กระถางย่อยสลายได้จากแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสโดยเชื้อ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 จากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร

Biodegradable Plant Pots from Bacterial Cellulose Production by *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 from Agricultural Waste Materials

หัสลินดา บินมะแอ* สูไรยา สาเหาะ มุกมีนะห์ ดอเล๊าะ และซูไบด๊ะ หะยีวาเงาะ
Hatsalinda Binma-ae*, Suraiya Sahoh, Mukminah Doloh and Zubaidah Hajiwangoh

หลักสูตรจุลชีววิทยาทางการแพทย์และอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
Program of Medical and Industrial Microbiology, Faculty of Science Technology and Agriculture,
Yala Rajabhat University, Yala 95000, Thailand
*Corresponding author, e-mail: haslinda.b@yru.ac.th
(Received: Oct 10, 2022; Revised: Mar 21, 2023; Accepted: Mar 23, 2023)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรมีอยู่ปริมาณมาก และเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมประการหนึ่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยเชื้อ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 จากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรต้นทุนต่ำ ได้แก่ น้ำจากเปลือกแตงโม น้ำจากซังข้าวโพด น้ำจากซังกาบอ้อย น้ำจากผักตบชวา และน้ำมะพร้าว เพื่อการผลิตกระถางย่อยสลายได้ เมื่อเปรียบเทียบความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจาก *K. nataicola* TISTR 975 พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสน้ำมะพร้าวมีความหนามากที่สุด รองลงมาคือจากน้ำเปลือกแตงโม และจากน้ำซังข้าวโพด ตามลำดับ แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามพบว่า มีความทนต่อแรงดึง เท่ากับ 37.8-79.1 MPa พบโครงสร้างเคมีของเซลลูโลสจาการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี พบลักษณะทางโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเป็นร่างแหจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และมีค่าการสลายทางความร้อน เท่ากับ 215-300 องศาเซลเซียส เมื่อนำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้จากวัตถุดิบต้นทุนต่ำทั้ง 3 ชนิด ศึกษาคุณลักษณะของกระถางย่อยสลาย พบว่า สามารถดูดซับน้ำ เท่ากับร้อยละ 257-558 และมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้หมดภายในเวลา 30 วัน ดังนั้นแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจาก *K. nataicola* TISTR 975 สามารถนำมาผลิตกระถางที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้

คำสำคัญ : *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร กระถางย่อยสลายได้

Abstract

Currently, there is a large amount of agricultural wastes which are the environmental problems. The objective of this research was to develop the production of bacterial cellulose sheets by *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 from agricultural wastes which are low-cost substrates including melon peel juice, corncob juice, sugarcane bagasse juice, water hyacinth juice and coconut water for biodegradable plant pots production. When comparing the thickness of bacterial cellulose sheets from *K. nataicola* TISTR 975, the highest thickness of bacterial cellulose sheets was found in coconut water followed by melon peel juice and corncob juice respectively. Those bacterial cellulose sheets had tensile strength of 37.8-79.1 MPa. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) showed the chemical structure of cellulose. Scanning electron microscope (SEM) morphology showed a fibril network, and began to decompose at 215-300 °C. Bacterial cellulose sheets produced from 3 types of low-cost substrates were studied on characterization and molding biodegradable plant pots. The result showed that the rate of water absorption of the pots was 257-558 % and they were completely biodegraded within 30 days.

Therefore, the bacterial cellulose sheets produced using *K. nataicola* TISTR 975 was able to used for biodegradable plant pot production.

Keywords: *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975, Bacterial Cellulose, Agricultural Waste Materials, Biodegradable Plant Pots

