

ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ

ดาบตำรวจพินิจภณ ปิตุยะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF BIOCHAR APPLICATION IN SANDY SOIL IN RAIN SHADOW AREA ON SESAME  
(*Sesamum indicum* L.) PRODUCTION

Police Senior Sergeant Major Pinitpon Pituya



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Environmental Science  
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายบริเวณพื้นที่เงาฝน เพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ
โดย	ดาบตำรวจพินิจภณ ปิตุยะ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสม

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสม)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธารศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว)

พินิจภณ ปิตุยะ : ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ (EFFECT OF BIOCHAR APPLICATION IN SANDY SOIL IN RAIN SHADOW AREA ON SESAME (*Sesamum indicum* L.) PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
 หลัก: รศ. ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.เสาวนีย์ วิจิตรโกสม, 166 หน้า.

การศึกษานี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวที่ผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ (ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 300 - 500 °C ใช้เวลาในการเผาตั้งแต่ 1-3 ชั่วโมง) เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุดิบและสภาวะในการเตรียมถ่านชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินทรายบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำด้วยวิธีหาพื้นที่ผิวดูดซับน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวสำหรับการปรับปรุงดินทราย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มากกว่า และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่าเล็กน้อย โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยเตาเผาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ คือ ที่อุณหภูมิในการเผา 434.8 °C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นได้นำถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มาผสมกับดินห้วยทรายและนำมาทดลองปลูกงาดำโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ 10 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินห้วยทราย (control) ดินผสมปุ๋ยเคมี (CF) ดินผสมถ่านชีวภาพสัดส่วน 5% (BC1) ดินผสมถ่านชีวภาพสัดส่วน 10% (BC2) ดินผสมถ่านชีวภาพสัดส่วน 15% (BC3) ดินผสมถ่านชีวภาพสัดส่วน 20% (BC4) ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพสัดส่วน 5% (CFBC1) ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพสัดส่วน 10% (CFBC2) ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพสัดส่วน 15% (CFBC3) และดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพสัดส่วน 20% (CFBC4) ดำเนินการปลูกงาดำทั้งสิ้น 3 ฤดูกาลปลูก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่างาดำที่ปลูกในฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 อย่างเห็นได้ชัด โดยผลผลิตของงาดำในฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุดการทดลองส่วนใหญ่ให้ผลผลิตงาดำที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยชุดการทดลองที่มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของงาดำสูงที่สุดในฤดูกาลปลูกที่ 1 ได้แก่ CFBC2, CFBC1 และ CFBC3 ดังนั้น หากต้องการปลูกงาดำด้วยดินทรายให้ได้ผลผลิตที่ดีควรเติมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนระหว่าง 5-10% โดยหากใช้ถ่านชีวภาพในสัดส่วนที่มากเกินไปจะส่งผลให้ผลผลิตงาดำลดลง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5387862720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: BIOCHAR / SOIL DEGRADATION / MODIFICATION / RESPONSE SURFACE  
METHODOLOGY / OPTIMUM CONDITION / RAIN SHADOW

PINITPON PITUYA: EFFECT OF BIOCHAR APPLICATION IN SANDY SOIL IN RAIN  
SHADOW AREA ON SESAME (*Sesamum indicum* L.) PRODUCTION. ADVISOR: ASSOC.  
PROF. THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D., CO-ADVISOR: TEAH. DR.SAOWANEE  
WIJITKOSUM, 166 pp.

Properties of biochar prepared from Acacia wood and coconut shell by slow pyrolysis under nine different conditions (pyrolysis temperature was varied from 300-500 °C, pyrolysis time was varied from 1-3 hours) have been investigated in order to identify the suitable initial biomass of biochar applied for sandy soil in rain shadow applicate and increase sesame yield using respond surface method (RSM). Properties of Acacia wood biochar indicate it is more suitable than coconut shell biochar to be applied as sandy soil amendment due to its higher surface area, higher CEC, and slightly lower pH. The optimum condition for preparing Acacia wood biochar using the laboratory electrical furnace is at 434.8 °C and 1 hour of slow pyrolysis time. The prepared Acacia wood biochar was mixed with Huaysai soil for planting sesame. A complete Randomized Design (CRD) was used with 5 replicates and 10 treatments consisting of; Huaysai soil (control), soil with chemical fertilizer (CF), soil with 5% biochar (BC1), soil with 10% biochar (BC2), soil with 15% biochar (BC3), soil with 20% biochar (BC4), soil with CF and 5% biochar (CFBC1), soil with CF and 10% biochar (CFBC2) soil with CF and 15% biochar (CFBC3), soil with CF and 20% biochar (CFBC4) was applied. Sesame was planted for 3 crops. The results showed that the growth and yield of sesame in crop 1 was obviously higher than crop 2 and crop 3. In addition, the yield of sesame in crop 2 and crop 3 was not significantly different at 95% confident interval. Furthermore, CFBC2, CFBC1, and CFBC3 showed the highest growth and yield of sesame in crop 1. It can be concluded that both 5-10% by weight of biochar and chemical fertilizer should be applied to sandy soil in order to increase sesame yield. The overuse of biochar ratio can decrease sesame yield.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2015

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ของการศึกษาด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทร์แก้ว ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช วิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ กลุ่มวิเคราะหฺดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 ฉะเชิงเทรา สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 10 ราชบุรี กลุ่มวิทยบริการ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ศูนย์เรียนรู้และวิจัยป่าเต็ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและใช้สถานที่ศึกษา ขอขอบคุณหลักสูตรภูมิพลังแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณพีชลธร แก้วแดง คุณพีภิมปนา-คุณพีชศรี อานันทนงสูงค์ ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยถ่านชีวภาพ ตลอดจนบุคคลอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงในที่นี่

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ(จเร ปิตุยะ) คุณแม่ (ประคอง ปิตุยะ) ภรรยา (นางพิกุล ปิตุยะ) บุตร(นางสาวพชรพร ปิตุยะ และนางสาวพิชญพร ปิตุยะ) อาจารย์ Gary Engelman และภรรยา ตลอดจนเพื่อนนิสิตสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีตลอดมาระหว่างทำการศึกษาในครั้งนี้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	11
สารบัญรูป .....	13
บทที่ 1 บทนำ .....	17
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	17
1.2 วัตถุประสงค์ .....	19
1.3 สมมติฐาน .....	20
1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย .....	20
1.5 ขอบเขตการศึกษา .....	20
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	21
บทที่ 2 การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	22
2.1 การสำรวจเอกสาร .....	22
2.1.4 ถ่านชีวภาพ .....	40
2.1.6 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ.....	44
2.1.7 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพ (Physicochemical Properties of Biochar).....	46
2.1.8 ผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน .....	54
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	58
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	61
3.1 การเตรียมถ่านชีวภาพ .....	61

3.1.1 วัสดุที่ใช้ทดลอง .....	61
3.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ .....	63
3.1.3 วิเคราะห์ความสามารถในการกักเก็บน้ำ.....	63
3.1.4 วิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการเผาถ่านชีวภาพ .....	64
3.1.5 วัสดุ/อุปกรณ์ภาคสนาม .....	66
3.1.6 อุปกรณ์และสารเคมี.....	66
3.2.สถานที่วิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ.....	72
3.3 การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก .....	72
3.3.1 สถานที่ทดลอง .....	72
3.3.2 การเตรียมดิน .....	72
3.3.3 การเตรียมพันธุ์จํา.....	72
3.3.4 การเตรียมชุดการทดลอง .....	73
3.4 การปลูกพืช.....	74
3.4.1 วิธีการปลูกจํา.....	74
3.4.2 การดูแล รักษาและการให้น้ำ .....	74
3.5 การเก็บข้อมูล .....	74
3.5.1 การวัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน.....	74
3.5.2 การเก็บตัวอย่าง .....	74
3.5.3 การวิเคราะห์ผลของถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตจํา.....	76
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	77
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพ .....	77
4.1.1 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ .....	77
4.1.2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	80



4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว.....	82
4.2.1 พื้นที่ผิวจำเพาะ .....	82
4.2.2 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน .....	84
4.3 องค์ประกอบของธาตุ.....	85
4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ต่าง.....	88
4.3.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก .....	89
4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์.....	90
4.5 การวิเคราะห์การถดถอย.....	91
4.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิและเวลา.....	91
4.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกับอุณหภูมิ และเวลา .....	92
4.5.3 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความเป็นกรด-ต่างกับอุณหภูมิและเวลา .....	93
4.5.4 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวดอปสนอง.....	94
4.6 เตาเผาถ่านชีวภาพสำหรับใช้ในการทดลอง .....	96
4.7 การเจริญเติบโตและผลผลิตงาดำที่ปลูกด้วยดินทรายเขตเงาฝนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ...	97
4.7.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลอง .....	98
4.7.2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำ .....	108
4.7.3 จำนวนฝักต่อต้นของผลผลิตงาดำ.....	111
4.7.4 จำนวนเมล็ดต่อฝักของผลผลิตงาดำ .....	114
4.7.5 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด .....	117
4.8 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝน.....	120
4.8.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุกับการเจริญเติบโตของงาดำ.....	120
4.8.2 ปริมาณผลผลิต.....	125

4.10	ข้อกำหนดที่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่คลาดเคลื่อน .....	134
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษา .....	138
5.1	วัตถุดิบและสภาวะในการเตรียมถ่านชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินทราย เขตเงาฝน .....	138
5.1.1	วัตถุดิบที่เหมาะสม .....	138
5.1.2	สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ .....	138
5.2	การเจริญเติบโตและผลผลิตงาดำที่ปลูกด้วยดินทรายที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพดินเขตเงา ฝน .....	139
5.3	ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝนเพื่อการเพิ่มผลผลิตงาดำ .....	139
5.4	ข้อเสนอแนะ .....	139
5.5	หัวข้องานวิจัยต่อไป .....	140
	รายการอ้างอิง .....	141
	ภาคผนวก 1 วิธีวิเคราะห์ .....	146
	ภาคผนวก 2 วัสดุที่ได้ผลิตถ่านชีวภาพ .....	154
	ภาคผนวก 3 การเตรียมพื้นที่ทดลอง .....	158
	ภาคผนวก 4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมี .....	163
	ภาคผนวก 5 เกณฑ์และระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช .....	165
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	166

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	จำนวนพื้นที่ปัญหาดินเสื่อมโทรม.....	23
ตารางที่ 2	คุณสมบัติของดินชุดหุบกะพง.....	25
ตารางที่ 3	อุณหภูมิในกระบวนการไฟโรไลซิสและปริมาณผลิตภัณฑ์.....	46
ตารางที่ 4	องค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ.....	48
ตารางที่ 5	ธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ.....	48
ตารางที่ 6	ข้อแตกต่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	51
ตารางที่ 7	สภาวะที่ใช้ในการเตรียมถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว.....	64
ตารางที่ 8	อัตราส่วนของปุ๋ยเคมีและปริมาณถ่านชีวภาพในแต่ละชุดการทดลอง.....	73
ตารางที่ 9	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สมบัติของดิน.....	75
ตารางที่ 10	ระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูลผลผลิตงาคำ.....	76
ตารางที่ 11	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ที่ผลิต โดยกระบวนการไฟโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ.....	78
ตารางที่ 12	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผลิต โดยกระบวนการไฟโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ.....	81
ตารางที่ 13	ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	83
ตารางที่ 14	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิต จากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	85
ตารางที่ 15	ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	87
ตารางที่ 16	ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	87

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความชื้น 95% .....	87
ตารางที่ 18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความชื้น 95% .....	88
ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความชื้น 95% .....	89
ตารางที่ 20 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิต ....	90
ตารางที่ 21 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขอไม้กระถินยักษ์ที่ผลิตจากเตาเผา ถึงโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร .....	97
ตารางที่ 22 อัตราส่วนของปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพที่นำมาผสมกับดินของแต่ละชุดการทดลอง .....	97
ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในดินก่อน-หลังฤดูกาลปลูกของแต่ละ ชุดการทดลองการเจริญเติบโตของต้นงาดำ .....	121
ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์น้ำได้ดินที่นำมาใช้ในการทดลองปลูกงาดำ .....	135

## สารบัญรูป

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	20
รูปที่ 2 แผนที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี.....	23
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ เปอร์เซนต์ Texture.....	24
รูปที่ 4 สภาพลักษณะดินตามหน้าตัดดิน .....	25
รูปที่ 5 ลักษณะดอก ต้น ฝักและเมล็ดของงาดำพันธุ์ มก 18 .....	27
รูปที่ 6 กระบวนการไพโรไลซิส .....	45
รูปที่ 7 องค์ประกอบโครงสร้างของถ่านชีวภาพ .....	47
รูปที่ 8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกคุณสมบัติของถ่านชีวภาพสำหรับ ปรับปรุงดินทราย เขตเงาฝน.....	65
รูปที่ 9 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ด้วยอุณหภูมิ 500°C ที่เวลา 1-3 ชม.....	79
รูปที่ 10 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวด้วยอุณหภูมิ 500°C ที่เวลา 1-3 ชม.....	80
<u>_Toc457918767</u>	
รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ .....	84
รูปที่ 13 ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ.....	85
รูปที่ 14 ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ .....	86
รูปที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ .....	86
รูปที่ 16 ปริมาณออกซิเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ .....	86
รูปที่ 17 ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ.....	88
รูปที่ 18 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ .....	89
รูปที่ 19 ความสามารถในการกักเก็บน้ำของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินและกะลามะพร้าว.....	91
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 .....	92

รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 ระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (ชั่วโมง) ในการเผา .....	93
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (ชั่วโมง) ในการเผา.....	94
รูปที่ 23 พื้นที่จากการซ้อนทับกันของกราฟทั้ง 3 ที่แสดงช่วงของสภาวะที่เหมาะสม .....	95
รูปที่ 24 เตาเผาถ่านชีวภาพจากถังโลหะขนาด 200 ลิตร .....	96
รูปที่ 25 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกกวางดำ .....	99
รูปที่ 26 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	100
รูปที่ 27 ค่าความนำไฟฟ้าของดินแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	101
รูปที่ 28 ปริมาณไนโตรเจนของดินแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	102
รูปที่ 29 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3.....	103
รูปที่ 30 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3.....	104
รูปที่ 31 ปริมาณแคลเซียมในดินแต่ละชุดการทดลอง ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	105
รูปที่ 32 ปริมาณแมกนีเซียมในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	106
รูปที่ 33 ปริมาณโซเดียมในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	107
รูปที่ 34 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแต่ละชุดการทดลอง ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	108
รูปที่ 35 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	109
รูปที่ 36 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 .....	109
รูปที่ 37 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	110

รูปที่ 38 การเจริญเติบโตของต้นงาดำในระยะเวลา 80 วันของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก .....	111
รูปที่ 39 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	111
รูปที่ 40 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 .....	112
รูปที่ 41 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	113
รูปที่ 42 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก .....	113
รูปที่ 43 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	114
รูปที่ 44 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 .....	115
รูปที่ 45 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	116
รูปที่ 46 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	116
รูปที่ 47 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	117
รูปที่ 48 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 .....	118
รูปที่ 49 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 .....	119
รูปที่ 50 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก .....	120
รูปที่ 51 น้ำหนักต้นฤดูการเพาะปลูกที่ 1 .....	125
รูปที่ 52 น้ำหนักฝักของผลผลิตแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	126
รูปที่ 53 น้ำหนักเมล็ดของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	127
รูปที่ 54 น้ำหนักผลผลิตรวมของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	127
รูปที่ 55 น้ำหนักต้นฤดูการเพาะปลูกที่ 2 .....	128
รูปที่ 56 น้ำหนักฝักฤดูการเพาะปลูกที่ 2 .....	129
รูปที่ 57 น้ำหนักเมล็ดของผลผลิตแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 .....	129
รูปที่ 58 น้ำหนักผลผลิตรวมของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 .....	130
รูปที่ 59 น้ำหนักต้นฤดูการเพาะปลูกที่ 3 .....	131
รูปที่ 60 น้ำหนักฝักฤดูการเพาะปลูกที่ 3 .....	131
รูปที่ 61 น้ำหนักเมล็ดฤดูการเพาะปลูกที่ 3 .....	132

รูปที่ 62 หน้านักผลผลิตรวมของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3..... 133





