ผลของวัสดุนาโนคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการปรับปรุงดิน เพื่อประยุกต์ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

EFFECT OF CARBON AND CALCIUM NANOMATERIALS ON SOIL IMPROVEMENT FOR PLANT GROWTH APPLICATIONS

พงศกร เทียนดี

PHONGSAKORN THIANDEE

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CARBON AND CALCIUM NANOMATERIALS ON SOIL IMPROVEMENT FOR PLANT GROWTH APPLICATIONS

PHONGSAKORN THIANDEE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING

IN NANOMATERIAL ENGINEERING

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ผลของวัสดุนาโนคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการปรับปรุงดินเพื่อประยุกต์ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช
Special Project Title	Effect of carbon and calcium oxide nanomaterials on soil improvement for plant growth applications
นักศึกษา	พงศกร เทียนดี
รหัสประจำตัว	55110032
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชุติไพจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. วรรณวิลัย	วิทยากร	
ดร. กนกทิพย์	บุณยรัตกลิน	
ผศ.ดร. อภิลักษณ์	เอียดเอื้อ	
ผศ.ดร. สุธี	ชุติไพจิตร	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชุติไพจิตร)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วันที่ 17 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	ผลของวัสดุนาโนคาร์บอนและแคลเซียมต่อการปรับปรุงดินเพื่อประยุกต์ใช้กับการเจริญเติบโตของพืช
นักศึกษา	นาย พงศกร เทียนดี
รหัสประจำตัว	55110032
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงดินเสื่อมสภาพโดยการปรับปรุงโครงสร้างของใบธูปฤาษีและเปลือกไข่ วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอน (2:1, 4:1 และ 8:1) และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ (200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในต้นข้าวโพด ข้าว และถั่วลิสง โครงสร้างสัณฐานวิทยาของตัวอย่างถูกวัดด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและความพรุนของวัสดุ (Brunauer–Emmett–Teller, BET) ตัวอย่างพืชจะถูกวัดอัตราการเจริญเติบโต (ความยาวลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง) และศึกษาปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (คลอโรฟิลด์ และคาโรทีนอยด์) โดยเครื่อง ยูวี-วิส สเปกโตโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์อนจากใบธูปฤาษี และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 4:1 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนที่ 1:0 และความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ที่ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Effect of carbon and calcium nanomaterials on soil improvement for plant growth applications
Student	Mr. Phongsakorn Thiandee
Student ID	55110032
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2016
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutee Chutipaijit
Special Project Co-advisor	Asst.Prof.Dr. Apiluck Eiad-ua

ABSTRACT

The purposes of this research were to improve soil degradation by morphological improvement from cattail leaf (*Typha angustifolia*) and egg shell. The carbon nanomaterials from cattail leaf were synthesized by hydrothermal method with 200°C and calcium oxide from egg shell was synthesized by calcination at 1,000°C for 2 hours. This research was studied the effect of the ratio of soil and carbon nanomaterials (2:1, 4:1 and 8:1) and concentrations of calcium oxide (200, 400 and 800 mgL^{-1}) on the growth rate and photosynthetic pigments in corn, rice and peanut. The morphological samples were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Brunauer–Emmett–Teller (BET). The plants were determined the growth rate (shoot length, fresh weight and dry weight) and investigated the contents of photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids) by UV-Vis spectrophotometer. The experimental revealed that the ratio of soil and carbon nanomaterials and concentrations of calcium oxide at 4:1 and 400 mgL^{-1} were the optimum condition could be increase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the growth rate and photosynthetic pigment contents when compared with control condition (1:0 the ratio of soil and carbon nanomaterials and 0 mgL^{-1} calcium oxide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ผศ.ดร. สุธี ชุติไพจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ การปรับปรุงแก้ไข รวมไปถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณ อาจารย์ ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ สำหรับข้อแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย รวมไปถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมบ่มวิชา ดูแลเป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในวิทยาลัยนาโนฯ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ และขอบคุณคณะวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นาโนเทค และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้มอบพื้นที่อุปกรณ์ รวมไปถึงทุนในการวิจัยต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

พงศกร เทียนดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ IX

สารบัญภาพ (ต่อ) X

คำย่อและสัญลักษณ์ XI

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 สมมติฐานงานวิจัย 2

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

2.1 เปลือกไข่ไก่ 4

2.2 ธูปฤาษี 6

2.3 ข้าว 7

2.4 ถั่วลิสง 12

2.5 ข้าวโพด 14

2.6 วัสดุชีวมวล 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.7 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชั่น 19

2.8 กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน 21

2.9 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน 22

2.10 เครื่องมือและเทคนิคการวัด 23

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 32

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 32

3.2 การสังเคราะห์วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีด้วยวิธีการไฮโดรเทอมัล และ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ด้วยวิธีการแยกสลายทางความร้อน 33

3.3 การเตรียมแปลงเพาะปลูก 34

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 35

3.5 การวิเคราะห์วัสดุหลังการสังเคราะห์ 36

บทที่ 4 40

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ 40

4.2 ผลของการใช้ดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโตของตัวอย่างต้นพืช 47

4.3 ผลของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ต่อการเจริญเติบโตของตัวอย่างต้นพืช 66

บทที่ 5 84

5.1 สรุปผลการทดลอง 84

5.2 ข้อเสนอแนะ 85

บรรณานุกรม 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย SEM.....37

3.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย FTIR.....38

3.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย BET.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 เปลือกไข่ไก่ 4

2.2 แสดงภาพต้นธูปฤาษี 6

2.3 แสดงภาพต้นข้าว 8

2.4 แสดงภาพต้นถั่วลิสง 12

2.5 แสดงภาพต้นข้าวโพด 14

2.6 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS 24

2.8 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่อง SEM 27

2.9 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง FTIR 29

3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 37

3.2 แสดงภาพเครื่อง FTIR 37

3.3 แสดงภาพเครื่อง BET 38

3.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย 39

4.1 แสดงกราฟ FT-IR ของวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อุณหภูมิ 200 °C 41

4.2 แสดงกราฟ FT-IR ของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ 42

4.3 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของใบธูปฤาษีหลังจากผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 43

4.4 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวเปลือกไข่ที่เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส 44

4.5 แสดงลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี 45

4.6 แสดงลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของวัสดุแคลเซียมออกไซด์ 46

4.7 แสดงความยาวลำต้นข้าวโพด 49

4.8 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด 51

4.9 แสดง ปริมาณรงควัตถุของต้นข้าวโพด 53

4.10 แสดงความยาวลำต้นข้าว 55

4.11 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว 57

4.12 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าว 59

4.13 แสดงความยาวลำต้นถั่วลิสง 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.14 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง 63
4.15 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นถั่วลิสง 65
4.16 แสดงความยาวลำต้นข้าวโพด 67
4.17 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด 69
4.18 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าวโพด 71
4.19 แสดงความยาวลำต้นข้าว 73
4.20 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว 75
4.21 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าว 77
4.22 แสดงความยาวลำต้นถั่วลิสง 79
4.23 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง 81
4.24 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นถั่วลิสง 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

%	ร้อยละ
ml.	มิลลิลิตร
hr	ชั่วโมง
°C	องศาเซลเซียส
N_2	ไนโตรเจน
cm^{-1}	เลขคลื่น
µm	ไมโครเมตร
nm	นาโนเมตร
SEM	Scanning Electron Microscopy
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
BET	Brunauer–Emmett–Teller
DMRT	Duncan's Multiple Range Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยมีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมโดยมีพื้นที่ทั้งประเทศรวมกันจำนวน 321 ล้านไร่ และซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่สำหรับทำการเกษตรกรรมประมาณ 182 ล้านไร่ แบ่งเป็นภาคกลาง 27 ล้านไร่ ภาตะวันออกเฉียงเหนือ 77 ล้านไร่ ภาคตะวันออก 14 ล้านไร่ ภาคเหนือ 36 ล้านไร่ และ ภาคใต้ 28 ล้านไร่ จากการสำรวจของกรมที่ดิน ในปี 2549 พบว่า มีพื้นที่สำหรับทำการเกษตรจำนวน 182 ล้านไร่ มีมากกว่า 132 ล้านไร่ ที่พบปัญหาดินเสื่อมโทรม [1]

สาเหตุหลักที่ดินเสื่อมโทรม เกิดจากเกษตรกรขาดความรู้ในเรื่องการใช้ดิน ใช้ในการปลูกพืชเท่านั้น ซึ่งธาตุอาหารในดินจะหายไปพร้อมกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยว ไม่มีการบำรุงรักษา และทำการใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเป็นจำนวนมาก ทำให้ดินเสื่อมโทรมเร็วกว่าปกติ ทำให้เมื่อดินหมดแร่ธาตุอาหารจากการปลูกพืช จึงพบแต่สารเคมีตกค้างในปริมาณมาก และโรคชนิดต่างๆ โดยจะส่งผลเสียต่อพืชและจะสะสมอยู่ในดิน เมื่อพืชเป็นโรคเกษตรกรก็นำสารเคมีมาใช้รักษาอีกจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตเจือปนไปด้วยสารเคมี ซึ่งส่งผลเสียต่อการนำไปขายทั่วโลก นอกจากนี้ยังส่งผลให้ต้นทุนสูงจากการซื้อสารเคมีในราคาแพง ซึ่งจะทำให้การปลูกพืชไม่คุ้มค่ากับการลงทุนอีก ทั้งแมลงชนิดต่างๆ เข้ากัดกินทำลายพืช ผัก ผลไม้ จะส่งผลให้เกษตรกรใช้สารเคมีกำจัดแมลงมากขึ้น

เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกพืชสำหรับค้าขาย เช่น ข้าว เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย โดยในอดีตที่ผ่านเมื่อพื้นดินยังอุดมสมบูรณ์ ในช่วงเปิดผืนป่าใหม่ให้ทำการเพาะปลูก ชาวนาปลูกข้าวได้ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 80-120 ถังต่อไร่ จำหน่ายในเกวียนละ 4,000-5,000 บาท โดยเมื่อจำหน่ายจะเกิดรายได้ประมาณ 4,500 บาท ต่อ 1 ไร่ แต่ในปัจจุบันลดลงเหลือเพียง 34 ถังต่อไร่ แม้ว่าราคาข้าวมีการปรับสูงขึ้นมาถึงเกวียนละ 8,000-9,000 บาท ในทางตรงกันข้าม ผลผลิตที่เพาะปลูกปรับตัวลดลง และการใช้สารเคมีเพื่อบำรุงข้าวดังนั้นรายได้เฉลี่ยสุทธิจึงปรับลดลงเหลือ 2,500-3,000 บาทต่อไร่เท่านั้น ในส่วนต่อมาคือ พืชไร่ เช่น ถั่ว ข้าวโพด เมื่อดินยังอุดมสมบูรณ์ให้ผลผลิตที่เกิดขึ้นในปริมาณมาก ต่อมาเมื่อประสบปัญหาดินเสื่อมโทรม ทำให้ผลผลิตข้าวโพดโดยเฉลี่ย 719 กิโลกรัมต่อไร่ลดลงเหลือ 433 กิโลกรัมต่อไร่ และพืชตระกูลถั่ว ผลผลิตลดลงจาก 499 กิโลกรัมต่อไร่ เหลือ 401 กิโลกรัมต่อไร่ [2] ประกอบกับเกิดโรคและผลผลิตมีปัญหาหลายประการ จึงเกิดการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการขายในส่วนนี้ลดลงจากผลผลิตมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพและปริมาณที่ลดลง [1] ซึ่งจากทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรปรับลดลงจากเดิมมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดที่จะปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของดินซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ โดยวัสดุที่จะนำมาใช้พัฒนาดินจะต้องมีต้นทุนน้อย หรือไม่มีมูลค่า สามารถหาได้ทั่วไป ได้แก่ เปลือกไข่ และใบธูปฤาษี โดยเปลือกไข่นั้นเป็นขยะชีวมวลที่หาได้ง่ายตามครัวเรือนและไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งในจุดนี้นอกจากจะนำมาพัฒนาแล้วยังสามารถลดขยะไปได้ในตัว ซึ่งส่วนประกอบหลักของเปลือกไข่นั้นมีแคลเซียมอยู่มาก จึงสามารถนำมาเป็นปุ๋ยแคลเซียมสำหรับพืชได้ โดยเมื่อได้รับแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้พืชนั้นมีโครงสร้างที่แข็งแรง และช่วยในการแบ่งเซลล์ของพืช [3] และธูปฤาษีเป็นวัชพืชที่มีปริมาณมากมักพบพื้นที่ในพื้นที่ชุ่มน้ำหรือน้ำขังทั่วประเทศ และยังเป็นปัญหาต่อระบบนิเวศทางน้ำ ทำให้ในบริเวณที่มีธูปฤาษีจะก่อมลพิษแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณนั้นตามมาด้วย โดยในปัจจุบันได้มีการนำธูปฤาษีไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตกระดาษ การผลิตเครื่องจักสานจากใบธูปฤาษี กำจัดคราบน้ำมันใช้เป็นเชื้อเพลิง และนำมาทำเป็นปุ๋ย เป็นต้น [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประยุกต์ใช้เปลือกไข่ และใบธูปฤาษี โดยได้นำมาพัฒนาเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดินหรือเป็นปุ๋ยเพื่อบำรุงดินให้กลับมามีสภาพอุดมสมบูรณ์ หรือสามารถปรับปรุงดินที่ไม่สามารถปลูกพืชได้ให้กลับมามีความสามารถในการปลูกพืชอีกครั้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของวัสดุนาโนที่ได้ต้นธูปฤาษีและดินที่มีผลต่ออัตราการจริญเติบโตของต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของวัสดุนาโนที่ได้ต้นธูปฤาษีและดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด

1.2.4 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

ถ้าอัตราส่วนการผสมของดินต่อวัสดุนาโนที่ได้จากต้นธูปฤาษีเหมาะสมจะส่งผลให้ต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด มีการงอก การเจริญเติบโต รวมไปถึงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น และถ้าความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่มีความเหมาะสม จะส่งผลให้ต้นข้าว ต้นถั่วลิสง และต้นข้าวโพด มีการงอก การเจริญเติบโต รวมไปถึงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์มากขึ้น

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ

งานวิจัยนี้จะจำกัดขอบเขตของงานในส่วนการวิจัยพัฒนาการทดลอง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่นำมาเพาะปลูก โดยการผสมดินกับวัสดุนาโนที่ได้จากต้นธูปฤาษี เงื่อนไขที่จะทำการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมต่อ การงอก การเจริญเติบโต รวมไปถึงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์และศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่เหมาะสมต่อการงอก การเจริญเติบโต รวมไปถึงปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาปรับปรุงวัสดุชีวมวลให้สามารถกลายเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้
2. สามารถพัฒนาปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความสามารถในการเพาะปลูกพืชมากขึ้น
3. เพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือใช้และขยะชีวมวลจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมได้
4. สร้างองค์ความรู้ในการแก้ปัญหาดินเสื่อมโทรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เปลือกไข่ไก่

2.1.1 สารในเปลือกไข่

เปลือกไข่ ประกอบด้วยสารแคลเซียมที่ มีลักษณะเป็นแท่งๆ มาต่อกัน โดยในเปลือกไข่เฉลี่ยแต่ละฟองนั้นจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่ประมาณ 2 กรัม โดยบริเวณผิวของเปลือกไข่จะประกอบไปด้วยรูขนาดเล็ก มากกว่า 17,000 รู เพื่อช่วยในการระบายความชื้นภายในไข่ และรับอากาศเข้าไป ซึ่งจะส่งผลสำคัญมากต่อการพัฒนาการของลูกไก่ นอกจากนี้ยังมีมีสารเคลือบที่สามารถป้องกันเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เข้าไปทำอันตรายลูกไก่ในไข่ได้ไข่ได้ โดนในส่วนความแข็งแรงของเปลือกไข่นั้นจะขึ้นกับอาหารและอายุของแม่ไก่ ถ้าแม่ไก่ตัวใหญ่จะส่งผลให้เปลือกของไข่ไก่มีขนาดใหญ่ และบางตรงส่วนหัวของไข่จะมีช่องอากาศที่มีเยื่อหุ้มเซลล์บางๆ อยู่ 2 ชั้น และมีระยะห่างกันเล็กน้อยสำหรับการเกิดช่องว่างเกิดขึ้นสำหรับให้อากาศ สามารถระบายเข้าไปสู่ภายในได้ เมื่อไข่ออกจากตัวแม่ไก่นานขึ้นช่องอากาศภายในจะขยายใหญ่ขึ้นเพราะความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไปโดยมีอากาศมาทดแทน ซึ่งจะทำให้ไข่จะเบาขึ้นจนสามารถลอยน้ำได้ จึงสามารถทดสอดความอายุของไข่ได้โดยนำไปลอยน้ำ ไข่ที่สดจะมีน้ำหนักมาจนจมอยู่ก้นภาชนะ [3]

ภาพที่ 2.1 เปลือกไข่ไก่

ที่มา: http://www.farmkaikhai.com/board/index.php?topic=2804.0

2.1.2 องค์ประกอบในไข่

2.1.2.1 เปลือกไข่ มีสีน้ำตาลหรือขาว ทำหน้าที่ป้องกันตัวอ่อนที่อยู่ภายใน โดยมีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ คอลลาเจนสานเป็นตัวตาข่าย และมีหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ทำให้เปลือกแข็ง เปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เมื่อไข่ออกจากไก่มาใหม่จะมีเมือกเคลือบที่ผิวของเปลือกไข่ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศและน้ำผ่านเข้าไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 เยื่อหุ้มไข่ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือกมีชื่อเรียกว่า shell membrane ชั้นในที่ติดกับไข่ขาวเรียกว่า egg membrane เยื่อชั้นนอกและชั้นในจะชิดกันตลอด

2.1.2.3 โพรงอากาศ เป็นช่องว่างที่อยู่บริเวณด้านบนของไข่ อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน เกิดจากอุณหภูมิของไข่เย็นตัวลงทำให้ของเหลวในไข่เกิดการหดตัวเป็นโพรง และการระเหยน้ำออกไปเป็นจำนวนมากจะส่งผลให้โพรงอากาศใหญ่ขึ้นอีก

2.1.2.4 ไข่ขาว เป็นส่วนประกอบภายในไข่ที่เป็นส่วนของเหลวข้นหนืด ล้อมรอบไข่แดง แบ่งเป็น 2 ชั้นคือชั้นนอกใสโปร่งแสง และชั้นใน ส่วนข้นประกอบไปด้วย โปรตีนแอมบูมิน

2.1.2.5 เยื่อหุ้มไข่แดง ทำหน้าที่หุ้มไข่แดงเอาไว้โดยรอบ

2.1.2.6 ไข่แดง (yolk) ไข่แดงเป็นส่วอาหารสำรองแก่ลูกไก่ [4]

2.1.3 ประโยชน์ของเปลือกไข่

2.1.3.1 เปลือกไข่สามารถใช้ไล่มด โดยการนำเปลือกไข่ที่เผาไฟแล้วบดจนละเอียด โดยในเปลือกไข่นั้นจะมีสารแคลเซียมเมื่อได้ผสมกับน้ำจะได้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบส โดยเบสนั้นจะสามารถขับไล่มดได้ โดยวิธีทำการผสมเปลือกไข่ที่เผาแล้ว 1 ส่วนกับน้ำ 2 ส่วน ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำใช้ฉีดพ่น หรือราดบริเวณรังมด

2.1.3.2 เปลือกไข่สามารถใช้ซักผ้า เปลือกไข่ทำให้ผ้าขาว โดยนำเปลือกไข่ห่อด้วยผ้าที่ต้องการซักแล้วนำไปต้ม จากนั้นนำมาซักตามปกติ หรือ สามารถใช้แทนผงซักฟอกโดย การผสมกับผงซักฟอกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะทำให้ได้ผ้าที่มีความขาวมากขึ้นจากเดิม

2.1.3.3 เปลือกไข่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเมื่อทุบเปลือกไข่ให้ละเอียดแล้วนำมาใส่ในกองไฟจะส่งผลให้ไฟเกิดการลุกแรงขึ้น

2.1.3.4 กินเปลือกไข่เพิ่มแคลเซียม โดยในเปลือกไข่อุดมด้วยธาตุแคลเซียม และเหล็กอยู่แล้ว นำมารับประทานโดยการล้างเปลือกไข่ให้สะอาด อบหรือย่างด้วยความร้อนจากนั้นนำมาบดผสมในอาหาร สำหรับคน หรือผสมอาหารสำหรับสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียม

2.1.3.5 เป็นเครื่องมือทำความสะอาด สามารถนำเปลือกไข่ไปขัดล้างอ่าง หรือขวดที่มีปากแคบได้ เพราะเปลือกไข่มีรูนพรุนเล็กบริเวณผิวอยู่น้ำนวนมากเพื่อผสมน้ำยาทำความสะอาดแล้วใส่ลงไป เขย่า จะทำให้เปลือกไข่มีการขัดสีกับภาชนะที่ต้องการทำความสะอาด

2.1.3.6 ใช้แทนยาฆ่าแมลง โดยเปลือกไข่จะจะมีความแหลมคนในตัวเองซึ่งถ้าเป็นพวกหนอนที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้มตัว มาโดนจะเกิดการบาดได้ จึงสามารถกันแมลงบางชนิดได้ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ธูปฤาษี

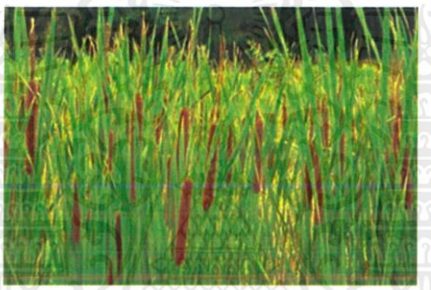
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของธูปฤาษี

ธูปฤาษี หรือ กกช้าง กกธูป เฟื้อ ปรือ หญ้าสลาบหลวง เฟื้อ ปรือ

ชื่อสามัญ: Cat-tail, Elephant grass, Reedmace tule, Lesser reedmace, Narrow-leaved Cat-tail, Flag, Bulrush

ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Typha angustifolia L.*

ลักษณะทั่วไป: วัชพืชล้มลุก อายุประมาณ 2 ปี สูงประมาณ 1.5-2 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ มีถิ่นนำเนิด ในทวีปยุโรปและอเมริกา มีการออกดอกตลอดทั้งปี โดยสามารถปลิวไปตกที่ต่างๆ เพื่อทำการขยายพันธุ์ได้ [5]



ภาพที่ 2.2 แสดงภาพต้นธูปฤาษี

ที่มา: http://frynn.com/ธูปฤาษี

2.2.2 ข้อดีของธูปฤาษี

- ธูปฤาษีมีระบบรากที่ดี ช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ
- ใบเหนียวนิยมใช้มุงหลังคา ใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า เชือก
- ยอดอ่อนกินได้ทั้งสด และทำให้สุก
- ลำต้นใต้ดิน และราก ใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ
- ผลิตกระดาษได้ มีเส้นใย ถึง 40% เส้นใยนี้มีความชื้น 8.9% เซลลูโลส 63% เฮมิเซลลูโลส 8.7% ลิกนิน 9.6% ไข 1.4% และเถ้า 2% เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน หรือนำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์
- ซากของธูปฤาษี สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดิน (mulching) เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการปะทะของน้ำฝนที่ตกลงมาก วิธีเป็นการปฏิบัติในแปลงปลูกพืชยืนต้น พวกไม้ผลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ธูปฤาษีที่ขึ้นตามธรรมชาติ อาจนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้

- ใช้ธูปฤาษีเป็นวัสดุเชื้อเพลิง

- ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเครื่องใช้ต่าง เช่น นำมามุงหลังคาบ้าน ทำฝาบ้าน การสานชนิดต่างๆ ในทางหัตถกรรมพื้นบ้าน อุตสาหกรรมครัวเรือน

- ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด หรือทำปุ๋ยหมักบำรุงดินได้

2.2.3 ข้อเสียของธูปฤาษี

- ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำ

- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์มีพิษ

- ขัดขวางการคมนาคมทางน้ำ

- เมื่อตายลงจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวน [5-7]

2.3 ข้าว

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของต้นข้าว

ข้าวเป็นเมล็ดของพืชในเอเชียซึ่งนิยมรับประทานเพื่อใช้เป็นพลังงานหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* เป็นอาหารหลักของประชากรบนโลก จากผลการสำรวจข้อมูลเมื่อปี 2553 ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสองทั่วโลก รองจากข้าวโพด แต่ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการของมนุษย์ เพราะข้าวโพดส่วนใหญ่ปลูกเพื่อจุดประสงค์อื่นๆ เช่น เป็นอาหารสัตว์ ไม่ใช่ให้มนุษย์บริโภค ทำให้ข้าวเป็นอาหารหลักของมนุษย์ หลักฐานพันธุศาสตร์ได้แสดงว่าข้าวมาจากการนำมาปลูกเมื่อราว 8,200–13,500 ปีก่อนในประเทศจีน ปกติการปลูกข้าวเป็นแบบปีต่อปีหรือปีละหลายรอบและนิยมปลูกในเขตร้อน ความสูงของต้นข้าวจะสูงได้ 1–1.8 เมตร ตามพันธุ์ของข้าวและความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหลักโดยมีลักษณะโครงสร้างดังนี้ มีใบเรียวยาวประมาณ 50–100 เซนติเมตร และใบกว้างประมาณ 2–2.5 เซนติเมตร รวงช่อดอกห้อยยาวประมาณ 30-50 เซนติเมตร เมล็ดกินได้ขนาดเมล็ดยาวประมาณ 5-12 มิลลิเมตร และเมล็ดจะมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในการเพาะปลูกข้าวเหมาะกับประเทศและภูมิภาค โดยคำนึงถึงค่าแรงงานต่ำและฝนตกในปริมาณมาก เนื่องจากใช้แรงงานมากในการเตรียมดินและต้องการน้ำเพียงพอในการเพาะปลูก [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.3 แสดงภาพต้นข้าว

ที่มา: http://www.na.mahidol.ac.th/sell_rice/homeMenu7

2.3.2 ลักษณะที่สำคัญของข้าว

ลักษณะที่สำคัญแบ่งออกเป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของข้าว และลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

2.3.2.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

(1) ส่วนของราก (root) รากคือส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ทำหน้าที่ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้มลง ต้นข้าวเป็นพืชล้มลุกทำให้ไม่มีรากแก้ว มีแต่รากฝอยแตกแขนงกระจายลงไปอยู่ใต้ผิวดิน รากต้นข้าวจึงไม่ได้อยู่ลึกมากนักจากพื้นผิวดินลงไป แต่ละแขนงของรากต้นข้าว รากฝอยจะมีรากขนอ่อน รากของต้นข้าวนอกจากการเกิดรากที่โคนต้นแล้ว รากของต้นข้าวอาจเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่ใต้ดินและอยู่ใต้น้ำด้วย ต้นข้าวใช้รากสำหรับลำเลียงเอาอาหารจากดิน ซึ่งอาหารประกอบด้วยประกอบด้วย แร่ธาตุต่างๆ และน้ำ อาหารเหล่านี้จะถูกลำเลียงไปที่ใบ เพื่อเปลี่ยนเป็นแป้ง โดยวิธีการที่เรียกว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง

(2) ส่วนของลำต้น (stem) ลักษณะของต้นข้าวจะมีโพรงอยู่ตรงกลางและแยกออกเป็นปล้องๆ มีข้อกั้นระหว่างปล้องแต่ละปล้อง ในส่วนของความยาวของปล้องแต่ละปล้องนั้นจะแตกต่างกัน โดยจำนวนปล้องของต้นข้าวจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ซึ่งปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง โดยปล้องซึ่งอยู่ที่โคนต้นจะมีความยาวที่สั้นกว่าและมีความหนากว่าปล้องซึ่งอยู่ที่ปลายของต้น ยกเว้นข้าวขึ้นน้ำที่ต้องยืดต้นให้สูงเพราะน้ำลึก ปล้องของข้าวขึ้นน้ำยาวมาก โดยปล้องที่อยู่ใกล้ผิวน้ำจะโตกว่าปล้องที่อยู่ลึกลงไปในน้ำที่ข้อ ซึ่งในส่วนที่แบ่งลำต้นออกเป็นปล้องๆ จะมีตา สำหรับหน่อเจริญเติบโตออกมา ข้อละหนึ่งตา และอยู่สลับกันไปจากข้อหนึ่งไปยังอีกข้อหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละพันธุ์ข้าว สีของข้อก็แตกต่างกันไป ซึ่งอาจจะเป็นสีเหลือง หรือสีม่วง ส่วนความยาวของปล้องจะแตกต่างไปตามชนิดของพันธุ์ พันธุ์ต้นสูงจะมีปล้องยาวกว่าพันธุ์ต้นเตี้ย โดยต้นข้าวถูกห่อด้วยกาบใบ จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นลำต้นหรือปล้องของต้นข้าวในระยะแตกกอ แต่เมื่อต้นข้าวมีการยืด ลำต้นสูงในระยะออกรวงจะสามารถมองเห็นลำต้นได้