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการทำไร่ ทำนา การเลี้ยงสัตว์ และสิ่งที่ขาดไม่ได้ คือ การปลูกพืช ซึ่งในแต่ละปีมีผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณที่สูง ทั้งเพื่อเป็นการส่งสินค้าออกและอุปโภคบริโภคภายในประเทศ จังหวัดยะลามีสภาพการใช้ที่ดินในการทำเกษตรกรรม ปี 2561 คิดเป็นร้อยละ 56.96 ของเนื้อที่ดินทั้งหมดของจังหวัด (1,609,727 ไร่) โดยเกษตรกรมีการปลูกไม้ยืนต้น (1,343,360 ไร่) ไม้ผล (199,331 ไร่) พืชสวน (20 ไร่) และเกษตรกรรมอื่น ๆ (67,016 ไร่) (Land Development Department, 2021) ในการปลูกพืชบางชนิดเกษตรกรจะเริ่มจากการเพาะชำต้นกล้าในภาชนะถุงพลาสติก เมื่อต้นกล้าโตได้ขนาดตามที่ตองการแล้ว หลังจากนั้นจะทำการย้ายต้นกล้าดังกล่าวปลูกลงดินต่อไป เมื่อเกษตรกรย้ายปลูกต้นกล้าลงดินแล้ว ถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุต้นกล้านั้นจะไม่สามาถนำกลับมาใช้อีก เมื่อมีปริมาณมาก ก็จะก่อทำให้เกิดปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายในธรรมชาติได้ และในปัจจุบันการใช้พลาสติกมีปริมาณค่อนข้างสูงตามปริมาณประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ในแต่ละปี ทำให้ประสบปัญหาขยะพลาสติกมีปริมาณสูงเพิ่มตามกัน จากการรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่า ในปี 2019 มีการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารมากถึง 37.3 ล้านตัน และมาจากการทำการเกษตรและปศุสัตว์ของทั่วโลกมากถึง 12.5 ล้านตัน (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021) ตลอดจนพลาสติกเป็นวัสดุย่อยสลายยาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่กลืนกินพลาสติกเข้าไป หากนำถุงพลาสติกมากำจัดไม่ว่าการทำการฝังกลบหรือเผา ทำให้เกิดการตกค้างของสารพิษในดินอย่างไมโครพลาสติก โดยในปี 2021 พบปริมาณไมโครพลาสติกในดินสูงกว่าในมหาสมุทร (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021; United Nations, 2021; Bunnag, 2021) และหากมีการนำถุงพลาสติกมากำจัดโดยการเผาจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่งผลทำใหเกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้ เมื่อปัญหาเริ่มมีมากขึ้นก่อผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ทำให้ระยะหลังมีการรณรงค์การลดโลกร้อนในหลายรูปแบบมากขึ้นในทุกประเทศ และให้สอดคล้องกับนโยบายประเทศไทยในยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม 20 ปี (พ.ศ. 2560-2577) ภายใต้ “ประเทศไทยใช้การวิจัยและนวัตกรรมเป็นกำลังอำนาจแห่งชาติ เพื่อก้าวไปสู่ประเทศที่พัฒนาแล้ว ภายใน 20 ปี ด้วยความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน” ตลอดจนจะต้องสามารถใช้แก้ปัญหาและเกิดผลกระทบต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นจะต้องร่วมแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว โดยการใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใชกันมากขึ้น เช่น พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิไฮดรอกซิลอัลคาโนเอท (PHAs) พอลิคาร์โปแลคโทน (PCL) พอลิบิวธิลีนซัคซิเนต (PBS) พอลิบิวธิลีนเทอเรฟธาเลต (PBT) พอลิไตรเมทธิลีนเทอเรฟธาเลต (PTT) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (Paoprasert, 2013) แต่การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้เหล่านั้นมีต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากจุลินทรีย์ประเภทเชื้อแบคทีเรีย ที่เรียกว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส หรือเซลลูโลสจากแบคทีเรีย ซึ่งสามารถผลิตได้จากแบคทีเรียสายพันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ *Gluconobacter xylinus, Komagataeibacter xylinus* 10245, *Acetobacter xylinum* TISTR 975, *A. xylinum* (*Gluconacetobacter xylinus*) เป็นต้น (Dikshit & Kim, 2020; Li *et al*., 2017; Jaturapiree *et al.,* 2019; Schröpfer *et al.*, 2015) โดยบางสายพันธุ์สามารถเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นวัตถุดิบต้นทุนต่ำได้ โดยเฉพาะวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดต้นทุนการกำจัด ตลอดจนสามารถกำจัดของเสียในชุมชนได้อีกด้วย แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสเป็นวัสดุทางเลือกใหม่ที่จะทดแทนพลาสติก มีคุณสมบัติของเซลลูโลสเป็นวัสดุที่มีรูพรุน มีความยืดหยุ่นสูง มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ดูดความชื้น และย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ช่วยในการลดระยะเวลาในการผลิตได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และยังสามารถทดแทนการใช้เซลลูโลสจากพืชโดยที่ไม่ต้องทำลายต้นไม้ สำหรับการผลิตเซลลูโลสจากเชื้อแบคทีเรียนั้นจะต้องมีแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้ในกระบวนการหมัก ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส ฟลุคโตส ซูโครส มอลโตส ไซโลส กาแลคโตส เป็นต้น แต่เนื่องจากน้ำตาลบางชนิดดังกล่าวมีราคาแพง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต และเตรียมได้จากการใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้เป็นสารตั้งต้น โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ได้แก่ วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่มี

อยู่มากมาย ไร้ประโยชน์ น่าจะได้ทำการทดลอง รวมทั้งแนวคิดการนำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสดังกล่าวมาใช้ในการผลิตกระถางที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพมีข้อดีคือ แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสสามารผลิตได้โดยใช้ต้นทุนต่ำ และย่อยสลายในธรรมชาติได้เร็ว ดังนั้นการนำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสมาผลิตกระถางที่ใช้สำหรับเพาะต้นกล้า สามารถนำต้นกล้าลงในดินพร้อมกระถางดังกล่าวได้ และช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้น รวมถึงสามารถลดการใช้ถุงปลูกพลาสติก ซึ่งสอดคลองกับแนวทางการรณรงค์ด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศและของโลกอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการนำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรในท้องถิ่นชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เปลือกแตงโม ซังกาบอ้อย ซังข้าวโพด ผักตบชวา และน้ำมะพร้าวแก่ มาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงเชื้อ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 มาผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส

2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแบคทีเรียลเซลลูโลส ตลอดจนศึกษาการประยุกต์ใช้แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสมาผลิตเป็นกระถางที่สามารถย่อยสลายได้ เพื่อใช้ในการทดแทนถุงปลูกจากพลาสติก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส

1.1 การเตรียมกล้าเชื้อเริ่มตน กล้าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 ในการทดลองครั้งนี้ได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ชื่อสายพันธุ์เดิมก่อนปี พ.ศ. 2561 คือ *A. xylinum* TISTR 975 ทำการเตรียมอาหารที่ประกอบด้วย น้ำมะพร้าวมากรองด้วยผ้าขาวบาง เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 และกรดอะซิติกร้อยละ 1 โดยปริมาตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง 28±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการกระตุ้นการเจริญของเชื้อ โดยนำ *K. nataicola* TISTR 975 ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เติมลงในสูตรอาหารเดิมที่เตรียมใหม่ บ่มที่อุณหภูมิห้อง 28±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน นำ *K. nataicola* TISTR 975 ที่ได้ไปเป็นกล้าเชื้อเริ่มต้นในการทดลองต่อไป