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

##### 1.1.1 ความเสื่อมโทรมของดิน

ดิน เป็นทรัพยากรที่สำคัญต่อการประกอบอาชีพเกษตรกรรม เนื่องจากดินทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตปัจจัย 4 (อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค) ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์ [1] ดังนั้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินได้แก่ ปริมาณธาตุอาหาร อินทรีย์วัตถุ ความชื้นและอากาศ มีความเหมาะสมหรือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดินและสภาพพื้นที่ สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 514,000 ตร.กม. หรือประมาณ 320.7 ล้านไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 122.2 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.2 ของพื้นที่ทั้งประเทศ [2] ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่มีปัญหาความเสื่อมโทรม (Land Degradation) อาทิเช่น ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินลูกรัง ดินตื้น ดินที่แข็งเป็นดาน และดินทรายเขตเงาฝน เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินทรายเขตเงาฝนมีการขยายพื้นที่จากเดิมในปี 2544 ประมาณ 7 ไร่ และในปี 2553 เพิ่มขึ้นเป็น 12.5 ล้านไร่ กรมพัฒนาที่ดิน 2553 แสดงให้เห็นว่าความเสื่อมโทรมของที่ส่งโดยตรงต่อการเกษตรและป่าไม้ นอกจากทำให้ผลผลิตลดลงแล้วยังทำให้ความสมดุลของน้ำในธรรมชาติถูกทำลาย เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและชีวภาพของดิน ทำให้ดินมีคุณภาพลดลงจนไม่สามารถใช้เพื่อการเกษตรได้อย่างถาวร [5] สาเหตุเกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินของประชาชน และจากภัยธรรมชาติ เช่น การปลูกพืชเกษตรเชิงเดี่ยวบนพื้นที่ลาดเอียงติดต่อกันเป็นเวลานาน ขาดการจัดการที่ดีเมื่อฝนตกเกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ทำให้หน้าดินลดน้อยลงหรือเหลือแต่ทรายถึงทรายจืด ขาดธาตุอาหารและมีสภาพเป็นกรด ลักษณะเช่นนี้ ทำให้โครงสร้างและหน้าที่ของดินในพื้นที่เกษตรกรรมขาดความสมดุล ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต [3] ประกอบกับพื้นที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เขตเงาฝน ในแต่ละปีมีฝนตกน้อยและเกิดปัญหาความแห้งแล้งอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอลำลูกเกด จังหวัดเพชรบุรี มีเนื้อที่ 22,627 ไร่ เกิดปัญหาความแห้งแล้ง ดินมีลักษณะเป็นดินทรายเขตเงาฝนถึงทรายจืด และจับตัวแน่นแข็งเป็นดาน ดินมีสภาพเป็นกรด (ค่า pH 4.5-5.5) [4, 5] สำหรับพืชเกษตรที่ส่วนราชการส่งเสริมและที่ได้รับความนิยมจากประชาชนเป็นส่วนใหญ่คือ พืชไร่ ที่มีความทนทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เช่น สับปะรด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น ส่วนพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่ต่างประเทศมีความต้องการของเป็นจำนวนมากในแต่ละปี เป็นพืชอายุสั้นที่ใช้

น้ำน้อย สามารถปลูกได้ในช่วงฤดูฝนและต้นฤดูหนาว มีความเหมาะสมกับสภาพดินทรายเขตเงาฝน สภาพเป็นกรด ผลผลิตมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น งา (Sesame) เป็นต้น

### 1.1.2 งาดำ

งา(Sesame) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* Linn. วงศ์ Pedaliaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum orientale* Linn. เป็นพืชล้มลุก สูง 1-2 เมตร มีใบบอบบาง ดอกสีขาวหรือชมพู ผลเป็นฝัก มีเมล็ดเล็กๆ สีขาว สีดำและสีแดง โดยทั่วไปประชาชนจะปลูกงาหลังเก็บเกี่ยวข้าวนาปีในช่วงต้นฤดูหนาว ไม่ชอบน้ำขัง ในอดีตมีการปลูกงามานานในแถบตะวันออกกลาง และเอเชีย สำหรับประเทศไทยงาเป็นพืชท้องถิ่น มีหลากหลายสายพันธุ์ นิยมปลูกในเขตภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมล็ดงาของไทยเป็นที่ต้องการของประเทศในแถบเอเชีย เพราะต้องการใช้เมล็ดงาเป็นอาหาร เครื่องเทศ และสกัดน้ำมัน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ใช้งาดำพันธุ์ มก 18 เนื่องจากมีลำต้นเดี่ยว ฝักไม่แตกง่าย ใช้น้ำน้อยมีความเหมาะสมกับสภาพดินทรายเขตเงาฝนและมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้เมล็ดงายังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีน้ำมันระหว่าง 46.4–52.0% มีโปรตีน 19.8–24.2% มีสารมิไรโออินและทรินโทแพนสูง มีแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินบี และเหล็ก น้ำมันงามีกรดไขมันอิ่มตัว เชื่อว่าช่วยป้องกันหลอดเลือดแดงแข็งตัว ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจ สรรพคุณคนโบราณนิยมใช้น้ำมันงาในการรักษาตัวเองมานานหลายพันปีมาแล้ว ทั้งในประเทศอินเดียและจีน [6]

อย่างไรก็ตามแนวทางการพัฒนาและฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมในพื้นที่เกษตรกรรม นิยมใช้วัสดุปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด การปลูกพืชหมุนเวียน เพื่อเพิ่มธาตุอาหาร การใช้จุลินทรีย์ช่วยทำหน้าที่ในการตรึงไนโตรเจน การใช้หินปูนชนิดต่างๆ ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ทำให้ธาตุอาหารที่อยู่ในดินสามารถละลายน้ำหรือเปลี่ยนแปลงสภาพ พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) นอกจากนี้ยังใช้วัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ผ่านกระบวนการควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนไม่ให้เข้าไปเผาไหม้ จะได้ของแข็งสีดำที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน โดยเรียกวัดชนิดนี้ว่า “Biochar หรือ ถ่านชีวภาพ” [5]

### 1.1.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ เป็นผลผลิตที่ได้จากการนำมวลชีวภาพผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจนน้อย ในระหว่างการเผาไหม้ [7]

ถ่านชีวภาพมีความคงตัวสูงสามารถกักเก็บไว้ในดินได้เป็นเวลาหลายพันปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของ ถ่านชีวภาพ เช่น ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่ผลิตในประเทศจีนสามารถกักเก็บในดินได้ประมาณ 244 - 1,700 ปี [8] ซึ่งลักษณะโครงสร้างของถ่านมีรูพรุนจำนวนมาก เมื่อผสมลงไปดินช่วยทำให้เนื้อดินมี ช่องว่างเพิ่มขึ้น ดินไม่แน่นทึบ รูพรุนสามารถกักเก็บน้ำ ธาตุอาหาร และเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์กับพืช สามารถปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ถ่านชีวภาพช่วยทำหน้าที่สร้าง ความสมดุลให้กับดิน หรือในกรณีที่มีสารพิษอยู่ในดิน จะช่วยดูดซับไว้ ทำให้ดินและพืชลดความเป็น พิษลง เกิดการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น [9]

จากสภาพปัญหาความเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่เกษตรกรรมและยังคงส่งผลกระทบต่อ เพิ่มขึ้น สืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ที่ก่อให้เกิดความแห้งแล้งและภัยพิบัติทาง ธรรมชาติ ทำให้พืชผลทางการเกษตรยังคงได้รับความเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ศูนย์ศึกษา การพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลสามพระยา อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมี ลักษณะเป็นดินทรายเนื้อหยาบ ขาดธาตุอาหาร เมื่อดินขาดความชื้นทำให้ดินจำตัวแน่นและแข็งเป็น ดาน เนื่องจากเนื้อดินมีส่วนผสมของดินเหนียวประมาณ 10 % ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่ในเขตเงาฝน และยังไม่มีการศึกษาถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดินมาก่อน จำเป็นต้องใช้กระบวนการพัฒนาและฟื้นฟู ดินเสื่อมโทรมให้มีโครงสร้างเหมาะสมและเกิดความสมดุลในระดับนิเวศเกษตร สามารถทำหน้าที่เป็น แหล่งผลิตปัจจัย 4 ได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน

ดังนั้น การศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่จะพัฒนาโครงสร้างของดิน โดยการผสมถ่านชีวภาพในดิน ทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอัน เนื่องมาจากพระราชดำริ โดยมุ่งเน้นการผลิตถ่านชีวภาพจากเศษไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่ โดยใช้กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) เพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงโครงสร้างดินทรายเขตเงาฝนให้เกิดความสมดุล เหมาะสมกับการปลูกพืชในพื้นที่ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีลักษณะทางภูมิ ประเทศใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาต่อไปได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในการทำหน้าที่เพิ่มผลผลิตงาดำในดินทรายเขต เงาฝน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากไม้กระถิน ยักษ์และกะลามะพร้าว

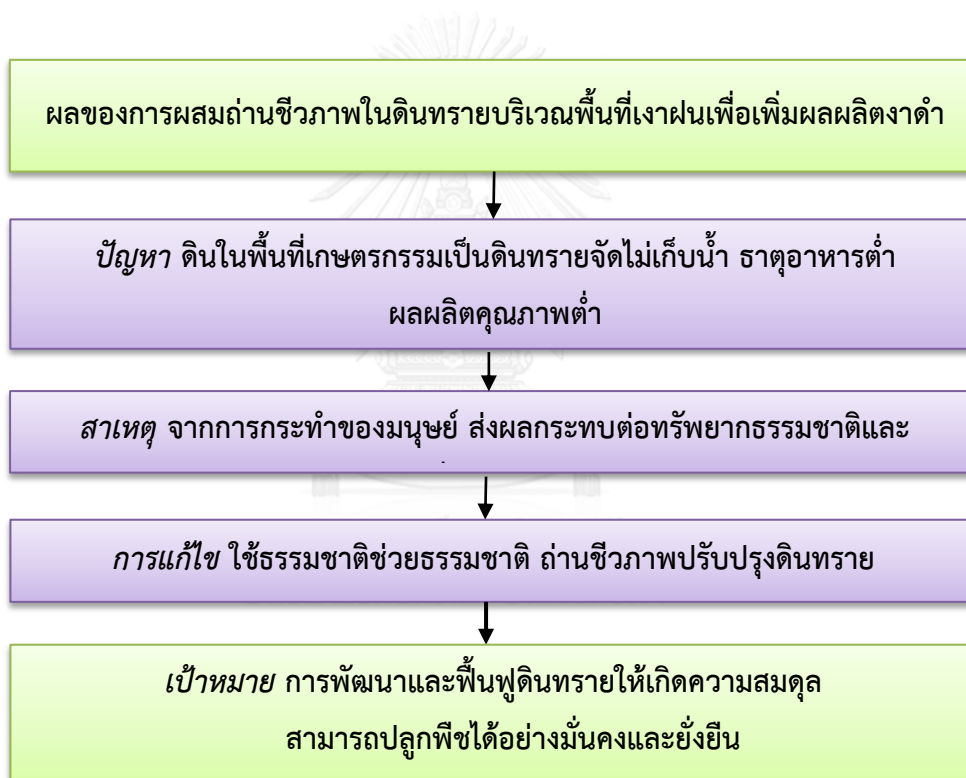
1.2.3 เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนของถ่านชีวภาพที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการปลูกงาดำในดินทราย เขตเงาฝนบริเวณพื้นที่ในเขตเงาฝน

### 1.3 สมมติฐาน

การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลต่อเพิ่มผลผลิตงาดำที่ปลูกในดินทรายเขตเงาฝน

### 1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย

พื้นที่เกษตรกรรมเสื่อมโทรม เกิดจากการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และภัยพิบัติจากธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เกษตรกรรมที่เป็นดินทรายเขตเงาฝนในเขตเงาฝน ขาดแคลนน้ำ ธาตุอาหารต่ำ การใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงโครงสร้างดินทรายเขตเงาฝน ช่วยทำหน้าที่เก็บกักน้ำและธาตุอาหารพืช ทำให้งาดำพืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

### 1.5 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝน บริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ ดังนี้

1.5.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ (ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน) และเคมีของถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) หรือ

*Leucocephala glauca* Benth. เป็นพันธุ์ชัลวาเตอร์ โดยใช้เศษไม้ ปลายไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 เซนติเมตรและกะลามะพร้าว *Cocos nucifera* Linn. *Palmae* ชื่อสามัญ Coconut ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากชุมชนในพื้นที่ ใช้วิธีการแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) อุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส (°C) ระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

1.5.2 การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดของรูพรุนเฉลี่ย ในแต่ละอุณหภูมิและเวลา โดยใช้วิธีหาพื้นผิวดตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับทดสอบการปลูกงาดำ โดยใช้ปัจจัยของอุณหภูมิและเวลา ในการเผาที่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนและค่า pH ของถ่านชีวภาพเป็นเกณฑ์

1.5.3 ทดสอบอัตราการกักเก็บน้ำของถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ได้จากเตาเผาถึงโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร

1.5.4 วิเคราะห์สัดส่วนของถ่านชีวภาพที่เหมาะสมผสมในการเพาะปลูกงาดำ โดยในอัตราส่วน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 5, 10, 15 และ 20 ต้นต่อเฮกแตร์ ผสมปุ๋ยเคมีสูตร N : P : K (15 : 15 : 15) อัตราส่วน 50 กรัมต่อกระถาง เพื่อทดลองปลูกงาดำ จำนวน 3 ฤดูกาลเพาะปลูก

1.5.5 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในการทำหน้าที่เพิ่มผลผลิตงาดำ โดยทำการตรวจวัดคุณสมบัติของดินก่อนและหลังปลูก การเจริญเติบโตของต้น จำนวนเมล็ด ฝัก น้ำหนักต้น น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดรวมทั้ง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก

1.5.6 สถานที่ทดลองใช้โรงเรือนโปร่งแสง ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพ ที่เหมาะสมกับการปรับปรุงดินเสื่อมโทรมบริเวณพื้นที่เงาฝน

1.6.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ปรับปรุงโครงสร้างดินทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

1.6.3 ทราบสัดส่วนของถ่านชีวภาพที่เหมาะสมกับการเพิ่มผลผลิตงาดำในพื้นที่ดินทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝนและสามารถใช้เป็นตัวอย่างในการพัฒนาและฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมอื่นๆให้ดินมีคุณภาพเหมาะสมกับการปลูกพืช เพื่อความมั่นคงและยั่งยืนในการประกอบอาชีพเกษตรกร

1.6.4 นำองค์ความรู้ที่ได้ เรื่องถ่านชีวภาพไปใช้ในการปรับปรุงดินที่เสื่อมโทรม

## บทที่ 2

### การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การสำรวจเอกสาร

##### 2.1.1 ปัญหาดินเสื่อมโทรม

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ผสมคลุกเคล้ากับเศษซากพืช ซากสัตว์ ในสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และระยะเวลาในการเกิดที่แตกต่างกัน ทำให้ดินแต่ละพื้นที่มีความคล้ายคลึงและแตกต่างกัน ดินเป็นแหล่งผลิตปัจจัย 4 ของมนุษย์ อันได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค [1] ดินเป็นเครื่องกรองที่มีชีวิต โดยใช้เป็นเครื่องกรองของเสียทั้งของแข็งและของเหลว ไม่ให้ไหลลงสู่ลำน้ำใต้ดิน ดินเป็นที่ยึดเหนี่ยวของพืช ทำหน้าที่เก็บกักน้ำ ธาตุอาหาร อากาศ เป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินและบนดิน ดินมีองค์ประกอบของอยู่ 3 ส่วนคือ 1. ส่วนที่เป็นของแข็ง พวกอินทรีย์วัตถุที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดิน เช่น หินและแร่ธาตุต่างๆ 2. อินทรีย์วัตถุ จากการย่อยสลายของซากพืชและซากสัตว์ และ 3. ส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ ส่วนประกอบของน้ำ สารละลาย สารแขวนลอย ส่วนที่เป็นก๊าซ และไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ [3] สำหรับโครงสร้างของดินที่เหมาะสมต่อการเกษตรกรรมประกอบด้วย 4 ส่วนคือ เนื้อดิน 45 %, น้ำ 25%, อากาศ 25%, และ อินทรีย์วัตถุหรือธาตุอาหารพืช 5% ซึ่งในเนื้อดินยังมีส่วนประกอบที่เป็นดินร่วน ดินเหนียวและดินทรายเขตเงาฝน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และวัตถุดิบกำเนิดดิน [10]

