กระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน
Biodegradable pots from water hyacinth using cassava starch and cassava pulp as binder

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล[1*] ธรพร บุศย์น้ำเพชร[1] กนกวรรณ ศุกรนันทน์[1] และ พิมผกา โพธิลังกา[2]

[1] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จ.ลำปาง 52100

Nipon Tanpaiboonkul[1*], Tharaporn Budnumpetch[1], Kanokwan Sukaranandara[1] and Phimphaka Phothilangka[2]

[1]Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

[2]Faculty of Sciences, Lampang Rajaphat University, Lampang 52100, Thailand

Received: 27 October 2021/ Revised: 6 May 2022/ Accepted: 23 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทำกระถางชีวภาพ 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นส่วนผสมของผักตบชวากับแป้งมันสำปะหลัง และชนิดที่ 2 เป็นส่วนผสมของผักตบชวากับกากมันสำปะหลัง ซึ่งแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังทำหน้าที่ตัวประสาน อัตราส่วนผสมผักตบชวา: ตัวประสาน 0:1, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก โดยผักตบชวามีธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) เท่ากับ 0.51±0.01, 0.15±0.01และ 6.25±0.18 % จากการศึกษาพบว่ากระถางชีวภาพที่ใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปได้ที่อัตราส่วน 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 และ 8:2 ส่วนตัวประสานกากมันสำปะหลังขึ้นรูปได้ที่อัตราส่วน 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 ซึ่งทั้งหมดมีสภาพสมบูรณ์ ไม่บวมหรือหดตัว โดยกระถางชีวภาพผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 5:5 มีค่ารับแรงอัดสูงสุดที่ 0.81 เมกะปาสกาล ในขณะที่ผักตบชวา และกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 5:5 มีค่า 0.41 เมกะปาสกาล ไม่พบการสลายตัวไปกับน้ำเมื่อทดสอบค่าการอุ้มน้ำในกระถางชีวภาพ ผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 4:6, 5:5 และ 6:4 เช่นเดียวกับกระถางชีวภาพ ผักตบชวา : กากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 และ 6:4 นอกจากนี้พบว่าความพรุนของกระถางชีวภาพที่อัตราส่วน 6:4 ทั้ง กระถางชีวภาพผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลัง และ กระถางชีวภาพผักตบชวา : กากมันสำปะหลังมีค่าสูงสุดที่ 85.7 % และ 83.8 % ตามลำดับ ดังนั้นกระถางชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ที่อัตราส่วน 5:5 และ 6:4 มีความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปนำไปใช้งาน เมื่อศึกษาการเสื่อมสภาพด้วยการปลูกผักชีเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบร่องรอยการเสื่อมสภาพในกระถางชีวภาพตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไปและเสียรูปทรงในสัปดาห์ที่ 7 เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกลแล้ว ผักตบชวาที่มีตัวประสานทั้ง 2 ชนิด ในอัตราส่วน 5:5 และ 6:4 สามารถนำมาใช้ในการปลูกได้จริง

คำสำคัญ: กระถางชีวภาพ ผักตบชวา แป้งมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง การเสื่อมสภาพ

Corresponding author: nipon.t@msu.ac.th

Abstract

Two types of bio-pots were studied; The first type is a mixture of water hyacinth and cassava starch and the second type is a mixture of water hyacinth and cassava pulp. The treatments consisted of varying ratios of water hyacinth waste to binder, including 0:1, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1 and 1:0 by weight. The results revealed that the water hyacinth contains 0.51±0.01% wt. N, 0.15±0.01 % wt. P, and 6.25±0.18 % wt. K. The water hyacinth with cassava starch binder can be formed at the ratio of 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 and 8:2 whereas the cassava residue binder was formed at 4:6, 5:5, 6:4 and 7:3 The pots are intact, no cracks and no shrinkage. With the mechanical properties test, the flowerpots with the ratio of 5:5 (water hyacinth: cassava starch) showed the highest compression test at 0.81 MPa, while water hyacinth and cassava residue at the ratio of 5:5 gained 0.41 MPa. The water holding capacity of the ratio 4:6, 5:5 and 6:4 (water hyacinth: cassava starch) did not decompose with water as well as the ratio5:5 and 6:4 (water hyacinth: cassava residue). Moreover, the ratio of 6:4 of water hyacinth and cassava starch pots gained 85.7 % porosity whereas water hyacinth and cassava residue pots gained 83.8 %. Therefore, both types of biological pots at the ratio of 5:5 and 6:4 are suitable for molding and use. A 12-week study on deterioration with coriander planting showed signs of deterioration in the bio-pot from the 3rd week onwards, then began to lose its shape in the 7th week. Considering on mechanical properties, water hyacinth with both binder at the ratio of 5:5 and 6:4 were practical used for planting.

Keywords: biodegradable pot, water hyacinth, cassava starch, cassava pulp, deterioration