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ โดยนำวัสดุจากเศษเหลือทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกแตงโม ซังข้าวโพด ซังกาบอ้อย และผักตบชวา ในสภาพสดมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำวัสดุแต่ละชนิดมาปั่นในอัตราส่วนของน้ำต่อเศษเหลือทางการเกษตรเท่ากับ 1:1 แล้วนำมากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลว (Paditsrikun, 2015) จะได้น้ำคั้นจากเปลือกแตงโม ซังข้าวโพด ซังกาบอ้อย และผักตบชวา ส่วนน้ำมะพร้าวแก่ได้จากการรวบรวมน้ำมะพร้าวจากร้านคั้นกะทิ แล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง

1.3 การผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส นำน้ำคั้นทั้งห้าวัตถุดิบ ไปต้มจนเดือดเพื่อลดหรือกำจัดจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 และแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 วางทิ้งไว้ให้เย็นในถาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว หลังจากนั้นเติมกรดอะซิติกร้อยละ 1 โดยปริมาตร เพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.5 เติมกล้าเชื้อ *K. nataicola* TISTR 975 ร้อยละ 10 โดยปริมาตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 28±2 องศาเซลเซียส ในสภาะนิ่ง เป็นเวลา 10-14 วัน วัดความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสทุกวัน นำแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้มาต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนได้ค่า pH เท่ากับ 7-8 นำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้ไปศึกษาต่อไป

2. การศึกษาคุณลักษณะของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส

นำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีความหนามากที่สุด 3 สูตรแรก จากข้อที่ 1 มาศึกษาคุณลักษณะ ได้แก่ ทดสอบแรงดึง การพิสูจน์เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) และการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) และ Differential scanning colorimeter (DSC) (Jaturapiree *et al.*, 2019)

3. การผลิตและศึกษาคุณสมบัติของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลส

นำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีความหนามากที่สุด 3 สูตรแรก จากข้อที่ 1 มาผลิตกระถาง โดยทำการผลิตและการเก็บเกี่ยวแบคทีเรียลเซลลูโลสตามข้อที่ 1 นำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้มาขึ้นรูปบนภาชนะที่ต้องการ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันหรือจนภาชนะแห้ง และศึกษาคุณสมบัติของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลส ได้แก่

3.1 ลักษณะทางกายภาพ ประกอบด้วย การดูดซับน้ำของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลส (Piyang *et al.*, 2018)

3.2 ศึกษาผลของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสที่มีต่อการเจริญติบโตของคะน้า โดยการเตรียมกระถางจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วนำกระถางดังกล่าวลงดินปลูกและนำเมล็ดคะน้ามาปลูกในกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลส ทำการรดน้ำปริมาณ

50 มิลลิตรต่อ 1 กระถาง วันละ 3 ครั้ง ได้แก่ ตอนเช้า บ่าย และเย็น เป็นเวลา 30 วัน วัดความสูงของลำต้นจากพื้นดิน เส้นรอบวงของลำต้น เส้นผ่าศูนย์กลางของใบ และนับจำนวนใบ ในทุก ๆ 3 วัน

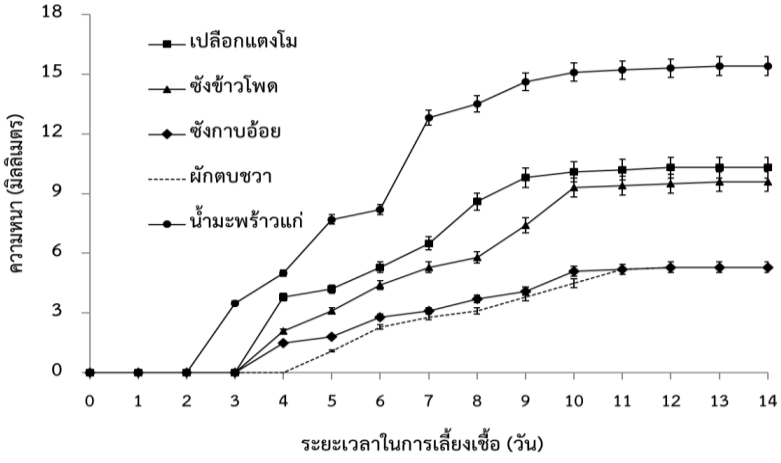
3.3 ศึกษาการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของการเสื่อมทางชีวภาพกระถาง โดยชั่งน้ำหนักของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่างก่อนปลูก แล้วนำกระถางดังกล่าวมาปลูกต้นคะน้าและรดน้ำ ตามข้อ 3.2 เป็นระยะเวลา 30 60 และ 90 วัน เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำชิ้นกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่าง ไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันหรือจนภาชนะแห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาค่าเฉลี่ยของร้อยละการเสื่อมทางชีวภาพกระถาง โดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การการเสื่อมทางชีวภาพกระถาง} = \frac{\text{น้ำหนักกระถางหลังทดสอบ} - \text{น้ำหนักกระถางก่อนทดสอบ}}{\text{น้ำหนักกระถางก่อนทดสอบ}} \times 100$$

