ประสิทธิภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว รำข้าว และแกลบในการเป็นวัสดุปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

Efficiency of Biomass Pellets from Rice Straw, Rice Bran, and Rice Husk as Growing Media for Green Oak Lettuce (*Lactuca sativa* cv. crispa L.)

รัชนี พุทธา* ทัศนีย์ สีเสนซุย ศรัณพงษ์ บัณฑิตภักดิ์ สพล สมนาม และ กาญจนา จอมสังข์

Ratchanee Puttha* Tassanee Seesenzui Sarunyapong Bunditpak and Saphol Somnam and Kanchana Chomsang

สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: ratchanee_pt@mju.ac.th

(Received: 4 March 2022; Revised: 21 July 2022; Accepted: 15 August 2022)

Abstract

This study investigated nutritional compositions, characteristics, and effectiveness of biomass pellets from rice straw, rice bran, and rice husk used as planting material for lettuce var. green oak. Three formulae of biomass pellet treatments and a planting medium control were laid out in a completely randomized design with four replications. Formula 1 had rice straw, manure, and water at the ratio of 7 : 2 : 1. Formula 2 consisted of rice straw, manure, rice bran, and water at the ratio of 5 : 2 : 2 : 1. Formula 3 included rice straw, manure, rice husk, and water at the ratio of 5 : 2 : 2 : 1. Formular 4 (control) was a normal planting medium (not pelleted) consisting of peat moss and manure at the ratio of 8 : 2. The nutrition and characters of biomass pellets were evaluated. Plant height, plant canopy, shoot weight, root length, root weight, leaf number, leaf width, leaf length, and leaf color (L*, a* and b*) of lettuce were measured. All biomass pellet formulae had higher total macro nutrients (N, P and K) than formula 4 and could be pelletized without

fracture and decay. All growing media were significantly different for all traits of lettuce (p<0.01 and p<0.001). Formula 2 showed the greatest for all characters followed by formula 4, formula 1, and formula 3, respectively. Lettuce planted in formula 2 for 45 days had plant height of 4.8 cm, plant canopy of 16.8 cm, shoot weight of 18.8 g, root weight of 5.2 g, leaf number of 15.1 leaves, leaf width of 8.7 cm, leaf length of 11.3 cm, and greener leaves as indicated by the low hue values (L* = 54.0, a* = -7.1, and b* = 31.5). The formula consisting of rice straw, manure, rice bran, and water at the ratio of 5 : 2 : 2 : 1 was appropriate for making biomass pellet and using as growing media of lettuce var. green oak.

Keywords: Planting media, biomass pellet, rice straw, byproduct from rice production

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาธาตุอาหาร และลักษณะของชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว รำขาว และแกลบ และประสิทธิภาพของชีวมวลอัดเม็ดเมื่อใช้เป็นวัสดุปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งเป็น 4 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด สูตร 1 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : น้ำ (7 : 2 : 1) สูตร 2 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : รำข้าว : น้ำ (5 : 2 : 2 : 1) และสูตร 3 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : แกลบ : น้ำ (5 : 2 : 2 : 1) และวัสดุปลูกไม่อัดเม็ด สูตร 4 (ชุดควบคุม) พีทมอส : ปุ๋ยคอก (8 : 2) วิเคราะห์ธาตุอาหาร และประเมินลักษณะชีวมวลอัดเม็ด และวัดความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และสีใบ (L* a* และ b*) ของผักกาดหอม พบว่า วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทุกสูตร มีผลรวมของธาตุอาหารหลัก (N P และ K) มากกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 และสามารถอัดเป็นเม็ดโดยไม่แตกหักและเปื่อย วัสดุปลูกส่งผลให้ทุกลักษณะของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.01 และ p<0.001) โดยวัสดุปลูกสูตร 2 ให้ทุกลักษณะดีที่สุด รองลงมาคือ สูตร 4 สูตร 1 และสูตร 3 กล่าวคือ ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสูตร 2 เป็นระยะเวลา 45 วัน มีความสูงต้น 4.8 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่ม 16.8 เซนติเมตร น้ำหนักสดต้น 18.8 กรัม น้ำหนักรากสด 5.2 กรัม จำนวนใบ 15.1 ความกว้างใบ 8.7 เซนติเมตร ความยาวใบ 11.3 เซนติเมตร และมีค่า L* (54.0) ค่า a* (-7.1) และค่า b* (31.5) น้อยหรือสีใบเขียวเข้ม การศึกษานี้สรุปว่า ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : รำข้าว : น้ำ อัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1 เป็นสูตรที่เหมาะสมต่อการทำชีวมวลอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

คำสำคัญ: วัสดุปลูก ชีวมวลอัดเม็ด ฟางข้าว ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตข้าว

คำนำ

ฟางข้าวเป็นชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวและมีจำนวนมากจากการปลูกข้าวทั้งประเทศ เกษตรกรมักจัดการฟางข้าวด้วยการเผา เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย แต่ข้อเสียคือ ก่อให้เกิดเขม่าควันที่มีผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมถึงยังทำลายโครงสร้างของดิน อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดินอีกด้วย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจัดการกับฟางข้าว บนพื้นฐานของการเป็นวิธีจัดการที่ง่าย ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าฟางข้าวได้ โดยการนำฟางข้าวมาอัดเม็ด หรือเรียกกันทั่วไปว่า ชีวมวลอัดเม็ด เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกทางเลือกในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน ลดต้นทุนในการผลิตพืช ทำให้เกษตรกรมีกิจกรรมเสริมรายได้หลังนาจากการขายวัสดุปลูกอัดเม็ด และที่สำคัญคือ ช่วยลดปัญหาการเผาฟางข้าว