(3) ส่วนของใบ (leaf) ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับทำการสังเคราะห์แสง โดยการเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้เป็นอาหารในการเจริญเติบโต และสร้างเมล็ดข้าว โดยส่วนประกอบของใบ ได้แก่ กาบใบและแผ่นใบ ซึ่งเชื่อมติดกันด้วยข้อต่อของใบ

3.1 กาบใบ คือ ส่วนที่ติดอยู่กับข้อของลำต้น และห่อหุ้มต้นข้าวไว้โดยแต่ละข้อมีเพียงหนึ่งกาบใบเท่านั้น

3.2 แผ่นใบ คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนของข้อต่อของใบ โดยมีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางๆ ตามแต่ละพันธุ์ข้าวจะมีความยาว ความกว้าง รูปร่าง สีของใบ ตลอดถึงการทำมุมของใบกับลำต้นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ข้าวบางพันธุ์อาจจะมีขนหรือไม่มีขนด้วย เมื่อใช้มือจับแผ่นใบที่มีขนจะรู้สึกว่าใบนั้นไม่เรียบ แต่แผ่นใบที่ไม่มีขนจะรู้สึกเรียบๆ ใบข้าวมีขนาดรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ข้าว เส้นใบของข้าวมองเห็นได้ชัด จากด้านบนของแผ่นใบ เส้นใบจะขนานกันเป็นเส้นตรง เนื่องจากข้าวเป็นพืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยว ใบข้าวใบสุดท้าย คือ ใบที่อยู่ติดกับรวงข้าว เรียกว่าใบธง ปกติใบธงมีลักษณะสั้น และทำมุมกับลำต้น ซึ่งจะแตกต่างจาก ใบอื่นๆ ที่อยู่ข้างล่างที่ข้อต่อของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างกาบใบ และแผ่นใบ คล้ายกันกับข้อที่กั้นแบ่งต้นข้าวออกเป็นปล้องๆ และที่ข้อต่อของใบนี้จะมีส่วนประกอบของ เยื่อกันน้ำฝน และส่วนของเขี้ยวกันแมลงติดอยู่ด้วย โดยเขี้ยวกันแมลงมีสองอัน ลักษณะเป็นพู่เหมือนหางกระรอกติดอยู่ข้างละอันในข้อต่อของใบ ส่วนเยื่อกันน้ำฝนนั้น มีเพียงอันเดียว มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ อยู่ด้านในของข้อต่อของใบ และประกบติดอยู่กับลำต้น ข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีเยื่อกันน้ำฝนมีขนาดและสีแตกต่างกันไป ซึ่งในใบแก่อาจจะไม่มีเขี้ยวกันแมลงติดอยู่เลย เพราะอาจจะร่วงหล่นไปแล้ว โดยในต้นข้าวต้นเดียวอาจจะมีการแตกออกเป็นหน่อใหม่ ประมาณ 5-15 หน่อ ในหน่อใหม่ที่แตกออกมานี้ จะมีจำนวนใบน้อยกว่าต้นแรกสุด และบางหน่ออาจไม่มีรวงข้าวอีกด้วย

2.3.2.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์

ในต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดหรือเมล็ดข้าว โดยเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ส่วนที่สำคัญเกี่ยวในการขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าว และเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) รวงข้าว (panicle) หมายถึง ช่อดอกของข้าว (inflorescence) โดยจะเกิดขึ้นที่ข้อตรงปล้องอันบนสุดของต้นข้าว โดยระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อตรงใบธงนั้นจะเรียกว่า คอรวง ซึ่งคอรวงนี้จะสั้นหรือยาว ดูได้จาก ระยะระหว่างข้ออันบนของปล้องสุดท้ายกับส่วนข้อต่อของใบธง ชาวนาในภาคใต้ที่เก็บเกี่ยวข้าวด้วยแกระ (อุปกรณ์เกี่ยวข้าวของภาคใต้) มีความต้องการจะปลูกข้าวชนิดที่มีคอรวงยาว แต่ชาวนาภาคอื่นๆ ที่เก็บเกี่ยวด้วยเคียวนั้นไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความยาวของคอรวงเพราะสามารถเกี่ยวทีละมากๆ ตรงลำต้นได้ โดยที่อันบนของปล้องอันสุดท้ายจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฐานของรวง หรือ ฐานของช่อดอก รวงข้าวจะประกอบด้วยก้านอันใหญ่ต่อจากคอรวงขึ้นไป แล้วแตกแขนงแบบราซีมอสโมดบรานชิง (racemose mode branching) ออกไปเป็นแขนงที่หนึ่ง (primary branches) และแต่ละข้อของแขนงที่หนึ่งจะแตกเป็นแขนงที่สอง (secondary-branches) ดอกข้าว (spikelets) มีก้านดอก ซึ่งเรียกว่า เพดิเซล (pedicel) จะติดอยู่ที่แขนงที่สองของรวงข้าว ลักษณะของรวงข้าวนี้ จะเป็นลักษณะของพันธุ์ข้าวที่จะให้ผลิตผลสูง

(2) ดอกข้าว (rice flower) หมายถึง ส่วนที่ประกอบไปด้วยเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียเพื่อทำการผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกันเพื่อห่อหุ้มป้องกันส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก เรียกว่า เลมมา (lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นใน เรียกว่า พาเลีย (palea) เปลือกทั้งสองนี้ ภายนอกอาจมีขน หรือไม่มีขนก็ได้ โดยจะเหมือนกับใบคือถ้ามีขนจะมีเหมือนกัน และไม่มีขนจะไม่มีเหมือนกัน ที่ปลายสุดของเปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก จะมีส่วนที่เป็นลักษณะเป็นปลายแหลมยื่นออกมา เรียกว่า หาง (awn) จะสั้น หรือยาวตามแต่สายพันธุ์ แต่ในพันธุ์ที่มีหางยาว เป็นลักษณะที่ชาวนาไม่ต้องการ เพราะทำให้เก็บเกี่ยว และนวดยาก และอาจทำให้ชาวนาที่เก็บเกี่ยวถูกข่วนจนเกิดเป็นแผลตามผิวหนังได้ ที่ปลายด้านล่างของเปลือกนอกใหญ่ทั้งสองแผ่นเท่านั้น จะวางอยู่บนก้านสั้นๆ ที่เรียกว่า ราชิลลา (rachilla) และที่ด้านบนของราชิลลานี้ จะมีแผ่นบางๆ สองแผ่นขนาดเท่าๆ กัน ทำหน้าที่ควบคุมให้เปลือกนอกทั้งสองแผ่นดังกล่าว เปิดหรือปิดได้ โดยเรียก 2 แผ่นนี้ว่า โลดิคูลส์ (lodicules) และที่ฐานของราชิลลาจะมีเปลือกบางๆ อีกสองแผ่น ขนาดเล็กกว่าเลมมา และพาเลีย โดยมีรูปร่างยาว ประกบอยู่บนฐานของเปลือกนอกใหญ่ ซึ่งเรียกว่า เปลือกนอกเล็ก (sterile lemmas) ซึ่งที่ปลายด้านล่างของเปลือกนอกเล็กจะมีการประสานติดกันอยู่รอบๆ ข้อ เรียกว่า รูดิเมนทารี กลูมส์ (rudimentary glumes) ต่อลงมาจะเป็นก้านของดอก ซึ่งจะอยู่บนแขนงที่สองของรวงข้าว

(3) เกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) จะอยู่ภายในซึ่งเปลือกนอกใหญ่ห่อหุ้มไว้ เกสรตัวผู้มีส่วนประกอบ คือ กระเปาะเกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลือง ซึ่งภายในจะมีละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกสรตัวผู้ (pollengrains) ขนาดเล็กจำนวนมาก โดยกระเปาะนี้ติดอยู่บนก้านยาว ที่เรียกว่า ฟิลาเมนต์ (filament) และเชื่อมติดกับฐานของดอก ในดอกข้าว 1 ดอก จะมีกระเปาะเกสรตัวผู้จำนวน 6 อัน ส่วนเกสรตัวเมียนั้น จะมีที่รับละอองเกสรตัวผู้ (stigma) ลักษณะคล้ายหางกระรอกขนาดเล็ก จำนวน 2 อัน แต่ละอันมีก้าน (style) เชื่อมติดอยู่กับรังไข่ (ovary) ในรังไข่จะมีไข่ เมื่อไข่ถูกผสมเกสรแล้วจะกลายเป็นเมล็ด ดอกข้าวนั้นเป็นดอกชนิดที่เรียกว่า ดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) เพราะมีเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ทำให้การผสมเกสร (pollination) จะเกิดการผสมตัวเอง (self-pollination) และมีการผสมเกสรแบบข้ามต้น (cross-pollination) เป็นจำนวนเพียง 0.5-5% เท่านั้น ปกติการผสมเกสร เกิดขึ้นภายในดอกเดียวกัน ในเวลาเช้า ก่อนที่เปลือกนอกใหญ่จะบานออกเล็กน้อย ในดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายรวง แล้วลงมาสู่โคนของรวงข้าว และดอกทุกดอกจะบานภายใน 7 วัน และจะมีการผสมเกสร

(4) เมล็ดข้าว (rice seed) หมายถึง ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ถูกห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่ใช้บริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิต และสามารถงอกออกมาเป็นต้นข้าว เมื่อเอาไปเพาะอีกครั้ง หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อย ละอองเกสรตัวผู้จะงอกลงไปในก้านของที่รับละอองเกสรเพื่อให้นิวเคลียสผสมไข่ โดยนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับไข่ จะเจริญเติบโตเป็นคัพภะ ส่วนนิวเคลียสจากเกสรตัวผู้ที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่นๆ (polar nuclei) จะเจริญเติบโตไปเป็นแป้ง หลังจากการผสมเกสร โดยใช้เวลา 30 วัน เมล็ดข้าวจะแก่พร้อมที่เก็บเกี่ยวได้ เมื่อแกะเปลือกนอกใหญ่ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาจะได้เมล็ดข้าวที่ยังไม่ได้ขัดสี เรียกว่า ข้าวกล้อง (brown rice) เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ และเมื่อผ่าตัดเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาวแล้วเพื่อทำการศึกษาลักษณะ จะพบว่าในเมล็ดข้าวกล้องนั้นจะมี ส่วนของเยื่อชั้นนอกบางๆ เรียกว่า เพอริคาร์พเลเยอร์ (pericarp layers) จำนวน 3 ชั้น เยื่อชั้นกลางบางมีหนึ่งชั้น เรียกว่า เท็กเมน (tegmen) และเยื่อชั้นในบางๆ อีกหนึ่งชั้น เรียกว่า อะลูโรนเลเยอร์ (aleurone layer) เมล็ดข้าวกล้องจะเป็นสีน้ำตาล ถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีน้ำตาล (เยื่อชั้นนอก) และถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องจะเป็นสีแดง ส่วนภายในที่เป็นแป้ง จะมีลักษณะเป็นแป้งสีขาวหรือสีใส และอาจจะมีที่มีแป้งเป็นสีแดง ซึ่งจะมีน้อยมาก ในข้าวเหนียวจะมีแป้งเป็นสีขาวขุ่น และข้าวเจ้ามีแป้งใสกว่า ในแป้งของเมล็ดข้าวเจ้าอาจมีจุดสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้าง หรือตรงกลางของเมล็ดก็ได้ จะเรียกว่า ท้องไข่ หรือท้องปลาซิว (chalkiness หรือ white center) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถั่วลิสง

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของถั่วลิสง

ภาษาพื้นบ้านจะเรียกว่า ถั่วดิน ถั่วขุด หรือถั่วยี่สง สามารถใช้เมล็ดเป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมัน ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบ เช่น ถั่วอบ ถั่วคลุกเกลือ ถั่วลิสงต้ม คั่ว ทอด ทำขนมพวกขบเคี้ยว เช่น ถั่วตัด จันอับ ถั่วกระจก ถั่วเชื่อม และสามารถนำมาประกอบอาหารได้มากมาย ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่ว ดังนั้นการปลูกถั่วลิสงจะเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดิน เหมือนถั่วเหลือง สามารถใช้ต้นและใบถั่วลิสง หลังจากปลิดฝักออกแล้ว นำไปใช้เลี้ยงสัตว์ หรือใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยประวัติของถั่วลิสงมีที่มาจากตอนกลางของทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งพบหลักฐานว่าชาวพื้นเมืองที่นั่นได้รับประทานถั่วลิสงมานานกว่า 4,000 ปี จากนั้นชาวยุโรปได้นำมาเพาะต่อในทวีปแอฟริกา เมื่อราวๆ 400-500 ปีก่อน และได้แพร่หลายไปยังทวีปเอเชียดังเช่นในปัจจุบัน ได้กลายเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญของหลายประเทศ โดยเฉพาะไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรคาดคะเนว่า ถั่วลิสงปี 2553 เมื่อเดือนธันวาคม 2553 มีพื้นที่เพาะปลูก 183,845 ไร่ มีผลผลิต 45,509 ตัน [10]

ภาพที่ 2.4 แสดงภาพต้นถั่วลิสง

ที่มา: http://frynn.com/ถั่วลิสง

2.4.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ชื่อภาษาไทย ถั่วลิสง

ชื่อสามัญ Peanut, Groundnut, Monkey Nut

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Arachis hypogaea L.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วลิสงเป็นไม้ล้มลุกอายุหนึ่งปี ตั้งตรงหรือทอดราบกับพื้นบางส่วน สูงได้ถึง 30 เซนติเมตร ใบเรียงสลับ เป็นใบประกอบแบบขนนก มีใบย่อย 2 คู่ กว้างประมาณ 1-3 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1-7 เซนติเมตร รูปไข่กลับหรือรูปรี เกลี้ยง หรือมีขนด้านท้องใบประปราย หูใบยาวได้ถึงประมาณ 4 เซนติเมตร รูปใบหอกแกมรูปแถบ ดอกออกตามซอกใบ กลีบคลุมยาวได้ถึง 1.5 เซนติเมตร สีเหลือง เส้นใบแดง เมื่อติดผล ผลกว้างประมาณ 1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6 เซนติเมตร ก้านชูเกสรเพศเมียยื่นยาวได้ถึง 20 เซนติเมตร แทงลงในพื้นดิน ผลเป็นฝักแบบถั่ว ผนังผลหนาแข็ง เมล็ดรูปไข่ เมล็ด 1-3 ต่อฝัก ถั่วลิสงจัดอยู่ในวงศ์ (Family) Legumeminosae เช่นเดียวกับถั่วเหลือง เป็นพืชล้มลุก (มีอายุเพียงฤดูเดียว)

การขยายพันธุ์ของถั่วลิสง เมล็ดถั่วลิสงเมื่อได้รับน้ำเพียงพอ ต้นอ่อนในเมล็ดจะงอกออกมาแล้วแทงรากลงไปในดิน รากแก้วอาจจะมีความยาวประมาณ 2 เมตร ลงไปในดิน โดยรากแขนงนั้นจะแตกออกมาจากผิวของรากแก้วที่หยั่งลึกลงไปในดิน แล้วเติบโตขยายไปทางแนวราบใต้ผิวดินแผ่ออกไปรอบๆ เป็นบริเวณกว้าง และมีปมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นเป็นกระจุกตามผิวราก มีลักษณะคล้ายทรงกลมเล็กๆ ตลอดเส้นของราก ส่วนต้นอ่อนของถั่วลิสงเจริญเติบโตเหนือผิวดิน จะมีกิ่งแตกออกจากลำต้น มีจำนวน 3-8 กิ่ง มีทั้งพันธุ์มีทรงต้น ทรงพุ่มตั้งตรง แตกกิ่งเลื้อยไปตามแนวนอน ลำต้นมีสีเขียวหรือม่วง สูงประมาณ 50-75 เซนติเมตร ใบถั่วลิสงเป็นใบรวม มีใบย่อย 2 คู่ (4 ใบ) ขอบใบมีพื้นผิวที่เรียบ ปลายใบมีลักษณะมน ก้านใบยาวมีสีเขียวหรือสีม่วง เมื่อมีดอก ดอกถั่วลิสงเกิดขึ้นบนช่อดอก โดยแทงออกมาจากมุมใบจากโคนต้นไปสู่ยอด จะบานในเวลาเช้า และมีสีเหลืองเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีอับเกสรตัวผู้และเรณูเกสรตัวเมีย (รังไข่) อยู่ในดอกเดียวกัน โดยหลังจากผสมเกสรแล้ว กลีบดอกจะเหี่ยวและร่วง จะมีก้านของรังไข่ยืดตัวยาวออกไปเรียกว่า เข็ม ปลายเข็มขยายตัวตามลงไปในแนวดิ่ง แทงลงไปในดิน แล้วกลายเป็นฝัก โดยแต่ละฝักจะมีจำนวนเมล็ด 2-4 เมล็ด การออกดอกไม่พร้อมกันทำให้ได้ฝักไม่พร้อมกัน เพราะฉะนั้นในการเก็บเกี่ยวจึงเลือกช่วงเวลาที่มีฝักแก่จำนวนมากที่สุด เพื่อปริมาณเมล็ดถั่วที่ได้มากที่สุด ถั่วลิสงหนึ่งต้นจะมีฝักที่สมบูรณ์หรือแก่อยู่จำนวน 8-20 ฝัก เพราะออกดอกก่อน และมีฝักอ่อนรวมอยู่ด้วยอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นฝักที่เกิดจากดอกที่ผสมเกสรที่หลังจึงมีฝักช้า เมื่อฝักแก่จะมีลักษณะ มีลายเส้นและจะงอยที่เห็นได้ชัด ฝักจะคอดกิ่วตามจำนวนเมล็ดที่มีในฝัก เมื่อนำไปตากให้แห้งแล้ว เขย่าจะมีเสียง เยื่อหุ้มเมล็ดมีหลายสี เช่น ขาว ชมพู แดง ม่วง และน้ำตาล ในเมล็ดประกอบด้วยใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 ใบ ห่อหุ้ม ต้นอ่อนไว้ภายใน พันธุ์ถั่วลิสงที่แนะนำให้ ได้แก่ พันธุ์ลำปาง สุโขทัย 38 ไทนาน 9 ขอนแก่น 60-1 ขอนแก่น 60-2 และขอนแก่น 60-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

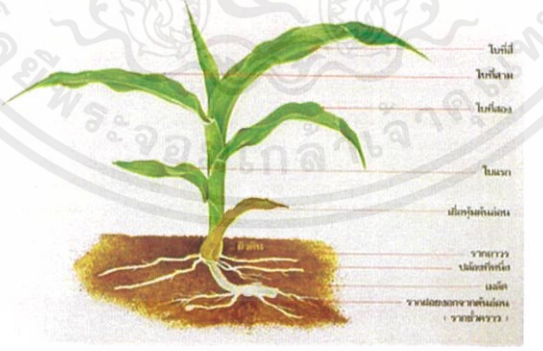
ฝักถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตลงไปในดิน ดินที่ใช้จึงควรเป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำได้ดี ประเทศไทยสามารถมีการปลูกถั่วลิสงตลอดทั้งปี แต่เพื่อการเก็บเกี่ยวสะดวก และเหมาะสมกับฤดูกาล จึงนิยมปลูกเพียงปีละสองครั้ง คือ ในฤดูฝน และฤดูแล้ง ในพื้นที่ที่มีการชลประทานเข้าถึงได้ดี การเตรียมดินปลูกถั่วลิสงเหมือนกับพืชไร่ปกติ คือ ไถพรวนดินให้มีความร่วนซุย และกำจัดวัชพืช ออกจากแปลง เมื่อถั่วลิสงมี อายุตั้งแต่ 90-120 วัน (ตามพันธุ์ของถั่วลิสง) ฝักจะสุกแก่ สังเกตได้จากใบร่วง และลำต้นเหี่ยว เมื่อแกะฝักออกจะเห็นว่าผนังด้านในของฝักได้เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาล สามารถเก็บเกี่ยวโดยใช้มือถอนต้นและฝักขึ้นจากดิน เด็ดฝักแก่ออก แล้วนำไปตากแดดจนฝักแห้งจนสนิท เพื่อรอการจำหน่าย [10]

2.5 ข้าวโพด

ชื่อภาษาไทย ข้าวโพด

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Zea mays* Linn

ข้าวโพดมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา ในอเมริกากลางหรืออเมริกาใต้ ในปี พ.ศ. 2035 เมื่อ คริสโตเฟอร์ โคลัมบัสค้นพบทวีปอเมริกา ยังไม่พบการปลูกข้าวโพดในทวีปอื่นๆ 1 ปี ต่อมา โคลัมบัสได้นำข้าวโพดกลับไปทวีปยุโรปต่อมาข้าวโพดจึงได้เกิดการขยายพันธุ์ต่อไปทั่วโลก



ภาพที่ 2.5 แสดงภาพต้นข้าวโพด

ที่มา: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=2&page=t3-2-infodetail06.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

ข้าวโพด โดยเฉลี่ยมีความสูง 2.2 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 0.5-2.0 นิ้ว เมล็ดจากฝักใช้เป็นอาหารคนและสัตว์ เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตได้ประมาณ 7-10 วัน จะมีรากถาวรงอกขึ้น โดยเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะแผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 1 เมตร ระบบรากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากยึดเหนี่ยว (brace root) ซึ่งเกิดขึ้นรอบ ๆ ข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน มีลำต้นตั้งตรง เนื้อภายในล้ายฟองน้ำสูงประมาณ 1.4 เมตร ปล้องเหนือพื้นดินจะมีจำนวน 8-20 ปล้อง ลำต้นสดมีสีเขียว ใบยาวรีเป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร ส่วนของขอบใบมีขนอ่อน มีเขี้ยวใบ ลักษณะของใบรวมทั้งสีของใบแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ บางพันธุ์ใบสีเขียว บางพันธุ์ใบสีม่วงและบางพันธุ์ใบลาย จำนวนใบอาจมีตั้งแต่ 8-48 ใบ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ คือ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกันช่อดอกตัวผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น และช่อดอกตัวเมียอยู่ต่ำลงมาอยู่ระหว่างกาบของใบ ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (anther) 3 อับ และดอกตัวเมียอยู่รวมกันเป็นช่อ เกิดขึ้นตอนข้อกลางลำต้นฝักเกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อนจะมีสีเขียว พอแก่เป็นสีเหลืองอ่อน [11]

2.5.2 ประเภทของข้าวโพด

โดยทั่วไปข้าวโพดจัดออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

2.5.2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field corn) แบ่งเป็นเป็นข้าวโพดหัวบุ๋ม (Dent corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (Flint corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะเมล็ดข้าวโพดที่เกิดขึ้นในฝักว่ามีลักษณะส่วนหัวเมล็ดบุ๋มหรือหัวเมล็ดบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป นิยมปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีหลายสายพันธุ์มีโปรตีนน้อยกว่าพวกข้าวโพดหัวแข็งข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดพันธุ์นี้ส่วนบนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองเข้มและเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองจัดเป็นสารให้สีที่ชื่อ คริปโตแซนทีน (Cryptoxanthin) สารนี้เมื่อสัตว์ได้รับร่างกายจะสามารถเปลี่ยนสารนี้ให้เป็นวิตามินเอ นอกจากนี้สารชนิดนี้ยังช่วยให้ไข่แดงมีสีแดงเข้มขึ้น ช่วยให้ไก่ มีผิวหนัง ปาก เนื้อ และแข้งมีสีเหลืองเข้มขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมของตลาดแถบอเมริกา ประเทศไทยนิยมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบที่มีสีเหลืองเข้ม มีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เกือบตลอดทั้งปี ในบริเวณพื้นที่ภาคกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน เมล็ดข้าวโพดชนิดนี้เมื่อแก่เต็มที่จะใสและเหี่ยว เพราะมีน้ำตาลในปริมาณมาก ก่อนที่จะสุกจะมีรสหวานมากกว่าข้าวโพดชนิดอื่น จึงเป็นที่มาของชื่อข้าวโพดหวาน

2.5.2.3 ข้าวโพดคั่ว (Pop corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน เมล็ดค่อนข้างแข็ง โดยแบ่งตามลักษณะลักษณะของเมล็ดคือ ถ้าเมล็ดมีลักษณะแหลมเรียกว่า ข้าวโพดข้าว (Rice corn) ถ้าเมล็ดกลม เรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (Pearl corn)

2.5.2.4 ข้าวโพดแป้ง (Flour corn) เมล็ดในฝักมีสีหลายสี เช่น สีน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องมาจากการผ่าเหล่า เรียกว่า ข้าวโพดอินเดียนแดง (Squaw corn) หรือเรียกได้อีกชื่อว่าข้าวโพดพันธุ์พื้นเมือง (Native corn) ซึ่งข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีไนอาซีนสูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

2.5.2.5 ข้าวโพดเทียน (Waxy corn) จะมีแป้งที่มีลักษณะเฉพาะคือ นุ่มเหนียว เพราะในเนื้อแป้งจะประกอบด้วยแป้งพวกแอมมิโลเปคติน (Amylopectin) ส่วนข้าวโพดอื่น ๆ มีแป้งแอมมิโลส (Amylose) ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้แป้งค่อนข้างแข็ง ซึ่งในข้าวโพดชนิดนี้คนจะนิยมนำมารับประทาน [11]

2.5.3 ประโยชน์ของข้าวโพด

2.5.3.1 นำมารับประทานเป็นอาหาร โดยตรง อาจจะเป็นฝักอ่อนหรือแก่

2.5.3.2 นำมาทำแป้งสำหรับประกอบอาหาร

2.5.3.2 น้ำมันข้าวโพด เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดข้าวโพดแก่และแห้ง โดยประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีกรดไขมันจำเป็นคือ กรดไลโนเลอิกอยู่มาก (ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด)

2.5.3.3 น้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn syrup) เป็นน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพด สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและใช้ทำขนมหวานต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการคงรูปและไม่ตกผลึก

2.5.3.4 ในเมล็ดข้าวโพดจะมีแป้งอยู่ประมาณ 66.8%-74.2% มีโปรตีนประมาณ 10% และยังมี วิตามินบี1, บี2, บี3, บี5, บี6, กรดโฟลิก, ไบโอติน, วิตามินอี, choline และวิตามินซี

2.5.3.5 ซังข้าวโพด จะมี adipic acid อยู่ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวผสมร่วมกับ ethylene glycol ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ใช้ทำเป็นเสื่อน้ำมัน

2.5.3.6 ต้นข้าวโพดสามารถช่วยในการย่อยสลายสารที่ปนเปื้อนในดิน เช่น ฟีแนนทรีน และไพรีนได้ โดยย่อยสลายได้ถึง 90% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.7 ต้นข้าวโพดยังทนทานต่อดินที่ปนเปื้อนน้ำมัน จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการนำไปใช้ฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนพีเอเอชและปิโตรเลียมได้ [12]

2.6 วัสดุชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ทั้งน้ำ แร่ธาตุ และพลังงานจากแสงอาทิตย์ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าว กากชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาล เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ และกากปาล์มที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว และน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้าได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น ชีวมวลจะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืชนั้น พืชทำการสังเคราห์แสงโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ร่วมกับการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแป้งและน้ำตาล แล้วเก็บในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น ดังนั้นจะได้พลังงานออกมาจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของความร้อน ไอน้ำ หรือกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงจากวัสดุชีวข้างต้น ซึ่งเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก การลดต้นทุนในการขนส่ง ชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย จะทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลงมากขึ้น ซึ่งในการนำชีวมวลมาใช้จะลดการใช้เงินเพื่อซื้อเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและเกิดการสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ลดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจกอีกด้วย [13]

2.6.1 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

2.6.1.1 ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ภายในวัสดุ ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงการเผาไหม้ ไม่ควรมีความชื้นเกิน 50%

2.6.1.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือ ส่วนประกอบที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่ายกว่าวัสดุชีวมวลที่มี Volatiles matter น้อยกว่าประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) เซลลูโลส $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว เรียงขนานกันไป มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย มีลักษณะเป็นเส้นใยสะสมอยู่ในพืช ไม่พบในสัตว์ เซลลูโลสนั้นจะไม่ละลายน้ำและมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ แต่ในกระเพาะของสัตว์ที่เท้ามีกีบ เช่น ช้าง ม้า มีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ เซลลูโลสถูกย่อยจะแตกตัวออกมาเป็นน้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก

(2) เฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม เช่น ดีไซโลสและดีอะราไบโนส และคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ดีแมนโนส ดีกาแลคโตสและดีกลูโคส โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม มีจำนวนมากกว่า โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม สูตรโมเลกุลโดยเฉลี่ยคือ $(C_6H_8O_4)_n$ เนื่องจากดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชั่นของเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 50-200 โดยมีขนาดเล็กกว่าเซลลูโลสจึงสามารถสลายพันธะได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสเป็นจำนวนมากสามารถละลายได้ในสารละลายเบส

(3) ลิกนิน สารประกอบที่ประกอบด้วย ฟีนิลโพรเพน และอนุพันธ์ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นสามมิติ โครงสร้างนั้นซับซ้อนและยังไม่มีการเข้าใจอย่างแท้จริง โครงสร้างสามมิตินั้นจะสลายโดยจุลชีพได้ยาก แต่ยังสามารถย่อสลายโดยสารเคมี นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรงทางกลและการป้องกันโครงสร้างร่วมด้วย

