การพัฒนาพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด เพื่อเป็นแนวทางการผลิตไบโอพอลิเมอร์สำหรับถุงหูหิ้วและบรรจุภัณฑ์

Development of Bioplastic from Corncobs to be a Guideline to Produce Biopolymers suitable for General Shopping Bags and Packaging Materials

ธนกฤต อ่อนสอาด,[1] กิติภูมิ คู่ศักดิ์ศรีสกุล,[1] ณฐ สุภโอภาส[1] และ นาอีม บินอิบรอเฮง[1]*

Thanakrit Oonsaart,[1*] Kitiphum Khusaksrisakul,[1] Natha Supaopas[1] and Naeem Binibroheng[1]

Received 25 July 2025, Revised 18 October 2025, Accepted 30 October 2025

ABSTRACT

Polymers with many good properties, such as high durability, chemical resistance, and light weight, are a kind of convenience in our daily lives. However, these polymer materials, especially synthetic polymers rank the most environmental problems, taking 400-500 years or more to biodegrade. Another problem is that corncobs, also known as corn kernels, are the most common waste product of corn. Farmers tend to burn them, which creates smoke that damages the atmosphere, ecosystems, and public health in that area. It is estimated that 1.2 million tons of corncobs are wasted per year. Therefore, this project aims to study the properties of bioplastics from corncobs as a guideline for the production of suitable biopolymers for bags and packaging, using corn cobs as a starch source for bioplastics. Corn cobs, vinegar, glycerol, and water were boiled until they become thick. Then they were baked at 180 °C for 1 hour. After that, the properties such as tensile strength, density, water solubility and biodegradation of the three kind of plastic were tested. The results showed that bioplastic yield of 43.05 % w/w with the loss of 361.3 grams of solution. The obtained results showed that the bioplastic had high performance in the biodegradation test,was able to degrade more than 99% within 30 days. Thus can be concluded that the development of bioplastic is beneficial. However, solubility is limited.

Keywords: Bioplastic, Corncobs

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์ มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความทนทานสูง ทนต่อสารเคมี และน้ำหนักเบา ถือเป็นความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม วัสดุพอลิเมอร์เหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายทางชีวภาพ 400-500 ปี ขึ้นไป ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนา และศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นแหล่งแป้งสำหรับทำพลาสติกชีวภาพ โดยใช้ซังข้าวโพด น้ำส้มสายชู กลีเซอรอล และน้ำ ถูกต้ม และผสมกันก่อนจะขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกโดยนำไปอบแล้วผึ่ง จากนั้นจึงทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง

[1*] โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ต.บ่อเงิน อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี 12140
Princess Chulabhorn Science High School Pathum Thani, Bor Ngern, Lat Lum Kaew, Pathum Thani 12140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 06-5714-5456, Email address: thanakit.great@gmail.com

ความหนาแน่น การละลายน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลผลิตพลาสติกชีวภาพ 43.05%w/w สูญเสียสารละลายไป 361.3 กรัม จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลาสติกชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงในการทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีมาก แต่ยังมีข้อจำกัดของการละลายน้ำ

คำสำคัญ : พลาสติกชีวภาพ ซังข้าวโพด

คำนำ

สถานการณ์ขยะพลาสติกในประเทศไทยในช่วงการแพร่ระบาดโรคโควิด-19 ระบาดต้นปี พ.ศ. 2562 ทำให้ปริมาณขยะพุ่งสูงขึ้นจากเฉลี่ย 5,500 ตันต่อวัน เป็น 6,300 ตันต่อวัน ซึ่งไม่รวมถึงขยะอันตรายที่เกิดจากหน้ากากอนามัยที่ใช้แล้ว โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ ที่มีขยะเพิ่มขึ้นกว่า 60% ของขยะทั้งหมด และขยะที่สามารถรีไซเคิลได้กลับลดลงจากเดิม 27% เหลือเพียง 19% ดังนั้น ขยะทั่ว ๆ ไปที่มีอยู่ประมาณ 27.8 ล้านตัน สามารถบริหารจัดการขยะได้เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น ส่วนอีกครึ่งยังคงเป็นปัญหาอยู่ ปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นจากภาวะปกติเท่าตัวจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา หากจัดการไม่ถูกวิธี เนื่องจากใช้เวลาในการย่อยสลายไม่ต่ำกว่า 400-500 ปี ในช่วงเดือนเมษายน ปีพ.ศ. 2564 หากดูปริมาณขยะต่อวันจะพบว่าปริมาณขยะพลาสติกเยอะขึ้นมาจากปกติ 15% เพิ่มขึ้นมาเป็น 25% ของขยะทั่วไปที่เก็บได้ประมาณวันละ 9,000 ตันต่อวัน (ภูมิณัฐ และรุจิกาญจน์, 2565)