ข้อดีของชีวมวลอัดเม็ด คือ สะดวกต่อการขนส่งและประหยัด ประหยัดพื้นที่เก็บรักษา วิธีใช้ง่าย และสามารถควบคุมปริมาณการใช้งานได้ สำหรับการอัดเม็ดสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้เครื่องอัดเม็ดชีวมวล ซึ่งมีหลากหลายขนาด ราคา ตามประสิทธิภาพของเครื่อง โดยเครื่องประสิทธิภาพสูง มักมีราคาที่สูงมาก เนื่องจากเป็นขนาดในระดับอุตสาหกรรม แต่สำหรับเกษตรกรที่ใช้กันทั่วไป เครื่องมีราคาถูกขนาดเล็ก แต่ประสิทธิภาพน้อยกว่า คุณสมบัติและคุณภาพของชีวมวลอัดเม็ดจึงขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ด นอกจากนี้ยังขึ้นกับชีวมวลที่นำมาใช้ โดยชีวมวลที่มีความแห้งมาก มักยากต่อการขึ้นรูปและความสามารถในการอัดเป็นแท่ง เช่น ฟางข้าว มีลักษณะแห้ง ทำให้การอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดที่มีราคาถูกทำได้ยาก จึงต้องมีตัวประสานที่เหมาะสมในการช่วยขึ้นรูป เช่น รำข้าว แกลบ เป็นต้น สมชาย และคณะ (2560) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุอัดเม็ดที่มีส่วนผสมของฟางข้าวและน้ำ พบว่าวัสดุอัดเม็ดไม่เกิดการจับตัว และแตกหักได้ง่าย แต่เมื่อใช้รำข้าวเป็นส่วนผสมร่วมด้วย จะสามารถอัดฟางข้าวเป็นเม็ดได้ดีขึ้น และหากเพิ่มปริมาณรำข้าวมากขึ้น จะยิ่งช่วยในการอัดเม็ด และเพิ่มความแข็ง ทำให้วัสดุอัดเม็ดฟางข้าวมีความเรียบเพิ่มมากขึ้น

การศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมกับพืชมีความสำคัญ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของพืช และเป็นต้นทุนหลักในการผลิตพืชแบบไร้ดิน ดังเช่น การศึกษาของ สุมิตรา และอิศร์ (2561) ที่ใช้วัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบของขุยมะพร้าว ปุ๋ยมูลวัว ทรายแกลบดิบ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และส่งผลให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความกว้างใบ และน้ำหนักสดของผักกาดหอมดีที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้ชีวมวลอัดเม็ดเพื่อทำเป็นวัสดุปลูกอัดเม็ดยังไม่มีการนำมาใช้มากนัก ถึงแม้ว่าวัสดุปลูกอัดเม็ดจากชีวมวลจะมีหลายชนิด แต่ฟางอัดเม็ดที่นำมาใช้เป็นวัสดุปลูกยังมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาธาตุอาหาร ลักษณะของชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว รำข้าว และแกลบ และประสิทธิภาพของชีวมวลอัดเม็ด เพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ข้อมูลจากงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาวัสดุปลูกอัดเม็ดจากฟางข้าว และการใช้ผลพลอยได้จากกระบวนผลิตข้าว ได้แก่ รำข้าว และแกลบ ซึ่งเป็นการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าว และสามารถต่อยอดการวิจัยเพื่อพัฒนาฟางข้าวอัดเม็ดสำหรับใช้เป็นวัสดุปลูกให้กับพืชชนิดอื่น ๆ ปุ๋ยอินทรีย์ หรืออาหารสัตว์ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาธาตุอาหาร และลักษณะของวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว รำขาว และแกลบ

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 1) ฟางข้าวจากแปลงปลูกข้าวอินทรีย์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 2) รำข้าว และ 3) แกลบ ได้จากโรงสี 4) พีทมอส ยี่ห้อคราสแมน และ 5) ปุ๋ยคอก ยี่ห้อค้างคาวซากุระ (ส่วนผสมของเศษพืช 50 เปอร์เซ็นต์ มูลค้างคาว 25 เปอร์เซ็นต์ และมูลโค มูลกระบือ 25 เปอร์เซ็นต์) โดยวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด มีดังนี้

สูตร 1 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : น้ำ อัตราส่วน 7 : 2 : 1

สูตร 2 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : รำข้าว : น้ำ อัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1

สูตร 3 ฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : แกลบ : น้ำ อัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1

และวัสดุปลูกไม่อัดเม็ด (ชุดควบคุม) สูตร 4 พีทมอส : ปุ๋ยคอก อัตราส่วน 8 : 2 สำหรับขั้นตอนการเตรียมวัสดุปลูกสูตร 4 มีดังต่อไปนี้ ตวงพีทมอสและปุ๋ยคอก ด้วยถ้วยตวงตามอัตราส่วนที่กำหนดโดยปริมาตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน โดยไม่ต้องอัดเม็ด เพื่อให้มีลักษณะเหมือนการใช้งานปกติ ส่วนการเตรียมวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตร เริ่มจากนำฟาง และแกลบข้าว บดย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องสับย่อยใบไม้ จากนั้นตวงส่วนผสมแต่ละสูตรด้วยถ้วยตวงตามอัตราส่วนที่กำหนดโดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน เทส่วนผสมทั้งหมดลงในเครื่องอัดเม็ด ปรับเครื่องให้ตัดขนาดเม็ดยาว 0.5-1 เซนติเมตร ที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดวัสดุปลูกพืชทั่วไป หลังจากอัดเม็ดเสร็จแล้ว ให้นำไปตากแดด 2-3 วัน และเก็บใส่ถุงกระสอบเปิดปากถุง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อรา

จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างวัสดุปลูกทั้ง 4 สูตร เพื่อส่งวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และธาตุอาหาร ณ หน่วยวิเคราะห์ดิน น้ำ พืช และปุ๋ยอินทรีย์ หลักสูตรฯ ปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และประเมินคุณสมบัติและลักษณะของวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตร ด้วยวิธีการสังเกต โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้ ความสามารถในการขึ้นรูป แบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) ไม่สามารถขึ้นรูปได้ 2) ขึ้นรูปได้ยาก คือ ขึ้นรูปเป็นแท่งได้ไม่ดี และมีการยึดติดน้อย และ 3) ขึ้นรูปได้ดี (Good) คือขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดี และมีการยึดติดมาก การอัดเป็นเม็ด แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ 1) ไม่สามารถอัดเม็ดได้ 2) อัดเม็ดได้ไม่ดี กล่าวคือ มีการอัดแน่นของวัสดุชีวมวลน้อย และ 3) อัดเม็ดได้ดี (Good) คือ มีการอัดแน่นของวัสดุชีวมวลแน่นมาก สำหรับลักษณะของผิว แบ่งเป็น 2 ลักษณะได้แก่ 1) ไม่เรียบ มีเศษฟางยื่นออกมา และ 2) เรียบ (Smooth) ไม่มีเศษฟางยื่นออกมา ส่วนความแข็ง แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ไม่แข็ง ใช้มือบีบแล้วแตกหัก และ 2) แข็ง (Tight) ใช้มือบีบแล้วไม่แตกหัก และความเปื่อยยุ่ยเมื่อโดนน้ำ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ 1) แตกหัก คือเมื่อรดน้ำใส่วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด พบการแตกหัก และเปื่อยยุ่ย และ 2) ไม่แตกหัก (Unbroken) คือ เมื่อรดน้ำใส่วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด ไม่มีการแตกหัก และเปื่อยยุ่ย

การศึกษาการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คโดยใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด และวัสดุปลูกไม่อัดเม็ด

เพาะเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในถาดเพาะที่บรรจุพีทมอส จนกระทั่งได้ต้นกล้าที่ระยะเหมาะสม

มีใบจริง 2-3 ใบ อายุกล้า 16 วัน ย้ายต้นกล้าลงถุงปลูกที่เตรียมไว้ 1 ต้นต่อถุงปลูก สำหรับขั้นตอนการเตรียมถุงปลูกพลาสติกสีดำ เริ่มจากนำวัสดุปลูกทั้ง 4 สูตรใส่ในถุงปลูกในปริมาณที่เท่ากัน (1.2 กิโลกรัมต่อถุง) จากนั้นเรียงถุงปลูก ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 4 ซ้ำ (หน่วยทดลองละ 5 ต้น) ในโรงเรือนทดลองสาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในโรงเรือนทดลอง เพื่อวัดอุณหภูมิภายในโรงเรือนตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ปริมาณ 0.8 มิลลิกรัมต่อถุงปลูก จำนวน 2 ครั้ง ให้น้ำในปริมาณที่เท่ากันตลอดการทดลอง เมื่อผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีอายุครบ 45 วัน จึงทำการเก็บเกี่ยว พร้อมบันทึกข้อมูลความสูงต้น (วัดที่แกนลำต้นหลักจากโคนถึงยอด) ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และสีใบ (L* a* และ b*) ด้วยเครื่อง Color Reader (Konica Minolta Model CR-20, ประเทศญี่ปุ่น) จากนั้นนำข้อมูลจาก 5 ต้นมาหาค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error of mean; SEM) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ทำการแปลงข้อมูล (data transformation) ของค่า a* โดยใช้ Power function ด้วยการยกกำลัง 2 ก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูล และวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Least Significant Different (LSD) ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.0.2 พร้อมวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบ Pearson's correlation ระหว่างลักษณะ ด้วยโปรแกรม Statistix10

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ธาตุอาหาร สมบัติทางเคมี และคุณลักษณะของวัสดุปลูกชีวมวลชนิดอัดเม็ดและไม่อัดเม็ด

จากการศึกษาธาตุอาหาร และสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก ทั้ง 4 สูตร พบว่า วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 มีค่า pH เท่ากับ 6.22 มีความเป็นกรดอ่อน ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่า 5.01 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter; OM) เท่ากับ 41.98 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) มีค่า 1.67 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) มีค่า 3,516 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) มีค่า 16,620 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 มี pH เท่ากับ 5.63 มีความเป็นกรดปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 4.71 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ มีค่า 55.89 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่า 1.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่า 6,166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่า 13,517 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 3 มี pH เท่ากับ 6.38 มีความเป็นกรดอ่อน ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 3.97 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ มีค่า 50.97 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่า 1.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่า 3,610 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่า 15,387 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และวัสดุปลูกไม่อัดเม็ดสูตร 4 มี pH เท่ากับ 5.39 มีความเป็นกรดจัด ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 3.23 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ มีค่า 71.28 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่า 1.22 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่า 1,105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่า 5,919 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

วัสดุปลูกทุกสูตรมีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงมาก และมีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกัน แม้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุ ซึ่งเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน (Manojlović *et al*., 2010) ในวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทุกสูตรมีปริมาณ 41.98-55.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 (71.28 เปอร์เซ็นต์) แต่จะพบว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทุกสูตรมีผลรวมของธาตุอาหารหลัก (N P และ K เท่ากับ 3.00-3.68 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 ซึ่งมีผลรวมของธาตุอาหารหลักเพียง 1.92 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ อรประภา และภาณุมาศ (2558) ที่ทำการเปรียบเทียบปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง สูตรที่ 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน ปุ๋ยมูลไก่หมักคุณภาพสูง ที่อัตรา 1 2.5 และ 5 กรัมไนโตรเจนต่อดิน 5 กิโลกรัม และปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโค ที่อัตรา 1 กรัมไนโตรเจนต่อดิน 5 กิโลกรัม และพบว่าการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักกาดหอมมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับไนโตรเจนเดียวกัน (อัตรา 1 กรัมไนโตรเจนต่อดิน 5 กิโลกรัม) พบว่า ผักกาดหอมที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 สูตร มีการสะสมไนเตรตในใบน้อยกว่า และมีสารประกอบฟีนอลิกรวม ที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่มากกว่าผักกาดหอมที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโค นอกจากนี้มีการศึกษาในผักกาดอีก 2 ชนิด คือกรีนครอส หรือผักกาดโรเมน (Cos lettuce or Romaine lettuce) พันธุ์ Green Tower และผักกาดแก้ว (Iceberg lettuce) พันธุ์ Sharp Shooter พบว่า ผลผลิตของผักกาดทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมากขึ้น ในอัตรา 53.92 และ 36.00 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แต่ส่งผลทำให้ลักษณะคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวลดลง ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในอัตราปานกลาง คือ 36.00 และ 17.92 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตของผักกาดโรเมน และผักกาดแก้วได้ 7,616 และ 8,208 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็น 5.3 เท่าของการไม่ใส่ปุ๋ย (1,440 และ 1,552 กิโลกรัมต่อไร่) ตามลำดับ และยังทำให้คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดหอมดีที่สุด (Hoque *et al*., 2010) จากการศึกษาของ Neocleousa and Savvas (2019) พบว่าในระบบปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ ผลผลิตชีวมวลของผักกาดโรเมนลดลง 15 เปอร์เซ็นต์ หากได้ธาตุฟอสฟอรัสที่ปริมาณต่ำ 0.08 มิลลิโมลาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับธาตุฟอสฟอรัสที่ปริมาณ 1.3 และ 1.8 มิลลิโมลาร์ การได้รับธาตุฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลง และส่งผลต่อการผลิตแป้งและน้ำตาล การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเคมีในพืช และการเจริญเติบโต ได้แก่ กระตุ้นการออกดอก และการเจริญเติบโตของรากลดลงได้ การศึกษานี้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดมีธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 นั้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญ จำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ช่วยให้พืชเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิต มีหน้าที่เกี่ยวกับกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme activation) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช กิจกรรมของปากใบ (Stomatal activity) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำหรือการสูญเสียน้ำของพืช และกระบวนการสังเคราะห์แสง (Prajapati and Modi, 2012) และจากการศึกษาของ คงเอก (2557) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักกาดหอมพันธุ์คอสมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งโพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ทำให้จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และมวลชีวภาพแห้ง ของผักกาดหอมพันธุ์คอสเพิ่มขึ้น