ผลการวิจัย

1. การผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส

จากการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยใช้น้ำคั้นจากเปลือกแตงโม ซังข้าวโพด ซังกาบอ้อย ผักตบชวา และน้ำมะพร้าวแก่พบว่า ลักษณะของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโมและน้ำมะพร้าวแก่ มีลักษณะเป็นแผ่นเป็นสีขาว ผิวเรียบ มันวาว และเนื้อแผ่นแน่น ส่วนแผ่นจากน้ำคั้นจากซังข้าวโพดลักษณะแผ่นเป็นสีขาว ผิวเรียบ และเนื้อแผ่นแน่น ซึ่งมีความแตกต่างกับแผ่นจากน้ำคั้นจากซังกาบอ้อยมีลักษณะผิวขรุขระ แต่แผ่นเป็นสีขาว เมื่อทำการศึกษาความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากการเจริญของ *K. nataicola* TISTR 975 พบว่า ในช่วงการเจริญของเชื้อในวันที่ 1-2 วัน ยังไม่เกิดแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส จนวันที่ 3 พบว่าเกิดแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากตัวอย่างน้ำมะพร้าวแก่ ส่วนน้ำคั้นจากวัสดุจากเศษเหลือทางการเกษตรตัวอย่างอื่นจะเริ่มสร้างแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสในวันที่ 4 และการสร้างแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสของทุกกรรมวิธีจะคงที่หลังจากวันที่ 10 ของการเจริญ ซึ่งมีความหนาเท่ากับ 4.5-15.1 มิลลิเมตร โดยที่แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม และน้ำคั้นจากซังข้าวโพด มีความหนาที่สูงมากของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสในวันที่ 10 ที่ให้ความหนาเท่ากับ 15.1 10.1 และ 9.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังกาบอ้อย และน้ำคั้นจากผักตบชวา พบว่ามีความหนารองลงมาเท่ากับ 4.5-5.1 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากวัสดุทางการเกษตรที่ให้ความหนามาก ได้แก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม น้ำคั้นจากซังข้าวโพด และน้ำมะพร้าวแก่ในการศึกษาขั้นต่อไป



ภาพที่ 1 ความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสของเชื้อ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 ในอาหารที่เตรียมจากวัสดุทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ ในสภาะนิ่ง ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

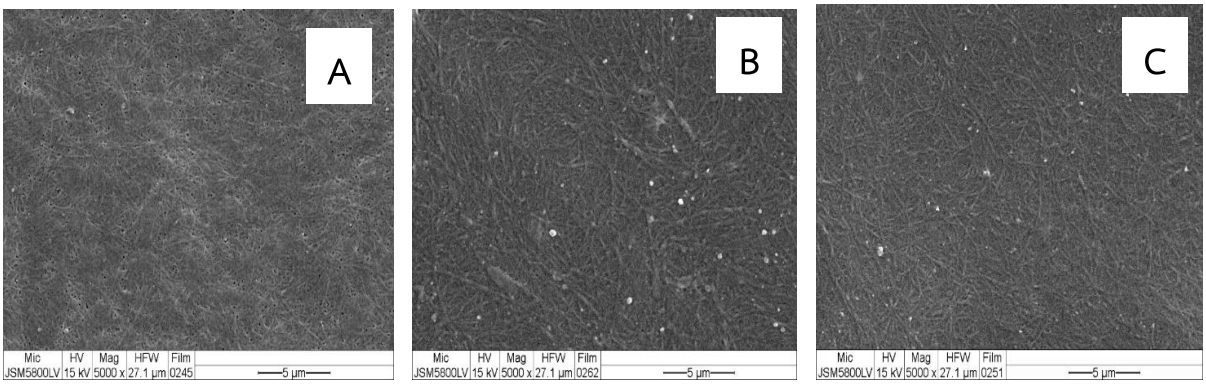
2. การศึกษาคุณลักษณะของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส

2.1 การทดสอบแรงดึง โดยการเตรียมแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจำนวน 3 สูตร ได้แก่ จากน้ำคั้นเปลือกแตงโม น้ำคั้นจากซังข้าวโพด และน้ำมะพร้าวแก่ โดยเชื้อ *K. nataicola* TISTR 975 ที่ผ่านการอบ มาตัดเป็นรูปมาตรฐานสำหรับใช้

ในการทดสอบ โดยวิธีการทดสอบอ้างอิง WI-RES-Tensile-001 ด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine, Z010, Zwick Roell, Germany พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม มีค่า Tensile strength มากที่สุดคือ 79.1 MPa รองลงมาได้แก่ จากซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 47.1 MPa และจากน้ำมะพร้าวมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 37.8 MPa ส่วนค่าความยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) พบว่า แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 39 รองลงมาคือจากเปลือกแตงโมและจากซังข้าวโพดเท่ากับร้อยละ 27 และ 3 ตามลำดับ

2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมี โดยการนำแบคทีเรียเซลลูโลสมาจำนวน 3 สูตร ที่ผ่านการอบ มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่า ทั้งสามตัวอย่างมีสเปคตรัมที่แสดงโครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียลเซลลูโลสมีลักษณะคล้ายกัน โดยแสดงพีคที่สำคัญของแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าว จากน้ำคั้นเปลือกแตงโม และจากน้ำคั้นซังข้าวโพด ดังนี้ ที่ตำแหน่งความถี่ 3345-3342 (O-H Stretching), 2919-2923 (C-H Strengthing), 1634-1644 (O-H Bending of Absorp Water), 1336 (C-H Stretching), 1160 (C-O-C Stretching), 1110-1060 (C-O-H Stretching) และ 610-664 (O-H Out of Plane Bending)

