



ฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติก/ผักตบชวาที่เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน

พิมณิฉภา กันทาตง* ชัยยศ จันทรแก้ว และ ฉัตรชัชชญาณ์ โชติชญาณ์พงษ์

สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 4423 3000 ต่อ 4013 อีเมล: pimpanitpa@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.11.004

รับเมื่อ 27 มิถุนายน 2562 แก้ไขเมื่อ 14 สิงหาคม 2562 ตอรับเมื่อ 30 สิงหาคม 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 19 พฤศจิกายน 2562

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

คอมโพสิตชีวภาพเป็นวัสดุหรือพอลิเมอร์เรซินที่มาจากฐานชีวมวลและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นำมาใช้ผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพเพื่อทดแทนพลาสติกโพลีเอทิลีน งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติก (TPS) และผักตบชวา (WH) ด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูปแบบสารละลาย แป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตเตรียมโดยใช้พลาสติกไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลสเอทิล-ยูเรีย (GU) และน้ำเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ด้วยปริมาณของ WH ที่แตกต่างกันร้อยละ 10 ถึง 40 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า TPS เสริมแรงด้วย WH ร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้และมีการกระจายตัวของ WH ในเนื้อเมทริกซ์ TPS อย่างสม่ำเสมอ โดยฟิล์มคอมโพสิต TPS/WH อัตราส่วน 80/20 ที่มีองค์ประกอบของ GU 10 pph นั้นให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีเมื่อเทียบกับคอมพาวด์อื่น นอกจากนี้การใช้ WH เป็นตัวเสริมแรงยังทำให้ได้ฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพมีความต้านทานน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์ม 10TPS และลำดับสุดท้ายศึกษาสมบัติทางกายภาพ-เคมีของตัวอย่างดินหลังการย่อยสลายทางชีวภาพในดินของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ พบว่าดินตัวอย่างมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นพิจารณาจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นและมีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ อินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: คอมโพสิตชีวภาพ แป้งมันสำปะหลัง ผักตบชวา ทดสอบการฝังดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน



Soil Nutrients Rich Thermoplastic Tapioca Starch/Water Hyacinth Bio-composite Films

Pimpanitpa Kunthadong*, Chaiyos Chankaew and Chatrachatchaya Chotichayapong

Applied Chemistry Program, Faculty of Science and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 4423 3000 Ext. 4013, E-mail: pimpanitpa@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.11.004

Received 27 June 2019; Revised 14 August 2019; Accepted 30 August 2019; Published online: 19 November 2019

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Bio-composites, material or polymer resin, which are produced from bio-based and it can be biodegradable. The use of these material produce bioplastics to replace commodity plastics petroleum-based. In this research, the study of preparation bio-composite films from thermoplastic tapioca starch (TPS) and Water Hyacinth (WH) by casting-solution techniques. TPS composites were prepared using glycerol-urea (GU) mixed plasticizer and water act as solvent at 85 degree Celsius, with WH content varying from 10 to 40% by weight. From the results showed that the TPS composites with 10–20% by weight of WH can be film fabricated and WH uniformly dispersed throughout the TPS matrix. TPS/WH composite films of ratio 80/20 with incorporated 10 pph GU was exhibited good mechanical properties overall when compared to other compounds. In addition, when WH fiber was used as the reinforcement, it produced 10TPS/WH bio-composite films with enhancing moisture resistance compared to 10TPS film. Finally, the physico-chemical properties of soil sample after bio-composite films degraded in soil were investigated. The soil sample was indicated that improve the soil fertility based on the increase of organic matter. The three macronutrients including organic nitrogen, available phosphorus, and available potassium significantly increased.

Keywords: Bio-composites, Tapioca Starch, Water Hyacinth, Soil Burial Test, Soil Fertility

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลาสติกโพลีเอทิลีน (Commodity Plastics) เป็นบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค จึงส่งผลให้มีปริมาณขยะพลาสติกใช้แล้วทิ้งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากพลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (non-degradable Plastics) ทำให้เกิดปัญหาการจัดการขยะพลาสติกและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะชำต้นกล้าในถุงหรือกระถางพลาสติกเป็นจำนวนมาก เมื่อดันกล้าเจริญเติบโตเต็มที่ได้มีการเคลื่อนย้ายต้นกล้าออกจากถุงหรือกระถางเพาะชำเพื่อลงแปลงปลูกนั้น เป็นขั้นตอนที่อาจทำให้รากต้นไม้ได้รับความเสียหายส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและยังเพิ่มต้นทุนการผลิตอีกด้วย มากไปกว่านั้นหลังการใช้งานถุงหรือกระถางพลาสติกเหล่านี้กลายเป็นขยะที่มีการจัดการโดยการเผาไหม้ ฝังกลบในดิน เป็นต้น [1] แนวทางการแก้ปัญหาขยะพลาสติกดังกล่าวและด้วยกระแสการตื่นตัวต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Polymers) จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate) [2]-[4] เป็นต้น เมื่อนำพอลิเมอร์เหล่านี้มาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ทำให้มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพลาสติกโพลีเอทิลีน ดังนั้นพอลิเมอร์ธรรมชาติหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ แป้ง เส้นใยธรรมชาติ ไคโตซาน เป็นต้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวิจัยและพัฒนาพลาสติกชีวภาพจากพอลิเมอร์ฐานชีวมวล (Bio-based) ซึ่งแบ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเด่นที่น่าสนใจ คือ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มาจากแหล่งที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ ราคาถูกและหาได้ง่ายจากพืชหลากหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าว มันฝรั่ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม แป้งดิบ (Native Starch) มีข้อจำกัดในการใช้งานด้านพลาสติก เนื่องจากโครงสร้างของแป้งมีพันธะไฮโดรเจนที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจำนวนมากและมีความเป็นผลึกสูง (ร้อยละ 20-45) [5] ทำให้แป้งดิบนั้นหลอมขึ้นรูปเป็นพลาสติกได้ยาก