Table 1 Nutrients and chemical characteristics of the four growing medias in the experiment

Growing medias	pH (1:5 H_2O)	EC (1:5 H_2O) (dS/m)	OM (Organic matter) (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)
Formula 1	6.22	5.01	41.98	1.67	3,516	16,620
Formula 2	5.63	4.71	55.89	1.35	6,166	13,517
Formula 3	6.38	3.97	50.97	1.10	3,610	15,387
Formula 4	5.39	3.23	71.28	1.22	1,105	5,919

จากการประเมินความสามารถในการขึ้นรูปการอัดเป็นเม็ด ลักษณะของผิว ความแข็ง และความเปื่อยยุ่ยเมื่อโดนน้ำของวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตร (Table 2) พบว่า ในการอัดวัสดุปลูกชีวมวล ควรอัดด้วยเครื่องอัดเม็ด จำนวน 4-6 ครั้ง จึงสามารถขึ้นรูปได้ นอกจากนี้คุณสมบัติของวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดมักขึ้นกับชนิดของชีวมวลที่เป็นองค์ประกอบหลักและตัวประสาน (Zhang *et al*., 2020) การอัดเม็ดที่ดีเกิดจากชนิดและปริมาณของตัวประสานที่เหมาะสม หากมีฟางข้าวเป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว จะทำให้ความเรียบของผิวและความสามารถในการอัดเป็นเม็ดน้อยกว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดที่มีตัวประสาน เช่น รำข้าว หรือแกลบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสมชาย และคณะ (2560) ที่มีการใช้รำข้าวเป็นส่วนผสมร่วมกับฟาง สูตรการผสมนี้จะสามารถอัดฟางเป็นเม็ดได้ และหากเพิ่มปริมาณรำข้าวมากขึ้น จะยิ่งช่วยในการอัดเม็ดและเพิ่มความแข็งให้กับฟางอัดเม็ด รวมถึงลักษณะของเม็ดฟางที่ได้มีความเรียบและสวยงาม นอกจากนี้ ชนิดของวัสดุประสานยังส่งผลต่อการขึ้นรูปของวัสดุอัดเม็ดอีกด้วย ดังที่ นิพนธ์ และธรพร (2559) รายงานว่า การขึ้นรูปผักตบชวาอัดเม็ดควรใช้แป้งมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยการใช้ผักตบชวา และแป้งมันสำปะหลัง หรือกากมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วน 3 : 2 และ 3 : 3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จะทำให้การขึ้นรูปได้ดีและผิวเรียบเนียนมากกว่าการใช้ผักตบชวา และแป้งมันสำปะหลัง หรือกากมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วน 3 : 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) นอกจากนี้การใช้ผักตบชวา และกากน้ำตาลเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 3 : 5, 3 : 6 และ 3 : 7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จะทำให้การขึ้นรูปได้ดีและผิวเรียบเนียน มากกว่าการใช้ผักตบชวา และกากน้ำตาลเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 3 : 1, 3 : 2, 3 : 3, 3 : 4 และ 3 : 8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากมีการใช้อัตราส่วนของตัวประสานที่น้อยหรือเกินจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ทั้งนี้จากการศึกษาทดลองในครั้งนี้ พบว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ อัดเป็นเม็ดค่อนข้างดี และผิวค่อนข้างเรียบ (Figure 1) เนื่องจากฟางข้าวหลังจากบดแล้ว มีลักษณะเป็นเส้น ดังนั้น เมื่อนำมาอัดเม็ดจะมีเส้นฟางยื่นออกมาเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม

วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 ที่ได้ ยังมีความแข็ง ไม่แตก และไม่เปื่อยยุ่ยเมื่อแช่ในน้ำ ส่วนวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 และสูตร 3 มีความสามารถในการขึ้นรูป อัดเป็นเม็ดดี ผิวเรียบสวย (Figure 1) เนื่องจากรำและแกลบบดมีลักษณะเป็นผง ดังนั้นเมื่อนำมาอัดเม็ดจะมีส่วนช่วยในการอัดแน่นของวัสดุอัดเม็ด ภายในเม็ดเกิดช่องว่างน้อยกว่าฟางข้าว นอกจากนี้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 และสูตร 3 ยังมีความแข็งแรง ไม่แตก และไม่เปื่อยยุ่ยเมื่อแช่ในน้ำ เช่นเดียวกับชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 ดังนั้นสามารถใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตรเป็นวัสดุปลูกพืชได้