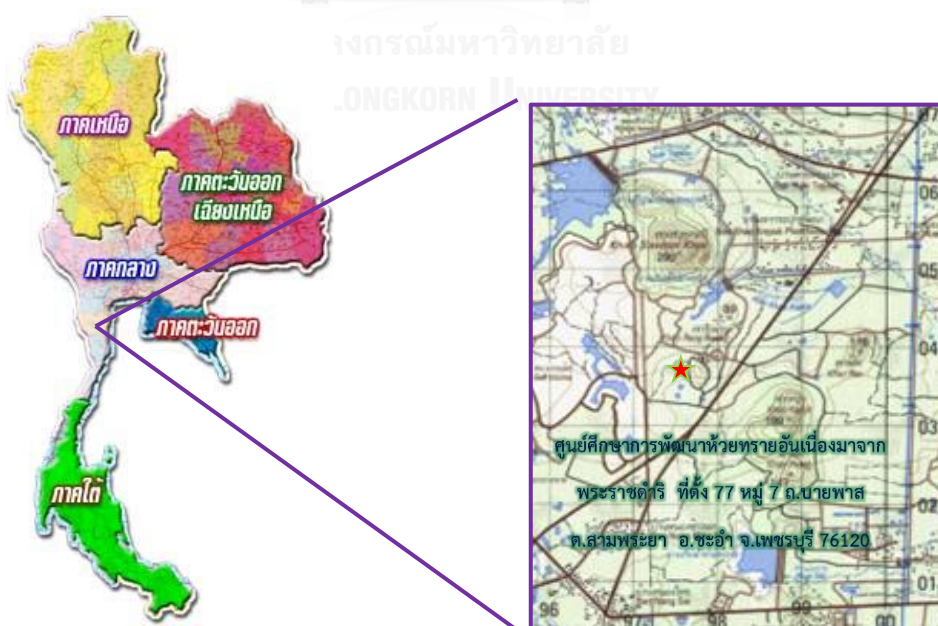
ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 514,000 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 320.7 ล้านไร่ เป็นพื้นที่การเกษตรจำนวน 122.2 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.2 ของพื้นที่ทั้งประเทศและยังพบว่า มีปัญหาเรื่องของสัดส่วนพื้นที่การเกษตรกับศักยภาพการผลิต [2] ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาคุณภาพดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากสภาพ แวดล้อมและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสม การทำการเกษตรไม่ถูกวิธี การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรเกินความจำเป็น ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของดิน ทำให้โครงสร้างของดินขาดความสมดุล ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าในปี 2544 และปี 2553 พื้นที่ดินปัญหาแบ่งได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนพื้นที่ปัญหาดินเสื่อมโทรม

ประเภทของดินปัญหา	ปี 2544 (ไร่)	ปี 2553 (ไร่)
ดินอินทรีย์	274,275	260,109
ดินเค็ม	4,557,627	14,393,469
ดินเปรี้ยวจัด	4,170,987	6,239,361
ดินทรายเขตเงาฝนเขตเงาฝน	6,973,422	12,544,293
ดินตื้น	40,972,172	46,090,109

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2553

จะเห็นได้ว่าปัญหาดินเสื่อมโทรม มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกและการกระทำของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่อง ขาดการบำรุงรักษา จนก่อให้เกิดความเสื่อมโทรม ดังเช่น พื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ในเขตตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (ตามรูปที่ 2) ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เงาฝน เนื่องจากพื้นที่ทางด้านฝั่งตะวันตก มีแนวภูเขาสูงวางตัวยาวเป็นแนวเหนือ-ใต้ขวางกั้น เมื่อเข้าสู่ช่วงลมมรสุมจากทะเลอันดามัน ส่วนใหญ่จะมี

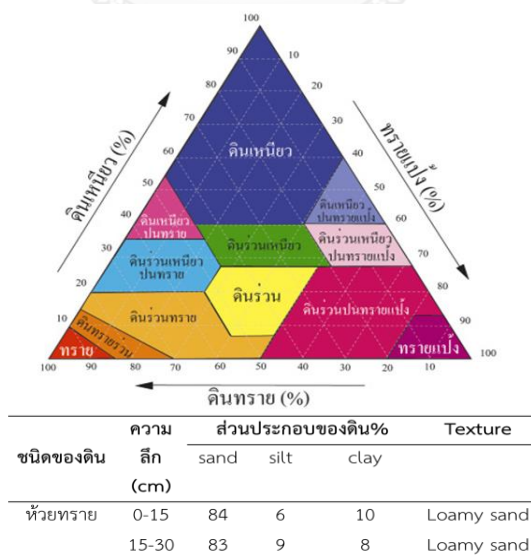


รูปที่ 2 แผนที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

ฝนตกในบริเวณพื้นที่ชายแดนมากกว่า ส่วนทางด้านตะวันออกตั้งอยู่ตอนในของพื้นที่ชายฝั่งทะเลและอยู่ฝั่งตรงกันข้ามกับพื้นที่ภาคตะวันออกคือ พื้นที่ของจังหวัดชลบุรี จันทบุรี ระยอง และตราด ซึ่งเป็นพื้นที่สวนผลไม้ที่มีความชุ่มชื้นของป่ามากกว่า ซึ่งในแต่ละปีพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกมีฝนชุก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากพายุเตเปรสชันจากทะเลจีนใต้ ที่พัดผ่านประเทศเวียดนามเข้าสู่ประเทศกัมพูชาและพื้นที่ของภาคตะวันออก ทำให้ปริมาณความชื้นอ่อนกำลังลงและสลายตัวก่อนพัดขึ้นฝั่งบริเวณที่ตั้งของศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่และกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของประชาชน ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ ดินเสื่อมโทรมของดินเป็นบริเวณกว้าง

### 2.1.2 ลักษณะของดินในพื้นที่

ในปี ค.ศ.2014 กนกรัตน์ เขมะนวงศ์ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน พบว่า เนื้อดินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอนุภาคของเนื้อทราย (Sand) 83 - 84 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดิน (Silt) 6 - 9 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเนื้อดินปนทราย (Loamy Sand) (ตามรูปที่ 3) สภาพของพื้นที่มีลักษณะดินเป็นชุดดินหุบกะพง จัดอยู่ในกลุ่มดินชุดที่ 40 เนื้อดินเป็นดินปนทราย ดินสีน้ำตาลอ่อน สีเหลืองหรือแดง (ตามรูปที่ 4) บางแห่งอาจพบจุดประสีในดินชั้นล่าง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดพวกตะกอนลำน้ำหรือจากการสลายตัวผุพังของหินเนื้อหยาบพวกหินแกรนิต



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ เปอร์เซ็นต์ Texture

ที่มา: Kanokrat Khemanuwong, 2014





รูปที่ 4 สภาพลักษณะดินตามหน้าตัดดิน

ทับถมอยู่บนเนินตะกอนรูปพัดติดต่อกัน สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 1-5 % การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ปานกลางถึงเร็ว การซึมผ่านได้ของน้ำ เร็ว ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 1 เมตรตลอดปี มีอินทรีย์วัตถุต่ำ สภาพเป็นกรด pH 4.5 -5.5 [4] ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ ความอุดมสมบูรณ์และตามธรรมชาติปานกลางถึงต่ำ ตามตารางที่ 2 จึงมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ของพื้นที่

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินชุดหุบกะพง

ความลึก (ซม.)	อินทรีย์วัตถุ	ความจุ แลกเปลี่ยน แคตไอออน	ความ อิ่มตัว เบส	ฟอสฟอรัส ที่เป็น ประโยชน์	โพแทสเซียม ที่เป็น ประโยชน์	ความอุดม สมบูรณ์
0-25	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
25-50	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
50-100	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

เนื่องจากลักษณะดินเป็นทรายเนื้อหยาบ มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ในช่วงฤดูเพาะปลูก ดังนั้น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรเลือกปลูกพืชที่ทนแล้งได้ดีและควรมีการปรับปรุงบำรุงรักษาดิน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยเทศบาล อัตรา 2-3 ตัน/ไร่ หรือปลูกพืชปุ๋ยสด แล้วไถกลบลงดินเมื่อปุ๋ยพืชสดอายุ 40 -50 วัน หรือออกดอกได้ประมาณ 50

% ปุ๋ยสดที่แนะนำ ได้แก่ ปอเทือง ถั่วพุ่ม ถั่วดำ โสนต่างๆ เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ทั้งทางกายภาพและเคมีให้ดีขึ้นและควรใส่ปุ๋ยเคมีควบคู่ไปด้วย เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น เช่น ข้าวโพดและข้าวฟ่าง ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 14-14-14 หรือ 15-15-15 หรือ 16-16-16 อัตรา 30-40 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยสูตร 21-0-10 อัตรา 25-30 กก./ไร่ หรือสูตร 46-0-0 อัตรา 10-15 กก./ไร่ การใส่ให้แบ่งครั้งใส่ ครั้งแรกใส่รองกันหลุมตอนปลูก ครั้งที่สองโรยสองข้างแถวหลังปลูก 20 - 25 วัน แล้วพรวนดินกลับ [5]

จากลักษณะของดินและข้อแนะนำการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการปลูกพืชในพื้นที่เงาฝนจะต้องคำนึงปัจจัยของธรรมชาติ ในเรื่องสภาพดิน ฟ้า อากาศ ฤดูกาล และวิธีการจัดการพื้นที่อย่างเหมาะสมเนื่องจากในแต่ละปีมีฝนตกน้อยและไม่สม่ำเสมอ ทำให้น้ำผิวดินมีน้อย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงมีความจำเป็นต้องใช้พืชที่มีธาตุอาหารน้อย อายุสั้น เหมาะสมกับสภาพดินทรายเขตเงาฝน ใช้น้ำน้อย เป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และมีมูลค่าสูง เช่น งาดำ เป็นต้น

### 2.1.3 งาดำ

งา (Sesame) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* Linn. วงศ์ Pedaliaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum orientale* Linn. มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศเอธิโอเปีย งาเป็นไม้ล้มลุกและเป็นไม้พื้นเมืองของประเทศในแถบเอเชีย ซึ่งหมายถึงประเทศไทยด้วย

สำหรับพันธุ์งาในประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้รวบรวมพันธุ์ไว้มีหลายสายพันธุ์ เช่น งาขาว งาแดง และงาดำ เป็นต้น สำหรับการทดลองครั้งนี้ ใช้งาดำพันธุ์มก.18 ซึ่งได้รับการพัฒนาพันธุ์จาก ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นพันธุ์แท้ที่พัฒนาพันธุ์โดยโครงการปรับปรุงพันธุ์งา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คัดเลือกพันธุ์โดยวิธีจุดประวัติ จาก คู่ผสม col34 x งาดำนครสวรรค์ ลักษณะลำต้นไม่แตกกิ่ง ขนาดฝักใหญ่และค่อนข้างยาว เมล็ดสีดำสนิทค่อนข้างใหญ่และเต่ง ลักษณะเด่นประจำพันธุ์ ซึ่งเมื่อแก่ฝักจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและใบร่วงทำให้สะดวกในการเก็บเกี่ยวและไม่ต้องบ่มงาหลังการเก็บเกี่ยว

#### 1) ลักษณะประจำพันธุ์

งาดำพันธุ์ มก.18 มีเอกลักษณ์ประจำพันธุ์ ตามรูปที่ 5 คือ เมล็ดมีกลิ่นหอม รสชาติอร่อย มีสีดำสนิท เมื่อนำไปประกอบอาหารสีดำจะไม่ละลายออกมา เมล็ดมีขนาดใหญ่และเปลือกเมล็ดชั้นเดียว (single husk) ซึ่งคุณลักษณะทั้ง 3 ประการนี้เป็นที่นิยมของชาวญี่ปุ่น ดังนั้นงาดำพันธุ์ มก.18 จึงเป็นที่ต้องการของตลาดญี่ปุ่น เพื่อบริโภคเมล็ดโดยตรง



ลักษณะดอก



ลักษณะลำต้น



การเคาะเอาเมล็ดออก



ลักษณะของฝัก



ลักษณะเมล็ด



ใช้ผสมในประกอบอาหาร

รูปที่ 5 ลักษณะดอก ต้น ฝักและเมล็ดของงาดำพันธุ์ มก 18

ที่มา : วาสนา วงษ์ใหญ่ และวิทยา แสงแก้วสุข, (2550)

งาดำพันธุ์ มก.18 มีอายุดอกบาน 36 วัน ช่วงการออกดอก 70 วัน อายุเก็บเกี่ยวฤดูต้นฝน 90 วัน อายุเก็บเกี่ยวฤดูปลายฝน 85 วัน ความสูง 126-129 ซม. ผลผลิต 148 กก./ไร่ น้ำหนัก 3.0 กรัม/1000 เมล็ด สีเมล็ดมีสีดำเมล็ดมีขนาดใหญ่ และเต่งเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นเดียว ทรงต้นลำต้นเดี่ยว ลักษณะฝัก 2 คาร์เพล (bicarpellate) สีเขียวเข้ม การเรียงของฝัก แบบตรงข้าม 1 ข้อมี 2 ฝัก และเวียนสลับรอบลำต้น ข้อแรกที่ติดฝัก ประมาณข้อที่ 3 หรือ 4 จากพื้นดิน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน 48.2 (Soxhlet method) เซซามิน (sesamin) 3949.91 มก./กก. เซซาโมลิน (sesamolin) 2985.40 มก./กก. วิตามิน อี (vitamin E ) 211.84 มก./กก.

## 2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของงา

### 2.1) สภาพภูมิศาสตร์

งาเป็นพืชเขตร้อนชอบอากาศร้อนและแดดจัด อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ประมาณ 27-30 องศาเซลเซียส ไม่ชอบอากาศหนาวเย็น ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศา

เซลเซียส การงอกจะช้าลง หรือ อาจชะงักการเจริญเติบโต แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสจะทำให้การผสมเกสรติดยากการสร้างฝักเป็นไปได้ช้า

## 2.2) ดิน

งาสามารถขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิด แต่จะขึ้นได้ดีที่สุดในดินร่วนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร มีการระบายน้ำดีและมีความเป็นกรดเป็นด่าง ระหว่าง 6.0-6.5 ไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง ถ้าปลูกในดินเค็มรากของงาจะชะงักการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตของงาลดลง

## 2.3) น้ำ

งาเป็นพืชที่ค่อนข้างทนแล้งได้ดี ปลูกได้ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 300 ถึง 1,000 มิลลิเมตร หรือปริมาณน้ำฝนปานกลางถึงฝนตกชุก แต่ไม่เปียกแฉะหรือน้ำท่วมขังในฤดูปลูกงาสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ถ้าฝนแล้งในช่วงสั้น ๆ อัตราการใช้น้ำของงาหลังจากการงอกจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงช่วงระยะออกดอกเป็นช่วงที่งาใช้น้ำมากที่สุด ดังนั้น การขาดน้ำในระยะนี้จะมีผลกระทบต่อผลผลิตของงาเป็นอย่างมาก หลังจากระยะออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวแล้ว อัตราการให้น้ำจะลดลง

โดยปกติในฤดูฝนจะมีความชื้นเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของงาตลอดฤดูกาลเพาะปลูก แต่ในช่วงฤดูแล้งถึงแม้ว่าจะชอบอากาศร้อนและทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีพอสมควร หากจะให้ได้ผลผลิตสูง จำเป็นจะต้องอาศัยน้ำชลประทานเข้าช่วย เพราะการให้น้ำที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยจนเกินไปจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของงา

## 3) วิธีการปลูกงามี 2 วิธี คือ 1. การหว่านและ 2. การปลูกแบบโรยเป็นแถว

### 3.1) การปลูกแบบหว่าน

เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมปลูกงาด้วยวิธีนี้ โดยหลังจากเตรียมดินดีแล้ว จะใช้เมล็ดงาหว่านให้กระจายสม่ำเสมอ ในแปลงปลูก แล้วคราดกลบทันทีเพราะถ้ารอจนหน้าดินแห้งหรือเมล็ดถูกแดดเผาานานๆ เมล็ดงาจะตกรัน ทำให้ไม่งอกหรืองอกไม่สม่ำเสมอ สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่หว่านจะใช้ประมาณ 1-2 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเตรียมดินและความเค็มของเกษตรกร ในการหว่านอาจใช้ทรายละเอียด ขี้เถ้า แกลบ หรือมูลสัตว์ ผสมในอัตรา 1:1 เพื่อช่วยให้เมล็ดงากระจายสม่ำเสมอมากขึ้น ปัจจุบันมีการนำเครื่องปลูกงาแบบหว่านมาใช้ในเขตจังหวัดลพบุรี เป็นเครื่องปลูกที่ใช้ติดท้ายรถแทรกเตอร์ ตัวเครื่องประกอบด้วยพาน 4 พาน ถ้าบรรจุเมล็ดพันธุ์และมีช่องปล่อยเมล็ด

พันธุ์ให้งาออกตามอัตราที่กำหนดไว้ เมื่อเมล็ดงาตกลงพื้นดินผานทั้ง 4 ผ่านจะไถดินตาม ทำให้เมล็ดถูกกระจายออกและถูกดินกลบ ต้นงาที่งอกขึ้นมาจะกระจายตัวคล้าย ๆ กับการหว่าน เครื่องปลูกงาเมื่อพ่วงกับรถไถเดินตามขนาดเล็ก จะใช้เวลาปลูกประมาณ 20 นาทีต่อไร่ หากพ่วงกับรถไถขนาดใหญ่ใช้เวลาเพียง 10 นาที ต่อไร่

