

การพัฒนาวัสดุปลูกไมโครกรีนจากเซลลูโลสไฮโดรเจลสังเคราะห์จากผักตบชวา
ร่วมกับแอซีโตแบคเตอร์ ไซลินัม

Development of Microgreen Growing Media from Cellulose Hydrogel
Derived from Water Hyacinth in Combination with
Acetobacter xylinum

จิรภิญญา แอ่อง¹ปิณัฐ บัญประกอบ¹วิชญาดา โสทอง^{1*}

พิพัฒน์ เชื้อเมืองพาน

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย เชียงราย, 345 หมู่ 2 ตำบลรอบเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57000

*Witcha096642@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการพัฒนาวัสดุปลูกไมโครกรีนจากไฮโดรเจลสังเคราะห์จากผักตบชวาร่วมกับแอซีโตแบคเตอร์ ไซลินัม เพื่อลดการเจริญเติบโตของเชื้อราในไมโครกรีนและเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกทั่วไป โดยเซลลูโลสที่ได้จากผักตบชวาถูกเชื่อมขวางโดยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้กลายเป็นเซลลูโลสไฮโดรเจลโครงร่างตาข่ายสามมิติ (Three-dimensional network-structured hydrogel) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเซลลูโลสไฮโดรเจลด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) พบว่ามีการแสดงพีคที่ตำแหน่ง 3330 cm^{-1} จากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งบ่งชี้การเกิดพันธะไฮโดรเจนและโครงร่างตาข่ายสามมิติของไฮโดรเจล พีคที่ตำแหน่ง 2920 cm^{-1} และ 1050 cm^{-1} สอดคล้องกับพันธะ C-H และ C-O-C ของโครงสร้างเซลลูโลส ยืนยันว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น cellulose-based hydrogel ที่มีการเชื่อมโยงแบบ physical crosslinking วิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรสโกปี (Ultraviolet-Visible: UV-Vis) พบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 450 nm. วิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวไฮโดรเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ภายใต้กำลังขยาย 3000 เท่า มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ย $2.4 \pm 0.8 \mu\text{m}$ และทดสอบการดูดซับ (Swelling test) พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำอยู่ที่ 518.07% จากนั้นผสมเซลลูโลสไฮโดรเจลร่วมกับเชื้อแอซีโตแบคเตอร์ ไซลินัม ในอัตราส่วน 10:0, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 ml เมื่อนำเมล็ดต้นอ่อนทานตะวันมาปลูกในวัสดุปลูกทุกอัตราส่วนโดยที่ไม่มีการรดน้ำเปรียบเทียบกับการใช้กระดาษทิชชูที่รดน้ำทุกวันมาปลูกเป็นเวลา 7 วัน จากการสังเกต พบว่า วัสดุปลูกทุกอัตราส่วนไม่พบการเจริญของเชื้อรา และที่อัตราส่วน 7:4 และ 6:4 ml มีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่เร็วและสม่ำเสมอที่สุดโดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ $6.2 \pm 0.4 \text{ cm}$

คำสำคัญ: วัสดุปลูก ไฮโดรเจล แอซีโตแบคเตอร์ ไซลินัม โพลิไวนิลแอลกอฮอล์

บทนำ

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) เป็นวัชพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและแพร่กระจายได้รวดเร็ว โดยเฉพาะในแม่น้ำ ลำคลอง และแหล่งน้ำจืดต่าง ๆ ของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 (กรมชลประทาน, 2560) ความสามารถในการขยายพันธุ์ของผักตบชวาทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง เช่น การกีดขวางทางน้ำ การลดทอนคุณภาพน้ำเนื่องจากการแย่งออกซิเจน การสะสมของอินทรีย์วัตถุที่เน่าเสีย รวมถึงการทำลายความสมดุลของระบบนิเวศทางน้ำ (ศศิ, 2559) ปัญหาเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรม การประมง การคมนาคมทางน้ำ และคุณภาพชีวิตของชุมชนริมน้ำ

ที่ผ่านมา การกำจัดผักตบชวาที่นิยมใช้คือการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช แม้จะช่วยลดจำนวนได้ในระยะสั้น แต่กลับก่อให้เกิดผลกระทบระยะยาว เช่น การตกค้างของโลหะหนักและสารพิษในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและสุขภาพของมนุษย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) อีกทั้งการกำจัดทางกายภาพ เช่น การใช้เครื่องจักรเก็บหรือแรงงานคน ก็มักไม่สามารถควบคุมได้อย่างถาวร เนื่องจากผักตบชวาสามารถแตกหน่อและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว

ในขณะเดียวกัน งานวิจัยพบว่า ผักตบชวามีองค์ประกอบของเซลล์ลูโลสและเฮมิเซลล์ลูโลสในปริมาณสูง (Singh et al., 2017) จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุชีวภาพ เช่น ไฮโดรเจลชีวภาพ (bio-hydrogel) ไฮโดรเจลชนิดนี้มีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บน้ำได้ดี อีกทั้งยังสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุเพาะปลูกพืช โดยเฉพาะการเพาะปลูกพืชไมโครกรีน (microgreens) ซึ่งเป็นผักต้นอ่อนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผักที่โตเต็มวัย เช่น วิตามิน C, E, K และแคโรทีนอยด์ (Xiao et al., 2012) อีกทั้งยังสามารถปลูกได้ในพื้นที่จำกัด โดยใช้วัสดุทดแทนดิน เช่น

โฟม เส้นใย หรือไฮโดรเจล ทำให้เหมาะสมต่อการปลูกเชิงพาณิชย์และในครัวเรือน

อย่างไรก็ตาม วัสดุเพาะปลูกไมโครกรีนพบปัญหาสำคัญคือ “การปนเปื้อนเชื้อรา” เนื่องจากมีความชื้นสูง จึงเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราก่อโรคพืช เช่น *Fusarium oxysporum* ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของไมโครกรีนลดลง ทำให้ต้นอ่อนเหี่ยวเฉา และยังทำให้อายุการใช้งานของวัสดุเพาะสั้นลง (Sengun & Karabiyikli, 2011) ปัญหานี้เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาสื่อปลูกที่มีความยั่งยืนและปลอดภัย

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยบางส่วนชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียกรดอะซิติก (*Acetobacter*) มีศักยภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรค โดยใช้กลไกหลายประการ เช่น การสร้างกรดอินทรีย์ที่ทำให้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อเชื้อรา การหลั่งสารต้านจุลชีพ รวมถึงการแย่งสารอาหารและพื้นที่จากเชื้อรา (Moonmangmee et al., 2002) จึงสามารถลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนเชื้อราในวัสดุเพาะปลูกได้

ดังนั้น โครงการนี้จึงมีแนวคิดในการนำผักตบชวามาแปรรูปเป็นไฮโดรเจล และผสมผสานกับ *Acetobacter* เพื่อพัฒนาวัสดุเพาะปลูกที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี ต้านทานเชื้อรา และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างสื่อปลูกที่ยั่งยืนและเหมาะสมต่อการเพาะปลูกไมโครกรีนอย่างมีคุณภาพ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยแก้ปัญหาการจัดการผักตบชวาเท่านั้น แต่ยังช่วยสร้างประโยชน์เชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระยะยาวอีกด้วย

วิธีการดำเนินงาน

1. การสกัดเซลล์ลูโลสจากผักตบชวา

1.1 นำเส้นใยผักตบชวาแห้งน้ำหนัก 100 กรัมมาทำการกำจัดสารตกค้าง ด้วยสารละลายจากสารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยทำการ
กวนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา
ประมาณ 1 ชั่วโมง

1.2 กรองเส้นใยด้วยผ้าขาวบาง และล้างเส้นใยที่
เตรียมได้ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนกว่าจะได้ค่าความเป็น
กรด-ด่าง เท่ากับ 7 (pH=7)

1.3 นำเส้นใยที่สกัดได้มาทำให้หมดโดยการ
กรองด้วยผ้าขาวบางให้น้ำออกให้ได้มากที่สุดซึ่งสารที่ได้
จะมีลักษณะเป็นเส้นใย

2. การสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดโครงร่างตาข่าย

2.1 นำเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วย
กระบวนการทางเคมีปริมาณ 50 กรัมมาละลายใน
สารละลายผสมปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยมีอัตราส่วน
ของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำปราศจากไอออน เท่ากับ
1:10 โดยน้ำหนัก

2.2 ทำการละลายที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 80
องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาทีจะได้สารละลายที่
มีลักษณะข้นหนืดขึ้น

2.3 นำสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมได้มาผสม
กับกรดอะซิติก 3 มิลลิลิตร

2.4 จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติและ
อัตลักษณ์ของเซลลูโลสไฮโดรเจล

3. การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ

3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

3.2 การตรวจสอบสมบัติการบวมตัวในน้ำและ
ค่าปริมาณน้ำสมดุล

3.3 การวิเคราะห์สมบัติการส่องผ่านแสง

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

3.5 การทดสอบสมบัติการต้านทานเชื้อรา

4. การเตรียมเชื้อ (*Acetobacter xylinum*)

4.1 เลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* sp.

ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของหัวเชื้อชาหมักคอมบูฉะ
, น้ำชาคอมบูฉะและน้ำตาลทราย เป็นเวลา 15 วัน หรือ
จนกว่าลักษณะทางกายภาพมีลักษณะคล้ายแผ่นวุ้นหนา

5. ผสมวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่าง ๆ

5.1 ผสมเซลลูโลสไฮโดรเจลต่อเซลลูโลสชีวภาพ
(*Acetobacter xylinum* sp.) ในอัตราส่วน 10:0, 8:2,
7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 มิลลิลิตร

6. ทดสอบวัสดุในอัตราส่วนต่าง ๆ

นำเมล็ดต้นอ่อนทานตะวันหย่อนลงไป 10 เมล็ด
ในวัสดุปลูกแต่ละอัตราส่วนอยู่ในบีกเกอร์ทดลองเพื่อ
สังเกตการงอกและการเจริญเติบโต

7. เปรียบเทียบการเจริญเติบโต

ของเมล็ดต้นอ่อนทานตะวันในวัสดุปลูกและใน
กระดาดพืชสูง สังเกตและบันทึกผล

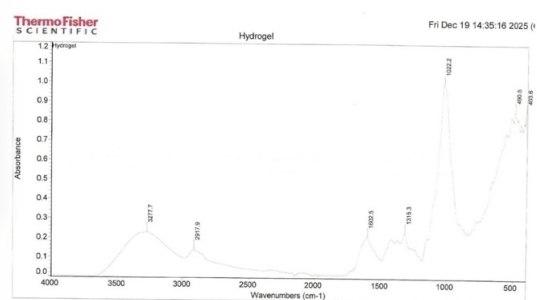
ผลและอภิปรายผล

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างของเซลลูโลส
ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะเป็นร่างแหสามมิติและมีสมบัติการ
อุ้มน้ำสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการงอกและการ
เจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน เนื่องจากสามารถกัก
เก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างและค่อย ๆ ปล่อยให้เมล็ดพืชใช้
อย่างต่อเนื่อง โดยความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่าง
ไฮโดรเจลและ *Acetobacter xylinum* ส่งผลต่อการ
เจริญเติบโตของต้นอ่อน โดยอัตราส่วน 8:2 ให้ผลดีที่สุด
อาจเนื่องมาจากความสมดุลระหว่างโครงสร้างวัสดุ ความ
พรุน และความสามารถในการกักเก็บความชื้นที่เหมาะสม
ต่อการงอกของเมล็ดพืช เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น
ที่มีไฮโดรเจลมากหรือน้อยเกินไป และการเปรียบเทียบกับ
การใช้กระดาด พืชสูง พบว่าการเจริญเติบโตของต้นอ่อนใน
วัสดุไฮโดรเจลดีกว่าอย่างชัดเจน สะท้อนว่าวัสดุปลูกที่
พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติด้านการกักเก็บน้ำและโครงสร้างที่
เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าวัสดุปลูกทั่วไป
นอกจากนี้การไม่พบการเจริญของเชื้อราในวัสดุปลูกตลอด
ระยะเวลาการทดลอง แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกมีความ
เหมาะสมต่อการใช้ปลูกไมโครกรีนในสภาวะที่ต้องการลด
ความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อรา อย่างไรก็ตาม
การศึกษานี้เป็นการทดลองในระยะสั้น จึงควรมีการศึกษา
ต่อยอดในด้านระยะเวลาการใช้งานซ้ำ ชนิดของพืช และ
สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพ
ของวัสดุปลูกในระดับการใช้งานจริงต่อไป

