Journal of Agri. Research & Extension 40(1): 1-14

การศึกษาการเติบโตของคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกจากไบโอชาร์

A Study of Kale and Eggplant Growth Growing in Biochar-based Growing Media

พัชรี อินธนู* และกนกพร คงคล้าย

Patcharee Intanoo* and Kanokporn Kongklay

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: patchareeintanoo@gmail.com

Received: *October 27, 2021*
Revised: *May 20, 2022*
Accepted: *May31, 2022*

Abstract

The objective of this research was to study growth of kale and eggplant grown in biochar-based growing media produced from maize residue. The growing media under study consisted of soil, compost and biochar in the ratio of 1:1:0.5 by weight. From the study, it was found that the growth of kale and eggplant planted in biochar-based growing media produced from maize residue were significantly higher than those of plants grown in media without biochar-based growing media ($P<0.05$). This might be resulted from increasing chlorophyll content of kale from 34.93 mg/l to 70.24 and 72.48 mg/l at planting period of 50 and 55 days, respectively, an equivalent of more than 50% increase in chlorophyll content compared to control sample, resulted in a higher fresh weight and dry weight. Moreover, the addition of biochar might enhance the chemical properties of soil in term of increase in both pH value and macronutrient content. In addition, the electrical conductivity was lower corresponding to the increase in cation exchange capacity indicating that soil had better capability for nutrient retention and nutrient release.

Keywords: kale, eggplant, biochar, growing media

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้าและมะเขือด้วยวัสดุพร้อมปลูกจากไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดในอัตราส่วนของดิน ปุ๋ยหมัก และไบโอชาร์ คือ 1:1:0.5 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าผักคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่มีไบโอชาร์เป็นองค์ประกอบมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์กว่าวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากมีปริมาณสารคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นจาก 34.93 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 70.24 และ 72.48 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับผักคะน้าที่ระยะเวลาในการปลูก 50 และ 55 วัน ตามลำดับ คิดเป็นการเพิ่มขึ้นที่มากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในชุดควบคุม ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงกว่าแสดงในรูปน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นพืช

ที่มากกว่า อีกทั้งคุณภาพดินที่ได้ยังมีสมบัติทางเคมีที่ดีขึ้น คือ มีค่าพีเอชและปริมาณธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสภาพนำไฟฟ้าลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารพืช และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของดินที่ดี

คำสำคัญ: คะน้า มะเขือ ไบโอชาร์ วัสดุพร้อมปลูก

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร (National Statistic Office, 2017) ดังนั้นการทำเกษตรกรรมจึงเป็นแหล่งรายได้หลักในการเลี้ยงชีพ และประเทศไทยมีพื้นที่ทำการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 55.42 ของพื้นที่ทั้งหมด (Land Development Department, 2016) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตทางการเกษตรกลับมีแนวโน้มลดลง เช่น ในปี พ.ศ. 2557–2558 ประเทศไทยมีผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 669 กิโลกรัมต่อไร่ และในปี พ.ศ. 2558–2559 ประเทศไทยมีผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง คิดเป็นร้อยละ 4.04 (Office of Agricultural Economics, 2020) ซึ่งการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรมีสาเหตุหลัก คือ ดินเสื่อมโทรม และการใช้ดินที่ไม่ถูกวิธีของมนุษย์ เช่น การกร่อนดิน ดินขาดอินทรียวัตถุและจุลินทรีย์จำพวกไนโตรเจน (N) และคาร์บอน (C) เป็นต้น และอาจเกิดจากภัยธรรมชาติร่วมกับพฤติกรรมการใช้ดินของมนุษย์ จากสาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้ทรัพยากรดินเกิดภาวะดินเปรี้ยว ดินมีการเกาะตัวของเม็ดดินต่ำทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย และดินตื้น เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรดินในภาวะดังกล่าวเป็นทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม ขาดความอุดมสมบูรณ์และไม่เหมาะต่อการทำเกษตรกรรม (Department of Soil and Science, 2005)

ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวัสดุที่สามารถช่วยฟื้นฟูทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรมนี้ได้นั่นคือ ไบโอชาร์ (Biochar) ไบโอชาร์ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยกระบวนการเผาภายใต้สภาวะอับอากาศ อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน และมีความพรุนตัวสูงจึงทำให้มีสมบัติด้านฟื้นฟูทรัพยากรดินให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น กล่าวคือ ไบโอชาร์สามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เพิ่มค่าพีเอช (pH) ของดิน รวมถึงทำให้ดินสามารถกักเก็บธาตุอาหารพืช ตลอดจนสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อพืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของธาตุอาหารในดินและโปรตอนในรากพืช (Chaidee, 2012) มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน ทำให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ (Fungo *et al*., 2017)

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดการผลิตวัสดุพร้อมปลูกที่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์ โดยนำไปโอชาร์ที่ผลิตได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดไปผสมกับดินและปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 0.5:1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช หากอัตราส่วนไบโอชาร์ในวัสดุพร้อมปลูกมากกว่า 0.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้การดูดซับธาตุอาหารประจุบวกที่มีอยู่ในดินของไบโอชาร์ เช่น แอมโมเนียมแคตไอออน (NH_4^+) และโพแทสเซียม (K^+) ลดลง จนทำให้ปริมาณผลผลิตพืชที่ได้ต่ำเนื่องจากค่าพีเอชในดินสูง ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบดังกล่าวจึงนิยมใช้ไบโอชาร์ร่วมกับปุ๋ย (Wang *et al.,* 2016) มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เป็นต้น รวมถึงศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้าและมะเขือ เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของผักคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการผลิตวัสดุปลูกและทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปลูก ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมดินและเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพด (Soil and maize residue preparation) ผึ่งดินและเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดภายใต้แสงแดดเพื่อกำจัดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นลดขนาดของดินด้วยโกร่งบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช นำเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดมาลดขนาดด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช เก็บดินและเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดที่เตรียมไว้ในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