(4) แป้ง โครงสร้างคล้ายเซลลูโลส แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยของดีกลูโคสแต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟากลูโคไซดิก เนื่องจากความต่างของโครงสร้างพันธะเซลลูโลสสามารถละลายน้ำได้ แต่บางส่วนของแป้งจะละลายในน้ำร้อน (อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 จนถึง 50,000 โมเลกุล ประมาณ 10%-20% ของแป้ง) และบางส่วนที่ไม่ละลาย (อะไมโลเพกซิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000-100,000 โมเลกุล ประมาณ 80%-90% ของแป้ง) แป้งจะถูกพบในเมล็ด ราก และลำต้น

(5) โปรตีน เป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลิเมอร์ไรซ์เชื่อมต่อกัน คุณสมบัติต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลิเมอร์ไรเซชั่น โปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวลและมีสัดส่วนน้อยกว่าองค์ประกอบอื่น

(6) สารอื่นๆ (อินทรีย์และอนินทรีย์) ในส่วนนี้จะมีสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ มีได้หลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล สารอินทรีย์ที่มีจำนวนมากในโมเลกุล ได้แก่ กลีเซอรอล (ตัวอย่างเช่น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันพืชต่างๆ) และซูโครสในอ้อยและต้นบีท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอื่นๆ เช่น อัลคาลอยน์ สารสี เทอร์ปีน และขี้ผึ้ง ถึงแม้ว่าจะพบสารเหล่านี้ได้น้อยแต่มีคุณค่ามากเนื่องจากสามารถใช้เป็นส่วนผสมของยาได้

2.6.1.3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1%-3% ยกเว้นในแกลบและฟางข้าว จะมีขี้เถ้าประมาณ 10%-20% [13]

2.6.2 พลังงานที่ได้จากชีวมวล (Biomass Heating Value)

ชีวมวลในแต่ละชนิดจะให้พลังงานจากการเผาไหม้แตกต่างกันตามลักษณะองค์ประกอบต่างๆ ภายในโครงสร้างของสารชีวมวลแต่ละชนิด โดยค่าความร้อนหรือพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลจะแสดงได้เป็น

2.6.2.1 ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้จริงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากการที่ต้องใช้ความร้อน ในการระเหยน้ำออกไปก่อนจึงจะได้ความร้อนจากการเผาสารชีวมวลที่ได้จริง โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น กิโลจูล (kJ) ต่อกิโลกรัมชีวมวล (kg) หรือกิโลแคลอรี (kcal) ต่อกิโลกรัมชีวมวล (kg)

2.6.2.2 ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งการจะเกิดค่าความร้อนสูงได้นั้นจะต้องมีความชื้นที่ต่ำหรือไม่มีเลย มีหน่วยเป็น กิโลจูล (kJ) ต่อกิโลกรัมชีวมวล (kg) หรือ กิโลแคลอรี (kcal) ต่อกิโลกรัมชีวมวล (kg)

2.7 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชั่น (Hydrothermal carbonization process)

วิธีไฮโดรเทอมัลคาร์คาร์บอไนเซชั่น เป็นกระบวนการคายความร้อนที่มีออกซิเจนและไฮโดรเจนน้อยในระบบ โดยเกิดจาก 5 กลไกปฏิกิริยา ดังนี้ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis), ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration), ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชั่น (Decarboxylation), ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) และ ปฏิกิริยาอะโรมาไทเซชั่น (Aromatization) โดยทำการผสมวัสดุชีวมวลและน้ำภายใต้อุณหภูมิ (180-220 องศาเซลเซียส) และความดัน เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง โดยเมื่อเสร็จสิ้นปฏิริยาจะเกิดส่วนของแข็งเรียกว่า ไฮโดรเทอมัลคาร์คาร์บอไนเซชั่นไบโอชาร์ (HTC-Biochar) ซึ่งสามารถแยกจากน้ำได้ง่าย โดยในส่วนนี้จะพบปริมาณคาร์บอน 75-80% พบในส่วนของของเหลว 15-20% และอาจจะแปลงเป็นแก๊ส 5% (ส่วนมากเป็นคาร์บอนไดออกไซด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประหยัดพลังงานเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยังใช้เวลาน้อย เป็นพลังงานหมุนเวียน [14] ประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยดังนี้

1) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสโดยทั่วไปหมายถึงปฏิกิริยาของสารกับน้ำ เป็นการให้โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ไปทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง เช่น ชีวมวล เป็นต้น โดยโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปทำลายพันธะ (Break bond) ของลิกนิน, เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชีวมวล ทำให้สายโซ่ที่ยาวกลายเป็นสายโซ่สั้นลง

2) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration)

เป็นการกำจัดโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ออกส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอน (Carbon content, %C) มากขึ้น เพราะอัตราส่วนตัวหารมีน้อยลงแต่ปริมาณคาร์บอนมีเท่าเดิม

3) ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชั่น (decarboxylation)

เป็นปฏิกิริยาการกำจัดหมู่ –COOH ออกจากสารตั้งต้น

4) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

เป็นการรวมตัวกันของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กหรือพันธะสั้นๆ (ซึ่งยังไม่เสถียร) เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความเสถียรมากขึ้น

5) ปฏิกิริยาอะโรมาไทเซชั่น (Aromatization)

เป็นการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงเป็นโซ่กิ่ง หรือแบบวงเป็นอะโรมาติก

2.7.1 คุณลักษณะของไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอลไนเซชันนั้นทำปฏิกิริยากับน้ำ วัตถุดิบตั้งต้นนั้นไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับสารชีวมวลที่มีความชื้นสูง เช่น สารชีวมวลน้ำ กากอินทรีย์ และขยะอื่นๆ นอกจากนั้นปฏิกิริยาหลายชนิดสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน การไฮโดรไลซีสสารจำพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โปรตีนและอื่นๆ จะถูกย่อยจากพอลิเมอร์เป็นโมโนเมอร์ และที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 1 เมกะปาสคาล ของแข็งจำพวกสารชีวมวลจะถูกเป็น slurry (การทำให้เป็นของเหลว) และสารจำพวกน้ำมันยังไม่เกิดขึ้น จากนั้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะปาสคาลจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ได้สารจำพวกน้ำมัน เมื่อเงื่อนไขของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง เช่น เวลาในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์หลักจะถูกเปลี่ยนเป็นชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันและที่จุดวิกฤตร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา สารชีวมวลสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าช [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการที่ ใช้ความร้อนที่สูงมาก ในการแยกสลายสารประกอบให้มีขนาดเล็กลง โดยจะถูกย่อยสลายพันธะเคมีอุณหภูมิจะอยู่ที่ ประมาณ 400-700 องศาเซลเซียสโดยปราศจากออกซิเจนหรืออากาศ ซึ่งจะต่างกับกระบวนการเผาทิ้งเป็นเถ้า (Incineration) ในเตาเผา ทั้งนี้เพราะการเผาทิ้งในเตาเผาเป็นกระบวนการสันดาปแบบปฏิกิริยาคายความร้อนโดยตรงกับอากาศ หรือใช้ออกซิเจนร่วมด้วยในการเผา แต่การแยกสลายด้วยความร้อนเป็นกระบวนการแบบปฏิกิริยาดูดความร้อนโดยใช้ความร้อนเป็นพลังงานเพื่อแยกองค์ประกอบต่างๆ ทำให้ระเหย กลายเป็นไอออกจากสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนทั่วๆไป จะเป็นดังนี้

ปฏิกิริยามูลฐาน

สารอินทรีย์ $\xrightarrow[\text{ปราศจากออกซิเจน}]{\text{ความร้อน}}$ แก๊ส + ของเหลว + ถ่านชาร์

2.8.1 กลไกการเกิดการแยกสลายด้วยความร้อน

2.8.1.1 ช่วงก่อนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pre-pyrolysis)

ในช่วงอุณหภูมิจาก 120-200 องศาเซลเซียส ช่วงนี้จะมีการจัดองค์ประกอบภายในวัตถุดิบใหม่ คือองค์ประกอบน้ำในวัตถุดิบจะระเหยออกไปมีการทำลายพันธะในโมเลกุลของวัตถุดิบบางส่วนและเริ่มมีอนุมูลอิสระ (Free radical) เกิดขึ้น

2.8.1.2 ช่วงการสลายส่วนที่เป็นของแข็ง

เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของการเผา ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส ในการสลายพันธะ โดยโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่เป็นสายโซ่ยาวจะเกิดการแตกตัวของพันธะ C-C, C-S และ C-O พร้อมกับการเกิดสารมัธยันระหว่างปฏิกิริยา (Intermediate) ซึ่งจะเกิดการโพลีเมอไรเซชั่นกับไฮโดรเจนได้ถ่านโค้ก ในขณะที่ถ่านนี้ไม่เกิดปฏิกิริยาจะกลายเป็นถ่านชาร์ไปในที่สุดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น

2.8.2 ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.1 แก๊ส: ในขั้นตอนการสลายพันธะโดยความร้อนนั้น แก๊สส่วนมากที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 53% โดยน้ำหนัก คาร์บอนมอนอกไซด์ 39% โดยน้ำหนัก สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 6.7% โดยน้ำหนัก และไฮโดรเจน 4% โดยน้ำหนัก

2.8.2.2 ของเหลว : ของเหลวที่ได้จากการทำลายพันธะด้วยความร้อนมีชื่อเรียกว่า น้ำมันชีวภาพ หรือ “Bio oil” ของเหลวนี้ประกอบด้วย น้ำ และสารอินทรีย์ ออกมาจากกระบวนการ ซึ่งอาจจะประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน เพราะสามารถหลุดออกจากกระบวนการได้โดยการระเหย สำหรับเงื่อนไขนี้จะต้องไม่มีอากาศหรือว่าออกซิเจนในระบบ ประกอบกับมีการให้ความร้อนกับระบบในอัตราที่สูง และเร็ว จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันชีวภาพมากที่สุด

2.8.2.3 ของแข็ง : ของแข็งที่ได้จากกระบวนการทำลายพันธะโดยความร้อนนี้จะเรียกว่า ชาร์ (Char) หรือถ่าน ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคาร์บอน ซึ่งเงื่อนไขสภาวะที่เหมาะสมคือ ไม่มีการให้อากาศหรือว่าออกซิเจนในระบบและมีอัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการทำให้โครงสร้างมีรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจน ออกซิเจน และ ไนโตรเจน ออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนอิสระที่เหลืออยู่จะรวมตัวกันในรูปของชาร์ จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งมาก เรียกกระบวนการการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเพื่อให้ได้ของแข็งเป็นส่วนใหญ่นี้ว่า “คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)” ชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันควรมีสีดำตลอด ผิวที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา ส่วนปลายที่หักจะแหลมคม และปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า [15]

2.8.3 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

- ผลิตภัณฑ์แก๊ส : สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
- ผลิตภัณฑ์ของเหลว : สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานใหม่ได้
- ผลิตภัณฑ์ของแข็ง : ใช้เป็นตัวดูดซับได้ โดยต้องนำชาร์ที่ได้ทำการกระตุ้น หรือทำการ activated อีกครั้งหนึ่งก่อน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและ เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ

2.9 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

คาร์บอนไนเซชันเป็นกระบวนการทางการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) โดยการเผาวัตถุดิบในที่ปราศจากอากาศหรือออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ 3 อย่างคือ ถ่านที่มีลักษณะสีดำเรียกว่า ชาร์ (Char) ส่วนที่เป็นของเหลว และส่วนที่เป็นแก๊ส ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันนั้นจะสร้างโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยมีตัวแปรในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันได้แก่

2.9.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการเกิดชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้จะเพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติต่างๆ จะขึ้นกับอุณหภูมิเพราะเป็นพลังงานในการสลายพันธะ

2.9.2 อัตราความร้อน

อัตราความร้อนมีการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะผลทำให้ปริมาณสารระเหยระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้คาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าคาร์บอนที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะคาร์บอนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงคาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า เพราะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถจัดภาพที่เป็นระเบียบได้มากนัก

2.9.3 ตัวกลางของปฏิกิริยา

ตัวกลางของปฏิกิริยา (Meduim of reaction) จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว เช่น แก๊สไนโตรเจน จะทำให้มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

2.9.4 ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน โดยวัตถุดิบที่แตกต่างกันอาจมีวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้คาร์บอนที่มีคุณภาพดีที่สุด [16]

2.10 เครื่องมือและเทคนิคการวัด

2.10.1 UV/VIS Spectroscopy

2.10.1.1 หลักการ UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงUltra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1,000 นาโนเมตร เพราะสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันจึงสามารถวัดในเชิงคุณภาพได้ และปริมาณการดูดกลืนรังสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสารนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การดูดกลืนแสงของสารต่างๆ เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวัดในเชิงปริมาณได้ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

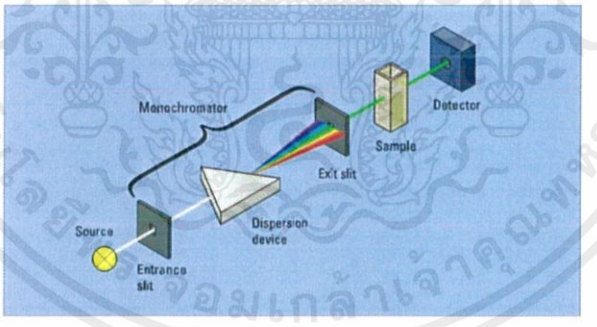
2.10.1.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

2.10.1.2.1 Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอสำหรับการวัด โดยใน ช่วง UV จะใช้หลอด H_2 and D_2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตร และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร เป็นต้น

2.10.1.2.2 Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจาก ต้นกำเนิดแสง ให้เป็นแสงสีเดียวหรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติ้ง

2.10.1.2.3 Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างสำหรับการวัด บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ ควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

2.10.1.2.4 Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนแปลงเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS

ที่มา: spectrophotometer http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/UV_Vis/Cary50.htm

2.10.1.3 ชนิดของเครื่อง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

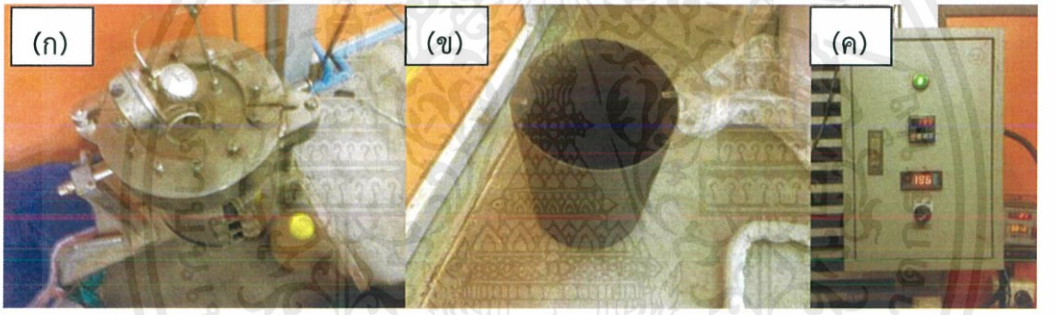
1. Single-Beam spectrophotometer มีไลน์การวัดเพียงเส้นเดียว ในการวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Double-Beam Spectrophotometer มีไลน์การวัดโดยการแบ่งรังสีออกเป็น 2 สาย ทำให้มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลาจึงสามารถวัดเบสไลน์และสารตัวอย่างได้พร้อมๆ กัน [17]

2.10.2 เครื่องปฏิกรณ์ของไฮโดรเทอมัลแก๊สซิฟิเคชั่น

เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอมัล โดยภายในเครื่องจะประกอบไปด้วยถังสำหรับใส่สารเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่มีความดันและอุณหภูมิที่สูง ภายใต้สภาวะที่น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็คทริคจะมีค่าลดลงจนคล้ายกับสารที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายโครงสร้างสำหรับแยกพันธะออกจากกันได้ระหว่าง เฮมิเซลลูโล เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเครื่องนี้จะสามารถนำพาแก๊สออกมาได้ด้วยผ่านทางท่อ ส่งแก๊ส แต่งานวิจัยนี้ ได้ปิดเพื่อให้แก๊สอยู่แต่ภายในระบบเท่านั้น ส่วนประกอบของเครื่อง ได้แก่ ภาชนะที่ใส่สารสำหรับสังเคราะห์ เครื่องไฮโดรเทอมัล และกล่องควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องไฮโดรเทอมัล คือ ตัวเครื่องไฮโดรเทอมัล (ก) ถังปฏิกรณ์ (ข) และกล่องควบคุม (ค)

2.10.2.1 การทำงาน

เมื่อนำวัสดุสำหรับทำการสังเคราะห์ใส่ในถังปฏิกรณ์ แล้วนำใส่เครื่องไฮโดรเทอมัลเพื่อทำปฏิกิริยา โดยส่วนฝาจะเป็นส่วนป้องกันไอน้ำที่ระเหยในปฏิกิริยาออกมาเพื่อทำให้ความดันในระบบเพิ่มระดับสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ให้เข้าไปจากกล่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งในส่วนฝานี้จะต้องทำการไขให้แน่น ซึ่งถ้าไขไม่แน่นพอ อาจเกิดการระเบิด หรือรั่วได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายเพราะจะมีไอน้ำร้อนรั่วออกมา ในการทำปฏิกิริยาจะเกิดกระบวนการต่างๆ ดังนี้ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis), ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration), ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชั่น (decarboxylation), ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) และปฏิกิริยาอะโรมาไทเซชั่น (Aromatization) ซึ่งหลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาทั้งหมดเสร็จสิ้น สารภายในระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นวัสดุ 3 ชนิดคือ ของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส โดยคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ เมื่อเก็บตัวอย่างออกมา ของแข็งและของเหลวจะมีการผสมกันอยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการใช้แค่ส่วนของแข็งจึงนำไปอบ เพื่อไล่น้ำและความชื้นออกเหลือแต่ส่วนของอของแข็งที่เรียกว่า ไบโอชาร์ นำมาใช้งานต่อไป [18]

2.10.3 เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope;SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับอนุภาคซึ่งจะเห็นรายละเอียดที่เล็กมาก เนื่องจากลำอิเล็กตรอนมีความยาวคลื่นที่สั้นมากกว่าแสงใช้ในกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา ซึ่งสามารถดูขนาดได้เล็กที่สุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นแสงจากลำอิเล็กตรอนแล้วจะทำให้ได้กำลังขยายมากกว่า 100,000 เท่า สามารถดูรายละเอียดได้ในระดับนาโนเมตร และยังสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ ได้ เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS)

2.10.3.1 ส่วนประกอบของ SEM

1) แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ใช้สำหรับผลิตลำอิเล็กตรอน

2) เลนส์รวมแรง (Condenser lens) ใช้ในการรวมลำอิเล็กตรอนเพื่อให้แสงมีความเข้มมากขึ้น

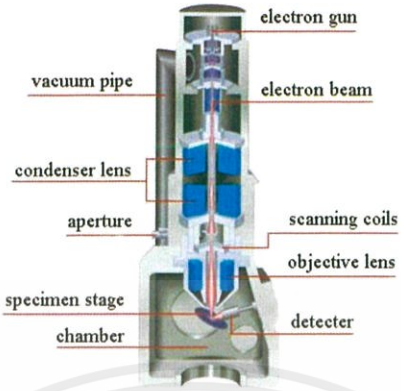
3) ขดลวดสำหรับการส่องกราด (Scanning coil) ใช้ควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนตกในจุดที่ต้องการ

4) เลนส์วัตถุ (Objective lens) คือเลนส์ที่ใช้ทำให้อิเล็กตรอนเกิดภาพ

5) ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอน (Detector) ใช้รับค่าสัญญาณจากอิเล็กตรอนแล้วเปลี่ยนไปเป็นภาพ

6) แท่นวางตัวอย่าง (Specimen stage) ใช้สำหรับวางตัวอย่างที่ต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่อง SEM [19]

2.10.3.2 หลักการทำงาน

เริ่มต้นกำเนิดอิเล็กตรอนถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงให้แก่ขดลวดทังสเตน ส่งผลให้อิเล็กตรอนเกิดการหลุดออกจากขดลวด จากนั้นอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกควบคุมทิศทางภายใต้เส้นแรงสนามแม่เหล็ก โดยเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (อิเล็กตรอนที่เกิดจากขดลวด) วิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบ เพราะลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูงจากการให้ศักย์ไฟฟ้าพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) สามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย หรือ เรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ จะเกิดภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับอิเล็กตรอนชนิดนี้

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เกิดจากลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับตัวอย่างชิ้นงานและมีการสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วน ส่งผลให้เกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานต่างๆที่กระเจิงกลับมานั้นจะเกี่ยวข้องกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุที่เป็นส่วนประกอบได้ [19]

รังสีเอกซ์ (X-ray) เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้บริเวณนั้นไม่มีอิเล็กตรอน จึงเกิดการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่โคจรในชั้นถัดไป ซึ่งการแทนที่นี้จะส่งผลให้เกิดการคายพลังงานออกมา หรือการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ โดยใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

2.10.4 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้รังสีอินฟาเรดในการตรวจสอบตัวอย่างชิ้นงาน โดยทั่วไปใช้วัดชิ้นงานทั้งในสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ พันธะเคมีในโมเลกุลของสารที่ไม่ทราบชนิด โดยเทียบข้อมูลกับสารที่รู้คุณสมบัติอยู่แล้ว โดยใช้เวลาในการตรวจวัดน้อย

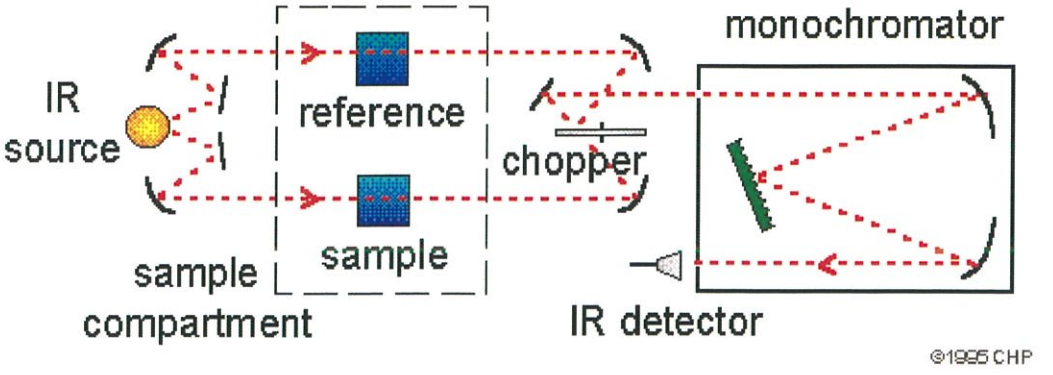
2.10.4.1 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.10.4.1.1 ส่วนกำเนิดรังสีอินฟาเรด ส่วนนี้จะให้กำเนิดรังสีอินฟาเรดโดยอาศัยการให้ความร้อนแก่สารเฉื่อย จนมีอุณหภูมิที่ 1,000-1,800 องศาเซลเซียส จนเกิดการปล่อยรังสีจากนั้นจะควบคุมความยาวคลื่นได้โดยใช้โมโนโครมาเตอร์

2.10.4.1.2 โมโนโครมาเตอร์ เป็นส่วนที่ควบคุมความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาให้เป็นความที่ต้องการใช้ในการตรวจวัด โดยจะแบ่งเป็นช่วงใกล้อินฟาเรด (near IR) สำหรับใช้ตรวจวัดสารประกอบอะโรมาติก ช่วงกลางอินฟาเรดใช้ตรวจวัดหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งต้องเปรียบเทียบจากตัวอย่างที่ทราบข้อมูลสเปกตรัมแล้ว ช่วงไกลอินฟาเรดจะเกิดการสั่นหรือหมุนของโครงสร้างโมเลกุล โดยช่วงนี้จะไม่ค่อยได้ใช้งาน

2.10.4.1.3 เครื่องตรวจวัดรังสี IR ทำการรับค่าข้อมูลที่ได้จากการสั่นของโมเลกุล โดยจะบันทึกค่าและแสดงออกมาเป็นสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง FTIR

ที่มา: www.chemicool.com/definition/fourier_transform_infrared_spectrometer_ftir.htm

2.10.4.2 หลักการของทำงาน

รังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะถูกฉายไปยัง Interferometer ประกอบด้วยกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ โดยทั้งสองตั้งฉากซึ่งกัน และกันและตัวแยกแสงที่ตัวแยกแสงลำรังสีครึ่งหนึ่งจะทะลุผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ และอีกครึ่งหนึ่งจะสะท้อนไปยังกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ หลังจากนั้นลำรังสีจะสะท้อนจากกระจกกลับมารวมกันที่ตัวแยกแสง เกิดการแทรกสอดขึ้น ต่อมาลำรังสีจะผ่านไปยังตัวอย่าง และเครื่องตรวจวัด ในลำดับถัดมา จะเกิด Path difference ระหว่างลำรังสีที่ถูกแยกออกเกิดขึ้นจากระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างกระจกทั้งสอง ถ้าแขนยึดกระจกทั้งสองข้างของ Interferometer ยาวเท่ากัน ลำรังสีทั้งสองจะเดินทางด้วยระยะทางที่เท่ากันมีเฟสตรงกันทำให้สัญญาณที่ไปถึงเครื่องตรวจวัดมีค่ามากที่สุด เมื่อกระจกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ความเข้มของสัญญาณที่เครื่องตรวจวัดวัดได้จะมีลักษณะของ Interferogram เป็นรูปคลื่น sine โดยกราฟจะพล็อตระหว่างการตอบสนองของชิ้นงานที่เครื่องตรวจวัดบันทึกได้และเวลาที่กระจกมีการเคลื่อนที่ ซึ่งตัวอย่างจะเกิดการดูดกลืนรังสีที่ค่าความถี่ต่างๆ จะส่งผลให้ขนาดของแอมพลิจูดจะลดลงโดยสัมพันธ์กับปริมาณของตัวอย่าง หลังจากนั้นใช้ Fourier Transform ซึ่งเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการแปลงผลที่ได้ (ขึ้นกับเวลา) ให้กลายเป็นค่าความเข้มกับความถี่ [20]

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ivo Oliveira และคณะ [14] งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธี ไฮโดรเทอมัล คาร์บอไนเซชั่น เพื่อผลิตคาร์บอนจากวัสดุที่เหลือจากการทำเกษตรกรรม โดยทำการผสมวัสดุชีวมวลและน้ำภายใต้อุณหภูมิ (180-220 องศาเซลเซียส) และความดัน เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง โดยเมื่อเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาจะเกิดส่วนของแข็งเรียกว่า HTC-Biochar (ไฮโดรเทอมัลคาร์คาร์บอไนเซชั่น-ไบโอชาร์) ได้ใช้วัสดุชีวมวลแยกชนิดกัน ได้แก่ ข้าวโพดหมัก ตัวย่อคือ CS มูลไก่ ตัวย่อคือ PM วัสดุรองพื้น (หญ้าแห้ง และฟาง) ตัวย่อคือ BM ดินที่ย่อยสลาย ตัวย่อคือ SD ฟางแห้ง ตัวย่อคือ DS เศษกระหล่ำปลี ตัวย่อคือ CR เศษแป้งสาลี ตัวย่อคือ DR เศษไม้จากป่า ตัวย่อคือ FWC เศษไม้จากเมือง ตัวย่อคือ LWC และ เศษไม้จากป่าคุณภาพสูง (ไม้ที่มีราคาแพงในตลาด) ตัวย่อคือ FWCH แล้ววัดโดยเครื่องมือ Total Organic Carbon และ Gas Chromatography-Temperature Programmed Desorption โดยพบว่าที่การทดลองเดียวกัน วัสดุชีวมวลที่ให้คาร์บอนในรูปของแข็งมากที่สุดคือ เศษไม้จากป่าคุณภาพสูง คาร์บอนในรูปของเหลวมากที่สุดคือ เศษกระหล่ำปลี และ คาร์บอนในรูปแก๊สมากที่สุดคือ วัสดุรองพื้น (หญ้าแห้งและฟาง) โดยวิธีการนี้จะทำให้ปริมาณคาร์บอนในทุกๆ สารตั้งต้นเพิ่มขึ้นจาก เฉลี่ย 46.13% เป็น 59.19%

