

Research Article

Development and Physical Characterization of Eco-Friendly Biodegradable Pots from Spent mushroom substrate

Pranitda Inchomrit*

*Department of Environmental Management, Faculty of Science and Technology,
Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, Thailand*

(*Corresponding author's e-mail: pranitda.p@lawasri.tru.ac.th)

Received: 30 April, 2026; Revised: 5 October, 2026; Accepted: 7 October, 2026

Abstract

Plastic pots and nursery bags are a major source of environmental problems because they are not biodegradable. This research aimed to develop eco-friendly biodegradable pots using spent mushroom substrate (SMS) combined with earthworm castings (EC) and cow manure (CM), using tapioca paste as a binder. The study investigated the effects of varying proportions of SMS, earthworm castings, and cow manure on the physical and mechanical properties of the pots, as well as plant growth. The experiment consisted of five formulations: 1) 100 g of SMS (Biopot-A), 2) SMS : EC at 75:25 g (Biopot-B), 3) SMS : EC at 50:50 g (Biopot-C), 4) SMS : CM at 75:25 g (Biopot-D) and 5) SMS : CM at 50:50 g (Biopot-E), with plastic pots used as the control. The plant growth experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with three replicates. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) at a 95% confidence level. Pearson's correlation coefficient was used to analyze the relationships among pot properties. The results indicated that Biopot-E exhibited the highest density, porosity, and puncture resistance. Conversely, Biopot-A showed the highest water absorption and swelling. Density was positively correlated with porosity and puncture resistance ($p < 0.01$), while porosity was negatively correlated with water absorption and swelling ($p < 0.01$). In the plant growth experiment, Biopot-A showed the highest number of emerged seedlings (100%). Four weeks after transplantation, Biopot-E had the highest mean values for plant height (21.40 ± 0.87 cm), leaf width (4.33 ± 0.29 cm), number of leaves (6.67 ± 0.58 leaves /plant), fresh weight (7.76 ± 0.49 g/plant), and dry weight (0.77 ± 0.07 g/plant) (mean $\pm$ SD). Biopot-D and Biopot-E did not differ significantly for several growth parameters but differed significantly from the control ($p < 0.05$).

Keywords: Biodegradable pots; Spent mushroom substrate; Earthworm castings; Cow manure; Hongtae Pak Choy

บทคัดย่อ

กระถางและถุงเพาะชำพลาสติกเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระถางชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วร่วมกับมูลไส้เดือนและมูลวัว โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และศึกษาผลของปริมาณก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว มูลไส้เดือน และมูลวัว ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกลของกระถาง และการเจริญเติบโตของพืช โดยทำการทดลอง 5 สูตร ได้แก่ 1) SMS 100 กรัม (Biopot-A) 2) SMS : EC อัตราส่วน 75 : 25 กรัม (Biopot-B) 3) SMS : EC อัตราส่วน 50 : 50 กรัม (Biopot-C) 4) SMS : CM อัตราส่วน 75 : 25 กรัม (Biopot-D) และ 5) SMS : CM อัตราส่วน 50 : 50 กรัม (Biopot-E) โดยมีกระถางพลาสติกเป็นชุดควบคุม การทดลองปลูกพืชวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Pearson's correlation coefficient ผลการวิจัยพบว่า Biopot-E มีค่าความหนาแน่น ความพรุน และการต้านทานแรงเฉือนสูงที่สุด ในขณะที่ Biopot-A มีค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวสูงที่สุด ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความพรุนและการต้านทานแรงเฉือน ($p < 0.01$) ส่วนความพรุนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการดูดซับน้ำและการพองตัว ($p < 0.01$) การทดลองปลูกกวางตุ้งฮ่องเต้พบว่า Biopot-A มีจำนวนต้นงอกสูงที่สุด (100%) ขณะที่หลังย้ายลงแปลงปลูก 4 สัปดาห์ Biopot-E มีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงที่สุด ได้แก่ ความสูงต้น 21.40 ± 0.87 ซม. ความกว้างใบ 4.33 ± 0.29 ซม. จำนวนใบ 6.67 ± 0.58 ใบ/ต้น น้ำหนักสด 7.76 ± 0.49 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 0.77 ± 0.07 กรัม/ต้น (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD) โดย Biopot-D และ Biopot-E ไม่แตกต่างกันทางสถิติในตัวแปรการเจริญเติบโตหลายรายการ แต่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: กระถางชีวภาพ; ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว; มูลไส้เดือน; มูลวัว; กวางตุ้งฮ่องเต้

บทนำ

กระถางเพาะชำพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงเพาะชำพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) ได้รับความนิยมอย่างมากในภาคการเกษตร โดยใช้เป็นภาชนะเพาะชำต้นกล้าในโรงเรือนก่อนลงแปลงปลูก เนื่องจากช่วยควบคุมสภาพแวดล้อม ป้องกันโรคและศัตรูพืช อีกทั้งยังมีต้นทุนต่ำ มีสมบัติเชิงกลดี และมีเสถียรภาพทางเคมี จึงมีความทนทาน ทำให้ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และต้องนำออกก่อนการย้ายปลูก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบรากของพืช เนื่องจากการเจริญของรากอยู่ในพื้นที่จำกัด ทำให้รากพืชพันกันและขาดอากาศ อาจส่งผลต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร รวมถึงอัตราการรอดหลังการย้ายปลูก อีกทั้งหลังการใช้งานกระถางและถุงเพาะชำพลาสติกมักปนเปื้อนดินและสารเคมีทางการเกษตร ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการรีไซเคิล หากมีได้นำมาใช้ซ้ำมักถูกกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผา ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Schettini et al., 2013; Tomadoni et al., 2020) และมีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Phiri et al., 2023) กระถางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถสลายตัวในดินผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ช่วยลดการใช้พลาสติก และช่วยลดความเสียหายต่อระบบรากของพืชระหว่างย้ายลงแปลงปลูก (Schettini et al., 2013) ที่ผ่านมามีการพัฒนากระถางชีวภาพจากวัสดุชีวภาพหลายชนิด เช่น กากกาแฟ พืชมอส เส้นใยไม้ เปลือกกล้วย ผักตบชวา เปลือกถั่วลิสง แขนปู่าน ใบไม้แห้ง มูลวัว ทะลายปาล์ม น้ำมันปลา ต้นกล้วย และถ่านชีวภาพ (Chaichan et al., 2018; Gordy et al., 2024; Harahap et al., 2025; Inchomrit et al., 2024; Jaya et al., 2022; Kunthadong et al., 2025; Rafee et al., 2019; Sangsuwan et al., 2025; Zhang et al., 2019) กระถางที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ และเป็นทางเลือกสำหรับใช้ทดแทนภาชนะเพาะปลูกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน (Saepoo et al., 2023) นอกจากนี้ กระถางชีวภาพยังสามารถนำไปปลูกลงดินได้โดยตรง ช่วยลดขั้นตอนในการย้ายปลูก ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานของเกษตรกร และไม่จำเป็นต้องกำจัดกระถางหลังการใช้งาน วิธีการปลูกดังกล่าวยังช่วยส่งเสริมการเจริญของระบบราก เพิ่มการสะสมธาตุอาหารในพืช และเมื่อกระถางเกิดการย่อยสลายจะช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน รวมทั้งทำหน้าที่เป็นปุ๋ยธรรมชาติที่สนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช (Fuentes et al., 2021; Tomadoni et al., 2020) อย่างไรก็ตาม กระถางชีวภาพจากวัสดุแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพและทางกลแตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ ความแข็งแรงของกระถาง และการตอบสนองของพืช ดังนั้นการเลือกชนิดและสัดส่วนของวัสดุจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนากระถางชีวภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

จากการพิจารณาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่น จังหวัดสิงห์บุรี พบว่ามีวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน เช่น ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว (Spent mushroom substrate) ในปริมาณมากที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า โดยเกษตรกรมักนำไปทิ้งหรือใส่โคนต้นไม้โดยไม่แกะถุงพลาสติกออก ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุใหม่ถือเป็นแนวทางสำคัญในการลดปริมาณของเสียและเพิ่มมูลค่าทรัพยากร ภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) โดยวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดที่มีชี้เสียอยู่แล้วเป็นองค์ประกอบหลัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น และอินทรีย์วัตถุเหมาะสำหรับการปลูกพืช จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพ (Homkhiew et al., 2023; Kaewmanee, 2021; Piayang et al., 2018) การนำก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มความยั่งยืนของระบบการผลิตในภาคเกษตร เนื่องจากวัสดุยังคงมีธาตุอาหารเหลืออยู่ และมีสารอินทรีย์ในปริมาณมาก (Vieira Junior et al., 2025) นอกจากนี้ ในพื้นที่ใกล้เคียงยังมีฟาร์มเลี้ยงไส้เดือนและฟาร์มโคนมที่สามารถจัดหามูลไส้เดือนและมูลวัวได้ง่ายในราคาถูกเยา วัสดุทั้งสองชนิดนี้

เป็นแหล่งธาตุอาหารสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยมูลไส้เดือนมีธาตุอาหารหลักและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อดิน ช่วยกระตุ้นการแตกรากและการดูดซึมธาตุอาหาร (Rehman et al., 2023) ขณะที่มูลวัวช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุปรับปรุงโครงสร้างดินปลูก เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และช่วยให้มีการระบายอากาศที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Supriyadi et al., 2022) การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและปุ๋ยมูลสัตว์ที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระถางชีวภาพ จึงมีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้และของเสียอินทรีย์ภายในชุมชน และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ายังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการใช้ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วร่วมกับมูลไส้เดือนและมูลวัวในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ และผลของอัตราส่วนวัสดุต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระถาง รวมถึงการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระถางชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว มูลไส้เดือนและมูลวัวเป็นวัตถุดิบหลัก ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุดังกล่าวต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกระถางที่ผลิตได้ ตลอดจนประเมินศักยภาพของกระถางชีวภาพที่พัฒนาขึ้นต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และพัฒนาภาชนะเพาะปลูกจากวัสดุชีวภาพที่เหมาะสมต่อการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

ก้อนเชื้อเห็ดที่ใช้แล้วจากการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน รวบรวมจากฟาร์มเห็ดอินทรีย์ ตำบลอนสมอ อำเภอนาทม จังหวัดสกลนคร มูลไส้เดือนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงไส้เดือน ตำบลท่งขาม อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดชลบุรี มูลวัวรวบรวมจากฟาร์มโคนมในพื้นที่อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดชลบุรี

วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

นำวัตถุดิบ ได้แก่ ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว มูลไส้เดือน และมูลวัว มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี โดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH Meter (Mettler รุ่น Seven Compact s220 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:5 (w/v) และทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม (Total organic matter; TOM) ด้วยวิธีการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเผา (Ignition loss) ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมดในรูป P_2O_5 (Total P_2O_5) และโพแทสเซียมทั้งหมดในรูป K_2O (Total K_2O) ส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-211 based on AOAC (2019) 993.13, In-house method TE-CH-183 based on AOAC (2019) 958.01 และ In-house method TE-CH-191 based on Official Method of Analysis of Fertilizers, Japan: 1987 ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ Total N, Total P_2O_5 และ Total K_2O เป็นค่าที่รายงานจากห้องปฏิบัติการจำนวน 1 ค่า

การขึ้นรูปกระถาง

1) นำก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมาร้อนผ่านตะแกรงขนาดตา 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการร่อน มูลไส้เดือน และมูลวัว ไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลาจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเก็บรักษาในถุงซิปล็อคที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากอากาศ

2) ทำแบ่งเปียกเพื่อใช้เป็นตัวประสาน โดยนำแบ่งมันสำปะหลัง 100 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร และนำไปตั้งบนเตาแล้วให้ความร้อนที่ 70°C และกวนตลอดเวลา 10 นาที จะได้แบ่งเปียกที่มีลักษณะข้นใส และเนื้อเนียนสม่ำเสมอ

3) ผสมวัตถุดิบ ได้แก่ ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว มูลไส้เดือน มูลวัว และแบ่งเปียก ตามอัตราส่วนที่กำหนดใน Table 1 โดยคำนวณน้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละชนิดตามอัตราส่วนของแต่ละสูตรให้เพียงพอต่อการขึ้นรูปกระถางจำนวน 6 ใบต่อสูตร จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบโยกที่มีกำลังอัดสูงสุด 5 ตัน กระถางแต่ละสูตรจำนวน 6 ใบ แบ่งเป็นกระถางสำหรับการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงเจาะจำนวน 3 ใบ และทดลองปลูกพืชจำนวน 3 ใบ ซึ่งถือเป็น 3 ซ้ำต่อสูตร กระถางที่ขึ้นรูปมีลักษณะเป็นทรงกรวย โดยมีความสูง 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 9.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นกระถาง 7 เซนติเมตร และมีความหนาของผนังด้านข้างและก้นกระถาง 1 เซนติเมตร

(Figure 1) หลังจากขึ้นรูปนำกระถางทุกสูตรไปตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิการอบเดียวกันก่อนนำไปทดสอบ

Table 1 Composition of biodegradable pots made from spent mushroom substrate, Earthworm castings, cow manure and tapioca paste

Treatment	Spent mushroom substrate (g)	Earthworm castings (g)	Cow manure (g)	Tapioca paste (g)
Biopot-A	100	0	0	100
Biopot-B	75	25	0	100
Biopot-C	50	50	0	100
Biopot-D	75	0	25	100
Biopot-E	50	0	50	100