นอกจากนั้นแป้งยังมีสมบัติเชิงกลที่แข็งแต่เปราะและมีความต้านทานน้ำได้ต่ำ [6]-[8] จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่พัฒนาและปรับปรุงสมบัติของแป้งดิบให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน โดยกระบวนการเปลี่ยนแป้งดิบเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch; TPS) ผ่านการเติมพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมผสมกับเม็ดแป้งภายใต้สภาวะความร้อนและแรงเฉือน [9] โดยพลาสติกไซเซอร์สามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลงเกิดการเคลื่อนไหวผ่านซึ่งกันและกัน ทำให้แป้งมีสมบัติความเป็นพลาสติกที่สามารถหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ [10] พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับเตรียม TPS เป็นสารโมเลกุลขนาดเล็กที่มีสมบัติชอบน้ำ ได้แก่ กลีเซอรอล (Glycerol) เอทานอลามีน (Ethanolamine) ซอร์บิทอล (Sorbitol) น้ำ (Water) [11]-[14] หรือพลาสติกไซเซอร์ผสม (Mixed Plasticizer) ได้แก่ กลีเซอรอล-น้ำ [9] กลีเซอรอล-น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน [15] กลีเซอรอล-ซอร์บิทอล [16] กลีเซอรอล-ยูเรีย [17] เอทานอลามีน-ยูเรีย [18] เป็นต้น สำหรับการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำ รวมถึงลดต้นทุนการผลิตพลาสติกชีวภาพจาก TPS ได้ด้วยกระบวนการผสมหรือเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัชพืช เช่น ปอแก้ว (Kenaf) [19] กากเมล็ดเรพซิด (Rapeseed Cake) [17] ป่านศรนารายณ์ (Sisal) กล้วย (Hemp) [20] เป็นต้น ซึ่งเส้นใยธรรมชาตินั้นมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยในการเสริมแรงเพิ่มความสามารถในการทนความร้อน และลดอัตราการหดตัวของฟิล์มแป้งคอมโพสิต

ผักตบชวา (Water Hyacinth; WH) เป็นวัชพืชน้ำที่สามารถขยายพันธุ์และเจริญเติบโตได้รวดเร็วจนก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากทั้งการชลประทาน การประมง การเกษตร และการสาธารณสุข เช่น ทำให้น้ำเน่าเสีย กีดขวางการคมนาคมทางน้ำ เป็นต้น จึงได้มีการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านเกษตรหรือทางอุตสาหกรรม [21] เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีองค์ประกอบทางเคมีสำคัญคือ โอลิโกลูโคส (Holocellulose) สูงเป็นข้อได้เปรียบในการใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกชีวภาพเพื่อปรับปรุงสมบัติ

เชิงกลด้านความแข็งแรง [22] นอกจากนั้นยังใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุคลุมดินเพื่อรักษาความชุ่มชื้นของดิน และเมื่อผักตบชวาเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นปุ๋ยหมักจะทำให้ธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปริมาณที่สูง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจึงทำให้ดินหลังการสลายตัวของผักตบชวามีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นอีกด้วย [23]–[25] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจการเตรียมฟิล์มต้นแบบเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมด้วยเส้นใยผักตบชวาด้วยวิธีการหล่อแบบสารละลาย (Casting Solution) โดยศึกษาและประเมินสมบัติต่างๆ ของฟิล์มแป้งเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางการวิจัยสำหรับพัฒนาการผลิตพลาสติกชีวภาพประยุกต์ใช้เป็นกระถางเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดินที่สามารถเพิ่มธาตุอาหารในดิน อีกทั้งยังช่วยทางด้านจัดการและลดปริมาณขยะพลาสติก และการใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุผสมในการเตรียมพลาสติกชีวภาพนั้นยังเป็นการลดปริมาณวัชพืช น้ำและลดต้นทุนการผลิตหรือการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัชพืชอีกด้วย

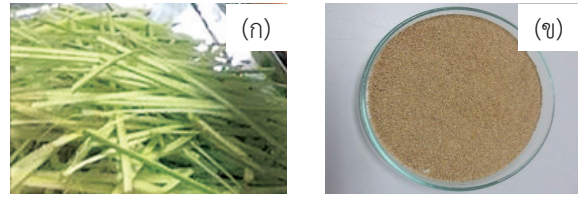
2. วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

แป้งมันสำปะหลังดิบ (NTS) (บริษัทแป้งมันเอี่ยมเฮง อุตสาหกรรม จำกัด) ผักตบชวา (WH) บริเวณแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กลิเซอร์อล (เกรตวิเคราะห์ QRc Chemical) ยูเรีย (เกรตการค้า Ajex Finechem)

2.2 การเตรียมเส้นใยผักตบชวา

ผักตบชวาแยกเฉพาะส่วนลำต้นมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ฉีกลำต้นผักตบชวาเป็นเส้นขนาดความกว้างประมาณ 30–40 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร [รูปที่ 1 (ก)] นำไปฟุ้งแดดเป็นเวลา 2 วัน และอบด้วยตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บดเส้นใยผักตบชวาด้วยเครื่องบด (SK100, Retsch) จนเป็นผงละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 180 ไมโครเมตร [รูปที่ 1 (ข)]



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของผักตบชวา; (ก) เส้นใยผักตบชวาที่ฉีกเป็นเส้น และ (ข) ผงผักตบชวาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 180 ไมโครเมตร

ใส่ถุงซิปล็อกเก็บรักษาด้วยโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

2.3 การเตรียมฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ

เตรียมฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพระหว่าง NTS และ WH ที่อัตราส่วน NTS/WH ดังนี้ 100/0 90/10 80/20 70/30 และ 60/40 โดยน้ำหนัก ในสถานะสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 6–7 โดยมวล/ปริมาตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายขั้นแรกเตรียมแป้งให้มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดคล้ายเจล (Gelatinization Process) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 85 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และเติม WH ลงในแป้งเจลลาตินโซลจนสารผสมต่อเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้พอลิเมอร์ทั้งสองกระจายตัวเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ปล่อยให้สารละลายพอลิเมอร์ผสมเย็นตัวลงที่อุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) เทสารละลายพอลิเมอร์ผสมลงในแม่พิมพ์พลาสติก ตั้งทิ้งไว้เพื่อระเหยไล่ตัวทำละลายเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ลอกฟิล์มออกจากแม่พิมพ์และเก็บรักษาฟิล์มในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ต่อไป และสำหรับฟิล์มคอมโพสิต TPS/WH ทำการเตรียมแป้งเทอร์โมพลาสติกด้วยพลาสติกไซเซออร์ผสมระหว่างกลีเซอร์อลและยูเรียสัดส่วน 1 : 1 (GU) โดยน้ำหนักที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 pph (Part per Hundred ; สัดส่วนปริมาณสารพลาสติกไซเซออร์เมื่อเทียบกับแป้ง 100 ส่วน) โดยกำหนดสัญลักษณ์เป็น 5TPS 10TPS และ 20TPS ตามลำดับ โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเช่นเดียวกับเตรียมฟิล์ม NTS/WH คอมโพสิต