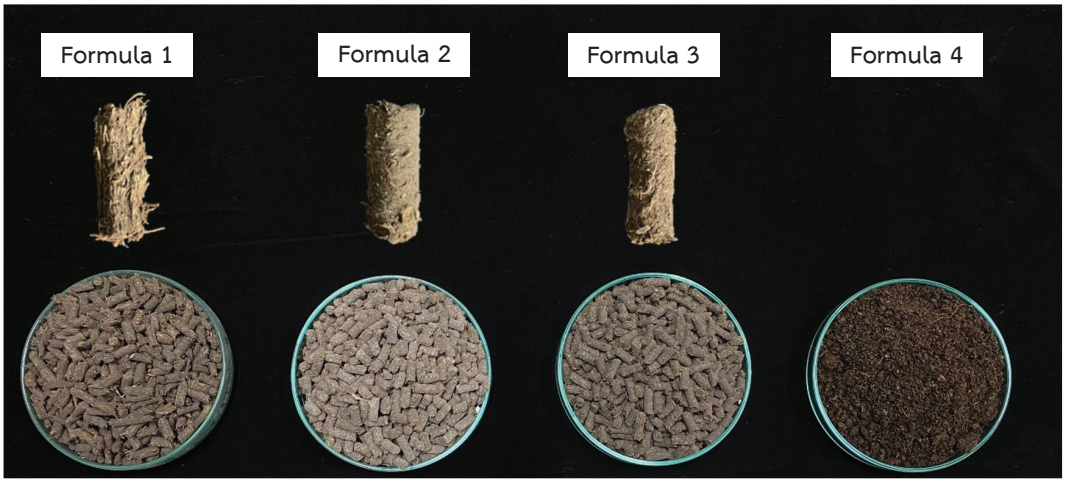

Figure 1 Characteristics of biomass pellets and growing media: formula 1 rice straw : manure : water (7 : 2 : 1), formula 2 rice straw : rice bran : manure : water (5 : 2 : 2 : 1), formula 3 rice straw : rice husk : manure : water (5 : 2 : 2 : 1) and formula 4 peatmoss : manure (8 : 2) (not pellet)

Table 2 Property of the three biomass pellets in the experiment

Biomass pellets	Ratio	Pelletizing ability	Forming pellet ability	Pellet skin	Tightness	Fracture and decay (Soak in water)
Formula 1	Rice straw : manure : water (7 : 2 : 1)	Fair	Fair	Less smooth	Tight	Unbroken
Formula 2	Rice straw : rice bran : manure: water (5 : 2 : 2 : 1)	Good	Good	Smooth	Tight	Unbroken
Formula 3	Rice straw : rice husk : manure : water (5 : 2 : 2 : 1)	Good	Good	Smooth	Tight	Unbroken

การเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

การศึกษาผลของวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ด และวัสดุปลูกชุดควบคุม จำนวน 4 สูตร ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของต้น (ความสูงและความกว้างต้น) (Figure 2) พบว่า วัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้ความสูงและความกว้างของต้นผักกาดหอม พันธุ์กรีนโอ๊ค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (p<0.001) (Table 3) แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม สอดคล้องกับ สุมิตรา และอิศร์ (2561) ที่พบว่าวัสดุปลูกจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรภูเรือ สูตรเชียงใหม่ สูตรดอยอินทนนท์ สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 และไทยเกษตรศาสตร์ 2 ส่งผลต่อความสูง และความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมที่แตกต่างกัน โดยวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 ที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว: ปุ๋ยมูลวัว: ทราย: แกลบดิบ: ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1 : 2 : 1 : 1 : 0.25 ส่วนมีผลทำให้ผักกาดหอมมีความสูงต้น (20.7 เซนติเมตร) และความกว้างทรงพุ่ม (23.3 เซนติเมตร) สูงที่สุด การศึกษานี้พบว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 และวัสดุปลูกสูตร 4 จัดเป็นกลุ่มวัสดุปลูกที่ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น และรากของผักกาดหอม โดยการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 และวัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ผักกาดหอมมีความสูงมากที่สุด มีค่า 4.8 และ 4.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 และสูตร 3 ที่จัดเป็นกลุ่มวัสดุปลูกที่ทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตทางลำต้น และรากน้อย โดยทำให้ผักกาดหอมมีความสูงเพียง 3.1 และ 2.4 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีความกว้างต้นมากที่สุด มีค่า 16.8 เซนติเมตร รองลงมาคือ วัสดุปลูกสูตร 4 และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีความกว้าง 12.3 และ 11.2 เซนติเมตร ตามลำดับ และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 3 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีความกว้างต้นน้อยที่สุด มีค่า 7.9 เซนติเมตร

วัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้น้ำหนักต้นสดของให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ (p<0.001) (Table 3) โดยการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีน้ำหนักสดต้นมากที่สุดคือ 18.8 กรัม รองลงมาคือ วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีน้ำหนักสดต้น 8.0 กรัม และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 และสูตร 3 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุด มีค่า 3.7 และ 1.3 กรัม ตามลำดับ วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสูงที่สุด ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และน้ำหนักต้นสดของผักกาดหอม งานวิจัยของ Alahi *et al*. (2014) กล่าวว่า ปริมาณฟอสฟอรัสส่งผลต่อน้ำหนักสดต่อต้นของผักกาดหอม พันธุ์แกรนด์แรพิด (Grand rapids) และการให้ฟอสฟอรัสที่อัตรา 48 และ72 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ทำให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดต่อต้นสูงที่สุด และมากกว่าการให้ฟอสฟอรัสที่อัตรา 0 และ 24 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 30 40 50 และ 60 วันหลังปลูก