บทนำ

ผักตบชวาจัดได้ว่าเป็นวัชพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหาและแพร่กระจายไปในประเทศต่างๆกว่า 50 ประเทศในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลกสร้างความยากลำบากและทำให้เกิดปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำความเสียหายต่อสภาพเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศต่างๆประเทศไทยมีการแพร่ระบาดของผักตบชวาอย่างรุนแรงในแถบที่ราบลุ่มภาคกลางโดยเฉพาะในที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีนน้ำเสียจากชุมชน และอุตสาหกรรมตลอดจนน้ำทิ้งจากบ่อปลาและฟาร์มสุกรทำให้ในน้ำมีธาตุอาหารสูงทำให้ผักตบชวาเติบโตได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าเฉพาะในบริเวณแม่น้ำท่าจีนจะมีผักตบชวาไหลลงสู่อ่าวไทยประมาณวันละ 2,000 ตัน ทำให้เกิดปัญหาเช่นกรณีผักตบชวาลอยเต็มแม่น้ำลำคลองการขนส่งและการสัญจรทางน้ำเป็นไปอย่างยากลำบากเป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำจนนำไปสู่ปัญหาน้ำท่วม [1] นอกจากนี้ผักตบชวาที่ขึ้นหนาแน่นจะเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและการจับปลา ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ลดที่อยู่อาศัยของปลา มีแสงสว่างในน้ำลดลงทำให้พืชอาหารของปลาขนาดเล็กหรือไฟโตแพลงก์ตอนมีปริมาณลดลงอีกด้วย ซึ่งไฟโตแพลงก์ตอนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนในน้ำมีความจำเป็นต่อปลาและสัตว์น้ำทุกชนิด [2] ในทางกลับกันผักตบชวานั้นมีประโยชน์มากมายไม่ว่าจะเป็นการนำไปทำเป็นอาหารสัตว์พืชส่วนใหญ่ที่มีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูงสามารถนำไปใช้เป็นอาหารของสัตว์กระเพาะรวมมากกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว [3] หรือนำไปผลิตก๊าซชีวภาพได้มีงานวิจัยศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ[4] หรือนำไปทำปุ๋ยหมักโดยหมักร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR20 [5] หรือทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง [6] และยังสามารถนำมาช่วยในการบำบัดน้ำเสียบำบัดสารมลพิษที่

ปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้แก่ อินทรียวัตถุและธาตุอาหารต่างๆ เช่นไนโตรเจนฟอสฟอรัสเป็นต้น นอกจากนี้ยังบำบัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียและสารแขวนลอยได้ดี [7] นำมาแปรรูปเป็นเครื่องจักรสาน [8] และนำมาทำเป็นกระถางชีวภาพโดยมีการศึกษาวิจัยผลิตกระถางจากผักตบชวาโดยการนำผักตบชวามาย่อยเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปตากให้แห้งนำมาผสมกับดินเหนียวในอัตราส่วน 1:3 ใส่น้ำให้พอเหมาะเพิ่มความเหนียวของดินด้วยกาวแป้งเปียกกระถางผักตบชวาที่ได้นั้นสามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตในกระถางนานถึง 3-6 เดือนสามารถนำไปปลูกลงดินพร้อมกระถางโดยต้นพืชจะถูกกระทบกระเทือนน้อยที่สุดส่วนตัวกระถางนั้นก็จะย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยให้กับต้นพืชในที่สุด [9] ผักตบชวามีสารอาหารที่พืชต้องการได้แก่ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งจากการศึกษาการทำปุ๋ยหมักร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินระบบบำบัดน้ำเสียมีการวิเคราะห์ธาตุอาหารเริ่มต้นของผักตบชวาพบปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ 2.77, 0.60 และ 3.20 เปอร์เซ็นต์ [5] โดยปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในผักตบชวาสามารถช่วยในเรื่องของการเสริมสร้างให้ต้นพืชนั้นเกิดการเจริญเติบโตได้

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาการขึ้นรูปกระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิดคือแป้งมันสำปะหลังที่โดยทั่วไปใช้เป็นตัวประสานแต่ต้องหาซื้อตามท้องตลาดและกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์เพื่อลดปริมาณของเสียและทดแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังที่มีราคาสูงกว่า โดยศึกษาสมบัติเชิงกล และการเสื่อมสภาพของกระถางเพื่อประเมินถึงความเป็นไปได้ต่อสภาพการใช้งานจริงและเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ

ผักตบชวาได้จากบ่อน้ำสาธารณะ บ้านหนองผือ ตำบลหนองบัว อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม กากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้ง บ้านหนองปลาเข็ง ตำบลหนองบัว อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม นำผักตบ และกากมันสำปะหลังมาตากแดดให้แห้งนาน 1 สัปดาห์หั่นเป็นชิ้นเล็กนำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

การออกแบบกระถาง แบบกระถาง (Mold) เป็นรูปทรงกรวย ด้านบนกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความสูงของกระถาง 5.9 นิ้ว ฐานของกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วและความหนาของกระถางขนาด 0.8 นิ้ว

2. การวิเคราะห์วัตถุดิบ

นำตัวอย่างผักตบชวา แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น TM 4000 Plus HITACHI เพื่อศึกษาลักษณะของเส้นใยของวัสดุก่อนนำมาขึ้นรูป วิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ทั้งหมด (Total N) ด้วยวิธี KjeldahlMethod วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส(P)ทั้งหมด (Total P) ด้วยวิธี Vanadomolybdate (Barton method) และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม (K) ทั้งหมด (Total K) ด้วยเครื่อง Flame photometer ตามวิธีวิเคราะห์ดินและพืชของกรมพัฒนาที่ดิน [10]

3. การขึ้นรูปกระถาง

ทำการชั่งตวงส่วนผสมตามสัดส่วนตามตารางที่ 1 เตรียมตัวประสานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ต่อ น้ำ 250 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งมีความข้นเหนียวก่อนนำไปผสมกับผักตบชวาที่เตรียมไว้ในขณะที่ตัวประสานกากมันสำปะหลังใช้อัตราส่วนกากมันสำปะหลัง 100 กรัมต่อน้ำ 350 มิลลิลิตร ให้ความร้อนกวนนาน 5 นาที จนมีลักษณะข้นเหนียวก่อนนำไปผสมคลุกเคล้ากับผักตบชวาที่เตรียมไว้ในตาราง จากนั้นนำส่วนผสมในแต่ละอัตราส่วนมาใส่ในแบบกระถางและอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกด้วยแรงกด 10 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) เป็นเวลา 2 นาทีจากนั้นถอดและนำกระถางออกจากแบบก่อนนำไปตากแดดไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมงหรือจนกว่ากระถางแห้งเพื่อเตรียมใช้ทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนส่วนผสมที่ใช้ศึกษา