2. การเปลี่ยนเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดให้เป็นไบโอชาร์ (Biochar production) นำเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดที่เตรียมได้เผาภายใต้สภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 400°ซ. นาน 3 ชั่วโมง ที่อัตราการให้ความร้อน 10°ซ. ต่อนาที จะได้ไบโอชาร์ที่มีลักษณะเป็นผงสีดำ จากนั้นนำไบโอชาร์ที่ได้มาลดขนาดอีกครั้งด้วยโกร่งบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช และเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

3. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของไบโอชาร์ รวมถึงการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุพร้อมปลูก (Analytical techniques) การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของไบโอชาร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy) เพื่อยืนยันโครงสร้างของวงอะโรมาติกและหมู่ฟังก์ชันที่พบบนพื้นผิวของไบโอชาร์ที่เตรียมได้ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (COOH) และหมู่ฟังก์ชันคีโตน (C=O) (Wua *et al.,* 2012) เป็นต้น สำหรับสมบัติทางเคมีของไบโอชาร์ที่ศึกษา ได้แก่ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC) ค่าพีเอช (pH) ค่าสภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ปริมาณอินทรียวัตถุหรือธาตุคาร์บอนในวัสดุพร้อมปลูก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบผักคะน้าและมะเขือ โดยขั้นตอนการศึกษาได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า (Sun *et al*., 2017) ส่วนสมบัติทางกายภาพของไบโอชาร์ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน ทำการศึกษาด้วยเครื่องวัดการดูดซับแก๊ส (Surface area and porosity analyzer, BET) (Moldenhauera *et al.,* 2018)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (Primary macronutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง (Secondary macronutrient) ได้แก่ แคลเซียม ในวัสดุพร้อมปลูก จะใช้วิธีเปอร์ซัลเฟตไดเจสชัน (Persulfate digestion method) โมลิบโดวานาเดทด้วยกรดเปอร์ซัลเฟตไดเจสชัน (Molybdovanadate with acid persulfate digestion) (Osotsapar, 2009) ส่วนปริมาณธาตุอาหารรองแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารส่วนที่ละลายในสารละลายดินและปริมาณธาตุอาหารรองที่เหลืออยู่ในดิน ซึ่งขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ได้ระบุในงานวิจัยก่อนหน้า (Kongklay, 2019)

4. การศึกษาการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth) การติดตามการเจริญเติบโตของผักคะน้าและมะเขือ เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งประกอบด้วยการวัดความสูง การนับจำนวนใบ การวัดขนาดใบในลักษณะความกว้างและความยาว และขนาดลำต้น โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์นาน 60 วัน สำหรับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งตลอดจนความยาวราก ศึกษาตามระยะเวลาการปลูก 45, 50, 55 และ 60 วัน วิธีการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานลักษณะ น้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง และความยาวรากได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า (Kongklay, 2019) ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานลักษณะ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวรากของผักคะน้าและมะเขือ ใช้กลุ่มตัวอย่างผักคะน้า 30 ตัวอย่าง และมะเขือ 30 ตัวอย่าง จากตัวอย่างคะน้าทั้งหมด 60 ตัวอย่าง และมะเขือ 60 ตัวอย่าง โดยทำการปลูกทั้งหมด 5 ครั้ง

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของไบโอชาร์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไบโอชาร์พบว่า ไบโอชาร์ที่ผลิตได้มีขนาดช่องว่าง 10.15 นาโนเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงขนาดรัศมีรูพรุนแบบเมโสพอร์ (Mesopore) และมีลักษณะพรุน ซึ่งสมบัติความพรุนดังกล่าวส่งผลให้ไบโอชาร์มีความเหมาะสมต่อการใช้งานด้านการปรับปรุงดิน เนื่องจากรูพรุนของไบโอชาร์จะช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยในการดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกิจกรรมในการดำรงชีวิตของพืช (Aumtong, 2008; Masebinua *et al,*. 2019)

เมื่อนำไบโอชาร์ที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี จะพบหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H stretching) หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (C=O stretching) และหมู่ฟังก์ชันอีเทอร์ (C-O stretching) ที่ช่วงเลขคลื่น 3,600-3,200 cm^{-1}, 1,740-1,700 cm^{-1} และ 1,110-1,030 cm^{-1} ตามลำดับ รวมถึงพบโครงสร้างอะโรมาติก (C=C, C=O stretching) ที่ช่วงเลขคลื่น 1,630-1,600 cm^{-1} และกลุ่มฟีนอลิก (O-H bending) ที่ช่วงเลขคลื่น 1,374 cm^{-1} บนโครงสร้างไบโอชาร์ โดยจะเห็นว่าหมู่ฟังก์ชันที่พบเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบด้วยธาตุออกซิเจนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) กล่าวคือ เมื่อเกิดกระบวนการออกซิเดชันบางส่วนอย่างต่อเนื่อง ธาตุคาร์บอนบนพื้นผิวไบโอชาร์บางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในขณะที่ธาตุคาร์บอนส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (Chatsiriwech, 2009) หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในการดูดซับธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ผ่านการสร้างพันธะทางเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวกับธาตุอาหารรอง สำหรับโครงสร้างอะโรมาติกของไบโอชาร์นั้นจะช่วยในการตรึงธาตุอาหารหลักผ่านกลไกการดูดซับแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Harvey *et al.,* 2013)