Getachew Agegnehu และคณะ [15] งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของไบโอชาร์ใช้ในการปรับปรุงดินกับต้นถั่วลิสง โดยมีชุดการทดลองดังนี้ 1.ปุ๋ยอนินทรีย์เป็นชุดควบคุม 2. ไบโอชาร์+ปุ๋ยอนินทรีย์ 10 ตันต่อ 1 เฮคเตอร์ 3.ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยอนินทรีย์ 25 ตันต่อ 1 เฮคเตอร์ 4. ไบโอชาร์ 2.5 ตันต่อ 1 เฮคเตอร์ กับ 25 ตัน ปุ๋ยหมักต่อ 1 เฮคเตอร์ 5. 25 ตัน ของไบโอชาร์ผสมกับปุ๋ยหมักแล้วจึงผสมกับปุ๋ยอนินทรีย์ โดยปุ๋ยหมักทำจากกากชานอ้อย 43% เศษวัชพืชสีเขียว 43% มูลไก่ 6% และปุ๋ยอื่นๆ 6% วิธีการสังเคราะห์ไบโอชาร์ นำไม้หลิว (willow wood) เผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 ชั่วโมง ปริมาณ 5 ตัน ในเตาเผา (batch pyrolysis) ผลการทดลอง ปริมาณเมล็ด ของชุดการทดลองไบโอชาร์ ชุดการทดลองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์และปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์ผสมปุ๋ยหมัก เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 21%, 18%, 21% และ 22% ตามลำดับ ปริมาณฝักของชุดการทดลองไบโอชาร์ ชุดการทดลองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์และปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์ผสมปุ๋ยหมัก เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 23%, 17%, 21% และ 24% ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลเฉลี่ยของชุดการทดลองไบโอชาร์ ชุดการทดลองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์และปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองไบโอชาร์ผสมปุ๋ยหมัก เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 7%, 10%, 10% และ 9% ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองไบโอชาร์ และ ชุดการทดลองไบโอชาร์ผสมกับปุ๋ยหมักส่งผลให้ได้ปริมาณเมล็ดถั่วลิสงเพิ่มขึ้น 23% และ 24% ตามลำดับ ช่วยทำการเพิ่มอาหารในถั่วลิสง เพิ่มปริมาณดินคาร์บอนอินทรีย์ (Soil organic carbon) จาก 0.93% ของชุดควบคุม เป็น 1.25% ในชุดการทดลองไบโอชาร์ เพิ่มปริมาณดินอุ้มน้ำ (soil water content) จาก 18% ของชุดควบคุมไปเป็น 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชุดการทดลองไบโอชาร์ เพิ่มปริมาณคลอโรฟิล และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนได้

Christos Dordas และคณะ [16] เป็นการให้แคลเซียมและแมคนีเซียมทางใบเพื่อปรับปรุง การเจริญเติบโต ผลผลิต และน้ำมันหอมระเหย ของออริกาโน โดยแปลงเพาะปลูกมี 2 ที่ คือ Herso และ Eptalofos ในกรีก มีทั้งหมด 5 สภาวะ คือ ชุดควบคุม ชุดการทดลองแคลเซียม 0.5% ชุดการทดลองแคลเซียม 0.1% ชุดการทดลองแมกนีเซียม1% และ ชุดการทดลองแมกนีเซียม 2% ทำทั้งหมด 5 ซ้ำ โดยเริ่มให้อาหารทางใบ โดยการสเปรย์ จำนวน 3 ครั้ง คือครั้งแรกเมื่อลำต้นเริ่มงอกออกจากพื้นดิน ครั้งที่ 2 และ 3 ภายใน 2 อาทิตย์ต่อมา โดยแหล่งแคลเซียมมาจาก $CaCl_2$ และ แหล่งแมกนีเซียมมาจาก $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ การตรวจวัด 1. ทำการวัดปริมาณ แคลเซียมและแมกนีเซียมในใบ โดยการสุ่มตัวอย่างใบ แล้วล้างด้วยน้ำ DI เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ข้ามคืนจนกลายเป็นเถ้า และนำเถ้ามาสกัดด้วย กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และนำไปทดสอบในเครื่อง atomic absorption spectroscopy (AAS) 2. ทำการตรวจวัดความสูง จำนวนลำต้น และเวลาที่เริ่มเก็บผลผลิตได้ 3. วัดคลอโรฟิลล์ โดยใช้เครื่อง Chlorophyll meter (SPAD-502) 4. วัดน้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และดอก ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และปริมาณน้ำมันที่ได้ โดยการอบ 80 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำสารชีวมวลมา 50 กรัม ผสมน้ำ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เป็นเวลา 120 นาที จะได้น้ำมันหอมระเหยออกจากวัสดุชีวมวล ทำการเก็บจนหมด จากนั้นนำ Na_2SO_4 มาดูดน้ำที่เหลือออกจนหมด จะได้ ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้ ต่อน้ำหนัก (yield) ผลการทดลอง ในการเติม แคลเซียม และแมกนีเซียม สงผลให้มีค่าการเพิ่มขึ้นของความสูงเฉลี่ย 10% จำนวนลำต้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 23% ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 23% สำหรับชุดการทดลองแคลเซียม และ 38% สำหรับชุดการทดลองแมกนีเซียม น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 22% และลดวันในการเก็บผลผลิตลง 3-4 วัน แต่ปริมาณปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงที่ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงดินด้วยวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี (ไบโอชาร์) และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ โดยใช้วิธีการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชั่น และการแยกสลายด้วยความร้อน ตามลำดับ โดยศึกษาปัจจัยที่จะทำการทดลอง คืออัตราส่วนการผสมดินด้วยวัสดุนาโนจากใบธูปฤาษี และ ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ เพื่อศึกษาผลการเจริญเติบโตของพืชที่ทำการทดลองได้แก่ ข้าว ถั่วลิสง และข้าวโพด ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องไฮโดรเทอมัล (Hydrothermal)

3.1.1.2 ภาชนะที่เป็นโลหะสำหรับใส่ในเครื่องไฮดดรเทอมัล (Bucket)

3.1.1.3 ตู้ตบ (oven)

3.1.1.4 เครื่องชั่งสาร (Balances, Analytical)

3.1.1.5 บีกเกอร์ (Beaker)

3.1.1.6 กระบอกตวง (Cylinder)

3.1.1.7 ช้อนตักสาร (Spatula)

3.1.1.8 บัวรดน้ำ (watering can)

3.1.1.9 ถาด (plate)

3.1.1.10 แปลงเพาะปลูกกันแมลง และถาดเพาะ

3.1.1.11 ฟอยล์ (foil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.12 ถ้วยทนความร้อนสำหรับเผา (cucible)

3.1.2 วัสดุและสารเคมี

3.1.2.1 เปลือกไข่ (egg shell)

3.1.2.2 ใบธูปฤาษี (cattail leaf)

3.1.2.3 น้ำปราศจากไอออน (De-ionized water)

3.1.2.4 ดิน (soil)

3.1.2.5 อะซีโตน (acetone)

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.2.3.1 UV/VIS Spectroscopy

3.2.3.2 Scaning Eletron Microscopy

3.2.3.3 Fourier transform infrared spectroscopy

3.2.3.4 Brunauer Emmett Teller

3.2 การสังเคราะห์วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีด้วยวิธีการไฮโดรเทอมัล และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ด้วยวิธีการแยกสลายทางความร้อน

3.2.1 การสังเคราะห์วัสดุนาโนจากใบธูปฤาษีด้วยวิธีการไฮโดรเทอมัล

3.2.1.1 เตรียมใบของต้นธูปฤาษีที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นเล็กๆ

3.2.1.2 อบแห้งใบของต้นธูปฤาษีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน หรือจนปราศจากความชื้น

3.2.1.3 ผสมใบของต้นธูปฤาษีปริมาณ 500 กรัม กับน้ำปลอดประจุ ด้วยอัตรส่วน 1:10 หรือ 5 ลิตร ลงในเครื่องไฮโดรเทอมัล

3.2.1.4 ทำการตั้งค่าอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และรอจนอุณหภูมิถึงที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดแล้วทำการปิดเครื่องทันที (ไม่มีระบบหล่อเย็น ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไป)

3.2.1.6 รอจนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องในวันรุ่งขึ้น ทำการเปิดและบีบน้ำออก

3.2.1.7 ทำการอบสารในตู้อบ ด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้ง เพื่อเตรียมนำไปผสมกับดินในการเพาะปลูกลงกระถาง และนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเครื่อง SEM และFTIR

3.2.2 การสังเคราะห์แคลเซียมจากเปลือกไข่ด้วยวิธีการแยกสลายทางความร้อน

3.2.2.1 ทำการชั่งเปลือกไข่ประมาณ 10 กรัม ลงในถ้วยสำหรับนำไปเผา

3.2.2.2 ทำการตั้งค่าเตาเผา โดยกำหนดช่วงนี่เผาดังนี้ 0 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คงที่ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ ลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.2.3 เก็บในถุงซิบล็อคป้องกันความชื้นและนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเครื่อง SEM และ FTIR

3.3 การเตรียมแปลงเพาะปลูก

3.3.1 การเตรียมแปลงเพาะปลูกสำหรับทำการทดลองโดยใช้ดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี

3.3.1.1 ทำการเตรียมกระถางเพาะปลูก

3.3.1.2 ทำการชั่งดินในชุดทดลอง น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ต่อ 1 แปลง

3.3.1.3 ทำการชั่งดิน และ วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี โดยใช้อัตรส่วน 2:1, 4:1 และ 8:1 โดยน้ำหนักรวมเท่ากับ 2 กิโลกรัม

3.3.1.4 ทำการเทดินลงในถาดเพาะให้สม่ำเสมอกัน

3.3.1.5 ทำการแช่เมล็ดพืชในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.3.1.6 ทำการหยอดเมล็ดพืชที่ผ่านการแช่น้ำลงในถาดเพาะและรดน้ำทุกวัน เป็นเวลา 1 เดือน

3.3.1.7 ทำการเก็บตัวการทดลองทุก 7 วัน โดยเก็บชุดการทดลองละ 3 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.8 นำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 การเตรียมแปลงเพาะปลูกสำหรับทำการทดลองโดยใช้น้ำรดผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

3.3.2.1 ทำการเตรียมกระถางเพาะปลูก

3.3.2.2 ทำการชั่งดินในชุดทดลอง น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ต่อ 1 แปลง

3.3.2.3 ทำการแช่เมล็ดพืชในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.3.2.4 นำเมล็ดพืชหยอดลงบนดิน ในแปลงเพาะปลูก ทำการรดน้ำทุกวัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็นชุดควบคุมรดด้วยน้ำธรรมดา และชุดการทดลองรดด้วยน้ำผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 200, 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรทุก 2 วัน

3.3.2.5 ทำการเก็บตัวการทดลองทุก 7 วัน โดยเก็บชุดการทดลองละ 3 ต้น

3.3.2.6 นำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 การวัดขนาดต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

3.4.1.1 ทำการล้างดินออกจากรากจนหมด แล้วซับด้วยกระดาษ จนแห้งสนิท

3.4.1.2 ทำการวัดความยาวของราก และลำต้น

3.4.1.3 ทำการชั่งน้ำหนักสด โดยแบ่งเป็นส่วนของ ราก ลำต้น และใบ

3.4.1.5 ทำการอบไล่ความชื้น ในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

3.4.1.6 นำส่วนของ ราก ลำต้น และใบ มาชั่งน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวัดคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอย์

3.4.2.1 ทำการแบ่งใบพืช มาชั่งน้ำหนัก 1 กรัม แล้วผสม อะซีโตน 3 มิลลิลิตร ปิดฝา และนำไปหุ้มด้วยฟอย เพื่อป้องกันแสงทำลายคลอโรฟิลล์ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.4.2.2 นำสารสกัดที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 470, 644 และ 662 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง uv-vis spectrophotometer [21,22]

3.4.2.3 ทำการคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ดังนี้

Chlorophyll a (Ch_A) $= 9.784 \cdot A_{662} - 0.990 \cdot A_{644}$

Chlorophyll b (Ch_B) $= 21.426 \cdot A_{644} - 4.650 \cdot A_{662}$

Carotenoid (Car) $= 1000\ A_{470} - 1.9\ Ch_A - 63.14\ Ch_B / 214$

โดยที่ A_{xxx} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความาวคลื่น xxx นาโนเมตร

3.5 การวิเคราะห์วัสดุหลังการสังเคราะห์

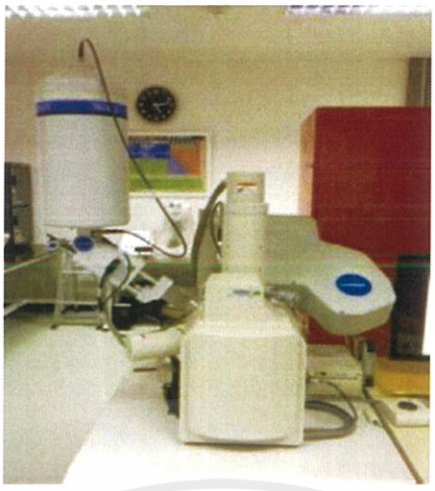
3.5.1 การวัดลักษณะสัณฐานด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยตัวอย่างจะทำการเคลือบด้วยทองด้วยวิธี Sputtering ก่อนที่จะทำการวัด เพื่อให้พื้นผิวของตัวอย่างมีการนำไฟฟ้าเมื่อทำการวัดจะทำให้พื้นผิวมีความคมชัดในการตรวจวัด ซึ่งเงื่อนไขที่ทำการวัดแสดงใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย SEM

Scanning electron microscope	Hitachi, s3400N
Magnification	1000X, 5000X และ 10000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.5.2 การวัดหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Tranform Infrared Spectrometer

การศึกษาหมู่ฟังก์ชั่น (Functional group) บนพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งเงื่อนไขในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย FTIR

FTIR Spectrometer	Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR Spectrometer
Measurement mode	ATR
Wavenumber range	400–4000 cm^{-1}

ภาพที่ 3.2 แสดงภาพเครื่อง FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การวัดขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Brunauer Emmett Teller

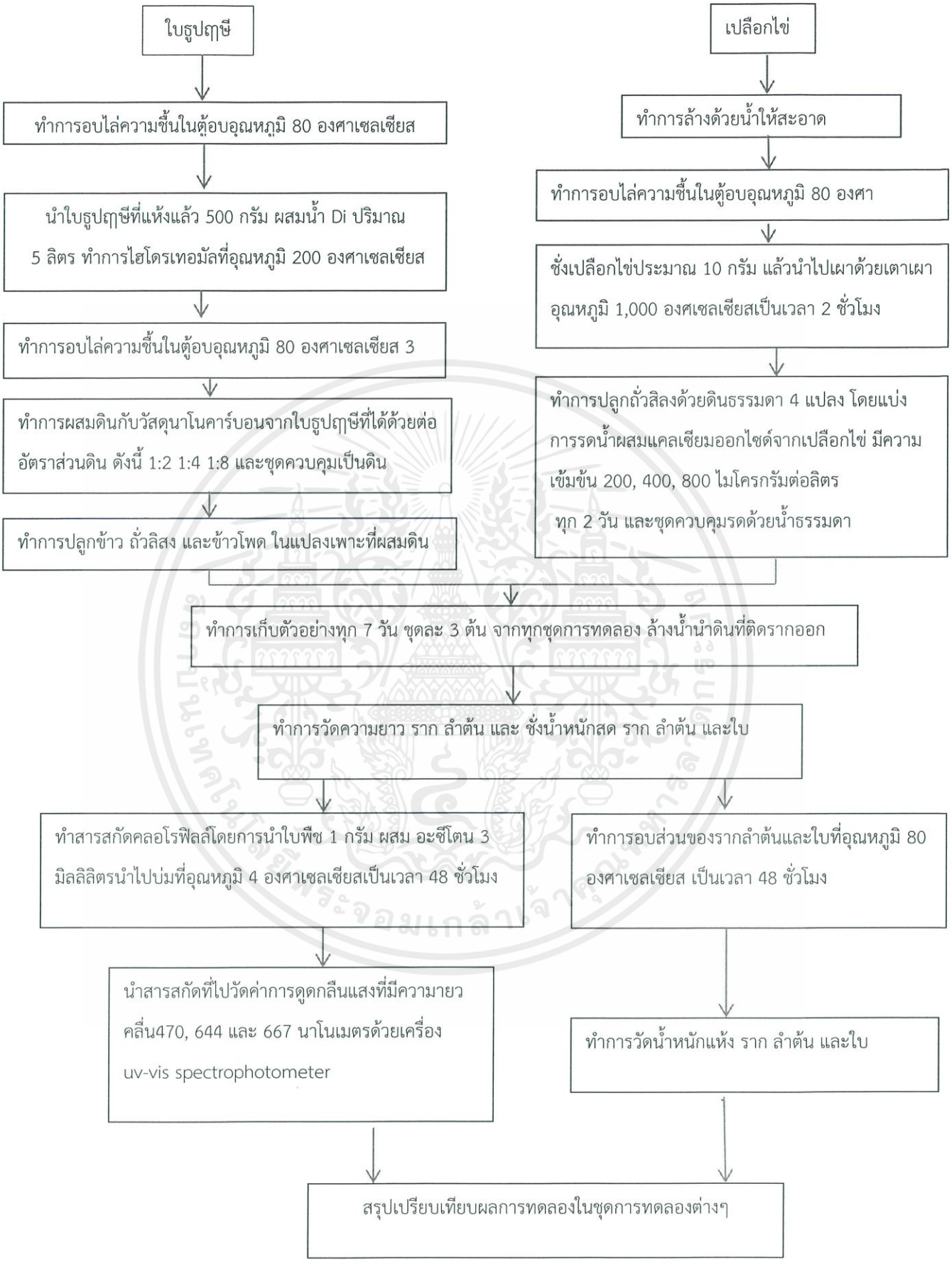
การวิเคราะห์ขนาดรูพรุนและพื้นที่ผิวเงื่อนไขการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วย BET

FTIR Spectrometer	Quantachrome NOVA 2000e
Degas	150°C 3hr.
Gas absorb	Nitrogen

ภาพที่ 3.3 แสดงภาพเครื่อง BET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

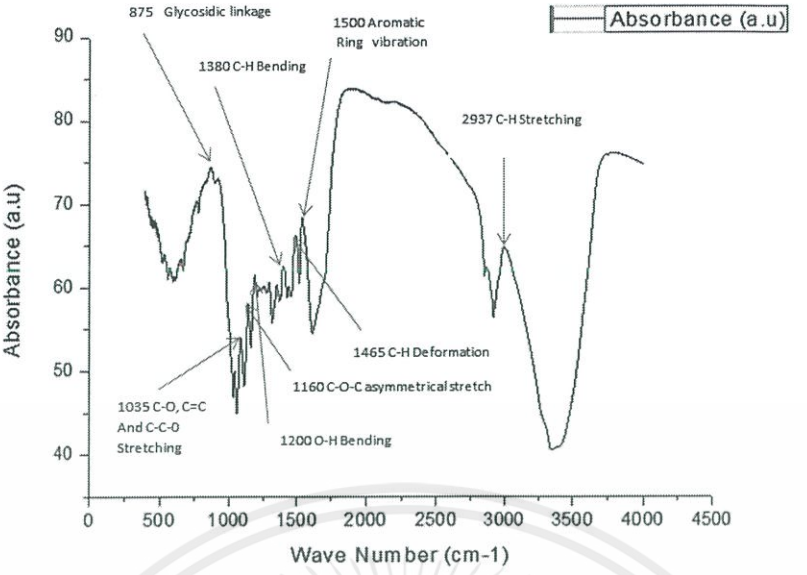
4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชัน

4.1.1.1 วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี

เมื่อสังเคราะห์วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีโดยวิธีการไฮโดรเทอมัลส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชั่นและพันธะของวัสดุซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) เพื่อทำการศึกษาหมู่ฟังก์และพันธะต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยแต่ละชนิดหมู่ฟังก์ชั่นและพันธะจะก่อให้เกิดคุณสมบัติที่ต่างกันผลที่ได้ดังภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรเทอมัลของใบธูปฤาษีที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสพบว่า เกิดพีคขึ้นที่ 875 cm^{-1} คือ Glycosidic linkage ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชั่นของ Hemicellulose พีคที่ 1035 cm^{-1} ซึ่งเป็น พันธะของ C-O, C=C และ C-C-O ที่เกิดการยืดและหดของ Cellulose Hemicellulose และ Lignin พีคที่ 1160 cm^{-1} คือ C-O-C asymmetrical stretching ซึ่งเป็นการยืดหดแบบไม่สมมาตรของ Cellulose และ Hemicellulose พีคที่ 1200 cm^{-1} คือ O-H Bending ซึ่งเป็นการโค้งงอของ Cellulose และ Hemicellulose พีคที่ 1380 cm^{-1} คือ C-H Bending เกิดจากการโค้งงอของ Cellulose Hemicellulose และ Lignin พีคที่ 1465 cm^{-1} คือ C-H Deformation ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพของ Lignin พีคที่ 1500 คือ Aromatic ring vibration ซึ่งเกิดจาก การสั่นของวง อะโรมาติกใน lignin พีคที่ 2937 cm^{-1} คือ C-H Stretching ซึ่งเกิดจากการยืดหดของ Lignin ในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

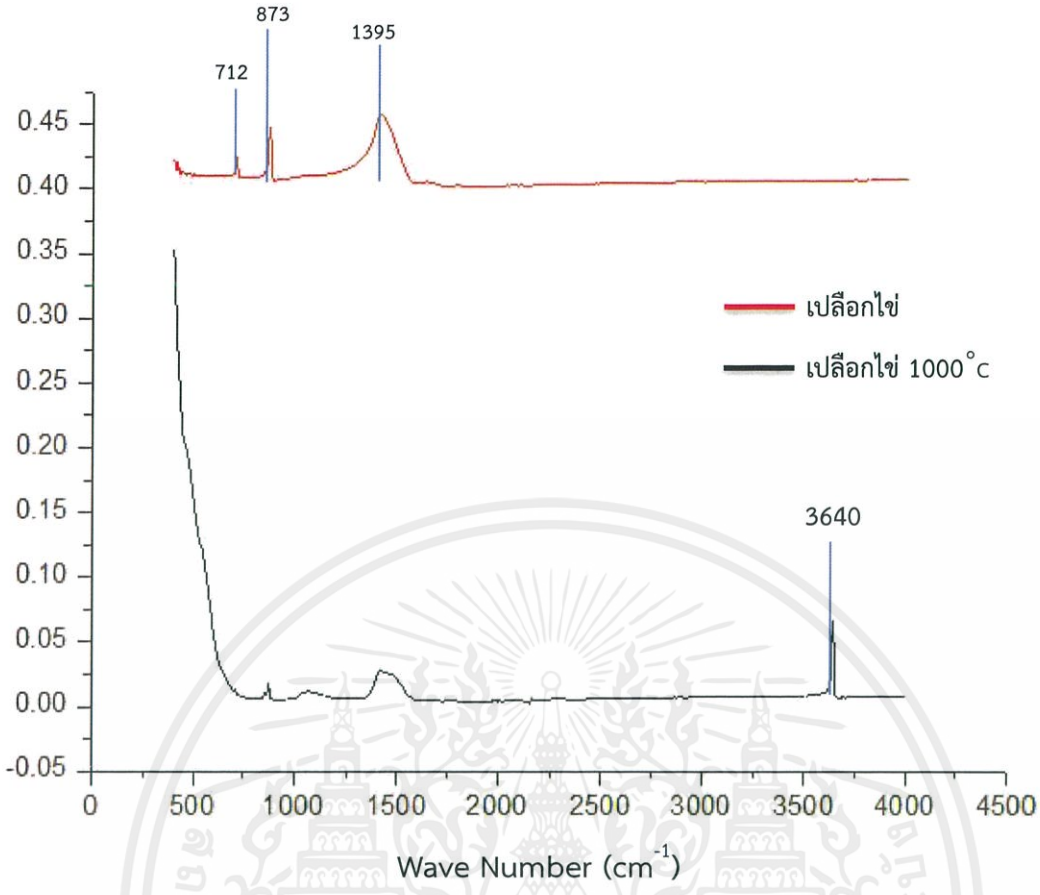


ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟ FT-IR ของวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อุณหภูมิ 200 °C

4.1.1.2 แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

เปลือกไข่ที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสนั้นได้มีการเปลี่ยนรูปจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในเปลือกไข่ หลังจากการเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ สามารถตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันได้โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเกิดพีคขึ้นที่ตำแหน่ง 3640 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ได้ทำการสังเคราะห์ได้ ซึ่งแคลเซียมออกไซด์นั้นมีการดูดซับรังสีอินฟาเรดเพียงตำแหน่งนี้ตำแหน่งเดียวเท่านั้น และยังแสดงถึงแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีตำแหน่งพีค 3 ตำแหน่งคือ712 873 และ 1395 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



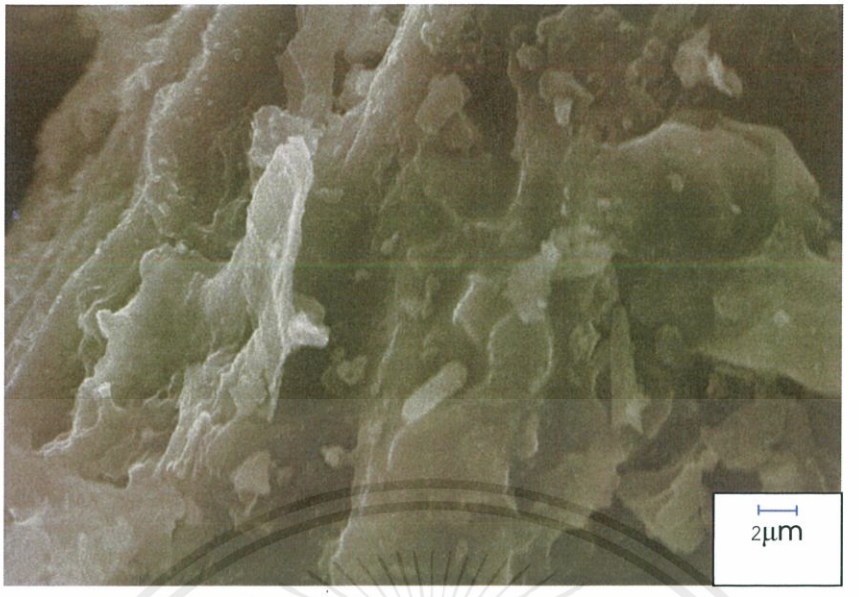
ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟ FT-IR ของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว

4.1.2.1 วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นลักษณะของใบธูปฤาษีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ซึ่งผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่า เกิดรูพรุนขึ้นบริเวณพื้นผิวของเส้นใย และ มีอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากการสลายตัวของลิกโนเซลลูโลสในปฏิกิริยาไฮโดรเทอมัลที่อาศัยกระบวนการไฮโดรไลซิสทำปฏิกิริยาแตกโครงสร้างออกมา ปฏิกิริยาดังกล่าวอาศัยความดันเข้าช่วยในการทำปฏิกิริยาเปรียบเสมือนการมีอุณภูมิสูงขึ้นในสภาวะความดันปกติ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานสูงที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าได้ ส่งผลให้เส้นในลิกโนเซลลูโลสมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นจากการมีอนุภาคขนาดและและรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

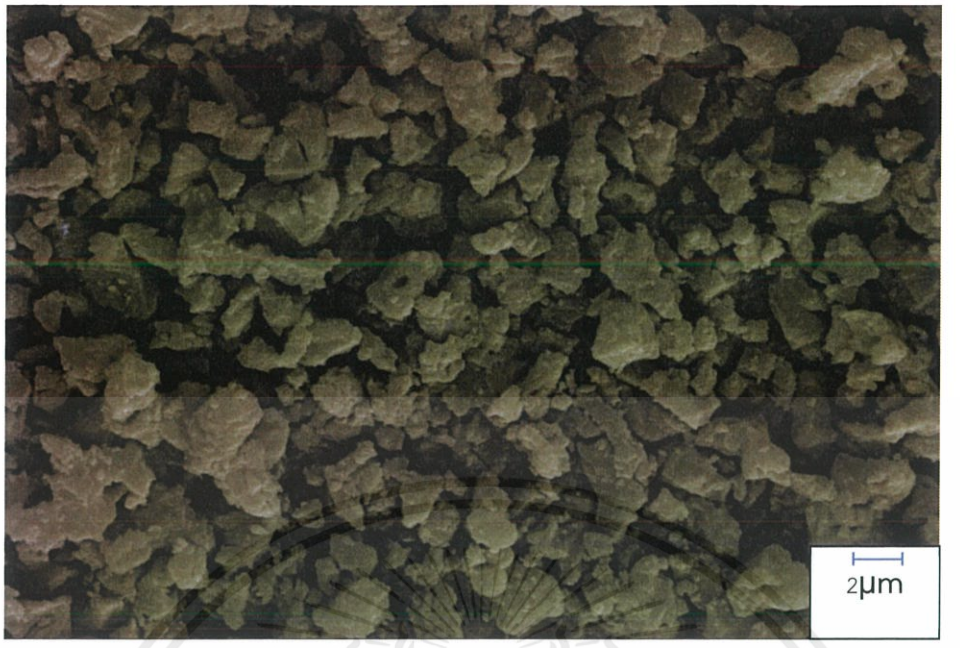


ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของใบธูปฤาษีหลังจากผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

4.1.1.2 แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

หลังจากเปลือกไข่ที่เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากเปลือกไข่ที่มีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าไปเป็นผงขนาดเล็กสีขาวซึ่งเป็นแคลเซียมออกไซด์ดังที่ได้ตรวจวัดจากเครื่อง FTIR ข้างต้น ซึ่งในส่วนของโครงสร้างนี้สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ในการตรวจสอบผงแคลเซียมออกไซด์เพื่อแสดงขนาดอนุภาค ดังที่แสดงในภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าอนุภาคแคลเซียมออกไซด์ได้มีการจับกลุ่มก้อน ที่มีขนาดประมาณ 2 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



