



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การผลิตวัสดุพร้อมปลูกจากไบโอชาร์ที่ผลิตโดยใช้เศษวัสดุข้าวโพดในชุมชน  
เพื่อปรับปรุงดิน

Growing Media Production from Biochar by using Maize Residues in Community

โดย

นางสาวพัชรี อินธนู

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2563



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การผลิตวัสดุพร้อมปลูกจากไบโอชาร์ที่ผลิตโดยใช้เศษวัสดุข้าวโพดในชุมชนเพื่อปรับปรุงดิน  
Growing Media Production from Biochar by using Maize Residues in Community

ได้รับการจัดสรรบวิจัย

ประจำปี 2563

จำนวน 327,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาวพัชรี อินธนู

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/01/2564

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.แสนวันต์ ยอดคำ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด และแก้ไขข้อบกพร่องจนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยและคณะขอกราบขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับการให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของรายงานความก้าวหน้าและรายงานฉบับสมบูรณ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย

กราบขอบพระคุณนางสาวนันทิชา ธรรมโม นางสาวกาญจนา สมฤทธิ์ และนางสาวสิรินยา ใสเอี่ยม ที่คอยให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์และการวัดผลงานวิจัยนี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนและให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยและคณะขออุทิศถวายพระคุณบิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พัชร อินธนู

## สารบัญ

|                           | หน้า |
|---------------------------|------|
| สารบัญตาราง               | ก    |
| สารบัญรูป                 | ข    |
| บทคัดย่อ                  | 1    |
| Abstract                  | 1    |
| คำนำ                      | 2    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย   | 4    |
| ขอบเขตของการวิจัย         | 4    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 5    |
| การตรวจเอกสาร             | 6    |
| อุปกรณ์และวิธีการ         | 26   |
| ผลการวิจัย                | 33   |
| วิจารณ์ผลการวิจัย         | 43   |
| สรุปผลการวิจัย            | 53   |
| เอกสารอ้างอิง             | 54   |



## สารบัญตาราง

|                                                                                                                          | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน                                              | 19   |
| ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ที่ส่งผลต่อดิน                                                           | 21   |
| ตารางที่ 4.1 ความยาวรากพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกแตกต่างกัน                                            | 41   |
| ตารางที่ 4.2 ผลผลิตของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์                                | 42   |
| ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักชนิดไนโตรเจน โพแทสเซียม และธาตุอาหารรองชนิดแคลเซียมของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์ | 47   |
| ตารางที่ 4.4 ขนาดใบในรูปของความกว้างของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์               | 49   |

# สารบัญภาพ

|                                                                                                                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 2.1 (ก) วัฏจักรการเจริญเติบโตของพืชฤดูเดียว และ (ข) วัฏจักรการเจริญเติบโตของพืชสองฤดู                                                            | 8    |
| ภาพที่ 2.2 ลำดับชั้นการจัดเรียงตัวของดิน                                                                                                                | 18   |
| ภาพที่ 2.3 ค่า pH กับ การปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน                                                                                                         | 18   |
| ภาพที่ 3.1 (ก) ความสูงต้นพืช (ข) จำนวนใบ (ค) ขนาดใบทั้งความกว้าง และ (ง) ความยาว (จ) ขนาดลำต้น (ฉ) น้ำหนักเปลือก (ช) น้ำหนักแห้ง และ (ซ) ความยาวราก     | 32   |
| ภาพที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของใบโอชาร์                                                                                                             | 34   |
| ภาพที่ 4.2 ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือ                                         | 35   |
| ภาพที่ 4.3 ร้อยละการลดลงของค่าเหนียวไฟฟ้า ( $\square$ EC) ของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือ            | 36   |
| ภาพที่ 4.4 ร้อยละของปริมาณธาตุอาหารชนิดโพแทสเซียมและแคลเซียมที่เหลือในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือ   | 37   |
| ภาพที่ 4.5 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงพืช ( $\square$ H) และความยาวรากพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์ | 39   |
| ภาพที่ 4.6 ขนาดลำต้น จำนวนใบ และขนาดใบของพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์                                 | 40   |
| ภาพที่ 4.7 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชผักชนิด (ก) ค่ะน้ำและ (ข) มะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์                                     | 51   |

การผลิตวัสดุพร้อมปลูกจากไบโอชาร์ที่ผลิตโดยใช้เศษวัสดุข้าวโพดในชุมชน  
เพื่อปรับปรุงดิน

Growing Media Production from Biochar by using Maize Residues in Community

พัชรี อินธนู<sup>1</sup>

Patcharee Intanoo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือด้วยวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เติมไบโอชาร์ซึ่งเตรียมจากดิน ปุ๋ยหมัก และไบโอชาร์ในอัตราส่วนระหว่างดิน ปุ๋ยหมัก และไบโอชาร์ 2:2:1 และ 2:2:0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์มีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์กว่าอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงในรูปน้ำหนักของผลผลิตที่มากกว่าทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง อีกทั้งผลที่ได้จากการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักยังสอดคล้องกับคุณสมบัติทางเคมีที่ดีขึ้นของวัสดุปลูกเมื่อเพิ่มองค์ประกอบของไบโอชาร์ลงไปคือ มีค่าเหนียวไฟฟ้าลดลงขณะที่ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการกักเก็บธาตุอาหารพืชและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

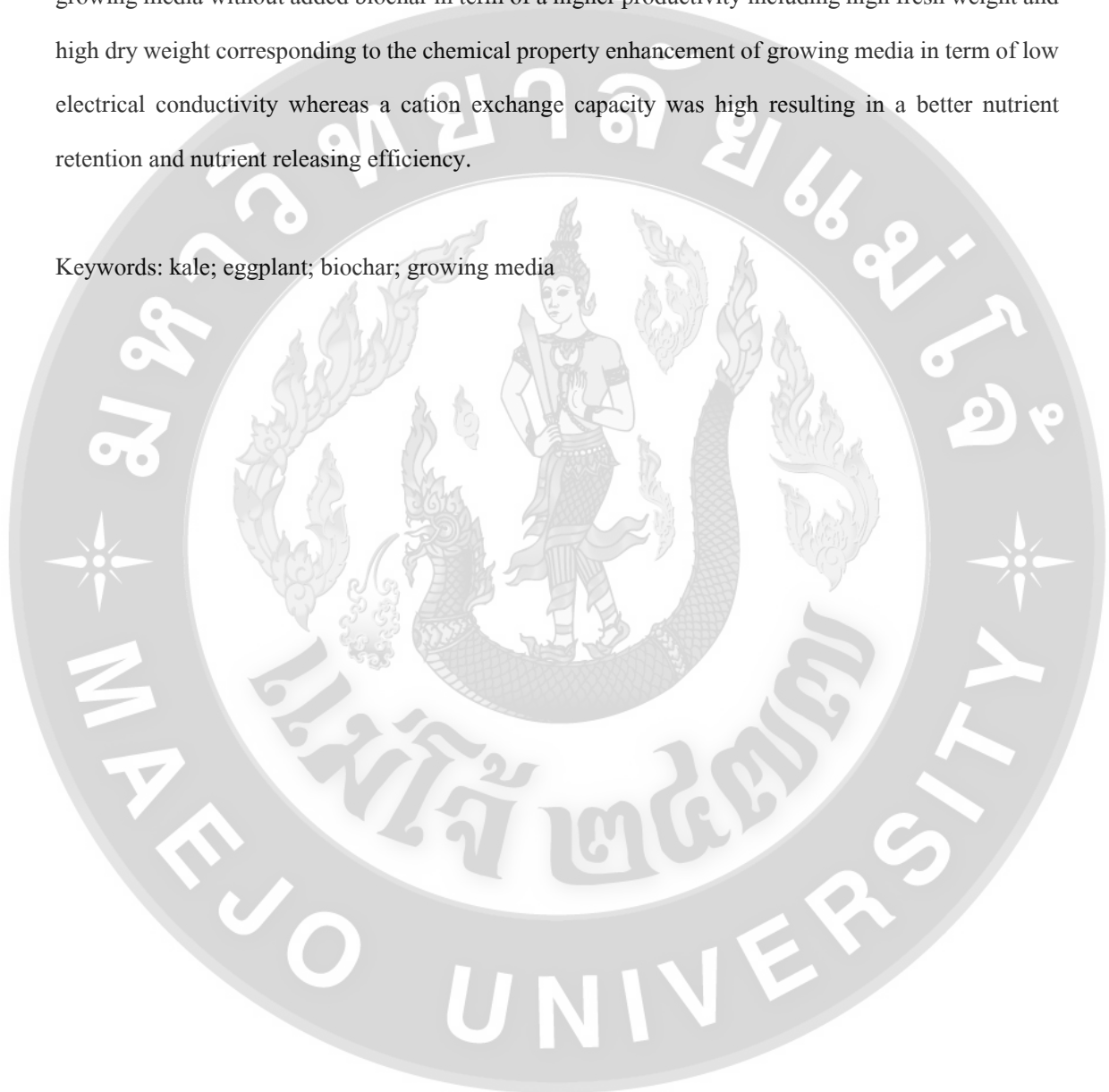
คำสำคัญ: กะน้า มะเขือ ไบโอชาร์ วัสดุปลูก

Abstract

In this research was to study the growth of kale and eggplant by using growing media with and without added biochar. The growing media was consisted of soil, compost and biochar in the ratio of

2:2:1 and 2:2:0 by weight, respectively. From the study, it was found that the growth of both kale and eggplant using growing media with added biochar were significantly more complete than that using growing media without added biochar in term of a higher productivity including high fresh weight and high dry weight corresponding to the chemical property enhancement of growing media in term of low electrical conductivity whereas a cation exchange capacity was high resulting in a better nutrient retention and nutrient releasing efficiency.

Keywords: kale; eggplant; biochar; growing media



## บทที่ 1

### คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ดังนั้นการทำเกษตรกรรมจึงเป็นแหล่งรายได้หลักในการเลี้ยงชีพ และประเทศไทยมีพื้นที่ในการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 55.42 ของพื้นที่ทั้งหมด อย่างไรก็ตามผลผลิตทางการเกษตรกลับมีแนวโน้มลดลง เช่น ในปีพุทธศักราช 2557-2558 ประเทศไทยมีผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 669 กิโลกรัมต่อไร่ และในปีพุทธศักราช 2558-2559 ประเทศไทยมีผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลงคิดเป็นร้อยละ 4.04 ซึ่งการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรมีสาเหตุหลัก คือ ปัญหาดินเสื่อมโทรมสาเหตุอันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติ และการใช้ดินที่ไม่ถูกวิธีของมนุษย์ เช่น การพังทลายของดิน ดินขาดอินทรีย์วัตถุจำพวกจุลินทรีย์ ในโตรเจน (N) และคาร์บอน (C) เป็นต้น และอาจเกิดจากภัยธรรมชาติร่วมกับพฤติกรรมการใช้ดินของมนุษย์ จากสาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้ดินมีภาวะ ดินเค็ม/ดินเปรี้ยว/ดินอินทรีย์ (พรุ)/ดินทราย และดินตื้น ซึ่งเป็นสภาพดินที่ไม่มีความอุดมสมบูรณ์และไม่เหมาะต่อการเกษตรกรรมและการเพาะปลูก ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวัสดุที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นคือ ไบโอชาร์ (Biochar)

ไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุทางการเกษตรที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการเผาภายใต้สภาวะอับอากาศ และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีของเสียจำพวกเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลังฤดูการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมาก เช่น การปลูกข้าว 1 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 400-800 กิโลกรัมต่อไร่ และเศษฟางข้าวประมาณ 900-1200 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นต้น ซึ่งการกำจัดเศษฟางข้าวมักจะถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาซึ่งเป็นวิธีการกำจัดที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและหมอกควัน ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งเป็น

ไบโอชาร์เพื่อช่วยในการปรับปรุงดินทางด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ และการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน มากไปกว่านั้นยังช่วยให้ดินสามารถกักเก็บธาตุอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต โดยไบโอชาร์มีคุณสมบัติที่ดี คือ มีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูงจึงทำให้สมบัติการดูดซับน้ำในดินเพิ่มสูงขึ้น การดูดซับและการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหาร

รองผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกของธาตุอาหารในดิน มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังเป็นวัสดุที่ช่วยดูดซับสารกำจัดวัชพืชต่างๆ เช่น อิมาซาพิก (Imazapic) และอิมาซาเพอร์ (Imazapyr) ซึ่งเป็นสาเหตุของสารเคมีตกค้างในพืชและดินเสื่อมโทรมตามลำดับ รวมไปถึงยังช่วยกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดินและลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก จากคุณสมบัติดังกล่าวของไบโอชาร์จึงทำให้นักวิจัยมีความสนใจที่จะผลิตวัสดุพร้อมปลูกโดยใช้ไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษวัสดุข้าวโพดในพื้นที่อำเภอสนทรายจากนั้นทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช โดยการทดสอบคุณสมบัติและธาตุอาหารของวัสดุพร้อมปลูก รวมถึงการนำไปทดลองปลูกพืชจริงเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเติมไบโอชาร์ในวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือ มากไปกว่านั้นยังเปรียบเทียบผลผลิตของพืชผักทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกต่างชนิดกันตลอดจนเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าเหนียวน้ำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุรวมของวัสดุปลูกที่ต่างชนิดกัน คือ วัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับและการปลดปล่อยธาตุอาหารของใบโอชาร์ในวัสดุปลูก
2. ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมใบโอชาร์
3. ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชด้วยวัสดุปลูกที่มีการเติมและไม่เติมใบโอชาร์
4. เปรียบเทียบผลผลิตพืชผักที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกต่างชนิดกัน จำนวน 3 ต้น

### ขอบเขตของการวิจัย

1. อัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ประกอบด้วยดิน ปุ๋ย และใบโอชาร์ คือ 2:2:1 และ 2:2:0 โดยน้ำหนักตามลำดับ
2. การเพาะปลูกพืชผักจะใช้ถุงดำขนาด  $5 \times 10$  นิ้ว 1 ถุง ต่อ 1 ต้น
3. ปริมาณวัสดุปลูกที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชผัก คือ 2 กิโลกรัม ต่อ 1 ต้น
4. ชนิดพืชผักที่เปรียบเทียบผลผลิต คือ คะน้า และมะเขือ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการรักษาภาพและการปรับปรุงดินของพื้นที่การทำเกษตรกรรมด้วยวัสดุไบโอชาร์
2. ได้ทราบกลไกการทำงานของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกตลอด เช่น กลไกในการดูดซับและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช
3. ได้ทราบถึงประโยชน์ของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกด้านการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของพืชซึ่งสามารถนำไปเผยแพร่ให้แก่ชุมชนใกล้เคียงมหาวิทยาลัย
4. ทำให้ทราบวิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลอย่างต่อเนื่องแทนการเผาและนำไปสู่การนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางการเกษตร
5. ได้ผลิตนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่มีความรู้ด้านการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในชุมชนแทนการเผา



## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 1. พืช

พืชผักถือเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์เนื่องจากพืชผักมีสารบางชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซี เป็นต้น ซึ่งในอาหารบางชนิดอาจไม่มีสารเหล่านี้หรือมีในปริมาณน้อยส่งผลให้มนุษย์เริ่มมีการเพาะปลูกพืชผักเพื่อเป็นแหล่งอาหารแทนการเก็บจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียว จากการริเริ่มเพาะปลูกพืชผักของมนุษย์ทำให้มนุษย์มีการคิดค้นการพัฒนาสายพันธุ์พืชผักให้มีความหลากหลายรวมไปถึงการปรับปรุงพันธุ์พืชผักเพื่อให้มีปริมาณสารที่จำเป็นต่อร่างกายเพิ่มสูงขึ้น สารที่พบในพืชผักล้วนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ อีกทั้งในพืชผักแต่ละชนิดยังมีวิตามินหลากหลายชนิดที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์และสัตว์สำหรับช่วยการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น พืชผักแต่ละชนิดเป็นแหล่งของธาตุอาหารและวิตามินที่แตกต่างกันออกไป เช่น พืชผักที่มีสีเขียว ได้แก่ คะน้า และมะเขือเป็นพืชผักที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารชนิดแคลเซียม และวิตามินชนิดวิตามินเอ ส่วนพืชผักสีส้มมีปริมาณวิตามินเอสูงรวมถึงธาตุอาหารชนิดโพแทสเซียมที่มีในปริมาณสูงอีกด้วย จากธาตุและสารอาหารชนิดต่างๆ ที่พบในพืชผักจะเห็นได้ว่าการรับประทานพืชผักมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดโรคและช่วยเสริมสร้างประโยชน์ให้แก่ร่างกายจึงทำให้มนุษย์มีการประกอบอาชีพเป็นเกษตรกรเพื่อผลิตพืชผักหรืออาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

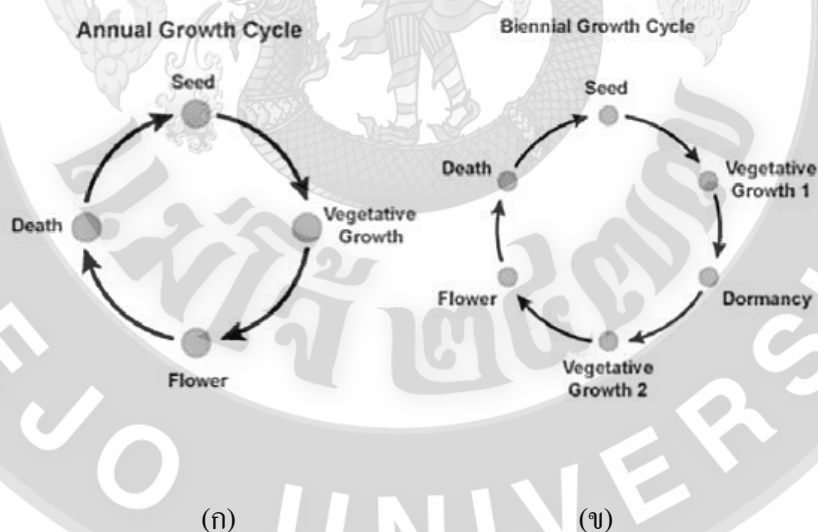
ประเทศไทยมีพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกพืชผัก 2.5-3.5 ล้านไร่ โดยในช่วงปีพุทธศักราช 2542-2543 พื้นที่ในการเพาะปลูกพืชผักมีทั้งสิ้น 2.738 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นผลผลิตทั้งหมด 4.3 ล้านตัน จากข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้การเพาะปลูกพืชผักถือเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ให้ผลตอบแทนสูง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพืชผักที่ขายตามท้องตลาดมักมีสารพิษหรือสารตกค้างจากการใช้สารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชและวัชพืชระหว่างการเพาะปลูกในปริมาณสูงจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชผักและผู้บริโภค

ทั้งด้านสุขภาพของผู้บริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของพืชผัก ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาการตกค้างของสารพิษในพืชผักจึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้สารพิษซึ่งอาจถือเป็นการลดต้นทุนในการผลิตของเกษตรกรและยังช่วยลดมลพิษของสิ่งแวดล้อมอีกด้วยโดยมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้สารพิษระหว่างการเพาะปลูกพืชผักนั้นมักแสดงในรูปของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจนทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน เป็นต้น ดังนั้นการลดและการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีเพื่อการกำจัดศัตรูพืชนั้นเกษตรกรสามารถทำได้โดยการใช้สิ่งอื่นมาทดแทน เช่น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมีและการใช้ไบโอชาร์เพื่อช่วยในการปรับสภาพดินแทนการใช้ปูนขาว มากไปกว่านั้นการลดการใช้สารเคมียังถือเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรดินให้มีความอุดมสมบูรณ์กล่าวคือ เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดินและยังเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับดินโดยธาตุอาหารในดินถือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการสูงของพืชผัก

### 1.1 การเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตของพืชมักกล่าวถึงตั้งแต่กระบวนการงอกของเมล็ดจนถึงสิ้นสุดวัฏจักรพืช คือ พืชหยุดการเจริญเติบโตหรือการตายของพืชนั่นเองโดยในแต่ละกระบวนการจะใช้ระยะเวลาแตกต่างกันตามชนิด ประเภท และพัฒนาการการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชนั้นเกิดผ่านขั้นตอนการงอกของพืชจากเมล็ดจนกระทั่งได้ต้นกล้าเมื่อต้นกล้ามียาวมากขึ้นต้นกล้าจะกลายเป็นต้นพืชจากนั้นต้นพืชจะเจริญเติบโตและพัฒนาต่อไปเรื่อยๆ ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตพืชจะแสดงออกในรูปของการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของต้นพืชหากพืชมีอายุที่เหมาะสมหรือมีพัฒนาการเต็มที่ประกอบกับพืชได้รับการกระตุ้นจากสภาวะภายนอก เช่น แสงสว่าง พืชจะแสดงการเจริญเติบโตในรูปของการออกดอก ติดผล และการสร้างเมล็ด และเมล็ดจะถูกพัฒนาต่อจนกลายเป็นต้นพืชด้วยกระบวนการงอก การสร้างต้นกล้าจนกระทั่งกลายเป็นต้นพืชต่อไป ส่วนพืชต้นเดิมนั้นสำหรับพืชบางชนิด เช่น คენห่า อาจแห้งเหี่ยวจนตายไปเรียกว่า พืชฤดูเดียวคือพืชที่มีการเจริญเติบโตให้ผลผลิต และตายภายในหนึ่งฤดู (ภาพ 2.1(ก)) ขณะที่พืชบางชนิด เช่น มะเขือ อาจยังมีการเจริญเติบโต

ต่อไปในลักษณะเดียวกันกับช่วงที่ต้นพืชยังไม่ออกดอกเรียกพืชชนิดนี้ว่า พืชสองฤดูคือพืชที่มีการออกดอก ติดผลมากกว่าหนึ่งครั้ง และสามารถอยู่ได้ถึงสองฤดูกาลก่อนตายไปในที่สุด (ภาพ 2.1 (ข)) การเจริญเติบโตของพืชจะดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อมภายนอก ความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่เพาะปลูก และธรรมชาติของพืช เป็นต้น โดยปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ สภาพแวดล้อมและธรรมชาติของพืช โดยพฤติกรรมของพืชต่อสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดพืช เช่น ความสูง ขนาด/ความยาวราก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ขนาดความกว้าง/ความยาวของใบ และจำนวนใบรวมไปถึงการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ยอด การยืดยาวของยอด การเลื้อยพัน การเอนเข้าหาแสง การเปิดปิดปากใบ การหุบและการกางออกของใบ และการคลี่ของใบอ่อน เป็นต้น พฤติกรรมของพืชเหล่านี้ล้วนเป็นการตอบสนองเพื่อให้เกิดการเจริญเติบโตซึ่งจะปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน



ภาพ 2.1 (ก) วัฏจักรการเจริญเติบโตของพืชฤดูเดียว และ (ข) วัฏจักรการเจริญเติบโตของพืชสองฤดู

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยภายในหรือปัจจัยด้านพันธุกรรม (Internal or genetic factor) และ ปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (External or environmental factors) โดยปัจจัยด้านพันธุกรรมเป็นปัจจัยที่ควบคุมให้พืชแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของลำต้น รูปร่างของดอก ใบ และผล ส่วนปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมนั้นเป็นตัวควบคุมความสามารถในการแสดงออกของพันธุกรรมในรูปของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต เช่น พืชที่มีพันธุกรรมการให้ผลผลิตสูงหากนำมาเพาะปลูกในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้พืชไม่สามารถให้ผลผลิตสูงสุดตามความสามารถของพืชเนื่องจากสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมไม่ให้พันธุกรรมของพืชแสดงออกได้อย่างเต็มที่ ในทางตรงกันข้ามหากปลูกพืชในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ การเลือกฤดูกาลปลูกและพื้นที่ในการเพาะปลูกให้ตรงตามชนิดของพืชแล้วพืชจะให้ผลผลิตสูงสุดเต็มขีดความสามารถของพืชนั่นเอง

#### 1) ปัจจัยภายในหรือปัจจัยด้านพันธุกรรม

พันธุกรรมถือเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการแสดงออกของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดสายพันธุ์ซึ่งสายพันธุ์ของพืชต้องเป็นสายพันธุ์ชนิดเดียวกับสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่ โดยลักษณะของพันธุกรรมที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตจะถูกควบคุมด้วยหน่วยพันธุกรรมเรียกว่า ยีนส์ (Genes) ที่ประกอบด้วยดีเอ็นเอ (DNA) และ อาร์เอ็นเอ (RNA) มากไปกว่านั้นยีนส์ยังเป็นตัวกำหนดให้สิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการจากการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตที่สามารถถ่ายทอดจากรุ่นพ่อรุ่นแม่ไปสู่รุ่นลูกหลานได้ การแสดงออกของปัจจัยด้านพันธุกรรมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามปัจจัยด้านพันธุกรรมของพืชจะมีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์เนื่องจากพืชแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการดำเนินการทางสรีรวิทยา เช่น ขนาดและความสูงของลำต้นหรือรากที่แตกต่างกันด้วยการสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตซึ่งได้แก่สารประกอบอินทรีย์ เช่น สารกลุ่มออกซิน กลุ่มจิบเบอเรลลิน กลุ่มไซโตไคนิน และเอทิลีน เป็นต้น สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้มีหน้าที่ช่วย

ในการกระตุ้นและการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เช่น การเพิ่มความยาวและการขยายขนาดของเซลล์พืช การตอบสนองต่อแสงของพืช การตอบสนองต่อแรงดึงดูดของโลก และการชักนำรากพืช เป็นต้น ส่วนผลที่ได้จากการดำเนินการทางสรีรวิทยาของพืช ได้แก่ การสร้างสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการสังเคราะห์แสง การย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลผ่านกระบวนการหายใจรวมไปถึงกระบวนการสร้างสารประกอบอื่นๆ เช่น สารประกอบโปรตีนและไขมัน เป็นต้น

## 2) ปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากสภาพแวดล้อมอาจช่วยส่งเสริมหรือขัดขวางการแสดงออกของพันธุกรรมพืชคือลักษณะที่ปรากฏของพืชที่บ่งบอกถึงการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การปรับตัวของยีนส์และสภาพแวดล้อม โดยยีนส์จะส่งผลโดยตรงต่อกิจกรรมของฮอร์โมนภายในพืชกล่าวคือ หากยีนส์และสภาพแวดล้อมปรับตัวได้ดีต้นพืชที่ได้จะเจริญงอกงาม ในทางตรงกันข้ามหากสภาพแวดล้อมไปขัดขวางการทำงานไม่ให้มีการแสดงออกของยีนส์พืชจะมีการเจริญเติบโตช้าส่งผลให้พืชไม่เจริญงอกงามและได้ผลผลิตต่ำ ตัวอย่างของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ ดิน น้ำ อากาศ และธาตุอาหาร เป็นต้น

### ก) แสงสว่าง

แสงสว่างถือเป็นแหล่งพลังงานของพืชที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์อาหารจากแร่ธาตุและน้ำที่พืชดูดซับจากดินเพื่อใช้ในการเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ลำต้น และการออกดอก มากไปกว่านั้นแสงสว่างยังมีอิทธิพลต่อกระบวนการงอกของเมล็ดและการออกดอกของพืชอีกด้วย อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงหรือแสงอาทิตย์ หากแสงมีความเข้มไม่เพียงพอส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชต่ำจนทำให้ได้ผลผลิตต่ำ

พืชผักเป็นพืชที่มีสารสีที่สำคัญเรียกว่าคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์เป็นสารที่สามารถดูดกลืนแสงเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นแก๊สออกซิเจนและสารประกอบกลูโคส กระบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นในออร์แกเนลล์ที่เรียกว่าคลอโรพลาสต์ ซึ่งพบได้ในเซลล์พืชและเซลล์สาหร่ายบางชนิด เช่น ยูกลีนา และการมองเห็นสีเขียวของพืชผักนั้นเกิดจากการตกกระทบของแสงขาวบนสารสีคลอโรฟิลล์และสารสีคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนแสงขาวในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงในขณะที่ความยาวคลื่นของแสงสีเขียวถูกปล่อยและสะท้อนออกมา และส่วนของใบพืชเป็นหน้าที่ทำหน้าที่รับแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารเสร็จสิ้นอาหารจะถูกลำเลียงไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืชดังนั้นกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจะเกิดขึ้นได้ดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดใบของพืชในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโตในช่วงแรก คือ ช่วงระยะที่เริ่มแตกใบ ขนาดของใบพืชมีขนาดเล็กจึงทำให้การสังเคราะห์แสงไม่เต็มที่เมื่อเปรียบเทียบกับระยะที่มีการเพิ่มขนาดใบในอัตราคงที่ในช่วงการเจริญเติบโตนี้ใบของพืชจะมีขนาดขยายใหญ่เต็มที่หรือโตเต็มที่พร้อมที่จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่

#### ข) อุณหภูมิ

อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่กระบวนการงอกของเมล็ด กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการหายใจ จนถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือออกดอกและการติดผล สภาพของอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชนั้นจะกล่าวถึงอุณหภูมิในดินและอุณหภูมิในอากาศ อุณหภูมิในดินมีผลต่อการงอกของเมล็ดและราก การดูดซับน้ำและธาตุอาหารภายในดิน โดยอุณหภูมิในดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงอาทิตย์ ส่วนอุณหภูมิในอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ อุณหภูมิของอากาศที่ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไปยกตัวอย่างเช่น การเจริญเติบโตของมะเขือเทศจะขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเวลากลางคืนโดยจะส่งผลต่อกระบวนการการดูดซับน้ำและธาตุอาหารของมะเขือเทศ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของ

พืชสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ (1) อุณหภูมิต่ำสุด หมายถึง อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ (2) อุณหภูมิที่เหมาะสม หมายถึง อุณหภูมิที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือ พืชมีการเพิ่มขึ้นของขนาดและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงอัตราการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุด และ (3) อุณหภูมิสูงสุด หมายถึง อุณหภูมิที่สูงที่สุดที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ คือ พืชยังมีการเจริญเติบโตแต่การเจริญเติบโตจะเป็นไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด

#### ก) ดิน

ดินเป็นที่อยู่ของรากพืชซึ่งถือเป็นแหล่งน้ำและแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช คุณสมบัติของดินทั้งทางเคมีและทางกายภาพเป็นตัวกำหนดคุณภาพและปริมาณผลผลิตพืช คุณลักษณะของดินที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไปจะเป็นดินที่อยู่ ณ ความลึก 15-30 เซนติเมตร โดยดินต้องมีความร่วนซุยสามารถถ่ายเทอากาศได้ดีรวมถึงระบายน้ำได้ดี อีกทั้งดินต้องมีค่าความเป็นกรดต่ำอยู่ในช่วง 5.0 – 8.0 ซึ่งเป็นค่าความกรดต่ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินที่ดีต้องเป็นดินที่มีแร่ธาตุและสารอินทรีย์ในปริมาณสูง อีกทั้งดินต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อพืชอย่างเพียงพอและครบถ้วน

#### ง) น้ำ

น้ำมีความสำคัญกับพืชทุกชนิดเนื่องจากพืชทุกชนิดอาศัยน้ำในทุกช่วงเวลาของการเจริญเติบโตตั้งแต่กระบวนการเริ่มงอกของเมล็ดจนถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวและความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน พืชผักถือเป็นพืชที่มีองค์ประกอบของน้ำสูงจึงมีความต้องการน้ำตลอดการเพาะปลูกโดยการให้น้ำแก่พืชต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ คือ การให้น้ำเป็นประจำทุกวันในช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็น มากไปกว่านั้นน้ำยังมีความสำคัญด้านการเป็นตัวทำละลายของธาตุอาหารพืชในดินซึ่งมีบทบาทสำคัญในด้านสรีรวิทยาของพืชตลอดจนการลำเลียงธาตุอาหารต่างๆ ของพืช อีกทั้ง

พืชยังต้องการน้ำเพื่อเป็นแหล่งของธาตุไฮโดรเจนสำหรับรับธาตุอาหารจากดินด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของไฮโดรเจนที่รากพืช

#### จ) ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้มากกว่าปัจจัยอื่นที่กล่าวมา และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ขาดไม่ได้มีทั้งหมด 16 ธาตุ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (C) ธาตุไฮโดรเจน (H) ธาตุออกซิเจน (O) ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) ธาตุโพแทสเซียม (K) ธาตุแคลเซียม (Ca) ธาตุแมกนีเซียม (Mg) ธาตุกำมะถัน (S) ธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุสังกะสี (Zn) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุโบรอน (B) ธาตุโมลิบดีนัม (Mo) และธาตุคลอรีน (Cl) ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มธาตุอาหารดังกล่าวลงไปโดยการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชจะอาศัยวัสดุที่เรียกว่า ปุ๋ย (Fertilizers) ปุ๋ย หมายถึง วัตถุหรือสารที่เติมลงไปในดินในปริมาณที่เหมาะสม ปุ๋ยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี

##### - ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์เป็นหลักซึ่งสารอินทรีย์นั้นมักได้มาจากพืช และสัตว์ ด้วยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์คือกระบวนการย่อยสลาย ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด (1) ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของสิ่งปฏิกูลของสัตว์ อินทรีย์วัตถุ (อิมัส) แคลที่เรียก และอาหารที่สัตว์ยังย่อยไม่หมด เช่น เซลลูโลสและลิกนิน นอกจากนั้นยังประกอบด้วยวิตามินและฮอร์โมน เช่น ไทแอมีน (Thiamine) ไบโอติน (Biotin) อีกด้วย ธาตุอาหารที่พบในปุ๋ยคอกจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของสัตว์รวมไปถึงชนิดของอาหารสัตว์ที่สัตว์กินเข้าไป การใช้งานปุ๋ยคอกมักใช้ในรูปแบบแห้งหรือนำไปหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายก่อน (2) ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่ได้จากการนำส่วนของพืช วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด กากอ้อย แกลบ และขี้เลื่อย ไปหมักโดยการกองเป็นชั้นๆ บนพื้นดินหรือทำการหมักในหลุมเพื่อย่อยสลายให้เน่าเปื่อยโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในดินการผลิตปุ๋ยหมักจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 เดือน จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความ



ละเอียดย่อยน้ำตาลปนดำ (3) ปุ๋ยพืชสดเป็นปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบต้น ใบ และส่วนต่างๆ ของพืชลงดิน เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินด้วยการปล่อยให้ซากพืชเน่าเปื่อยและย่อยสลาย พืชที่นิยมนำมาเป็นปุ๋ยพืชสด ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว

#### - ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี คือปุ๋ยที่มีสารประกอบอนินทรีย์หรือสารประกอบเคมีที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีเป็นองค์ประกอบ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น ปุ๋ยเคมีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปุ๋ยเดี่ยวและปุ๋ยผสม ปุ๋ยเดี่ยว คือปุ๋ยที่มีธาตุอาหารชนิดธาตุในโตรเจน (N) หรือธาตุฟอสฟอรัส (P) หรือธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบหลักอยู่เพียงธาตุเดียวในปริมาณคงที่ และมีความเข้มข้นสูงมักถูกนำมาใช้ผสมเป็นปุ๋ยสูตรต่างๆ เช่น ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตฟอสเฟต (0-20-0) ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) เป็นต้น ส่วนปุ๋ยผสม คือปุ๋ยที่ได้จากการนำแม่ปุ๋ยตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกันเพื่อให้ได้ปริมาณสัดส่วนของธาตุอาหารตามที่ต้องการการผลิตปุ๋ยผสมมักจะนำมาผ่านกระบวนการบดจนละเอียดเพื่อให้เข้ากันจากนั้นอัดเป็นเม็ดกลมๆ เรียกว่า ปุ๋ยผสมชนิดเม็ด ปุ๋ยผสมจะเป็นปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักในปริมาณที่สม่ำเสมอทุกเม็ด

#### 1.2 คุณค่าทางโภชนาการของพืช

ในปัจจุบันพืชผักถือเป็นแหล่งอาหารหลักของมนุษย์เนื่องจากพืชผักมีองค์ประกอบของน้ำสูงถึงร้อยละ 76 - 97 อีกทั้งพืชผักถือเป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ มากไปกว่านั้นพืชผักยังมีสารอาหารประเภทอื่น เช่น สารต้านอนุมูลอิสระและใยอาหาร ดังนั้นพืชผักจึงถือเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและยังช่วยชะลอการย่อยและการดูดซึมสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตในอาหารซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการดูดซึมสารประกอบประเภทน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดช้าลง สำหรับใยอาหารในพืชผักเป็นใยอาหารประเภทที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ซึ่งเป็นตัวช่วยให้ระบบ

ซับซ้อนของมนุษย์เป็นไปอย่างมีระบบ และการบริโภคพืชผักที่มีเส้นใยสูงจะทำให้การขับถ่ายสะดวกสบายเป็นประจำสม่ำเสมอโดยไม่เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น อาการท้องผูก

พืชผักทุกชนิดล้วนแล้วแต่มีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชผักใบเขียว เนื่องจากสีเขียวในพืชผักประกอบไปด้วยสารคลอโรฟิลล์ สารเบต้าแคโรทีน และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคมะเร็ง มากไปกว่านั้นสารต่างๆ ที่มีอยู่ในพืชผักยังช่วยบำรุงหัวใจและหลอดเลือด บำรุงสมองและความจำรวมไปถึงชะลอความเสื่อมของเซลล์ต่างๆ อีกทั้งยังช่วยควบคุมสมดุลระดับแคลเซียมในกระดูกและฟันอีกด้วย มากไปกว่านั้นพืชผักยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ เช่น ธาตุโพแทสเซียม ธาตุแมกนีเซียม และธาตุทองแดง แร่ธาตุเหล่านี้ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมแร่ธาตุชนิดอื่นได้มากขึ้น เช่น ธาตุฟอสฟอรัสและธาตุแคลเซียม รวมทั้งยังช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดอีกด้วย พืชผักประกอบด้วยเนื้อเยื่อพื้นฐานหรือเนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งสะสมอาหารซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการควบคุมปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อการรักษาสมดุลความเป็นกรดด่างในเม็ดเลือด การรักษาสมดุลอิเล็กโทรไลต์ของน้ำในหลอดเลือด และรักษาระบบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมหรือกระบวนการเผาผลาญให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. ดิน

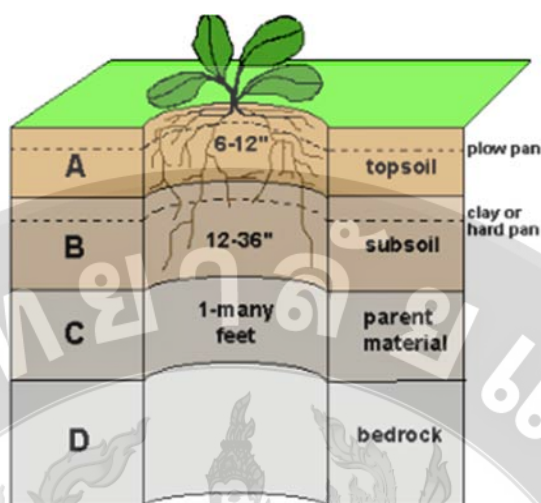
ดิน คือ วัตถุที่เกิดจากธรรมชาติที่ปกคลุมพื้นผิวโลกประกอบด้วยอนุภาคต่างๆ ที่เกิดจากการแปรสภาพของวัตถุต้นกำเนิดดิน (ชั้น C) (ภาพ 2.2) และซากสิ่งมีชีวิตที่เน่าเปื่อยผสมคลุกเคล้ากัน องค์ประกอบของดินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นของแข็ง (Solids) และส่วนที่ไม่ใช่ของแข็ง (Nonsolids) ได้แก่ อนินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์วัตถุ ส่วนของดินที่เป็นอนินทรีย์วัตถุได้แก่ หิน กรวด ทราย ดินทราย (silt) และดินเหนียว (clay) อนินทรีย์วัตถุในดินจะเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ในดิน อีกทั้งยังบ่งบอกถึงลักษณะของเนื้อดินที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุของธาตุอาหารและการดูดซับน้ำในดิน สำหรับอินทรีย์วัตถุมักพบบริเวณดินชั้นบน

(ชั้น A) (ภาพ 2.2) ส่วนของอินทรีย์วัตถุนั้นได้มาจากสิ่งมีชีวิตที่สลายตัวและสิ่งมีชีวิตที่ยังมีชีวิตอยู่ เช่น หญ้า เชื้อรา ไส้เดือน และสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ อินทรีย์วัตถุในดินเป็นส่วนช่วยให้ดินมีความร่วนซุยซึ่งถือเป็นโครงสร้างที่ดีของดินที่เหมาะสมแก่การเจริญของรากพืชและยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารและพลังงานของพืชรวมถึงจุลินทรีย์ในดิน ดินที่ดีและเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของน้ำและอากาศในดินซึ่งองค์ประกอบที่กล่าวมาจะส่งผลต่อสรีรวิทยาและการหายใจของพืช ดังนั้นดินจึงต้องมีการถ่ายเทอากาศได้ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับบรรยากาศในอัตราที่สูงพอที่จะทำให้ดินมีแก๊สออกซิเจนสำหรับกิจกรรมของรากพืชและจุลินทรีย์ในดิน ในทางตรงกันข้ามดินที่มีการถ่ายเทอากาศต่ำจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากดินมีการสูญเสียธาตุอาหารในดินด้วยการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จนเกิดการสะสมในดินในปริมาณมากและทำให้ละลายออกมาจากดินจนกระทั่งส่งผลเสียต่อคุณภาพดินและการเจริญของรากพืชซึ่งรากพืชมีหน้าที่ในการลำเลียงธาตุอาหารจากดินสู่ลำต้นหากการเจริญเติบโตของรากพืชถูกยับยั้งจะทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จะเห็นได้ว่าดินที่ดีและเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในดินเท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินอีกด้วย

ดินเมื่อถูกใช้งานเป็นระยะเวลานานมักทำให้คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางชีวภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง (ตาราง 2.1) จนทำให้มีคุณภาพลดต่ำลงและไม่สามารถใช้งานด้านการเกษตรได้ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของดินมีสาเหตุมาจากขาดการจัดการดินที่ถูกต้อง เช่น ในประเทศไทยพบพื้นที่ที่มีปัญหาดินเสื่อมโทรม 224.9 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70.13 ของพื้นที่ทั้งหมด และปัญหาดินเสื่อมโทรมที่พบนั้นเกิดจากดินมีปริมาณของอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าร้อยละ 2 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 191 ล้านไร่ (ร้อยละ 60 ของพื้นที่ทั้งหมด) และดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าร้อยละ 1.5 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 98.7 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 31 ของพื้นที่ทั้งหมด) ดินที่ขาดอินทรีย์วัตถุหรือมีในปริมาณน้อยจัดเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ซึ่งเกิดมาจากสาเหตุหลักคือการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากหรือใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดดินเปรี้ยวหรือดินกรด และ

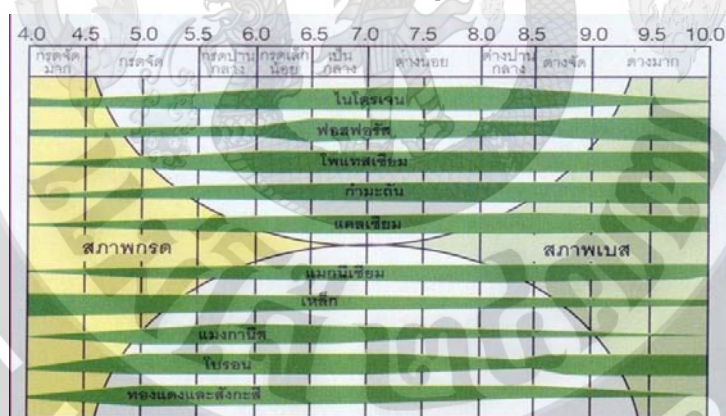
ดินเค็มหรือดินด่าง คือ ดินที่มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 5.7 และสูงกว่า 8.5 ตามลำดับ ความเป็นกรด ด่างของดินส่งผลโดยตรงต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดิน (ภาพ 2.3) เนื่องจากธาตุอาหารพืชจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คืออยู่ในรูปของสารประกอบ