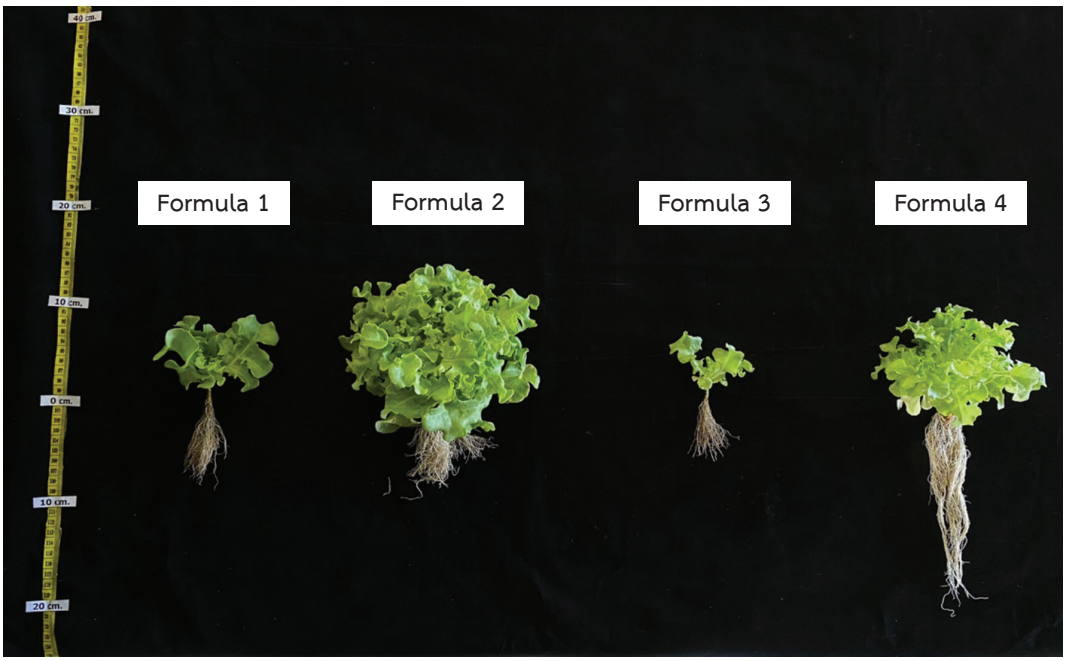

Figure 2 Plant height, plant canopy, and root length of green oak lettuce (45 days) grown on 4 growing medias

ลักษณะการเจริญเติบโตของราก (ความยาวและน้ำหนักสดราก) (Figure 2) พบว่าวัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้ความยาวและน้ำหนักสดรากของต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) (Table 3) แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากผักกาดหอม โดยการใช้วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ผักกาดหอมมีรากยาวมากที่สุด มีค่า 18.8 เซนติเมตร รองลงมาคือ วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ผักกาดหอมมีรากยาว 13.1 เซนติเมตร และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 และสูตร 3 ทำให้ผักกาดหอมมีรากสั้นที่สุด มีค่าเท่ากับ 10.3 และ 9.9 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีน้ำหนักสดรากมากที่สุด มีค่า 5.2 กรัม รองลงมาคือ วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีน้ำหนักสดราก 2.4 กรัม และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 และสูตร 3 ทำให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด มีค่า 1.2 และ 0.7 กรัม ตามลำดับ รากพืชทำหน้าที่ยึดลำต้นของพืชไว้กับดินหรือวัสดุปลูก หน้าที่ที่สำคัญคือ ดูดและลำเลียงน้ำและธาตุอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช รวมถึงสร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ขนาดและความยาวรากย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของผักกาดหอม จากการศึกษานี้พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 มีความยาวรากน้อยกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 แต่ผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 มีน้ำหนักสดรากมากกว่าวัสดุปลูกสูตร 4 และมีน้ำหนักต้นสดสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ผักกาดที่มีรากใหญ่ (น้ำหนักสดรากมาก) ส่งผลต่อผลผลิตของผักกาดหอมมากกว่า

ผักกาดหอมที่มีรากยาว สอดคล้องกับ Li *et al*. (2018) ที่ทำการศึกษาลักษณะของรากผักกาดหอม 2 พันธุ์ คือ Dasusheng และ Nenglv naiyou เมื่อปลูกในระบบรากแขวน (Aeroponics culture) ระบบรากแช่ในน้ำ (Hydroponics culture) และวัสดุปลูก (Substrate) พบว่า การปลูกด้วยระบบรากแขวนทำให้ผักกาดพันธุ์ Dasusheng และ Nenglv naiyou มีรากยาวที่สุด 3,043 และ 2,634 เซนติเมตร ตามลำดับ มีน้ำหนักสดราก 8.67 และ 10.3 กรัม ตามลำดับ และมีน้ำหนักสดต้น 37.8 และ 50.9 กรัม แต่การปลูกในระบบรากแช่น้ำส่งผลให้ผักกาดพันธุ์ Dasusheng และ Nenglv naiyou มีรากยาวรองจากการปลูกในระบบรากแขวน มีค่า 581 และ 1,688 เซนติเมตร ตามลำดับ มีน้ำหนักรากสด 8.78 และ 11.55 กรัม ตามลำดับ และมีน้ำหนักต้นสดมากกว่าผักกาดที่ปลูกในระบบรากแขวน 88.8 และ 96.1 กรัม ตามลำดับ

Table 3 Shoot and root traits of green oak lettuce planted on 4 growing media

Growing medias	Plant height (cm)	Plant canopy (cm)	Shoot weight (g)	Root length (cm)	Root weight (g)
Formula 1	3.1±0.34 b[1/]	11.2±1.27 b	3.7±1.74 bc	10.3±0.61 c	1.2±0.46 c
Formula 2	4.8±0.22 a	16.8±0.51 a	18.8±1.56 a	13.1±0.72 b	5.2±0.32 a
Formula 3	2.4±0.17 b	7.9±0.68 c	1.3±0.14 c	9.9±0.46 c	0.7±0.09 c
Formula 4	4.4±0.38 a	12.3±0.95 b	8.0±1.91 b	18.8±1.34 a	2.4±0.31 b
F-test	***	***	***	***	***
C.V. (%)	16.0	14.9	38.0	13.1	27.5

Remarks: [1/] Data are presented as mean ± SE (n = 4), values with different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$ probability level by LSD.