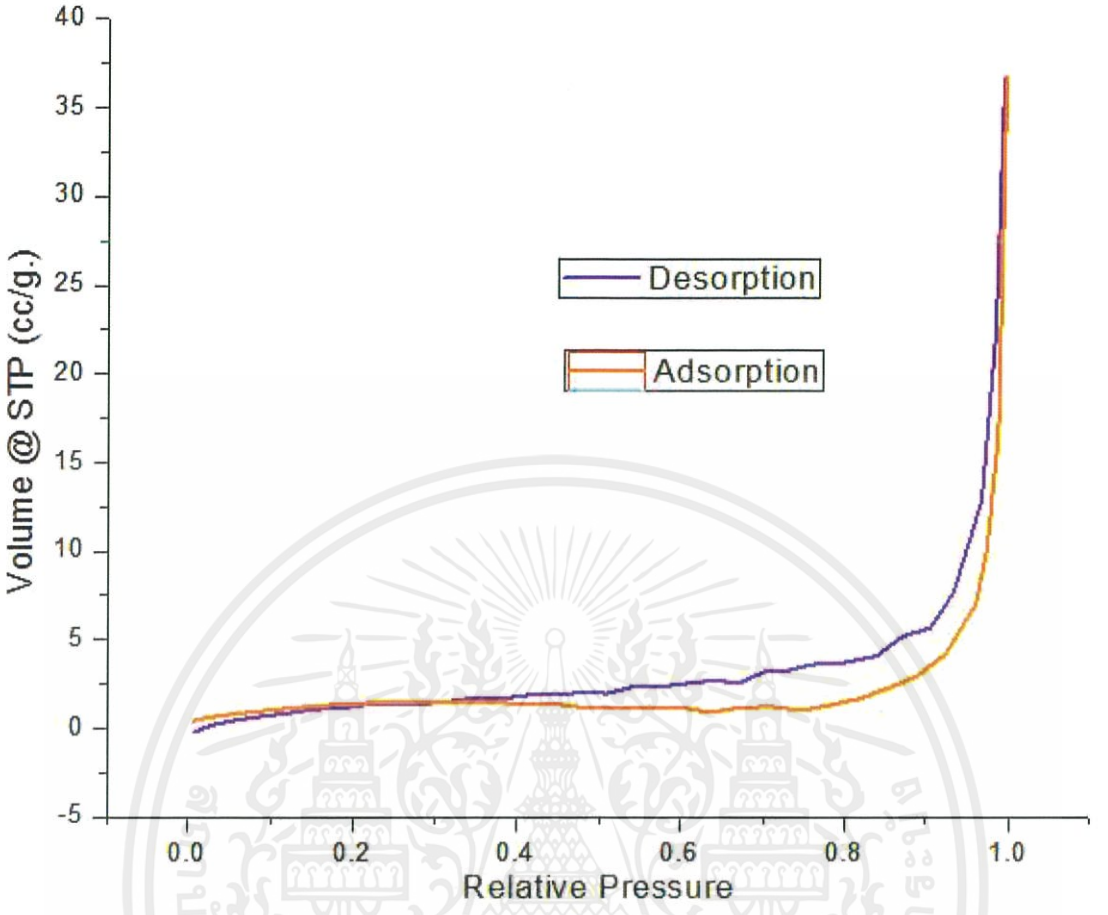
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวเปลือกไข่ที่เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะรูพรุน

4.1.3.1 วัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี

เมื่อธูปฤาษีผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสแล้ว ทำให้โครงสร้างที่เป็นเส้นใยของลิกโนเซลลูโลสเปลี่ยนรูปร่างไปจนเกิดรูพรุนขึ้นที่พื้นที่ผิวของวัสดุดังผลการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดข้างต้น ในส่วนของรูพรุนสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Brunauer–Emmett–Teller (BET) รวมไปถึงพื้นที่ผิวก็สามารถวัดได้เช่นกัน เพื่อศึกษารูพรุนและปริมาณพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นในการใช้กักเก็บธาตุอาหารรวมไปถึงเป็นแหล่งกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายธาตุอาหารสำหรับพืช ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นไอโซเทอมของเมโซพอรัส ซึ่งมีขนาดรูพรุนอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตร ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงให้เห็นว่ามีขนาดรูพรุน 4.31 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิว 6.54 ตารางเมตรต่อกรัม และมีปริมาณรูพรุน 0.06 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูพรุนระดับเมโซ นั้นจะส่งผลต่อการกักเก็บธาตุอาหาร รวมไปถึงเป็นบริเวณที่จุลินทรีย์ใช้ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

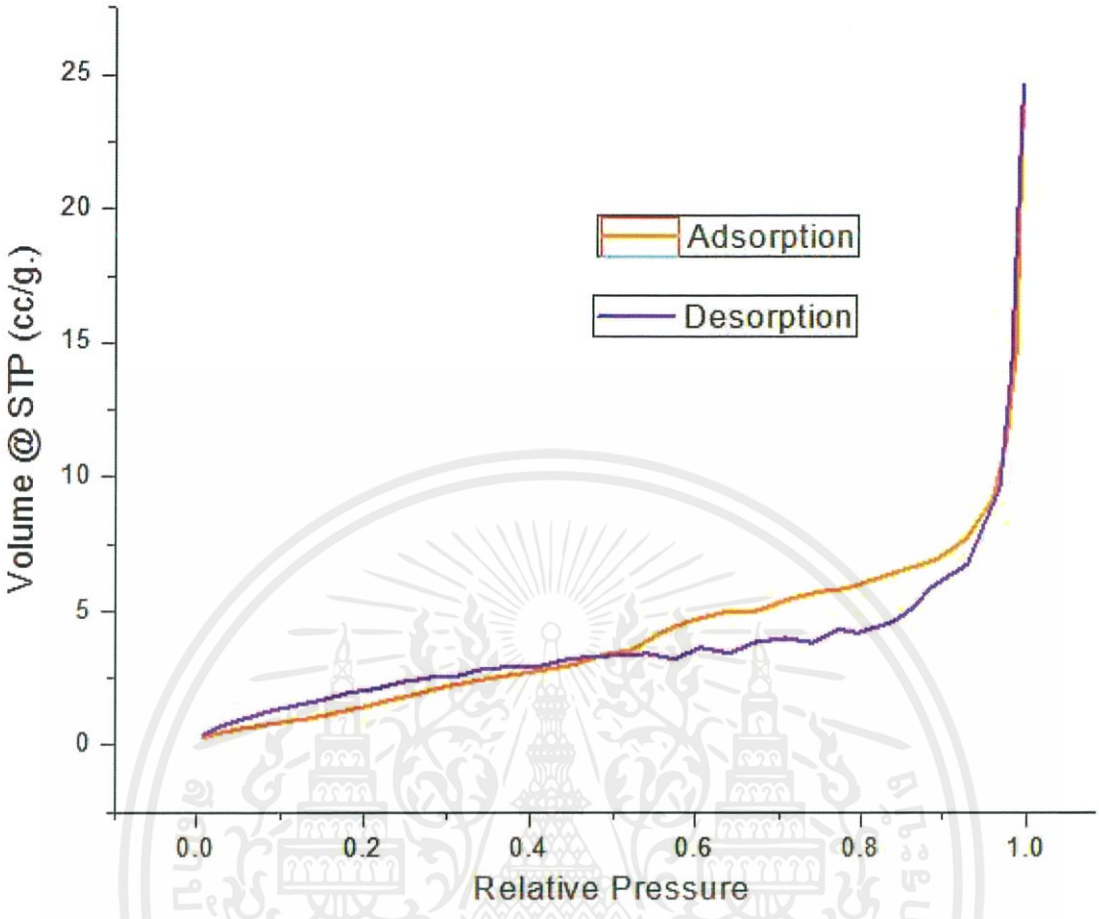


ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี

4.1.3.2 แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

เมื่อเปลือกไข่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสแล้ว ทำให้โครงสร้างที่เป็นเปลือกไข่ขนาดใหญ่เปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นผงสีขาวที่มีขนาดเล็ก ดังผลการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดข้างต้น ในส่วนของพื้นที่ผิวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Brunauer–Emmett–Teller (BET) ปริมาณพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นในเป็นธาตุอาหารสำหรับพืช ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นไอโซเทอมของของแข็งไม่มีรูพรุนหรือมีเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงให้เห็นว่ามีขนาดรูพรุน 3.43 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิว 5.23 ตารางเมตรต่อกรัม และมีปริมาณรูพรุน 0.04 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งรูพรุนมีขนาดเล็กมากและมีปริมาณน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะการดูดซับไนโตรเจนของวัสดุแคลเซียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการใช้ดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโตของตัวอย่างต้นพืช

4.2.1 ต้นข้าวโพด

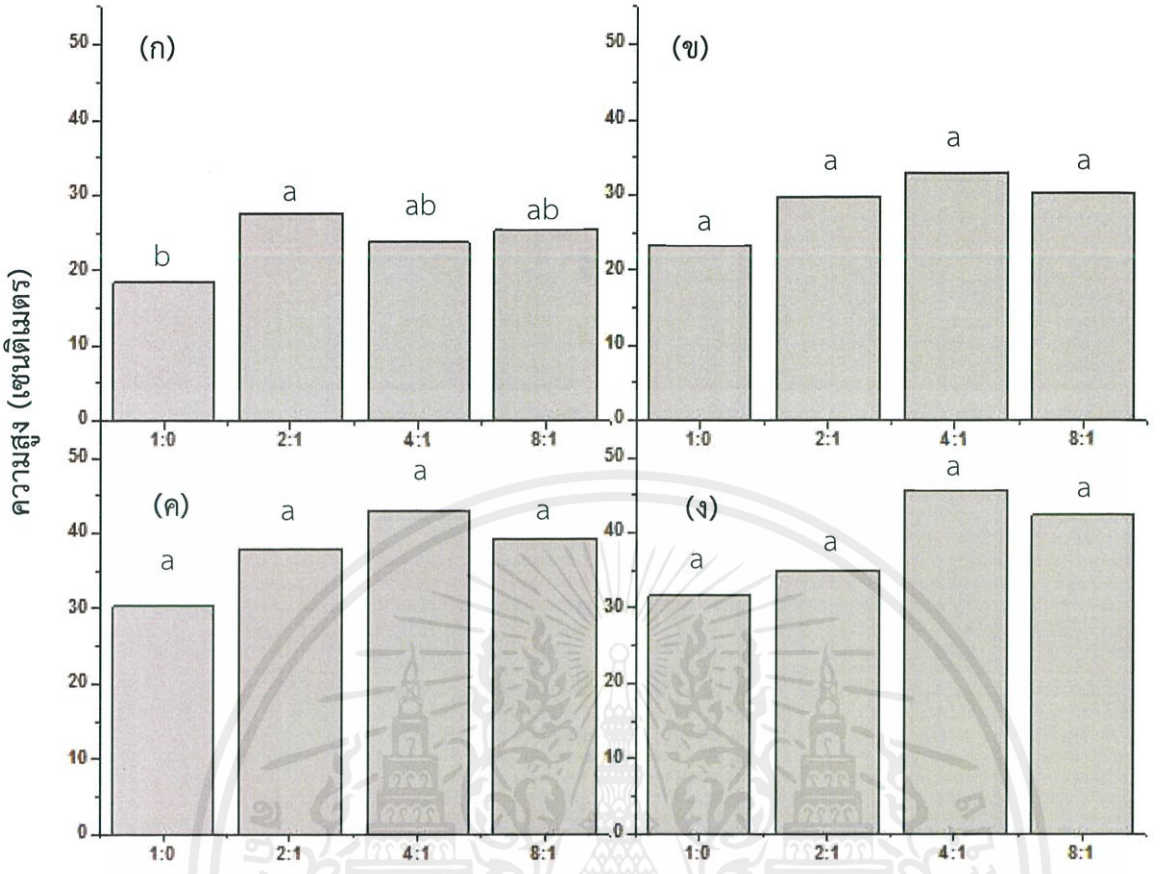
4.2.1.1 การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกสภาวะ ดังภาพที่ 4.7 ก และแสดงให้เห็นว่าความสูงของต้นข้าวโพดที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น อัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 2:1 (27.67 ซม.) นั้นมีความยาวลำต้นมากที่สุดเนื่องจากในช่วงแรกของการเจริญเติบโตนั้นต้นข้าวโพดยังมีใบไม่สมบูรณ์จึงยังไม่สามารถตรึงคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ ทำให้สามารถรับคาร์บอนได้จากดินที่มีการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีเพียงแหล่งเดียวเท่านั้น ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.7 ข แสดงให้เห็นว่าความยาวลำต้นของข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (33.00 ซม.) มีความยาวของลำต้นมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของข้าวโพดได้มีการงอกออกมาและมีใบบ้างเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นข้าวโพดต้องการทำให้มีการเจริญเติบโตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.7 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด ที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดยังคงเป็นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (43.00 ซม.) เช่นเดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.7 ง และ 4.7 จ แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (45.67 ซม.) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่าง อัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 2:1 และ 8:1 (31.67 ซม. 35.00 ซม.และ 42.33 ซม. ตามลำดับ) นอกจากนี้ผลการทดลองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าการเจริญเติบโตของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าความยาวลำต้นที่เจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุม หรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



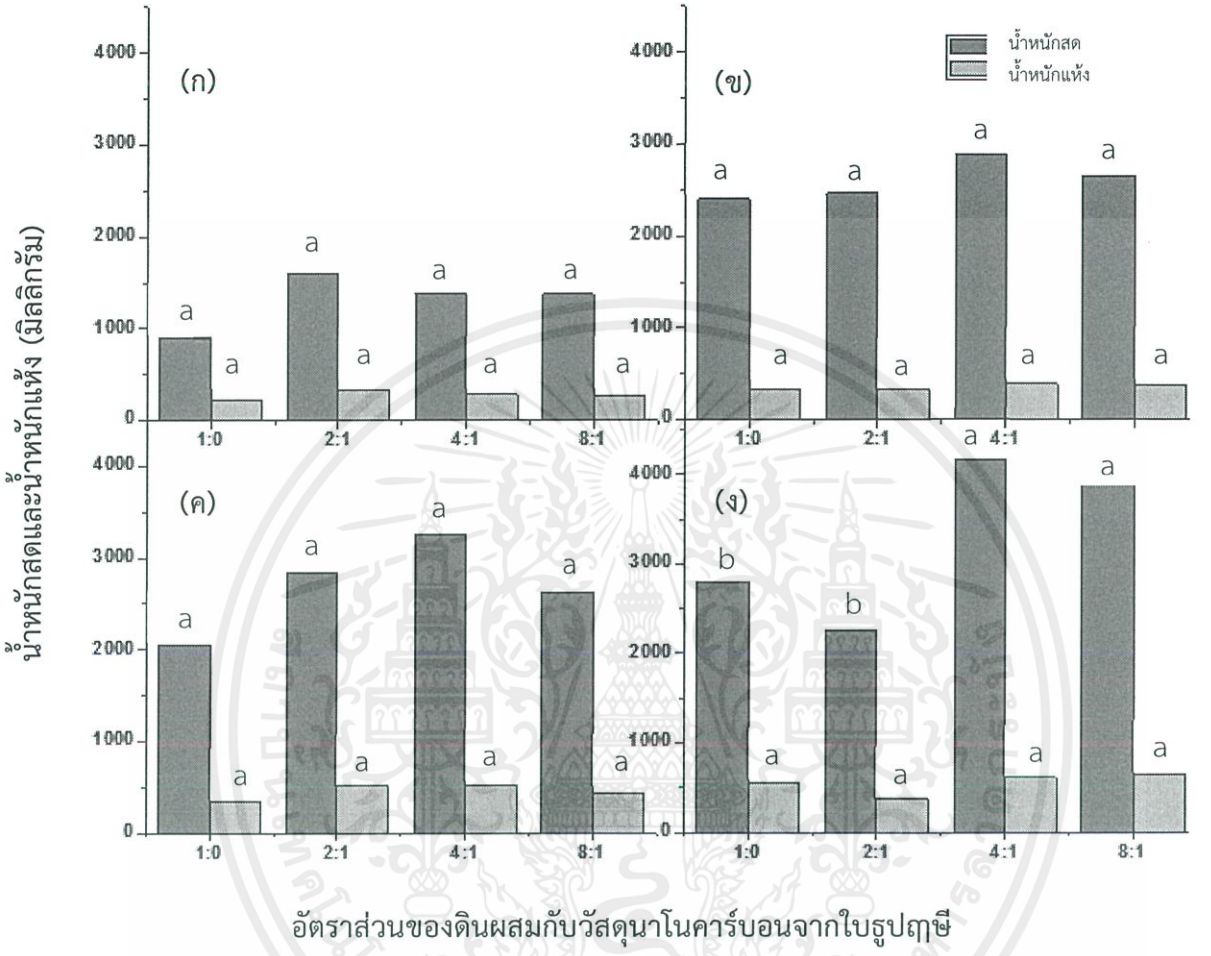
ภาพที่ 4.7 แสดงความยาวลำต้นข้าวโพด (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ข้าวโพดมีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นโดยแสดงในภาพที่ 4.8 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 2:1 (1,588.67 มก. และ 320.33 มก. ตามลำดับ) นั้นมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด เนื่องจากต้นข้าวโพดรับธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศยังไม่เพียงพอเพราะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตต้นข้าวโพดยังมีใบไม่สมบูรณ์ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงทำได้ไม่สมบูรณ์เช่นกัน ทำให้สามารถรับคาร์บอนได้จากดินที่มีการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีเป็นหลักเช่นเดียวกับความยาวลำต้น ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.8 ข แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (2,895.60 มก. และ 387.67 มก. ตามลำดับ) มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของข้าวโพดได้มีการงอกออกมาและมีใบบ้างเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นข้าวโพดต้องการทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.8 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด ที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดยังคงเป็นอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (3,249.00 มก. และ 516.67 มก. ตามลำดับ) เช่นดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.8 ง แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (4,155.67 มก. และ 611.67 มก. ตามลำดับ) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 (2,793.00 มก. และ 558.00 มก. ตามลำดับ) 2:1 (2,262.00 มก. และ 377.00 มก. ตามลำดับ) และ 8:1 (3,937.00 มก. และ 643.67 มก. ตามลำดับ) อย่างชัดเจน นอกจากนี้ผลการทดลองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าน้ำหนักมากกว่าชุดควบคุม หรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูก แสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด



ภาพที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และสัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.2.1.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวโพด

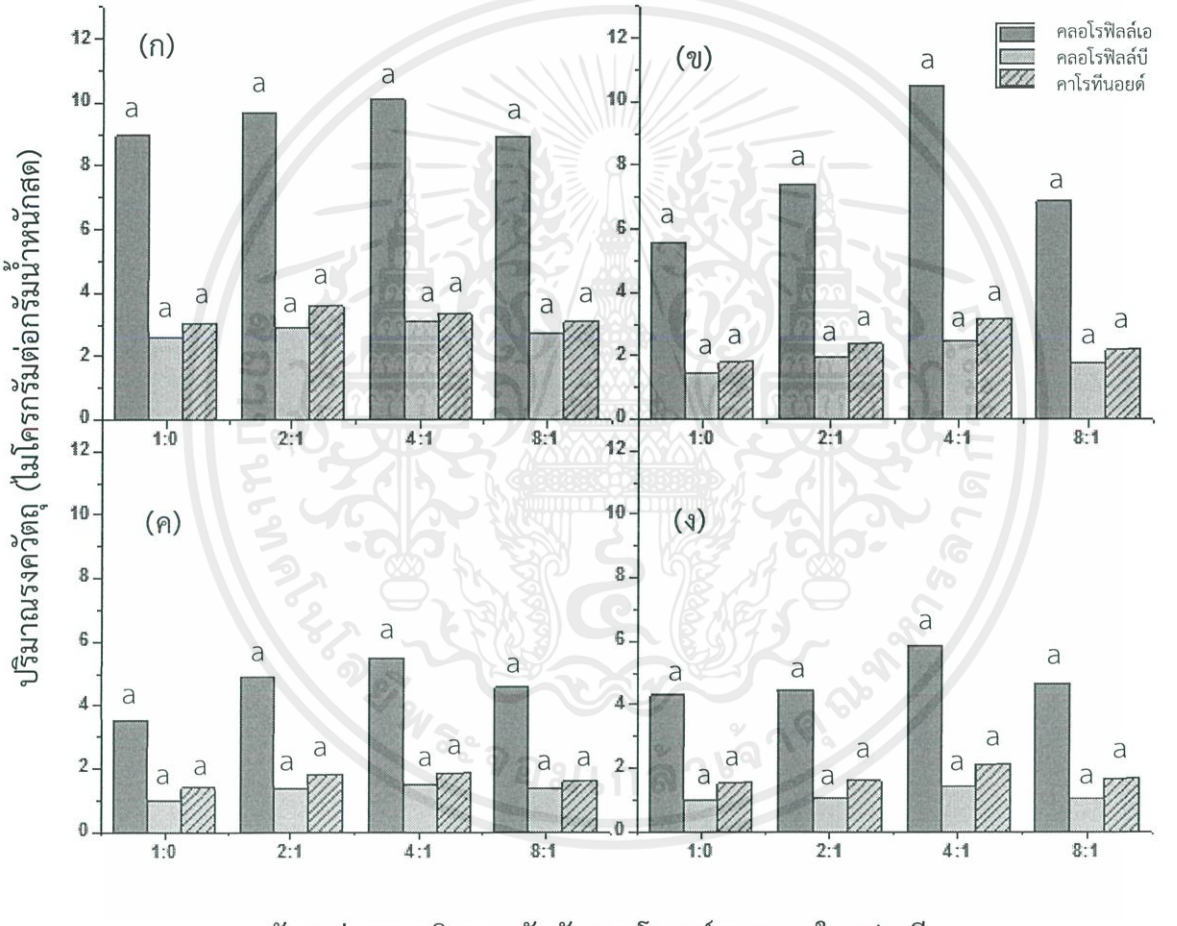
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีในสภาวะต่างๆ นั้นสัปดาห์แรกแสดงในภาพที่ 4.9 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (10.09 ไมโครกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักสด, 3.11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.34 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นมีปริมาณการสะสมของรงควัตถุดังกล่าวมากที่สุดทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์นี้จะเป็นส่วนที่นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศมาผ่านการสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสัปดาห์นี้ยังไม่มีใบเกิดขึ้นกับการงอกของเมล็ดข้าวมากนัก จึงทำให้เมล็ดข้าวนั้นได้มีการดูดซึมคาร์บอนจากดินเท่านั้น ถึงแม้ว่า อัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 นั้นจะทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลลด์มากกว่า แต่น่าจะไม่ส่งผลต่อต้นข้าวที่มีใบเพียงเล็กน้อยมากนัก เมื่อเทียบกับสารอาหารที่ได้จากดินที่มีคาร์บอนสูง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.9 ข แสดงให้เห็นว่าระยะนี้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตขึ้นจนมีปริมาณใบมากเพียงพอซึ่งอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 4:1 (10.49 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.47 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.18 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) นั้นทำการสังเคราะห์แสงด้วยปริมาณของรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณมาก ทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในโครงสร้างความยาวและน้ำหนักสดรวมไปถึงน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด ซึ่งผลการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ให้ผลเช่นเดียวกับในสัปดาห์แรกคือที่อัตราส่วนของดินและวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ (10.49 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.47 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.18 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) มากที่สุด ต่อมาในสัปดาห์ที่ 3 ดังข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4.9 ค ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิมคือที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (5.50 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.46 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.90 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับความยาวลำต้นและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.9 ง ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่มีปริมาณมากที่สุดยังคงเป็นอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (5.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.41 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) นั้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 1:0 (4.30 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.55 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) 2:1 (4.48 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.06 ไมโครกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักสด และ 1.58 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) และ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 8:1 (4.67 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.03 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.69 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับความยาวลำต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในการทดลองทั้ง 4 สัปดาห์ที่ผ่านมา ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของชุดการทดลองที่มีการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีนั้นมีมากกว่าชุดควบคุมในทุกสัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 4.9 แสดง ปริมาณรงควัตถุของต้นข้าวโพด โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

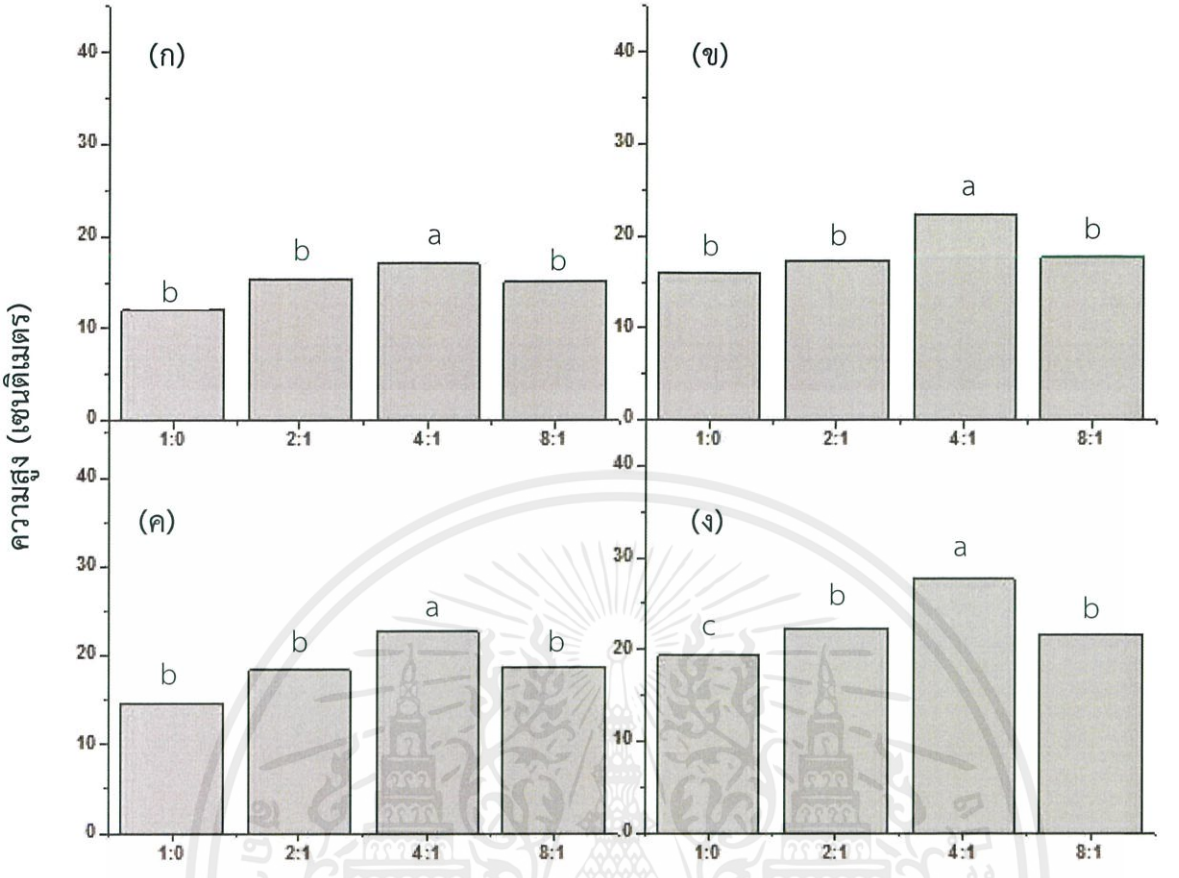
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ต้นข้าว

4.2.2.1 การเจริญเติบโตของต้นข้าว

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกสภาวะที่ทำการทดลอง ดังภาพที่ 4.10 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงของต้นข้าวที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น อัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (17.00 ซม.) แต่ในสัปดาห์แรกนี้ ยังมีความแตกต่างกันไม่ชัดเจน เนื่องจากอยู่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับผลที่ได้จากต้นข้าวโพด ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.10 ข แสดงให้เห็นว่าความยาวลำต้นของต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (22.33 ซม.) มีความยาวของลำต้นมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของข้าวได้มีการงอกออกมาและมีใบบ้างเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นข้าวต้องการทำให้มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.10 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว ที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดยังคงเป็นข้าวที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (22.67 ซม.) เช่นเดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.10 ง และ 4.10 จ แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (27.67 ซม.) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่าง อัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 2:1 และ 8:1 (19.33 ซม. 22.33 ซม.และ 21.67 ซม. ตามลำดับ) นอกจากนี้ผลการทดทองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าการเจริญเติบโตของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าความยาวลำต้นที่เจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุมหรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการปลูก (1:0) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