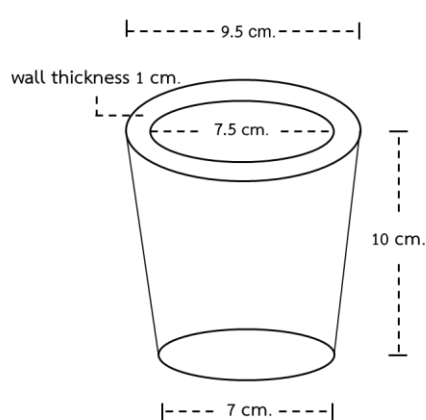


Figure 1 Dimensions of biodegradable pots used in the experiment

2) ความพรุน คัดแปลงจาก Homkhiew et al. (2023) นำขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งและสะอาด มาชั่งน้ำหนัก (m_1) แล้วนำขึ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความหนาแน่นของกระถางมาดให้ละเอียด และใส่ลงในขวดปรับปริมาตร จากนั้นชั่งน้ำหนักขวดปรับปริมาตรที่บรรจุขึ้นทดสอบหลังบดละเอียด (m_2) แล้วเติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากันและนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อมีไอน้ำเกิดขึ้นให้อุ่นต่ออีก 2-3 วินาที หลังจากนั้นเปิดน้ำอุณหภูมิปกติให้ไหลผ่านกันขวดปรับปริมาตรจนกระทั่งเย็นลง เติมน้ำกลั่นลงในขวดปรับปริมาตรจนถึงขีดความจุ 100 มิลลิลิตร แล้วขีดขวดปรับปริมาตรให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (m_3) จากนั้นคำนวณน้ำหนักของวัสดุ (m_s) ดังสมการที่ (2)

$$m_s = (m_2 - m_1) \quad (2)$$

คำนวณหาปริมาตรของวัสดุ ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$V_w = \frac{m_3 - m_2}{P \text{ ของน้ำขณะทดลอง}} \quad (3)$$

$$V_s = V_F - V_w \quad (4)$$

เมื่อ V_w คือ ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยวัสดุ (cm^3)

V_s คือ ปริมาตรของวัสดุ (cm^3)

V_F คือ ปริมาตรของของเหลว (cm^3)

คำนวณหาความหนาแน่นของวัสดุ ดังสมการที่ (5)

$$P_s (\text{g/cm}^3) = \frac{m_s}{V_s} \quad (5)$$

เมื่อ P_s คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3)

m_s คือ มวลของวัสดุ (g)

V_s คือ ปริมาตรของวัสดุ (cm^3)

คำนวณหาความพรุน ดังสมการที่ (6)

$$\text{ความพรุน (\%)} = 1 - \frac{P_b}{P_s} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ P_b คือ ความหนาแน่นของกระถาง (g/cm^3)

P_s คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3)

3) การดูดซับน้ำและการพองตัวของกระถาง ดัดแปลงจาก Kaewmanee (2021) โดยทำขึ้นทดสอบให้มีขนาด 5×5 เซนติเมตร สูตรละ 3 ข้ว จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง ประมาณ 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ แล้วนำไปอบที่ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดความหนาด้านข้าง 4 ด้าน (T_0) และชั่งน้ำหนัก (W_0) ของชิ้นทดสอบ จากนั้นวางชิ้นทดสอบลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยวางให้อยู่ในระนาบเดียวกับผิวน้ำและมีระยะห่างจากกันพอสมควร เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (W_1) จากนั้นซับน้ำที่ผิวของชิ้นทดสอบออกให้หมดด้วยผ้าสะอาด แล้ววางชิ้นทดสอบบนวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดความหนาของชิ้นทดสอบตามตำแหน่งเดิม (T_1) แล้วคำนวณร้อยละการพองตัวและการดูดซับน้ำ ดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$\text{การดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{การพองตัว (\%)} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \times 100 \quad (8)$$

4) การต้านทานแรงเจาะของกระถาง ดัดแปลงจาก Inchomrit et al. (2024) โดยนำกระถางทั้ง 5 สูตร สูตรละ 3 ข้ว มาทดสอบการต้านทานแรงเจาะด้วยเครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA.XT.plus ประเทศ UK โดยใช้หัวเจาะขนาด 6 มิลลิเมตร ความเร็วขณะกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และใช้ระยะทาง 30 มิลลิเมตร ในการเจาะวัสดุจนทะลุ ทำการเจาะ 4 ครั้ง ได้แก่ ด้านกันกระถาง 1 ครั้ง และด้านข้างกระถาง 3 ครั้ง

การทดลองปลูกพืช

การทดลองปลูกวางดั่งฮ้องเต้ดำเนินการในจังหวัดสิงห์บุรี ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD; completely randomized design) ประกอบด้วย 6 ชุด ได้แก่ กระถางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบ 5 สูตร และกระถางพลาสติกเป็นชุดควบคุมมีขนาดใกล้เคียงกับกระถางชีวภาพ โดยมีความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถางประมาณ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละชุดมีจำนวน 3 ข้ว และกำหนดให้กระถางแต่ละใบเป็น 1 หน่วยทดลอง ซึ่งดินเพาะปลูก 130 กรัม ใส่ลงไปในกระถางแต่ละใบ จากนั้นเมล็ดกวางดั่งฮ้องเต้ (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis*) จากบริษัท Home Garden จำนวน 5 เมล็ดต่อกระถาง รดน้ำทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 150 มิลลิลิตร แล้วนำกระถางเพาะกล้าไปวางไว้ในโรงเพาะชำ โดยสุ่มตำแหน่งการวางกระถางภายในโรงเพาะชำ จากนั้นสังเกตและนับจำนวนเมล็ด