*** Significant at $P<0.001$ probability level

การศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อลักษณะของใบ ได้แก่ จำนวนใบ ความกว้าง และความยาวใบ พบว่า วัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้จำนวนใบ ความยาวใบ และความกว้างใบของต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) (Table 4) แสดงให้เห็นว่า วัสดุปลูกส่งผลต่อลักษณะใบของผักกาดหอม การใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ผักกาดหอมมีจำนวนใบ และมีใบกว้างมากที่สุด มีค่า 15.1 ใบ และ 8.7 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือวัสดุปลูกสูตร 4 ให้ผักกาดหอมมีจำนวนใบ 10.3 ใบ และมีใบกว้าง 6.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 และสูตร 3 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีจำนวนใบ 8.4 และ 7.2 ใบ ตามลำดับ และมีใบกว้าง 5.9 และ 4.2 เซนติเมตร ตามลำดับ และการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ทำให้ผักกาดหอมมีใบยาวมากที่สุด มีค่า 11.3 เซนติเมตร รองลงมาคือ วัสดุปลูกสูตร 4 และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 1 ซึ่งทำให้ต้นผักกาดหอมมีใบยาว 9.2 และ 8.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 3 ทำให้

ต้นผักกาดหอมมีใบยาวน้อยที่สุด คือ 6.8 เซนติเมตร โดยการที่วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ให้ลักษณะใบที่ดีที่สุด อาจเนื่องมาจากการมีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบมากกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่น ๆ สอดคล้องกับ Alahi *et al*. (2014) ที่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อจำนวนใบ ความกว้างและความยาวใบ ของผักกาดหอมพันธุ์แกรนด์แรพิด (Grand rapids) ที่เพิ่มขึ้นด้วย

วัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้ค่า L* a* และ b* ของใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) Table 4 แสดงให้เห็นว่า วัสดุปลูกส่งผลต่อสีใบของผักกาดหอม การใช้วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ผักกาดหอมมีค่า L* มากที่สุด คือ 60.1 รองลงมาคือวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 3 ทำให้ผักกาดหอมมีค่า L* เท่ากับ 56.6 และการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 และสูตร 1 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีค่า L* น้อยที่สุด คือ มีค่า 54.0 และ 53.8 ตามลำดับ การใช้วัสดุปลูกสูตร 4 ให้ผักกาดหอมมีค่า a* (-5.6) มากกว่าการใช้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตร คือมีค่า -6.9 (สูตร 3) -7.1 (สูตร 2) และ -7.3 (สูตร 1) ตามลำดับ และการใช้วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ผักกาดหอมมีค่า b* มากที่สุด มีค่า 37.0 รองลงมาคือวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 3 สูตร 1 และสูตร 2 ทำให้ผักกาดหอมมีค่า b* เท่ากับ 34.8 32.0 และ 31.5 ตามลำดับ ระบบในการประเมินสีของผักที่นิยมและได้มาตรฐานคือ ระบบ CIELAB โดยมีการวัดค่า L* ซึ่งบ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ซึ่ง 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ส่วนค่า a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) และ ค่า b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) รายงานก่อนหน้านี้ พบว่า มีการศึกษาสีใบของผักกาดด้วยระบบนี้เช่นกัน (Islam *et al*., 2019) จากการศึกษานี้พบว่าการใช้วัสดุปลูกสูตร 4 ทำให้ใบผักกาดมีสีซีดกว่าผักกาดที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 สูตร อาจเนื่องจากวัสดุปลูกสูตร 4 มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่ำที่สุด ซึ่งธาตุโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (คงเอก, 2557)

Table 4 Leaf traits of green oak lettuce planted on 4 growing media

Growing medias	Leaf number (leaf)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	L*value	a* value	b* value
Formula 1	8.4±0.83 bc	5.9±0.56 bc	8.5±0.55 b	53.8±0.87 c	-7.3±0.20 a	32.0±1.14 bc
Formula 2	15.1±0.37 a	8.7±0.22 a	11.3±0.25 a	54.0±0.43 c	-7.1±0.05 a	31.5±0.31 c
Formula 3	7.2±0.22 c	4.2±0.24 c	6.8±0.17 c	56.6±0.30 b	-6.9±0.12 a	34.8±1.37 ab
Formula 4	10.3±0.84 b	6.3±0.93 b	9.2±0.75 b	60.1±1.00 a	-5.6±0.58 b	37.0±0.66 a
F-test	***	**	***	***	**	**
C.V. (%)	12.3	18.3	11.0	2.5	10.3	5.7

Remarks: [1/] Data are presented as mean ± SE (n = 4), values with different letters within the same column are significantly different at P<0.05 probability level by LSD.

, * Significant at P<0.01 and P<0.001 probability level

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตองค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตองค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า ความสูงต้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กับความกว้างทรงพุ่ม (0.82) น้ำหนักสดต้น (0.83) ความยาวราก (0.65) น้ำหนักรากสด (0.88) จำนวนใบ (0.89) ความกว้างใบ (0.80) และความยาวใบ (0.86) (Table 5) สอดคล้องกับ Wiangsamut and Koolpluksee (2020) ที่พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างลักษณะความสูง และความกว้างทรงพุ่ม (0.42) น้ำหนักต้นสด (0.34) และจำนวนใบ (0.15) ของผักกาดกวางตุ้ง (*Brassica chinensis* L. var. chinensis Mansf.) และผักกาดหอมกรีนโอ๊ค แสดงให้เห็นว่า ความสูงต้นมีความสัมพันธ์กับลักษณะองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต หากต้นมีความสูงจะทำให้มีลักษณะองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย ความกว้างทรงพุ่มมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กับน้ำหนักต้นสด (0.93) น้ำหนักรากสด (0.88) จำนวนใบ (0.92) ความกว้างใบ (0.96) และความยาวใบ (0.96) สอดคล้องกับ Wiangsamut and Koolpluksee (2020) ที่พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างลักษณะความกว้างทรงพุ่มกับน้ำหนักต้นสด (0.67) และจำนวนใบ (0.73) ของผักกาดกวางตุ้งและผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ส่วนน้ำหนักสดต้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กับน้ำหนักรากสด (0.94) จำนวนใบ (0.97) ความกว้างใบ (0.92) และความยาวใบ (0.94) และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำหนักรากสดกับจำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ มีค่าเท่ากับ 0.97 0.85 และ 0.87 ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) แสดงว่าผักกาดหอมที่มีรากขนาดใหญ่ น่าจะช่วยในการหาอาหาร และดูดซับธาตุอาหาร ทำให้ผักกาดหอมมีลักษณะทางใบที่ดีได้ โดยรากพืชจะเจริญเติบโตได้ดีวัสดุปลูกที่มีลักษณะระบายอากาศได้ดี เก็บความชื้น และอุดมด้วยธาตุอาหาร นอกจากนี้ไม่พบสหสัมพันธ์ (p>0.05) ของความยาวรากกับน้ำหนักราก (0.38) แสดงว่าความยาวราก ส่งผลต่อน้อยต่อน้ำหนักราก การที่ผักกาดหอมมีรากที่ยาวอาจจะไม่มีขนาดใหญ่หรือจำนวนมาก สำหรับจำนวนใบพบว่า มีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กับความกว้างใบ ความยาวใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.93 ตามลำดับ สำหรับความกว้างใบ พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) กับความยาวใบ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.98 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่า L* กับค่า a* และค่า b* มีค่า -0.86 และ 0.86 และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่า a* และค่า b* มีค่าเท่ากับ -0.56 (p<0.01) แสดงว่าค่า a* และค่า b* เป็นค่าที่มีความแปรผกผันกัน