2.3 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM-5800LV01) ของทั้งสามชนิดของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสพบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่างมีโครงสร้างเป็นแผ่นร่างแห เกิดจากเส้นใยซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 2 นอกจากนี้พบว่าลักษณะทางโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพด มีการกระจายตัวของเส้นใยไม่ดี และมีผิวขรุขระ ดังภาพที่ 2 (B และ C) ซึ่งต่างกับแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ที่มีการกระจายตัวของเส้นใยสม่ำเสมอ และมีผิวค่อนข้างเรียบ ดังภาพที่ 2 (A)



ภาพที่ 2 SEM ของแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้จากแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ (A) แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม (B) และ แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพด (C)

2.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยอาศัยเครื่องมือ Thermogravimetry-Differential Thermal Analyser (TGA/DTG) ทดสอบที่อุณหภูมิ 50 ถึง 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีพบว่าแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวมีความเสถียรทางความร้อนสูงสุด โดยมีค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ส่วนแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากซังข้าวโพดมีการสลายตัวที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 215 และ 219 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3. การผลิตกระถางและศึกษาคุณลักษณะของกระถางจากแบคทีเรียลเซลลูโลส

นำแบคทีเรียลเซลลูโลสสจากน้ำมะพร้าวแก่ จากน้ำคั้นเปลือกแตงโม และจากน้ำคั้นซังข้าวโพด มาผลิตเป็นกระถาง ดังภาพที่ 3 ซึ่งมีความสูงของกระถางทุกตัวอย่างเท่ากับ 6 เซนติเมตร ความกว้างของกระถางทุกตัวอย่างเท่ากับ 5 เซนติเมตร ส่วนความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม และน้ำคั้นซังข้าวโพดเท่ากับ 1 1 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักของกระถางจากแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสพบว่า กระถางที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวแก่มีน้ำหนักเท่ากับ 1.15 กรัม จากน้ำคั้นซังข้าวโพดเท่ากับ 0.33 กรัม และจากน้ำคั้นเปลือกแตงโมเท่ากับ 0.62 กรัม หลังจากนั้นนำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งหมดไปศึกษาคุณลักษณะของกระถาง ได้แก่ การดูดซับน้ำของกระถางต้นไม้พบว่า สามารถดูดซับน้ำร้อยละ 257- 558 โดยกระถางจากแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพดมีดูดซับน้ำได้มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 558

รองลงมาคือ กระถางจากน้ำมะพร้าวแก่ และจากน้ำคั้นเปลือกแตงโมเท่ากับ ร้อยละ 407 และร้อยละ 257 ตามลำดับ เมื่อศึกษาผลของกระถางต่อการเจริญเติบโตของคะน้า โดยการเตรียมกระถางจำนวน 3 กระถาง จากแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม และน้ำคั้นจากซังข้าวโพดพบว่า การเจริญเติบโตของคะน้าจะเริ่มในวันที่ 3 ของการปลูก ในทุกกระถางมีความสูงของต้นกล้าเฉลี่ยเท่ากับ 1.9 เซนติเมตร ส่วนวันที่ 6-12 ของการปลูกพบว่าขนาดเส้นรอบวงเท่าเดิม เท่ากับ 0.3 เซนติเมตร ความสูงในช่วง 6.3-8.4 เซนติเมตรและในวันที่ 9 ของการปลูกมีการแตกใบเพิ่มขึ้นจาก 2 ใบ เป็น 4 ใบ และต้นคะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อระยะเวลาผ่านไปครบ 30 วัน นอกจากนี้จากการศึกษาการเสื่อมทางชีวภาพของกระถาง โดยทำการปลูกต้นคะน้า ในกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่าง แล้วนำกระถางไปฝังดิน โดยรดน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตรต่อกระถาง วันละ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลา 30 60 และ 90 วัน พบว่า กระถางเซลลูโลสทุกกระถางสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้หมด ภายในเวลา 30 วัน จึงไม่ทดลองในเวลาย่อยสลายที่ 60 และ 90 วัน

ภาพที่ 3 กระถางที่ทำจากแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 โดยใช้อาหารที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในสภาะนิ่ง ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 10 วัน (A: แบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ B: แบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม และ C: แบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพด)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการนำวัสดุจากเศษเหลือทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกแตงโม ซังข้าวโพด ซังกาบอ้อย ผักตบชวา และน้ำมะพร้าวแก่ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยเชื้อ *K. nataicola* TISTR 975 เป็นเวลา 10 วัน พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่มีความหนามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 15.1 มิลลิเมตร ซึ่งมีความหนาใกล้เคียงกับแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสในน้ำมะพร้าวจาก *A. xylinum* TISTR 975 เท่ากับ 14.2 มิลลิเมตร (Nilsang & Kholungkul, 2017) และใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Bunyakan (2017) ที่ผลิตวุ้นสวรรค์หรือแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสในน้ำมะพร้าวโดยเชื้อ *A. xylinum* subsp. *xylinum* TISTR 975 ให้ความหนา เท่ากับ 15.50 มิลลิเมตร ผลการทดลองครั้งนี้แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส ที่ให้ความหนารองลงคือ แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโมและน้ำคั้นจากซังข้าวโพดมีความหนาเท่ากับ 10.6 และ 9.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยเชื้อ *Acetobacter* sp. นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือแหล่งคาร์บอนที่ใช้เลี้ยง แหล่งไนโตรเจน ปริมาณเชื้อที่ใช้ ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิที่ใช้เลี้ยง สำหรับแหล่งคาร์บอนที่ใช้ควรประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่ ที่มีปริมาณเหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปผลิตแผ่นเซลลูโลส (Khemacheewakul, 2017) จากการรายงานของ Jaturapiree *et al.* (2019) ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยใช้เชื้อ *A. xylinum* TISTR 975 ในน้ำมะพร้าวกับน้ำคั้นเปลือกสับปะรดพบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวให้ความหนามากกว่า เนื่องจากมีสารอาหารและแร่ธาตุที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลทั้งหมด 30.60 กรัมต่อลิตร กลูโคส 5.98 กรัมต่อลิตร ฟรุกโตส 13.60 กรัมต่อลิตร และไซโลส 5.86 กรัมต่อลิตร