2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D 882-91 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, LLOYD Instrument, LF plus) เพื่อวัดค่าทนต่อแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength; UTS) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break; EB) โดยทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบรูปแบบฟิล์มสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร และความหนา 0.7–1.0 มิลลิเมตร ตัววัดแรงดึง (Load Cell) 1 กิโลนิวตัน ด้วยความเร็วการทดสอบ (Crosshead Speed) 50 มิลลิเมตร/นาที ระยะทางตัวรองรับตัวอย่าง (Gauge Length) 100 มิลลิเมตร โดยทดสอบสมบัติเชิงกลตัวอย่างละ 5 ชิ้น

2.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

เตรียมฟิล์มคอมโพสิตตัวอย่างขนาด 30x50 ตารางมิลลิเมตร อบอุ่นความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟิล์มตัวอย่างแล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักฟิล์มตัวอย่างขณะเปียกตามระยะเวลา 3, 6, 9, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยซับน้ำส่วนเกินที่ผิวฟิล์มออกด้วยผ้าสะอาดก่อนทำการชั่งน้ำหนัก ซึ่งแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ชุดทดสอบ

2.6 ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังในดิน

ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน (Soil Burial Test) ของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ เตรียมชิ้นงานตัวอย่างขนาด 30x50 ตารางมิลลิเมตร ความหนา 0.500 ± 0.015 มิลลิเมตร นำชิ้นงานไปอบอุ่นความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของชิ้นงานก่อนทดสอบ เตรียมดินตัวอย่างผสมระหว่างดินสำหรับเพาะปลูกและดินปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในสัดส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก บรรจุฟิล์มตัวอย่างลงในถุงตาข่ายที่มีดิน



รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดินของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ

ตัวอย่าง (รูปที่ 2) และฝังชิ้นงานให้ลึกจากผิวดินประมาณ 25–30 เซนติเมตร กลบด้วยดินตัวอย่างระบุตำแหน่งที่แน่นอนของชิ้นงาน รดน้ำแบบพ่นฝอยให้แก่มิวดินจนชุ่มวันละ 1 ครั้ง และอุณหภูมิของดินบริเวณโดยรอบที่ศึกษาอยู่ในช่วง 25–30 องศาเซลเซียส ติดตามการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดินจากลักษณะทางกายภาพของฟิล์มคอมโพสิตตามระยะเวลา 3, 6, 9, 15, 30 และ 45 วัน นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบมาทำความสะอาดและอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2)

2.7 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

เก็บดินตัวอย่างก่อนและหลังทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน เลือกเก็บดินตัวอย่างบริเวณรอบๆ ชิ้นงานคลุกเคล้าดินให้เข้ากันผึ่งลมให้แห้ง บดดินให้ร่วน ใส่ถุงซิปลึกเก็บรักษาในโถดูดความชื้นก่อนนำวิเคราะห์สมบัติของดิน

วิเคราะห์ปฏิกิริยาดิน (Soil Reaction) หรือค่าความเป็นกรด-เบสของดิน (Soil pH) [26] โดยเตรียมดินตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์เติมน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 : 5) ปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้ดินตกตะกอนประมาณ 30 นาที นำสารละลายเหนือตะกอนไปวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH-meter การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) วิธีของ Walkley-Black [27] สกัดดินตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียม-ไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) และทำการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($conc.H_2SO_4$) เติมน้ำปราศจากไอออนแล้วทำการไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) โดยใช้ออร์โทฟีแนนโทรอลีน

เป็นสารอินดิเคเตอร์ คำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) ในดิน [28] สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนคำนวณได้จากปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 5 [29] การทดสอบหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยวิธี Olsen [30] โดยทำการสกัดดินตัวอย่างด้วยสารสกัด Olsen (0.5 M NaHCO_3 , pH 8.5) เขย่า 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 (Whatman No.42) นำไปวัดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารสกัดตัวอย่างด้วยวิธีโมลิบดีนัมบลู (Molybdenum Blue) จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตรด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer) [28] และการทดสอบหาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำการสกัดดินตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตด (NH_4OAc , pH 7.0) เขย่าเป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) [28]

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\pm\text{SD}$) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least-Significant Different (LSD) และ Independent Sample T-test ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) เวอร์ชัน 19 ข้อมูลที่วิเคราะห์มาจากชุดข้อมูลดิบอย่างน้อย 3 ซ้ำ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 फिल्मคอมโพสิตชีวภาพแป้งมันสำปะหลัง/ผักตบชวา

ศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยภาพถ่ายกล้องดิจิทัลของฟิล์ม TPS และฟิล์มคอมโพสิต NTS/WH 5TPS/WH 10TPS/WH และ 20TPS/WH ทุกสูตรคอมพาวด์เทียบกับฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว (NTS) พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติกทั้งสามสูตรคอมพาวด์ (5TPS