ส่วนผสม	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก								
ผักตบ:แป้งมันสำปะหลัง	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2	9:1
ผักตบ: กากมันสำปะหลัง	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2	9:1

4. การทดสอบคุณสมบัติกระถางชีวภาพ

4.1 ทดสอบการรับแรงอัด (Compressive strength) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ขนาด 300 กิโลนิวตันModel KD-30 ระบบไฮดรอลิกบริษัท K.THAITHAMRONG ENGINEERING Limited Partnership เพื่อทดสอบความแข็งแรงจากการกดทับของกระถางชีวภาพ บันทึกค่าแรงกดสูงสุดจากตัวอย่าง 3 ซ้ำ ที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบก่อนนำไปคำนวณค่ากำลังอัดจากสมการ

$$(Fc) = (P*0.098)/A \quad (1)$$

เมื่อ Fc คือกำลังอัด (เมกกะปาสกาล, MPa), P คือน้ำหนักกดสูงสุดต่อก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม), A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่รับแรง (ตารางเซนติเมตร, cm^2)

4.2 ทดสอบค่าการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของกระถาง เป็นการหาปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้ในกระถางภายหลังจากการแช่ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเทียบกับน้ำหนักของกระถางแห้งโดยชั่งน้ำหนักกระถางชีวภาพก่อนนำกระถางชีวภาพไปทำการทดลองการอุ้มน้ำใช้วิธีสุ่มตัวอย่างกระถางมาทดลองตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดเท่ากัน จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างแช่ลงในภาชนะที่มีน้ำรองรับไว้ใส่ลงในปริมาณ 5-10 ลิตรทำการจับเวลาที่ 1 ชั่วโมงจากตัวอย่าง 3 ซ้ำ และประยุกต์การคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำจากงานวิจัยของ Xinggang Wang และคณะ [11] จากสมการ

$$(W) = \frac{ws - wd}{wd} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W คือ % ของการอุ้มน้ำ, ws คือน้ำหนักของวัสดุที่อิ่มน้ำ และ wd คือน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

4.3ทดสอบค่าความพรุนโดยนำตัวอย่างที่ตากแห้งหรืออบเรียบร้อยแล้วมาตัดเป็นชิ้นขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร มาหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density, ρb) และความหนาแน่นแท้จริงของกระถาง (True Density, ρs) ตามวิธีของ ปทุมทิพย์ และคณะ[12] จากตัวอย่าง 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณค่าความพรุนจากสมการที่ 3

$$\varepsilon = [1- (\rho b/\rho s)] \times 100 \quad (3)$$

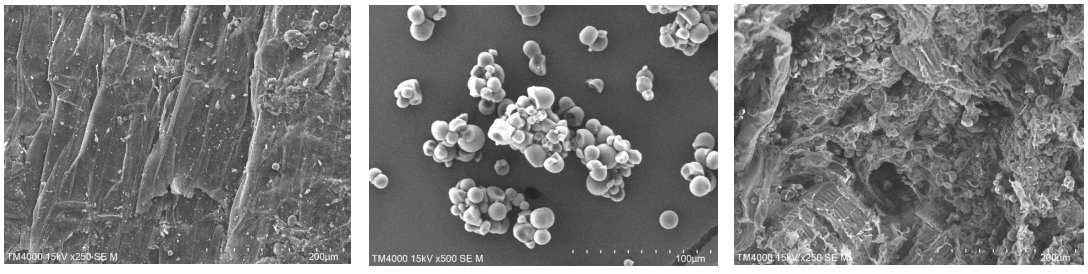
เมื่อ ε = ความพรุน, ρs = ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3) และ ρb = ความหนาแน่นรวมของกระถางต้นไม้ (g/cm^3)

4.4 การศึกษาการเสื่อมสภาพและการย่อยสลาย คัดเลือกอัตราส่วนกระถางชีวภาพที่อัตราส่วน 5:5 และ 6:4 ของตัวประสานทั้ง 2 ชนิด เมื่อพิจารณาจากการทดสอบสมบัติเชิงกล โดยใช้กระถางไบโอพลาสติกที่มีส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวเป็นชุดควบคุม ศึกษาการเสื่อมสภาพและการสลายตัวของกระถางด้วยการนำกระถางมาปลูกต้นผักชีและวางในพื้นที่แสงแดดสามารถส่องถึงรดน้ำปริมาณ 250 มิลลิลิตรต่อวัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระถางทุกวันด้วยการบันทึกภาพในระยะการทดลองทั้งหมด 60 วัน ส่วนการศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพทำโดยนำชิ้นตัวอย่างกระถางไปฝังในดินที่มีจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยออกซิเจนเป็นระยะเวลา 44 วัน

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์วัตถุดิบ

จากภาพที่ 1แสดงภาพถ่ายลักษณะของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) จากภาพที่ 1 ก พบว่าผักตบชวามีลักษณะเป็นเส้นใยและมองเห็นเส้นใยเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมากภาพที่ 1 ข พบว่าแป้งมันสำปะหลังไม่มีเส้นใยเซลลูโลสแต่พบถุงแป้งจำนวนมาก และภาพที่ 1 ค แสดงลักษณะผนังเซลของกากมันสำปะหลังเป็นแท่งสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นถุงกลมแทรกตัวอยู่ในผนังเซลล์จำนวนมาก และสังเกตเห็นเส้นใยเซลลูโลสมากพอสมควร



