 73.45, และ 69.51 ตามลำดับจากการทดลองนี้ ค่า pH ที่ดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด คือ pH 7.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐฐานิตา มาลากุล ณ อยุธยา ที่ได้ทำการศึกษการแช่แผ่นฟิล์มชีวภาพในน้ำปราศจากไอออนที่ pH 7.0 เป็น 21 วัน พบว่าไคโตซานถูกเชื่อมขวางกับเจนีนิน จะเกิดโครงสร้างไคโตซานขึ้น โครงสร้างนี้ช่วยลดการละลายในน้ำและปรับปรุงความต้านทานโดยรวมของฟองน้ำต่อการละลายน้ำได้ดีขึ้น [4]

5.6 การศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

จากการศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.30, 57.40, 59.78, 70.75, 72.90 และ 73.54 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่นานขึ้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีขึ้นด้วย ที่เวลา 60-120 นาที คือ ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจะมีค่าสูงสุด

6. สรุปผลการศึกษา

แผ่นฟิล์มชีวภาพฟางข้าวสังขยหตุดูดซับสีย้อมทำได้โดยนำฟางข้าวและนำเกล็ดปลามาปรับสภาพด้วยต่างและกรด นำเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง สรุปผลได้ดังนี้

การสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว ให้ผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 25.68 พบโครงสร้างทางเคมีของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) และพันธะไกลโคซิดิก (C-O-C) โดยเส้นใยเซลลูโลสมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลา ให้ผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 40.24 พบหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) หมู่อะมิโน (H-N-H) และพันธะไกลโคซิดิก (C-O-C) แผ่นฟิล์มชีวภาพที่พัฒนามีลักษณะบาง เรียบ และสีน้ำตาล เกิดการเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลสได้สำเร็จ มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง จากการทดสอบพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพกำจัดสีย้อมสูงสุด ร้อยละ 79.30 สารละลายมี pH 7.0 ในช่วงเวลาในการดูดซับ 60-120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีย้อม

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังขยหตุและไคโตซานจากเกล็ดปลาจังหวัดพัทลุง

จากการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังขยหตุ พบว่าเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวมีผลผลิตร้อยละ 25.68 และจากการวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR พบพิกที่ $3400-3340\text{ cm}^{-1}$ และ 1028 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ O-H และพันธะ C-O-C ตามลำดับ พิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1626 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ O-H ภายในโครงสร้างของเซลลูโลส สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสพบว่ามีปริมาณเซลลูโลสสูง และสิ่งเจือปนอื่น ๆ อยู่ต่ำทำให้เกิดเสถียรภาพทางความร้อน จากการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาพบว่าได้ผลผลิตร้อยละ 40.24 และจากผลการวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR พบพิกที่ $3200 - 3600\text{ cm}^{-1}$ เกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล -OH และหมู่อะมิโน -NH₂ พิกที่ $1650 - 1670\text{ cm}^{-1}$ และ $1020 - 1100\text{ cm}^{-1}$ เกิดจากการสั่นของพันธะไกลโคซิดิกในโครงสร้างไคโตซาน สมบัติทางความร้อนของไคโตซานจากเกล็ดปลามีเสถียรภาพความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในฟิล์มชีวภาพ หรือสารเคลือบที่ต้องทนต่ออุณหภูมิระดับปานกลางหากนำไปใช้ในการเสริมสมบัติของวัสดุ

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้เส้นใยเซลลูโลสที่สกัดจากฟางข้าวสังขยหตุและไคโตซานที่สกัดจากเกล็ดปลา พบว่าได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยเทคนิค FTIR พบพิกที่ $3300, 2800, 1428, 1375, 1246, 1098$ และ 1061 cm^{-1} ของหมู่ O-H (O-H stretching), C-H (C-H stretching), CH₂ (CH₂ scissoring), C-H (C-H deformation), aryl-alkyl ether, C-O-C (C-O-C stretching) และ C-C (C-C stretching) การเชื่อมขวางพบพิกที่สำคัญที่ 1720 cm^{-1} โดยพิกดังกล่าวแสดงหมู่ฟังก์ชันของหมู่ Carbonyl ของสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลสโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางได้สำเร็จ และถ้าเปรียบเทียบกับสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพกับไคโตซานและเส้นใยเซลลูโลสก่อนการเชื่อมขวางพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่าเนื่องจากการเติมไคโตซานเข้าไปในโครงสร้างของเซลลูโลสช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้ฟิล์มสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้โดยไม่เกิดการสลายตัวง่าย

การศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเซลลูโลส 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.85, 72.03, 79.73, 68.63 และ 58.63 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพต่อการกำจัดสีย้อมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีจำกัดจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าลดลง และกลไกการดูดซับสีย้อม MB (รูปที่ 4.7) พบว่า

หมู่ OH ของโคโตซานและเซลลูโลสสามารถจับกับสีย้อม MB ได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล พันธะไฮโดรเจน หมู่ C=O และแรงดึงดูดระหว่างขั้ว

จากการศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ที่ pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 7.0 และ 8.0 ที่ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 60.01, 68.52, 69.83, 71.47, 73.45, และ 69.51 ตามลำดับ และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เพราะสีย้อมที่ละลายน้ำจะแสดงประจุลบ และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในสารละลายมีค่า pH มากกว่า 7.0 จะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับในสารละลายที่ pH มากกว่า 7.0 ดีกว่าสารละลายที่ pH น้อยกว่า 7.0 เพราะเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลงน้อยกว่า 7.0 จะทำให้แผ่นกรองชีวภาพมีพื้นที่ผิวการดูดซับเป็นบวกเหมือนกับสารละลายสีย้อม ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ซึ่งจากผลการทดลองนี้ค่า pH ที่ดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด คือ pH 7.0

จากการศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.30, 57.40, 59.78, 70.75, 72.90 และ 73.54 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่นานขึ้น อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีขึ้นด้วย ที่เวลา 60-120 นาที คือ ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าสูงสุด และเริ่มคงที่ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงแรกการดูดซับเกิดเร็วมาก เนื่องจาก concentration gradient ในสารละลาย และที่ว่างบนผิวของตัวดูดซับยังคงมีมากทำให้ดูดซับสีย้อมได้มาก หลังจากนั้น การดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะที่ว่างเหล่านั้นดูดซับสีย้อมไว้เต็มที่แล้ว

ข้อเสนอแนะการทดลอง

- 1) การปรับสภาพเส้นใยมีความสำคัญต่อพื้นผิวของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ดังนั้นอาจจะปรับสภาพเส้นใยด้วยวิธีอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นฟิล์มชีวภาพให้ดีขึ้น
- 2) ศึกษาไอโซเมอร์ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการคายซับ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงการคลัง คลินิกภาษี (2565). ผลิตภัณฑ์จากฐานจากกระทรวงพาณิชย์. [https://phatlung.nso.go.th/statistics% 20report](https://phatlung.nso.go.th/statistics%20report).
- [2] กิตติพงษ์ พรหมจันทร์ (2565). การสกัดโคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้กลางแจ้ง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 16(3), 1-10.
- [3] ชัชวาลย์ สุขมัน. 2557. การผลิตแผ่นคอมโพสิตดูดซับเสียงโดยใช้ผักตบชวา-ฟางข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [4] ณัฐธานิดา มาลากุล ณ อยุธยา. (2566). การพัฒนาฟองน้ำคอมโพสิตโคโตซาน/เซลลูโลสสำหรับการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้สารเจนิฟีนเป็นสารเชื่อมขวาง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต]. http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2023/TU_2023_6309035704_18207_27815.pdf
- [5] ณัฐธวัช จินาพันธ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทธสุภา, สุรพัศ คำไทย. คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2555; 43(3 (พิเศษ):615–20.
- [6] พรหมทิศา คำดี, นกมล ปันจันทร์ และชลิดา เนียมบุญ. 2558. สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเซลลูโลสจากฟางข้าว. ว.วิทยเกษตรศาสตร์. 46(3)(พิเศษ), 233-236.
- [7] วิจิตรา ตั้งชี่ และ ศรัณย์ รักษาพรหมณ์ และ ณัฐพล ราชูภิมันต์. (2567) การสกัดโคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้กลางแจ้ง. วารสารเกษตรพระวรุณ, 21(2), 77-82. 10.14456/paj.2024.39.

- [8] วารุณี ตานันต์ และ สายันต์ แสงสุวรรณ. 2557. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก: การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ และการประยุกต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16(2),63-81.
- [9] ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง (2567)
- [10] อุษณีย์ อ่อนจร, สิทธิศักดิ์ แซ่โก้ว, ฐิตินันท์ พมมา, จักริน พะสอน, วีรชาติ เพลินนวม, และจิราภรณ์ กิจสุวรรณ (2565). การสกัดโคโคซานด้วยเทคนิคการสกัดของแข็ง-ของเหลวเพื่อการยับยั้งแบคทีเรีย. วารสารวิชาการและวิจัยสถาบันเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 3(1), 44-52.
- [11] อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ. 2557. การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(1),131-140.
- [12] Caza, N., Bewtra, J.A., Biswas, N., and Taylor, K.E. 1998. Removal of Phenolic Compounds from Synthetic Wastewater Using Soybean Peroxidase. Water Research. 33, 3012- 3018.
- [13] Iulai, N., Carmen. Z., Raluca. I.B., Sergiu C. and Daniela. S. 2020. Adsorptive materials based on cellulose : preparation, characterization and application for copper ions retention. Cellulose Chemistry and Technology. 54(5-6), 579-590.
- [14] Oliveira, J.P., Bruni, G.P., Lima, K.O., Halal, S.L.M., Rosa, G.S., Dias, A.R.G. and Zavareze, E.R. 2017. Cellulose fiber extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. Food Chemistry. 221, 153-160.
- [15] Thakur, M., Sharma, A., Ahlawat, V., Bhattacharya, M. and Goswami, S. 2020. Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice straw derived α -cellulose. Material Science for Energy Technologies. 3, 328-334.
- [16] Ping Lu and You-Lo Hsieh. (2012). Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from rice straw. Carbohydrate Polymers 87 : 564-573.
- [17] Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. Progress in Polymer Science, 31(7), 603-632.
- [18] Younes and Rinaudo. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties, and applications. Marine Drugs. 13(3), 1133.