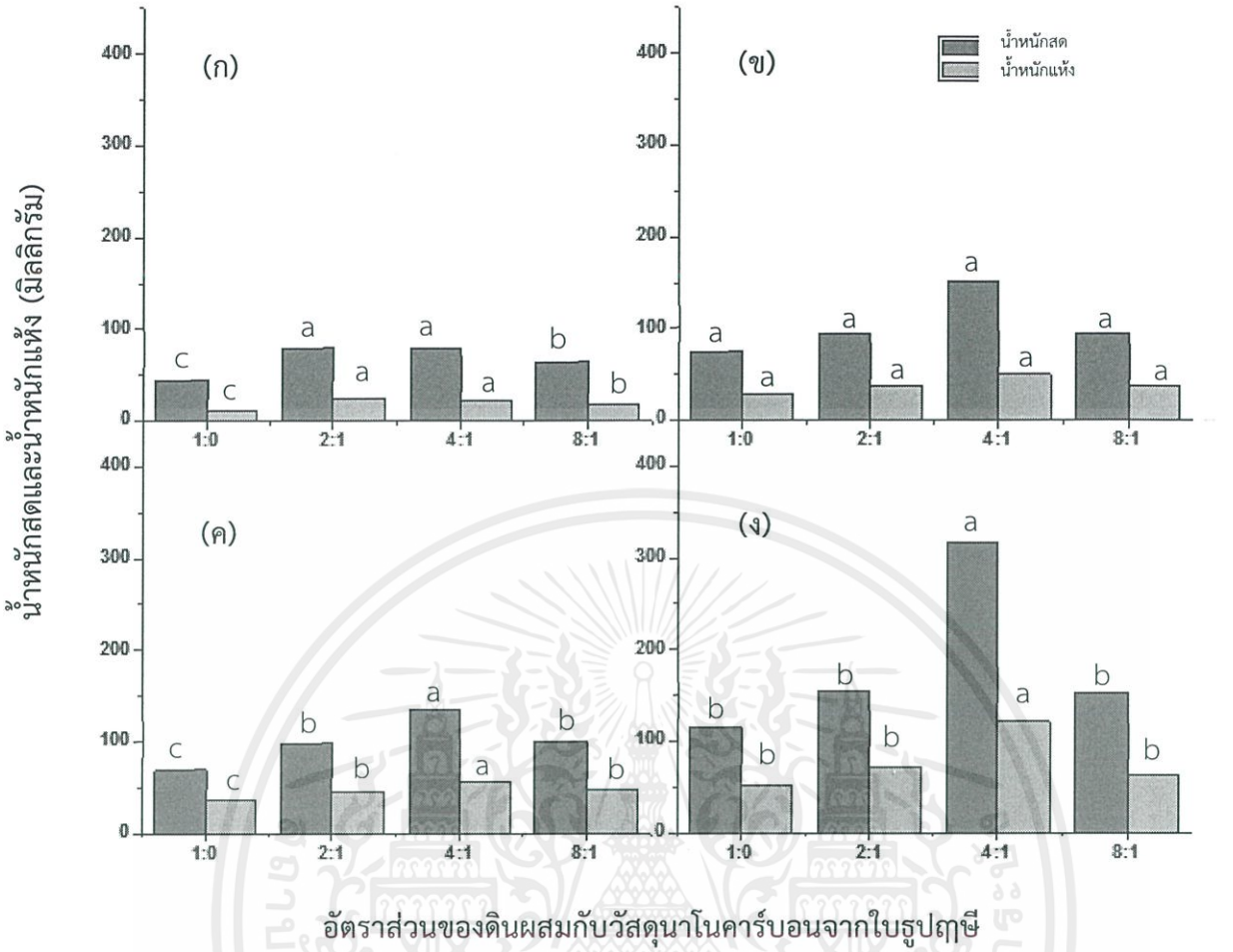


ภาพที่ 4.10 แสดงความยาวลำต้นข้าว (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ต้นข้าวมีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกสภาวะที่ทำการทดลอง โดยแสดงในภาพที่ 4.11 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (79.00 มก. และ 22.33 มก. ตามลำดับ) ในสัปดาห์แรกนี้ อาจจะยังเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจนนักเช่นเดียวกับผลการทดลองของความยาวต้นในการทดลองก่อนหน้านี้ ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.11 ข แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (151.66 มก. และ 49.33 มก. ตามลำดับ) มีน้ำหนักสดและน้ำหนักห้งมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของข้าวได้มีการงอกออกมาและมีใบบ้างเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นข้าวต้องการทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.11 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว ที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดยังคงเป็นอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (133.67 มก. และ 56.67 มก. ตามลำดับ) เช่นดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่4.11 ง แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (317.33 มก. และ 120.66 มก. ตามลำดับ) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ข้าวมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 (115.67 มก. และ 52.00 มก. ตามลำดับ) 2:1 (155.33 มก. และ 71.00 มก. ตามลำดับ) และ 8:1 (153.00 มก. และ 62.67 มก. ตามลำดับ) อย่างชัดเจน นอกจากนี้ผลการทดลองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าน้ำหนักมากกว่าชุดควบคุม หรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการปลูก (1:0) แสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และสัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.2.2.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว

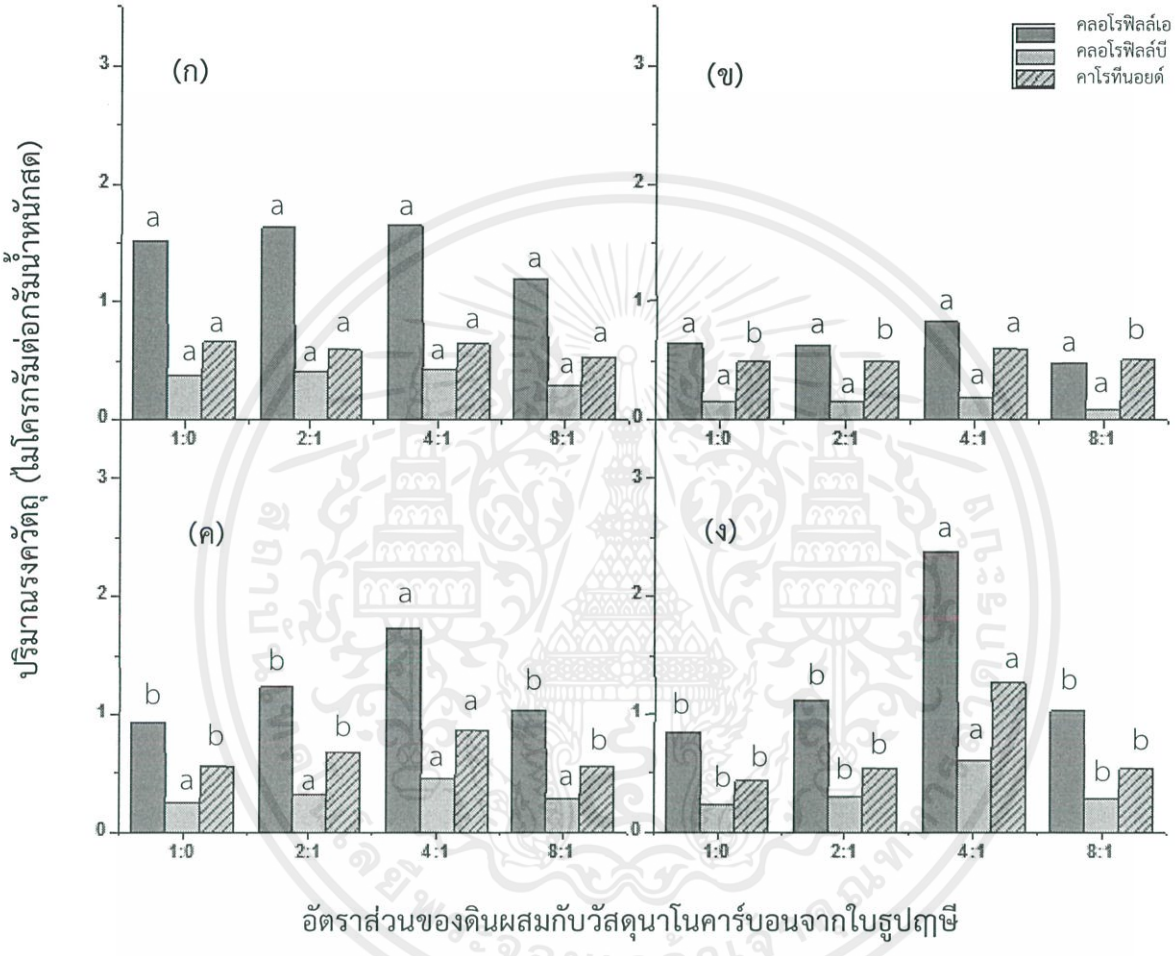
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าวนั้นสัปดาห์แรกแสดงในภาพที่ 4.12 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (1.65 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.42 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.64 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นมีปริมาณการสะสมของรงควัตถุดังกล่าวมากที่สุดทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ สอดคล้องกับความยาวลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์นี้จะเป็นส่วนที่นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศมาผ่านการสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสัปดาห์นี้ยังไม่มีใบเกิดขึ้นกับการงอกของเมล็ดข้าวมากนัก จึงทำให้เมล็ดข้าวนั้นได้มีการดูดซึมคาร์บอนจากดินเท่านั้น ถึงแม้ว่า อัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 นั้นจะทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลลด์มากกว่า แต่น่าจะไม่ส่งผลต่อต้นข้าวที่มีใบเพียงเล็กน้อยมากนัก เมื่อเทียบกับสารอาหารที่ได้จากดินที่มีคาร์บอนสูง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.12 ข แสดงให้เห็นว่าระยะนี้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตขึ้นจนมีปริมาณใบมากเพียงพอ ซึ่งอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 4:1 (0.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.19 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นทำการสังเคราะห์แสง ด้วยปริมาณของรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณมาก ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในโครงสร้างความยาวและน้ำหนักสดรวมไปถึงน้ำหนักแห้งของต้นข้าว ซึ่งผลการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคาโรทีนอยด์เหมือนในสัปดาห์แรกคือ ที่อัตราส่วนของดินและวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ (0.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.19 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) มากที่สุด ต่อมาในสัปดาห์ที่ 3 ดังข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4.12 ค ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคาโรทีนอยด์ ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิมคือที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (1.72 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด , 0.44 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับความยาวลำต้นและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.12 ง ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่มีปริมาณมากที่สุดยังคงเป็น อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (2.38 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.61 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) นั้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 1:0 (0.85 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.23 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) 2:1 (1.12 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.29 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.55 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) และ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 8:1 (1.02 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.53 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบนี้สอดคล้องกับความยาวลำต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในการทดลองทั้ง 4 สัปดาห์ที่ผ่านมา ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของชุดการทดลองที่มีการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีนั้นมีมากกว่าชุดควบคุม



ภาพที่ 4.12 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าว โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

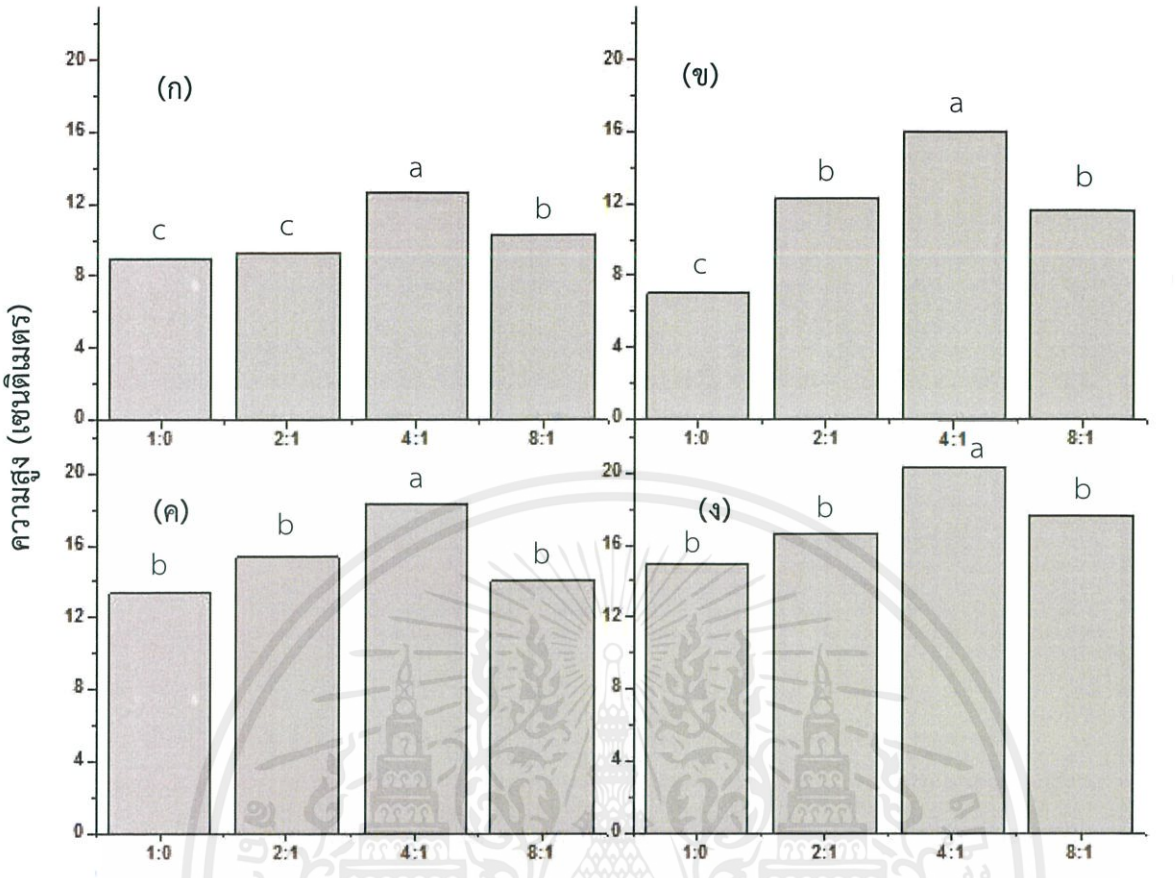
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ต้นถั่วลิสง

4.2.3.1 การเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น ถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกสภาวะที่เพาะเลี้ยง ดังภาพที่ 4.13 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงของต้นถั่วลิสงที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น อัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (12.67 ซม.) แต่ในสัปดาห์แรกนี้ ยังมีความแตกต่างกันไม่ชัดเจน เนื่องจากอยู่ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.13 ข แสดงให้เห็นว่าความยาวลำต้นของถั่วลิสงที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (16 ซม.) มีความยาวของลำต้นมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของถั่วลิสงได้มีการงอกออกมาและมีใบบางเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นถั่วลิสงต้องการทำให้มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.13 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง ที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดยังคงเป็นถั่วลิสงที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (18.33 ซม.)เช่นเดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.13 ง แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (20.33 ซม.) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ถั่วลิสงเจริญเติบโตได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่าง อัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 2:1 และ 8:1 (15.00 ซม. , 16.67 ซม. และ 17.67 ซม. ตามลำดับ) นอกจากนี้ผลการทดทองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าการเจริญเติบโตของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าความยาวลำต้นที่เจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุม หรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าการเจริญเติบโตที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

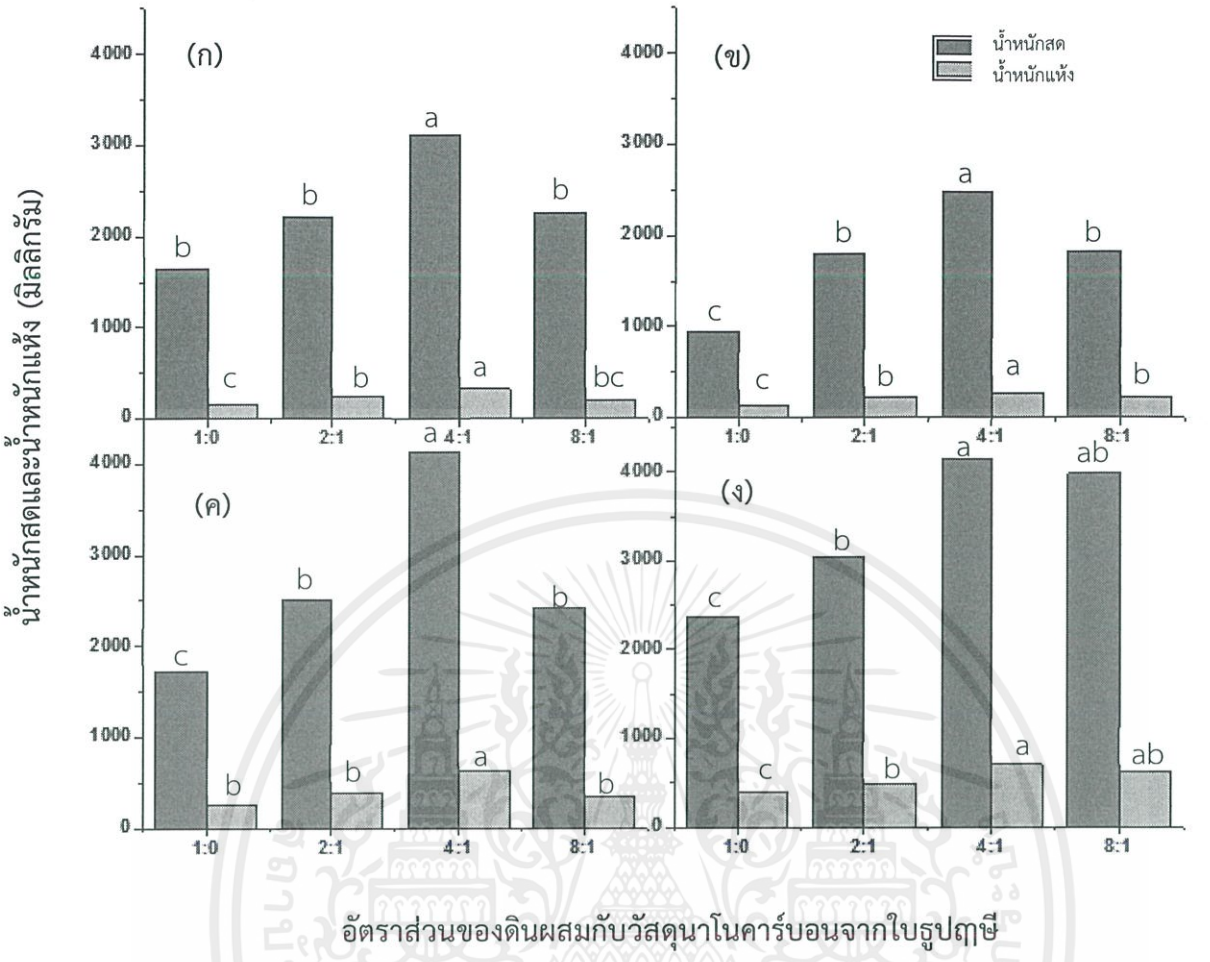


ภาพที่ 4.13 แสดงความยาวลำต้นถั่วลิสง (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสงในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ถั่วลิสงมีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกสภาวะการทดลอง โดยแสดงในภาพที่ 4.14 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของถั่วลิสงที่มีการงอกออกมาจากเมล็ดในสัปดาห์แรกนั้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสงที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (3,100.33 มก. และ 319.33 มก. ตามลำดับ) ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.14 ข แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสงที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่อัตราส่วน 4:1 (2,466.00 มก. และ 265.33 มก. ตามลำดับ) มีน้ำหนักสดและน้ำหนักห้งมากที่สุด เนื่องจากในระยะที่ 2 ต้นของถั่วลิสงได้มีการงอกออกมาและมีใบบ้างเล็กน้อยจึงทำให้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ต้องการนั้นลดลงและต้องการแร่ธาตุอื่นๆ ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนดินต่อวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 2:1 นั้นอาจจะมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจนมีปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ ไม่เพียงพอ ซึ่งในอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 มีความเหมาะสมกับปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่ต้นถั่วลิสงต้องการทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.14 ค นั้นการเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง ที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดยังคงเป็นอัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 (4138.33 มก. และ 632.67 มก. ตามลำดับ) เช่นดียวกับผลที่แสดงออกในสัปดาห์ที่ 2 และในสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายหรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.14 ง แสดงให้เห็นว่าที่ที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 4:1 (4,151.00 มก. และ 703.33 มก. ตามลำดับ) นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่ทำให้ถั่วลิสงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งได้มากที่สุดเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างอัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี ที่ 1:0 (2,377.00 มก. และ 382.33 มก. ตามลำดับ) 2:1 (3,033.67 มก. และ 478.00 มก. ตามลำดับ) และ 8:1 (3,977.00 มก. และ 620.33 มก. ตามลำดับ) อย่างชัดเจน นอกจากนี้ผลการทดลองในทุกสัปดาห์นั้น ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของทุกๆ อัตราส่วนระหว่างดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษี มีค่าน้ำหนักมากกว่าชุดควบคุม หรือชุดที่มีการใช้ดินธรรมดาในการปลูก แสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนอื่นๆ อาจจะไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดแต่ยังคงทำให้มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากกว่าชุดควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แสดงปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และสัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.2.3.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นถั่วลิสง

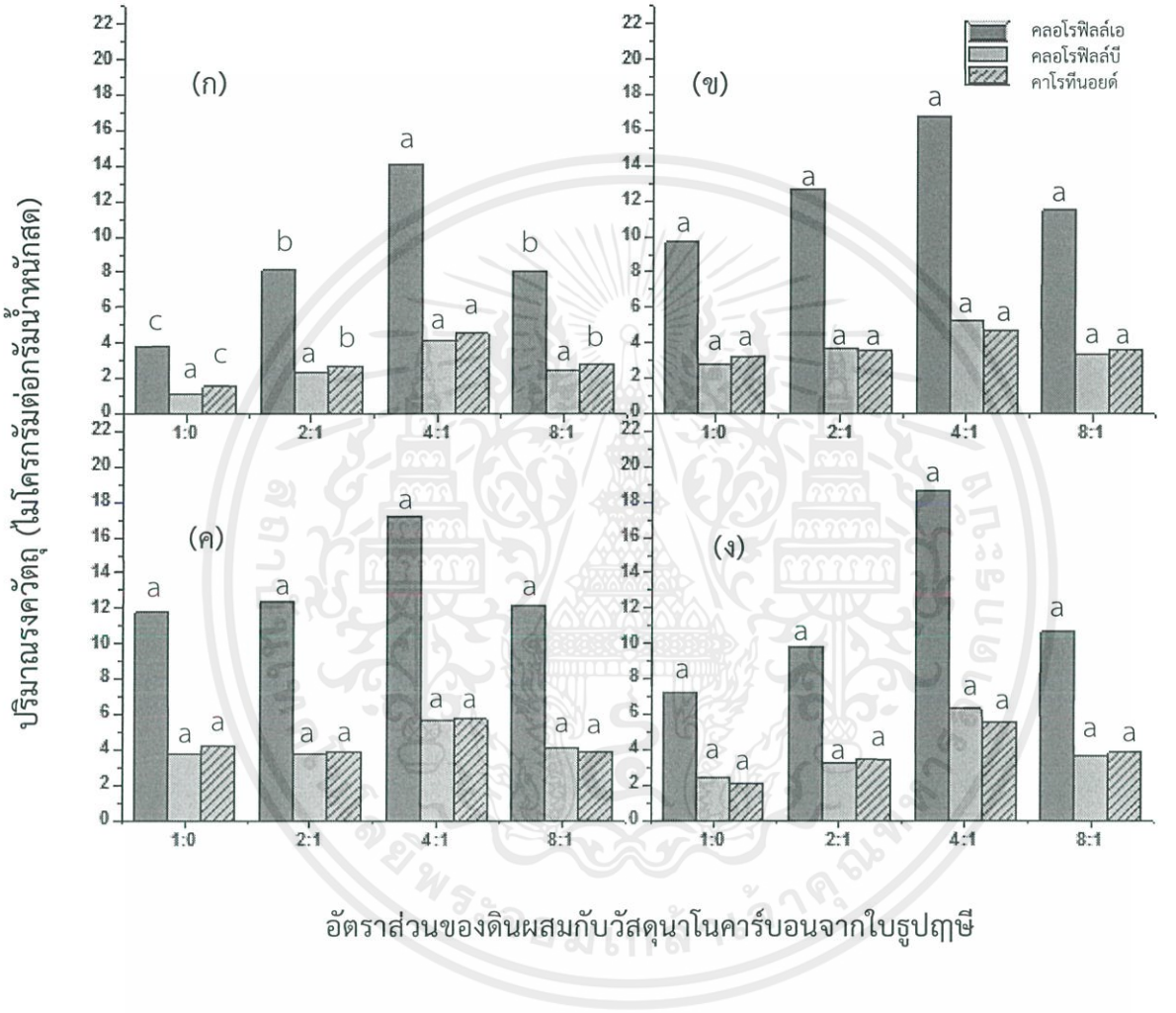
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นถั่วลิสงนั้นสัปดาห์แรกแสดงในภาพที่ 4.15 ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของต้นถั่วลิสงที่เพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (14.10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 4.08 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 4.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นมีปริมาณการสะสมของรงควัตถุดังกล่าวมากที่สุดทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ มากที่สุดเช่นเดียวกับผลการทดลองที่มีการศึกษาความยาวลำต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในการทดลองก่อนหน้านี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอยด์นี้จะเป็นส่วนที่นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศมาผ่านการสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสัปดาห์นี้ยังไม่มีใบเกิดขึ้นกับการงอกของเมล็ดถั่วลิสงมากนัก จึงทำให้เมล็ดถั่วลิสงนั้นได้มีการดูดซึมคาร์บอนจากดินเท่านั้น ถึงแม้ว่า อัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 4:1 นั้นจะทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลลด์มากกว่า แต่น่าจะไม่ส่งผลต่อต้นถั่วลิสงที่มีใบเพียงเล็กน้อยมากนัก เมื่อเทียบกับสารอาหารที่ได้จากดินที่มีคาร์บอนสูงเช่นเดียวกับผลที่ได้จากต้นข้าวโพด ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.15 ข แสดงให้เห็นว่าระยะนี้ถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตขึ้นจนมีปริมาณใบมากเพียงพอซึ่งอัตราส่วนดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคาโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 4:1 (16.78 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 5.30 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 4.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นทำการสังเคราะห์แสงด้วยปริมาณของรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณมาก ทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในโครงสร้างความยาวและน้ำหนักสดรวมไปถึงน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง ซึ่งผลการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคาโรทีนอยด์ เหมือนในสัปดาห์แรกคือ ที่อัตราส่วนของดินและวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ (16.78 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 5.30 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 4.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) มากที่สุด ต่อมาในสัปดาห์ที่ 3 ดังข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4.15 ค ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและคาโรทีนอยด์ ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิมคือที่อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (17.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด , 5.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 5.71 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับความยาวลำต้นและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 แสดงข้อมูลในภาพที่ 4.15 ง ผลการทดลองวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่มีปริมาณมากที่สุดยังคงเป็น อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 (18.67 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 6.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 5.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) นั้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 1:0 (7.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) 2:1 (9.82 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.16 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.41 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) และ อัตราส่วนของดินผสมกับวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 8:1 (10.67 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.65 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สด และ 3.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับความยาวลำต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในการทดลองทั้ง 4 สัปดาห์ที่ผ่านมา ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของชุดการทดลองที่มีการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีนั้นมีมากกว่าชุดควบคุม (7.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ)



ภาพที่ 4.15 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นถั่วลิสง โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

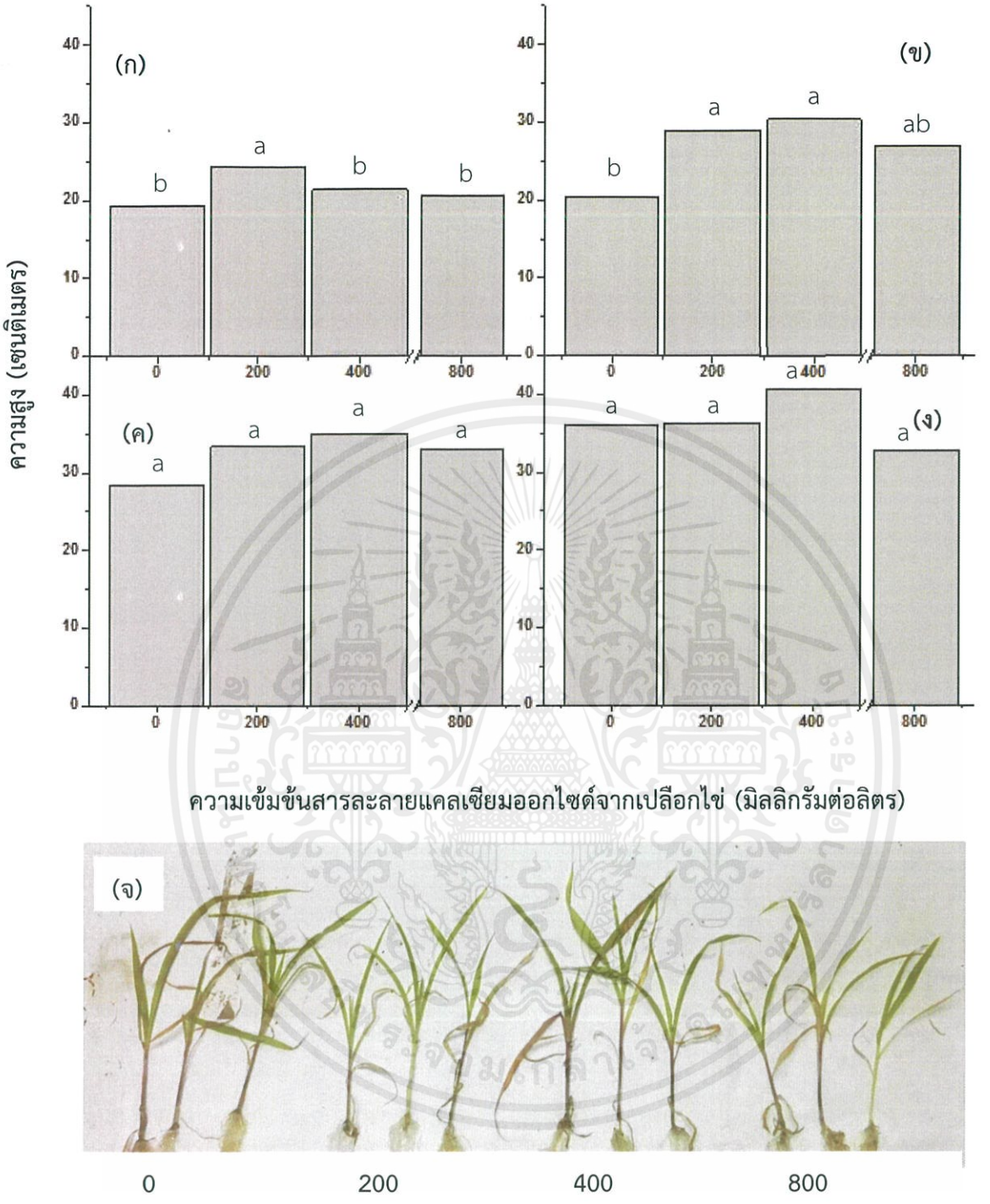
4.3 ผลของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ต่อการเจริญเติบโตของตัวอย่างต้นพืช