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 (ก) ภาพถ่าย SEM ผักตบชวากำลังขยาย 250 เท่า (ข) SEM แป้งมันสำปะหลังกำลังขยาย 500 เท่า และ (ค) SEM กากมันสำปะหลังกำลังขยาย 250 เท่า

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) และโพแทสเซียมทั้งหมด (K) ในวัตถุดิบ ซึ่งพบปริมาณไนโตรเจน (N) ในผักตบชวา, แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเท่ากับ 0.51±0.01 , 0 และ 0.24±0.01 %wt.ปริมาณฟอสฟอรัส (P) เท่ากับ 0.15±0.01, 0.02±0.002 และ 0.0006±0.00003% wt.และปริมาณโพแทสเซียม (K) 6.25±0.18 , 0.21±0.01และ 0.66±0.04% wt. ตามลำดับเนื่องจากผักตบชวามีโครงสร้างที่เป็นเส้นใยอยู่มากและมีรากที่ช่วยในการสะสมธาตุอาหารสะสมไว้ที่บริเวณใบและลำต้นจึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสของผักตบชวามีมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง โดยสอดคล้องกับผลการทดลองของ สุทธี และคณะ [13] ซึ่งพบปริมาณธาตุอาหารสำคัญจากการศึกษาปุ๋ยหมักจากผักตบชวาเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มผลผลิต ที่มีปริมาณปริมาณไนโตรเจน 1.3% wt. ฟอสฟอรัส1.3% wt. และมีโพแทสเซียมอยู่ที่ 3.14% wt. หรือจากการศึกษาของ ประไพพรรณ [5] ที่พบปริมาณไนโตรเจน 2.77% wt. ฟอสฟอรัส 0.60% wt. และมีโพแทสเซียมอยู่ที่ 3.20% wt. ในผักตบชวาที่นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักร่วมกับตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังนั้นก็มีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสอยู่เช่นกันแต่จะมีในปริมาณที่น้อยกว่าผักตบชวาซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองของ สุกัญญา และวราพันธุ์ [14] ที่รายงานส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกมันสำปะหลังมีปริมาณไนโตรเจน อยู่ที่ 0.58% wt. ฟอสฟอรัสอยู่ที่ 0.05% wt.โพแทสเซียมอยู่ที่ 0.56% wt. ดังสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ในวัสดุหลัก

งานวิจัย	ผักตบชวา			แป้งมันสำปะหลัง			กากมันสำปะหลัง		
	N(%wt.)	P(%wt.)	K(%wt.)	N(%wt.)	P(%wt.)	K(%wt.)	N(%wt.)	P(%wt.)	K(%wt.)
ประไพพรรณ [5]	2.77	0.60	3.20	-	-	-	-	-	-
สุทธี และคณะ [12]	1.3	1.3	3.14	-	-	-	-	-	-
สุกัญญา และวราพันธุ์ 13]	-	-	-	-	-	-	0.58	0.05	0.56
ผลการศึกษา	0.51±	0.15±	6.25±	-	0.02±	0.21±	0.24±	0.0006±	0.66±
ของงานวิจัยนี้	0.01	0.01	0.18		0.002	0.01	0.01	0.00003	0.04

จากข้อมูลของวาสนา [15] ที่กล่าวว่าธาตุอาหารจำเป็นสำหรับพืชทั่วไปที่ยอมรับกันแล้วมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คือธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) เช่น ไนโตรเจนฟอสฟอรัสโพแทสเซียมกลุ่มที่ 2 คือ ธาตุอาหารรอง (micronutrients) เช่น เหล็กสังกะสีทองแดง เป็นต้น ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากระถางชีวภาพที่ผลิตขึ้นนั้นมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชอยู่ในวัตถุดิบจึงมีส่วนช่วยเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชหากกระถางย่อยสลายเองโดยธรรมชาติและช่วยปรับปรุงดินได้เช่นเดียวกับ Schettini และคณะ [16] ที่ได้กล่าวถึงข้อดีของการใช้กระถางชีวภาพที่ย่อยสลายได้สามารถเพิ่มการพัฒนาของรากพืชการเจริญเติบโตของพืชและยังช่วยการปรับสภาพพืชภายหลังจากการปลูกถ่ายพืชลงดินที่เกิดจากความผิดปกติของรากได้อีกด้วย

2. การขึ้นรูปกระถางชีวภาพ

จากอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังตารางที่ 1 ขึ้นรูปกระถางชีวภาพผักตบชวาที่ใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและผักตบชวากับตัวประสานกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และ 9:1 (โดยผสมตัวประสานกับน้ำก่อน ตามหัวข้อวิธีการศึกษาที่ 3) ซึ่งลักษณะกระถางชีวภาพภายหลังจากการขึ้นรูปแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3 พบว่ากระถางชีวภาพสามารถขึ้นรูปได้ในอัตราส่วนของผักตบชวาต่อตัวประสานทั้ง 2 ชนิด ที่อัตราส่วน 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 ขณะที่อัตราส่วน 8:2 และ 9:1 ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากมีตัวประสานช่วยยึดเกาะน้อยเกินไป และอัตราส่วน 1:9, 2:8 และ 3:7 ที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากมีส่วนผสมตัวประสานมากเกินไปทำให้กระถางมีลักษณะเหลวไม่จับตัวกันเป็นรูปทรงที่ต้องการ อัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งการขึ้นรูปกระถางที่สมบูรณ์นั้นสามารถขึ้นรูปกระถางตามแม่พิมพ์ได้ง่าย ถอดแม่พิมพ์ของกระถางออกได้ทันทีมีความคงตัว ไม่แตก และไม่ยุ่ยง่าย [17]