Table 1 The propertied of different growing media

Growing media	pH	Electrical Conductivity, EC (ds/m)	Total organic content (%)	Nutrient content (mg/kg)			Cation Exchange Capacity, CEC (cmol/kg)
				Nitrogen (N)	Potassium (K^+)	Calcium (Ca^{2+})	
Soil	6.70	2.33	1.81	49	20.61	2.33	42.27
Compost	6.26	1.39	26.32	1.54	0.37	-	-
Biochar	7.00	1.17	10.50	279	3,120	-	1,693.00
Soil:Compost:Biochar (1:1:0)	7.29	2.14	9.11	58	21.78	2.39	44.32
Soil:Compost:Biochar (1:1:0.5)	7.34	1.97	22.75	560	22.52	2.42	48.90

Table 2 Kale and eggplant physiology with different growing media at planting period of 50 and 60 days, respectively (significant at p≤0.05)

Growing media	Kale			Eggplant		
	Average leaf width (cm)	Average leaf height (cm)	Average root length (cm)	Average leaf width (cm)	Average leaf height (cm)	Average root length (cm)
Soil:Compost:Biochar (1:1:0.5)	4.5±0.0006	18.5±0.0027	30.0±0.0032	13.3±0.0004	20.3±0.0019	30.0±0.0002
Soil:Compost:Biochar (1:1:0)	9.9±0.0015	16.0±0.0003	26.2±0.0016	11.0±0.0023	17.7±0.0022	23.0±0.0004

Table 3 Fresh weight of kale and eggplant with different growing media after planting period of 50 and 60 days, respectively (significant at p≤0.05)

Growing media	Average fresh weight (g)			
	Kale		Eggplant	
Soil:Compost:Biochar (1:1:0.5)	84.77±0.0008		46.57±0.0011	
Soil:Compost:Biochar (1:1:0)	63.36±0.0023		25.13±0.0017	

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุพร้อมปลูก

ค่าพีเอชของวัสดุพร้อมปลูก

Table 1 แสดงสมบัติทางเคมีของดิน ปุ๋ยหมัก ไบโอชาร์ และวัสดุพร้อมปลูกชนิดต่าง ๆ เมื่อพิจารณาค่าพีเอชของไบโอชาร์จะเห็นว่ามีค่าพีเอชมากกว่าดิน 1.24 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากประจุลบของหมู่ฟีนอลิก ($C_6H_5OH^-$) หมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) และหมู่คาร์บอนิล (CO^-) บนพื้นผิวไบโอชาร์ ประจุลบของหมู่ฟังก์ชั่นดังกล่าวสามารถไปจับกับโปรตรอนหรือไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ละลายอยู่ในดินทำให้จำนวนโปรตรอนที่ละลายอยู่ในดินลดลง มีผลให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มขึ้นนั่นเอง (Department of soil and science, 2005) แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์สามารถแก้ปัญหาดินเปรี้ยวได้ คือ ช่วยเพิ่มความเป็นกรดด่างของดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช การเพิ่มขึ้นค่าพีเอชของดินด้วยไบโอชาร์ยังบ่งบอกถึงปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยดินที่มีไบโอชาร์จะมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 59.96 (Table 1) เนื่องจากไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีธาตุคาร์บอน ซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก จึงทำให้ดินที่มีไบโอชาร์มีร้อยละของปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น (Suksawang, 2015)

ค่าสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุพร้อมปลูก

ค่าสภาพนำไฟฟ้าแสดงถึงปริมาณเกลือในสารละลายดิน (Panichsakpatana, 1983) จาก Figure 1 จะเห็นว่าร้อยละการลดลงของค่าสภาพนำไฟฟ้าในวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่ามากกว่าวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ แสดงให้เห็นว่าการเติมไบโอชาร์ลงไปส่งผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าลดต่ำลงอยู่ในช่วง 0.8-1.6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร เนื่องจากไบโอชาร์มีลักษณะพรุนและพื้นผิวไบโอชาร์มีประจุลบ เมื่อไบโอชาร์ดูดซับธาตุอาหารที่เป็นประจุบวกแล้วจะก่อให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือศักย์สมดุล เป็นสาเหตุให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์ลดลง อีกทั้งค่าสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุพร้อมปลูกที่ได้ยังมีค่าต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (Land Development Department, 2010) โดยวัสดุปลูกหรือดินที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร จัดเป็นแหล่งเพาะปลูกที่มีทั้งอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนมีปริมาณอากาศที่เพียงพอสำหรับระบบการหายใจของรากพืช และมีน้ำเพียงพอต่อการละลายธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การละลายธาตุอาหารหลักชนิดไนโตรเจนให้อยู่ในรูปไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Department of Soil and Science, 2005)

ค่าสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุพร้อมปลูกที่ลดลงบ่งบอกถึงสารประกอบเกลือในสารละลายดินมีปริมาณลดลง ทำให้โอกาสในการตกตะกอนของสารละลายเกลือบริเวณหน้าดินต่ำ ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ดี และอากาศถ่ายเทได้สะดวก ตลอดจนส่งผลดีต่อการชอนไชของรากพืช คือ รากพืชสามารถชอนไชไปยังแหล่งของธาตุอาหารได้ อย่างไรก็ตามหากเกิดการตกตะกอนของสารละลายเกลือบริเวณหน้าดินจะส่งผลให้ทรัพยากรดินบริเวณนั้นเกิดความเสื่อมโทรมกลายสภาพเป็นดินเค็มในที่สุด (Szabolcs, 1992)