ที่ออกทุกวันจนกระทั่งต้นกล้ามีอายุ 10 วัน จากนั้นถอนต้นกล้าออกให้เหลือ 2 ต้นต่อกระถาง เพื่อให้มีจำนวนต้นเท่ากันในแต่ละหน่วยทดลอง แล้วย้ายกระถางที่เพาะกล้าจากวางตั้งอ่องตั้งแปลงปลูก โดยถอดกระถางพลาสติกออกแต่ไม่ต้องถอดกระถางชีวภาพ จากนั้นรดน้ำทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 500 มิลลิลิตร (ยกเว้นวันที่มีฝนตก) โดยกางสแลนพลาสติกให้ต้นกล้าวางตั้งอ่องได้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นนำสแลนออกให้วางตั้งอ่องได้ได้รับแสงตามสภาพธรรมชาติ แล้วทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตวางตั้งอ่องได้ เมื่อมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายลงแปลงปลูก โดยวัดความสูงต้น ความกว้างใบ จำนวนใบ และชั่งน้ำหนักสดของต้นวางตั้งอ่องได้ โดยต้นวางตั้งอ่องได้จำนวน 2 ต้นภายในกระถางเดียวกันถือเป็นหน่วยย่อยภายในหน่วยทดลองเดียวกัน และใช้ค่าเฉลี่ยของต้นทั้ง 2 ต้นเป็นค่าตัวแทนของกระถางแต่ละใบสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ สำหรับการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง นำตัวอย่างพืชไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด และใช้ค่าเฉลี่ยของต้นทั้ง 2 ต้นเป็นค่าตัวแทนของหน่วยทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ที่ทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ด้วยโปรแกรม SPSS version 26 โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของข้อมูลความหนาแน่น ความพรุน การดูดซับน้ำ การพองตัว การต้านทานแรงเจาะของกระถาง ความสูงต้น ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของวางตั้งอ่องได้ แล้ววิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) ของข้อมูลความหนาแน่น ความพรุน การดูดซับน้ำ การพองตัว และการต้านทานแรงเจาะของกระถาง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ทำกระถาง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทำกระถางชีวภาพ ได้แก่ ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว มูลไส้เดือน และมูลวัวที่แสดงใน Table 2 พบว่าวัตถุดิบทั้งหมดมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทางการเกษตร โดยก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมีค่า pH เป็นกลาง (7.20 ± 0.03) และมูลไส้เดือนมีค่า pH ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย (6.80 ± 0.04) ซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ การปลดปล่อยธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Oyege & Bhaskar, 2023) ขณะที่มูลวัวมีค่า pH เป็นด่าง (9.14 ± 0.01) เนื่องจากการสะสมของแคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุพื้นฐานอื่นในระดับสูง (Oyege & Bhaskar, 2023) ซึ่งวัสดุที่มีค่า pH เป็นด่างอาจไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วัดค่า pH ของกระถางชีวภาพหลังการผสมและขึ้นรูป ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่ากระถางชีวภาพแต่ละสูตรมีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยเฉพาะสูตรที่มีมูลวัวเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ ค่า pH ของวัสดุผสมและความเหมาะสมต่อการใช้เป็นวัสดุเพาะปลูกควรได้รับการประเมินเพิ่มเติมในการศึกษาต่อไป

ปริมาณสารอินทรีย์รวม (TOM) ของวัสดุทุกชนิดอยู่ในระดับสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2014) โดยก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมีปริมาณ TOM สูงที่สุด ($82.09 \pm 0.09\%$) รองลงมาคือมูลวัว ($71.23 \pm 1.33\%$) และมูลไส้เดือน ($61.59 \pm 0.21\%$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mwangi et al. (2024) ที่รายงานว่าก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมีอินทรีย์วัตถุสูง และสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกที่มีประสิทธิภาพ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ He et al. (2024) ยังพบว่าการใช้ก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมาทดแทนวัสดุเพาะกล้าแบบดั้งเดิมสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุปลูก เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และส่งเสริมคุณภาพของต้นกล้าข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับมูลวัวและมูลไส้เดือนที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเช่นกันนั้น ถือเป็นแหล่งธาตุอาหารสำคัญที่ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของวัสดุปลูก โดยเฉพาะมูลไส้เดือนซึ่งมีอินทรีย์วัตถุในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย และอาจช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน Huda et al. (2024) รายงานว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนสามารถช่วยรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ และส่งเสริมกระบวนการไนโตรฟิกเคชันที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมใช้ของธาตุอาหารพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ปริมาณ TOM ของวัสดุทั้ง 3 ชนิดจึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตกระถางชีวภาพ โดยเฉพาะก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วซึ่งมีศักยภาพสูงในการเป็นวัสดุหลักของกระถาง เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของกระถาง และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารหลัก พบว่ามูลวัวมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด สูงกว่ามูลไส้เดือน และก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว ซึ่งมูลวัวมีปริมาณธาตุอาหารหลักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรม

วิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2014) แสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของปุ๋ยมูลสัตว์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของวัสดุปลูก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Inchomrit et al. (2024) ที่พบว่ากระถางชีวภาพที่มีมูลวัวเป็นส่วนผสมมีแนวโน้มช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

Table 2 Chemical properties of raw materials

Raw materials	pH	TOM (%)	Total N (%)	Total P ₂ O ₅ (%)	Total K ₂ O (%)
Spent mushroom substrate	7.20 ± 0.03	82.09 ± 0.09	0.30	0.20	0.30
Worm castings	6.80 ± 0.04	61.59 ± 0.21	0.80	0.50	0.19
Cow manure	9.14 ± 0.01	71.23 ± 1.33	1.93	1.28	1.70
Standard*	N/A	> 20	> 1.0	> 0.5	> 0.5

*Organic fertilizer standards (Department of agriculture, 2014)

คุณสมบัติของกระถาง

จากการทดลองขึ้นรูปกระถาง พบว่ากระถางทั้ง 5 สูตร สามารถขึ้นรูปและถอดออกจากแม่พิมพ์ได้โดยไม่แตกหัก โดยกระถางสูตรที่ขึ้นรูปได้ดี มีรูปทรงคงตัว คือ Biopot-D และ Biopot-E ซึ่งเป็นกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วและมูลวัว อัตราส่วน 75:25 กรัม และ 50:50 กรัม ตามลำดับ รองลงมาเป็น Biopot-A เป็นกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วเพียงชนิดเดียว ส่วนกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วที่มีมูลไส้เดือนเป็นส่วนผสมทั้ง 2 อัตราส่วน (Biopot-B และ Biopot-C) จะเริ่มทรุดตัวและผิวดูเรียบน้อยลงหลังจากขึ้นรูป แต่ยังคงรูปกระถางเมื่อแห้งสนิท กระถางชีวภาพทั้ง 5 สูตร มีลักษณะภายนอกแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านสี ความเรียบของพื้นผิว และความแน่นของโครงสร้าง โดย Biopot-A มีสีอ่อนและพื้นผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อเปรียบเทียบกับกระถางในสูตรอื่น ขณะที่ Biopot-B และ Biopot-C มีสีเข้มขึ้นและพื้นผิวหยาบมากขึ้นตามสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผสม โดย Biopot-E มีสีเข้มที่สุด และพื้นผิวหยาบกว่าสูตรอื่นอย่างเห็นได้ชัด (Figure 2)



Figure 2 Appearance of biodegradable pots produced from different formulations

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกระถางชีวภาพแสดงดัง Table 3 โดยพบว่า Biopot-E ซึ่งเป็นกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วและมูลวัว อัตราส่วน 50:50 กรัม มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด เท่ากับ $0.54 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากสูตรที่มีสัดส่วนก้อนเชื้อเห็ดสูงกว่า เช่น Biopot-A และ Biopot-B