### 3.2) การปลูกแบบโรยเป็นแถว

ในการทำร่องสำหรับโรยเมล็ด ส่วนใหญ่ใช้คราดกาแถว จะช่วยให้ทำแถวปลูกได้เร็วขึ้น ระยะแถวปลูก 50x10 เซนติเมตร หรือใช้เครื่องปลูกชนิด 4 แถว ระยะปลูก 30x10 เซนติเมตร หรือในแถวยาว 1 เมตร ให้มีต้นงา 10-20 ต้น หลังจากปลูกแล้ว 15-20 วัน ให้ทำการถอนแยกให้ได้ระยะต้นตามความต้องการ อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ประมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อไร่ การปลูกด้วยวิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์มากกว่าวิธีหว่าน เสียเวลาและแรงงานมากต้องกำจัดวัชพืชระหว่างแถวปลูก แต่จะสะดวกในการพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช การปลูกแบบเป็นแถวนี้จะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยวิธีหว่าน

### 4) การใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยเคมีที่ใช้กับงา ในดินทรายเขตเงาฝนหรือดินร่วนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ให้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 20-30 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับดินร่วนปนดินเหนียว ใช้ปุ๋ยสูตร 20-20-0 ในอัตรา 20-25 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรใส่ขณะที่งาจะออกดอกในปริมาณที่ไม่มากเกินไป เพราะปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้งาแก่ช้าและปริมาณน้ำมันในเมล็ดลดลง

#### วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีให้แกงา พิจารณาจากวิธีการปลูกดังนี้

1. ปลูกแบบหว่าน ให้ใช้ปุ๋ยหว่านแล้วคราดกลบก่อนปลูก
2. ปลูกแบบโรยเป็นแถว ให้ใช้ 2 วิธี คือ
  - โดยใช้ปุ๋ยทั้งหมดโรยกันร่องแถวปลูกก่อนปลูก
  - โดยแบ่งให้ 2 ครั้ง ครั้งละเท่า ๆ กัน

ครั้งแรก : โรยกันร่องของแถวปลูกก่อนปลูก

ครั้งที่สอง : โรยข้างแถวปลูกเมื่องาอายุไม่เกิน 15 วัน หลังจากงอก

ควรมีการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือไกลบปุ๋ยพืชสด ในดินในช่วงเตรียมดินก่อนปลูกจะทำให้ได้ผลผลิตสูง เพราะ งามตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีกว่าปุ๋ยเคมี

### 5) การดูแลรักษา

งาเป็นพืชที่ต้องการการดูแลรักษาน้อยกว่าพืชชนิดอื่นเพียงแค่เตรียมดินให้ถูกวิธี และเหมาะสม และปลูกลงในหลุมอย่างสม่ำเสมอ ก็สามารถทำให้ผลผลิตพอสมควรแล้วส่วนใหญ่ เกษตรกรที่ปลูกลงเมื่อหว่านเมล็ดงาแล้วก็ปล่อยให้จนถึงเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม หากได้มีการปฏิบัติ ดูแลรักษาบ้างก็จะช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น ทั้งนี้ควรจะเริ่มจากการปลูกลงเป็นแปลงใหญ่ ๆ ขนาด 3-5 เมตร ให้มีร่องระหว่างแปลงเพื่อจะได้ตรวจแปลงได้สะดวกเมื่อมีโรคและแมลงรบกวนสามารถที่จะ ป้องกันกำจัดได้ง่ายและรวดเร็ว

## 6) การเก็บเกี่ยว

การสังเกตระยะสุกแก่ของงา เมื่องาเจริญเติบโตเต็มที่ถึงระยะสุกแก่จะต้องรีบเก็บเกี่ยว เนื่องจากฝักงาโคนต้นที่แก่ก่อนจะแตกออกทำให้เมล็ดร่วงเสียหาย การสุกแก่ของงาสามารถสังเกตได้ดังนี้

- 6.1) ดอก เมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวดอกสุดท้ายจะร่วง
- 6.2) ใบ จะมีสีเหลืองและร่วงเกือบหมด
- 6.3) ฝัก เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ประมาณ 1 ใน 4 ของต้น
- 6.4) เมล็ด มีลักษณะค่อนข้างเต่งตึงและเปลี่ยนสีตามพันธุ์ สำหรับงาดำให้แกะฝักที่ 3 จากยอดออกมาดู ถ้าเมล็ดมีสีน้ำตาลแสดงว่าแก่เก็บเกี่ยวได้

## 7) อายุของงา

อายุของงาแต่ละพันธุ์ เช่น งาขาว พันธุ์เมืองเลย อายุ 110-120 วัน งาขาวพันธุ์เมือง พันธุ์ชัยบาดาลอายุ 80-85 วัน งาขาวพันธุ์ร้อยเอ็ด 1 อายุ 70-75 วัน งาขาว พันธุ์มหาสารคาม 60 อายุ 80-85 วัน งาดำนครสวรรค์ อายุ 95-100 วัน งาดำ มก.18 อายุ 85-90 วัน งาดำ มช.2 อายุ 70-75 วัน งาดำพันธุ์อุบลราชธานี 1 มช.3 พิษณุโลก และสุโขทัย อายุ 80-85 วัน เป็นต้น การพิจารณาอายุของงานี้จะต้องพิจารณาความชื้นของอากาศขณะนั้นประกอบด้วยถ้าฝนตกชุกอากาศมีความชื้นสูงงาจะสุกแก่ช้า แต่ถ้าอากาศแห้งจะเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าอายุจริง 5-10 วัน เช่น งาขาวพันธุ์ร้อยเอ็ด 1 ถ้าอากาศแห้งแล้งจะเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 60-65 วัน เป็นต้น

## 8) วิธีการเก็บเกี่ยวงา

การเก็บเกี่ยวใช้เคียวหรือมีดเกี่ยวต่ำกว่าฝักกลางเล็กน้อยถ้าปลูกลงในดินทรายเขตเงา ฝนหรืองาดำต้นเล็กจะใช้วิธีถอนทั้งต้นก็ได้ ทั้งนี้พยายามอย่าให้ดินทรายเขตเงาฝนเกาะติดต้นงา เพราะ

จะปนอยู่กับเมล็ดมากเวลาเคาะ ทำให้คุณภาพของงาลดลง ปัจจุบันมีเครื่องเกี่ยวงาแบบวางราย ทำให้เกี่ยวได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

### 9) วิธีการบ่มงา

หลังจากการเก็บเกี่ยวงาแล้วนำมาบ่มโดยนำต้นงามากองรวมกัน หันปลายยอดเข้าหากัน วางซ้อนเป็นชั้น ๆ ขึ้นไปเรื่อย ๆ ให้ฝักปลายยอดเลื่อมกันเล็กน้อย (กองบ่มทั่วไปมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง ประมาณ 2 x 3 x 1 เมตร) กองบ่มควรอยู่ในที่กลางแจ้งและที่สูงในแปลงปลูก เพื่อป้องกันน้ำท่วมและอากาศถ่ายเทสะดวก เมื่อกองเรียบร้อยแล้วนำฟางข้าว ใบไม้ ใบหญ้า ปิดทับกองประมาณ 5-7 วัน ถ้าอากาศแห้งเกินไปควรรดน้ำกองบ่มบ้าง หลังจากการบ่มแล้วฝักจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลปนดำเสมอกัน ส่วนใบจะเปลี่ยนเป็นสีดำและหลุดร่วงไป จากนั้นจึงทำการมัด ตากเคาะ และทำความสะอาดเมล็ดต่อไป

### 10) ข้อดีของการบ่มงา

10.1) การปลูกงาจำนวนมาก ๆ ถ้าเก็บเกี่ยวช้าฝักจะแตกเมล็ดร่วงเสียหาย การบ่มจะช่วยให้เกษตรกรมีเวลาเก็บเกี่ยวงาได้มากขึ้น สามารถเก็บเกี่ยวพร้อม ๆ กัน ได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่

10.2) การบ่มงาทำให้ใบร่วง สะดวกต่อการมัดเป็นกำและตั้งตากได้ง่าย

10.3) การบ่มทำให้สามารถเคาะได้เร็วขึ้น เพราะงาที่บ่มจะแห้งเร็ว เนื่องจากใบร่วงหมด และใช้เวลาตากน้อยประมาณ 1-2 วันก็สามารถเคาะได้ แต่งาที่ไม่บ่มต้องใช้เวลาตากถึง 4-5 วัน

10.4) การบ่มช่วยให้ฝักงาส่วนโคนต้นและส่วนปลายออกรวมกัน จึงประหยัดเวลาแรงงานในการเคาะ โดยเคาะ เพียง 1-2 ครั้งก็ได้เมล็ดงาเกือบทั้งหมด แต่ถ้าไม่บ่มจะต้องเคาะ 3-4 ครั้ง เนื่องจากฝักงาออกรวมกัน

10.5) การบ่มงาช่วยลดความเสียหายอันเนื่องมาจากมีฝนตกในขณะตากงา เพราะการบ่มงาจะใช้เวลาดากน้อยกว่าไม่บ่ม

การบ่มงานี้จะทำการบ่มเฉพาะงาดำและงาดำแดงส่วนงาขาวมีสีหมองคล้ำคุณภาพเมล็ดต่ำ สำหรับงาที่จะนำไปบริโภคเป็นอาหารไม่ควรบ่มเช่นงาดำพันธุ์ มข.18 เพราะจะทำให้มีกลิ่นดิน เศษพืชติดไปกับเมล็ดงา หากเกษตรกรเก็บเกี่ยวงาครบอายุเก็บเกี่ยวให้นำไปตาก 3-4 แดด แล้วเคาะขนาดได้ทันที

การมัด ตาก เคาะ และทำความสะอาดเมล็ดงา หลังจากบ่มแล้ว ทำการเคาะให้ใบร่วงออกหมดเหลือแต่ฝักและต้นงา ใช้ตอกหรือเชือกฟางมัดงาเป็นกำ ๆ ขนาดกำมือแล้วนำงา 3 กำ มามัดที่ปลายต้นงารวมเป็นมัดเดียวกันแล้วนำไปตั้งตาก ซึ่งจะแยกมัดงาเป็น 3 ขา ช่วยพยุงไม่ให้มัดงาล้มเวลาตั้งตาก หรือจะใช้วิธีการทำราวตากโดยมัดงาเป็นกำขนาดใหญ่แล้วแบ่งครึ่ง แขนวตากไว้บนราว วิธีนี้จะได้เมล็ดงาที่สะอาดกว่าวิธีแรก เพราะต้นงาไม่ได้ตั้งอยู่บนพื้นดิน หลังจากตากไว้ 2-3 วัน ก็นำไปเคาะ โดยนำมัดงาที่ตากจนฝักแห้งและปลายฝักหักออกแล้วคลำมัดงาลงภาชนะที่เตรียมไว้ ใช้ไม้เคาะมัดงาเบา ๆ เมล็ดงาก็จะร่วงลงบนภาชนะโดยง่าย นำไปตากแดดอีก 1-2 แดด แล้วนำไปเคาะใหม่อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำความสะอาดเมล็ดงาโดยคัดแยกเอาสิ่งเจือปนออกแล้วบรรจุลงกระสอบนำไปเก็บหรือจำหน่ายต่อไป

### 11) การเก็บเมล็ดพันธุ์

โดยปกติเมล็ดพืชน้ำมันจะเสื่อมความงอกในช่วงระยะเวลาอันสั้นแต่เมล็ดงานั้นสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน จากการทดสอบพบว่า เมล็ดงาสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 17 เดือน โดยเก็บไว้ในถุงพลาสติกชนิดหนาปิดปากถุงด้วยความร้อน เมล็ดยังมีความงอกถึง 82 เปอร์เซ็นต์ และเก็บใส่ถุงปุ๋ย ถุงผ้า และถุงกระดาษ นาน 8 เดือน เมล็ดงายังมีความงอกมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

เมล็ดงาที่เก็บไว้เป็นเมล็ดพันธุ์ ควรเป็นเมล็ดที่มีคุณภาพดี ที่ได้จากการเคาะครั้งแรก เพราะเมล็ดจะแก่และสมบูรณ์เต็มที่ จากนั้นนำไปตากให้แห้งก่อนเก็บในภาชนะปิดที่มีความชื้นต่ำ

### 12) โรคของงา

#### 12.1) โรคเน่าดำ

เชื้อสาเหตุ เชื้อราระยะการระบาด โรคนี้ระบาดได้ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงเก็บเกี่ยวลักษณะอาการ ใบเริ่มเหลืองซีดลงกว่าปกติ ต้นจะเหี่ยวยืนต้นตาย รากและลำต้นเน่าสีน้ำตาล เปลือกติดแน่นกับลำต้น ฉีกดูภายในจะกลวงแฟบ บริเวณแผลมีเมล็ดสีดำคล้ายผงถ่านกระจายอยู่ทั่วไป

#### การป้องกันกำจัด

1. คลุกเมล็ดด้วยสารเคมีก่อนปลูก ได้แก่ใช้เบนเลท คาเบนดาซิม เดลซีน เอ็ม เอ็กซ์ ในอัตรา 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ด
2. เลือกปลูกพันธุ์เมล็ดสีแดง



3. ปลุกพืชหมุนเวียนที่ไม่เป็นโรคนี้อัลกับการปลุกงาหรือย้ายพื้นที่ปลุก โดยปลุกซ้ำที่เดิมไม่เกิน 3 ปี

4. ใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง
5. เฝ้าทำลายเศษซากพืชที่เป็นโรค

## 12.2) โรคใบไหม้และลำต้นเน่า

เชื้อสาเหตุ เชื้อรา ระยะการระบาด ระบาดทำความเสียหายกับงาในระยะเติบโตถึงเก็บเกี่ยวลักษณะอาการ ใบไหม้โดยเฉพาะเมื่อมีความชื้นสูงฝนตกชุก อากาศไหม้จะลุกลามสู่ก้านใบ ลำต้น และในที่สุด ทำให้ต้นหักพับ เหี่ยวตาย

### การป้องกันกำจัด

1. ปลุกพันธุ์ต้านทาน เช่น มหาสารคาม 60
2. ปลุกงาในช่วงที่มีฝนน้อย เช่น ปลายฤดูฝน
3. อย่าปลุกในระยะชิดมากเกินไป
4. ปลุกพืชหมุนเวียนที่ไม่เป็นโรคนี้อัลกับการปลุกงา
5. ใช้สารเคมีพวกแคปแทน หรือไทแรม 0.3 เปอร์เซ็นต์ คลุกเมล็ดก่อนปลุก หรือใช้โรโตมิลฉีดพ่น 1-2 ครั้ง เมื่อพบการระบาดของโรค

## 12.3).โรคเหี่ยวจากแบคทีเรีย

เชื้อสาเหตุ เชื้อแบคทีเรีย

ระยะการระบาด ระบาดทำความเสียหายกับงาในระยะเติบโตถึงเก็บเกี่ยว

ลักษณะอาการ ยอดเหี่ยวมีรอยประสีขาวใสเล็ก ๆ กระจายตามความยาวของลำต้น เมื่อผ่าลำต้นตามขวางดูจะมีสีน้ำตาลบริเวณรอยต่อของเปลือกกับแกน เมื่อบีบจะพบน้ำเยิ้มสีขาวขุ่น ต้นงาจะเหี่ยวและยืนต้นตายโดยที่รากยังปกติอยู่

### การป้องกันกำจัด

1. ใช้พันธุ์ต้านทาน ได้แก่ งาแดงพันธุ์อุบลราชธานี 1
2. ไม่ควรใช้สารเคมีเพราะไม่คุ้มทุน

#### 12.4).โรคนยอดฝอย

เชื้อสาเหตุ เชื้อไมโครพลาสมา โดยมีเพ็ลล์จี้กั๊นเป็นแมลงพาหะระยะการระบาด ระบาดกับงาในระยะต้นกล้าถึงระยะเจริญเติบโตลักษณะอาการ งาที่เป็นโรคจะชงักการเจริญเติบโต ใบมีขนาดเล็ก ยอดแตกเป็นพุ่มฝอย ดอกเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ายใบ ไม่ติดฝัก

##### การป้องกันกำจัด

1. ถอนและเผาทำลายต้นที่เป็นโรค
2. ปลุกให้เร็วขึ้น และหลีกเลี่ยงการปลุกในช่วงฤดูฝน
3. ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง เช่น เซฟวิน อีซอดริน ไดเมธโรเอท ในอัตรา 40-50 ซีซี ต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นในระยะก่อนออกดอก 1-2 ครั้ง ห่างกันประมาณ 7-10 วัน
4. หลีกเลี่ยงการปลุกงาติดต่อกันบริเวณหนึ่งบริเวณใดซ้ำกันหลาย ๆ ปี

#### 13) แมลงศัตรูงา

งามีแมลงศัตรูที่สำคัญหลายชนิด ทั้งพวกกัดกินใบพวกปากดูดและแมลงที่นำโรคมารู้นงา ซึ่งแมลงศัตรูที่สำคัญที่เข้าทำลายงาในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและการป้องกันกำจัด มีดังนี้