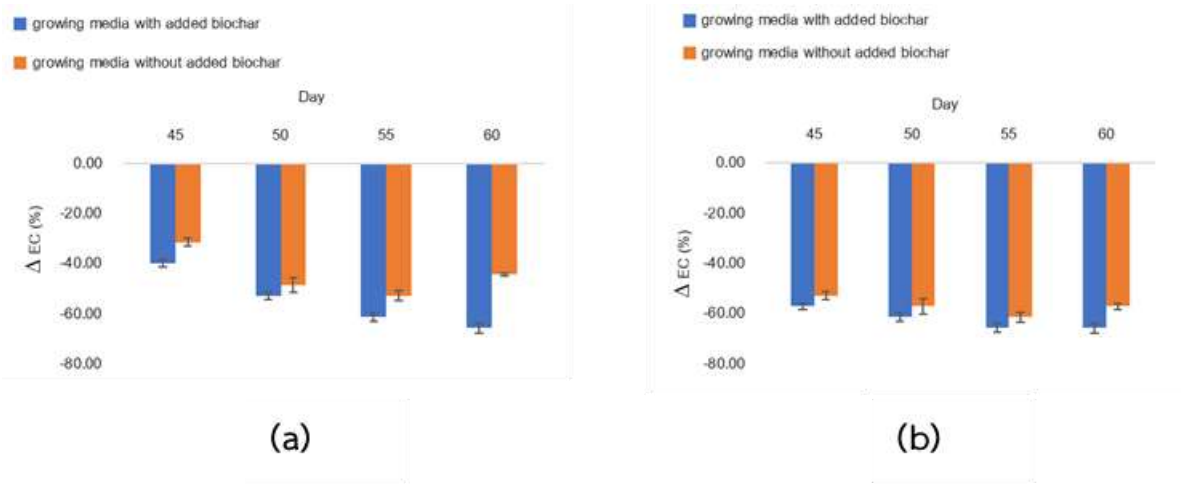


Figure 1 Percentage reduction in electrical conductivity of kale (a) and eggplant (b) with different growing media

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของวัสดุพร้อมปลูก

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนแสดงถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีประจุบวกที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ โดยดินหรือวัสดุพร้อมปลูกที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงบ่งบอกถึงความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่ดี (Chaidee, 2012) จากการศึกษาพบว่า การเติมไบโอชาร์ลงไปในวัสดุพร้อมปลูก ทำให้วัสดุพร้อมปลูกมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ดีขึ้น ดังนั้นหากเปรียบเทียบวัสดุพร้อมปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์จะเห็นว่า เมื่อนำวัสดุพร้อมปลูกมาปลูกผักคะน้าและมะเขือแล้ว วัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์จะมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมากกว่าคิดเป็นร้อยละ 21.53 แสดงให้เห็นว่า ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่ช่วยลดการสูญหายของธาตุอาหารในดินจากแสงแดดและการชะล้างด้วยน้ำในช่วงฤดูฝน อีกทั้งพืชยังสามารถนำธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมการดำรงชีวิตได้ (Wang *et al*., 2016) ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถในการตรึงธาตุอาหารรองยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินอีกด้วย คือ ช่วยลดความหนาแน่นรวมของดินหรือดินมีความร่วนขึ้นสามารถถ่ายเทน้ำและอากาศได้ดี รวมถึงมีการชอนไชของรากพืชได้ดีและยังเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อดินด้วย

ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุพร้อมปลูก

สำหรับธาตุอาหารที่จะทำการศึกษาในวัสดุพร้อมปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์นั้นจะเป็นธาตุอาหารที่มีประจุบวก เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับและการปลดปล่อยธาตุอาหารของไบโอชาร์ที่มีผิวเป็นประจุลบจึงต้องอาศัยธาตุอาหารที่มีประจุบวกในการศึกษา โดยธาตุอาหารที่มีประจุบวกจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก คือ โพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม ซึ่งจะรายงานในรูปของปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในวัสดุพร้อมปลูกที่ระยะเวลาการเพาะปลูกของคะน้าและมะเขือแตกต่างกัน (Figure 2) จาก Figure 2 พบว่าร้อยละธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในวัสดุพร้อมปลูกมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการปลูกคะน้าและมะเขือเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นร้อยละธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่าต่ำกว่าร้อยละธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ แสดงให้เห็นว่าคะน้าและมะเขือสามารถใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเพื่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของคะน้าและมะเขือที่ดีกว่า และให้ผลผลิตที่สูงกว่า เนื่องจากคะน้าและมะเขือเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่

ทุกช่วงเวลาการปลูก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าธาตุอาหารของวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์ไม่เกิดการสูญหายจากแสงแดดและการชะล้างของน้ำ วัสดุไบโอชาร์ไม่เพียงแต่ดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เท่านั้น วัสดุไบโอชาร์ยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อพืชต้องการนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตหรือเพื่อใช้ในกิจกรรมการดำรงชีวิตได้ตลอดวัฏจักรชีวิตพืช ด้วยกลไกการรบกวนสมดุลประจุ (Osotsapar, 2009)

ไบโอชาร์ในวัสดุพร้อมปลูกนอกจากจะช่วยตรึงและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชแล้ว ไบโอชาร์ยังส่งผลให้วัสดุพร้อมปลูกมีความสามารถในการกักเก็บน้ำเพื่อคงความชุ่มชื้นของบริเวณเพาะปลูก อีกทั้งยังช่วยลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในวัสดุพร้อมปลูกอย่างฉับพลันมากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังถือเป็นตัวทำละลายที่ดีของธาตุอาหารและช่วยเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากดินสู่รากพืชได้มากขึ้น (Suksawang, 2015) กล่าวคือ ไบโอชาร์เป็นตัวนำพาธาตุอาหารไปยังพืชเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตตลอดวัฏจักรชีวิตของพืช ไบโอชาร์ยังช่วยปรับโครงสร้างดิน กล่าวคือ ช่วยให้ดินจับตัวกันเป็นเม็ดมากกว่าอยู่ในลักษณะอนุภาคเดี่ยว ซึ่งจะช่วยลดการพังทลายของดินตลอดจนช่วยลดการสูญหายธาตุอาหารในรูปของก๊าซที่อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