ค่าความพรุนของกระถางเพิ่มขึ้นตามการลดสัดส่วนก้อนเชื้อเห็ดและการเพิ่มของมูลไส้เดือนและมูลวัว โดย Biopot-E มีค่าความพรุนสูงสุด ($65.30 \pm 3.54 \%$) ขณะที่ Biopot-A มีค่าความพรุนต่ำที่สุด ($31.27 \pm 7.11 \%$) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การดูดซับน้ำและการพองตัว พบว่า Biopot-A ซึ่งเป็นกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วเพียงชนิดเดียว มีการดูดซับน้ำและการพองตัวมากที่สุด เท่ากับ 185.57 ± 15.94 % และ 14.71 ± 2.45 % ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าการดูดซับน้ำของ Biopot-A มีความแตกต่างกับกระถางในสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การต้านทานแรงเจาะของกระถาง พบว่า Biopot-E ซึ่งเป็นกระถางจากก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วและมูลวัว อัตราส่วน 50:50 กรัม มีค่าการต้านทานแรงเจาะมากที่สุด เท่ากับ 65.69 ± 2.49 N ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ากระถางต้านทานแรงเจาะของ Biopot-E มีความแตกต่างกับกระถางในสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแสดงดัง Table 4 พบว่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับการต้านทานแรงเจาะ ($r = 0.820$, $p < 0.01$) และความพรุน ($r = 0.776$, $p < 0.01$) ขณะที่ความพรุนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการดูดซับน้ำ ($r = -0.680$, $p < 0.01$) และการพองตัว ($r = -0.654$, $p < 0.01$)

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสัดส่วนมูลวัวช่วยเพิ่มความหนาแน่น ความต้านทานแรงเจาะและความพรุนของกระถาง โดยความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความหนาแน่นกับการต้านทานแรงเจาะที่พบจากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สะท้อนว่าโครงสร้างของวัสดุที่มีความหนาแน่นมากขึ้นอาจมีส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงเจาะของกระถาง ทั้งนี้ การเพิ่มมูลวัวอาจส่งผลต่อการจัดเรียงตัวและการอัดตัวของอนุภาคภายในกระถางเนื่องจากองค์ประกอบของมูลวัวมีลักษณะเป็นอนุภาคอินทรีย์วัตถุที่สามารถแทรกตัวและเติมช่องว่างระหว่างอนุภาคของก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้ว ส่งผลให้โครงสร้างของกระถางมีความหนาแน่นและมีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานแรงเจาะเพิ่มขึ้น ส่วนความพรุนแสดงถึงจำนวนช่องว่างที่ทำให้อากาศสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในวัสดุ ซึ่งอาจช่วยส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2019) ที่พบว่าถาดเพาะกล้าที่ทำจากมูลวัวมีสมรรถนะโดยรวมดีที่สุด ทั้งด้านความแข็งแรงเชิงกลและความสามารถในการย่อยสลาย ซึ่งส่งเสริมการดูดซึมธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ประเมินสมบัติทางกลเฉพาะความต้านทานแรงเจาะ จึงยังไม่สามารถสรุปถึงความแข็งแรงและความคงทนของกระถางในทุกสภาวะการใช้งาน โดยเฉพาะในสภาวะเปียกหรือระหว่างการใช้งานจริง ขณะที่ความพรุนที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการลดลงของการดูดซับน้ำและการพองตัว ซึ่งความพรุนเพียงอย่างเดียวไม่ได้กำหนดความสามารถในการดูดซับน้ำ แต่ลักษณะ ขนาด และการเชื่อมต่อของช่องว่างภายในโครงสร้างมีส่วนสำคัญต่อการเคลื่อนที่และการกักเก็บน้ำ โดยช่องว่างขนาดเล็กสามารถกักเก็บน้ำด้วยแรงแคปิลลารี ขณะที่ช่องว่างขนาดใหญ่เอื้อต่อการระบายอากาศและการเคลื่อนที่ของน้ำมากกว่า สอดคล้องกับแนวคิดที่ว่าวัสดุที่มีช่องว่างขนาดใหญ่จะช่วยเพิ่มการระบายอากาศแต่ลดความสามารถในการเก็บกักน้ำ (Raviv & Lieth, 2007) สนับสนุนผลการทดลองที่พบว่ากระถางที่ทำจากก้อนเชื้อเห็ดเพียงชนิดเดียว (Biopot-A) มีค่าความพรุนต่ำที่สุด แต่มีค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวสูงที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Homkhiew et al. (2023) และ Piyang et al. (2018) ที่พบว่าค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด โดยกระถางที่มีค่าการดูดซับน้ำมากอาจมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างของกระถางได้มากขึ้น แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกได้ เนื่องจากการศึกษานี้ไม่ได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำโดยตรง (Inchomrit et al., 2024) อีกทั้งความสามารถในการดูดซับน้ำอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพความชื้นบริเวณเมล็ดในระยะเริ่มต้น ซึ่งอาจเอื้อต่อการงอกของเมล็ด แต่การงอกและการเจริญเติบโตของพืชยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งสมบัติทางกายภาพของกระถาง ความพร้อมใช้ของธาตุอาหาร และสภาพแวดล้อมในการปลูก

Table 3 Physical and mechanical properties of the biodegradable pots

Treatment	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	Water absorption (%)	Swelling (%)	Puncture resistance (N)
Biopot-A	$0.46^b \pm 0.02$	$31.27^b \pm 7.11$	$185.57^a \pm 15.94$	$14.71^a \pm 2.45$	$33.24^c \pm 0.28$
Biopot-B	$0.44^b \pm 0.03$	$39.28^b \pm 1.55$	$153.56^b \pm 5.73$	$11.38^{ab} \pm 0.46$	$33.11^c \pm 0.57$
Biopot-C	$0.51^a \pm 0.03$	$61.39^a \pm 1.52$	$126.12^c \pm 11.95$	$4.94^c \pm 1.11$	$45.86^b \pm 3.08$
Biopot-D	$0.51^a \pm 0.02$	$62.88^a \pm 10.44$	$143.73^{bc} \pm 19.04$	$6.40^{bc} \pm 2.77$	$43.18^b \pm 5.48$
Biopot-E	$0.54^a \pm 0.03$	$65.30^a \pm 3.54$	$144.85^{bc} \pm 8.81$	$11.65^{ab} \pm 5.32$	$65.69^a \pm 2.49$

** Means (n=3) within the same column followed by different letters are significantly different according to DMRT at $p < 0.05$.