พลาสติกเป็นวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์สังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์ ได้ง่าย มีการนำมาใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ถุงพลาสติก ขวดน้ำ บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น แม้พลาสติกจะเป็นวัสดุที่มีประโยชน์มากมาย แต่ความคงทนของพลาสติกก็นำมาซึ่งปัญหาสิ่งแวดล้อมเช่นกัน เนื่องจากขยะพลาสติกส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ พลาสติกชีวภาพหมายถึงวัสดุที่มีพื้นฐานทางชีวภาพ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือทั้งสองอย่าง แต่ยังสามารถให้คำนิยามของพลาสติกชีวภาพว่าเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารประกอบอนินทรีย์หรือมวลชีวภาพ ซึ่งสามารถให้ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีเยี่ยม และสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม (Ibrahim *et al*., 2021) พลาสติกชีวภาพได้มีงานวิจัยที่สำเร็จออกมาหลายฉบับอย่างเช่น งานวิจัยของ สุทธิษา และคณะ (2563) ที่ได้ผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยสาคู

ซังข้าวโพด หรือที่รู้จักกันทั่วว่า แกนข้าวโพด เป็นส่วนที่เหลือทิ้งมากที่สุดจากส่วนประกอบของข้าวโพด โดยเกษตรกรจะรอเผา ซึ่งก่อให้เกิดควันทำลายชั้นบรรยากาศของโลก ระบบนิเวศ และสุขภาพประชาชนในชุมชนที่อาศัยในพื้นที่นั้น ๆ และเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาหมอกควันโดยเฉพาะทางภาคเหนือของไทย จากการประเมินพบว่ามีปริมาณซังข้าวโพดเหลือทิ้งจำนวน 1.2 ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็น 25% ของผลผลิตทั้งหมด (วิชิตา, 2564)

วัตถุประสงค์การวิจัยคือการพัฒนาพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด เพื่อเป็นแนวทางการผลิตเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่เหมาะสำหรับถุงหูหิ้วและบรรจุภัณฑ์ โดยเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวโพด การนำกลับมาใช้ใหม่ของซังข้าวโพด และการลดของเสียจากการรับประทานข้าวโพด ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลเศรษฐกิจใหม่ BCG ในมิติเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว และโมเดล SDGs ในอุดมการณ์ที่ 9 ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรม ที่ครอบคลุมและยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม และอุดมการณ์ที่ 15 ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่ และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด

ปั่นซังข้าวโพดกับน้ำในเครื่องปั่น/บดอาหารเป็นเวลา 5 นาที โดยผสมอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อน้ำเป็น 1 : 3 จากนั้นนำส่วนผสมไปกรองผ่านตะแกรงร่อนละเอียดหรือผ้าขาวบาง แล้วปล่อย

ของเหลวให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2-3 ชม. เพื่อให้แยกชั้น ตามด้วยการเอาน้ำออกอย่างระมัดระวัง แล้วนำตะกอนไปอบในเตาอบลมร้อนเพื่อให้แห้ง โดยทำซ้ำจนกว่าจะได้ประมาณ 75 ก. จากนั้น นำกลีเซอรอล 50 ก. แป้งซังข้าวโพด 75 ก. และน้ำ 500 มล. มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผลเป็น M_i ต่อจากนั้นผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำไปต้มบน Hot Plate ที่ไฟปานกลางเป็นเวลา 2 ชม.ต่อจากนั้น นำสารละลายพลาสติกที่ได้มาปาดลงถาด แล้วนำไปอบในเตาอบลมร้อน เป็นเวลา 1 ชม. ที่อุณหภูมิ 180 °C โดยที่เปิดลมด้วย เมื่ออบเสร็จนำพลาสติกชีวภาพที่ได้ออกมาชั่ง แล้วบันทึกน้ำหนักเป็น M_f

2. การศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ระหว่างพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด

เริ่มจากการตัดพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด (PLA) และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาดให้แผ่นมีขนาด 10 cm × 10 cm

ส่วนที่ 1 นำส่วนที่ถูกตัดไปวัดโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine วัดชนิดละ 5 แผ่น

ส่วนที่ 2 นำส่วนที่ถูกตัดไปชั่งโดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลแล้วบันทึกเป็น M และวัดความหนาโดยใช้ Micrometer แล้วบันทึกเป็น L จากนั้นคำนวณปริมาตร โดยใช้สูตร ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.) = M/(100×L) วัดชนิดละ 5 แผ่น

ส่วนที่ 3 นำส่วนที่ถูกตัดของพลาสติกแต่ละชนิดไปชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ แล้วบันทึกผลเป็น A_0 จากนั้นนำส่วนที่ถูกตัดไปแช่ในน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำมาตากเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำแต่ละแผ่นมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ แล้วบันทึกผลเป็น A_1 แล้วนำไปคำนวณโดยใช้สูตร การละลายน้ำ (%) = $[(A_0 - A_1)/A_0] \times 100\%$ โดยวัดซ้ำชนิดละ 5 แผ่น

ส่วนที่ 4 นำส่วนที่ถูกตัดไปชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ แล้วบันทึกผลเป็น B_0 ต่อจากนั้นนำส่วนที่ถูกตัดไปฝังกลบในดินที่ความลึก 10 cm แล้วกลบด้วยดินเป็นเวลา 30 วัน เมื่อครบ 30 วัน นำส่วนที่ถูกตัดมาทำความสะอาดแล้วอบส่วนที่ถูกตัดของแต่ละถุงที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 30 นาที และนำส่วนที่ถูกตัดมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ แล้วบันทึกผลเป็น B_1 จากนั้น การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (%) = $[(B_0 - B_1)/B_0] \times 100\%$ นำไปคำนวณโดยใช้สูตร วัดชนิดละ 5 แผ่น

ผล และวิจารณ์

1. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด

ในกระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด นำกลีเซอรอล 50 กรัม แป้งซังข้าวโพด 75 กรัม และน้ำ 500 มิลลิลิตร มาผสม และต้มเป็นเวลา 2 ชม. หรือจนกว่าจะหนืดขึ้น และนำไปเท และปาดลงถาดเคลือบสารกันติดเพื่อแล้วนำไปอบในเตาอบลมร้อน เป็นเวลา 1 ชม. ที่อุณหภูมิ 180 °C โดยที่เปิดลมด้วย ซึ่งได้อ้างอิงมาจากงานของ (Dunne, n.d.) จากผลการทดลองปรากฏว่า ได้พลาสติกมา 273.159 กรัม จาก 634.472 กรัม โดยสูญเสีย 56.94%w/w ของสารละลายตั้งต้น ทั้งนี้เพราะ ในการสร้าง Thermoplastic ที่ผลิตมาจากแป้ง ครั้งนี้มีองค์ประกอบครบซึ่งมี ซังข้าวโพดทำหน้าที่เป็นแหล่งของแป้งเพื่อเป็นวัสดุฐานในการผลิต กลีเซอรอล ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และลดความเปราะบาง และมีกรดอะซิติก (น้ำส้มสายชู) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดเพื่อสลายโครงสร้างโมเลกุลของแป้งให้เล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Nasir & Othman, 2021)

2. การศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ระหว่างพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด

จากผลการทดสอบคุณสมบัติโดยทำซ้ำ 5 ครั้ง จะได้ส่วนที่ 1 จากการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง ของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ

สุทธิษา และคณะ (2563) ปรากฏว่า พลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพดมีความต้านทานแรงดึงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาดดัง Table 1 ทั้งนี้เพราะ สิ่งเจือปนอาจไม่สามารถยึดเกาะกับเมทริกซ์ไบโอพลาสติก ได้ดี การยึดเกาะที่ไม่ดีนี้ทำให้เกิดจุดที่อ่อนแอ ส่งผลให้ความแข็งแรงในการดึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ (Novianti *et al*., 2019)