##### 13.1).หนอนทอใบงา

เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญที่สุดของงา โดยจะเข้าทำลายในทุกระยะการเจริญเติบโตเริ่มตั้งแต่งาออกพินฉิวดินจนถึงระยะติดดอกออกฝัก ถ้าทำลายระยะต้นอ่อน ต้นงาจะเหี่ยวแห้งตายหมด โดยลักษณะการทำลายนั้นตัวหนอนจะชักใยดึงเอาใบที่ส่วนยอดมาทอหุ้มตัวไว้และกัดกินอยู่ภายใน แต่ละยอดอาจจะมีตัวหนอน 1-5 ตัวระยะออกดอกจะกินดอกทำให้ดอกร่วง ส่วนระยะติดฝักจะเจาะเข้าไปกัดกินอยู่ภายในฝัก

##### การป้องกันกำจัด

1. ใช้พันธุ์ต้านทาน เช่น พันธุ์มหาสารคาม 60, ชัยบาดาล นครสวรรค์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี 1
2. ใช้สารสกัดสะเดาเข้มข้น 50-20 พีพีเอ็ม อัตรา 50 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร

3. ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ โมโนโครโทฟอส (อโซทริน, นูราครอน) คาร์โบซัลแฟน (พอสซ์) ฉีดพ่นเมื่อพบหนอน 2 ตัวต่อแปลงยาว 1 เมตร เมื่ออายุ 5, 20 และ 40 วัน

### 13.2) หนอนผีเสื้อหัวกะโหลก

เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของงาและพืชหลายชนิด เช่น ถั่วต่าง ๆ มะเขือ และยาสูบ เป็นต้น เกษตรกรเรียกหนอนชนิดนี้ว่า "หนอนแก้ว" สามารถทำความเสียหายให้แก่ต้นงาได้มากและรวดเร็ว เนื่องจากเป็นหนอนผีเสื้อขนาดใหญ่หนอนจะกัดกินใบงาเหลือแต่ก้านและต้นเห็นได้อย่างชัดเจนโดยทำลายตั้งแต่งาเริ่มแตกใบจริงจนกระทั่งติดดอกออกฝักเมื่อกินใบของต้นหนึ่งหมดก็จะเคลื่อนย้ายไปกินต้นอื่นตัวหนอนชอบหลบอยู่ใต้ใบทำให้สังเกตเห็นได้ยากเพราะมีสีเขียวคล้ายต้นงา การระบาดของหนอนชนิดนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงในบางท้องที่และบางฤดูกาลเท่านั้น

#### การป้องกันกำจัด

1. ใช้พันธุ์ต้านทาน เช่น พันธุ์มหาสารคาม 60 ชัยบาดาล นครสวรรค์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี 1
2. ใช้สารสกัดสะเดาเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม อัตรา 50 มิลลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร
3. ไม่ทำลายแมลงวันก้นขน ซึ่งเป็นศัตรูธรรมชาติของหนอนผีเสื้อหัวกะโหลก
4. ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ เมทามิโดฟอส (ทารารอน) ฉีดพ่นเมื่อพบหนอน 1 ตัว ต่อแถวยาว 1 เมตร เมื่ออายุ 5, 20 และ 40 วัน

### 13.3) แมลงกินุนเล็ก

แมลงชนิดนี้จะทำความเสียหายให้กับต้นงาได้อย่างรวดเร็ว การระบาดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและสภาพพื้นที่ มักทำลายต้นงาในระยะติดฝักในเวลากลางคืนส่วนกลางวันจะหลบอยู่ตามต้นไม้ใหญ่รอบ ๆ แปลงปลูก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถ้าพบแมลงกินุนระบาดจะดักจับมาเป็นอาหารหรือจำหน่าย ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดแมลงที่ได้ผลดีวิธีหนึ่ง

### การป้องกันกำจัด

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ปลูกลงต้นฤดูฝน (เมษายน-กรกฎาคม) ควรพ่นสารป้องกันกำจัดแมลงไว้ก่อนเพราะแมลงชนิดนี้จะเข้าทำลายใบช่วงกลางคืนและกัดกินอย่างรวดเร็ว โดยใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่ใช้ได้แก่ ไมโนโครโตฟอส (อะโซทริน, นูวาครอน) เมทามิโดฟอส ฉีดพ่นเมื่อพบการทำลายประมาณ 5-7 ครั้ง ทุก 7-10 วัน

### 13.4) เพลี้ยจักจั่น

ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะอาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงตามใบและยอดอ่อนของงานอกจากนี้เพลี้ยจักจั่นยังเป็นแมลงพาหะนำโรคยอดฝอยมาสู่ยางอีกด้วย ทำให้ยางแสดงอาการยอดแตกเป็นพุ่มฝอยไม่ติดฝัก โดยช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดโรคคือ เมื่องามีอายุ 30-60 วัน

### การป้องกันกำจัด

ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ เบโนมิล (เซฟวิน) ไมโนโครโตฟอส (อะโซทริน) ฉีดพ่นในระยะก่อนออกดอก 1-2 ครั้ง ห่างกัน 7-10 วัน

### 13.5).มวลงเขียวข้าว

พบมีการระบาดทั่วไปในแหล่งปลูกลง โดยเฉพาะการปลูกลงตามหลังข้าว จะเกิดการระบาดอย่างต่อเนื่องและรุนแรง เพราะเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของข้าว ตัวอ่อนฟักใหม่ๆ จะอยู่รวมกลุ่มกันดูดกินน้ำเลี้ยง งามบางต้นจะมีสีน้ำตาลตลอดบริเวณยอด เนื่องจากตัวอ่อนของมวลงเขียวข้าวรวมตัวกันดูดกินน้ำเลี้ยง เมื่อมวลงโตขึ้นลำตัวจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแล้วจะเริ่มแยกไปดูดกินน้ำเลี้ยงตามต้นอื่น ๆ ขณะที่งาเริ่มออกดอกและติดฝัก หากถูกมวลงเขียวข้าวทำลายอย่างรุนแรงจะทำให้มีการติดฝักน้อยลง

### การป้องกันกำจัด

ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ ไตรอะโซฟอสอตรา 50 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นเมื่องาอายุ 1 เดือน

### 13.6) มวนฝิ่น

เป็นแมลงปากดูดขนาดเล็ก ตัวอ่อนมีสีเขียว ตัวเต็มวัยมีสีเหลืองหรือน้ำตาลอมดำ ทำลายโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอด ใบอ่อน ดอก และฝักอ่อน ใบอ่อนที่ถูกทำลายจะมีการเจริญเติบโตช้า ใบที่โตขึ้นมีลักษณะเรียวยาวเล็ก บิดงอมีสีเหลืองและมีรูโหว่ ทำให้ใบขาดเป็นรูกระจายโดยทั่วไปถ้าทำลายมาก ๆ ต้นงาจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาได้

#### การป้องกันกำจัด

1. ใช้พันธุ์ต้านทาน เช่น พันธุ์นครสวรรค์และอุบลราชธานี 1
2. ใช้สารสกัดสะเดาเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นทุก 7 วัน
3. ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ ไตรอะโซฟอส (ฮอสตาธอน) โมโนโครโตฟอส (อะโซตริน) ฉีดพ่นเหมือนการป้องกันกำจัดหนอนห่อใบงา

### 14) ข้อควรพิจารณาในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูงา

14.1) แมลงศัตรูงาที่ควรระมัดระวังมากที่สุด คือ หนอนห่อใบงา ซึ่งจะเข้าทำลายตลอดระยะการปลูก โดยเฉพาะในระยะกล้า ถ้าหนอนทำลายมาก ๆ งามจะตายได้ รองลงมาคือ หนอนผีเสื้อหัวกะโหลก ให้หมั่นตรวจดูแปลงถ้าพบไข่หรือตัวหนอนให้เก็บหรือจับไปทำลาย เนื่องจากไข่หรือตัวหนอนมีขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัดเจน เป็นวิธีป้องกันที่ดีและประหยัด

14.2) การใช้สารเคมี ควรใช้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น ก่อนใช้ควรตรวจนับจำนวนแมลงศัตรูก่อน ถ้าพบในปริมาณมากถึงระดับเศรษฐกิจจึงค่อยทำการฉีดพ่นสารเคมี เช่น พบหนอนห่อใบงาจำนวน 2 ตัว ต่อแถวยาว 1 เมตร หรือหนอนผีเสื้อหัวกะโหลกจำนวน 1 ตัว ต่อแถวยาว 1 เมตร จึงใช้สารเคมีฉีดพ่น เพราะการใช้สารเคมีมากหรือบ่อยครั้งเกินไป นอกจากจะทำลายแมลงศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูงาแล้ว ยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตอีกด้วย

14.3) การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูงาที่ดี ควรใช้วิธีผสมผสาน โดยหมั่นตรวจแปลงอยู่เสมอ ใช้วิธีการป้องกันกำจัดโดยวิธีอื่น ๆ ก่อนถ้าไม่ได้ผลจึงค่อยใช้การป้องกันกำจัดโดยวิธีอื่น ๆ ก่อนถ้าไม่ได้ผลจึงค่อยใช้การป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมี เช่น ใช้แสงจากหลอดไฟดักผีเสื้อ เก็บไข่หรือจับตัวหนอนมาทำลาย และจับแมลงที่บริเวณได้มารับประทาน เป็นต้น

14.4) ในการใช้สารเคมีให้พิจารณาใช้สารเคมีที่กำจัดแมลงอย่างได้ผลและมีราคาไม่แพงเกินไป อย่าใช้สารเคมีชนิดเดียวติดต่อกันนาน ๆ ควรเปลี่ยนชนิดของสารเคมีบ้างเพื่อป้องกันการดื้อยาของแมลง

## 15) การป้องกันกำจัดวัชพืชในแปลงงา

### 15.1) ใช้วิธีเขตกรรม

เลือกช่วงเวลาของการปลูกงา ในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน จะปัญหาเรื่องวัชพืชน้อยเพราะอากาศแห้งแล้ง ดินมีความชื้นน้อย วัชพืชงอกได้ในปริมาณไม่มากนัก ถ้าปลูกในช่วงปลายฝนระหว่างเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม จะมีวัชพืชมากจนอาจเก็บเกี่ยวงาไม่ได้เลยถ้าไม่มีการกำจัดวัชพืช

ปลูกงาให้ขึ้นสม่ำเสมอ แปลงงาที่งอกสม่ำเสมอจะไม่ค่อยมีปัญหาวัชพืช แต่แปลงที่งอกห่างจะมีวัชพืชขึ้นมากโดยเฉพาะการปลูกงาแบบโรยเป็นแถวหรือหยอดเป็นหลุม ดังนั้นจึงต้องมีการพรวนดินตายหญ้าบ้าง

ไถเตรียมดินก่อนปลูกให้ดี โดยเฉพาะในการปลูกงาปลายฝนจะต้องไถเตรียมดินให้ดีกว่าในช่วงต้นฝน

## 16) คุณค่าทางโภชนาการ

งาเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่ง เมล็ดงามีไขมันประมาณ 35-57 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนประมาณ 17-25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองและไข่แล้วพบว่า งามีไขมันสูงกว่าถั่วเหลืองประมาณ 3 เท่า และสูงกว่าไข่ ประมาณ 4-6 เท่า มีโปรตีนสูงกว่าไข่ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ต่ำกว่าถั่วเหลืองประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้โปรตีนในงายังแตกต่างจากพืชตระกูลถั่วและพืชให้น้ำมันอื่น ๆ เพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นซึ่งพืชดังกล่าวขาดแคลน เช่น เมธไอโอนินและซิสตีน แต่งามีไลซีนต่ำ ดังนั้นอาจใช้งาเป็นอาหารเสริมพวกอาหารถั่วต่าง ๆ เมื่อใช้เป็นอาหาร หรือใช้เสริมโปรตีนจากเนื้อสัตว์ซึ่งมีราคาแพง นอกจากนี้ยังใช้เสริมอาหารพวกธัญพืช ถั่ว และอาหารแปรรูปอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่ง ดร. โรเบิร์ต แอล เมเออร์ [11] แห่งวารสารเจฟเฟอร์สัน ได้รายงานว่ามี การปลูกงาในบาบิโลนและอัลซีเรีย กว่า 4,000 ปีมาแล้ว งามีการปลูกแพร่กระจายในหลายส่วนของโลกมากกว่า 5 ล้านเอเคอร์ และพื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดของการผลิตในปัจจุบันคือประเทศอินเดีย นอกจากนี้ยังมีการเจริญเติบโตในประเทศจีน, เกาหลี, รัสเซีย, ตุรกี, เม็กซิโก, อเมริกาใต้และหลายประเทศในทวีปแอฟริกา ซึ่งมีการผลิตเชิงพาณิชย์เริ่มต้นขึ้นในปี 1950 พื้นที่เพาะปลูกในรัฐเท็กซัสของสหรัฐอเมริกาและตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาได้ตั้งแต่ 10,000 ถึง 20,000 เอเคอร์

สำหรับการปลูกงาในประเทศไทย ในช่วงปี 2544 - 2545 มีพื้นที่ปลูกงาประมาณ 393,589 ไร่ ผลผลิตรวม 38,570 ตัน มีการส่งออกเมล็ดงาประมาณร้อยละ 65 โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น มีความต้องการงาดำ มก.18 เพิ่มขึ้นปีละกว่า 12,000 ตัน งาขาวเพิ่มขึ้นปีละกว่า 90,000 ตัน ส่วนที่เหลือ

ประมาณ ร้อยละ 35 ใช้ภายในประเทศ (นำไปสกัดน้ำมันจาประมาณร้อยละ 20 และบริโภคในรูปอื่นๆ ประมาณร้อยละ 80) [6] โดยเฉพาะอย่างยิ่งวารสาร Thomas Jefferson ได้ให้การยอมรับศักยภาพของงาในแปดทดสอบ (เขาเรียกมันว่า Beni หรือ BENNE) ต่อมาได้มีการพัฒนาพันธุ์งาลำต้นมีความสูงผิดปกติให้น้ำมัน 50% ของน้ำหนักเมล็ด เมื่อเทียบกับเมล็ดถั่วเหลืองได้น้ำมันแค่ 20% งามีมูลค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยน้ำมันระหว่าง 46.4–52.0% มีโปรตีน 19.8–24.2% ซึ่งมีสัดส่วนดี จึงเป็นอาหารที่ดี มีสารมิไรโออินและทรिฟโทเฟนสูง มีแคลเซียม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินบี และเหล็ก เมล็ดงายังมีสาร sesamin และ sesamolol มีผลต่อการลดคอเลสเตอรอลในมนุษย์และช่วยป้องกันความดันโลหิตสูง น้ำมันงายังมีการใช้งานทางการแพทย์และเภสัชกรรมอย่างกว้างขวาง โดยใช้เป็นยาระบายและทำให้ผิวหนังและช่วยต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อมะเร็ง เมล็ดงามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (Monounsaturated fatty acids) ระหว่าง 42.5–43.3% ซึ่งเชื่อว่าช่วยป้องกันหลอดเลือดแดงแข็งและโรคหัวใจ สรรพคุณคนโบราณนิยมใช้น้ำมันงาในการรักษาตัวเองมานานหลายพันปีมาแล้ว งาเจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อน ทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี แต่ต้องการความชุ่มชื้นของดิน [6]

งาได้รับการวิจัยอย่างกว้างขวางในรัฐมิสซูรี [12] มีการปลูกงาเพื่อผลิตเมล็ดงาจำหน่าย โดยใช้เครื่องจักรกลและนิยมปลูกงาหลังการปลูกฝ้าย เนื่องจากงาไม่ไวต่อการเกิดโรครากเน่าโคนเน่าในฝ้าย งาไม่ไวต่อแสง ไม่ชอบน้ำขัง ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ pH 5.8 การปลูกเป็นแนวมีระยะห่างตั้งแต่ 15 - 40 นิ้ว [13] ผลผลิตต่อไร่มีความแตกต่างกัน ตามลักษณะของสายพันธุ์และสภาพพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีการผสมพันธุ์ใหม่เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่แข็งแรง ทนต่อโรค ปลูกได้และให้ผลผลิตสูง ฝักไม่แตกง่าย ในอนาคตคาดว่าจะเกิดปัญหาการขาดแคลนงา เนื่องจากการตลาดแคลนน้ำและความเสื่อมโทรมของดิน

สำหรับศตวรรษที่ 21 ความเสื่อมโทรมของดิน ยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญระดับโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านอาหาร ผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนคุณภาพชีวิตของประชาชน [14] ดังนั้นพื้นที่เกษตรกรรมจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงโครงสร้างของดินเสื่อมโทรมให้มีความเหมาะสมกับการปลูกพืช ซึ่งวัสดุปรับปรุงดินที่สามารถผลิตได้จากของเหลือทิ้ง ผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนในขณะเผาไหม้ จะได้ของแข็งสีดำเรียกว่า “ถ่านชีวภาพ”