ตารางที่ 1

Growth of sunflower sprouts		average height						
Day	Characteristics	hydrogel:Acetobacter xylinum & Paper tissue						
		10:0	8:2	7:3	6:4	5:5	4:6	pure paper
1		0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
3		1.8 cm	2.7 cm	2.5 cm	1.2 cm	1 cm	1.2 cm	0.2 cm
5		2.5 cm	4 cm	2.8 cm	4 cm	2 cm	1.9 cm	0.5 cm
7		4 cm	6 cm	5 cm	6 cm	4 cm	2.8 cm	2 cm

จากตารางบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันพบว่า วัสดุปลูกเซลล์ไฮโดรเจลร่วมกับ *Acetobacter xylinum* อัตราส่วน 8:2 มีการเจริญเติบโตเร็วที่สุดและให้ความสูงเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นภายในระยะเวลาเพาะปลูก 7 วัน ทั้งนี้ไม่พบการเกิดเชื้อราในวัสดุปลูกไฮโดรเจลทุกอัตราส่วน ขณะที่ชุดกระดาดหิซุมีการเจริญเติบโตช้ากว่าและพบการเกิดเชื้อราบางส่วนในช่วงปลายการทดลอง



รูปที่ 1 กราฟแสดง ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของเซลล์ไฮโดรเจลจากผักตบชวาพบพิกที่สำคัญที่ตำแหน่ง 3277.7 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับหมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) ของเซลล์ไฮโดรเจล และแสดงถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ พิกที่ 2917.9 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H ที่อยู่ในตัวของโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์ ขณะที่พิกที่ 1602.5 cm^{-1} สัมพันธ์กับโมเลกุลน้ำที่ถูกกักเก็บภายในโครงสร้างวัสดุ นอกจากนี้ยังพบพิกที่ตำแหน่ง 1315.3 และ 1022.2 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C-O และ C-O-C อันเป็นลักษณะเฉพาะของโครงสร้างเซลล์ไฮโดรเจล และพิกที่ 490.5 และ 403.6 cm^{-1} ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้าง backbone ของโมเลกุล โดยการปรากฏของหมู่ O-H ในปริมาณสูงร่วมกับสัญญาณของน้ำภายในโครงสร้าง และพันธะ C-O-C ของเซลล์ไฮโดรเจล บ่งชี้ถึงการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นโครงข่ายสามมิติ

(three-dimensional network-structured) และความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของวัสดุประเภทไฮโดรเจลจากเซลล์ไฮโดรเจล

สรุปผล

เซลล์ไฮโดรเจลจากผักตบชวาสามารถพัฒนาเป็นไฮโดรเจลโครงสร้างร่างแหสามมิติได้ โดยผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR แสดงพิกที่สอดคล้องกับหมู่ไฮดรอกซิลและพันธะของโครงสร้างเซลล์ไฮโดรเจล ขณะที่การตรวจสอบด้วย SEM พบโครงสร้างผิวแบบรูพรุน และการทดสอบการบวมตัวในน้ำให้ค่าการดูดซับน้ำสูงถึง 518.07% แสดงถึงสมบัติสำคัญของวัสดุไฮโดรเจลที่สามารถกักเก็บน้ำได้ดี เมื่อนำวัสดุไฮโดรเจลผสมกับ *Acetobacter xylinum* ในอัตราส่วน 10:0, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 แล้วใช้ปลูกต้นอ่อนทานตะวันเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า วัสดุปลูกทุกอัตราส่วนสามารถใช้ปลูกได้จริงและไม่พบการเจริญของเชื้อราตลอดการทดลอง โดยอัตราส่วน 8:2 ให้การเจริญเติบโตของต้นอ่อนดีที่สุด มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 6.2 ± 0.37 เซนติเมตร และมีความสม่ำเสมอของการงอกมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระดาดหิซุเป็นวัสดุปลูก พบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกในไฮโดรเจลมีความสูงเฉลี่ยมากกว่า และสามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องรดน้ำเพิ่มเติม สะท้อนถึงศักยภาพของวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้นในการใช้ทดแทนวัสดุปลูกทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการเรื่อง การพัฒนาวัสดุปลูกไมโครกรีนจากเซลล์ไฮโดรเจลสังเคราะห์จากผักตบชวาร่วมกับ แอซีโตแบคทีเรีย ไชลินัม ฉบับนี้สำเร็จลงได้ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของบุคคล ดังต่อไปนี้ ครูวรารักษ์ แสงดี ครูประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี รวมถึงครูจุฑามาศ วงศ์ชัย และครูณัฐสิริ สายพ่าย ครูประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา ที่เสียสละเวลาควบคุมกำกับดูแล อำนวยความสะดวกทั้งการใช้ห้องปฏิบัติการ การใช้อุปกรณ์ สารเคมีในขั้นตอนการสกัด และการตรวจสอบการสกัดเซลล์ไฮโดรเจลจากผักตบชวา การพัฒนาวัสดุปลูกไมโครกรีนจากเซลล์ไฮโดรเจลสังเคราะห์จากผักตบชวาร่วมกับ แอซีโตแบคทีเรีย ไชลินัม ทั้งช่วย