ส่วนที่ 2 จากการทดสอบคุณสมบัติความหนาแน่น ของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด โดยใช้วิธีคำนวณจากการชั่งน้ำหนักวัดความหนา และคำนวณปริมาตร ปรากฏว่า ค่าความหนาแน่นของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด มีความใกล้เคียงเป็นอย่างมาก ดัง Table 1 ทั้งนี้เพราะ โดยทั่วไปแล้วไบโอพลาสติกที่ทำจากแป้งจะมีความหนาแน่นสูงกว่า HDPE เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เชื่อมเข้าด้วยกัน ส่งผลให้โมเลกุลเรียงตัวกันแน่นหนาและหนาแน่นมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม HDPE ประกอบด้วยโมโนเมอร์เอทิลีนที่เรียงตัวกันเป็นสายยาวซึ่งมีโครงสร้างเชิงเส้นมากกว่าและมีความหนาแน่นน้อยกว่า ความแตกต่างพื้นฐานในโครงสร้างของโมเลกุลนี้ทำให้เกิดความแตกต่างที่สังเกตได้ในความหนาแน่นระหว่างไบโอพลาสติกที่ทำจากแป้งและ HDPE ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Gadhave *et al.,*2018)

ส่วนที่ 3 จากการทดสอบคุณสมบัติ การละลายในน้ำ ของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด โดยใช้วิธีแช่น้ำ 5 นาที จากผลการทดสอบคุณสมบัติการละลายในน้ำ ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ สุทธิษา และคณะ (2563) ปรากฏว่า การละลายในน้ำเป็นข้อจำกัดเดียวของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด เนื่องจากพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพดละลายในน้ำหมดเลยใน 1-3 นาทีแรกของการทดลอง แต่พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาดไม่ละลายทันที ทำให้มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน ดัง Table 1 ทั้งนี้เพราะ ไบโอพลาสติกที่ทำจากแป้งนั้นขึ้นชื่อในเรื่องคุณสมบัติชอบน้ำ ซึ่งทำให้ละลายน้ำได้ ความอุดมสมบูรณ์ของหมู่ไฮดรอกซิล ในโมเลกุลแป้งช่วยสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ส่งผลให้วัสดุไบโอพลาสติกละลายได้ ลักษณะนี้เห็นได้ชัดโดยเฉพาะในไบโอพลาสติกที่ได้จากแหล่งต่างๆ เช่น แป้งเมล็ดขนุน ซึ่งความเข้มข้นสูงของหมู่ไฮดรอกซิลจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ (Santana *et al.,* 2018)

ส่วนที่ 4 จากการทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ของพลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพด พลาสติกชีวภาพตามท้องตลาด และพลาสติกธรรมดาตามท้องตลาด โดยใช้วิธี Burial ในดินเป็นเวลา 30 วัน ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ สุทธิษา และคณะ (2563) ปรากฏว่า พลาสติกชีวภาพจากซังข้าวโพดมีค่าความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีมากโดยสามารถย่อยสลายไปมากกว่า 99% ภายใน 30 วัน ซึ่งเมื่อเทียบกับพลาสติกอีก 2 ประเภท ดัง Table 1 ทำให้มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้เพราะไบโอพลาสติกที่ทำจากแป้งจะย่อยสลายได้เร็วกว่าไบโอพลาสติกประเภทอื่น ๆ เนื่องจากประกอบด้วยวัสดุธรรมชาติที่จุลินทรีย์สามารถบริโภคได้ง่าย แป้งเป็นพอลิเมอร์จากพืชที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียและเชื้อราในสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติชอบน้ำของไบโอพลาสติกทำให้สามารถดูดซับน้ำและแทรกซึมผ่านจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเร่งกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนี้ แป้งยังเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์เหล่านี้อีกด้วย จึงเร่งกระบวนการย่อยสลายต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของ (Jiang *et al.,* 2019)

Table 1 The Characteristic analysis result between Bioplastic from corncobs, Commercial bioplastic and Commercial plastic