## 2.1.4 ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ คือ สารที่มีเนื้อละเอียดและมีรูพรุนซึ่งมีสัณฐานคล้ายกับถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ตามธรรมชาติ ถ่านชีวภาพผลิตได้โดยการสลายตัวมวลชีวภาพด้วยความร้อนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนหรือจำกัดออกซิเจน เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเป็นประโยชน์ทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน มีความเสถียรสูง ผลิตได้จากการนำมวลชีวภาพ (biomass) ผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจนน้อยที่สุด (Pyrolysis) ในระหว่างการเผาไหม้ [7] จะได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ของแข็งสีดำ (Biochar) ของเหลวสีดำข้น (tar) และก๊าซสังเคราะห์ (syngas) กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ทำให้คาร์บอนภายในมวลชีวภาพถูกเก็บไว้ในรูปถ่านชีวภาพ ซึ่งเป็นของแข็งคงตัวแทนที่จะถูกเผาให้เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการเผาไหม้หรือเผาในสภาวะที่มีออกซิเจน (Joseph et al, 2009) ถ่านชีวภาพมีความคงตัวสูงสามารถกักเก็บไว้ในดินได้เป็นเวลาหลายร้อยหรือหลายพันปี เช่น ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่ผลิตในประเทศจีนสามารถกักเก็บในดินได้ประมาณ 244-1,700 ปี [8] หรือถ่านชีวภาพ Terra preta ในลุ่มน้ำอะเมซอนที่สามารถคงตัวอยู่ในดินได้ระหว่าง 500 -7,000 ปี เป็นต้น

มนุษย์ใช้ประโยชน์จากถ่านชีวภาพมาเป็นเวลาหลายพันปีมาแล้ว เช่น ชาวพื้นเมืองแถบลุ่มน้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ได้เผาเศษพืชและมูลสัตว์จากครวเรือนและพื้นที่เพาะปลูก ให้กลายเป็นถ่านชีวภาพที่เรียกชื่อตามภาษาท้องถิ่นว่า Terra Preta ซึ่งมีความหมายว่าโลกดำ (black earth) หมายถึงสีของดินบริเวณนั้นมีสีดำจนเกือบดำ [15] พื้นดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจะเป็นพื้นที่สำคัญเพื่อการเพาะปลูกพืชผัก เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์สารในดินสูงกว่าพื้นที่ซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพถึง 3 เท่า มีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์และความชื้นสูง ด้วยสมบัติที่มีความคงตัวสูง ถ่านชีวภาพเหล่านั้นยังปรากฏอยู่จนถึงปัจจุบัน [16] ในพื้นที่อื่นของโลกก็ปรากฏหลักฐานการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรกรรม เช่น เอกวาดอร์และเปรูในอเมริกาใต้ เบนิน และไลบีเรียในแอฟริกาตะวันตก และทุ่งหญ้าสะวันนาในแอฟริกาใต้ [17] นอกจากกระบวนการไพโรไลซิส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านชีวภาพแล้ว ยังได้น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) และก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญอย่างหนึ่งด้วย ถ่านชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญ คือ การใช้เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพาะปลูกพืชจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งหมายถึง พืชดูดดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้มากขึ้นด้วย สิ่งที่น่าสนใจ คือ อินทรีย์วัตถุส่วนใหญ่ที่ใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน เช่น ปุ๋ยหมัก จะ



เปลี่ยนแปลงรูปจากอินทรีย์วัตถุ เป็นอนินทรีย์วัตถุในรูปเกลือแร่และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศอีกครั้ง ในระยะเวลาไม่นาน ซึ่งหมายความว่าคาร์บอนจะไม่ถูกเก็บไว้ในดิน แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าชีวภาพที่มีความเสถียรสูงมากจะถูกเก็บไว้ในดินเป็นเวลาหลายร้อยหรือหลายพันปี (Lehmann et al., 2006) ด้วยสมบัติดังกล่าว ถ่านชีวภาพจึงมีความเหมาะสม เพื่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีสมบัติที่สำคัญ คือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในสูงอีกด้วย โดยมีค่าประมาณน้อยกว่า 10 - 400 ตารางเมตรต่อกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการเผา ถ่านชีวภาพสามารถอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารได้ดี และเป็นแหล่งอาศัยที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในดิน จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน [18] การศึกษาผลกระทบของถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝนต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเยอรมนี โดยการปลูกข้าวโพด (*Zea mays* L.) ในแปลงทดลองเพื่อเปรียบเทียบ จำนวน 5 ชุดทดลอง (ชุดควบคุม, ดินผสมปุ๋ยหมักอัตราค่าที่ 32.5 เมกตรีกตันต่อเฮกแตร์และการเพิ่มส่วนผสมถ่านชีวภาพ 3 อัตราส่วนคือ 5-20 เมกตรีกตันต่อเฮกแตร์ ในช่วงฤดูการเพาะปลูกปี 2009 ผลการศึกษาพบว่า ค่า pH ธาตุอาหารและความสามารถในการจับเก็บน้ำของดินปนทรายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญได้ถึง 0.6 ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นผลในเชิงบวกอย่างลงตัวของดินผสมปุ๋ยหมักและถ่านชีวภาพอย่างชัดเจน

### 2.1.5 วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ

การผลิตถ่านชีวภาพ สามารถผลิตได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เช่นเศษไม้ปลายไม้ กิ่งไม้ผลที่เกษตรกรตัดแต่งกิ่งหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือเศษซากพืชที่เกษตรกรต้องดำเนินการ เพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนฤดูกาลเพาะปลูกครั้งต่อไป เช่น ตอซัง ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกผลไม้หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ เป็นต้น ซึ่งวัสดุดังกล่าวต้องดำเนินการทำให้แห้ง ก่อนทำการเผาให้เป็นถ่านชีวภาพ เพื่อประหยัดเชื้อเพลิง ไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ประชาชนยังให้ความสนใจในการใช้ประโยชน์น้อย ดังนั้นเพื่อหารูปแบบและวิธีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงได้นำมาทดลองผลิตเป็นถ่านชีวภาพ

#### 1) ไม้กระถินยักษ์

ไม้กระถินยักษ์ [มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] หรือ *Leucocephala glauca* Benth. และมีชื่อพื้นเมืองเรียกในประเทศต่างๆ ได้แก่ Ipill - ipill (ฟิลิปปินส์) Lamtora (อินโดนีเซีย) Guaje, Yaje หรือ Uaxin (ลาตินอเมริกา) หรือทั่วเรียก Lead tree อยู่ในวงศ์ Mimosoidae เกษตรกรได้พบว่าต้นกาแพ โกโก้ พริกไทย วนิลา และพืชอื่น ๆ ที่ต้องการร่มเงา สามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ร่มเงาของกระถิน ซึ่งก็ได้ถูกแนะนำไปปลูกในสวนที่อินโดนีเซีย ปาปัวนิวกินี มาเลเซีย และประเทศอื่น ๆ ในประเทศไทยนำเข้ามาปลูกอย่างแพร่หลายใน

ระยะ 20 กว่าปีที่ผ่านมา เพราะเห็นว่าเป็นไม้ที่เจริญเติบโตเร็ว กระจินยักษ์เป็นไม้ตระกูลถั่วที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยปมของไรโซเบียม โดยในรากขนาดเล็กหรือรากฝอย จะมีเชื้อราไมโครไรซาอยู่ร่วมกับระบบราก ช่วยให้ต้นกระจินยักษ์ได้ฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่นใช้เป็นอาหารสัตว์ ไม้ฟืน ไม้ ปุยอินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์อื่นๆ อีก เนื่องจากเป็นไม้โตเร็วที่ การปลูกในพื้นที่ลาดเชิงเขาในเขตร้อน และให้ประโยชน์เป็นต้นไม้ป้องกันลม ปลูกเป็นไม้เบิกนำในพื้นที่ดินเสื่อมโทรมช่วยพัฒนาโครงสร้างของดิน ลักษณะของใบกระจินยักษ์มีขนาดเล็ก สามารถย่อยสลายตัวได้เร็ว และสร้างหน้าดินได้ดี [19]

ไม้กระจินยักษ์ มีมากกว่า 100 สายพันธุ์ บางสายพันธุ์เป็นไม้ยืนต้น บางสายพันธุ์เป็นไม้พุ่ม เนื่องจากกระจินยักษ์สามารถกระจายพันธุ์ได้กว้างขวาง จึงมีความแตกต่างกันอย่างมากภายในเรื่องขนาดและรูปร่าง อาจจำแนกพันธุ์กระจินยักษ์ออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ

- 1) พันธุ์ฮาวาย เป็นพันธุ์ไม้พุ่มเตี้ย สูงประมาณ 5 เมตร ออกดอกขณะที่ต้นยังอ่อน ออกดอกตลอดปีมากกว่าจะออกเป็นฤดู
- 2) พันธุ์ซิลวาเตอร์ เป็นไม้ยืนต้น สูงประมาณ 20 เมตร มีใบ ฝักและเมล็ดใหญ่ ดอกลำต้นเดี่ยว ไม่มีกิ่งก้าน ออกดอกไม่สม่ำเสมอและฤดูที่แน่นอน โดยจะให้ดอกนาน ๆ ครั้ง อาจเรียกว่าพันธุ์กัวเตมาลาหรือกระจินยักษ์ฮาวาย
- 3) พันธุ์เปรู เป็นต้นไม้สูง 15 เมตร คล้ายพันธุ์ซิลวาเตอร์ แต่มีกิ่งก้านใหญ่ตรงส่วนล่างของลำต้น ลำต้นขนาดเล็กและให้ปริมาณใบตามกิ่งก้านสูงมาก การออกดอกจะให้ดอกนาน ๆ ครั้ง

ไม้กระจินยักษ์มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี แม้ในที่มีความแห้งแล้งหรือพื้นที่มีน้ำท่วมเป็นระยะก็สามารถขึ้นได้ แต่การเจริญได้ดีในที่สูงไม่เกิน 500 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และบริเวณที่มีฝนตกประมาณ 600 -1,700 มม./ปี ขึ้นได้ดีในดินที่เป็นหินปูน สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรเป็นกลางหรือมี pH ตั้งแต่ 5.5 ขึ้นไป ไม้กระจินยักษ์ เป็นไม้ขนาดกลาง มีลำต้นเรียบ เปลือกบางสีเทาปนน้ำตาลแดง เนื้อไม้มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลอ่อน เส้นตรงเนื้อไม้ค่อนข้างแข็ง ความถ่วงจำเพาะ 0.52 มีความชื้น 15%

กระจินยักษ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อเนกประสงค์ ทั้งใช้เป็นอาหารของคน สัตว์เลี้ยง ทำเชื้อเพลิง ทำฟืนถ่าน ใช้ในการก่อสร้าง ช่วยปรับปรุงดิน สรรพได้ดังนี้

- 1) อาหาร ใช้เป็นอาหารของวัว ควาย แพะ แกะ เป็ด ไก่ พบว่า ที่ไนโตรเจน 36-47 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้งของใบ และมีโปรตีนดิบ 230 - 300 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้งของใบ ยอดอ่อนและฝักอ่อนสามารถรับประทานได้ เมล็ดใช้ปรุงอาหารเหมือนกับถั่วเขียว ใช้ทำเป็นแป้ง

2) ไม้แปรรูป ใช้ทำไม้แปรรูป ปาเก้ เสา มีความแข็งแรงปานกลาง โดยใช้ไม้กระถินยักษ์ อายุประมาณ 3 ปี

3) ทำเยื่อกระดาษ ไม้กระถินยักษ์มีลิกนินต่ำ แต่มีไฟเบอร์สั้นกว่าไม้สน กระดาษที่ทำจากไม้กระถินยักษ์มีความแข็งแรงต่อการฉีกขาดและการพับดัด แต่มีความแข็งแรงโดยเฉลี่ย มีกำลังต่อต้านแรงดึงมีความทึบสูง เหมาะสำหรับใช้ประโยชน์ในการพิมพ์และเป็นกระดาษเขียน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นแพคเกจหรือกระดาษแก้วได้

4) ทำฟืน ไม้กระถินยักษ์ให้ค่าความร้อน 16,438.4 บีทียู/กก. ใช้ฟืนกระถินยักษ์ 2.75 กก. จะมีค่าเท่ากับใช้ก๊าซเหลวเป็นเชื้อเพลิง 1 กก. ซึ่งเท่ากับค่าความร้อน 45,265 บีทียู/กก.

5) ทำถ่าน ถ่านจากกระถินยักษ์ให้คว้นน้อย มีความร้อนสูง 7,250 คาลอรี/กก. (28,665 บีทียู/กก.) ในขณะที่น้ำมันให้ค่าความร้อน 10,000 คาลอรี/กก. (39,469.5 บีทียู/กก.) ค่าความร้อนจากกระถินยักษ์จะมีความร้อนสูง 70% ของน้ำมัน

6) ใช้ทำแอลกอฮอล์ ราคาไม้จะต่ำกว่าราคาน้ำมันเบนซิน เมื่อใช้ไม้ผลิตแอลกอฮอล์แล้วจะได้ลิกนินเป็นผลพลอยได้ประมาณ 30% ของน้ำหนักแห้งของไม้ ซึ่งทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้น

7) ช่วยปรับปรุงดิน เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่ว ทำให้เพิ่มไนโตรเจนในดิน ทำปุ๋ยพืชสด จากการทดลองที่อินโดนีเซีย พบว่ากระถิน 1 ไร่ จะให้ N 88 กก./ปี  $P_2O_5$  36 กก./ปี และ  $K_2O$  88 กก./ปี นอกจากนี้ ร่มเงายังช่วยอนุบาลพืชสวนบางชนิด เช่น กาแฟ มังคุด พริกไทย โกโก้ วานิลา เป็นต้น

8) ทำแนวกันไฟและกันลม

9) ทำแนวรั้ว ใบและกิ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ด้วย

ไม้กระถินยักษ์ยังสามารถใช้ผลิตเป็นถ่านชีวภาพ เพื่อใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมได้อีก โดยผลิตถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 500 °C ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 42.08 ตารางเมตรต่อกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 35.53 อังสตรอม และมีความสามารถในการดูดซับน้ำ 3.8 เท่าของน้ำหนักเดิม [20]

## 2) กะลามะพร้าว

มะพร้าว ถือว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนไทย สามารถนำส่วนต่าง ๆ ของมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ได้ทุกๆส่วน วัสดุเหลือใช้อย่างหนึ่งของมะพร้าวคือ “กะลามะพร้าว” ในอดีตเมื่อเอาน้ำออกใช้ประโยชน์หมดแล้วก็พิเศษวัสดุที่ไม่ค่อยมีราคาค่างวดสักเท่าไรคนสมัยก่อนมักนำไปใช้ทำเชื้อเพลิง หรือทำเครื่องใช้ในครัวเรือน

มะพร้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. *Palmae* ชื่อสามัญ Coconut คนไทยคุ้นเคยกับมะพร้าวมาเป็นเวลานาน และใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของมะพร้าว เช่น ผลอ่อนใช้รับประทานสด (น้ำและเนื้อ) เนื้อมะพร้าวจากผลแก่นำไปปรุงอาหารและขนมหลายชนิด และใช้สกัดน้ำมัน กากที่เหลือใช้เลี้ยงสัตว์ น้ำมันมะพร้าวใช้ประกอบอาหาร เนยเทียม แล ะสบู่ เปลือกมะพร้าวนำไปแยกเอาเส้นใยใช้ทำเชือก วัสดุทำเบาะและที่นอน ขุยมะพร้าวใช้ทำวัสดุเพาะชำ ต้นไม้ กะลาใช้ทำภาชนะ ตักตวงของเหลว (กระจ่ำ กระบวย ฯลฯ) ทำกระดุม เครื่องประดับ เครื่องดนตรี (ซอฮู้) ทำเชื้อเพลิง และถ่านกัมมันต์ (มีคุณสมบัติในการดูดซับสูง) ใบมะพร้าวทั้งอ่อนและแก่ ตลอดจนก้านใบใช้มุงหลังคา เครื่องจักสาร ไม้กวาดทางมะพร้าว ใช้ทำรั้วและเชื้อเพลิง ลำต้นแก่ใช้ในการก่อสร้างประดิษฐ์เครื่องเรือน ยอดอ่อนใช้เป็นอาหาร จั่น (ช่อดอก) มีน้ำหวานรองมาดื่มเป็นน้ำผลไม้หรือน้ำตาล หมักทำเหล้าและน้ำส้ม รากใช้ทำยา สีย้อมผ้า และเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกมะพร้าวโดยทั่วไปก็นำเอาเนื้อมะพร้าวไปประกอบอาหารและสกัดเอาน้ำมันเช่นเดียวกับ ปาล์ม และสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลากหลาย ตั้งแต่ ลำต้น ใบ ก้าน ผล กะลา รากมะพร้าว กาบมะพร้าว รากมะพร้าวประเภทของรูปแบบผลิตภัณฑ์มะพร้าว เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานหัตถกรรม นอกจากนี้กะลามะพร้าวสามารถนำมาเผาให้เป็นถ่านใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ่านจากกะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนสูงและใช้ได้ยาวนานกว่าไม้ธรรมชาติ 2.5 - 3 เท่า ส่วนนักวิชาการนิยมนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ คือ การนำมาให้ความร้อน เรียกกระบวนการนี้ว่า "คาร์บอนไนซ์ เซชัน" จากนั้นจึงอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (200 - 1600 °C) ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดร่างแหพรุนภายในและร่างหุ้มฟังก์ชันบนพื้นผิว นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุกรองและบำบัดน้ำเสีย ดูดซับสารเคมีและโลหะ