เมื่อนำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีความหนามากที่สุดมา 3 สูตร ได้แก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม น้ำคั้นจากซังข้าวโพดและน้ำมะพร้าวแก่ มาศึกษาคุณลักษณะต่างๆ พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม มีค่า Tensile strength มากที่สุดคือ 79.1 MPa รองลงมาได้แก่ แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากซังข้าวโพดเท่ากับ 47.1 MPa และแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 37.8 MPa ส่วนค่าความยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) พบว่า แผ่น

แบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 39 ซึ่งทั้งสามตัวอย่างมีค่ามากกว่าแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ *Gluconobacter xylinus* เท่ากับ 16.50 MPa (Dikshit & Kim, 2020) จากการศึกษาของ Li *et al*. (2017) ซึ่งทำการศึกษาแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ *Komagataeibacter xylinus* ATCC 10245 เสริมด้วยไคซานที่ความเข้มข้นต่างกันพบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ไม่เสริมด้วยไคโตซาน มี Tensile strength สูงสุดเท่ากับ 9.51 MPa รองลงมาเป็นแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่เสริมด้วยไคโตซานร้อยละ 1.5 เท่ากับ 9.13 MPa โดยคุณลักษณะการมี Tensile strength ที่สูงหรือต่ำเกิดจากขนาดของรูพรุนและความพรุนของโครงสร้างของตัววัสดุนั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM-5800LV01) พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโมพบขนาดของรูพรุน เท่ากับ 0.05-0.14 ไมโครเมตร รองลงมาคือแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากซังข้าวโพด เท่ากับ 0.08-0.16 ไมโครเมตร และแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวมีขนาดของรูพรุนเท่ากับ 0.08-0.13 ไมโครเมตร ซึ่งแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่างมีโครงสร้างเป็นแผ่นร่างแห เกิดจากเส้นใยซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก โดยแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโมมีเส้นใยซ้อนทับกันเป็นจำนวนมากที่สุดเช่นกัน จึงส่งผลให้มีค่า Tensile strength มากที่สุด แต่พบผิวที่ขรุขระ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jaturapiree *et al.* (2019) ที่ศึกษาคุณลักษณะของสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตด้วย *A. xylinum* TISTR 975 จากน้ำคั้นเปลือกสับปะรดและจากน้ำคั้นเปลือกสับปะรดผสมกับน้ำมะพร้าวพบว่า ลักษณะเดียวกัน และมีสิ่งปนเปื้อน (Impurities) ซึ่งจะพบสิ่งปนเปื้อนในแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากซังข้าวโพดเช่นกัน ส่วนแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่มีผิวค่อนข้างเรียบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jaturapiree *et al.* (2019) ที่ศึกษาคุณลักษณะของสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตด้วย *Acetobacter xylinum* TISTR 975 จากน้ำมะพร้าวพบว่า แบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้จากน้ำมะพร้าวมีผิวค่อนข้างเรียบ เช่นเดียวกับ Maryam *et al.* (2017) ที่ศึกษาแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ได้จากน้ำมะพร้าว โดย *A. xylinum* พบว่า มีผิวค่อนข้างเรียบ และไม่มีสิ่งปนเปื้อน

เมื่อนำแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่า ทั้งสามตัวอย่างมีสเปคตรัมที่แสดงโครงสร้างทางเคมีมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งพีคสำคัญที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียลเซลลูโลส ที่ตำแหน่งความถี่ 3300-3550 (O-H Stretching), 2880-2960 (C-H Strengthing), 1640-1650 (O-H Bending of Absorp Water), 1330-1427 (C-H Stretching), 1160-1164 (C-O-C Stretching), 1110-1060 (C-O-H Stretching) และ 610-664 (O-H Out of Plane Bending) (Singhsa *et al*., 2018; Yim *et al*., 2017; Jaturapiree *et al.,* 2019) นอกจากนี้มีการศึกษาสมบัติทางความร้อนของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสด้วยเครื่องมือ TGA/DTG พบว่า แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่มีความเสถียรทางความร้อนด้วย TGA สูงที่สุด ค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Jia *et al.* (2017) ที่ศึกษาแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสผลิตจากเชื้อ *A. xylinum* (*Gluconacetobacter xylinus* (CGMCC NO. 2955) พบว่ามีค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 328.36 องศาเซลเซียส แต่ต่ำกว่าการศึกษาของ Jaturapiree *et al.* (2019) ที่ศึกษาแบคทีเรียลเซลลูโลสซึ่งผลิตด้วย *A. xylinum* TISTR 975 จากน้ำมะพร้าวมีค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 352 องศาเซลเซียส และ Schröpfer *et al.* (2015) ที่ศึกษาแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ *A. xylinum* (*Gluconacetobacter xylinus*) พบว่า มีค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ส่วนแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากซังข้าวโพดมีการสลายตัวที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 215 และ 219 องศาเซลเซียส โดยแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจะเกิดการสลายตัว 2 ช่วง คือช่วงแรกที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส จะเป็นการสลายตัวของน้ำที่อยู่ในเนื้อวัสดุ และหลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเริ่มเกิดการสลายตัวช่วงที่สอง โดยจะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 300-400 องศาเซลเซียส การสลายตัวที่เกิดขึ้นในช่วงนี้มีหลายปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องด้วยอาทิเช่น Depolymerization Dehydration การสลายตัวของหน่วยย่อย Glycosyl ที่ต่อมาจะเกิดเป็นถ่านชาร์ (Jaturapiree *et al.,* 2019)

กระถางจากแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ แบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพด เมื่อนำไปทดสอบการดูดซับน้ำของกระถางทั้งหมด พบว่า สามารถดูดซับน้ำได้สูงถึงร้อยละ 257.57- 558.06 เนื่องจากแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียมีปริมาณของหมู่ฟังก์ชั่นที่ชอบน้ำอยู่มาก ขณะเดียวกันหากมีเสริมไคโตซานลงไปในแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลส จะทำให้การดูดซับน้ำของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสลดลง (Li *et al*., 2017) เมื่อศึกษาผลของกระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสที่มีต่อการเจริญติบโตต้นคะน้า พบว่า ต้นคะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดี และยังมีเห็ดเจริญอีกด้วยแสดงให้เห็นว่ากระถางสามารถย่อยสลายได้ และในวันที่ 17 ของการปลูกมีมดขึ้น

ตามดินบริเวณที่มีกระถางอยู่ด้วย จึงแสดงให้เห็นว่ากระถางไม่เป็นพิษต่อต้นคะน้าและกับสัตว์หรือต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนพบว่า กระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่างมีการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 30 วัน และใช้ระยะเวลาย่อยสลายเร็วกว่าฟิล์มที่ผลิตจากแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสผสม Polyvinyl alcohol ถึง5.86 โดยฟิล์มดังกล่าวมีการย่อยสลายที่ 176 วัน (Doree *et al.*, 2012) ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการย่อยสลายในดินของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ผลิตจากเชื้อ *A. xylinum* (*Gluconacetobacter xylinus*) ซึ่งพบว่า เริ่มย่อยสลายที่ 30 วัน เมื่อระยะเวลานานขึ้นสามารถย่อยสลายได้มากขึ้น และย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ที่เวลา 180 วัน ซึ่งการย่อยสลายดังกล่าวเกิดจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Schröpfer *et al.*, 2015) นอกจากนี้กระถางแบคทีเรียลเซลลูโลสที่ศึกษาทั้งสามตัวอย่างมีการย่อยสลายได้เร็วกว่ากระถางที่ผลิตจากแป้งผสมกลีเซอรอลร้อยละ 50 และเปลือกกล้วยร้อยละ 50 โดยกระถางดังกล่าวมีน้ำหนักหายไปร้อยละ 51.66 หลัง 60 วันจากการฝังกลบ ซึ่งกล่าวได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน ย่อยได้ครึ่งหนึ่งของกระถางเท่านั้น ในขณะเดียวกันหากเพิ่มเปลือกกล้วยเป็นร้อยละ 70 กระถางมีน้ำหนักที่หายไปร้อยละ 46.41 หลัง 60 วันจากการฝังกลบ ดังนั้นการเพิ่มเปลือกกล้วยให้ปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่มกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากเปลือกกล้วยมีน้ำตาลเชิงเดี่ยวจะย่อยสลายได้ง่าย (Mohd Rafee *et al*., 2019) เช่นเดียวกับการทดลองครั้งนี้ที่ผลิตกระถางแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่ น้ำคั้นเปลือกแตงโม และน้ำคั้นซังข้าวโพด ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีต่อจุลินทรีย์ในดิน ทำให้เกิดย่อยสลายของกระถางได้เร็วอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเชื้อ *K. nataicola* TISTR 975 โดยใช้น้ำคั้นเปลือกแตงโม น้ำคั้นซังข้าวโพด น้ำคั้นซังกาบอ้อย น้ำคั้นผักตบชวา และน้ำมะพร้าวแก่ พบว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อในน้ำมะพร้าวแก่ น้ำคั้นจากเปลือกแตงโม และน้ำคั้นจากซังข้าวโพด ให้ความหนาของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสมากกว่าแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นจากซังกาบอ้อยและน้ำคั้นจากผักตบชวา เมื่อศึกษาคุณลักษณะของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม จากน้ำคั้นซังข้าวโพด และน้ำมะพร้าวแก่ พบว่า แผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นเปลือกแตงโม มีค่า Tensile strength มากที่สุดคือ 79.1 MPa เมื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีพบว่า ทั้งสามตัวอย่างมีสเปคตรัมที่แสดงโครงสร้างทางเคมีลักษณะคล้ายกันทั้งสามตัวอย่าง มีลักษณะทางโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเป็นแผ่นร่างแห เกิดจากเส้นใยซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากน้ำมะพร้าวแก่มีความเสถียรทางความร้อนด้วย TGA สูงสุด มีค่าการสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ส่วนแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสจากเปลือกแตงโม และแบคทีเรียลเซลลูโลสจากน้ำคั้นซังข้าวโพดมีการสลายตัวที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 215 และ 219 องศาเซลเซียส และเมื่อนำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสทั้งสามตัวอย่างมาผลิตเป็นกระถาง พบว่ากระถางสามารถดูดซับน้ำร้อยละ 257-558 และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ได้ภายในเวลา 30 วัน ตลอดจนไม่เป็นพิษต่อต้นคะน้า