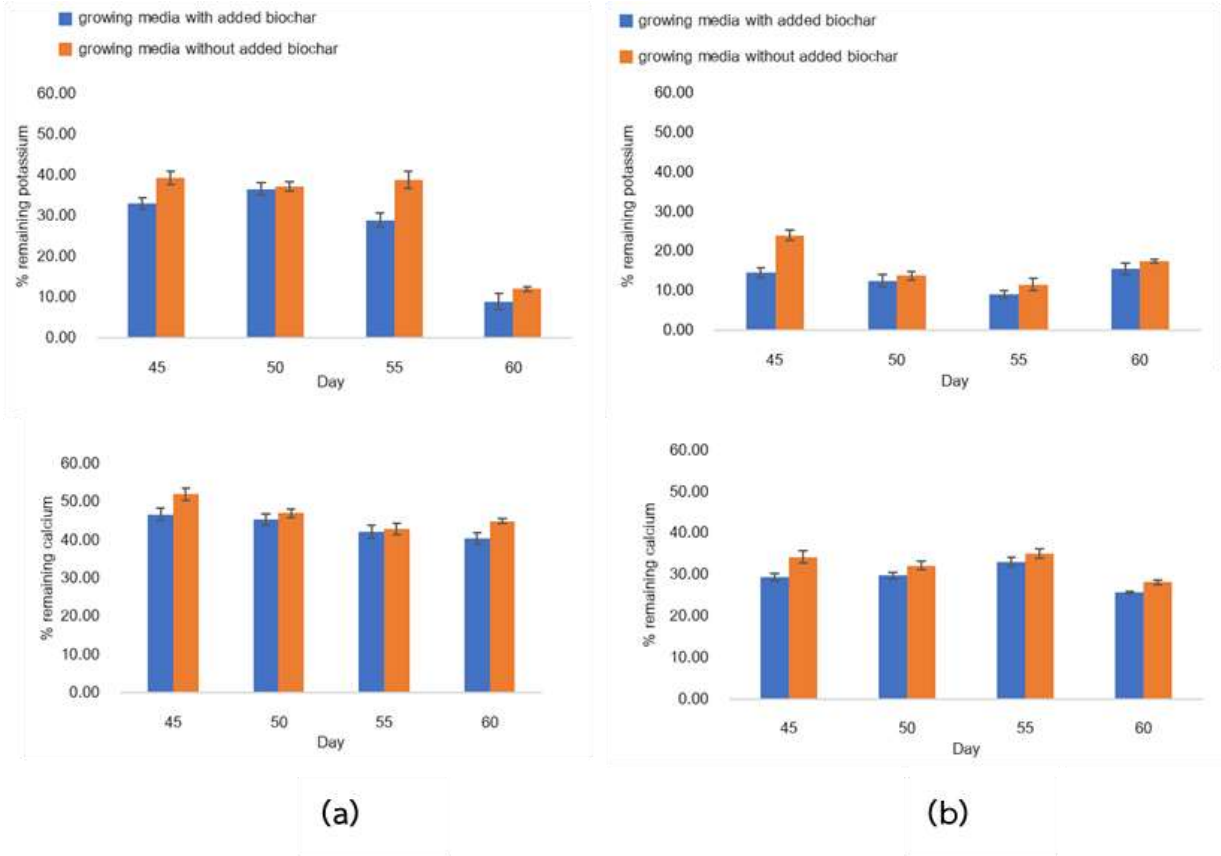


Figure 2 Nutrients remaining percentage of kale (a) and eggplant (b) with different growing media

การติดตามการเจริญเติบโตของคะน้าและมะเขือ

การติดตามการเจริญเติบโตจะเริ่มจากการเพาะต้นอ่อนหรือต้นกล้าเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำต้นอ่อนที่เพาะได้ไปปลูกด้วยวัสดุปลูกต่างชนิดกัน คือ วัสดุพร้อมปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์ ซึ่งการติดตามการเจริญเติบโตจะเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยา โดยสรีรวิทยาที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย ความสูง ขนาดลำต้น จำนวนใบ ขนาดใบในรูปความกว้างและความยาว น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวราก ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาด้านความสูง ขนาดลำต้น จำนวนใบ และความยาวราก จะใช้กลุ่มตัวอย่างคะน้า 30 ตัวอย่าง และมะเขือ 30 ตัวอย่าง จากตัวอย่างคะน้าทั้งหมด 60 ตัวอย่าง และมะเขือ 60 ตัวอย่าง โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดลำต้น จำนวนใบ และขนาดใบ จะติดตามทุกสัปดาห์ ในขณะที่ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวราก จะติดตามระยะเวลาในการเพาะปลูก คือ 45, 50, 55 และ 60 วัน จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงขนาดลำต้น ความกว้าง และความยาวใบของคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์ พบว่าขนาดลำต้นและขนาดใบโดยเฉลี่ยมากกว่าคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ คิดเป็นร้อยละ 13.79, 13.00 และ 33.39 ส่วนขนาดลำต้น ความกว้าง และความยาวใบของมะเขือ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับคะน้า คือ ขนาดลำต้น และขนาดใบโดยเฉลี่ยมากกว่าเมื่อปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์ คิดเป็นร้อยละ 7.20, 25.10 และ 7.21 ตามลำดับ (Figure 3)

การเปลี่ยนความสูงของคะน้าและมะเขือที่ติดตามในแต่ละระยะเวลาในการปลูกนั้นจะรายงานในรูปร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูง (ΔH) ซึ่งจะเปรียบเทียบกับความสูงของต้นอ่อน พบว่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงโดยเฉลี่ยของคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่ามากกว่า แสดงให้เห็นว่าคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์มีความสูงโดยเฉลี่ยมากกว่าคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับความสูงโดยเฉลี่ยของต้นอ่อน กล่าวคือ หลังการเพาะต้นอ่อนคะน้าและมะเขือมีความสูงโดยเฉลี่ย 9 และ 8.5 ซม. ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้น 45, 50, 55 และ 60 วัน ความสูงคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์โดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 30.86, 38.16, 33.43 และ 28.43 ซม. ตามลำดับ ดังนั้นร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์โดยเฉลี่ยตามระยะเวลาในการปลูก 45, 50, 55 และ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 72.82, 78.40, 75.06 และ 70.33 ตามลำดับ ในขณะที่ความสูงคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์โดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากความสูงต้นอ่อน 28.33, 30.50, 25.33 และ 23.65 ซม. ตามระยะเวลาในการปลูก 45, 50, 55 และ 60 วัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงคะน้า 68.23, 70.49, 64.47 และ 61.95 ตามลำดับ