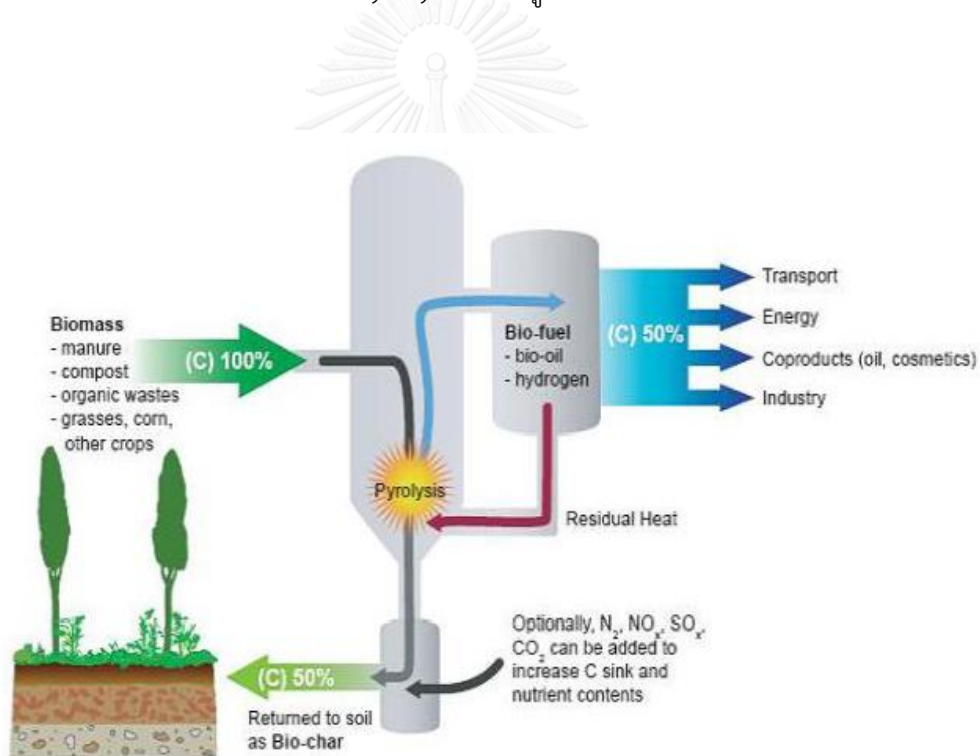
### 2.1.6 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิดที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เศษกิ่งไม้ เศษหญ้า ฟาง ข้าว แกลบ เป็นต้น โดยระหว่างผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งมวลชีวภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง คือ ถ่านชีวภาพ ของเหลว คือ น้ำมันชีวภาพ (bio oil) และก๊าซ คือ ก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต [21] กระบวนการไพโรไลซิสแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

#### 1) กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis )

กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เป็นกระบวนการสลายตัวของมวลชีวภาพที่ใช้เวลานาน โดยให้ความร้อนในอัตรา 20 -100 องศาเซลเซียสต่อนาที และอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 600

องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน ใช้เวลาทั้งหมดในการผลิตเป็นเวลาหลายชั่วโมง วัตถุดิบในการผลิตต้องแห้งมีลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นก็ได้ มีขนาดได้หลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ชนิด คือ ก๊าซซึ่งเกิดจากก๊าซที่ไม่ผ่านการควบแน่น ตัวอย่างเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และก๊าซที่มีมวลโมเลกุลต่ำ น้ำมันชีวภาพ (pyrolysis oil or bio-oil) เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงของเหลวหรือสกัดเป็นสารเคมี ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีดำ น้ำตาลเข้ม หรืออาจเป็นน้ำตาลแดงเข้ม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ ถ่านชีวภาพ โดยคุณภาพของถ่านชีวภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบเนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน การผลิตกระบวนการในการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ตัวอย่างกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระบวนการไพโรไลซิส

ที่มา: Winsley, 2007 [22]

## 2) กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว เป็นการผลิตถ่านชีวภาพที่ใช้เวลาน้อย เนื่องจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว อัตราการให้ความร้อนประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที ถึง 1,000 องศาเซลเซียสต่อวินาที ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 650 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน วัตถุประสงค์ในการผลิตต้องมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร [23] ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ชนิด คือ ก๊าซซึ่งเกิดจากก๊าซที่ไม่ผ่านการควบแน่น ตัวอย่างเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และก๊าซที่มีมวลโมเลกุลต่ำ น้ำมันชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ปริมาณมากเนื่องจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะสกัดน้ำมันภายในวัตถุดิบออกมาปริมาณมาก น้ำมันชีวภาพที่ได้มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีดำ น้ำตาลเข้ม หรืออาจเป็นน้ำตาลแดงขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพ

ปัจจุบันกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เป็นกระบวนการหลักที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ โดยทั่วไปแล้วการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าและเร็ว จะใช้อุณหภูมิในการเผาและได้ผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสและปริมาณผลิตภัณฑ์

process	Temperature °C	Liquid (bio-oil)	Solid	Gas (syngas)
Slow pyrolysis	500-600	30%	30%	40%
Fast pyrolysis	600-900	20%	10%	70%

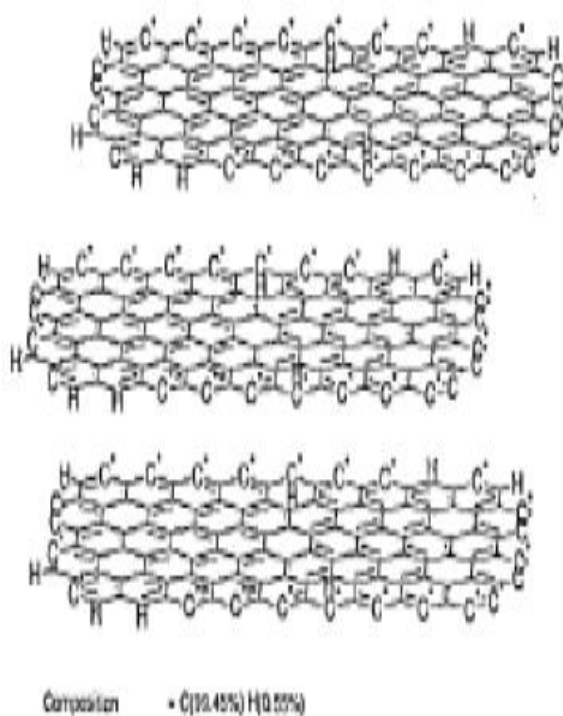
ที่มา: ดัดแปลงจาก Titiladunayo, 2012 & FAO, 1994

### 2.1.7 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพ (Physicochemical Properties of Biochar)

สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการผลิตถ่านชีวภาพ จากการรายงานของ JRC-IES (2010) ถ่านชีวภาพมีสมบัติดังนี้

## 1) องค์ประกอบโครงสร้าง (Structural composition)

การสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 250 องศาเซลเซียส ถึง 350 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สูญเสียมวลในรูปของน้ำและสารอินทรีย์ระเหย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารกลุ่มอะโรมาติกอินทรีย์จะหลุดออกมา จนถึงอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส องค์ประกอบภายในส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ในรูปของอะมอร์ฟัสคาร์บอน และมีธาตุอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 7 องค์ประกอบโครงสร้างของถ่านชีวภาพ



รูปที่ 7 องค์ประกอบโครงสร้างของถ่านชีวภาพ

ที่มา: JRC-IES, 2010 [24]

## 2) องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition)

ปริมาณขององค์ประกอบของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่เตรียมเพื่อผลิตถ่านชีวภาพและอุณหภูมิในการเผา อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพประกอบด้วยคาร์บอน มากที่สุด รองลงมา คือ สารระเหย ความชื้นและเถ้า ตามลำดับตารางที่ 4 องค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

Component	Proportion (ww <sup>-1</sup> )
Fixed carbon	50-90
Volatile matter (e.g. tars)	0-40
Moisture	1-15
Ash (mineral matter)	0.5-5

ที่มา: JRC-IES, 2010

3) ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกันจะมีธาตุองค์ประกอบทางเคมีและค่า pH แตกต่างกัน

โดยทั่วไปแล้ว ธาตุองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมีค่า pH มากกว่า 7 ดังแสดงในตารางที่ 5 ธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 5 ธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านชีวภาพ

	pH	C (g Kg <sup>-1</sup> )	N (g Kg <sup>-1</sup> )	N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg Kg <sup>-1</sup> )	C:N	P (g Kg <sup>-1</sup> )	K (g Kg <sup>-1</sup> )
Rang From	6.2	172	1.7	0.0	7	0.015	1.0
to	9.6	905	78.2	2.0	500	11.6	58

ที่มา: JRC-IES, 2010

4) ปริมาณคาร์บอนในถ่านชีวภาพ

ปริมาณคาร์บอนรวมในถ่านชีวภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 172-905 กรัมต่อ กิโลกรัม และปริมาณไนโตรเจนรวมระหว่าง 1.8-56.4 กรัมต่อ กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าระหว่าง 2.7-480 และ 1.0-58.0 กรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ

5) การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle size distribution)

การกระจายขนาดของอนุภาคของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส โดยทั่วไปแล้วการกระจายขนาดของอนุภาคจะลดลงเมื่อเพิ่ม



อุณหภูมิต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส) อนุภาคภายในถ่านชีวภาพจะมีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำแต่มีปริมาณคาร์บอนสูง แต่ถ้าอุณหภูมิในการเผาสูงเกินไป (มากกว่า 800 องศาเซลเซียส) อนุภาคภายในถ่านชีวภาพจะมีขนาดเล็กมีความพรุนสูงแต่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำและมีปริมาณคาร์บอนต่ำ

#### 6) การกระจายขนาดของช่อง (Pore size distribution)

ขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพจะแบ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน แบ่งได้เป็น รูพรุนขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร โดยขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้ถ่านชีวภาพมีรูพรุนที่เหมาะสมและมีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในมาก อยู่ในช่วงระหว่าง 200 -500 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนขนาดใหญ่แต่มีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในน้อย

#### 7) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพเนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีปริมาณธาตุองค์ประกอบที่ต่างกัน โดยทั่วไปแล้ว ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 0-40 เซนติโมลต่อกรัม เนื่องจากขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ จะมีเถ้าเกิดร่วมด้วย ทำให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 6.2-9.6 หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 8.1

#### 8) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity)

ความสามารถในการดูดซับน้ำของถ่านชีวภาพ มีความสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต เช่นวัสดุที่เป็นไม้เนื้ออ่อนโครงสร้างภายในมีรูพรุนจำนวนมากและมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าไม้เนื้อแข็ง ซึ่งการผลิตถ่านชีวภาพควรคำนึงถึงความเหมาะสมของชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและระยะเวลา ในการผลิตถ่านชีวภาพ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่ เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับเก็บกักน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น ดังนั้นกระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า(interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง

โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbents) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ(adsorbent)

**8.1) กลไกการดูดซับ** การเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในระหว่างเกิดการดูดซับไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เข้าถึงผิวด้านนอกของสารดูดซับซึ่งพื้นผิวด้านนอกของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของสารดูดซับแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

(2) การแพร่ภายใน (Internal or Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่ภายในรูเล็กๆ จำนวนมากมายภายในเนื้อสารดูดซับ รูเล็กๆ ดังกล่าวจะก่อให้เกิดพื้นที่ผิวจำเพาะปริมาณมากมายในสารดูดซับ

(3) ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาที่พื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่

**8.2) การดูดติดผิว (Adsorption)** เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้อาจเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆ ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว ของเหลว ก๊าซ- ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ

ของเหลว -ของแข็ง (Liquid –Solid Interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอย ก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

### (1) การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย [26]

### (2) การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี มีข้อแตกต่างกันหลายอย่างตามตารางที่ 6 ข้อแตกต่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตารางที่ 6 ข้อแตกต่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้ทุกชนิด	เกิดได้เฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer และ multilayer	monolayer

ที่มา : Prachongsai, 2015 [25]

### 9) สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัย

สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 อย่าง คือ ชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส เนื่องจากวัตถุดิบต่างชนิดกันมีองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีแตกต่างกันจะเปลี่ยนเป็นถ่านชีวภาพที่มีสมบัติแตกต่างกัน เช่นเดียวกับอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกันก็มีประสิทธิภาพในการสลายตัวขององค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามทางเลือกที่เหมาะสมของชนิดวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ ควรจะคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ได้ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง มีราคาต่ำและหาได้ง่าย การศึกษาเกี่ยวกับชนิดวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านชีวภาพเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ดินและการกักเก็บคาร์บอน

### 10) ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ถูกใช้เป็นทางเลือกในการกักเก็บคาร์บอน เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีสมบัติคงทนต่อการถูกย่อยสลายตามธรรมชาติ ซึ่งจะเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ การเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุให้กลายเป็นถ่านชีวภาพผ่านกระบวนการไพโรไลซิส แล้วนำไปกักเก็บลงในพื้นที่เกษตรกรรม จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งทางตรงจากคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนทางอ้อมจากการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ส่งผลให้เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในพืชเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการเพิ่มผลผลิตพืชให้สูงขึ้น อันจะนำไปสู่การเพิ่มความมั่นคงทางอาหารให้แก่มนุษย์ พื้นที่เกษตรกรรมทั่วโลกกว่า  $15 \times 10^9$  เฮกแตร์ เป็นแหล่งสำคัญที่สุดในการกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพ การใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวทุกสิบปีในพื้นที่เกษตรกรรม จะส่งผลให้ในแต่ละปีเกิดการกักเก็บคาร์บอนได้  $0.65 \times 10^9$  ตัน ซึ่งเป็นปริมาณร้อยละ 10 ของการปลดปล่อยคาร์บอน จากกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของถ่านชีวภาพจากการผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ทำให้คาร์บอนถูกกักเก็บ 30.6 กิโลกรัม เมื่อผลิตพลังงาน  $1 \times 10^9$  จูล และในปี 2100 การกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพในแต่ละปีจะมีปริมาณ  $5.5-9.5 \times 10^9$  หากมีการกักเก็บถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนานในพื้นที่เกษตรกรรมและทุ่งหญ้าเขตร้อนทั่วโลก จะสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณ  $400 \times 10^9$  ตัน ซึ่งเทียบเท่ากับการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนในดินทั่วโลกประมาณร้อยละ 25 [27] ถ้าถ่านชีวภาพที่ใส่ลงในดินไม่เกิดการย่อยสลาย

ภายใน 100 ปี จะสามารถลดคาร์บอนบรรยากาศได้ถึง  $22 \times 10^9$  ตัน หรือเทียบเท่ากับการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 10 ppm ในปี 2025 และถ้ามีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง พวกเขาคาดการณ์ว่าภายในปี 2100 จะสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ปีละ  $3.15 \times 10^9$  ตัน โดยพวกเขาคาดการณ์ว่า หากอ่างคาร์บอนของถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอน  $148 \times 10^9$  ตัน จะสามารถกำจัดคาร์บอนบรรยากาศได้  $79 \times 10^9$  ตัน [28] การใช้กลยุทธ์การกักเก็บคาร์บอนด้วยถ่านชีวภาพของโลกจึงเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีนัยสำคัญอย่างมาก [28]