Table 4 Pearson's Correlation (r) of physical and mechanical properties

	Density	Porosity	Water absorption	Swelling
Porosity	0.776**			
Water absorption	-0.496*	-0.680**		
Swelling	-0.373	-0.654**	0.646**	
Puncture resistance	0.820**	0.761**	-0.467*	-0.173

** Correlation is significant at the 0.01 level, * Correlation is significant at the 0.05 level

การทดลองปลูกพืช

จากการนำกระถางชีวภาพทั้ง 5 สูตร ทดลองเพาะเมล็ดถั่วแดงงอกในวันที่ 3 หลังหยอดเมล็ด ส่วนชุดควบคุมมีจำนวนต้นงอกต่ำกว่ากระถางชีวภาพทุกสูตร ตลอดระยะเวลาการทดลองถั่วแดงงอกที่เพาะใน Biopot A-D แสดงแนวโน้มการเพิ่มจำนวนต้นงอกอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7-8 ก่อนคงที่ ขณะที่ Biopot-E มีจำนวนต้นงอกเพิ่มขึ้นในช่วงต้นและคงที่ในระดับต่ำกว่ากระถางชีวภาพสูตรอื่น (Figure 3)

เมื่อพิจารณาจำนวนต้นงอกหลังหยอดเมล็ดครบ 10 วัน (Table 5) พบว่า Biopot-A ให้จำนวนต้นงอกสูงสุด (5.00 ± 0.00 ต้น) คิดเป็น 100 % ซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ Biopot-B และ Biopot-D ให้จำนวนต้นงอกในระดับเดียวกัน และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน Biopot-C และ Biopot-E ให้จำนวนต้นงอกต่ำกว่าสูตรดังกล่าว แต่ยังสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีจำนวนต้นงอกต่ำที่สุดตลอดการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการรดน้ำในปริมาณที่จำกัดทำให้จำนวนต้นงอกของชุดควบคุมต่ำกว่ามาตรฐานที่ระบุข้างของเมล็ดพันธุ์ (85 %) ประกอบกับกระถางชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากก้อนเชื้อเห็ด มูลไส้เดือน และมูลวัว มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูง จึงส่งเสริมให้มีการถ่ายเทอากาศและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่ากระถางพลาสติก

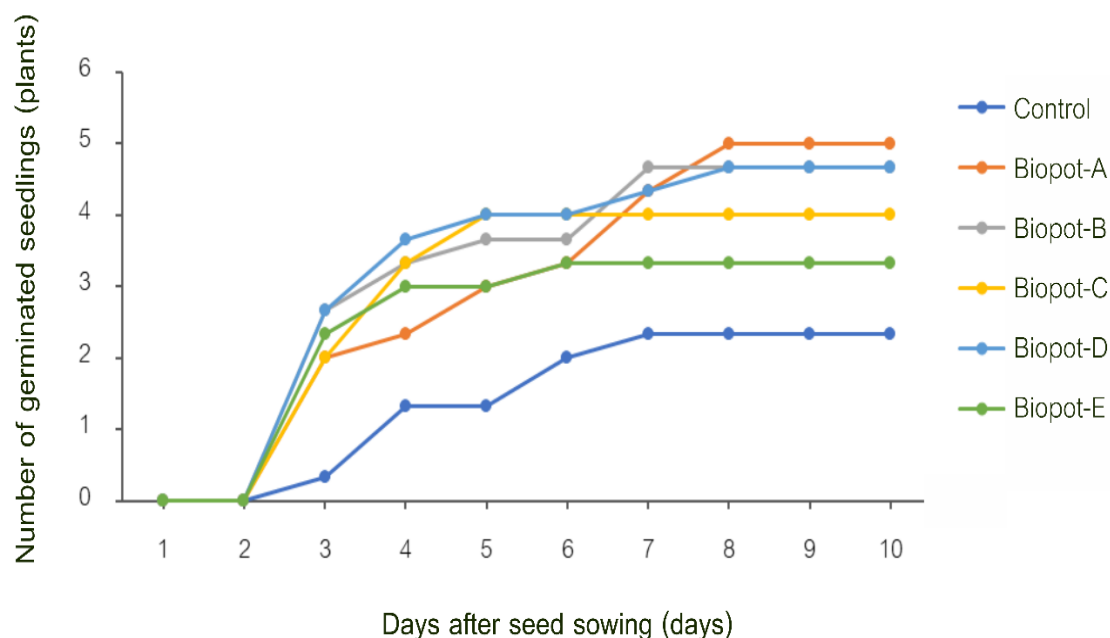
**Figure 3** Germination of Hongtae Pak Choy seedlings grown in biodegradable pots over days after sowing

Table 5 Germination of Hongtae Pak Choy seedlings at 10 days after sowing in biodegradable pots

Treatments	Number of Germinated seedlings (plants)	Germination (%)
Control	2.33 ^c ± 0.58	46.6
Biopot-A	5.00 ^a ± 0.00	100.0
Biopot-B	4.67 ^{ab} ± 0.58	93.4
Biopot-C	4.00 ^{ab} ± 1.73	80.0
Biopot-D	4.67 ^{ab} ± 0.58	93.4
Biopot-E	3.33 ^{bc} ± 0.58	66.6

** Means within the same column followed by different letters are significantly different according to DMRT at $p < 0.05$.

ผลการวัดการเจริญเติบโตของกวางตุ้งฮ่องเต้เมื่ออายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายลงแปลงปลูก (Table 6) พบว่ากวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใน Biopot-E มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงสุด เท่ากับ 21.40 ± 0.87 เซนติเมตร 4.33 ± 0.29 เซนติเมตร 6.67 ± 0.58 ใบต่อต้น 7.76 ± 0.49 กรัมต่อต้น และ 0.77 ± 0.07 กรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และ Biopot A-C ($p < 0.05$) สอดคล้องกับลักษณะการเจริญเติบโตที่สังเกตได้จาก Figure 4 ซึ่งพบว่ากวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในกระถางชีวภาพส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด โดยชุดควบคุมมีลักษณะต้นขนาดเล็ก จำนวนใบ และขนาดใบเล็กกว่าสูตรอื่น โดยกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใน Biopot-A และ Biopot-B มีลักษณะต้นสูงชันและจำนวนใบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ขณะที่ Biopot-C แสดงการเจริญเติบโตที่เด่นชัดขึ้น โดยมีใบกว้างและลำต้นแข็งแรงมากขึ้น ส่วน Biopot-D และ Biopot-E ให้ลักษณะการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยกวางตุ้งฮ่องเต้มีใบขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม และทรงพุ่มแน่นกว่าเมื่อเทียบกับสูตรอื่น