4.3.1 ต้นข้าวโพด

4.3.1.1 การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น บทบาทของแคลเซียมในพืชนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ซึ่งในระยะแรก หรือสัปดาห์ที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.16 ก นั้นเมล็ดข้าวโพดอาจจะยังไม่ต้องการแคลเซียมมากนักจึงทำให้ผลการเติมแคลเซียมที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่ใช้รดต้นข้าวโพดนั้นยังไม่พบความแตกต่างมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ไปที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ความยาวของลำต้นนั้นมีขนาดเล็กกว่า ความเข้มข้นอื่นๆ หรืออาจจะมีปริมาณมากเกินไปจนเป็นพิษในข้าวโพด ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.16 ข ความยาวลำต้นของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (30.33 ซม.) นั้นทำให้ค่าความยาวลำต้นนั้นยาวที่สุด หรือมีการเจริญเติบโตมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นนี้เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด หากเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้ในการเจริญเติบโต หรือ เติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจจะ ก่อให้เกิดสารพิษแก่ข้าวโพดขึ้น ในสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.16 ค ให้ผลเช่นเดียวกันกับสัปดาห์ที่ 2 คือค่าความยาวลำต้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวโพดมีความยาวลำต้นมากที่สุด ยังคงแสดงให้เป็นว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นนี้ยังคงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ของข้าวโพดอยู่ (35.00 ซม.) และสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.16 ง และ 4.16 จ ผลการทดลองยังคงแนวโน้มเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 คือค่าความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (40.66 ซม.) นั้นเหมาะสมแก่ข้าวโพดอยู่ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ จนเป็นความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (32.66 ซม.) พืชกลับมีขนาดที่เล็กลงแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษของแคลเซียมออกไซด์ที่มากจนเกินพอดี และขณะที่ ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (36.33 ซม.) นั้น ให้ค่าลดลงเช่นเดียวกัน อาจจะเกิดจากมีการแคลเซียมที่ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งการเติมแคลเซียมช่วยให้มีการเจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุม (36.00 ซม.) ยกเว้นเมื่อเติมแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

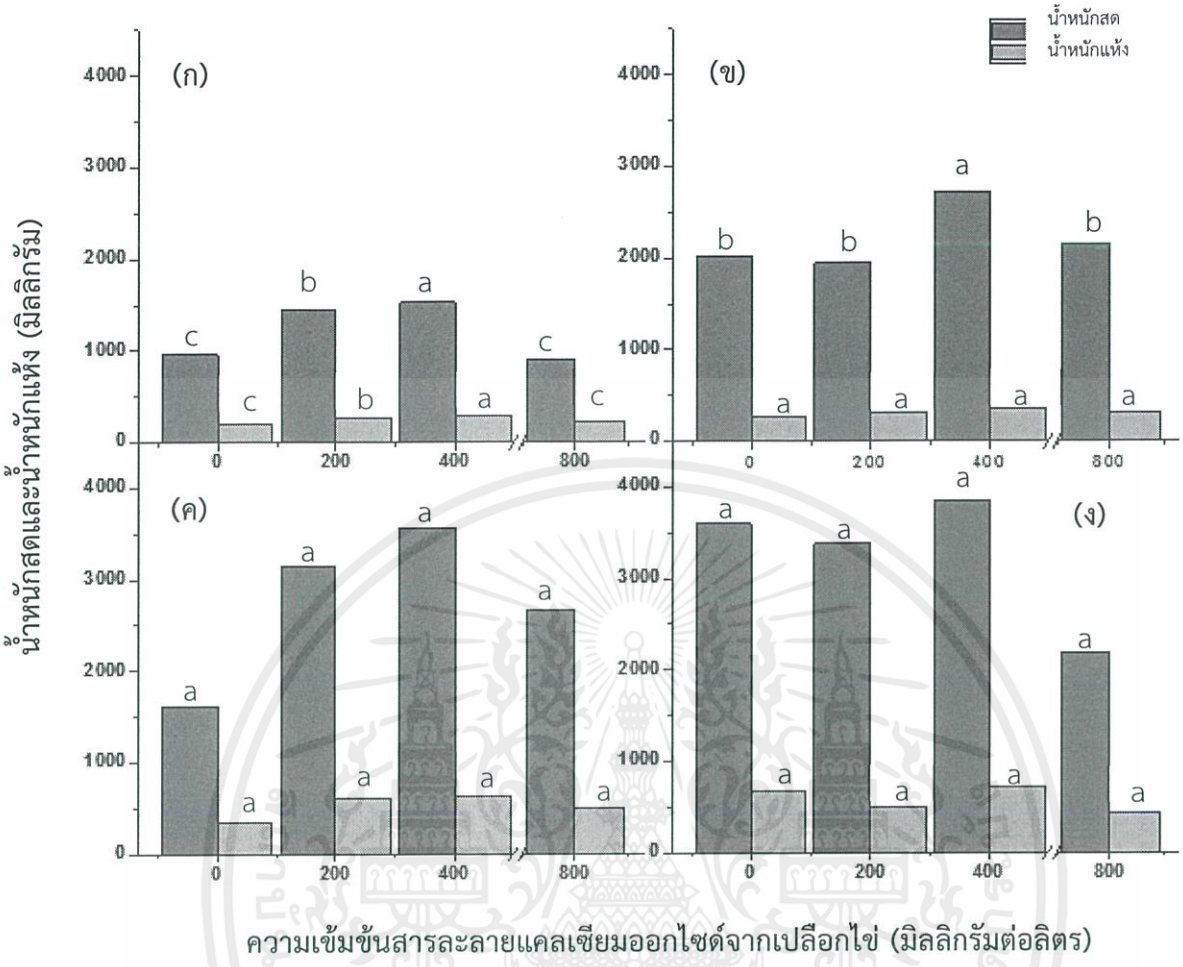


ภาพที่ 4.16 แสดงความยาวลำต้นข้าวโพด (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ต้นข้าวโพด ในส่วนของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งนั้น ในสัปดาห์ที่ 1 แสดงในภาพที่ 4.17 ก มีผลสอดคล้องกับ ค่าความยาวของลำต้นข้าวโพดดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น คือที่ระยะแรกนั้นยังคงเป็นเมล็ดอาจจะมีความต้องการแคลเซียมในการสร้างผนังเซลล์ยังน้อยอยู่ซึ่งความเข้มข้นของแคลเซียมต่างๆ จึงไม่แสดงออกไม่ค่อยชัดในสัปดาห์นี้ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.17 ข ผลที่ได้นั้นเหมือนกับค่าความยาวจากผลการทดลองข้างต้น คือ ต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงโดยการรดสารละลายแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (2,713.33 มก. และ 352.33 มก. ตามลำดับ) นั้นได้ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวโพดมีน้ำหนักมากที่สุด สัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.17 ค ผลการทดลองยังคงแนวโน้มเดิมและสอดคล้องกับค่าความยาวต้นคือ ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ 400 มิลลิกัรมต่อลิตร (3,558.33 มก. และ 631.6 มก. ตามลำดับ) นั้นได้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดมากที่สุดทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของน้ำที่ไม่ผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) (1,611.67 มก. และ 331.33 มก. ตามลำดับ) ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (3,132.67 มก. และ 604.00 มก. ตามลำดับ) และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (2,655.00 มก. และ 493.00 มก. ตามลำดับ) ต่อมาสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.17 ง ให้ผลสอดคล้องกับค่าความยาวต้นและน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ก่อนหน้า คือค่าความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ใช้ผสมในน้ำรดต้นข้าวโพดนั้นที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (3,838.33 มก. และ 722.66 มก. ตามลำดับ) มีความเหมาะสมพอเพียงต่อความต้องการของพืชในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์นอกจากนี้ยังคงเป็นปริมาณที่ยังไม่ก่อให้เกิดผลเสีย หรือมีความเป็นพิษเหมือนในความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (2,178.33 มก. และ 427.33 มก. ตามลำดับ) หรือมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงต่อพอการนำไปใช้ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (3,373.67 มก. และ 494.67 มก. ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

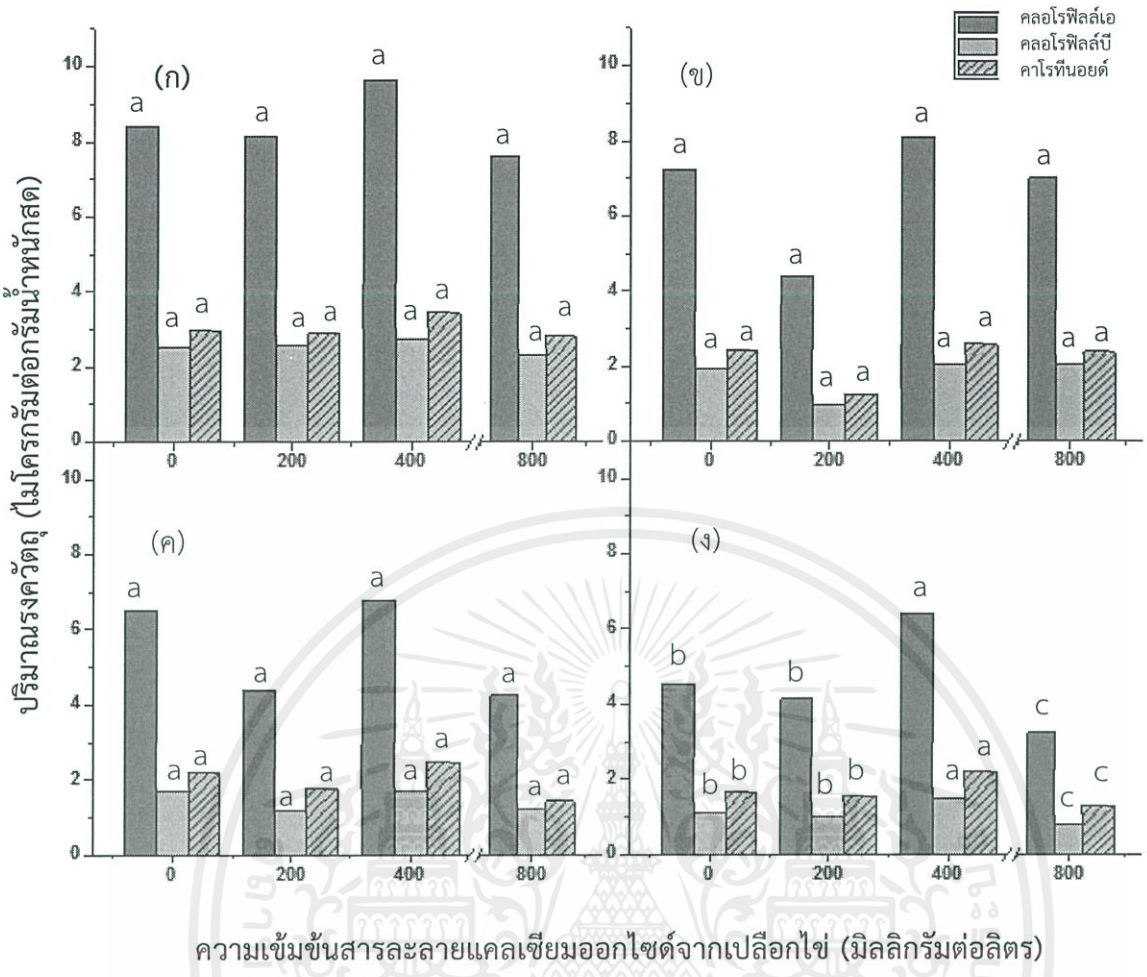
4.3.1.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวโพด

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าวโพดในสัปดาห์แรกนั้นได้มีการแสดงไว้ในภาพที่ 4.12 ก ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มีการสะสมมากที่สุดพบในต้นข้าวโพดที่ใช้ ความเข้มข้นของน้ำรดที่มีการผสม แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าค่าความยาวลำต้นและน้ำหนักจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ของอัตราส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมล่อลิตรนั้น มีปริมาณมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดนี้จะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแต่ในสัปดาห์แรกยังมีปริมาณใบที่น้อยอยู่จึงยังไม่ส่งผลมาก ต่อมาสัปดาห์ที่ 2 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.12 ข นั้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร(8.10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.06 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.55 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตที่มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดลองวัดความยาวลำต้นและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง สัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.12 ค ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มากที่สุดยังคงเป็นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (6.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.71 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.46 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ดังเช่นสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (4.36 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.17 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.73 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (4.24 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.19 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.40 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และในสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.12 ง นั้น ค่าความเข้มข้นของ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ มากที่สุดคือ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (6.42 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.47 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.18 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ซึ่ง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ในน้ำรดจนไปถึงความเข้นข้นที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (3.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.80 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ค่าที่ได้กลับมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นพิษเกิดขึ้นกับต้นข้าวโพด และอัตราส่วน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (4.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 1.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.55 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นอาจจะมีความเข้มข้นยังไม่เพียงพอต่อการสร้างผนังเซลล์พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าวโพด โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.3.2 ต้นข้าว

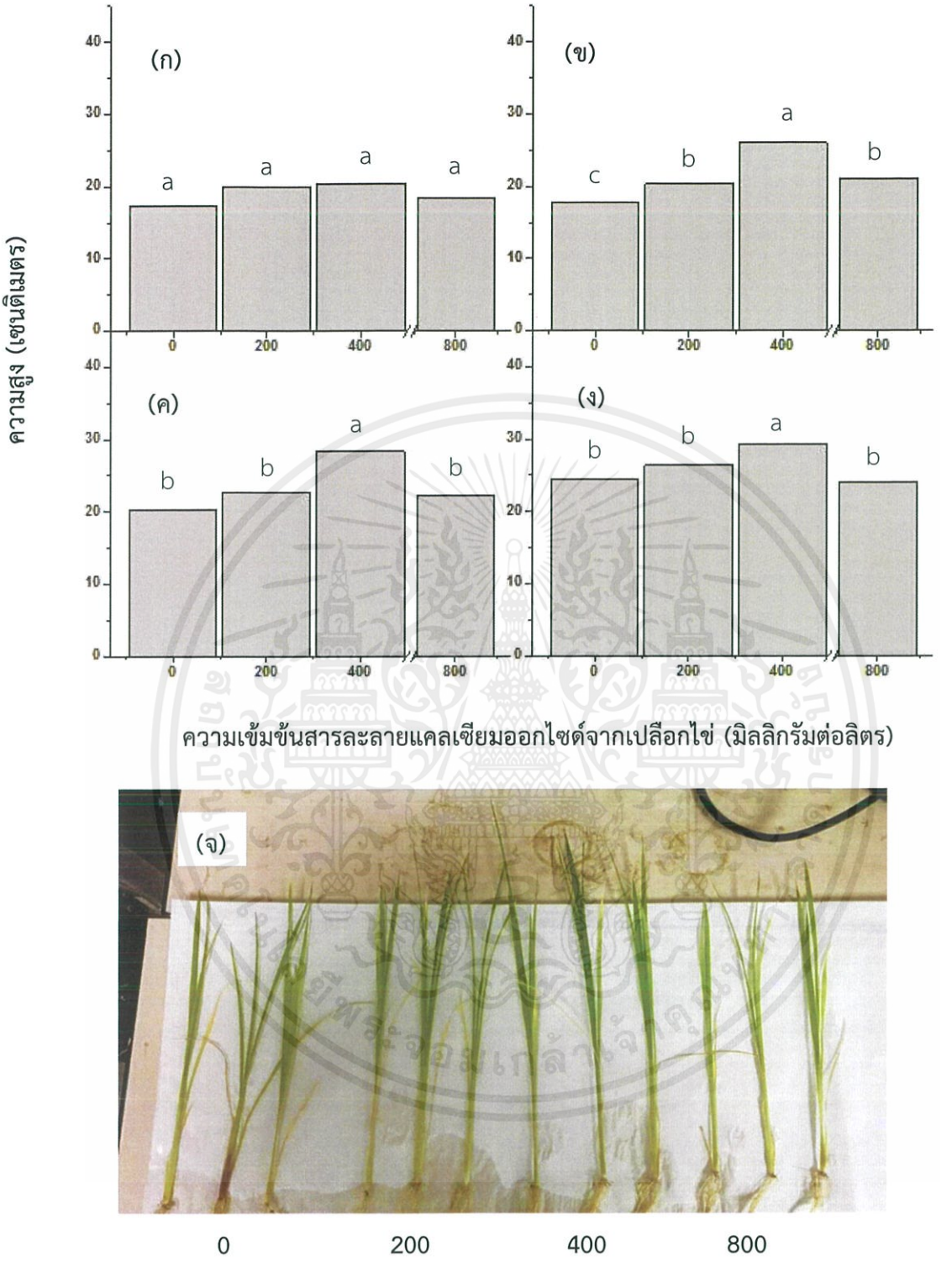
4.3.2.1 การเจริญเติบโตของต้นข้าว

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น บทบาทของแคลเซียมในพืชนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ซึ่งในระยะแรก หรือสัปดาห์ที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.19 ก นั้นเมล็ดข้าวอาจจะยังไม่ต้องการแคลเซียมมากนักจึงทำให้ผลการเติมแคลเซียมที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (20.00 ซม.) และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (20.33 ซม.) เช่นเดียวกับผลที่ได้จากต้นข้าวโพด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ใช้รดต้นข้าวนั้นยังไม่พบความแตกต่างมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ไปที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (18.33 ซม.) จะทำให้ความยาวของลำต้นนั้นมีขนาดเล็กกว่า ความเข้มข้นอื่นๆ หรืออาจจะมีปริมาณมากเกินไปจนเป็นพิษในต้นข้าว ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.19 ข ความยาวลำต้นของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (26.00 ซม.) นั้นทำให้ค่าความยาวลำต้นนั้นยาวที่สุด หรือมีการเจริญเติบโตมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นนี้เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าว หากเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้งาน หรือ เติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรอาจจะ ก่อให้เกิดสารพิษแก่ข้าวขึ้น ในสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.19 ค ให้ผลเช่นเดียวกันกับสัปดาห์ที่ 2 คือค่าความยาวลำต้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นข้าวมีความยาวลำต้นมากที่สุด ยังคงแสดงให้เป็นว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นนี้ ยังคงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ของข้าวอยู่ (28.33 ซม.) และสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.19 ง และ 4.19 จ ผลการทดลองยังคงแนวโน้มเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่ 2 และ 3 คือค่าความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (29.33 ซม.) นั้นเหมาะสมแก่ต้นข้าวอยู่ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ จนเป็นความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (24.00 ซม.) พืชกลับมีขนาดที่เล็กลงแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษของแคลเซียมออกไซด์ที่มากจนเกินพอดี และขณะที่ ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (26.33 ซม.) นั้น ให้ค่าลดลงเช่นเดียวกัน อาจจะเกิดจากมีการแคลเซียมที่ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งการเติมแคลเซียมช่วยให้มีการเจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุมที่รดด้วยน้ำที่ไม่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (24.33 ซม.) ยกเว้น เมื่อเติมแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

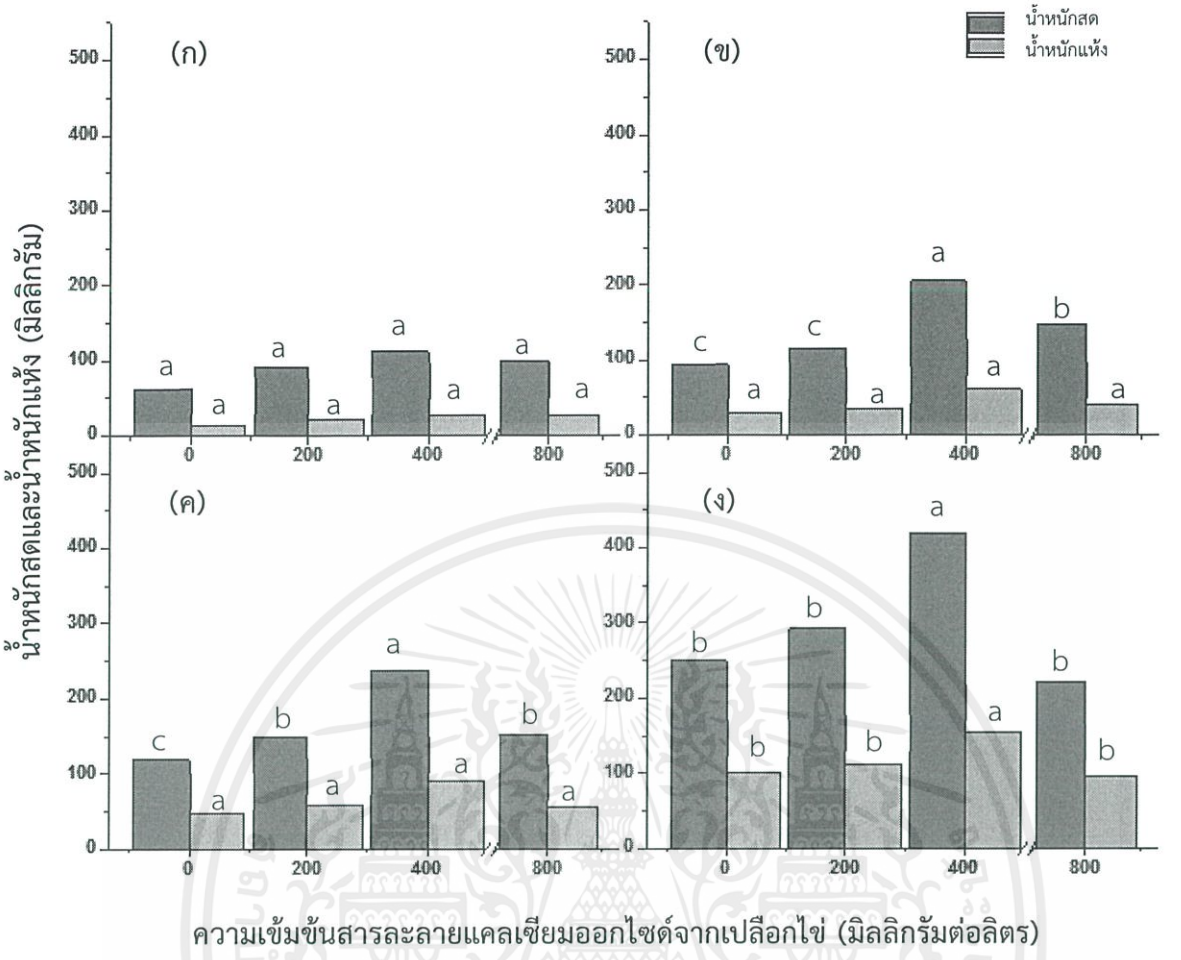


ภาพที่ 4.19 แสดงความยาวลำต้นข้าว (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว ในส่วนของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งนั้น ในสัปดาห์ที่ 1 แสดงในภาพที่ 4.20 ก มีผลสอดคล้องกับ ค่าความยาวของลำต้นข้าวดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น คือที่ระยะแรกนั้นยังคงเป็นเมล็ดอาจจะมีความต้องการแคลเซียมในการสร้างผนังเซลล์ยังน้อยอยู่ซึ่งความเข้มข้นของแคลเซียมต่างๆ จึงไม่แสดงออกไม่ค่อยชัดในสัปดาห์นี้ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.20 ข ผลที่ได้นั้นเหมือนกับค่าความยาวจากผลการทดลองข้างต้น คือต้นข้าวที่เพาะเลี้ยงโดยการรดสารละลายแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (204.67 มก. และ 60.67 มก. ตามลำดับ) นั้นได้ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวมีน้ำหนักมากที่สุด สัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.20 ค ผลการทดลองยังคงแนวโน้มเดิมและสอดคล้องกับค่าความยาวคือ ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ 400 มิลลิกัรมต่อลิตร (236.33 มก. และ 89.66 มก. ตามลำดับ) นั้นได้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของต้นข้าวมากที่สุดทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสดของความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (148.67 มก. และ 57.00 มก. ตามลำดับ) และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (150.00 มก. และ 55.00 มก. ตามลำดับ) ต่อมาสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.20 ง ให้ผลสอดคล้องกับค่าความยาวและน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ก่อนหน้า คือค่าความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ใช้ผสมในน้ำรดต้นข้าวนั้นที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (419.00 มก. และ 154.66 มก. ตามลำดับ) มีความเหมาะสมพอเพียงต่อความต้องการของพืชในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์นอกจากนี้ยังคงเป็นปริมาณที่ยังไม่ก่อให้เกิดผลเสีย หรือมีความเป็นพิษเหมือนในความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ในน้ำรดความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (222.00 มก. และ 95.33 มก. ตามลำดับ) และมีเพียงพอแก่การนำไปใช้ เมื่อเทียบกับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (291.67 มก. และ 111.33 มก. ตามลำดับ) โดยผลการทดลองทุกความเข้มข้นมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดควบคุมที่รดด้วยน้ำที่ไม่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (249.33 มก. และ 101.33 มก. ตามลำดับ) ยกเว้น ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

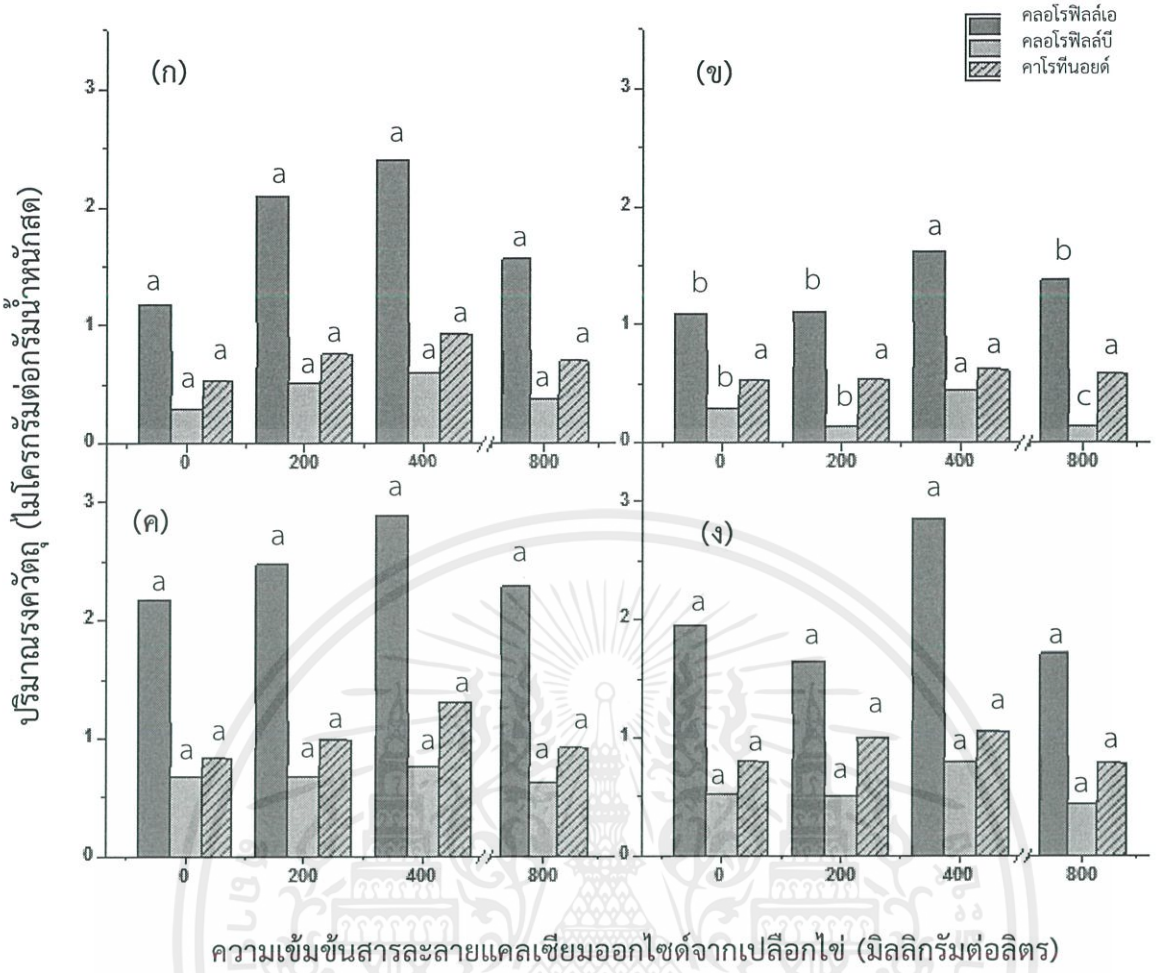
4.3.2.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นข้าวในสัปดาห์แรกนั้นได้มีการแสดงไว้ในภาพที่ 4.21 ก ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มีการสะสมมากที่สุดพบในต้นข้าวใช้ความเข้มข้นของน้ำรดที่มีการผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.40 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.92 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ซึ่งรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดนี้จะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างพลังงานสะสมอาหารและเป็นวัตถุดิบในการเจริญเติบโต แต่ในสัปดาห์แรกยังมีใบที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณ์จึงยังไม่ส่งผลมากนัก ต่อมาสัปดาห์ที่ 2 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.21 ข นั้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.44 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.61 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตที่มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดลองวัดความยาวลำต้นและน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.21 ค ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มากที่สุดยังคงเป็นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.88 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.75 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.31 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ดังเช่น 2 สัปดาห์ที่ผ่านมาเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.47 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.67 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.29 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.91 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และในสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.21 ง นั้น ค่าความเข้มข้นของ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (2.86 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.79 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 1.05 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับ 3 สัปดาห์แรกที่ผ่านมา เมื่อทำการเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ในน้ำรดจนไปถึงความเข้นข้นที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.71 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.78 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ค่าที่ได้กลับมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ลดลง แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นพิษเกิดขึ้นกับต้นข้าว และอัตราส่วน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.65 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.50 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นอาจจะมีความเข้มข้นยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ โดยทุกชุดการทดลองได้แสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่มากกว่าชุดควบคุมที่ใช้น้ำที่ไม่มีการผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (1.96 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 0.80 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ยกเว้นความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นข้าว โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.3.3 ต้นถั่วลิสง