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล

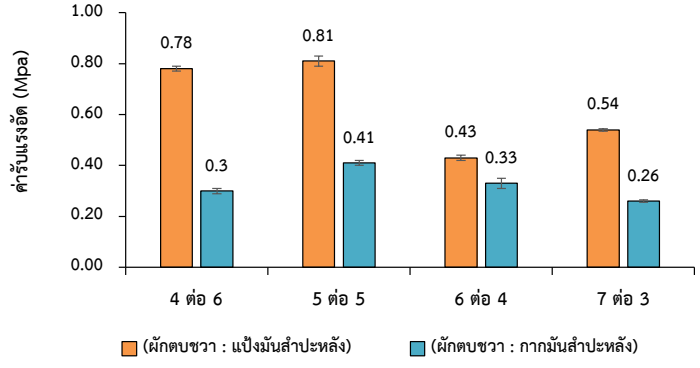
3.1 การรับแรงอัดของกระถางชีวภาพ

การทดสอบการรับแรงอัดของกระถางชีวภาพของอัตราส่วนผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังแสดงให้เห็นดังภาพที่ 2

ตารางที่ 3 การขึ้นรูปกระถางชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆของผักตบชวาต่อตัวประสานทั้ง 2 ชนิด

	ผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลัง		ผักตบชวา : กากมันสำปะหลัง	
อัตราส่วน	**ลักษณะทางกายภาพ**		**ลักษณะทางกายภาพ**	
4:6		ขึ้นรูปได้ มีลักษณะบิดเบี้ยวที่ก้นกระถาง ผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรง		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ มีความแข็งแรง ผิวเรียบเนียน
5:5		ขึ้นรูปได้ มีลักษณะบิดเบี้ยวที่ก้นกระถางเล็กน้อย ผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรง		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ มีความแข็งแรง ผิวเรียบเนียน
6:4		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ ผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรง		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ มีรอยแตกเล็กน้อยบริเวณขอบกระถาง ผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรง
7:3		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ ผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรง		ขึ้นรูปได้ มีรูปทรงสมบูรณ์ ผิวไม่เรียบมีรอยแตกรอบๆกระถาง มีความแข็งแรง

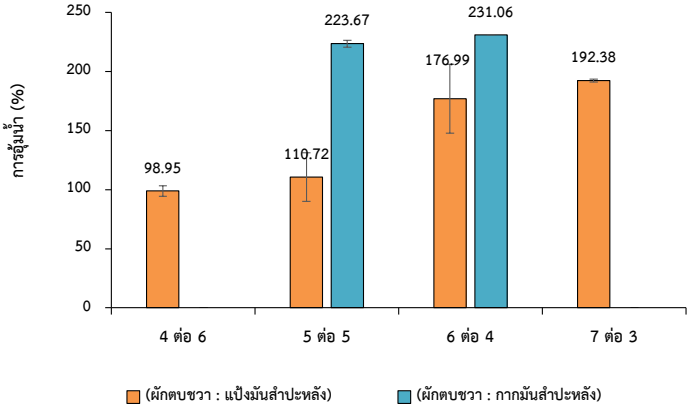
จากภาพที่ 2แสดงค่ารับแรงอัดของกระถางชีวภาพในอัตราส่วนผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าแรงกดเท่ากับ 0.81 MPa เป็นค่าที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น เช่นเดียวกับกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าแรงกดที่สูงสุดเท่ากับ 0.41 MPa เนื่องจากอัตราส่วนที่ 5:5 เป็นการผสมกันระหว่างผักตบชวาและแป้งมันสำปะหลังสำปะลังในอัตราส่วนที่เหมาะสม ขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ตัวกระถางยึดเกาะกันแน่นส่งผลให้ค่าแรงดัดสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ซึ่งการผสมระหว่างผักตบชวาและกากมันสำปะหลังเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ตัวกระถางยึดเกาะกันแน่น [18] นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของพินทุม และสุชานันท์ [19] ที่กล่าวถึงความแข็งแรงของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวประสานที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสมทำให้เกิดการจับตัวกันแน่นขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของกระถางเพาะชำชีวภาพมีค่ามากขึ้นไปด้วย