10TPS และ 20TPS) มีลักษณะคล้ายคลึงกันคือฟิล์มเป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างเนื้อแป้งเมทริกซ์และพลาสติกไซเซออร์ นอกจากนี้ลักษณะผิวสัมผัสฟิล์ม 10TPS และ 20TPS นั้นมีผิวที่เรียบคงรูป ในขณะที่ฟิล์ม NTS และ 5TPS ที่มีลักษณะผิวสัมผัสไม่เรียบและมีรอยย่นอาจเป็นผลมาจากการหดตัวของอนุภาคแป้งหลังผ่านการขึ้นรูป แสดงได้ว่าการพลาสติกไซต์แป้งด้วย GU ในปริมาณที่เหมาะสม (GU ปริมาณ 10 และ 20 pph) นั้นสามารถยับยั้งหรือลดพฤติกรรมการคืนตัวของแป้งมันสำปะหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ [18] และสำหรับฟิล์มคอมโพสิต NTS/WH หรือ TPS/WH ในทุกสูตรคอมพาวด์พบว่าลักษณะทางกายภาพของเนื้อฟิล์มคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วย WH อัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักมีการกระจายตัวของอนุภาค WH ในเนื้อแป้งเมทริกซ์อย่างสม่ำเสมอโดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นก้อนหรือเกิดการแยกวัฏภาคแสดงดังตารางที่ 1 และเมื่อปริมาณของ WH เพิ่มขึ้นในระบบคอมโพสิต NTS/WH หรือ TPS/WH นั้นทำให้เนื้อฟิล์มมีแนวโน้มการจับตัวเป็นก้อนและเกิดการแยกวัฏภาคระหว่างอนุภาคทั้งสอง ส่งผลให้ฟิล์มเกิดการฉีกขาดขณะทำการลอกฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ มากไปกว่านั้นสำหรับเนื้อฟิล์ม NTS/WH คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้นั้นมีลักษณะผิวสัมผัสที่เรียบแต่แข็งเปราะ ในขณะที่ฟิล์ม TPS/WH คอมโพสิตที่มีพลาสติกไซเซออร์ GU ร่วมอยู่ด้วยนั้นฟิล์มที่ได้มีลักษณะผิวสัมผัสเรียบคงรูปและมีความอ่อนนุ่ม [17] ซึ่งผลสอดคล้องกับผลของสมบัติเชิงกล

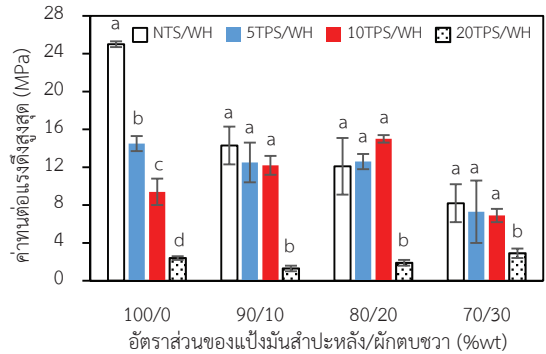
ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์มคอมโพสิตทุกสูตรคอมพาวด์ แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าฟิล์ม NTS ให้ค่าทนต่อแรงดึงสูงสุด (UTS) เท่ากับ 25 ± 0.3 MPa และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (EB) เท่ากับ 5.5 ± 0.7 แสดงได้ว่าฟิล์ม NTS มีสมบัติเชิงกลที่แข็งแต่เปราะ สำหรับฟิล์ม NTS/WH คอมโพสิตนั้นให้ค่า UTS และ EB ลดลงตามปริมาณของ WH ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับฟิล์ม NTS บ่งบอกได้ว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างรอยต่อวัฏภาค (Interfacial Adhesion) ของอนุภาค NTS และ WH นั้นไม่แข็งแรงซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าฟิล์ม NTS และเมื่อทำการพลาสติกไซต์ด้วย GU พบว่าฟิล์ม 5TPS/WH และ 10TPS/WH

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มคอมโพสิต NTS/WH 5TPS/WH 10TPS/WH และ 20TPS/WH

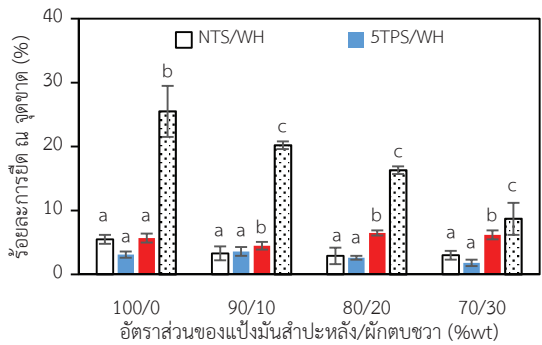
อัตราส่วนของคอมพาวด์ (%wt)	ลักษณะทางกายภาพ			
	-	5TPS	10TPS	20TPS
100/0				
90/10				
80/20				
70/30				
60/40				

นั้นให้ค่า UTS แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ 20TPS/WH ให้ค่า UTS ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับฟิล์ม NTS/WH ในแต่ละอัตราส่วนสูตรคอมพาวด์ และเมื่อพิจารณาถึงค่า EB ยังพบว่าฟิล์ม 10TPS/WH ที่พลาสติกไซต์ด้วย GU 10 pph มีค่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับฟิล์ม NTS/WH และ 5TPS/WH ในแต่ละอัตราส่วนสูตรคอมพาวด์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแรงดึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณพลาสติกไซต์ GU 10 pph เหมาะสมสำหรับเตรียมฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ TPS/WH เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติด้านความยืดหยุ่นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติความแข็งแรงดึงเมื่อเทียบกับ NTS/WH 5TPS/WH และ 20TPS/WH ในแต่ละสูตรคอมพาวด์

เมื่อวิเคราะห์สมบัติเชิงกลฟิล์มคอมโพสิต 10TPS/WH พบว่าที่อัตราส่วน 80/20 มีสมบัติเชิงกลโดยรวมเหมาะสม คือให้ค่า EB (ร้อยละ 6.5 ± 0.4) และ UTS (15.0 ± 0.4 MPa) สูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนคอมพาวด์อื่นๆ แสดงได้ว่าการมีองค์ประกอบของ 10GU อยู่ร่วมในระบบ 10TPS/WH ที่อัตราส่วน