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้แนวทางการใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรบางตัวอย่าง ควรที่จะมีการศึกษาชนิดของวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรอื่น ๆ เพิ่มเติม หรือนำวัชพืชชนิดต่าง ๆ มาเป็นแหล่งคาร์บอนให้เชื้อแบคทีเรียใช้ในการเจริญ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่ากับของเหลือทิ้งและวัชพืชที่ไม่มีประโยชน์ และสามารถนำกระถางจากแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลสมาใช้แทน ถุงปลูกที่ทำจากพลาสติกได้ โดยไม่เพิ่มขยะให้เป็นปัญหาในสิ่งแวดล้อมและเป็นมิตรกับธรรมชาติอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ภายใต้โครงการทุนอุดหนุนการวิจัยงบบำรุงการศึกษา ประจำงบประมาณ 2564 เลขที่สัญญาที่ บกศ.ควท.018/2564

เอกสารอ้างอิง

Bunnag, N. (2021). *Agricultural plastic residues in the soil harm to food security, health, and environment* [Online]. Retrieved February 14, 2023, from: https://www.sdgmove.com/2021/12/09/plastics-in-soil-threaten-food-security-health-and-environment-fao/ (in Thai)

Bunyakan, M. (2017). Production of nata de coco for processing of a gac drink mixed with nata de coco and dehydrated sweetened nata de coco. *KKU Sci. J., 45*(3), 501-512. (in Thai)

Dikshit, P. K. & Kim, B. S. (2020). Bacterial cellulose production from biodiesel–derived crude glycerol, magnetic functionalization, and its application as carrier for lipase immobilization. *International Journal of Biological Macromolecules,* 153, 902–911.

Doree, L. M., Dobre, T. & Ferdes, T. M. (2012) Biodegradation kinetics of antimicrobial composite films based on polyvinyl alcohol-bacterial cellulose. *REV. CHIM. (Bucharest), 63*(5), 540-544.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Assessment of agricultural plastics and their sustainability.* A call for action. Italy: FAO.

Jaturapiree, A., Chaichana, E., Saowapark, T., Chuenpraphai, B. & Jaturapiree, P. (2019). Production and characteri[ation of bacterial cellulose produced by *Acetobacter xylinum* TISTR 975 from pineapple peel juice. *RMUTP Research Journal, 13*(1), 180-192. (in Thai)

Jia, Yuanyuan., Wang, X., Huo, M., Zhai, X., Li, F. & Zhong, C. *(2017).* Preparation and characterization of a novel bacterial cellulose/chitosan bio-hydrogel. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 7, 1–8.

Khemacheewakul, J. *(2017).* Factors affecting production of cellulose *Acetobacte* sp. and fermentation technology. *RMUTSB Acad. J., 5*(1), 91-103-192. (in Thai)

Land Development Department. (2021). *Agri-Map YALA.* Bangkok: Land Development Department. (in Thai)

Li. G., Nandgaonkar, A. G., Habibi, Y., Krause, W. E., Wei, Q. & Lucia, L. A. *(2017).* An environmentally benign approach to achieving vectorial alignment and high microporosity in bacterial cellulose/chitosan scaffolds. *RSC Adv.,* 7, 13678-13688.

Maryam, M., Dedy, R. & Yunizurwan, Y. (2017). Processing of micro-nano bacterial cellulose with hydrolysis method as a reinforcing bioplastic. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series,* 795, 1-7.

Mohd Rafee, S. N. A., Lee, Y. L., Jamalludin, M. R., Razak, N. A., Makhtar, N. l. & Ismail, R. I. (2019). Effect of different ratios of biomaterials to banana peels on the weight loss of biodegradable pots. *Acta Technologica Agriculturae 1/2019*. DOI: 10.2478/ata-2019-0001

Paditsrikun, N. (2015). Quality of bacterial cellulose from different nutrient cultured in extracted corn juice. Bachelor´s project. Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)

Paoprasert, P. (2013). Polymers from biological sources: A Literature Review. *KKU Res. J., 18*(3), 536-547. (in Thai)

Piyang, T., Chaichan, W. & Sagulsawasdipan, K. (2018). Environment-friendly plant pot production from palm oil sludge and mushroom cultured waste. *RMUTSV Research Journal, 10*(3), 497-511. (in Thai)

Nilsang, P. & Kholungkul, J. (2017). Development of bacterial cellulose production from herbal juices. *VRU Research and Development Journal Science and Technology, 1*(3), 123-134. (in Thai)

Schröpfer, S. B., Bottene, M. K., Bianchin, L., Robinson, L. C. Lima, V. D., Jahno, V. D. Barud, H. D. S. & Ribeiro, S. J. L. (2015). Biodegradation evaluation of bacterial cellulose, vegetable cellulose and poly (3-hydroxybutyrate) in soil. *Polímeros, 25*(2), 154-160.

Singhsa, P. Narain R. & Manuspiya, M. (2018). Bacterial cellulose nanocrystals (BCNC) preparation and characterizations from three bacterial cellulose sources, and development of functionalized BCNC as nucleic acid delivery systems. *ACS Applied Nano Materials*, 1, 209-221.

United Nations. (2021). *Plastics in soil threaten food security, health, and environment: FAO.* [Online]. Retrieved March 14, 2023, from : https://news.un.org/en/story/2021/12/1107342

Yim, S. M., Song J. E. & Kim, H. R. (2017). Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar, *Process Biochemistry*, 59, 26-36.