ภาพที่ 2 การรับแรงอัดของกระถางชีวภาพ

3.2 การอุ้มน้ำของกระถางชีวภาพ

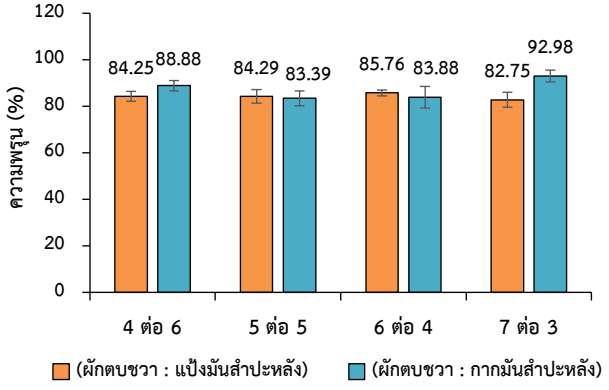
จากการทดลองการอุ้มน้ำของกระถางชีวภาพพบอัตราส่วนผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังสามารถทดสอบได้ใน 4 อัตราส่วนคือ 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 ส่วนผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลัง สามารถทดสอบได้ใน 2 อัตราส่วนคือ 5:5 และ 6:4 ดังแสดงภาพที่ 3 โดยกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 มีค่าการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจาก 98.95 เป็น 110.72, 176.99 และ 192.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้นจึงมีการซับน้ำที่ดี กระถางชีวภาพมีสภาพคงเดิมไม่มีการแตกสลายไปกับน้ำขณะที่มีการแช่น้ำโดยอัตราส่วนที่ 7:3 ที่มีการอุ้มน้ำที่สูงที่สุดเท่ากับ 192.38 เปอร์เซ็นต์ แต่กระถางเกิดการแตกสลายไปกับน้ำจำนวน 1 กระถางจากตัวอย่าง 3 ซ้ำ จึงทำให้อัตราส่วน 6:4 มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 176.99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 5:5 และ 6:4 มีค่าการอุ้มน้ำเท่ากับ 223.67 และ 231.06 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนอื่นกระถางมีการสลายไปกับน้ำในขณะแช่น้ำไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักได้และเมื่อเปรียบเทียบตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วนเดียวกัน พบว่ากระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังมีการอุ้มน้ำมากกว่ากากมันสำปะหลัง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากตัวประสานแป้งมันสำปะหลังนั้นมีการยึดเกาะที่ดีกว่ากากมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งที่ทำหน้าที่เป็นกาวมากกว่าเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีถุงแป้งเป็นส่วนใหญ่ซึ่งสังเกตจากภาพถ่าย SEM ตามภาพที่ 1 ในขณะที่กากมันสำปะหลังมีถุงแป้งน้อยกว่าทั้งนี้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนที่ถูกคัดแยกออกส่วนประกอบมีลักษณะเป็นผนังเซลล์ที่ห่อหุ้มเนื้อแป้งไว้เป็นส่วนใหญ่



ภาพที่ 3 ค่าการอุ้มน้ำของกระถางชีวภาพ

3.3 ความพรุนของกระถางชีวภาพ

การทดสอบความพรุนของกระถางชีวภาพของอัตราส่วนผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังและอัตราส่วนผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังแสดงในภาพที่ 4 จากการศึกษาพบว่า ทุกอัตราส่วนที่ทดสอบมีความพรุนอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ระหว่าง 82.75 – 92.98 เปอร์เซ็นต์ โดยกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 และ 6:4 มีค่าความพรุนเท่ากับ 84.29 และ 85.76 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กระถางชีวภาพผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนเดียวกันมีค่า 83.39 และ 83.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งกระถางที่มีความพรุนภายในทำให้มีช่องว่างในการถ่ายเทอากาศสะดวก สามารถช่วยให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ดี [20]



ภาพที่ 4 ค่าความพรุนของกระถางชีวภาพ

3.4 การเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ

จากการทดลองการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ ในอัตราส่วนที่ถูกเลือกมาเมื่อใช้ตัวประสานทั้ง 2 ชนิด คือ 5:5 และ 6:4 โดยใช้กระถางที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวเป็นชุดควบคุมปลูกต้นผักชีเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยผลการศึกษาแสดงดังตารางที่4ซึ่งพบว่ากระถางชีวภาพในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนเป็นที่สังเกตได้ช่วงสัปดาห์ที่ 3 เริ่มสังเกตเห็นว่ามีอัตราการงอกของเมล็ดในทุกกระถางช่วงสัปดาห์ที่ 4-7 เริ่มมีการเจริญเติบโตของต้นผักชีและเริ่มเกิดการเสื่อมของกระถางและเริ่มมีราขึ้นในชุดการทดลองเนื่องจากสภาพอากาศระหว่างการทดลองนั้นมีความร้อนและชื้นช่วงสัปดาห์ที่ 8-12 มีการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพในทุกๆ ชุดการทดลอง ก้นกระถางมีรอยแยกชัดเจน ต้นผักชีมีการเหี่ยวเฉาเนื่องมาจากสภาพอากาศ และความชื้นที่ได้รับจากการรดน้ำทุกวันส่วนกระถางชุดควบคุมที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวจะมีความคงทนและเกิดการเสื่อมสภาพน้อยที่สุดโดยกระถางชีวภาพจากผักตบชวากับกากมันสำปะหลังเกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่ากระถางชีวภาพที่ทำจากผักตบชวากับแป้งมันสำปะหลังและกระถางชุดควบคุม สอดคล้องกับผลการทดลองของ เจนจิรา และพัชรี [21] ที่กล่าวว่ากระถางชีวภาพผักตบชวาที่ทำจากอัตราส่วนของผักตบชวา:แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : 200 กรัม หรือเทียบได้กับอัตราส่วน 5:5 โดยน้ำหนักในชุดการทดลองนั้นมีความทนทานในการปลูกพืชและกระบวนการสลายของกระถางไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงกับพืชที่นำมาปลูก นอกจากนี้ยังพบว่ากระถางชีวภาพที่ทำจากผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 มีการเสื่อมสภาพได้ช้ากว่าอัตราส่วนอื่นๆ และมีการเติบโตของต้นผักชีมากซึ่งสังเกตจากลักษณะต้นที่เจริญเติบโตในกระถางจากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าหากมีการนำกระถางชีวภาพอัตราส่วนนี้ไปใช้เพาะชำพืชแล้วสามารถนำต้นพืชลงปลูกในดินได้พร้อมกระถางโดยที่วัสดุที่นำมาทำกระถางสามารถถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นวัสดุปรับปรุงดินให้กับพืชในที่สุดเนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช

3.5 กระถางชีวภาพที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย

กระถางชีวภาพที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยนำไปฝังไว้ในดินที่ผสมปุ๋ยมูลไส้เดือนทั้ง 5 ชุด การทดลองเมื่อครบระยะเวลาทั้งหมด 44 วัน จึงได้นำชิ้นตัวอย่างของกระถางชีวภาพมาสังเกตลักษณะของตัวอย่างโดยตัดชิ้นตัวอย่างและนำมาผึ่งแดดไล่ความชื้นโดยลักษณะของชิ้นตัวอย่างนั้นแสดงในตารางที่ 5 พบว่ากระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 5:5 มีการเสื่อมสลายที่สามารถมองเห็นได้ชัดและอัตราส่วน 6:4 เริ่มพบเชื้อราเกิดขึ้นที่กระถาง กระถางชีวภาพผักตบชวากับกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 เกิดการสลายของชิ้นตัวอย่างและมีการพองตัวในบางจุด อัตราส่วนที่ 6:4 มีลักษณะการพองตัวของชิ้นตัวอย่างมีลักษณะอ่อนตัว สำหรับกระถางควบคุมที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวยังคงมีลักษณะสภาพที่ดีมีการย่อยสลายน้อยกว่าชุดการทดลองซึ่งสาธินี และคณะ [22] ได้กล่าวว่าดินที่ใช้ในการปลูกต้นไม้ มักมีเศษใบพืชซึ่งเป็นเซลลูโลสปะปนอยู่ มีจุลินทรีย์ในดินที่มีความคุ้นเคยกับการย่อยเซลลูโลสหรือมีเอนไซม์ที่มีอยู่เดิมจึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วเมื่อนำตัวอย่างลงไปในดิน

ตารางที่ 4 การเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพที่ทำจากผักตบชวาและตัวประสาน 2 ชนิด

สัปดาห์ที่	กระถางควบคุม	ผักตบ : แป้งมันสำปะหลัง		ผักตบ : กากมันสำปะหลัง	
	เส้นใยมะพร้าว	5:5	6:4	5:5	6:4
1					
2					
3					
4					
5					

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	กระถางควบคุม	ผักตบ : แป้งมันสำปะหลัง		ผักตบ : กากมันสำปะหลัง	
	เส้นใยมะพร้าว	5:5	6:4	5:5	6:4
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

ตารางที่ 5 ผลของการย่อยสลายทางชีวภาพของกระถาง

	ผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลัง		ผักตบชวา : กากมันสำปะหลัง	
อัตราส่วน	ลักษณะกระถาง		ลักษณะกระถาง	
5:5		มีร่องรอยการย่อยสลายทางชีวภาพ พองตัว มีราขึ้น และมีการหลุดของชิ้นตัวอย่าง		มีร่องรอยการย่อยสลายทางชีวภาพ มีการพองตัว มีราขึ้นตามชิ้นตัวอย่าง มีการหลุดของชิ้นตัวอย่าง
6:4		มีร่องรอยการย่อยสลาย มีการพองตัว มีราขึ้นชิ้นตัวอย่าง		มีร่องรอยการย่อยสลายทางชีวภาพ มีการพองตัว มีราขึ้นเล็กน้อย มีการหลุดของเส้นใยของวัตถุดิบ
กระถางเส้นใยมะพร้าว		ไม่มีร่องรอยการย่อยสลายทางชีวภาพที่เด่นชัดเส้นใยกากมะพร้าวเริ่มไม่เกาะตัว		ไม่มีร่องรอยการย่อยสลายทางชีวภาพที่เด่นชัดเส้นใยกากมะพร้าวเริ่มไม่เกาะตัว

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำกระถางชีวภาพจากผักตบชวาโดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือแป้งมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังที่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรนั้น สามารถขึ้นรูปกระถางได้ 4 อัตราส่วนของผักตบชวาต่อตัวประสานทั้ง 2 ชนิด คือ 6:4, 5:5, 4:6 และ 7:3 โดยน้ำหนัก มีรูปทรงสมบูรณ์ ผิวเรียบเนียน แข็งแรง โดยพบว่าทั้งกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังและกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5:5 มีค่ารับแรงกดสูงสุดที่ 0.81และ 0.41 MPa เนื่องจากตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีเนื้อแป้งที่ประกอบไปด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ที่ทำให้เกิดเจลาตินเมื่อได้รับความร้อน [23] ทำให้เป็นตัวเชื่อมประสานอนุภาคของผักตบชวาให้มีความแข็งแรงและทนทานได้ดี เมื่อนำมาทดสอบการอุ้มน้ำนั้นพบว่ากระถางชีวภาพผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลังสามารถวัดค่าการอุ้มน้ำได้ทั้ง 4 อัตราส่วน โดยอัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนักมีค่าการอุ้มน้ำสูงสุดที่ 176.99 เปอร์เซ็นต์ส่วนกระถางชีวภาพผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลังสามารถวัดค่าการอุ้มน้ำได้ 2 อัตราส่วน คือ 5:5 และ 6: 4 โดยน้ำหนักเพราะอัตราส่วนอื่นมีการสลายตัวละลายไปกับน้ำที่แช่กระถาง โดยอัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนักมีค่าการอุ้มน้ำสูงสุดที่ 231.06 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบความพรุนพบว่ากระถางชีวภาพทั้ง 4 อัตราส่วนที่ใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังมีความพรุนอยู่ระหว่าง 82.75-85.76 % ตัวประสานกากมันสำปะหลัง 83.39-92.98 % ตามลำดับ ทั้งนี้ความพรุนของกระถางมีส่วนทำให้เพิ่มการถ่ายเทอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อการย่อยสลายของกระถางในธรรมชาติได้ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สุทธิษา และคณะ [24] ที่พบการย่อยสลายมากขึ้นเมื่อเพิ่มเส้นใยจากต้นสาคูจากการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้เนื่องจากความพรุนเพิ่มมากขึ้น

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระถางชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ทำการคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 5:5 และ 6:4 ทดสอบการเสื่อมสภาพภายในระยะเวลา 12 สัปดาห์