(ก) ค่าทนต่อแรงดึงสูงสุด

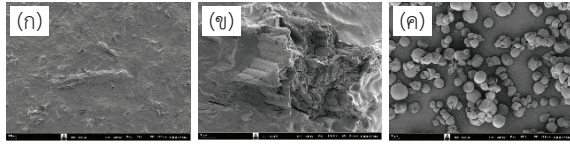


(ข) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

หมายเหตุ: a b c และ d ตัวอักษรที่ต่างกันบนแท่งกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี LSD

รูปที่ 3 กราฟสมบัติเชิงกลของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ

80/20 นั้นสามารถลดความเปราะของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและยังปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคของแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวาได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะสันฐานพื้นผิว (Surface Morphology) [รูปที่ 4 (ก)] และภาคตัดขวาง (Cross Section) [รูปที่ 4 (ข)] ของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ 10TPS/WH (80/20) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงการผสมบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเนื้อเมทริกซ์ TPS และวัฏภาคกระจาย WH โดยไม่เกิดการแยกตรงรอยต่อวัฏภาคและยังบ่งบอกได้ว่าแป้งได้เกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้หรือเกิดเจลตาไนซ์ได้ดีเมื่อเทียบกับลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังดิบ [รูปที่ 4 (ค)] และการเกิดแป้งเจลตาไนซ์

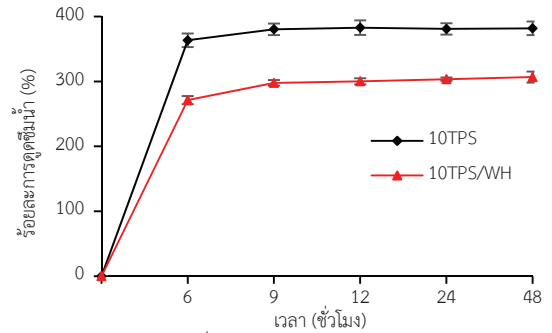


รูปที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้อง SEM ของฟิล์ม 10TPS/WH (80/20) (ก) พื้นผิว และ (ข) พื้นผิวภาคตัดขวาง และ (ค) เม็ดแป้งมันสำปะหลังดิบ

ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของเม็ดแป้งสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารอื่นๆ (WH และ GU) ได้ดีขึ้น [31], [32] ถึงแม้ว่าผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก TPS/WH ด้วย GU 20 pph นั้นให้ค่า EB ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบ 10TPS/WH แต่ให้ค่า UTS ที่ต่ำมากเกินไปในช่วง 1.0–3.0 MPa ทำให้ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ไม่แข็งแรงต่อการดึงยืด และสำหรับฟิล์ม 5TPS/WH ที่พลาสติกไซเซอร์ด้วย GU 5 pph นั้นยังถือว่าเป็นปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ยังไม่เหมาะสมเนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้มีทั้งค่า UTS และ EB ต่ำกว่าหรือไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับฟิล์ม NTS/WH และ 10TPS/WH ผลการศึกษาสอดคล้องทางทฤษฎีเกี่ยวกับผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ถ้าเติมพลาสติกไซเซอร์ปริมาณน้อยเกินไปฟิล์มที่ได้จะยังคงมีความแข็งแรง หรือในกรณีที่เติมปริมาณมากเกินไปฟิล์มจะมีลักษณะสมบัติเชิงกลที่อ่อนนุ่ม (Weak & Soft) [33], [34] มากไปกว่านั้นยังมีแนวโน้มการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer Migration) มาสู่ผิวหน้าของฟิล์มซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพทางสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของฟิล์มในระหว่างการเก็บรักษา [3] จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแรงดึงกล่าวได้ว่าสูตรคอมพาวด์พอลิเมอร์คอมโพสิต 10TPS/WH อัตราส่วน 80/20 เหมาะสมในการศึกษาสมบัติอื่นๆ เพื่อประเมินศักยภาพในการวิจัยพัฒนาเป็นกระดาษเพาะชำย่อยสลายทางชีวภาพในดิน

3.2 สมบัติการดูดซึมน้ำของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ

ศึกษาผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มคอมโพสิต 10TPS/WH



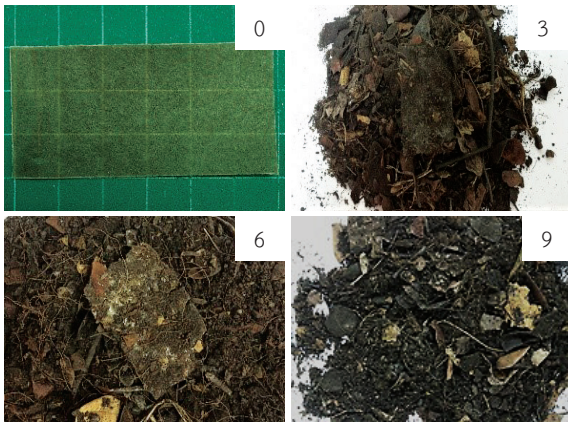
*รายงานชุดข้อมูลค่าเฉลี่ย (\pm SD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสองชุดทดสอบด้วยวิธี T-Test ($p < 0.05$)

รูปที่ 5 กราฟแสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของฟิล์ม 10TPS และฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ 10TPS/WH (80/20)

อัตราส่วน 80/20 โดยน้ำหนักเทียบกับฟิล์ม 10TPS แสดงดังรูปที่ 5 พบว่าในช่วงแรก (0–6 ชั่วโมง) ฟิล์มตัวอย่างมีอัตราการดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็วและเริ่มเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง โดยฟิล์มตัวอย่างทั้งสองยังคงมีความคงรูป มีผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มโดยไม่เกิดการฉีกขาด และที่เวลา 72 ชั่วโมง ฟิล์มตัวอย่างมีการเปื่อยยุ่ยและ/หรือแบ่งบางส่วนเกิดการละลายในน้ำกลั่น แต่อย่างไรก็ตาม ฟิล์มคอมโพสิต 10TPS/WH นั้นมีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำกว่าฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติกสูตรคอมพาวด์ 10TPS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี T-test ซึ่งบ่งบอกได้ว่าฝักคอบขวงสามารถเพิ่มการต้านทานน้ำของฟิล์มคอมโพสิตจากแป้งมันสำปะหลัง อาจเนื่องมาจากลำต้นฝักคอบขวงมีองค์ประกอบของลิกนินที่เคลือบผิวเส้นใยที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ฟิล์มแป้งเทอร์โมพลาสติกที่มีองค์ประกอบของ WH ร่วมด้วยสามารถขัดขวางการดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์ม 10TPS