สำหรับมะเขือให้แนวโน้มเช่นเดียวกับคะน้า (Figure 4) จากร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงคะน้าและมะเขือจะเห็นว่าทั้งคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์มีร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงที่มากที่สุดที่ระยะเวลาในการปลูก 50 และ 60 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความยาวรากที่มากที่สุดของคะน้าและมะเขือระยะเวลาในการปลูก 50 และ 60 วัน ตามลำดับ ความยาวรากที่เพิ่มมากขึ้นจะช่วยในการชอนไชไปยังบริเวณที่มีธาตุอาหารและตรึงธาตุอาหารนั้นไว้ และลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตหรือการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของพืชได้ดี มากไปกว่านั้นเมื่อความยาวรากของพืชมากจะแสดงถึงปริมาณของขนรากที่เพิ่มมากขึ้น โดยขนรากที่มากขึ้นจะบ่งบอกถึงพื้นที่ผิวในการเกิดกลไกรบกวนสมดุลไอออนระหว่างโปรตอนจากขนรากพืชและธาตุอาหารเพื่อนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่มากขึ้น (Table 1) (Osotsapar, 2009)

เมื่อศึกษาสารสำคัญในใบของคะน้าและมะเขือ ซึ่งเป็นสารสีเขียว เรียกว่า คลอโรฟิลล์ แล้วยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูก ที่เติม

ไบโอชาร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากระยะเวลาในการปลูกจาก 45 วัน (ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 34.93 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็น 50 และ 55 วัน (70.24 และ 72.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมะเขือ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผักคะน้า คลอโรฟิลล์ถือเป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนสีเขียวของพืชซึ่งพบมากบริเวณใบ สารคลอโรฟิลล์มีหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสร้างพลังงานผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และให้สารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล เพื่อให้พืชนำไปใช้ในการดำรงชีวิต จากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มมากขึ้นของคะน้าตามระยะเวลาการปลูกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดใบคะน้าเพิ่มขึ้น 1.33 เท่า (Table 2) ซึ่งขนาดใบที่เพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบได้มากขึ้น และทำให้พืชสามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อใช้ในกระบวนการสร้างอาหารพืชได้มากขึ้น รวมถึงสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง จะถูกลำเลียงและเก็บสะสมไว้ยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป อีกทั้งยังเป็นการป้องกันการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ (Beadle *et al.*, 1985)