แนะนำรวมทั้งแก้ไขเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขณะ
 ดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. (ทศพล ทั้งสุบุตร. (2562,8 กรกฎาคม). การขึ้นทะเบียนบั้งไฟทางภูมิศาสตร์.ประกาศกรมทรัพย์สินทางปัญญา.282(2562):1จาก<https://www.ipthailand.go.th/images/2284/Sorchor62100126.pdf>
2. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์.พศ.ดร. (2565). Food NetworkSolutionกลุ่มภาพันธ2568,จาก<https://www.foodnetworksolution.com>
3. consumerreport. (2025). What Is PVA and What Is It Used For? Retrieved 8 January 2025
4. CHEMASIA LIMITED. (2020). Polyvinyl alcohol Retrieved 18 march 2020
5. วารุณี ตานันต์ และสายันต์ แสงสุวรรณ, “พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก การสังเคราะห์ การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้,”วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (มิถุนายน2557).
6. กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2563). ข้อมูลผักตบชวาเบื้องต้น สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2563,จาก<https://onedptportal.dpt.go.th/portal/apps/Cascade/index.htmlappid=d06d5cbe9f0f>
7. อติยาพร ไชยฤทธิ์ และคณะ. (2563, 1 มิถุนาคม)แนวทางการแก้ไขปัญหาค้นหาผักตบชวาแบบมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลเทพราชอำเภอบ้านโพธิ์จังหวัดฉะเชิงเทรา.จาก<https://so03.tcithaijo.org/index.php/JLGISRRU/article/view/242779/164892>
8. Istirokhatun, Rokhati, Rachmawaty, Meriyani, Priyanto, and H.Susanto, Cellulose isolation from tropical water hyacinth for membrane preparation. Procedia Environmental Sciences, 2015. 23: p. 274-281.
9. เฟรินส์ภูทอง, “การเตรียมและสมบัติของ เซลลูโลสจากผักตบชวา/วุ้นหางจรเข้ไฮโดรเจล,”วารสารวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ธันวาคม 2562).
10. Han, T. Lei, and Q. High-water-content mouldable polyvinyl alcohol- borax hydrogels reinforced by well-dispersed cellulose nanoparticles: Dynamic rheological properties and hydrogel formation mechanism. Carbohydrate polymers, 2014. 102: p. 306-316.
11. Qi, H ,Chang, and L.Zhang, Effects of temperature and molecular weight on dissolution of cellulose in NaOH/urea aqueous solution. Cellulose, 2008. 15(6): p.779-787.
12. Chen, X., J. Chen, T. You, K. Wang, and Xu, Effects of polymorphs on dissolution of cellulose in NaOH/urea aqueous solution. 2015. 125: p. 85-91
13. Pullawan ,Wilkinson ,L.N. Zhang,and S.J.Eichhorn, Deformation micromechanics of all-cellulose nanocomposites:comparing matrix and reinforcing components. Carbohydrate polymers, 2014. 100: p. 31-39
14. พัทธภรณ์ และคณะ, “การเตรียมและคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และ แป้งข้าวโพด,” วารสารวิศวกรรมศาสตรศาสตร์ (สิงหาคม 2561): 3-9,4.
15. Thombare, N., Jha, ishra, and M. Siddiqui, Borax cross-linked guar gum hydrogels as potential adsorbents for water purification. Carbohydrate polymers, 2017. 168: p.274-281
16. เพียงฤทัย บุญประสิทธิ์ และคณะ, “การพัฒนาไฮโดรเจลแป้งมันสำปะหลังสำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำในการเกษตร,”วารสารวิทยาศาสตร์ของการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 24 (ธันวาคม 2567).