(ตารางที่ 4) และการย่อยสลายภายในเวลา 44 วัน (ตารางที่ 5) นั้นพบร่องรอยการเสื่อมสภาพตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไปลักษณะของการสลายตัวมีการพองตัวของชิ้นตัวอย่างและหลุดออกของเส้นใยพร้อมกับมีราขึ้น มีสภาพการเสื่อมสลายตัวไปอย่างช้าๆ แต่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับกระถางชุดควบคุมที่ทำจากเส้นใยมะพร้าว ซึ่งการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งยืนยันได้ว่ากระถางชีวภาพสามารถเสื่อมและสลายตัวได้ในธรรมชาติในระยะเวลาไม่นาน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2563 คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ร่วมวิจัยทุกท่านจากทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่ร่วมกันทำงานจนประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. สุธีรา ชูบัณฑิต. ผักตบชวา ปัญหาระดับชาติกฎหมายกำจัดผักตบชวา. [อินเตอร์เน็ต]. 2021 [เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://61.19.241.96/w3c/senate/pictures/content/file_1408435896.pdf
2. ศุภฤกษ์ ดวงขวัญ. การจัดการผักตบชวา. [อินเตอร์เน็ต]. 2021 [เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://reo06.mnre.go.th/home/images/upload/file/report/work2554/supareak01.pdf
3. อาภรณ์ ส่งแสง, อัจฉรัตน์ สุวรรณภักดี. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ทรัพยากรชีวภาพในทะเลน้อยเพื่อการเลี้ยงสัตว์: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2548,มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา; 2548.
4. กิตติยา ป้อมเงิน, ประภา โซ๊ะสลาม, รัชพล พะวงศ์รัตน์. การผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย การนึ่งร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 2559; 8(3):76-86.
5. ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์. การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น และกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขานครินทร์. สงขลา; 2559.
6. นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล, ธรพร บุศย์น้ำเพชร. ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University 2559;3(6):86-100.
7. สิริสุดา หนูทิมทอง, สมพจน์ กรรณนุช, วิวัฒน์ ศัลยกำธร, ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี ธรรมชาติบำบัด กรณีศึกษา ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม 2552;5(2):74-88.
8. ธนกรณ์ ศิริสุขโภคา. การศึกษาวิเคราะห์ผลิคภัณฑ์เครื่องจักสานผักตบชวา กรณีศึกษา ตำบลไทรงาม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาศิลปศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ; 2555.
9. บรรยงต์ แบบประเสริฐ, นงลักษณ์ บรรยงวิจัย. การผลิตกระถางผักตบชวา. [อินเตอร์เน็ต]. 2021 [เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://lib3.dss.go.th/fulltext/Vichakran/vichakran_rd_0011.pdf
10. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. [อินเตอร์เน็ต]. 2020 [เข้าถึง เมื่อ 15 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-07.pdf
11. Wang X, Lu S, Gao C, Xu X, Wei Y, Bai X, et al. Biomass-based multifunctional fertilizer system featuring controlled-release nutrient, water-retention and amelioration of soil. RSC Advances 2014;4:18382-90.

12. ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, วราภรณ์ ธนะกูลรังสรรค์, สุรัตน์ บุญพึ่ง, จิรพล กลิ่นบุญ, ไชยยันต์ ไชยยะ, และคณะ. กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ 2548, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ; 2548.
13. สุทธีพลรักษา, จินดาวัลย์วิบูลย์อุทัย, ธวัชชัยเนียรวิฑูรย์. การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลวัวโดยใช้สารเร่งชีวภาพ. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม 2553;6(1):97-108.
14. สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. [อินเตอร์เน็ต]. 2020 [เข้าถึง เมื่อ 15 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: https:// www.tapiocathai.org/Brochure/c_2.pdf
15. วาสนา ยอดปรางค์. ผลของการให้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา; 2553.
16. Schettini E, Santagata G, Malinconico M, Immirzi B, Mugnozza S, Vox G. Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance. Resour Conserv Recycl 2013;70:9-19.
17. วรรณวิภา ไชยชาญ, อเนก สาวะอินทร์. การผลิตและสมบัติของกระถางเพาะชำชีวภาพจากกากกาแฟผสมปูนขาวจากเปลือกหอย. ใน:เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2561. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง; 2561.หน้า 49-60.
18. กิตติชัย โสพันนา, วิชชุดา ภาโสม, กนกวรรณ วรดง, อนันตสิทธิ์ ไชยวังราช. การประดิษฐ์และสมบัติของกระถางชีวภาพ. SNRU J Sci Tech 2558;7(2):1-7.
19. พินทุม รุ่งทองศรี, สุชานันท์ สิริอัจฉรานนท์. เครื่องอัดกระถางผักตบชวาระบบไฮดรอลิก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม; 2556.
20. Jirapornvaree I, Suppadit T, Popan A. Use of Pineapple Waste for Production of Decomposable Pots. Int J Recycl Org Waste Agric 2017;6(4):345-50.
21. เจนจิรา ทวีตั้งตระกูล, พัชรี ยังดี. กระถางชีวภาพจากผักตบชวา. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม; 2554.
22. สาธินี ศิริวัฒน์, ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, ธนาวดี ลี้จากภัย. การย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิแลคติกแอซิดและเยื่อชานอ้อย. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2553;3(2):1-8.
23. Wijesinghe J, Wicramasinghe I, Saranandha K.Effect of different modification methods on gelatinization properties and amylose content of kithul (Caryotaurens) flour. Pak J Nutr 2016; 15(4):312-8.
24. สุทธิษา ก้อนเรือง, การะเกด แก้วใหญ่, ธวัฒน์ชัย เทพนวล, มาริสา เชษฐวรรณสิทธิ์. การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาคู. Tsu J 2020;23 (2):65-73.