3.3 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังในดินของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพ

ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังในดินของฟิล์มคอมโพสิต 10TPS/WH อัตราส่วน 80/20 เปรียบเทียบกับฟิล์ม 10TPS ในระยะเวลาการทดสอบ 45 วัน แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าฟิล์มทั้งสองตัวอย่างสามารถย่อยสลาย



(ก) 10TPS/WH (80/20)



(ข) 10TPS

รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มตัวอย่างในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน

ทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังในดินได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 15 วัน พฤติกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพภายในดินของฟิล์มแบงก์เทอร์โมพลาสติกคอมโพสิต 10TPS/WH [รูปที่ 6 (ก)] เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน ฟิล์มตัวอย่างมีผิวสัมผัสที่อ่อนและนิ่มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดความชื้นภายในดินแต่ฟิล์มยังมีความคงรูป และเมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน ฟิล์มเริ่มเกิดรอยแตกหักแต่ยังคงรูปเป็นแผ่น ในขณะที่ฟิล์ม 10TPS [รูปที่ 6 (ข)] พบว่าในเวลา 3 วัน ฟิล์มมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นคล้ายเจลและเปื่อยยุ่ย เริ่มเกิดการแตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กเมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน เนื่องจากแบงก์มีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดีจึงทำให้เกิด

การย่อยสลายทางชีวภาพอย่างรวดเร็ว โดยผลการย่อยสลายทางชีวภาพภายในดินเป็นแนวโน้มเดียวกันกับผลการดูดซึมน้ำของฟิล์ม 10TPS/WH (80/20) แต่อย่างไรก็ตาม ฟิล์ม 10TPS/WH มีพฤติกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพที่ช้ากว่าเมื่อเทียบกับฟิล์ม 10TPS อยู่เล็กน้อย

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพดินหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มคอมโพสิต

ผลการวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนและหลังทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพกระบวนการฝังดินในระยะเวลา 45 วันของฟิล์มตัวอย่าง 10TPS/WH อัตราส่วน 80/20 แสดงดังตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสของดินก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มตัวอย่าง พบว่าดินก่อนทดสอบมีค่า pH 7.0–7.5 และหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มดินมีค่า pH ลดลงเล็กน้อยในช่วง 6.5–7.0 อยู่ในระดับกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง [35] ความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากผลของพอลิเมอร์พื้นฐาน ได้แก่ แบงก์มันสำปะหลัง (pH 4.5–5.0) และผักตบชวา (pH 5.0–5.5) ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับ Lara-Serrano และคณะ [36] แต่อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตได้ใช้ยูเรียทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์นั้นมีสมบัติเป็นเบส จึงทำให้เมื่อฟิล์มแบงก์เทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพแล้วทำให้ pH ของดินมีความเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมี pH เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย (pH 6–7) [35] ความเป็นกรด-เบสของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการละลายของธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ธาตุในดินจะเปลี่ยนรูปเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินซึ่งถูกควบคุมโดย pH ของดิน [37] นอกจากนี้ความเป็นกรด-เบสของดินยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อีกด้วย [38], [39]

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มตัวอย่าง 10TPS/WH (80/20) พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินตัวอย่างก่อนและหลังการ
ย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มตัวอย่าง

สมบัติทางเคมี	ดินก่อน การย่อยสลาย	ดินหลัง การย่อยสลาย	ค่าที่เหมาะสม
pH	7.0-7.5	6.5-7.0	6.0-7.0 [35]
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.14-2.04	2.74-5.41	1.5-2.5 [35]
ไนโตรเจน (total N; %)	0.057-0.102	0.137-0.270	0.12-0.25 [40]
อินทรีย์คาร์บอน (%)	0.662-1.183	1.589-3.136	1.5-3.0 [40]
คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	11.540-11.614	11.591-11.614	≤ 20 [41]
พอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	5-10	10-13	17-30 ^a [42]
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	50-200	600-900	31-60 ^a [42]

^aระดับปานกลาง หมายถึง มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์อยู่บ้างพอสมควรที่มีอยู่ในดินทำให้ได้ผลผลิตระหว่างร้อยละ 75-100 ของผลผลิตสูงสุด [42]

2.74-5.41 เป็นค่าที่อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก [31], [35] บ่งบอกได้ว่าฟิล์มคอมโพสิตนี้สามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน และยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินจากปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยทั่วไปอินทรีย์วัตถุจะมีไนโตรเจน (Total Nitrogen) เพียงร้อยละ 5 เท่านั้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช [29] ผลการวิเคราะห์อินทรีย์ไนโตรเจนของดินตัวอย่างก่อนการทดสอบมีความสมบูรณ์ของไนโตรเจนในระดับที่ต่ำมาก และหลังย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มนั้นดินตัวอย่างมีปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นแต่ยังคงอยู่ในระดับต่ำ โดยส่วนมากมีการพิจารณาถึงสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N) ทำให้ทราบถึงอินทรีย์วัตถุที่จุลินทรีย์ดินย่อยสลายว่ามีธาตุไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (C/N ระดับปานกลาง 12/1) [38], [41] ซึ่งในกรณีที่ดินมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ (สัดส่วน C/N สูง) หมายความว่า การย่อยสลายเป็นไปได้ต่ำ ทำให้จุลินทรีย์ดินแก่งแย่งไนโตรเจนจากดินมาใช้ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง เนื่องมาจากการผสมอินทรีย์วัตถุจำพวกเศษพืชที่มีลิกนินและเซลลูโลส มากซึ่งสภาพเช่นนี้ส่งผลให้ดินอยู่ในสภาวะขาดแคลนไนโตรเจน ซึ่งสัดส่วน C/N ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชควรมีค่าไม่เกิน 20 [41] จากการวิเคราะห์ค่า C/N ของดิน

ตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าค่าอยู่ในช่วง 11.540-11.614 ซึ่งเป็นสัดส่วนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณพอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตัวอย่างหลังการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าดินมีปริมาณพอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับปานกลางช่วง 10-13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม [38] พอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในดินนั้นมาจากแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวาที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มคอมโพสิต โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังที่มีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ อะไมโลส (Amylose) และ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) แล้วนั้นยังมีพอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หาปริมาณพอสฟอรัสของแป้งมันสำปะหลังดิบมีประมาณ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และยังมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม เป็นต้น [31] ในขณะที่ผลจากการวิเคราะห์ผักตบชวามีปริมาณพอสฟอรัสสูงถึง 100 กรัม/กิโลกรัม และในลำดับสุดท้ายผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินตัวอย่างก่อนย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ในช่วง 50-200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ถือว่าเป็นปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่มีค่าปานกลางถึงสูง [42] และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (600-900 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เนื่องมาจากแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวานั้นมีปริมาณโพแทสเซียมสูงถึงประมาณ 200 และ 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าฟิล์ม 10TPS/WH คอมโพสิตสามารถเพิ่มปริมาณพอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีประโยชน์ให้แก่ดินได้มากขึ้น

4. สรุป

การเตรียมฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติกและผักตบชวา (TPS/WH) สูตรคอมพาวด์ 10TPS/WH อัตราส่วน 80/20 ฟิล์มที่ได้มีการกระจายตัวของวัฏภาคกระจาย (WH) ในเนื้อเมทริกซ์ (TPS) อย่างสม่ำเสมอ และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างรอยต่อวัฏภาคของอนุภาคทั้งสองที่



แข็งแรงเมื่อเทียบกับคอมพาวด์สูตรอื่นๆ และการมีองค์ประกอบของ WH และ GU (พลาสติกไซเซอร์ผสม) ร่วมอยู่ในฟิล์ม แป้งคอมโพสิตสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลทางด้านความแข็งแรงและสมบัติความต้านทานน้ำให้แก่ฟิล์มแป้งเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตได้ และฟิล์มสามารถย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดินอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 15 วัน ดังนั้นฟิล์มคอมโพสิตสูตรคอมพาวด์ 10TPS/WH (80/20) มีความเหมาะสมสำหรับประเมินคุณภาพดินหลังการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะการฝังดินของฟิล์มซึ่งดินตัวอย่างหลังทดสอบมีค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เพาะปลูก อีกทั้งฟิล์มที่มีแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวาองค์ประกอบนั้นสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุอินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินก่อนการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงสามารถสรุปได้ว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวาสามารถช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และธาตุอาหารหลักในดินที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่อย่างไรก็ตาม ฟิล์มคอมโพสิต TPS/WH นี้ยังมีสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงและความต้านทานน้ำค่อนข้างต่ำ ดังนั้นแนวทางการต่อยอดงานวิจัยคือการพัฒนาสูตรคอมพาวด์พอลิเมอร์คอมโพสิตชีวภาพ TPS/WH ทางด้านสมบัติความแข็งแรงดีและการต้านทานน้ำเพื่อให้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นกระถางเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เพิ่มธาตุอาหารในดินเพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการเพาะปลูกพืชได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ 2559 โดยได้รับการประเมินข้อเสนอจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รวมทั้งสาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Sunee and T. Thitikul, "The pot plant compressed machine from coconut dust and coconut fiber," Research Reports, Department of Technical Education, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 2010 (in Thai).
- [2] K. Hamad, M. Kaseem, M. Ayyoob, J. Joo, and F. Deri, "Polylactic acid blends: The future of green, light and tough," *Progress in Polymer Science*, vol. 85, pp. 83–127, 2018.
- [3] P. Kunthadong, R. Molloy, P. Worajittiphon, T. Leejarkpai, N. Kaabbuathong, and W. Punyodom, "Biodegradable plasticized blends of Poly (L-lactide) and cellulose acetate butyrate: From blend preparation to biodegradability in real composting conditions," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 23, no. 1, pp. 107–113, 2015.
- [4] Y. Deng and N. L. Thomas, "Blending poly (butylene succinate) with poly(lactic acid): Ductility and phase inversion effects," *European Polymer Journal*, vol. 71, pp. 534–546, 2015.
- [5] H.F. Zobel, "Molecules to granules: A comprehensive starch review," *Strarc/Stärke*, vol. 2, pp. 40–44, 1988.
- [6] A. J. F. Carvalho, A. E. Job, N. Alves, A. A. S. Curvelo, and A. Gandini, "Thermoplastic starch/natural blends," *Carbohydrate Polymers*, vol. 53, pp. 95–99, 2003.
- [7] H. Angellier, S. Molina-Boisseau, P. Dole, and A. Dufresne, "Thermoplastic-waxy maize starch nanocrystals nanocomposites," *Biomacromolecule*, vol. 7, pp. 531–539, 2006.
- [8] E. D. M. Teixeira, D. Pasquini, A. A. S. Curvelo,