Properties / Type of Plastic	Our Product	PLA	HDPE
Tensile Strength (MPa)	7.426 ± 0.226	15.064 ± 1.358	17.508 ± 2.359
Density (g/cc)	1.329 ± 0.214	1.24 ± 0.139	0.935 ± 0.046
Water Solubility (%)	100 ± 0	0.492 ± 0.386	0.007 ± 0.01
Biodegradability (%)	99.076 ± 0.303	18.67 ± 0.405	0.57 ± 0.055

Note : The format of the information is Mean ± Standard Deviation

คำขอบคุณ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของนายนาอีม บินอิบรอเฮง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิดใหม่ ๆ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ทางคณะผู้ทำโครงงานจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ดร.สมร ปาโท ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี และคุณครู บุคลากรที่ดูแลห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่างๆ ที่อนุญาต และแนะนำแนวทางในการใช้เครื่องมือให้คณะผู้จัดทำโครงงานใช้พื้นที่ในโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณคุณครู อาจารย์ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และน้องๆ ในกลุ่มโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานชิ้นนี้

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้การบ่มเพาะพัฒนาศักยภาพด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี และสนับสนุนงบประมาณในการทำโครงงานชิ้นนี้ ภายใต้โครงการ JSTP-SCB ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ขอกราบขอบพระคุณเป็นพิเศษสำหรับคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ห่วงใย และให้กำลังใจ จนโครงงานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณค่าประการใด ๆ ที่พึงมีจากโครงงานชิ้นนี้คณะผู้จัดทำโครงงานขอมอบเป็นเครื่องสักการะบูชา ต่อพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีอุปการคุณทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

ภูมิณัฐ ยมกนิษฐ์ และรุจิกาญจน์ สานนท์. (2565). การจัดการวิกฤตขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19. *วารสารมนุษย์และสังคม มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 6*(2), 1-20. https://so08.tci-thaijo.org/index.php/jhuso/article/download/1243/884/4328

วิชิตา อินทรศรี, สมจินต์ วาณิชเสถียร, พงศ์ธร เพียรพิทักษ์, ณรงค์เดช ฮองกูล และธนัญชย์ ดำขำ. (2564). *อิทธิพลจากการเผาต่อระบบปลูกต้นไม้ และคาร์บอนในดินบนพื้นที่สูงจังหวัดเชียงใหม่*. https://e-library.ldd.go.th/library/Research/Fulltext/bib10516.pdf

สุทธิษา ก้อนเรือง, การะเกด แก้วใหญ่, ธวัฒน์ชัย เทพนวล และมาริสา เชษฐวรรณสิทธิ์. (2563). การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาคู. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 23*(2), 65-73. https://ph02. tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/view/240141/164250

Dunne, M. (n.d.). *Bioplastic Cook Book*. https://library.ucsd.edu/dc/object/bb5094430n/_2_1.pdf

Gadhave, R.V., Das, A., Mahanwar, P.A. & Gadekar, P.T. (2018) Starch based bio-plastics: The future of sustainable packaging. *Open Journal of Polymer Chemistry*, *8*(2), 21-33. https://doi.org/10.4236/ojpchem.2018.82003

Ibrahim, N.I., Shahar, F.S., Sultan, M.T.H., Shah, A.U.M., Safri,S.N.A. & Mat Yazik, M.H. (2021). Overview of bioplastic introduction and its applications in product packaging. *Coatings, 11*(11), 1-23 https://doi.org/10.3390/coatings11111423

Jiang, T., Duan, Q., Jian, Z., Liu, H. & Yu, L. (2020). Starch-based Biodegradable Materials: Challenges and Opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 3*(1). 8-18 https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003

Nasir, N.N. & Othman, S.A. (2021). The physical and mechanical properties of corn-based bioplastic films with different starch and glycerol content. *Journal of Physical Science, 32*(3), 89-101**.** https://doi.org/10.21315/jps2021.32.3.7

Novianti, T., Anna, I. & Cahyadi, I. (2019). Optimization of bioplastic's tensile strength. *Journal of Physics: Conference Series. 1211*(1). 1-7. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1211/1/012048

Santana, R. F., Bonomo, R. C. F., Gandolfi, O. R. R., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., Dos Santos Pires, A. C., de Oliveira, C. P., da Costa Ilhéu Fontan, R., & Veloso, C. M. (2018). Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of food science and technology*, *55*(1), 278–286. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2936-6