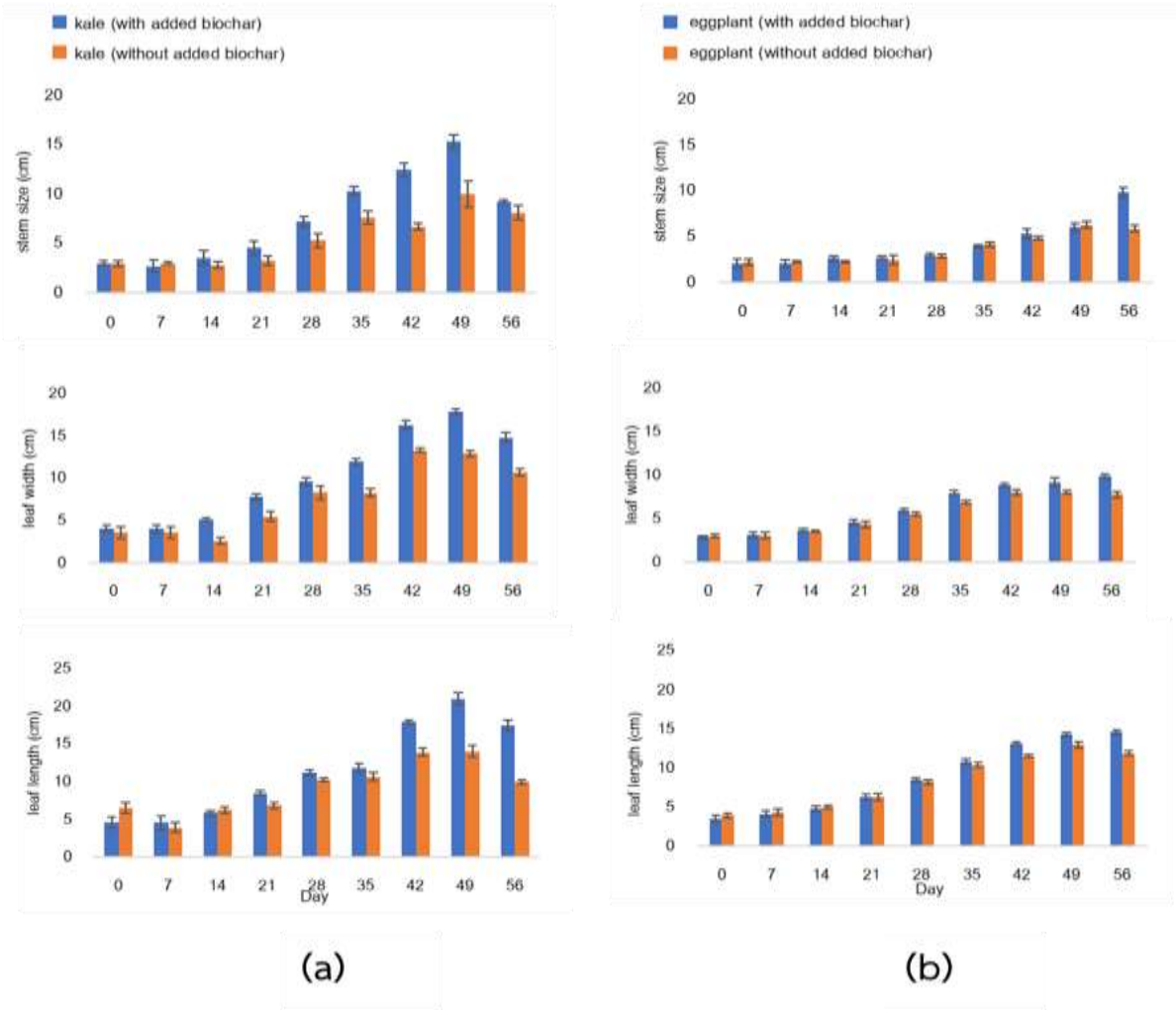


Figure 3 Stem size, leaf width and leaf length of kale (a) and eggplant (b) with different growing media

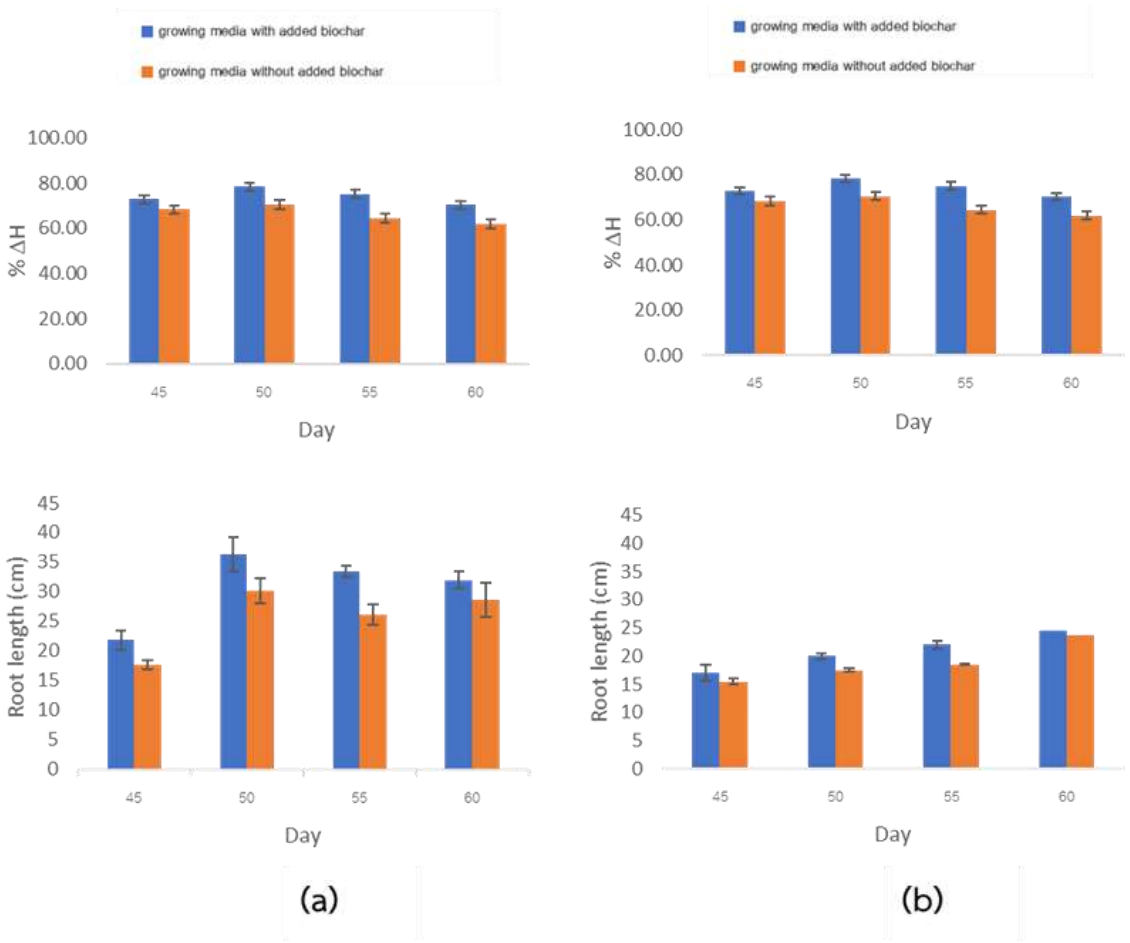


Figure 4 Percentage increase in height and root length of kale (a) and eggplant (b) with different growing media

จากการติดตามการเจริญเติบโตของพืชสามารถสรุปได้ว่าขนาดใบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้น เมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้นกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ในการดำรงชีวิตจะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ซึ่งพืชแสดงออกในรูปแบบของการให้ผลผลิตในปริมาณมาก กล่าวคือ ผลผลิตพืชมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากขึ้น โดยคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์จะให้ผลผลิตมากกว่าคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ร้อยละ 43.48 โดยน้ำหนักสด และ 62.71 โดยน้ำหนักแห้ง (Table 3) จากการศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าและมะเขือ พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้นจาก 45 วัน เป็น 50 วัน และลดลงเมื่อระยะเวลาในการปลูกมากกว่า 50 วัน โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าที่มากที่สุดพบที่ระยะเวลาในการปลูก 50 วัน ในขณะที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมะเขือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้นจาก 45 วัน ถึง 60 วัน และน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมะเขือที่มากที่สุดพบที่ระยะเวลาในการปลูก 60 วัน ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวรากที่มากที่สุดที่ระยะเวลาในการปลูก 50 และ 60 วัน ของคะน้าและมะเขือ ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ที่สุดของคะน้าและมะเขือ คือ 50 และ 60 วัน ตามลำดับ

ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของคะน้าและมะเขือ รวมถึงน้ำหนักผลผลิตที่ได้ ชี้ให้เห็นว่าไบโอชาร์ที่เติมลงไปในวัสดุพร้อมปลูกส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชในด้านการตรึงธาตุอาหารไม่ให้เกิดการสูญเสียไประหว่างการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อพืชต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงทำให้พืชที่ปลูกด้วยวัสดุพร้อมปลูกที่เติมไบโอชาร์จะได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอและเจริญเติบโตได้เต็มที่ อีกทั้งไบโอชาร์ในวัสดุพร้อมปลูกยังช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งจะช่วยลดการตกค้างสารพิษในผลผลิตพืช ตลอดจนช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้อีกด้วย (Panichsakpatana, 1983)

สรุปผลการวิจัย

การผลิตวัสดุพร้อมปลูกที่มีองค์ประกอบของดิน ปุ๋ยหมัก และไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1:1:0.5 และ 1:1:0 แล้วนำไปปลูกคะน้าและมะเขือเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต พบว่าวัสดุพร้อมปลูกที่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์ ทำให้การเจริญเติบโตของคะน้าและมะเขือสมบูรณ์กว่าวัสดุพร้อมปลูกที่ไม่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์ ซึ่งแสดงในรูปของผลผลิตที่มากกว่าคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ย 43.49 โดยน้ำหนักสด และ 62.72 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับผักคะน้า และคิดเป็นร้อยละ 35.25 โดยน้ำหนักสด และ 39.73 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับมะเขือสอดคล้องกับความยาวรากคะน้าและมะเขือที่มากกว่าคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ย 17.02 และ 10.12 ตามลำดับ มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ในวัสดุพร้อมปลูกยังช่วยฟื้นฟูสภาพดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. แสนวสันต์ ยอดคำ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำแนวคิด และแก้ไขข้อบกพร่องจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Aumtong, S. 2008. **Fertilizer Application Technology**. Chiang Mai: Faculty of Agricultural Production, Maejo University. 83 p. [in Thai]

Beadle, C.L., R.E. Neilson, H. Talbot and P.G. Jarvis. 1985. Stomatal conductance and photosynthesis in a mature scots pine forest II. dependence on environmental variables of single shoots. **J Appl Ecol**. 22(2): 273-586.

Chaidee, A. 2012. **Plant Nutrients**. Bangkok: Office of the Basic Education Commission. 16 p. [in Thai]

Department of Soil and Science. 2005. **Fundamental of Soil**. 10th. Bangkok: Kasetsart University Press. 547 p. [in Thai]

Chatsiriwech, D. 2009. **Adsorption Process**. 1st. Bangkok: Chulalongkorn University Press. 226 p. [in Thai]

Fungo, B., J. Lehmannd, K. Kalbitz, M. Thiongo, I. Okeyo, M. Tenywa and H. Neufeldt. 2017. Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical ultisol under conventional hand-hoe tillage. **Soil Tillage Res**. 165: 190-197.

Harvey, O.R., B.E. Herbert, R.D. Rhue and L.J. Kuo. 2013. Metal interactions at the biochar-water interface: energetics and structure-sorption relationships elucidated by flow adsorption microcalorimetry. **Environ. Sci. Technol**. 45: 5550-5556.

Kongklay, K. 2019. **The Effect of Added Biochar in Growing Media to Plant Growth**. 73 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Land Development Department. 2010. **Soil Chemical Analysis Process Handbook**. Bangkok: Land Development Department. 51 p. [in Thai]

_____. 2016. **No. 12 Ranging from the Year of 2017-2021 of Land Development Strategies during the National Economic and Social Development Plan**. Bangkok: Land Development Department. 274 p. [in Thai]

Masebinua, S.O., E.T. Akinlabia, E. Muzendab and A.O. Aboyadec. 2019. A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. **Renew. Sust. Energ. Rev.** 103: 291-307.

Moldenhauera, P., S. Sundqvistb, T. Mattissona and C. Linderholma. 2018. Chemical-looping combustion of synthetic biomass-volatiles with manganese-ore oxygen carriers. **Int. J. Greenh. Gas Control** 71: 239-252.

National Statistical Office. 2017**. Summary of the Findings of the Population's Working Conditions Survey Conducted in April 2017.** Bangkok: Ministry of Digital Economy and Society. 8 p. [in Thai]

Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2020. **Data on agriculture productivity.** [Online]. Available http://www.oae.go.th/view/1 /TH-TH (23 June 2020). [in Thai]

Osotsapar, Y. 2009. **Plant Nutrients.** 3rd. Bangkok: Kasetsart University Press. 529 p. [in Thai]

Panichsakpatana, S. 1983. Soil terminology. **Thai Journal of Soils and Fertilizers** 5(3): 232-236. [in Thai]

Suksawang, O. 2015. **Benefits and guidelines for using biochar (bio-charcoal) of new organic agriculture**. [Online]. Available https://www.youtube.com/watch?v=xrWzFkXGIrA. (23 June 2020).

Sun, Y. and W. Li. 2017. Effects the mechanism of micro-vacuum storage on broccoli chlorophyll degradation and builds prediction model of chlorophyll content based on the color parameter changes. **Sci Hortic (Amsterdam)** 224: 206-214.

Szabolcs, I. 1992. An Overview of the Salt Affected Lands in the World. pp. 19-25. *In* **Proceedings of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands.** Bangkok: Land Development Department.

Wang, Y., L. Zhang, H. Yang, G. Yan, Z. Xu, C. Chen, and D. Zhang. 2016. Biochar nutrient availability rather than its water holding capacity governs the growth of both C3 and C4 plants. **J. Soils Sediments** 16: 801-810.

Wua, W., M. Yang, O. Feng, K. McGrouther, H. Wang, H. Lu and Y. Chen. 2012. Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. **Biomass Bioenergy** 47: 268-276.