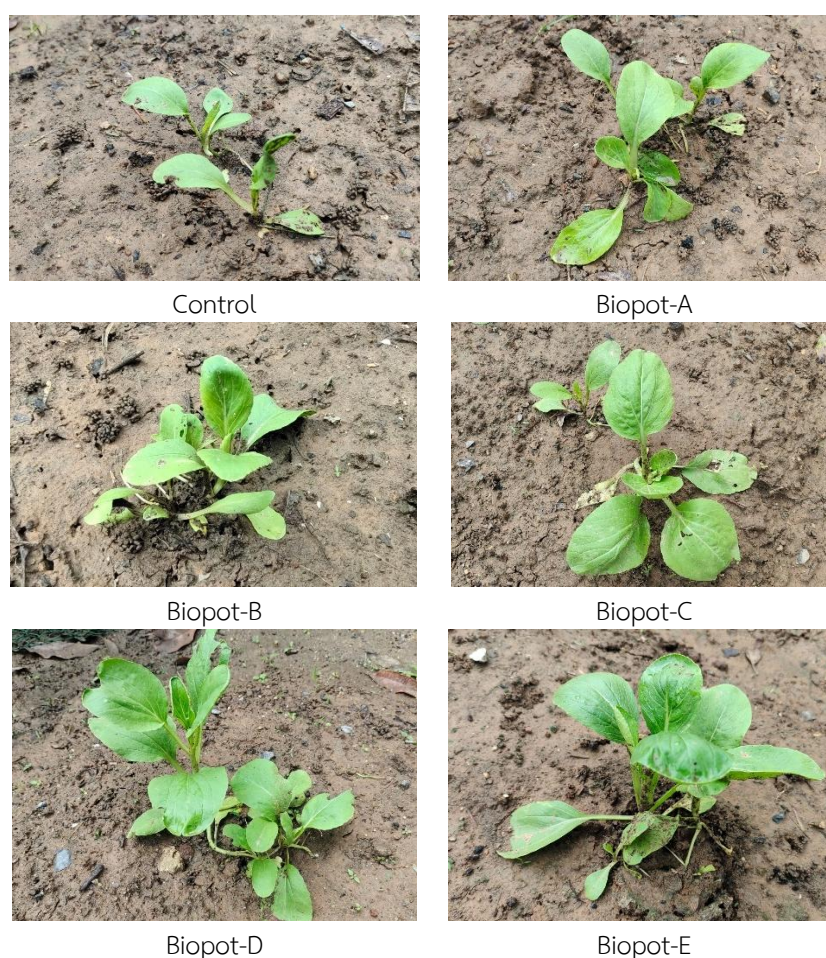
ผลการทดลองปลูกกวางตุ้งฮ่องเต้แสดงให้เห็นว่ากระถางแต่ละสูตรมีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช โดย Biopot-A ซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวสูงที่สุด ให้จำนวนต้นงอกสูงที่สุด (100%) ขณะที่ในระยะเวลาการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก Biopot-E มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความกว้างใบ จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงสุด แม้ Biopot-D และ Biopot-E จะไม่แตกต่างกันทางสถิติในตัวแปรการเจริญเติบโตหลายรายการ ผลดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของวัสดุ โดยเฉพาะการมีมูลวัวเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่อาจเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช และอาจมีส่วนสนับสนุนการสะสมมวลชีวภาพในระยะเวลาการเจริญเติบโต (Taiz et al., 2015) นอกจากนี้ สมบัติการดูดซับน้ำของกระถางอาจช่วยรักษาความชื้นบริเวณราก ขณะที่องค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์และธาตุอาหารอาจมีส่วนสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งปัจจัยทั้งสองอาจทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่ได้วัดการปลดปล่อยธาตุอาหารจากกระถางหรือปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ รวมทั้งไม่ได้ประเมินความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างการดูดซับน้ำของกระถางกับการงอกของเมล็ด จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าธาตุอาหารจากมูลวัวหรือความสามารถในการดูดซับน้ำเป็นสาเหตุโดยตรงของการเจริญเติบโตและการงอกที่เพิ่มขึ้น

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นกระถางชีวภาพ ถือเป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนและความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Office of the National Economic and Social Development Council, 2023) อีกทั้งยังสอดคล้องกับความต้องการของบริโภคในยุคปัจจุบันที่มีความใส่ใจสิ่งแวดล้อมและคำนึงถึงคุณค่าของผลิตภัณฑ์ (Ruggeri et al., 2024)

Table 6 Effect of various treatments on the growth of Hongtae Pak Choy (measured at 4 weeks after transplantation)

Treatments	Plant height (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number (leaves/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Control	10.23 ^e ± 0.25	2.60 ^c ± 0.53	4.33 ^c ± 0.58	2.83 ^c ± 0.29	0.29 ^c ± 0.02
Biopot-A	12.50 ^d ± 0.50	3.17 ^{bc} ± 0.29	4.67 ^{bc} ± 0.58	3.23 ^c ± 0.25	0.31 ^c ± 0.04
Biopot-B	13.83 ^c ± 0.47	3.30 ^b ± 0.26	5.33 ^{bc} ± 0.58	4.57 ^b ± 0.40	0.47 ^b ± 0.03
Biopot-C	13.87 ^c ± 0.23	3.37 ^b ± 0.32	5.57 ^b ± 0.51	4.70 ^b ± 0.36	0.46 ^b ± 0.10
Biopot-D	19.37 ^b ± 0.93	4.17 ^a ± 0.29	6.63 ^a ± 0.55	7.63 ^a ± 0.35	0.75 ^a ± 0.02
Biopot-E	21.40 ^a ± 0.87	4.33 ^a ± 0.29	6.67 ^a ± 0.58	7.76 ^a ± 0.49	0.77 ^a ± 0.07

** Means within the same column followed by different letters are significantly different according to DMRT at $p < 0.05$.

**Figure 4** Effect of various treatments on the growth of Hongtae Pak Choy at 4 weeks after transplanting

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำก้อนเชื้อเห็ดใช้แล้วจากการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานร่วมกับมูลไส้เดือนและมูลวัว ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้ในท้องถิ่น มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระถางชีวภาพ โดยกระถางทั้ง 5 สูตร สามารถขึ้นรูปได้ แม้ว่าบางสูตรมีการเสียรูปหลังการขึ้นรูป ทั้งนี้ ผลการศึกษาด้านสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และการทดลองปลูกกวาดงศ์ฮ่องเต้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ วัตถุดิบทุกชนิดมีค่า pH และ TOM เหมาะสมต่อการใช้ทางการเกษตร โดยก่อนเชื้อเห็ดใช้แล้วมีปริมาณ TOM สูงที่สุด ขณะที่มูลวัวมีปริมาณ Total N, Total P₂O₅ และ Total K₂O สูงที่สุด และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

2) สมบัติทางกายภาพและทางกลของกระถางชีวภาพ กระถางทั้ง 5 สูตร สามารถขึ้นรูปได้โดย Biopot-A มีการดูดซับน้ำและการพองตัวสูงที่สุด ขณะที่ Biopot-C, Biopot-D และ Biopot-E มีความหนาแน่นและความพรุนสูงกว่า Biopot-A และ Biopot-B ส่วน Biopot-E มีค่าการต้านทานแรงเจาะสูงที่สุด