การเสื่อมโทรมของดินมักทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์บริเวณหน้าดิน (ชั้น A) (ภาพ 2.2) ที่ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืช รวมถึงอนุภาคดินขนาดเล็กจนทำให้เนื้อดินกลายเป็นเนื้อทรายที่มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำและความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชรวมทั้งจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อพืชในดินลดลง ในขณะที่บางพื้นที่หน้าดินถูกกระแสน้ำพัดพาจนทำให้พื้นที่บริเวณนั้นกลายเป็นพื้นที่ดินดื่นและดินลูกรังที่เต็มไปด้วยเศษหินหรือกลายเป็นพื้นที่ที่มีหินโผล่ซึ่งไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก สำหรับพื้นที่เขตร้อนชื้น อินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าพื้นที่เขตอบอุ่นดังนั้นในพื้นที่เขตร้อนชื้นมักประสบปัญหาดินขาดอินทรีย์วัตถุและลักษณะของดินจะไม่จับตัวเป็นก้อนขนาดช่องว่างในดินทำให้ดินแน่นขาดออกซิเจน และไม่สามารถอุ้มน้ำและปุ๋ยได้ มากไปกว่านั้นยังทำให้ดินแข็งเมื่อสภาพอากาศแห้งและสภาพอากาศชื้นจึงทำให้ยากต่อการไถพรวนและเป็นที่มาของการสะสมธาตุออลูมิเนียมในปริมาณสูงจนกลายเป็นพิษต่อพืช ธาตุออลูมิเนียมเป็นธาตุที่ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดเนื่องจากการแลกเปลี่ยนธาตุออลูมิเนียมและเกิดการสะสมในดินในปริมาณมากส่งผลให้ดินมีความอึดตัวด้วยออลูมิเนียมสูงบ่งบอกถึงความเป็นกรดที่รุนแรง เมื่อดินเป็นกรดจะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนธาตุโลหะชนิดอื่น ยกตัวอย่างเช่น โลหะแมงกานีส หากโลหะแมงกานีสละลายออกมาจากดินเปรี้ยวจะทำให้โลหะแมงกานีสอยู่ในรูป  $Mn^{+2}$  ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ หากโลหะแมงกานีสอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์เมื่อละลายออกมาจากดินในปริมาณมากจะทำให้เป็นพิษต่อพืชอีกทั้งยังส่งผลเสียต่อลักษณะทางกายภาพของดิน ดังนั้นการนำธาตุอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในรูปของไอออนบวก เช่น ไนโตรเจน (N) พืชจะสามารถใช้ได้ไนโตรเจนของแอมโมเนียม ( $NH_4^+$ ) และไนเตรต ( $NO_3^-$ ) โดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันในการเปลี่ยนไนโตรเจนในบรรยากาศให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรต



ภาพ 2.2 ลำดับชั้นการจัดเรียงตัวของดิน

ความเป็นกรดต่าง (pH)



หมายเหตุ : ความกว้างของแถบธาตุอาหารพืชแสดงถึงความยากง่ายของการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช คือ แถบกว้างหมายถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชได้ง่าย

ภาพ 2.3 ค่า pH กับการปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน

ตาราง 2.1 คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

| คุณสมบัติ                                                                                   | ระดับ         |             |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|-------------|
|                                                                                             | ดินที่เหมาะสม | ดินเปรี้ยว  | ดินด่าง     |
| เคมี                                                                                        |               |             |             |
| - ความเป็นกรดด่าง                                                                           | 6.7-7.3       | < 5.5       | > 7.9       |
| - ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอะลูมิเนียม                                                  | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| - ความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม                                                                | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| - ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุแมงกานีส                                                     | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| - ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุแคลเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุโพแทสเซียม                       | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |
| - ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก                                                             | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |
| - ปริมาณธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน และธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด                                     | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |
| - ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์                                                               | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |
| - ความสามารถในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส                                                           | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| กายภาพ                                                                                      |               |             |             |
| - การชะล้างพังทลายของดิน                                                                    | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| - อัตราการซึมผ่านของดิน                                                                     | ต่ำ-สูง       | ต่ำ-สูง     | ต่ำ-สูง     |
| - ความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในดิน                                                          | ต่ำ-ปานกลาง   | ต่ำ-ปานกลาง | ต่ำ-ปานกลาง |
| - ความแน่นทึบของดิน                                                                         | ต่ำ           | สูง         | สูง         |
| - ความหนาแน่นของดิน (g/cm <sup>3</sup> )                                                    | 2.55-2.64     | 2.60-2.75   | 2.60-2.75   |
| ชีวภาพ                                                                                      |               |             |             |
| - ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน                                                                     | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |
| - กระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปธาตุจากสารประกอบแอมโมเนียเป็นสารประกอบไนเตรท | สูง           | ต่ำ         | ต่ำ         |

ปัญหาดินเสื่อมสภาพที่เกิดมาจากการสูญเสียผิวหน้าดินที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ สำหรับพืชนั้นมักมีสาเหตุจากผิวหน้าดินถูกเปิดและก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน การใช้เครื่องมือผิดประเภทหรือการใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสมในการทำการเกษตร เช่น การใช้เครื่องมือหนัก เตรียมดินในขณะที่ดินยังมีความชื้นสูงซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินลดลงคือ ดินอัดตัวกันแน่นจนรากพืชไม่สามารถชอนไชและเจริญเติบโตได้ รวมไปถึงความสามารถในการระบายน้ำและอากาศในดินต่ำ และการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานซึ่งทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น จากปัญหาดินเสื่อมสภาพดังกล่าวจึงต้องมีการปรับปรุงหรือฟื้นฟูสภาพดินเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและลดอัตราการเสื่อมสภาพของดินเพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรดินได้อย่างยั่งยืน การแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน คือ การใช้ปูนแทนปุ๋ยเคมี เช่น ปูนมาร์ล และปูนฝุ่น เป็นต้น ด้วยการหว่านปูนปริมาณ 1-4 ตัน ให้ทั่วพื้นที่ 1 ไร่ แล้วไถพรวนให้ดินกลบปูน หรืออาจใช้ปูนร่วมกับการใช้น้ำในการชะล้างซึ่งต้องมีการควบคุมระดับน้ำในดินเพื่อป้องกันการเกิดกรดกำมะถันจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารไพไรท์จากดินกับแก๊สออกซิเจน จะเห็นได้ว่าการใช้ปูนแทนปุ๋ยเคมีสามารถแก้ปัญหาดินกรดได้เนื่องจากปูนจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุแคลเซียมในขณะที่ทำให้ปริมาณธาตุอลูมิเนียมที่เป็นสาเหตุของการทำให้ดินเป็นกรดลดลง

### 3. ปุ๋ยและสารเคมี

พืชส่วนใหญ่จะได้รับธาตุอาหารจากดินยกเว้นธาตุอาหารบางชนิด เช่น ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุออกซิเจนที่พืชจะได้รับจากน้ำและอากาศ พืชจะรับธาตุอาหารด้วยการดูดซับจากดินหรือวัสดุปลูกเพื่อนำไปสร้างส่วนต่างๆ ของลำต้นจนกระทั่งให้ผลผลิตออกมา ดังนั้นพืชจึงต้องการธาตุอาหารในปริมาณมากตลอดวัฏจักรของการเจริญเติบโต ในทางตรงกันข้ามดินที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดวัฏจักรประกอบกับหน้าดินถูกชะล้างจนทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชส่งผลให้ธาตุอาหารพืชในดินลดน้อยลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชจึงทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มธาตุอาหารพืชเพื่อให้มีผลผลิตที่สม่ำเสมอหรือ

ให้ผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น และสารที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช คือ ปุ๋ย โดยการเติมปุ๋ยส่วนใหญ่จะเป็น การเติมเพื่อเพิ่มธาตุอาหารชนิดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียม และธาตุอาหารอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น จากที่กล่าวมาเกี่ยวกับการแบ่งชนิดของปุ๋ย คือ ปุ๋ยอินทรีย์ และ ปุ๋ยเคมีนั้นจะเห็นได้ว่าปุ๋ยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน (ตาราง 2.2) โดยปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มี องค์ประกอบของสารอินทรีย์เป็นหลักหรือเป็นปุ๋ยที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ซากพืชซากสัตว์หรือส่วนต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต ส่วนปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่สังเคราะห์ขึ้นตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงทำให้ปุ๋ยเคมีมี องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่พืชต้องการและมีสภาพคล่องในดิน อีกทั้งปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุ อาหารในปริมาณสูงและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีใน ระยะเวลายาวนานจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเสื่อมโทรมลง

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ที่ส่งผลต่อดิน

| คุณสมบัติ                           | ปุ๋ยเคมี                                                       | ปุ๋ยอินทรีย์                    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1) การดูดซับธาตุอาหาร               | ไม่มี                                                          | ดูดซับได้ดี                     |
| 2) การอุ้มน้ำ                       | ไม่มี                                                          | ทำให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น           |
| 3) ความร่วนซุยของดิน                | ดินมีลักษณะอัดตัวแข็งเป็นก้อน                                  | ดินมีลักษณะร่วนซุยดี            |
| 4) ระดับความเป็นกรดของดิน           | ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น                                      | ช่วยรักษาสสมดุลความเป็นกรด ด่าง |
| 5) ระยะเวลาที่ธาตุอาหารคงอยู่ในดิน  | ธาตุอาหารอยู่ในระยะสั้นและสูญหาย จากการชะล้างหรือการเปลี่ยนรูป | ธาตุอาหารคงอยู่ในดินนาน         |
| 6) การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ | เจริญเติบโตได้ในระยะสั้น                                       | เจริญเติบโตดีและนาน             |
| 7) การขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูพืช     | ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว                                         | ไม่ส่งผล                        |
| 8) การป้องกันโรคพืช                 | ไม่ช่วยป้องกันโรคพืช                                           | ช่วยป้องกันโรคพืช               |



ในปัจจุบันการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีในขณะที่พื้นที่การเพาะปลูกมีอยู่เท่าเดิม เช่น ในปีพุทธศักราช 2554 มีการนำเข้าสารเคมีเพื่อการเกษตรคิดเป็นงบประมาณมากกว่า 22,034 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น การใช้สารเคมีทางการเกษตรส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช และยังช่วยลดความเสียหายของผลผลิตรวมทั้งการใช้สารเคมีจะช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตามหากใช้สารเคมีทางการเกษตรในปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็นและไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและด้านสิ่งแวดล้อม ในปีพุทธศักราช 2550 เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชคิดเป็นร้อยละ 39 ของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่พบนั้นแสดงออกในรูปการตกค้างของสารเคมีในดินเนื่องจากการใช้สารเคมีในปริมาณมากเกินไปจนความต้องการของพืชประกอบกับสารเคมีนั้นเป็นสารที่มีการสลายตัวช้าจึงทำให้เกิดการตกค้างในดินระหว่างการฉีดยาและก่อให้เกิดปัญหาดินขาดความอุดมสมบูรณ์ หากขาดการบำรุงรักษาและยังมีการทิ้งของเสียหรือสารเคมีลงสู่ดินจะทำให้เกิดการพังทลายของหน้าดินซึ่งส่งผลให้อินทรีย์วัตถุในดินและจุลินทรีย์ถูกทำลาย เมื่อจุลินทรีย์ถูกทำลายทำให้เกิดกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคุณสมบัติทางเคมีของดินถูกยับยั้ง เช่น กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชนอกจากจะทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในดินแล้วยังก่อให้เกิดมลพิษกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติอีกด้วยซึ่งมลพิษกับแหล่งน้ำนั้นเกิดมาจากสารเคมีส่วนเกินในพื้นที่การเกษตรถูกชะล้างและไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติรวมถึงการทิ้งหรือการล้างภาชนะที่บรรจุสารเคมีแหล่งน้ำถือเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์หากแหล่งน้ำมีสารเคมีตกค้างส่งผลให้เกิดการสะสมของสารเคมีในวัชพืชหรือห่วงโซ่อาหารจนทำให้สิ่งมีชีวิตในระบบห่วงโซ่อาหารในทุกๆระดับได้รับผลกระทบรวมทั้งแมลงที่เป็นประโยชน์ในการทำลายแมลงศัตรูพืชของแหล่งน้ำด้วยหรือแมลงที่ช่วยผสมเกสร มากไปกว่านั้นการใช้สารเคมีทางการเกษตรยังเป็นพิษต่อไส้เดือนดินซึ่งเป็นสัตว์ที่ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินและทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นโดยไส้เดือนช่วยทำให้ดินมีลักษณะโปร่งร่วนซุยและอากาศสามารถถ่ายเทได้ดี

#### 4. ไบโอชาร์

ไบโอชาร์ คือ วัสดุสำหรับใช้ในการปรับปรุงดินที่ผลิตจากสารชีวมวลด้วยการสลายตัวทางความร้อนภายใต้สภาวะอับอากาศ จากกระบวนการสลายตัวทางความร้อนนี้จะได้ไบโอชาร์ที่มีลักษณะแข็งเปราะและมีสีดำ สารชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตไบโอชาร์ ได้แก่ กิ่งไม้แห้ง ใบไม้แห้ง เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น และ เศษวัสดุเหลือทิ้งในครัวเรือน เช่น เศษผัก เศษอาหารรวมไปถึงมูลสัตว์ เป็นต้น ไบโอชาร์มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการปรับปรุงดิน คือ ไบโอชาร์มีโครงสร้างรูพรุนสูงซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และช่วยในการดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างช้าๆ จึงทำให้ช่วยลดปัญหาการสูญเสียธาตุอาหารพืช มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังช่วยให้ดินมีการอุ้มน้ำและการระบายอากาศได้ดี และยังเป็นวัสดุที่ช่วยลดความเป็นกรดด่างของดิน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างเซลล์ขนรากพืชและอนุภาคในดิน ซึ่งเป็นการลดอัตราการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างด้วยน้ำและแสงแดด

การใช้ไบโอชาร์ด้านการเกษตรมักใช้ในรูปแบบของวัสดุปลูกคือใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น ปุ๋ยอินทรีย์และดิน เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพและให้ผลผลิตในปริมาณมาก และเพื่อช่วยลดการตกค้างของสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชและโลหะหนักในดินและแหล่งน้ำ ด้วยการตรึงสารเคมีไว้ในไบโอชาร์ จึงทำให้พืชที่ปลูกปลอดสารพิษและสารเคมีตกค้าง เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้นจะทำให้รากพืชสามารถชอนไชและดึงธาตุอาหารพืชมาใช้ประโยชน์ ได้ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีมีความสมบูรณ์และแข็งแรง มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังมีสารละลายฟอสเฟตและซิลิกาที่ช่วยป้องกันแมลงและศัตรูพืชได้จึงทำให้เกษตรกรลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมี ทั้งนี้การนำไบโอชาร์มาใช้เป็นวัสดุปลูกด้านการเกษตรยังช่วยลดปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ทำการเกษตร และช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีที่เป็นปัญหาของดินเสื่อมโทรมอีกด้วย จากการทำการเกษตรในประเทศไทยในปัจจุบันส่งผลให้ภาคการเกษตรเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อนจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 22.60 ของปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ รองจากภาคพลังงาน

เนื่องจากภาคการเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและมีการไถกลบหน้าดินสำหรับเตรียมความพร้อมในการทำการเกษตรในแต่ละฤดูจึงทำให้มีปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นซึ่งถือเป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจกตลอดจนการเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวหรือการปล่อยให้สลายเองโดยธรรมชาติซึ่งล้วนทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้น และในปีพุทธศักราช 2554 พบปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสูงถึง 102 ล้านตัน โดยมีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ถูกทิ้งไว้โดยที่ขาดการจัดการสูงถึง 64.74 ล้านตัน ซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน

##### 5. กลไกการดูดซับธาตุอาหารพืช

กลไกการดูดซับธาตุอาหารพืชจะอาศัยรากพืชกล่าวคือ รากพืชจะดูดซับธาตุอาหารที่ละลายออกมาในรูปของสารละลายในดิน เช่น  $\text{CaCO}_3$  และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่เป็นธาตุที่มีประจุบวกจึงสามารถเกาะอยู่ตามผิวของอนุภาคดินที่เป็นประจุลบได้ การดูดซับธาตุอาหารของรากพืชจะอาศัยแก๊สออกซิเจนในการสร้างพลังงานในกระบวนการหายใจของพืช มากไปกว่านั้นพืชยังมีการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และน้ำจากดิน โดยน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุออกซิเจนที่พืชนำไปใช้เพื่อสร้างสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต เช่น ธาตุไนโตรเจน จะได้จากดินการเจริญเติบโตของรากพืชจะเป็นการเจริญเติบโตแบบขนานเข้าหาบริเวณที่มีน้ำและธาตุอาหาร โดยบริเวณปลายรากของพืชจะประกอบด้วยเซลล์ที่ยอมให้น้ำและธาตุอาหารผ่านไปได้ดังนั้นจึงทำให้สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้และปริมาณการดูดซับจะเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการพืชจากกระบวนการดังกล่าวจึงทำให้รากพืชพยายามสร้างขนรากเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสเพื่อช่วยในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารให้มากขึ้น นอกจากเซลล์ขนรากพืชที่มีหน้าที่ดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชแล้วพืชยังมีรากแขนงเพื่อช่วยในการลำเลียงและแพร่กระจายน้ำ รวมทั้งธาตุอาหารให้กับเซลล์ขนรากเพื่อให้พืชใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

กลไกการดูดซับธาตุอาหารรองจากดินของพืชจะเริ่มจากการดูดซับธาตุอาหารผ่านรากด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนบริเวณเซลล์ขนรากพืช โดยเซลล์ขนรากพืชจะมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตรอนที่มีประจุบวกเพื่อไปจับกับอนุภาคผิวดินและเพิ่มการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีประจุบวกให้หลุดออกจากผิวดินแพร่เข้าสู่ขนรากพืช การปล่อยโปรตรอนของรากพืชถือเป็นกระบวนการควบคุมสมดุลไอออนเมื่อสมดุลถูกรบกวนด้วยโปรตรอน ( $H^+$ ) ของเซลล์ขนรากพืชแล้วโปรตรอนจะเกิดการเคลื่อนย้ายจนทำให้ธาตุอาหารพืชหลุดออกมาจากผิวอนุภาคดินและผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และในขณะที่ธาตุอาหารหลุดออกมาจากผิวอนุภาคดินธาตุอาหารจะมีการเปลี่ยนรูปจากสารประกอบเป็นไอออนเพื่อให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยทั่วไปผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุมีทั้งประจุบวกและประจุลบซึ่งจะทำให้เกิดแรงผลักดันทำให้ประจุลบละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งประจุลบมีความสามารถในการดึงดูดประจุบวกของธาตุอาหารรองและทำให้ธาตุอาหารรองอยู่ในรูปสารประกอบที่ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน และประจุลบยังมีแรงดึงดูดประจุบวกทำให้ประจุบวกของธาตุอาหารที่อยู่ในรูปไอออนเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นอิสระ จึงทำให้เกิดกลไกการแลกเปลี่ยนประจุบวกของธาตุอาหารพืชกับประจุลบของผิวอนุภาคดิน โดยเซลล์ขนรากพืชจะลำเลียงโปรตรอนออกจากเซลล์และโปรตรอนเหล่านี้จะไปจับกับผิวอนุภาคดินแทนจนทำให้ไอออนของธาตุอาหารพืชหลุดออกจากผิวอนุภาคดินและอยู่อย่างอิสระในสารละลายดินจนสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ขนรากพืชได้ กลไกการลำเลียงธาตุอาหารพืชดังกล่าวเกิดได้โดยอาศัยสารประกอบประเภทโปรตีนในการลำเลียงธาตุอาหารพืชที่เยื่อหุ้มเซลล์ กลไกการลำเลียงนี้จะใช้พลังงานสูงดังนั้นรากพืชต้องได้รับธาตุอาหารและแก๊สออกซิเจนอย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดกระบวนการหายใจในระดับเซลล์สำหรับสร้างแอดิโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ไว้ใช้ในกระบวนการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารผ่านเซลล์เมื่อธาตุอาหารผ่านเข้าสู่เซลล์ขนรากแล้วจะถูกลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อไซเลมเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆของพืชเพื่อเจริญเติบโตต่อไป

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ (1) ขั้นตอนการเตรียมเศษวัสดุข้าวโพดในชุมชน (maize residue preparation) (2) ขั้นตอนการเปลี่ยนเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นไบโอชาร์ (biochar production) (3) ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของไบโอชาร์ (4) ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับธาตุอาหารของไบโอชาร์ และ (5) ขั้นตอนการติดตามการเจริญเติบโตของพืช

#### 1. การเตรียมเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

นำวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดมาลดขนาดด้วยเครื่องป่นที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และดินตากภายใต้แสงแดดเพื่อกำจัดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำดินและวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดแห้งมาลดขนาดอีกครั้งด้วยโกร่งบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช และเก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

#### 2. กระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลให้เป็นไบโอชาร์

นำวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดจากกระบวนการเตรียมวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดมาเผาภายใต้สภาวะอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้ไบโอชาร์ที่มีลักษณะเป็นผงสีดำ นำไบโอชาร์มาลดขนาดอีกครั้งด้วยโกร่งบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช เก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

### 3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอชาร์

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกประกอบด้วย ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณธาตุอาหาร ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) และอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

#### 3.1 ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกจะอาศัยเครื่องวัดค่าพีเอชในการวิเคราะห์โดยมีวิธีการดังนี้ นำดิน 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วคนสารเป็นระยะนาน 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนที่เป็นสารละลายใส่ไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง

#### 3.2 ปริมาณธาตุอาหาร

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืชจะวิเคราะห์ทั้งธาตุอาหารหลัก (Nutrient) และธาตุอาหารรอง (Micronutrient)

3.2.1) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชชนิดไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) จะอาศัยวิธีเปอร์ซัลเฟตไดเจเนชัน (Persulfate digestion method) (ภาคผนวก ก.2) และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic absorption spectroscopy) (ภาคผนวก ก.3) ตามลำดับ

3.2.2) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารส่วนที่ละลายในสารละลายดินและปริมาณธาตุอาหารรองที่เหลืออยู่ในดิน

3.2.2.1) ปริมาณธาตุอาหารส่วนที่ละลายในสารละลายดิน ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ศึกษาในรูปของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity meter) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ นำดิน 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วคนสารเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งสารละลายทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30

3.2.2.2) ปริมาณธาตุอาหารรองที่เหลืออยู่ในดิน ได้แก่ ธาตุอาหารรองชนิดแคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

$$\text{ค่าหนี้ขานำไฟฟ้าของดินและวัสดุปลูกที่ 25 องศาเซลเซียส} \left( \frac{\square\square}{\square} \right) = \frac{\text{ค่าหนี้ขานำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ } \square (^{\circ}\square)}{1+0.02 (\text{อุณหภูมิ}-25)} \quad (3.1)$$

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอาศัยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวิเคราะห์ โดยการนำดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 นอโมล ปริมาตร 33 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่านาน 5 นาที ด้วยเครื่องเขย่า จากนั้นแยกส่วนของสารละลายใสออกจากสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที นำส่วนละลายใสออกแล้ว เติมน้ำละลายโซเดียมอะซิเตตปริมาตร 33 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 4 ครั้ง เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยสารละลายอะซิเตต เมื่อทำครบ 4 ครั้ง นำส่วนของสารละลายใสออกมาแล้วเติมน้ำละลายเอทานอลปริมาตร 33 มิลลิลิตร เขย่านาน 5 นาที ด้วยเครื่องเขย่า แยกส่วนของสารละลายใสออกและส่วนของสารละลายใสนี้ต้องมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 40 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (ds/m) [103] เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายใสมีค่าต่ำกว่า 40 เดซิซีเมนส์ต่อเมตรแล้ว เติมน้ำละลายแอมโมเนียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 นอโมล ปริมาตร 33 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของสารละลายใสออก เติมน้ำละลายแอมโมเนียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 นอโมล ปริมาตร 33 มิลลิลิตร ลงไปอีกครั้ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อครบ 3 ครั้ง นำส่วนของสารละลายใสทั้งหมด

ไปวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะได้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุจากสมการ (3.2)

$$\text{mmol} \left( \frac{\text{mmol}}{\text{mmol}} \text{mmol} \right) = \frac{\text{ความเข้มข้นของโซเดียมในสารละลาย (mmol/l)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (g)}} \times 1 \quad (3.2)$$

### 3.4 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจะวิเคราะห์ทั้งปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง คือ ธาตุโพแทสเซียม ( $K^+$ ) และธาตุแคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) ตามลำดับ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

## 4. การศึกษาการดูดซับธาตุอาหารของไบโอชาร์

การศึกษาวฏจักรการดูดซับของธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวไบโอชาร์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวไบโอชาร์ (equilibrium sorption time) และการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวไบโอชาร์ (adsorption of calcium)

### 4.1) การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวไบโอชาร์

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวไบโอชาร์ได้จากการเติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้นใดความเข้มข้นหนึ่งปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงบนไบโอชาร์ 1 กรัม ในหลอดปิ่นหัวเขียง เขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 4, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480 และ 900 นาที ตามลำดับ เมื่อครบเวลาในการเขย่าในแต่ละเวลาเก็บตัวอย่างและแยกส่วนของสารละลายใสออกด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนเนื้อในลอนขนาด 0.45 ไมครอน วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่ถูกดูดซับไปด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



#### 4.2) การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวใบโอชาร์

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุแคลเซียมบนพื้นผิวใบโอชาร์เป็นการเติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 50, 60, 70, 80 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิตร ลงบนใบโอชาร์ 1 กรัม เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ณ เวลาสมควร จากนั้นเก็บตัวอย่างและแยกส่วนของสารละลายได้ด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนเนื้อในลอนขนาด 0.45 ไมครอน วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่ถูกดูดซับไปด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

#### 5. การติดตามการเจริญเติบโตของพืช

การติดตามการเจริญเติบโตของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งประกอบด้วยการวัดความสูง การนับจำนวนใบ การวัดขนาดใบในลักษณะความกว้างและความยาว และขนาดลำต้น โดยจะติดตามการเปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์นาน 60 วัน สำหรับน้ำหมักสดและน้ำหมักแห้งตลอดจนความยาวรากของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือจะศึกษาตามระยะเวลาการปลูก 45, 50, 55 และ 60 วัน

##### (1) การวัดความสูง

ความสูงของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือต่อ 1 ตัวอย่าง จะวัดตั้งแต่โคนต้นจนถึงบริเวณยอด (ภาพ 3.1 (ก))

##### (2) การนับจำนวนใบ

การนับจำนวนใบของพืชผักต่อ 1 ตัวอย่าง จะนับทุกใบรวมไปถึงใบอ่อน (ภาพ 3.1 (ข))

##### (3) ขนาดใบ

ขนาดใบของพืชผักจะแสดงในรูปของความกว้างและความยาวโดยความกว้างวัดบริเวณกึ่งกลางใบตามแนวนอน (ภาพ 3.1 (ค)) ส่วนความยาววัดตั้งแต่ปลายใบถึงส่วนล่างของใบ (ภาพ 3.1 (ง)) การติดตามขนาดใบของพืชผักทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันดังนี้ พืชผักชนิดกะน้าจะติดตามขนาดใบ

ทุกใบต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนพืชผักชนิดมะเขือจะติดตามขนาดใบ 5 ใบ ต่อ 1 ตัวอย่าง เนื่องจากพืชผักชนิดมะเขือมีจำนวนใบมากกว่า 20 ใบต่อ 1 ตัวอย่าง

(4) ขนาดลำต้น

ขนาดลำต้นจะแสดงในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นโดยวัดจากตำแหน่งเหนือใบพืช ใบแรกที่อยู่เหนือดิน (ภาพ 3.1 (จ)) ต่อ 1 ตัวอย่าง

(5) น้ำหนักสด

การวิเคราะห์น้ำหนักสดพืชผักต่อ 1 ตัวอย่าง ต้องนำดินออกจากรากของพืชให้มากที่สุดและนำไปหาน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ภาพ 3.1 (ฉ))

(6) น้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์น้ำหนักแห้งพืชผักต่อ 1 ตัวอย่าง จะนำพืชผักจากการหาน้ำหนักสดไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ภาพ 3.1 (ช))

(7) ความยาวราก

ความยาวรากของพืชต่อ 1 ตัวอย่าง จะวัดตั้งแต่โคนรากจนถึงปลายราก (ภาพ 3.1 (ซ))



ภาพ 3.1 (ก) ความสูงต้นพืช (ข) จำนวนใบ (ค) ขนาดใบทั้งความกว้าง และ (ง) ความยาว (จ) ขนาดลำต้น (ฉ) น้ำหนักเปียก (ช) น้ำหนักแห้ง และ (ซ) ความยาวราก

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

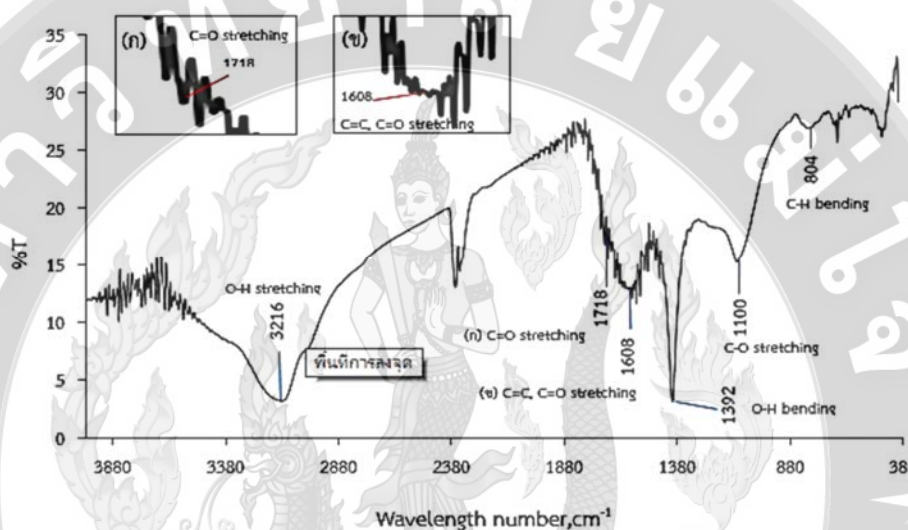
ไบโอชาร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากกระบวนการเผาภายใต้สภาวะอับอากาศของเศษวัสดุข้าวโพดในชุมชน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อ นาที

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุปลูกและการติดตามการเจริญเติบโตของพืช โดยการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุปลูกจะทำการศึกษาวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เติมไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ระยะการเจริญเติบโต 45, 50, 55 และ 60 วัน ส่วนการติดตามการเจริญเติบโตของพืชนั้นจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชตลอดจนเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกต่างชนิดกัน