Table 5 Correlation coefficient of growth, yield component, yield, and quality of green oak lettuce

Agronomic traits	Plant height	Plant canopy	Shoot weight	Root length	Root weight	Leaf number	Leaf width	Leaf length	L* value	a* value
Plant canopy	0.82**									
Shoot weight	0.83**	0.93**								
Root length	0.65**	0.26ns	0.32ns							
Root weight	0.88**	0.88**	0.94**	0.38ns						
Leaf number	0.89**	0.92**	0.97**	0.33ns	0.97**					
Leaf width	0.80**	0.96**	0.92**	0.22ns	0.85**	0.90**				
Leaf length	0.86**	0.96**	0.94**	0.31ns	0.87**	0.93**	0.98**			
L* value	-0.05ns	-0.39ns	-0.32ns	0.66**	-0.25ns	-0.32ns	-0.43*	-0.38ns		
a* value	0.02ns	0.22ns	0.23ns	-0.55**	0.14ns	0.21ns	0.33ns	0.29ns	-0.86**	
b* value	-0.12ns	-0.48ns	-0.39ns	0.49*	-0.34ns	-0.39ns	-0.49*	-0.43ns	0.86**	-0.56**

Remarks: ns, *, ** show non-significant and significant at alpha 0.05 and 0.01 levels, respectively

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้วัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 ที่มีส่วนผสมของฟางข้าว : ปุ๋ยคอก : รำข้าว : น้ำ อัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1 มีคุณลักษณะของวัสดุอัดเม็ดที่ดี คือมีเม็ดที่อัดแน่น ไม่แตกหักง่าย และผิวเรียบ ทำให้เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกจะสามารถคงสภาพเป็นเม็ดได้เมื่อได้รับน้ำ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางเคมีที่ดี คือมีอินทรียวัตถุสูง (55.89 เปอร์เซ็นต์) และมีธาตุอาหารสูงโดยเฉพาะฟอสฟอรัสทั้งหมด มีปริมาณ 6,166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่น ๆ และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.35 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 13,517 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกผักกาดทำให้ใบมีสีเขียวเข้มและมีความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกสูตรอื่น ๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดสูตร 2 เป็นสูตรที่เหมาะสมต่อการอัดเม็ด และใช้ทำวัสดุปลูกชีวมวลอัดเม็ดเพื่อปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค โดยการเลือกใช้วัสดุชีวมวลเพื่อการอัดเม็ดนั้น มีหลักการคือ ควรเป็นชีวมวลที่มีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อพืชที่จะปลูก มีชีวมวลสูง หรือเป็นชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรจะช่วยลดต้นทุนได้ สามารถย่อย และอัดเป็นเม็ดได้ ส่วนเทคนิคในการอัด วัสดุชีวมวลเป็นเม็ด คือ การใช้ชนิดและอัตราส่วนของวัสดุชีวมวล ร่วมกับตัวประสานและจำนวนรอบในการอัดเม็ดที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัยสำหรับบุคลากรสายวิชาการ คณะผลิตกรรมการเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2564 ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย สถานที่ และอุปกรณ์เครื่องมือในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ให้การสนับสนุนฟางข้าวเพื่อใช้ทำชีวมวลอัดเม็ดในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

คงเอก ศิริงาม. 2557. ผลของโพแทสเซียมต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร 9(1): 16-32.

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และธรพร บุศย์น้ำเพชร. 2559. ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. Veridian E-Journal สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3(6): 86-100.

สมชาย โพธิ์พะยอม ธงชัย เครือผือ และพงศธร กันล่ำ. 2560. การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางเพื่อใช้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิง. วารสารราชมงคลล้านนา 5(2): 73-76.

สุมิตรา สุปินราช และอิศร์ สุปินราช. 2561. ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมกระถาง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(1: พิเศษ): 47-52.

อรประภา อนุกูลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย. 2558. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอม. Thai J. Sci. Technol. 4(1): 81-94.

Alahi, A., M.I. Hossain, K. Kabir, M. Shahjahan and S.M.A. Arefin and M.T. Hosain. 2014. Effect of phosphorus and plant spacing on the growth and yield of lettuce. Adv. Agri. Bio. 2(1): 1-7.

Hoque, M.M., H. Ajwa and M. Othman. 2010. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. Hortsci. 45(10): 1539-1544.

Islam, M.Z., Y.T. Lee, M.A. Mele, I.L. Choi, D.C. Jang, Y.W. Ko, Y.D. Kim and H.M. Kang. 2019. Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce. Qual. Assur. Saf. Crop. 11(8): 749-756.

Li, Q., X. Li, B. Tang and M. Gu. 2018. Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. Horticulturae. 4(35): 1-9.

Manojlović, M., R. Čabilovski and M. Bavec. 2010. Organic materials: sources of nitrogen in the organic production of lettuce. Turk. J. Agric. For. 34: 163-172.

Neocleousa, D. and D. Savvas. 2019. The effects of phosphorus supply limitation on photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and mineral nutrition in lettuce grown in a recirculating nutrient solution. Sci Hortic. 252: 379-387.

Prajapati, K. and H.A. Modi. 2012. The importance of potassium in plant growth- A review. Indian J. Plant Sci. 1(02-03): 177-186.

Wiangsamut, B. and M. Koolpluksee, 2020. Yield and growth of Pak Choi and Green Oak vegetables grown in substrate plots and hydroponic systems with different plant spacing. Int. J. Agric. Technol. 16(4): 1063-1076.

Zhang, K., S. Song, Z. Chenand and J. Zhou 2020. Effects of brown sugar water binder added by spraying method as solid bridge on the physical characteristics of biomass pellets. Polymers. 12(3): 1-14.