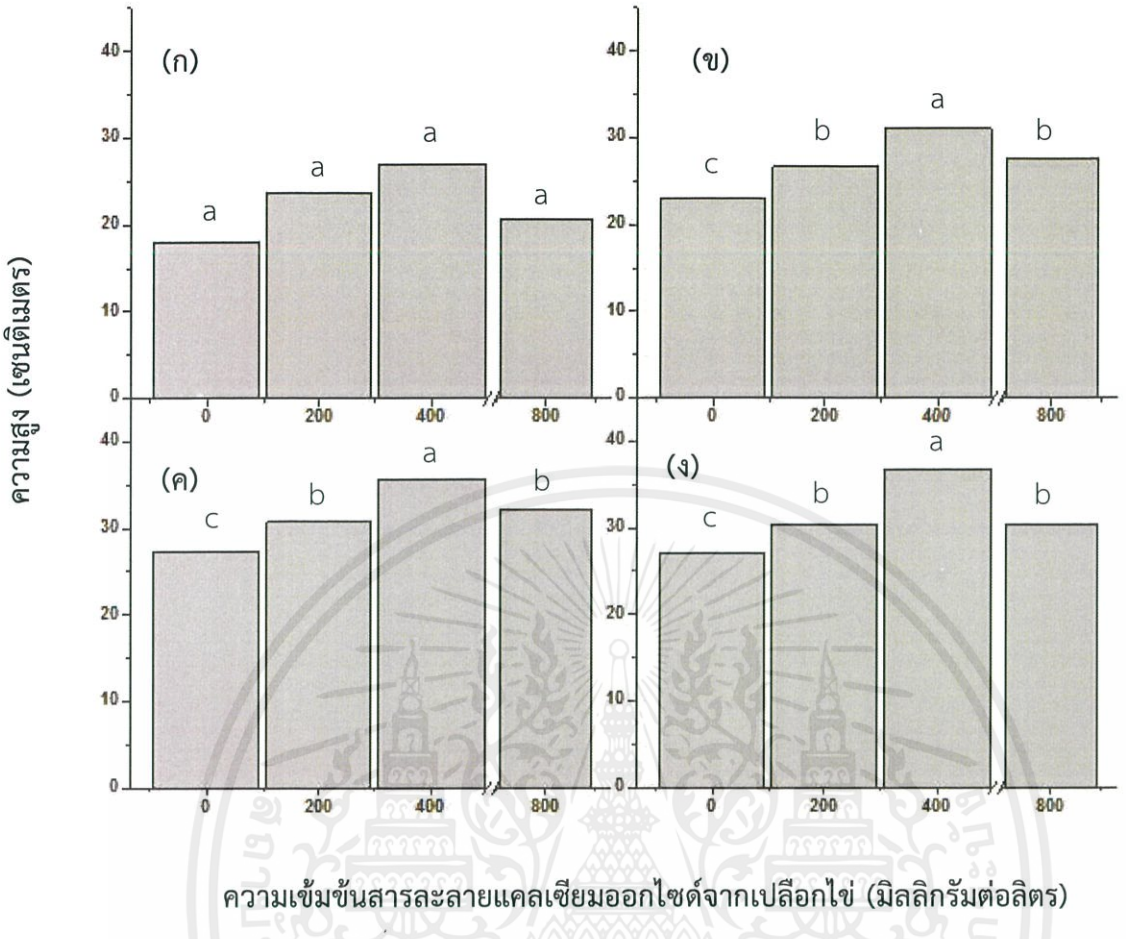
4.3.3.1 การเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง

(1) การเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น จากภาพที่ 4.22 ก แสดงให้เห็นว่า ในสัปดาห์แรกนั้น ต้นถั่วลิสงที่มีความสูงของลำต้นมากที่สุดได้แก่ต้นถั่วลิสงที่รดด้วยความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (27.00 ซม.) ซึ่งได้รับความเข้มข้นของแคลเซียมที่เหมาะสม เพราะบทบาทของแคลเซียมในพืชนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะแรก ต้นถั่วลิสงอาจจะยังไม่ต้องการแคลเซียมมากนักจึงทำให้ผลการเติมแคลเซียมที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (23.66 ซม.) มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมไปที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำรด จะทำให้ความยาวของลำต้นนั้นมีขนาดเล็กลงกว่า ความเข้มข้นอื่นๆ (20.66 ซม.) หรือมีปริมาณมากเกินไปจนเป็นพิษในถั่วลิสง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.22 ข ความยาวลำต้นของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (31.00 ซม.) นั้นส่งผลให้ความยาวลำต้นนั้นสูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองนั้นสอดคล้องกับสัปดาห์แรก แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นนี้เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสง หากเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้ในการสร้างผนังเซลล์พืช หรือเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตรจะ ก่อให้เกิดสารพิษแก่ถั่วลิสงขึ้น ในสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.22 ค ให้ผลเช่นเดียวกันกับสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 1 คือค่าความยาวลำต้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (35.66 ซม.) ทำให้ต้นถั่วลิสงมีความยาวลำต้นมากที่สุด ยังคงแสดงให้เป็นว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นนี้ ยังคงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ของถั่วลิสงอยู่ และสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.22 ง และ 4.22 จ ผลการทดลองยังคงแนวโน้มเช่นเดียวกับ 3 สัปดาห์ที่ผ่านมา คือค่าความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (36.66 ซม.) นั้นเหมาะสมแก่ถั่วลิสงอยู่ ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ จนเป็นความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (30.33 ซม.) พืชกลับมีขนาดที่น้อยกว่าแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษของแคลเซียมออกไซด์ที่มากจนเกินพอดี และขณะที่ ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (30.33 ซม.) นั้น ก็ให้ค่าน้อยกว่าเช่นเดียวกัน อาจจะเกิดจากมีการแคลเซียมที่ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ เช่นเดียวกับต้นถั่วลิสงที่มีการเพาะเลี้ยงในสภาวะที่รดน้ำธรรมดาไม่มีการผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (27.00 ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

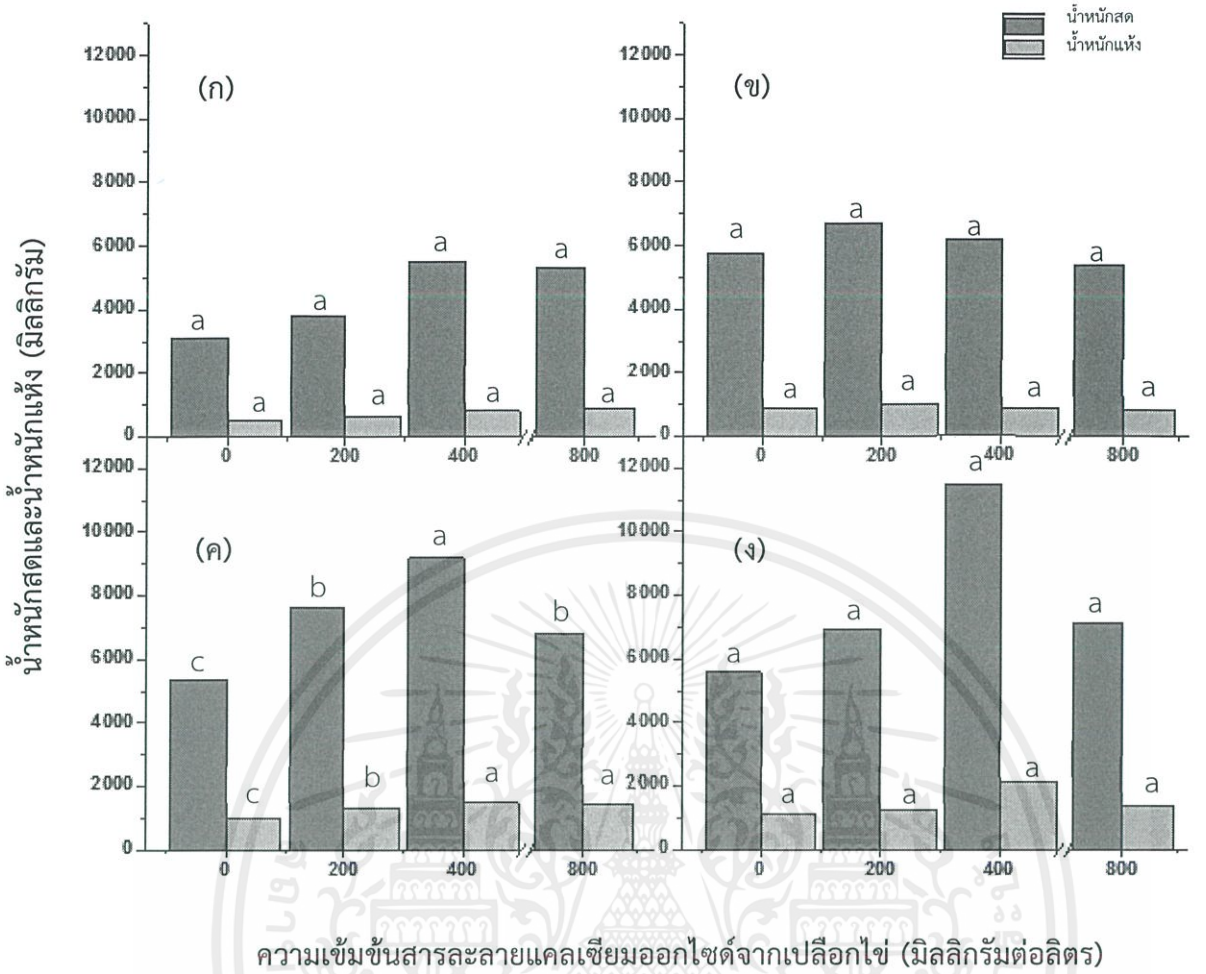


ภาพที่ 4.22 แสดงความยาวลำต้นถั่วลิสง (ซม.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) สัปดาห์ที่ 4 (ง) และรูปภาพการเจริญเติบโตของต้นถั่วลิสงในสัปดาห์ที่ 4 (จ) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง ในสัปดาห์ที่ 1 แสดงในภาพที่ 4.23 ก ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของถั่วลิสงที่มีน้ำหนักมากที่สุดนั้น มีผลสอดคล้องกับค่าความยาวของลำต้นข้าวโพดดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นคือน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (5,51600 มก. และ 801.33 มก. ตามลำดับ) ที่ระยะแรกนั้นเมล็ดถั่วลิสงอาจจะมีความต้องการแคลเซียมในการสร้างผนังเซลล์ยังน้อยอยู่ซึ่งความเข้มข้นของแคลเซียมต่างๆ จึงไม่แสดงออกไม่ค่อยชัดในสัปดาห์นี้ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 แสดงในภาพที่ 4.23 ข ผลที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (6,220.66 มก. และ 904.33 มก. ตามลำดับ) และ ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (6,712.00 มก. และ 992.33 มก. ตามลำดับ) แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.23 ค ผลการทดลองให้ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากที่สุดที่ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ 400 มิลลิกัรมต่อลิตร (9,174.66 มก. และ 1,465.66 มก. ตามลำดับ) นั้นได้แตกต่างกับสัปดาห์อื่นๆ อย่างชัดเจน ต่อมาสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 แสดงในภาพที่ 4.23 ง ให้ผลสอดคล้องกับค่าความยาวและน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ก่อนหน้า คือค่าความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ใช้ผสมในน้ำรดต้นถั่วลิสงนั้นที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (11,481.33 มก. และ 2,136 มก. ตามลำดับ) มีความเหมาะสมพอเพียงต่อความต้องการของพืชในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์นอกจากนี้ยังคงเป็นปริมาณที่ยังไม่ก่อให้เกิดผลเสีย หรือมีความเป็นพิษเหมือนในความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ในน้ำรดความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (7,117.66 มก. และ 1,354 มก. ตามลำดับ) และมีปริมาณเพียงพอสำหรับการนำไปใช้มากกว่าที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (6,947.33 มก. และ 1,216.67 มก. ตามลำดับ) โดยทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดควบคุม (5,591.00 มก. และ 1,093.33 มก. ตามลำดับ) ที่ใช้น้ำธรรมดาไม่มีการผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นถั่วลิสง (มก.) โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

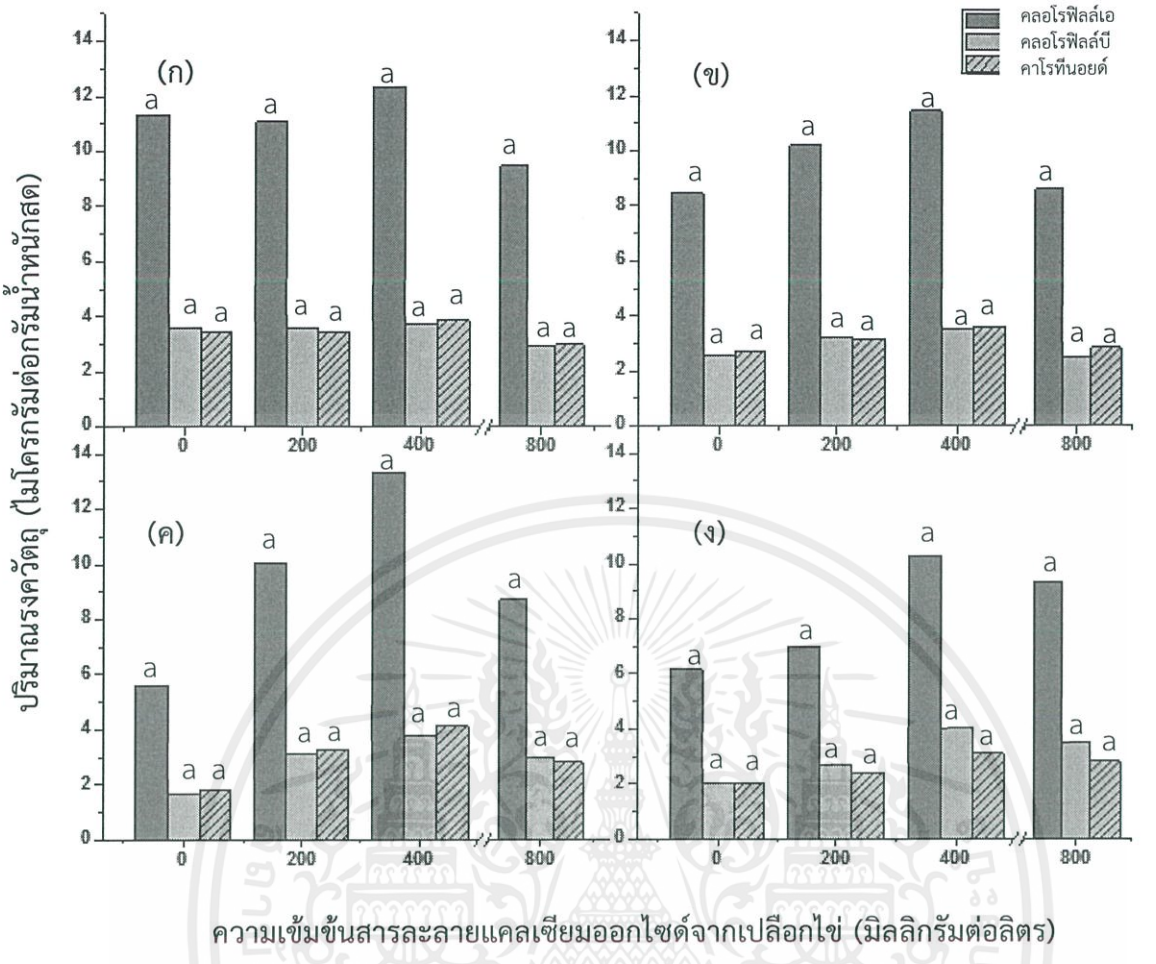
4.3.2.2 ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นถั่วลิสง

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ในต้นถั่วลิสงในสัปดาห์แรกนั้นได้มีการแสดงไว้ในภาพที่ 4.24 ก ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มีการสะสมมากที่สุดพบในต้นถั่วลิสงใช้ความเข้มข้นของน้ำรดที่มีการผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (12.36 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.74 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ซึ่งรงควัตถุทั้ง 3 ชนิดนี้จะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างพลังงานสะสมอาหารและเป็นวัตถุดิบในการเจริญเติบโตแต่ในสัปดาห์แรกยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบที่ไม่สมบูรณ์จึงยังไม่ส่งผลมากนัก ต่อมาสัปดาห์ที่ 2 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.24 ข นั้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (11.42 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.51 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตที่มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดลองวัดความยาวลำต้นและน้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง ในสัปดาห์ที่ 3 แสดงในภาพที่ 4.24 ค ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ที่มากที่สุดยังคงเป็นแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (13.29 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.79 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 4.010 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ดังเช่น 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ของ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (10.07 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.28 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (8.7 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.94 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.80 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และในสัปดาห์สุดท้าย หรือสัปดาห์ที่ 4 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.24 ง นั้น ค่าความเข้มข้นของ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (10.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.97 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 3.09 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ) ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับ 3 สัปดาห์แรกที่ผ่านมา เมื่อทำการเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ในน้ำรดจนไปถึงความเข้นข้นที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (9.31 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 3.50 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.80 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ค่าที่ได้กลับมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ลดลง แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นพิษเกิดขึ้นกับต้นถั่วลิสง และอัตราส่วน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (6.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.63 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.35 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) นั้นอาจจะมีความเข้มข้นยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้สร้างผนังเซลล์พืช โดยทุกชุดการทดลองได้แสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคาโรทีนอยด์ ที่มากกว่าชุดควบคุมที่รดด้วยน้ำธรรมดาไม่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (6.15 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 2.00 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด, 2.01 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 แสดงปริมาณรงควัตถุของต้นถั่วลิสง โดยเรียงลำดับตามจำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 (ก) สัปดาห์ที่ 2 (ข) สัปดาห์ที่ 3 (ค) และ สัปดาห์ที่ 4 (ง) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อใช้ดินที่ทำการผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่อัตราส่วน 4:1 หรือรดน้ำที่ผสมด้วยแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ต้นพืชตัวอย่างที่ทำการทดลอง ได้แก่ ต้นข้าวโพด ต้นข้าว และต้นถั่วลิสง มีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นทั้งในด้านความยาวลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งปริมาณรงควัตถุนี้จะส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเมื่อสามารถทำการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้นทำให้พืชมีอาหารมากขึ้น ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในอัตราส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้ธาตุอาหารหลักมีไม่เพียงต่อการเจริญเติบโตในระยะยาวเพราะพืชต้องการคาร์บอนมากในช่วงแรกของการงอกของเมล็ดเพราะยังมีใบที่ไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศได้ ซึ่งพืชจะต้องการคาร์บอนน้อยลงหลังจากมีใบที่สมบูรณ์แล้ว [23-25] ซึ่งอัตราส่วน 4:1 ของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีนั้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม แต่เมื่อทำการลดปริมาณวัสดุนาโนคาร์บอนลงในอัตราส่วน 8:1 ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่ากล่าวคือมีปริมาณคาร์บอนไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในช่วงแรก นอกจากนี้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือเมื่ออัตราส่วนมีค่าน้อยหรือมีปริมาณคาร์บอนน้อยจะส่งผลให้พืชมีอัตราการย่อยสลายสารอาหารในพื้นดินเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากหรือมีปริมาณคาร์บอนมากจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นและยังส่งผลต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนในเซลล์พืชอีกด้วย [26] ในส่วนของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เมื่อผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปุ๋ยแคลเซียมอาจจะมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานเนื่องจากแคลเซียมมีผลต่อการสังเคราะห์ผนังเซลล์ของพืชและเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์พืชอีกด้วย[3,26-27] แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้รดให้กับพืชที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช [28] ซึ่งพืชก็มีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่า ชุดการทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่สุดทั้งในด้านความยาวลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมไปถึงปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งในการทดลองทั้งการผสมดินด้วยวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีและการรดน้ำผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ทุกชุดการทดลองนั้นได้ให้ค่าการทดลองที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุม ยกเว้นชุดการทดลองการรดน้ำผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นมีขนาดเล็กกว่าชุดควบคุมเพราะมีความเป็นพิษส่งผลต่อพืช

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการเพิ่มเวลาในการเพาะปลูกไปจนถึงระยะเวลาการออกดอกและออกผลเพื่อศึกษาผลของวัสดุนาโนทั้งสองชนิดต่อการสร้างผลผลิต นอกจากนี้ควรเพิ่มขนาดกระถางให้มีอาหารเพียงต่อต่อการเจริญเติบโตในระยะยาวรวมเพื่อศึกษาปริมาณดอกและผลผลิตที่เกิดขึ้น และยังสามารถรวมชุดการทดลองโดยใช้ดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีกับการรดน้ำผสมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ในการทดลองเดียวกัน เพื่อศึกษาผลของการส่งเสริมกันระหว่างคาร์บอนและแคลเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตในพืช อีกทั้งยังควรเพิ่มชุดการทดลองที่ละเอียดมากขึ้น เช่น อัตราส่วนของดินผสมวัสดุนาโนคาร์บอนจากใบธูปฤาษีที่ 3:1 5:1 6:1 และ 7:1 หรือแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ความเข้มข้น 300 500 600 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาอัตราส่วนและความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บริษัทวีโกเทค. “ต้นเหตุของดินเสื่อม”. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.vigotech.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539815951&Ntype=8 [28 ต.ค. 2015].

[2] ชลวุฒิ ละเอียด.2543.**การจัดการดินและปุ๋ยในระบบการปลูกพืชที่มีข้าวโพดเป็นพืชรอง** .นครสวรรค์.ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ กรมวิชาการเกษตร.

[3] ลุงไก่ เกษตรคนดิน เดินตามรอยพ่อ. “ประโยชน์ของเปลือกไข่”. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://talk.mthai.com/topic/409272 [28 ต.ค. 2015].

[4] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. “Egg / ไข่”. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1146/egg%E0%B9%84%E0%B8%82%E0%B9%88 [28 ต.ค. 2015].

[5] สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ปุาไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ปุาและ พันธุ์พืช. “ธูปฤาษี ”. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dnp.go.th/botany/detail.aspx?words=%E0%B8%98%E0%B8%B9%E0%B8%9B%E0%B8%A4%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B5&typeword=group. [28 ต.ค. 2015].

[6] ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. “ธูปฤาษี ”.(นพพล เกตุประสาท หน่วยอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชพรรณ). [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/index.php/linkweed/88-typha. [28 ต.ค. 2015].

[7] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. “การผลิตกระดาษจากธูปฤาษีและผักตบชวา”. (นพพล เกตุประสาท หน่วยอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชพรรณ). [Online]. เข้าถึงได้ จาก:https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/thoub/usefulB.htm [28 ต.ค. 2015].

[8] สาราณุกรมไทยสำหรับเยาวชน.”ข้าว”. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=1&page=t3-1-infodetail01.html [28 ต.ค. 2015].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] วิกิพีเดียสาราณุกรมเสรี."ข้าว" [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7 [28 ต.ค. 2015].

[10] สาราณุกรมไทยสำหรับเยาวชน."ถั่วลิสง". [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=19&chap=2&page=t19-2-infodetail05.html [28 ต.ค. 2015].

[11] วิกิพีเดียสาราณุกรมเสรี. "ข้าวโพด" [Online]. เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%94 [28 ต.ค. 2015].

[12] ฟรินน์.com. "ข้าวโพด สรรพคุณและประโยชน์ของข้าวโพดหวาน 44 ข้อ !" [Online]. เข้าถึงได้จากhttp://frynn.com/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0 %B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%94/ [28 ต.ค. 2015].

[13] คู่มือวารสารชีวมวลเอเชีย."ทรัพยากรชีวมวล". [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/Part-2_T.pdf [28 ต.ค. 2015].

[14] Ivo Oliveira, Dennis Blöhse, Hans-Günter Ramke. Hydrothermal carbonization of agricultural residues. Bioresource Technology 2013;142: 138–146

[15] Getachew Agegnehu, Adrian M. Bass, Paul N. Nelson, Brian Muirheadc,Graeme Wrightd, Michael I. Bird . Biochar and biochar-compostas soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia . Agriculture, Ecosystems and Environment 2015;213:72-85

[16] Christos Dordas. Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (Origanum vulgaressp.hirtum. industrial crops and products 2009;29:599-608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางสเปกโตรสโคป." UV-Visible spectrophotometer".(จินดาพร บุญวัฒนา). [Online]. เข้าถึงได้ จาก: http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/spectroscopy-chem-analysis-instrument/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html [28 ต.ค. 2015].

[18] คู่มือวารสารชีวมวลเอเชีย."เครื่องปฏิกรณ์ของไฮโดรเทอมัลแก๊สซิฟิเคชั่น". [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf [28 ต.ค. 2015].

[19] หัสวิภา หมายมั่น. "Scaning Electron Microscope : SEM" [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scaning-electron-microscrope.html [28 ต.ค. 2015].

[20] นูรฮายัร ศรีสวัสดิ์. "FTIR เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด". [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.thaiscience.com/lab_vol/p29/FTIR%20เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด.htm [28 ต.ค. 2015].

[21] Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of. photosynthetic biomembranes. Method Enzymol. 148: 350-382.

[22] Shabala, S.N., S.I. Shabala, A.I. Martynenko, O. Babourina and A.I. Newman. 1998. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na+ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. Australian Journal of Plant Physiology. 25: 609-616.

[23] Mohammad Miransari. Plant hormones and seed germination. Environmental and Experimental Botany.2014;99.110-121.

[24] Puchang Wang et al. Factors affecting seed germination and emergence of Sophora davidii. Industrial Crops and Products.2016;87.261-265.

[25] Rana .I. Khaleel, Norli Ismail, Mahamad. H. Ibrahim. The Impact of Waste Water Treatments on Seed Germination and Biochemical Parameter of Abelmoschus Esculentus L. Procedia - Socialand Behavioral Sciences.2013;91.453-460.

[26] Kenji Hashimoto, Jörg Kudla.Calcium decoding mechanisms in plants. Biochimie.2011;93.2054-2059.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[27] Zhi-Liang Zheng. Carbon and nitrogen nutrient balance signaling in plants. Plant Signaling & Behavior.2009;4:7.584-591.

[28] Oliver Batistič, Jörg Kudla. Analysis of calcium signaling pathways in plants. Biochimica et Biophysica Acta.2012;1820.1283-1293.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย พงศกร เทียนดี
วัน เดือน ปีเกิด	27 ธันวาคม 2536
ที่อยู่	88 ม. 15 ถ. สระบุรี-หล่มสัก ต.ท่าพล อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67250
E-mail address	P.Thiandee@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก
ประวัติการฝึกงาน	ห้องปฏิบัติการวัสดุนาโนเพื่อพลังงานและการเร่งปฏิกิริยา ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

[1] **พงศกร เทียนดี** , บัณฑิตา จอมหทัยกูล, วชิราภรณ์ กันพุ่ม, พัสตราภรณ์ แฉ่งสุวรรณ, นาวิน วิริยะเอี่ยมพิกุล และอภิลักษณ์ เอียดเอื้อ, มหัศจรรย์เส้นใยนาโนคาร์บอนดูดซับคราบน้ำมัน การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศครั้งที่ 5 ระดับอุดมศึกษาและบุคคลทั่วไป 1-2 กันยายน 2557, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้