#### 1. องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์

เมื่อเปลี่ยนเศษวัสดุข้าวโพดในชุมชนเป็นไบโอชาร์ด้วยการเผาภายใต้สภาวะอับอากาศจะได้ไบโอชาร์ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำเมื่อนำไปศึกษาลักษณะโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ภาพ 4.1) จะพบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญบนพื้นผิวไบโอชาร์ คือ หมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching ที่ช่วงการสั่นของเลขคลื่น  $3,600-3,200\text{ cm}^{-1}$ ) หมู่คาร์บอกซิลิก (C=O stretching ที่ช่วงการสั่นของเลขคลื่น  $1,740-1,700\text{ cm}^{-1}$ ) และหมู่เอเทอร์ (C-O stretching ที่ช่วงการสั่นของเลขคลื่น  $1,110-1,030\text{ cm}^{-1}$ ) ส่วนโครงสร้างที่พบบนพื้นผิวไบโอชาร์ คือ โครงสร้างอะโรมาติก (C=C, C=O stretching ที่ช่วงการสั่นของเลขคลื่น  $1,630-1,600\text{ cm}^{-1}$ ) และยังพบกลุ่มฟีนอลิก (O-H bending) ที่ช่วงการสั่นของเลขคลื่น  $1,392\text{ cm}^{-1}$  อีกด้วย หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างที่พบบนพื้นผิวไบโอชาร์จะมีธาตุออกซิเจนปรากฏอยู่ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนระหว่างกระบวนการเผาภายใต้สภาวะอับอากาศซึ่งเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนอะตอมของคาร์บอนบางส่วนในไบโอชาร์เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จนทำให้ไบโอชาร์ที่ได้มีลักษณะเป็นโพรงส่วนอะตอมของคาร์บอนที่เหลือนบนพื้นผิวไบโอชาร์จะถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ฟังก์ชันดังที่กล่าวมา

ข้างต้น และเมื่อทำการศึกษาความเป็นกรดต่างและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะเห็นว่าไบโอชาร์มีค่าความเป็นกรดต่างและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงกว่าดิน 1.4 และ 6 เท่า ตามลำดับ



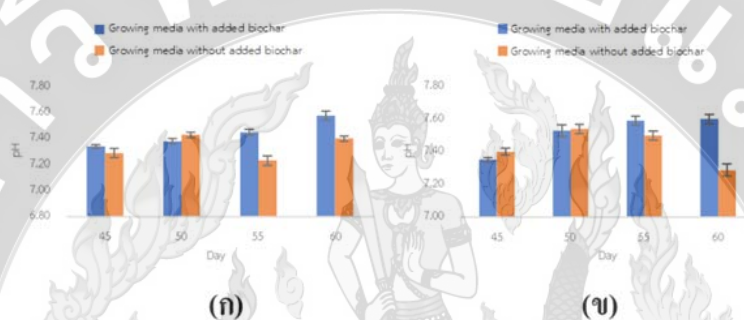
ภาพ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไบโอชาร์

## 2. คุณสมบัติของไบโอชาร์

### 2.1 ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เติมไบโอชาร์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือ โดยค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์อยู่ในช่วง 7.20-7.60 ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ 1.03 เท่า (ภาพ 4.2) มากไปกว่านั้นค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เติมไบโอชาร์ยังมีค่าอยู่ในช่วง 6.70-7.30 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ยังมีค่าความ

เป็นกรดต่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเนื่องจากองค์ประกอบของดินในวัสดุปลูกที่ศึกษานำมาจากพื้นที่แปลงเกษตรของสาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีทรัพยากรดินที่อุดมสมบูรณ์ คือ เป็นพื้นที่ที่ทำเกษตรอินทรีย์ไม่มีสารเคมีตกค้าง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช



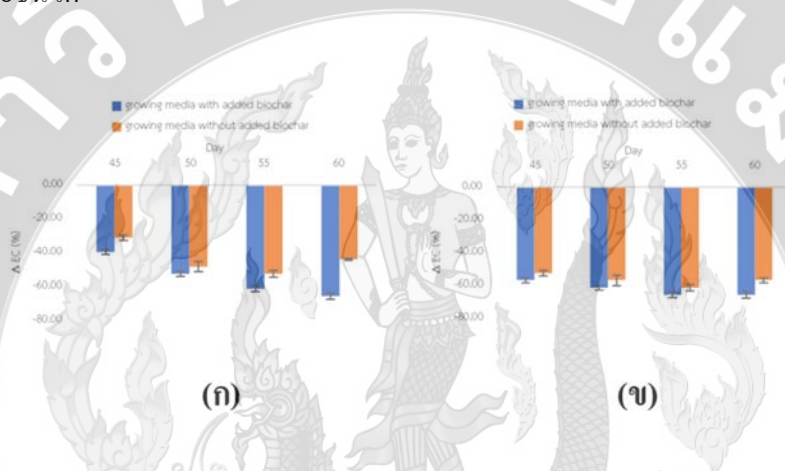
ภาพ 4.2 ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) กระบี่และ (ข) มะเขือ

## 2.2 ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกแสดงถึงปริมาณเกลือในสารละลายดิน ได้แก่ เกลือคลอไรด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) และเกลือซัลเฟต เช่น ยิบซัม ( $\text{CaSO}_4$ ) โดยปริมาณเกลือเหล่านี้มักแสดงในรูปของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าร้อยละการลดลงของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าในวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่ามากกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์แสดงให้เห็นว่าค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่าต่ำกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ (ภาพ 4.3) โดยค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์จะมีค่าต่ำกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ 1.27 เท่า และค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์อยู่ในช่วง 0.8 – 1.6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งเป็นช่วงของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ต่ำ



กว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร อีกทั้งยังเป็นค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชรวมไปถึงยังมีปริมาณอากาศที่เพียงพอสำหรับระบบการหายใจของรากพืชตลอดจนมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการละลายธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การละลายธาตุอาหารหลักชนิดไนโตรเจนเพื่อเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) เป็นไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งธาตุอาหารในรูปไนเตรตพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้



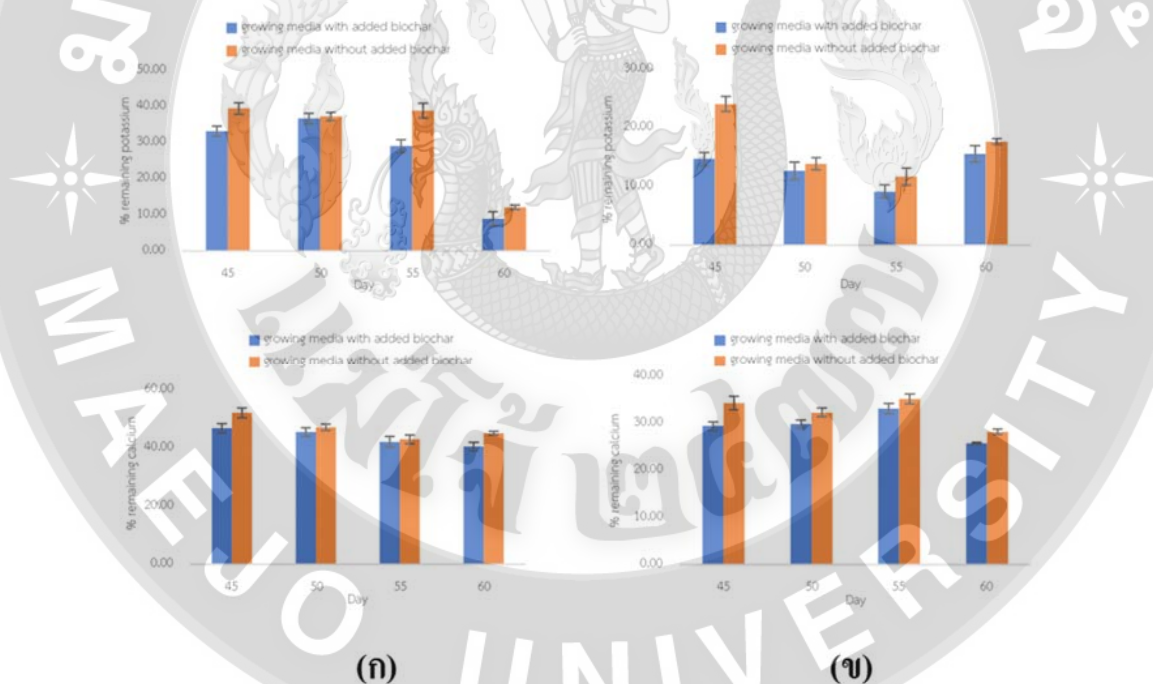
ภาพ 4.3 ร้อยละการลดลงของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า ( $\Delta\text{EC}$ ) ของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) คanna และ (ข) มะเขือ

### 2.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

จากการศึกษาพบว่าวัสดุปลูกมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้มากขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบของไบโอชาร์และวัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิดคanna และมะเขือมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์คิดเป็นร้อยละ 10.34 และ 21.53 ตามลำดับ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกแสดงถึงการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างโปรตอนบริเวณขรอกพืชกับธาตุอาหารรอง (Micronutrient) เช่น โพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ )

## 2.4 ปริมาณธาตุอาหาร

ปริมาณธาตุอาหารของวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิดคะน้าและมะเขื่อนั้นจะศึกษาปริมาณของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่เหลือยู่ในวัสดุปลูกซึ่งจะรายงานในรูปของร้อยละธาตุอาหารที่เหลือ โดยตัวแทนของธาตุอาหารหลัก คือ ธาตุโพแทสเซียม ( $K^+$ ) ในขณะที่ตัวแทนของธาตุอาหารรอง คือ ธาตุแคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) จากภาพ 4.4 พบว่าร้อยละธาตุอาหารที่เหลือยู่ในวัสดุปลูกของพืชมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้นอีกทั้งร้อยละของธาตุอาหารที่เหลือยู่ในวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่าต่ำกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์แสดงให้เห็นว่าพืชมีการใช้ธาตุอาหารชนิดโพแทสเซียมและแคลเซียมเฉลี่ยในวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์เพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์คิดเป็นร้อยละ 7.33 และ 5.79 ตามลำดับ



ภาพ 4.4 ร้อยละของปริมาณธาตุอาหารชนิดโพแทสเซียมและแคลเซียมที่เหลืในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์สำหรับปลูกพืชผักชนิด (ก) คะน้าและ (ข) มะเขือ

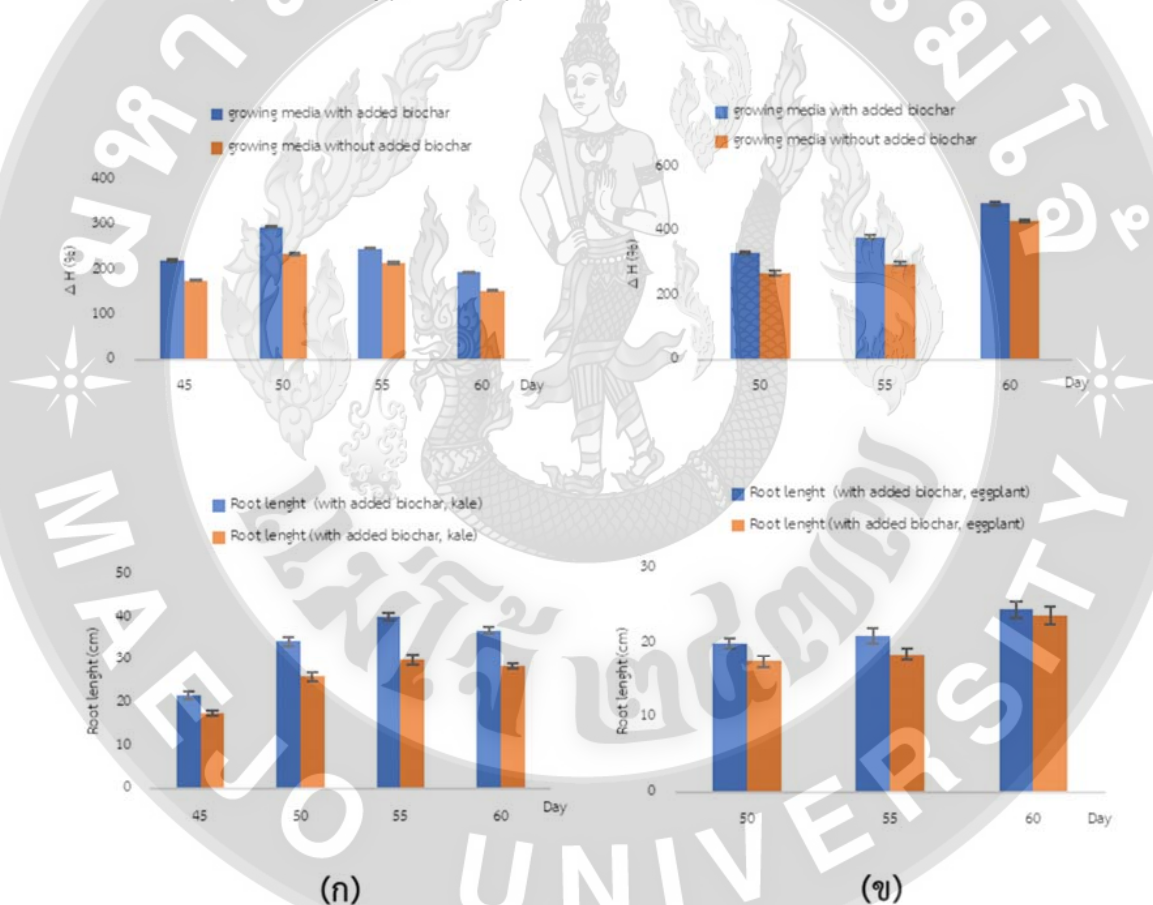


### 3. การเจริญเติบโตของพืช

การติดตามการเจริญเติบโตของพืชเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เดิมใบโอชาร์และการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชที่ศึกษาได้แก่ ความสูงต้นพืช ขนาดลำต้น จำนวนใบ ขนาดใบแสดงในรูปความกว้างและความยาว น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ตลอดจนความยาวรากพืช โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชด้านความสูงต้นพืช ขนาดลำต้น จำนวนใบ และความยาวรากพืชนั้นจะใช้กลุ่มตัวอย่างพืช 10 ตัวอย่าง ในทั้งหมด 30 ตัวอย่าง จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือพบว่า การเจริญเติบโตของพืชผักชนิดกะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เดิมใบโอชาร์จะมีร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงต้นพืชมากกว่ากะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เดิมใบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพ 4.5) และร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงต้นพืชมีค่ามากกว่า 100 เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความสูงของต้นพืชเมื่อเทียบกับต้นอ่อนมีความแตกต่างกันมาก เช่น ความสูงของต้นอ่อนก่อนการเพาะปลูก คือ 9 เซนติเมตร และเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้นต้นพืชมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 30.86, 38.16, 33.43 และ 28.43 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาการปลูก 45, 50, 55 และ 60 วัน ตามลำดับ สำหรับสรีรวิทยาด้านความยาวรากพืชจะเห็นว่ารากของพืชผักที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เดิมใบโอชาร์มีความยาวรากมากกว่าในวัสดุปลูกที่ไม่เดิมใบโอชาร์ (ภาพ 4.5)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชด้านขนาดลำต้น จำนวนใบ ขนาดใบของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือนั้นจะติดตามทุกสัปดาห์ (หรือ 7 วัน) เมื่อเปรียบเทียบพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เดิมใบโอชาร์พบว่าพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือมีขนาดลำต้น ความกว้าง และความยาวใบมากกว่ากะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เดิมใบโอชาร์คิดเป็นร้อยละ 13.79, 13.00, 33.39, 7.20, 25.10 และ 7.21 ตามลำดับ (ภาพ 4.6) มากไปกว่านั้นเมื่อศึกษาสารสำคัญของพืชผักชนิดกะน้าและมะเขือ คือ สารสีเขียวที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชผักชนิดกะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เดิมใบโอชาร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะเวลาปลูก 45 วัน คือ 34.93 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 70.24 และ 72.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 50 และ 55 วัน ตามลำดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชผักชนิดมะเขือมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพืชผักชนิดกะน้า

สำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาด้านความยาวรากพืชของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือ นั้นพบว่ารากของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ (ตาราง 4.1) กล่าวคือ พืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีความยาวมากกว่าพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ (ตาราง 4.1) ส่งผลให้ผลผลิตพืชในรูปของน้ำหนักของ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่า (ตาราง 4.2) มากไปกว่านั้นระยะเวลาการปลูกที่เหมาะสมของ พืชผักชนิดคะน้าและมะเขือ คือ 50 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ



ภาพ 4.5 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของความสูงพืช ( $\square$ H) และความยาวรากพืชผักชนิด (ก) คะน้าและ (ข) มะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

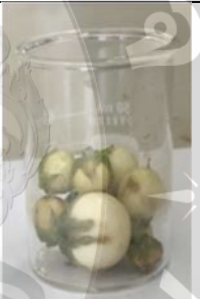


ภาพ 4.6 ขนาดลำต้น จำนวนใบ และขนาดใบของพืชผักชนิด (ก) คะน้าและ (ข) มะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

ตาราง 4.1 ความยาวรากพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกแตกต่างกัน

| ชนิดวัสดุปลูก             | ความยาวราก |                                                                                     |           |                                                                                       |
|---------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | คะน้า      |                                                                                     | มะเขือ    |                                                                                       |
|                           | เซนติเมตร  |                                                                                     | เซนติเมตร |                                                                                       |
| วัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์    | 30.0       |   | 30.0      |   |
| วัสดุปลูกที่ไม่มีไบโอชาร์ | 26.2       |  | 23.0      |  |

ตาราง 4.2 ผลผลิตของพืชผักชนิดกะน้ำและมะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

| ชนิดวัสดุปลูก             | น้ำหนัก |                                                                                    |        |                                                                                      |
|---------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | กะน้ำ   |                                                                                    | มะเขือ |                                                                                      |
|                           | กรัม    |                                                                                    | กรัม   |                                                                                      |
| วัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์    | 84.77   |   | 46.57  |   |
| วัสดุปลูกที่ไม่มีไบโอชาร์ | 63.36   |  | 25.13  |  |



## วิจารณ์ผลการวิจัย

### 1. องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์

หมู่ฟังก์ชันที่มีธาตุออกซิเจนปรากฏอยู่ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) หมู่คาร์บอกซิลิก (C=O stretching) กลุ่มฟีนอลิก (O-H bending) และหมู่อีเทอร์ กับโครงสร้างอะโรมาติกเหล่านี้มีความสำคัญในกระบวนการดูดซับโลหะไอออนบวกผ่านการสร้างพันธะทางเคมีกับไบโอชาร์ และช่วยการดูดซับโลหะไอออนบวกด้วยกลไกการดูดซับแบบไฟฟ้าสถิต ตามลำดับ

จากการผลิตไบโอชาร์จากเศษวัสดุข้าวโพดพบว่าไบโอชาร์มีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโพแทสเซียม ซึ่งศึกษาโดยใช้วิธีเปอร์ซัลเฟตไดเจนชัน (persulfate digestion method) โมลิบโดวานาเตดด้วยกรดเปอร์ซัลเฟตไดเจนชัน (molybdovanadate with acid persulfate digestion) และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี ตามลำดับโดยปริมาณธาตุอาหารหลักที่พบในไบโอชาร์เป็นปริมาณที่มากกว่าธาตุอาหารหลักในดินอยู่ 3.5, 485 และ 820 เท่า ตามลำดับ มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังมีค่าความเป็นกรดต่างและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงกว่าดิน ดังนั้นเมื่อนำไบโอชาร์ไปประยุกต์ใช้งานด้านวัสดุปรับปรุงดินจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดินเป็นกรดและการสูญเสียธาตุอาหารที่พืชต้องการได้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงแสดงถึงความสามารถในการยึดเหนี่ยวธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชได้ในปริมาณมาก เช่น แอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) โพแทสเซียม ( $\text{K}^+$ ) แคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) และเหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำไบโอชาร์มาผสมกับดินจะช่วยให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินเพิ่มสูงขึ้นและสามารถช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชได้มากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียธาตุอาหารพืชอีกด้วย

### 2. คุณสมบัติของไบโอชาร์

#### 2.1 ความเป็นกรดต่าง

จากการศึกษาการเพิ่มองค์ประกอบของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกพบว่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นการใช้วัสดุไบโอชาร์สามารถช่วยแก้ปัญหาพื้นที่ที่มีทรัพยากรดิน

เสื่อมโทรมด้านดินเค็มได้เนื่องจากบริเวณพื้นผิวของไบโอชาร์ประกอบด้วยประจุลบของหมู่ฟีนอลิก หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะไปจับกับโปรตรอนหรือไฮโดรเจนไอออนที่ละลายอยู่ในดินจนทำให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ละลายอยู่ในดินลดลงเป็นผลให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นนั่นเอง ไฮโดรเจนไอออนที่ละลายอยู่ในดินส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ

ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกที่เพิ่มขึ้นจากการเติมไบโอชาร์เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุหรือธาตุคาร์บอนในวัสดุปลูกซึ่งวัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.90 เป็นร้อยละ 12.19 ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบหลัก คือ ธาตุคาร์บอนมักแสดงในรูปร้อยละอินทรีย์วัตถุรวมและไบโอชาร์มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุรวมคิดเป็นร้อยละ 86.20 จึงทำให้วัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบของไบโอชาร์มีร้อยละปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น (ตาราง 4.3) แม้ว่าวัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์จะมีความเป็นกรดต่างที่เพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดต่างนั้นจะไม่ส่งผลเสียต่อทรัพยากรดินและยังช่วยลดปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินด้านดินเค็มอีกด้วย (การเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินด้านดินเค็ม คือ ดินในพื้นที่เพาะปลูกมีความเป็นกรดต่างมากกว่า 7.9)

## 2.2 ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า

การเติมไบโอชาร์ลงไปในวัสดุปลูกถือเป็นการลดค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าและการลดลงของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดต่าง (ตาราง 4.1) โดยค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ลดลงบ่งบอกถึงปริมาณเกลือที่สะสมในดินต่ำหรือไม่มีการสะสมของเกลือซึ่งการสะสมของสารประกอบเกลือในดินจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการลดลงของค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าด้วยวัสดุไบโอชาร์นั้นจะทำให้สารประกอบเกลือในสารละลายดินลดลงและเมื่อปริมาณของสารประกอบเกลือในสารละลายดินลดลง ทำให้สารประกอบเกลือไม่เกิดการตกตะกอนหรือตกตะกอนน้อยมากและจะไม่สะสมบริเวณผิวหน้าของดินในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณของสารประกอบเกลือในสารละลายดินสูงทำให้สารประกอบเกลือเกิดการตกตะกอนและไปสะสมบริเวณผิวหน้าของดินจนทำให้โครงสร้างดินถูกทำลายกล่าวคือความสามารถในการซึมผ่านน้ำต่ำ และการถ่ายเทอากาศลดลง ตลอดจนส่งผลเสียต่อการชอนไชของ

รากพืชคือ รากพืชไม่สามารถขนไซไปยังบริเวณที่มีแหล่งของธาตุอาหารได้ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิด  
ทรัพยากรดินเสื่อมโทรมในสภาพดินเค็มในที่สุด

### 2.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

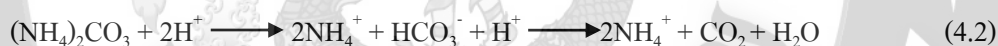
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุปลูกแสดงถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีประจุบวกที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงหมายถึงวัสดุปลูกมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีและความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุปลูกที่ดีนั้นทำให้วัสดุปลูกสามารถดูดซับหรือตรึงธาตุอาหารพืชได้ดีตลอดจนช่วยลดอัตราการสูญหายของธาตุอาหารพืชในดินจากแสงแดดและการชะล้างด้วยน้ำในช่วงฤดูฝน อีกทั้งพืชยังสามารถนำธาตุอาหารที่มีประจุบวกหรือธาตุอาหารรอง (Micronutrient) เช่น โพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) แคลเซียมไอออน ( $Ca^{+}$ ) และแมกนีเซียมไอออน ( $Mg^{+}$ ) ไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมการดำรงชีวิตได้ มากไปกว่านั้นการดูดซับหรือการตรึงธาตุอาหารรองของไบโอชาร์จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินที่เสื่อมโทรมให้ดีขึ้น คือ ช่วยลดความหนาแน่นรวมของดินหรือดินมีความร่วนซุยสามารถถ่ายเทน้ำและอากาศได้ดี รวมถึงการขนไซของรากพืชที่ดีอีกทั้งยังเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ของดินอีกด้วย การเติมไบโอชาร์ยังส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยหมักและทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารหลักชนิดไนโตรเจนดีขึ้นดังนั้นองค์ประกอบของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกจึงทำให้วัสดุปลูกมีความสามารถในการตรึงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตได้มากขึ้นและช่วยให้กิจกรรมการดำรงชีวิตของพืชดีขึ้นหากการเพิ่มองค์ประกอบของไบโอชาร์ทำควบคู่กับการใช้ปุ๋ยหมักในวัสดุปลูกจะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรึงธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของพืชยิ่งขึ้นเนื่องจากความเป็นวัสดุพรุนของไบโอชาร์เมื่ออยู่ในดินจะช่วยกักเก็บธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักตลอดจนเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์และยังช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ตลอดช่วงการเจริญเติบโต

### 2.4 ปริมาณธาตุอาหาร

การเพิ่มองค์ประกอบของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกนอกจากจะช่วยกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชแล้วไบโอชาร์ยังทำให้วัสดุปลูกสามารถกักเก็บน้ำเพื่อกองความชุ่มชื้นของพื้นที่เพาะปลูกและ



ยังช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในดินอย่างกะทันหันมากเกินไปกว่านั้นยังเป็นตัวทำละลายที่ดีของธาตุอาหารพืชและยังช่วยเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากดินสู่รากพืชได้มากขึ้น (ตาราง 4.3) ไบโอสชาร์ยังเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อดิน โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เป็นธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (สมการ 4.1) และช่วยปรับโครงสร้างดินทำให้ดินจับตัวกันเป็นเม็ดมากกว่าอยู่ในลักษณะเม็ดเดี่ยว เช่น ดินทรายเป็นดินที่มีการเกาะตัวของเม็ดดินต่ำจึงทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่ายและยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในรูปแก๊สที่อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) (สมการ 4.2) และแก๊สไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (สมการ 4.3)



ตาราง 4.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักชนิดไนโตรเจน โพแทสเซียม และธาตุอาหารรองชนิดแคลเซียมของ  
วัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

| วัสดุปลูก             | ค่าความเป็นกรด<br>ด่าง | ค่าเหนียวน้ำ<br>ไฟฟ้า<br>(ds/m) | ปริมาณ<br>อินทรีย์วัตถุ<br>รวม<br>(%) | ปริมาณธาตุอาหาร (mg/kg) |                                 |                                 | ความสามารถใน<br>การแลกเปลี่ยน<br>ประจุบวก<br>(cmol/kg) |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                       |                        |                                 |                                       | ไนโตรเจน<br>(N)         | โพแทสเซียม<br>(K <sup>+</sup> ) | แคลเซียม<br>(Ca <sup>2+</sup> ) |                                                        |
| ดิน                   | 6.70                   | 2.33                            | 1.81                                  | 49                      | 20.61                           | 2.33                            | 42.27                                                  |
| ปุ๋ยหมัก              | 6.26                   | 1.39                            | 26.32                                 | 1.54                    | 0.37                            | -                               | -                                                      |
| ไบโอชาร์              | 7.00                   | 1.17                            | 10.50                                 | 279                     | 3,120                           | -                               | 1,693.00                                               |
| ดิน+ปุ๋ยหมัก          | 7.29                   | 2.14                            | 9.11                                  | 58                      | 21.78                           | 2.39                            | 44.32                                                  |
| ดิน+ปุ๋ยหมัก+ไบโอชาร์ | 7.34                   | 1.97                            | 22.75                                 | 560                     | 22.52                           | 2.42                            | 48.90                                                  |

### 3. การเจริญเติบโตของพืช

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาด้านความสูงต้นพืช ขนาดลำต้น ขนาดใบ จำนวนใบ และความยาวรากของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือพบว่าเมื่อระยะเวลาในการปลูกลานขึ้น สรีรวิทยาของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ กล่าวคือ ความสูง ขนาดลำต้น ขนาดใบ จำนวนใบ และความยาวรากของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่าพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ซึ่งแสดงถึงการเจริญเติบโตที่ดีกว่า อีกทั้งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชผักชนิดคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชผักชนิดคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะเวลาปลูก 45 วัน คือ 34.93 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 70.24 และ 72.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 50 และ 55 วัน ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชผักชนิดมะเขือมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพืชผักชนิดคะน้า คลอโรฟิลล์ถือเป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนสีเขียวของพืชซึ่งพบมากบริเวณใบของพืช คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่รับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานเคมีผ่าน

กระบวนการสังเคราะห์แสงจนได้สารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล เพื่อการดำรงชีวิต จากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดใบของพืชผักทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น 1.33 เท่า และ 1.93 เท่า ตามลำดับ (ตาราง 4.4) ขนาดใบพืชที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการป้องกันการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและช่วยให้พืชสามารถนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อใช้ในการกระบวนการสร้างอาหารพืชได้มากขึ้น (สมการ 4.4) [91] และสารอินทรีย์ที่ได้หลังจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเสร็จสิ้นจะถูกลำเลียงไปเก็บสะสมไว้ยังส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป

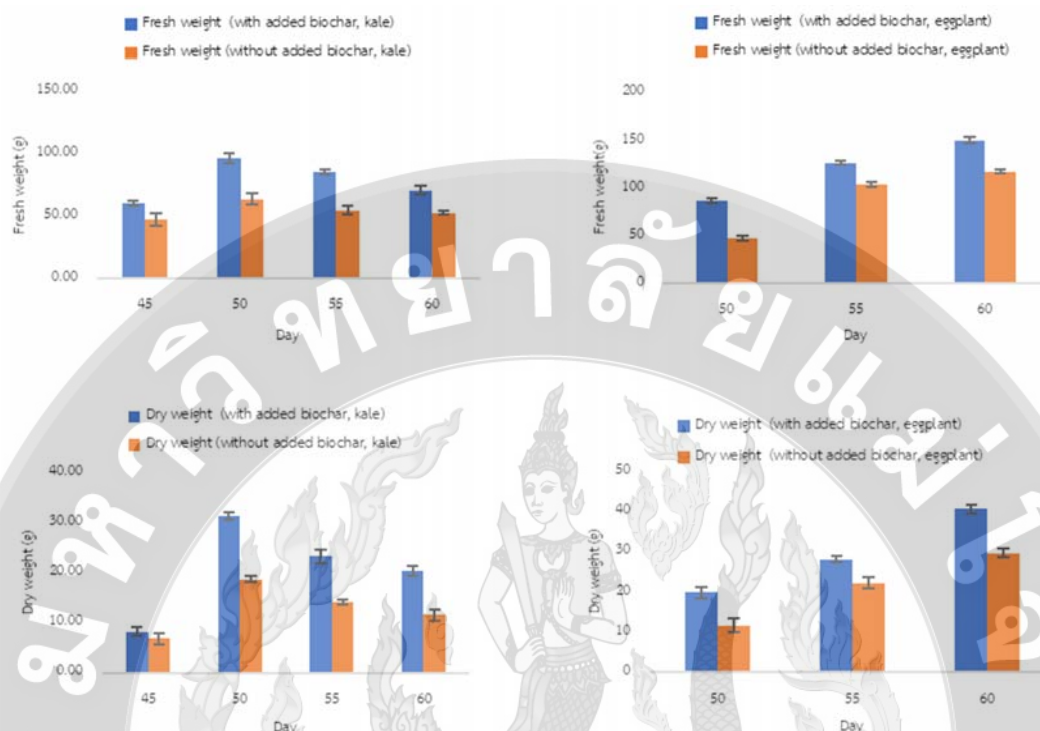


จากการติดตามการเจริญเติบโตของพืชสามารถสรุปได้ว่าขนาดใบที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ในการดำรงชีวิตมีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีซึ่งแสดงในรูปของการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งโดยพืชผักชนิดคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์จะมีน้ำหนักของผลผลิตในรูปของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าคะน้าที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ร้อยละ 43.48 และ 62.71 ตามลำดับ จากรูป 4.7 (ก) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชผักชนิดคะน้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามระยะเวลาในการปลูกที่เพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่ระยะการปลูก 50 วัน ในขณะที่น้ำหนักของผลผลิตในรูปของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งพืชผักชนิดมะเขือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้นจาก 50 วัน ถึง 60 วัน (รูป 4.7 (ข)) สำหรับผลของชนิดวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชผักชนิดมะเขือมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพืชผักชนิดคะน้า

ตาราง 4.4 ขนาดใบในรูปของความกว้างของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เต็มและไม่เต็มไบโอชาร์

| ชนิดวัสดุปลูก             | ขนาดใบ            |                                                                                     |                   |                                                                                       |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | คะน้า             |                                                                                     | มะเขือ            |                                                                                       |
|                           | ความกว้าง<br>(cm) |                                                                                     | ความกว้าง<br>(cm) |                                                                                       |
| วัสดุปลูกที่มีไบโอชาร์    | 14.5              |   | 13.3              |   |
| วัสดุปลูกที่ไม่มีไบโอชาร์ | 9.9               |  | 11.0              |  |

| ชนิดวัสดุปลูก           | ขนาดใบ            |                                                                                     |                   |                                                                                       |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | คะน้ำ             |                                                                                     | มะเขือ            |                                                                                       |
|                         | ความกว้าง<br>(cm) |                                                                                     | ความกว้าง<br>(cm) |                                                                                       |
| วัสดุปลูกที่มีใบโหระ    | 18.5              |   | 20.3              |   |
| วัสดุปลูกที่ไม่มีใบโหระ | 16.0              |  | 17.7              |  |



ภาพ 4.7 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชผักชนิด (ก) คะน้าและ (ข) มะเขือที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เติมและไม่เติมไบโอชาร์

การติดตามการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขื่อนั้นจะเห็นได้ว่าพืชผักที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าซึ่งสรีรวิทยาด้านความยาวรากพืชจะเป็นตัวบ่งบอกถึงผลผลิตที่ดีหรือไม่ดีของพืชได้ พืชที่มีความยาวรากมากกว่าจะช่วยในการขนไซของรากไปยังบริเวณที่มีธาตุอาหารและดูดซับธาตุอาหารตลอดจนสามารถลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปยังส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่มีรากสั้นและรากของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่เติมไบโอชาร์มีความยาวมากกว่าพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่เติมไบโอชาร์ เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอชาร์จะช่วยให้อายุปลูกมีลักษณะโปร่ง ระบายอากาศและน้ำได้ดีจึงทำให้การขนไซของรากเกิดขึ้นได้ดี เมื่อรากพืชมีความสามารถในการขนไซที่ดีรากพืช

จะสามารถดูดซึมธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตเพื่อสร้างผลผลิตได้อย่างเพียงพอ การเจริญเติบโตของพืชที่สมบูรณ์นั้นมักแสดงในรูปของผลผลิตพืช คือ น้ำหนักของผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งและพืชที่มีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์กว่าจะมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่า ดังนั้นการเพิ่มองค์ประกอบของไบโอชาร์ในวัสดุปลูกนอกจากจะช่วยกักเก็บธาตุอาหารพืชแล้วยังถือเป็นการลดปริมาณปุ๋ยซึ่งเป็นวัสดุที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชรวมถึงช่วยลดปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินจากการใช้ปุ๋ยในปริมาณมากเกินไป มากไปกว่านั้นไบโอชาร์ยังช่วยลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้าๆ เมื่อพืชต้องการนำไปใช้ในการดำรงชีวิตผ่านกระบวนการรบกวนสมดุลไอออนระหว่างโปรตรอน ( $H^+$ ) จากขบวนการพืชและธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกในวัสดุปลูก



## สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักชนิดคะน้าและมะเขือด้วยวัสดุปลูกที่เดิมและไม่เดิม ใบโอชาร์ที่มีองค์ประกอบของดิน ปุ๋ยหมัก และใบโอชาร์ในอัตราส่วน 2:2:1 และ 2:2:0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าการใช้วัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบใบโอชาร์ในการปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด จะให้การเจริญเติบโตของพืชที่สมบูรณ์กว่าการใช้วัสดุปลูกที่ไม่มียุทธศาสตร์ประกอบของใบโอชาร์แสดงในรูปของ สรีรวิทยาด้านความสูง ขนาดใบ และขนาดลำต้นพืชที่ใหญ่กว่าสัมพันธ์กับความยาวรากพืชและปริมาณ ผลผลิตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากกว่าคิดเป็นร้อยละ 43.49 และ 62.72 สำหรับพืชผักชนิด คะน้า และคิดเป็นร้อยละ 35.25 และ 39.73 สำหรับพืชผักชนิดมะเขือ ตามลำดับ มากไปกว่านั้น คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบของใบโอชาร์ยังดีขึ้นอีกด้วยซึ่งสอดคล้องกับ ประสิทธิภาพในการกักเก็บธาตุอาหาร การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชตลอดวัฏจักรชีวิตพืช อีกทั้งวัสดุ ใบโอชาร์ยังสามารถลดการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินในพื้นที่เพาะปลูกอีกด้วย



## เอกสารอ้างอิง

- เกศินี ระมิงค์วงศ์ และวิรัตน์ ชาวาลกุล. 2522. หลักการพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 358 หน้า.
- ถนอม คลอดเพ็ง. 2528. ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่, 257 หน้า.
- เฉลิมพล แชมเพชร. 2535. สรรีวิทยาการผลิตพืชไร่. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 188 หน้า.
- ชัยญา ทิพานุกะ และนางจันทร์จรัส เกียรติทวีมันคง. กลุ่มส่งเสริมการจัดการดินปุ๋ย กองส่งเสริม. การอารักขาพืชและการจัดการดินปุ๋ย.
- ทิพวรรณ ลิทธิรังสรรค์. 2543 . การปลูกพืชผักวิถีเกษตรธรรมชาติ. โรงพิมพ์ ส.วิรัชการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 46 หน้า.
- ทิพวรรณ ประภามณฑล, พงศ์เทพ วิวรรณะเดช, อัมพิกา มังคะพลฤกษ์, สมศรี ปัทมพันธุ์ และอำนาจ มีเวที. 2547. การกำหนดขอบเขตการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพในกลุ่มเกษตรกรจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธนชัย วังศิริอำนวย. 2564. การผลิตด้านชีวภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2554. หลักการปลูกพืชผัก. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2528. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สำนักพิมพ์ มก. 327 หน้า.
- ศุภวิชญ์ ถวณะสกล พิสิษฐ์ มณีโชติ และสมบัติ ทิฆมทรัพย์. 2553. การออกแบบเตาคาร์บอนชีวมวลอย่างต่อเนื่อง. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. พิสิษฐ์ มณีโชติ; สมบัติ ทิฆมทรัพย์, หน้า 121-125.

- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2542. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช. สาขาพืชสวน, ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สาคร ศรีมุข. 2556. ผลกระทบการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย. สำนักการพิมพ์ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา กรุงเทพฯ. 25 หน้า
- สุนิสา ประไพตระกูล. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร พืชตระกูลถั่ว (คะน้า และ ผักกวางตุ้ง). สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. 29 หน้า.
- สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์. 2526. สรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 135 หน้า
- สมศักดิ์ วังโน. 2541. การตรึงไนโตรเจน ไโรโซเนียม-พืชตระกูลถั่ว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2557. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และแกลบต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของพันธุ์ข้าวชัยนาท 1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, หน้า 69-75.
- อัญชลี ใจดี. 2555. ธาตุอาหารพืช. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 5-16.
- อรสา สุกสว่าง. 2558. โครงการชุมชนแปลงชีวมวลสู่พลังงานและไบโอชาร์: ประโยชน์และแนวทางการใช้ไบโอชาร์ (ถ่านชีวภาพ) ของเกษตรกรอินทรีย์ใหม่, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Beadle, C. L., Neilson, R. E., Talbot, H. and Jarvis, P. G. 1985. Stomatal Conductance and Photosynthesis in a Mature Scots Pine Forest. III. Variation in Canopy Conductance and Canopy Photosynthesis. *Journal of Applied Ecology*, 22: 587-595.
- Benjamin, L. R., McGarry, A., and Gray, D. 1997. The root vegetables: Beet, carrot, parsnip and turnip. *The Physiology of Vegetable Crops*. Wallingford, UK: CAB International. pp. 553-580.

- Biederman, L.A., Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. 5: 202–214.
- Breinholt, V., Schimerlik, M., Dashwood, R., and Bailey, G. 1995. Mechanisms of chlorophyllin anticarcinogenesis against aflatoxin B: complex formation with the carcinogen. *Chemical Research in Toxicology*. 8:506-514.
- Bruun, E. W., Petersen, C. T., Hansen, E., Holm, J. K., and Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. *Soil Use Management*. 30: 109–118.
- Bustamante, M.A., Moral, R., Paredes, C., Perez-Espinoza, A., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D. 2008. Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*, 28:372-380.
- Chang, J.H. 1968. *Climate and Agriculture: An Ecological Survey*. Aldine Publishing Company, Chicago, 304 p.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G. D., Rutherford, D. W., Sparrevik, M., Hale, S.E., Obia, A., and Mulder, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy* 3:256–274.
- Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B. 2008. Effect of low- temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *The American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 51:2061-2069.
- Gautam, D.K., Bajracharya, R.M., Sitaula, B.K. 2017. Effects of biochar and farm yard manure on soil properties and crop growth in an agroforestry system in the Himalaya. *Sustainable Agriculture Research*, 6, 74-82.
- Giorgio, B., Giuseppin, C., Francesco, P. and Claudio, D.P. 2019. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175:294-303.

- Gruba, P., and Mulder, J. 2015. Tree species affect cation exchange capacity (CEC) and cation binding properties of organic matter in acid forest soils. *Science of the Total Environment*, 511:655-662.
- Herath, H., Camps-Arbestain, M., and Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*. 209:188–197.
- Hernandez, L.E., Garate, A., and Carpena-Ruiz, R. 1995. Effect of cadmium on nitrogen fixing pea plants grown in perlite and vermiculite. *Journal of Plant Nutrition*. 18: 287–303.
- Joseph, S., Kammann, C.I., Shepherd, J.G., Conte, P., Schmidt, H.P., Hagemann, N., Rich, A.M., Marjo, C.E., Allen, J., and Munroe, P. 2018. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. *Science of The Total Environment*. 618:1210–1223.
- Li, Z., Qi, X., Fan, X., and Liu, Y. 2016. Amending the seedling bed of eggplant with biochar can further immobilize Cd in contaminated soils. *Science of The Total Environment*. 572.
- Mai, V.T., Pariyanuj, C., Supot, K. and Pichitra, K. 2013. Effects of Bio-charcoal and Organic Fertilizer on the Growth of Mini Chinese Kale. *The Journal of Agricultural Science*. 44:648-656.
- Pacharapol, P., and Sukhumaporn, S. 2018. Effect of biochar application on growth and efficiency of photosynthesis of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Super Hot) under acid soil. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46:338-343.
- Qian, L., and B. Chen. 2013. Dual role of biochars as adsorbents for aluminum: the effects of oxygen-containing organic components and the scattering of silicate particles. *Environmental Science & Technology*, 47:8759-8768.
- Rao, M., Sresty, T.V.S. 2000. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Science*. 157:113-128.

- Sadighara, P., Saghafi, M., Erfanmanesh, A., and Mahdaviyekta, M. 2016. Antioxidant activity and properties of outer shell pistachios in different temperature of cooking. *Scholars Research Library*. 12:263-266.
- Samac, D.A., and Tesfaye, M. 2003. Plant Improvement for Tolerance to Aluminum in Acid Soils-A Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 75:189-207.
- Sohi, S., Gaunt, J., and Atwood, J. 2013. Biochar in Growing Medi: A Sustainability and Feasibility Assessment. UK Biochar Research Centre, University of Edinburgh, Scotland, United Kingdom.
- Sun, K., Gao, B., Ro, K.S., Novak, J.M., Wang, Z., Herbert, S., and Xing, B. 2012. Assessment of herbicide sorption by biochars and organic matter associated with soil and sediment. *Environmental Pollution*. 163:167-173.
- Szabolcs, I. 1992. An overview of the salt affected lands in the world. *Proc. of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands*. Bangkok, Thailand. p.19-25.
- Tang, L., Wang, C., Huang, J., Zhang, J., Mao, Z., and Wang, H. 2013. Comparative analysis of peroxidase profiles in Chinese kale (*Brassica alboglabra* L.): evaluation of leaf growth related isozymes. *Food Chemistry*. 136:632-635.
- Tom, S., Teres, F., Gökçen, A., Harrison, F., and Eduardo, M.J. 2017. Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water. *Bioresource Technology*, 246:34-37.
- Thi, M.V., Chulaka, P., Kasem, S., and Kaewsorn, P. 2013. Effects of Bio-charcoal and Organic Fertilizer on the Growth of Mini Chinese Kale. *Agricultural Science Journal*. 44:648-656.
- Wang, Y., Zhang, L., Yang, H., Yan, G., Xu, Z., Chen, C., Zhang, D. 2016. Biochar nutrient availability rather than its water holding capacity governs the growth of both C3 and C4 plants. *Journal of Soils and Sediments*. 16:801–810.
- Westenbrink, S., Brunt, K. and Willem, J. 2013. Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data. *Food Chemistry*. 140:562-567.

- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., and Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*. 52:489–495.
- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., and Gong, X. 2014. Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae*. 176:70–78.