- E. Corradini, M. N. Belgacem, and A. Dufresne, "Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch," *Carbohydrate Polymers*, vol. 78, pp. 422–431, 2009.
- [9] P. M. Forssell, J. M. Mikkila, G. Moates, and R. Parker, "Phase and glass transition behavior of concentrated barley starch-glycerol-water mixtures, a model for thermoplastics starch," *Carbohydrate Polymers*, vol. 34, pp. 275–282, 1997.
- [10] R. Shi, Q. Liu, T. Ding, Y. Han, L. Zhang, D. Chen, and W. Tian, "Aging of soft thermoplastic starch with high glycerol content," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 103, pp. 574–586, 2006.
- [11] S. Chillo, S. Flores, M. Mastromatteo, A. Conte, L. Gerschenson, and M. A. Del Nobile, "Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties," *Journal of Food Engineering*, vol. 88, pp. 159–168, 2008.
- [12] S. Mali, M. V. E. Grossmann, M. A. Garcia, M. N. Martino, and N. E. Zaritzky, "Antiplasticizing effect of glycerol and sorbitol on the properties of cassava starch films," *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 11, pp. 194–200, 2008.
- [13] R. F. T. Stepto, "The processing of starch as a thermoplastic," *Macromolecular Symposia*, vol. 201, pp. 203–212, 2003.
- [14] M. Huang, J. Yu, and X. Ma, "Ethanamine as a novel plasticizer for thermoplastic starch," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 90, pp. 501–507, 2005.
- [15] V. Volpe, G. D. Feo, I. D. Marco, and R. Pantani, "Use of sunflower seed fried oil as an ecofriendly plasticizer for starch and application of this thermoplastic starch as a filler for PLA," *Industrial Crops and Products*, vol. 122, pp. 545–552, 2018.
- [16] H. Li and M. A. Huneault, "Comparison of sorbitol and glycerol as plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 119, pp. 2439–2448, 2011.
- [17] V. Grazuleviciene, J. Treinyte, and E. Zaleckas, "Film-forming starch composites for agricultural applications," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 20, pp. 485–491, 2012.
- [18] X. F. Ma, J. G. Yu, and J. J. Wan, "Urea and ethanamine as a mixed plasticizer for thermoplastic starch" *Carbohydrate Polymers*, vol. 64, pp. 267–273, 2006.
- [19] K. H. Song and I. S. Kim, "Effects of plasticizer on the mechanical properties of kenaf/starch bio-composites," *Fibers and Polymers*, vol. 14, pp. 2135–2140, 2013.
- [20] J. Gironès, J. P. López, P. Mutj, A. J. F. Carvalho, A. A. S. Curvelo, and F. Vilaseca, "Natural fiber-reinforced thermoplastic starch composites obtained by melt processing," *Composites Science and Technology*, vol. 72, pp. 858–863, 2012.
- [21] I. Jangchud, T. Ounhachok, P. Sornthumlee, and W. Oonjittichai, "Study of wood polymer composites from water hyacinth fibers and low density polyethylene (LDPE) using PE-g-MA as a compatibilizer," *Forestry Conference*, pp. 108–121, 2002.
- [22] N. F. Ramirez, Y. S. Hernandez, C. D. Leon, S. R. V. Garcia, L. D. Lvova, and L. G. Gonzalez, "Composites from water hyacinth (*Eichhornea Crassipe*) and polyester resin," *Fibers and Polymers*, vol. 16, no. 1, pp. 196–200, 2015.



- [23] S. Buachum and P. Towatana, "The utilization of aquatic weeds and agricultural residues for composting and planting material in Pak Phanang river basin," *The 6th National and International Conference*, vol. 1, no. 6, pp. 546–556, 2015 (in Thai).
- [24] R. Dechsoongneon, "The effect of material degradation small dry twigs on the growth of plants in pots," Research Reports, Department of Landscape, Division of Building and Facilities, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 2016 (in Thai).
- [25] M. R. Kafle, G. Kafle, M. K. Balla, and L. Dhakal, "Results of an experiment of preparing compost from invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Rupa Lake area, Nepal," *Journal of Wetlands Ecology*, vol. 2, pp. 17–19, 2009.
- [26] E.O. Mclean, *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbial Properties*. Madison, USA: American Society of Agronomy, 1982, ch. 12, pp. 199–224.
- [27] A. Walkley, "A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil: Effect of variation in digestion conditions and of organic soil constituents," *Soil Science*, vol. 63, pp. 251–263, 1974.
- [28] S. Maneepong, *Soil and Plant Analysis*. Songkla: Prince of Songkla University Publisher, 1994 (in Thai).
- [29] P. Prabuddham, *Soil Chemistry*. Bangkok: Kasetsart University Press, 1985 (in Thai).
- [30] S. R. Olsen, C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean, *Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate*. Washington, DC: Circular Letters, Government Publishing Office, 1954.
- [31] K. Sriroth and K. Piyachomkwan, *Starch Technology*. Bangkok: Kasetsart University Press, 2003 (in Thai).
- [32] S. Kantima, "Effect of glycerol and potassium sorbate on properties of tapioca starch films treated with ultraviolet radiation," M.S. thesis, Food Technology Programs, Graduate School, Maejo University, 2012 (in Thai).
- [33] R. Chindapan and W. Faipheth, "Effects of plasticizers on tensile strength, oil resistance and solubility of mung bean protein films," *Journal of Food Technology, Siam University*, vol. 2, no. 1, 2006 (in Thai).
- [34] E. R. Lieberman and S. G. Gilbert, "Gas permeation of collagen films as affected by crosslinkage, moisture and plasticizer content," *Journal of Polymer Science*, vol. 41, pp. 33–43, 1973.
- [35] Land Development Department, Laboratory method manual; chemical soil test procedures, Land Development Department, Bangkok, 2010 (in Thai).
- [36] J. S. Lara-Serrano, O. M. Rutiaga-Quinones, J. Lopez-Miranda, H. A. Fileto-Perez, F. E. Pedraza-Bucio, J. L. Rico-Cerda, and J. G. Rutiaga-Quinones, "Physicochemical characterization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)," *BioResources*, vol. 11, no. 3, pp. 7214–7223, 2016.
- [37] T. Seeloy-ounkaew and A. Kimisae, "Soil properties and assessment of soil fertilities in breeder seed and foundation seed of rice seed planting areas, Chachoengsao rice research center, Bangnum-brio District, Chachoengsao Province," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 17–26, 2018 (in Thai).



- [38] N. Treesuwan, "Evaluation of soil fertility in Thailand," *Academic Documents*, vol. 483, 2001 (in Thai).
- [39] Land Survey and Classified Division, "Manual of land suitability classification manual for economic crops in Thailand," *Academic Documents*, vol. 453, 2000 (in Thai).
- [40] R. J. Okalebo, K. W. Gathua, and P. L. Woomer, *Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual*, 2nd ed. Kenya: TSBF-CIAT and SACRED Africa, 2002, pp. 131.
- [41] N. C. Brady and R. R. Wail, *Elements of the Nature and Properties of Soils*. New Jersey: Pearson Education, Prentice Hall, 2010, pp. 167.
- [42] Director Office of Science for Land Development, "Manual for soil, water, fertilizer and plant sample analysis," Bangkok, Land Development Department, 2004 (in Thai).