3) กวางดั่งฮ้องเต้ที่ทดลองปลูกในกระถางชีวภาพทุกสูตรมีจำนวนต้นงอกและการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุม โดย Biopot-A มีจำนวนต้นงอกสูงที่สุด ขณะที่ Biopot-D และ Biopot-E ให้ผลการเจริญเติบโตของกวางดั่งฮ้องเต้ในภาพรวมสูงกว่าสูตรอื่น โดยทั้งสองสูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติในตัวแปรด้านการเจริญเติบโตหลายรายการ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราการย่อยสลายของกระถาง การวิเคราะห์ธาตุอาหารในกระถางที่ผลิตขึ้นแต่ละสูตร การปลดปล่อยธาตุอาหารจากกระถางสู่ดิน และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตกระถางชีวภาพ เพื่อประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำกระถางชีวภาพไปใช้ทดแทนกระถางพลาสติกในระดับที่กว้างขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Chaichan, W., Sawain, A., & Chaichan, W. (2018). Plant nutrients and biodegradable period of biological plant pot. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 37 (Special Issue), 12-26. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/article/view/124537>
- Department of Agriculture. (2014). *Notification of the Department of Agriculture on organic fertilizer standards B.E. 2557*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf>
- Fuentes, R.A., Berthe, J.A., Barbosa, S.E., & Castillo, L.A. (2021). Development of biodegradable pots from different agroindustrial wastes and byproducts. *Sustainable Materials and Technologies*, 30, e00338. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00338>.
- Gordy, E., Lin, C.Y., Nackley, L., Long, F., Liu, H., Jung, J., & Zhao, Y. (2024). Development and validation of hydrophobic molded pulp nursery pots made of hemp hurd. *Sustainable Materials and Technologies*, 42, e01180. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01180>
- Harahap, H., Nasution, H., Manurung, R., Yustira, A., & Rashid, A.A. (2025). Physical characteristics of biodegradable pots from empty fruit bunches (EFB) and sawdust waste as planting media. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101193. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101193>
- He, J., Zeng, G., Liu, Z., Guo, Z., Zhang, W., Li, Y., Zhou, Y., & Xu, H. (2024). Replacing traditional nursery soil with spent mushroom substrate improves rice seedling quality and soil substrate properties. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 31(27), 39625-39636. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33723-x>
- Homkhiew, C., Thammachot, N., & Boonchouytan, W. (2023). Development of biodegradable pots from wastes of Cockle Mushroom cultivation [In Thai]. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 42(1), 77-92. <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2023.v42i1.256634>
- Huda, N., Rana, M.R., Huq, M.A., Al-Mamun, A., Rahman, S.T., Alam, M.K., & Rahman, M.M. (2024). Understanding vermicompost and organic manure interactions: impact on toxic elements,

- nitrification activity, comammox *Nitrospira inopinata*, and archaea/bacteria. *Environ Monit Assess*, 196(4), 355. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12491-8?utm_source=chatgpt.com
- Inchomrit, P., Pornpibool, K., Pranon, A., Theamdee, P., & Sangsuwan, P. (2024). Biodegradable pot production from dried leaves and cow manure. *The Journal of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University*, 19(2), 116-123. <https://itechjournal.tru.ac.th/ojs/index.php/tru-i-tech/article/view/231>
- Jaya, J.D., Elma, M., Sunardi, S., & Nugroho, A. (2022). Physical and mechanical properties of biodegradable pot derived from oil palm empty fruit bunch and sodium alginate. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, e22210789. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210789>
- Kaewmanee, J. (2021). The production of biodegradable flowerpot from sludge of rubber factory with waste from mushroom culture and palm bunches. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 84-93. <https://doi.org/10.55164/ajstr.v24i1.240816>
- Kunthadong, P., Bunkerd, R., Chotichayapong, C., & Sawadee, P. (2025). Development of biodegradable plant pots from thermoplastic starch/water hyacinth/peanut hulls polymer composites. *Recent Science and Technology*, 17(3), 262954. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/view/262954>
- Mwangi, R.W., Mustafa, M., Kappel, N., Csambalik, L., & Szabó, A. (2024). Practical applications of spent mushroom compost in cultivation and disease control of selected vegetable species. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26, 1918-1933.
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2023). *The thirteenth national economic and social development plan (2023–2027)*. https://www.nesdc.go.th/wp-content/uploads/2025/02/article_file_20230307173518.pdf
- Oyege, I., & Balaji Bhaskar, M.S. (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting sustainable agriculture. *Soil Syst*, 7, 101. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
- Phiri, R., Rangappa, S.M., Siengchin, S., Oladijo, O.P., & Dhakal, H.N. (2023). Development of sustainable biopolymer-based composites for lightweight applications from agricultural waste biomass: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), 436-450. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.04.004>
- Piyang, T., Chaichan, W., & Sagulsawasdipan, K. (2018). Environment-friendly plant pot production from palm oil sludge and mushroom cultured waste [In Thai]. *RMUTSV Research Journal*, 10(3), 497-511. <https://www.repository.rmutsv.ac.th/handle/123456789/1125>
- Rafee, S.N.A.M., Lee, Y.L., Jamalludin, M.R., Abdul Razak, N., Makhtar, N.I., & Ismail, R.I. (2019). Effect of different ratios of biomaterials to banana peels on the weight loss of biodegradable pots. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(1), 1-4. <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0001>
- Raviv, M., & Lieth J.H. (2007). *Soilless culture: Theory and practice* (1st ed.). Elsevier.
- Rehman, S.U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F.P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(4), 1134.
- Ruggeri, G., Mazzocchi, C., Bergamelli, C., & Tosca, A. (2024). Plant the pot! Understanding consumer willingness to pay for sustainability in garden shop products. *Journal of Cleaner Production*, 477, 143855. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143855>
- Saepoo, T., Sarak, S., Mayakun, J., Eksomtramage, T., & Kaewtatip, K. (2023). Thermoplastic starch composite with oil palm mesocarp fiber waste and its application as biodegradable seeding pot. *Carbohydrate Polymers*, 299, 120221. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120221>

- Sangsuwan, P., Detraksa, J., & Inchomrit, P. (2025). Biodegradable plant pots made from dried banana pseudo-stems enriched with a *Bacillus* sp.-biochar composite as an eco-friendly alternative to plastic pots. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 30(3), 168-177.
<https://doi.org/10.22146/ijbiotech.107036>
- Schettini, E., Santagata, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Scarascia Mugnozza, G., & Vox, G. (2013). Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 70, 9-19.
10.1016/j.resconrec.2012.11.002
- Supriyadi, S., Widjajani, B.W., & Murniyanto, E. (2022). The effect of rice husk biochar and cow manure on some soil characteristics, N and P uptake and plant growth of soybean in Alfisol. *Journal of Tropical Soils*, 27(2), 59-66. DOI: 10.5400/jts.2022.v27i2.59-66
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). Sinauer Associates.
- Tomadoni, B., Merino, D., Casalengué, C., & Alvarez, V. (2020). Biodegradable materials for planting pots. *Materials Research Foundations*, 68, 85-103. <https://doi.org/10.21741/9781644900659-4>
- Vieira Junior, W. G., Caitano, C. E. C., Alves, L. da S., Teixeira, P. A. G., Noble, R., Pardo, J. E., & Zied, D. C. (2025). From waste to resource: Sustainable reuse of spent shiitake mushroom substrate in subsequent production cycles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 200, 106034.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106034>
- Zhang, X., Wang, C., & Chen, Y. (2019). Properties of selected biodegradable seedling plug-trays. *Scientia Horticulturae*, 249, 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.055>