### 11) ความคงทนและเสถียรภาพของถ่านชีวภาพ

โดยทั่วไปแล้วการใส่มวลชีวภาพและมูลสัตว์ลงในดินที่ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นร้อยละ 100 หลังจากนั้นภายใน 5 ถึง 10 ปี จะถูกย่อยสลายให้เหลือเพียงร้อยละ 10 จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ขณะที่การเผาไหม้มวลชีวภาพจะเหลือคาร์บอนร้อยละ 3 [27] การเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัวในดิน โดยเพิ่มความต้านทานการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน และลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเป็นธาตุอาหาร ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบหนึ่งด้วย ถ่านชีวภาพซึ่งผลิตโดยการสลายตัวด้วยความร้อนของมวลชีวภาพ มีปริมาณคาร์บอนถึงร้อยละ 50 หรือมากกว่านั้นขึ้นกับโครงสร้างภายในของคาร์บอน และด้วยสมบัติทางเคมีและกายภาพของถ่านชีวภาพ จึงคงตัวต่อการย่อยสลายได้หลายร้อยหรือหลายพันปี [17] การเปลี่ยนจากระบบการเผาผลาญชีวภาพแบบเก่ามาเป็นระบบการผลิตแบบถ่านชีวภาพ จะสามารถหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยคาร์บอนได้ประมาณ 420-450 กิโลกรัม จากน้ำหนักทุกตันของมวลชีวภาพ องค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพเป็นข้อมูลที่สามารถให้คำอธิบายถึงความคงทนสูงของถ่านชีวภาพ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง [29] โดยทั่วไปไม่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 50 แต่หลังจากการนำไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 80 [22] ทำให้ถ่านชีวภาพมีความคงตัวยาวนาน อย่างไรก็ตามความคงตัวของถ่านชีวภาพที่ถูกกักเก็บอยู่ในดิน ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ เช่น Terra preta ซึ่งเป็นถ่านชีวภาพที่ถูกกักเก็บในลุ่มน้ำอะเมซอนสามารถคงตัวอยู่ในดินได้ระหว่าง 500-7,000 ปี [29] พื้นที่แห่งในออสเตรเลียเหนือ ถ่านชีวภาพสามารถคงตัวอยู่ได้เฉลี่ย ระหว่าง 1,000-2,000 ปี และถ่านชีวภาพในพื้นที่ป่าของแวนคูเวอร์ตะวันตก มีอายุ 6,623 ปี [29] นอกจากนี้สิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศแล้ว ความคงตัวของถ่านชีวภาพยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและชนิดของวัตถุดิบในการผลิตอีกด้วย

## 2.1.8 ผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน

### 1) สมบัติทางกายภาพของดิน

การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินหลายอย่าง ได้แก่ เนื้อดิน โครงสร้างดิน ความพรุนของดิน และความร่วนเหนียวของดิน โดยดินที่ผสมกับถ่านชีวภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวจำเพาะรวม การกระจายขนาดของช่องว่าง ขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นและความแน่นทึบของดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความลึกของการซึมผ่าน น้ำและอากาศที่พืชใช้ประโยชน์ได้ถูกกำหนดโดยสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน ถ่านชีวภาพส่งผลต่อการตอบสนองต่อน้ำของดิน เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินมีผลต่อการเกิดเม็ดดิน ความสามารถพองตัวเมื่อดินได้รับน้ำและหดตัวเมื่อดินสูญเสียน้ำ และสภาพให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน โดยทั่วไปแล้วถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะรวมสูงกว่าทรายและดินเหนียว ดังนั้น จึงเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะรวมของดินให้สูงขึ้นเมื่อเติมถ่านชีวภาพลงในดิน [18] ถ่านชีวภาพสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินหรือการถ่ายเทอากาศของดินเมื่อละเอียด ความพรุนปริมาณมากตามธรรมชาติของถ่านชีวภาพเป็นสมบัติอีกอย่างที่สำคัญ ถ่านชีวภาพจึงถูกประยุกต์ใช้กับดินเพื่อปรับปรุงการถ่ายเทอากาศของดินปรับปรุงความสามารถอุ้มน้ำและลดความแข็งของดิน ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้ สามารถดูดซับน้ำได้ 2-4 เท่าของน้ำหนักเดิม [30] การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจึงส่งผลให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้น นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีผลต่อการปรับปรุงการถ่ายเทอากาศในดินโดยเป็นส่วนที่เพิ่มช่องขนาดใหญ่ของดิน ทำให้ความพรุนช่องบรรจุอากาศสูงขึ้น และปรับปรุงการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนลงในดิน ในสภาวะมีน้ำในดินปริมาณมาก อย่างไรก็ตามขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของความพรุนของถ่านชีวภาพแต่ละชนิดที่แตกต่างกันและอัตราการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน การกระจายขนาดของช่องของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุต้นและสภาวะของกระบวนการผลิต [31]

### 2) สมบัติทางเคมีของดิน

#### 2.1) พลวัตของธาตุอาหารในดิน

ถ่านชีวภาพเป็นอินทรีย์วัตถุที่สามารถดูดซับ แคตไอออนได้ดีกว่าอินทรีย์วัตถุอื่น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะและความหนาแน่นของประจุมากกว่า จึงทำให้ถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บธาตุอาหารได้มาก ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช การที่ถ่านชีวภาพมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (CEC) จึงสามารถกักเก็บแคตไอออนได้ดี ทำให้สามารถดูดซับฟอสเฟตซึ่งเป็นแอนไอออนได้อย่างแข็งแกร่ง แม้ว่าถ่านชีวภาพเป็นแอนไอออน (anion) อย่างหนึ่งก็ตาม [32] ความสามารถดูดซับไอออนได้ดีของถ่านชีวภาพ ทำให้ถ่านชีวภาพเป็น

อินทรีย์วัตถุพิเศษอย่างหนึ่งที่สามารถกักเก็บไออนที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งเป็นธาตุอาหารในดินที่พืชใช้ประโยชน์ได้ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินจึงให้ประโยชน์ต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช ขณะเดียวกันก็ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากธาตุอาหาร ผลอย่างหนึ่งของ Terra Preta ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสูงในกลุ่มน้ำอะเมซอน คือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง สามารถกักเก็บธาตุอาหารได้ดี แตกต่างกับพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก การประยุกต์ถ่านชีวภาพลงในดินอาจจะลดมลพิษได้ เนื่องจากเหตุผลหลายอย่าง ประการแรก การกักเก็บธาตุอาหารในดิน เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งถูกชะละลายลงในน้ำใต้ดินและถูกกัดเซาะลงบนน้ำผิวดิน ประการที่สอง ถ่านชีวภาพสามารถลดมลพิษได้จากการเพิ่มการกักเก็บธาตุอาหารในดินชั้นบน ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช กลไกของการชะละลายธาตุอาหารที่เกิดจากการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน อาจเกิดจากกลไกหลายอย่าง เช่น การเพิ่มการกักเก็บน้ำในเขตรากพืช การยึดเกาะกับธาตุอาหารโดยตรง การเกิดปฏิกิริยาภายในกับองค์ประกอบอื่นของดิน หรือ การช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารบางอย่างที่ติดแน่นในดิน ถ่านชีวภาพดูดซับโมเลกุลอินทรีย์และโมเลกุลอนินทรีย์ได้ ในกรณีของธาตุอาหารอนินทรีย์จะถูกกักเก็บไม่ให้สูญเสียจากการชะละลาย [18] การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยลงในพื้นที่เพาะปลูกจะช่วยเพิ่มประโยชน์ของธาตุอาหารจากปุ๋ยต่อพืชให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงขึ้น

จึงมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช ถ่านชีวภาพที่ผลิตขยะอินทรีย์ผสมลงในแปลงทดลองปลูกต้นหัวไชเท้าในอัตรา 10-100 ตันต่อเฮกตาร์ และเติมปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ พบว่า ผลผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 95 โดยเฉพาะแปลงทดลองที่เติมถ่านชีวภาพในอัตรา 100 ตันต่อเฮกตาร์ และการเติมถ่านชีวภาพทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงขึ้น โดย ค่ากรด-ด่างของดิน อินทรีย์คาร์บอนในดิน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [31,32]) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังลดการชะละลายของไนเตรตเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยลดการชะละลายไนเตรตได้ปริมาณมาก [33,34] ซึ่งแสดงว่า การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมีจะให้ประโยชน์ 2 อย่าง ประการแรก ช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยมากขึ้น ประการที่สอง ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยจากผลของการลดการชะละลายของถ่านชีวภาพ

## 2.2) การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ

ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกสำคัญ มีค่าความสามารถในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) เป็น 24 และ 310 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แหล่งกำเนิดใหญ่ของก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัส

ออกไซด์ คือ การปลดปล่อยจากพื้นที่เกษตรกรรม โดยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกผลิตและปลดปล่อยจากแหล่งที่อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) เช่น พื้นที่ปลูกข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินผ่าน 2 กระบวนการ คือ ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และ ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยมีปัจจัยในการควบคุมการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ คือ แอมโมเนียม ( $NH_4$ ) ไนเตรต ( $NO_3$ ) น้ำ อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) อุณหภูมิ และเนื้อดิน การกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เกิดจากแบคทีเรียบางชนิดใช้แอมโมเนียมในดินเป็นแหล่งพลังงานและทำให้เกิดไนไตรต์ ( $NO_2$ ) ซึ่งเปลี่ยนเป็นไนเตรตในที่สุด กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เกิดขึ้นในสภาพไร้ออกซิเจน โดยที่แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างออกซิเจนได้เองจากไนเตรต และได้ผลผลิตเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศ การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้ลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากการวิจัยของ Yanai และคณะได้ใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขยะชีวภาพชุมชน ใส่ลงในดินในห้องทดลองพบว่า สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพวัดปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้  $11 \mu g N_2O N/m^2$  แต่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพวัดปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้  $105 \mu g N_2O N/m^2$  และชุดการทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดจากดิน  $383 \mu g N_2O N/m^2 /h$  ขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดจากดิน  $2,620 \mu g N_2O N/m^2 /h$  ผลการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน อาจลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยส่งผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ และไนโตรเจน เช่น เพิ่มค่ากรด-ด่างของดินโดยตรงจากถ่าน ซึ่งมีสมบัติเป็นต่างภายในถ่านชีวภาพ ทำให้กระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ การใส่ถ่านชีวภาพ ลงในดินเขตร้อนที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ได้ลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากต้นมะม่วง บดให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร แล้วใส่ลงในแปลงทดลองขนาด 20 ตารางเมตร ในอัตรา 8 ตันต่อเฮกตาร์ และ 20 ตันต่อเฮกตาร์ หลังจาก 4 เดือน ปลูกข้าวโพดลงในแปลงทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซทุกๆ เดือนอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาสามปี ระหว่างการทดลองในปีแรก การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลงเฉลี่ยประมาณ  $15 mg N_2O/m^2$  ในแปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ 20 ตันต่อเฮกตาร์ ขณะเดียวกันความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงขึ้น โดยพารามิเตอร์ที่มีค่าสูงขึ้นได้แก่ กรด-ด่าง (pH) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (K availability) ความสามารถอุ้มน้ำ (water retention) [36]

ก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นสมดุลระหว่างกลไกการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง คือ เอนไซม์ nitrate reductase



(Nar) ที่เปลี่ยน  $\text{NO}_3$  เป็น  $\text{NO}_2$  เอนไซม์ nitrite reductase (Nir) ที่เปลี่ยน  $\text{NO}_2$  เป็น  $\text{NO}$  และ nitric oxide reductase ที่เปลี่ยน  $\text{NO}_2$  เป็น  $\text{NO}_2$  และกลไกการลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง คือ nitrous oxide reductase (Nos) ที่เปลี่ยน  $\text{NO}_2$  [23] เป็นการใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน ทำให้ยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ และจากสมบัติที่ถ่านชีวภาพมีความพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก เมื่อใส่ลงในดินทำให้ดินมีความพรุนเพิ่มขึ้นและมีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ดินมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น การระบายอากาศของดินเกิดได้ดีขึ้น ทำให้ลดสถานะที่ไม่มีก๊าซออกเจนในดิน ทำให้ลดสภาพไร้ออกซิเจนซึ่งเป็นรูปที่เหมาะสมกับกิจกรรมการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ ดังนั้นการเติมถ่านชีวภาพในดินจึงสามารถลดการผลิตและการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ [37,38]

### 2.3) สมบัติทางชีวภาพของดิน

ถ่านชีวภาพมีรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะภายในสูง จึงเป็นที่อยู่ที่เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากป้องกันภัยจากผู้ล่า กักเก็บความชื้น ให้คาร์บอนหลากหลายชนิด พลังงาน และธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ในดินต้องการ [38] พื้นที่ภายในของถ่านชีวภาพดูดซับอินทรีย์วัตถุที่ละลายได้ (soluble organic matter) ก๊าซ และธาตุอาหารอนินทรีย์ (inorganic nutrients) จึงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ ในการเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากร ถ่านชีวภาพช่วยปรับกรด-ด่างของดินให้สูงขึ้นจึงเหมาะต่อแบคทีเรียที่ชอบสภาพเป็นกลาง และเห็ดราที่ดำรงชีพได้ในช่วงกรด-ด่างที่กว้างกว่า ในดิน Terra Preta กิจกรรมของสังคมจุลินทรีย์มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ และองค์ประกอบของจุลินทรีย์แตกต่างอย่างมากกับพื้นที่ใกล้เคียงที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน จุลินทรีย์ในดินที่พบมากในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพ คือ mycorrhiza ที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ รากของพืช จากการตรวจสอบปริมาณของ arbuscular mycorrhiza ซึ่งเป็น mycorrhiza ชนิดหนึ่ง ในแปลงปลูกข้าวสาลี หลังจากใส่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ในอัตรา 0.6-6 ตันต่อเฮกตาร์ เมื่อเวลาผ่านไป 2 ปี พบว่า arbuscular mycorrhiza มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20-40 เนื่องจากถ่านชีวภาพดูดซับธาตุอาหารและความชื้นที่จำเป็นไว้ทำให้จุลินทรีย์เติบโตได้ดี [39 40] การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินช่วยเพิ่มการดูดซับอินทรีย์คาร์บอนละลายได้ ธาตุอาหารอนินทรีย์ ก๊าซละลายชนิด สารที่เป็นพิษ เช่น ยาปราบศัตรูพืช โลหะหนัก ที่มีอิทธิพลต่อความหลากหลาย และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ปฏิกริยาภายในถ่านชีวภาพกับไมโครไรซา (mycorrhiza) เป็นประเด็นหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างมาก ไมโครไรซาเป็นเชื้อราที่อยู่อาศัยบริเวณรากพืชเป็นการอยู่อาศัยแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ช่วยในการดูดน้ำและธาตุอาหาร ไมโครไรซาตอบสนองอย่างมากต่อถ่านชีวภาพในดิน กลไก 4 กลไกที่เป็นไปได้ที่ถ่านชีวภาพจะมีอิทธิพลต่อความอุดมสมบูรณ์ของไมโครไรซา คือ 1.

การปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน 2.ส่งผลทางอ้อมต่อไมโครไรซาและจุลินทรีย์ดินชนิดอื่น, 3. ถ่านชีวภาพดูดซับสารพิษที่เป็นอันตรายต่อไมโครไรซาและ4. เป็นที่หลบภัยจากผู้ล่า [38]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านชีวภาพที่เติมลงไปบนดินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และธาตุอาหารเพิ่มขึ้น [40, 41] ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพ เป็นเครื่องมือสำคัญที่มีศักยภาพในการทำหน้าที่ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ [42 43] ถ่านชีวภาพสามารถมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของเนื้อดิน การกระจายตัว ความพรุน ขนาดอนุภาคและความหนาแน่น จึงอาจเปลี่ยนแปลงออกซิเจน อากาศ ความจุน้ำ และสถานะของจุลินทรีย์และธาตุอาหารภายในเขตรากพืช [15] นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านชีวภาพสามารถควบคุมระบบน้ำในดินได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ผลิตถ่านชีวภาพ [43 44] อย่างไรก็ตามขนาดถ่านชีวภาพ ในช่วง 2 - 20 มิลลิเมตร ดูเหมือนจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตพืช [17] การเปลี่ยนแปลงความร้อนในการเผาทำให้สัดส่วนของรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นที่ผิวจำเพาะมีสูง และมีความสามารถในการเก็บสารอาหารได้มาก รูพรุนขนาดเล็กประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ดิน [38] ถ่านชีวภาพมีความคงตัวสูงสามารถกักเก็บไว้ในดินได้เป็นเวลาหลายร้อยหรือหลายพันปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านชีวภาพ เช่น ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่ผลิตในประเทศจีน สามารถกักเก็บในดินได้ประมาณ 244 - 1,700 ปี [8] การกักเก็บคาร์บอนในดินด้วยการแยกสลายมวลชีวภาพด้วยความร้อน จะได้คาร์บอนถึง 50% ของคาร์บอนที่มีอยู่ในมวลชีวภาพ ส่วนคาร์บอนที่ได้จากการเผาผลาญมวลชีวภาพจะเหลือเพียง 3% และจากการย่อยสลายโดยธรรมชาติหลังจาก 5-10 ปี จะได้คาร์บอนน้อยกว่า 20% ปริมาณของคาร์บอนที่ได้จะขึ้นกับชนิดของมวลชีวภาพ สำหรับอุณหภูมิจะมีผลน้อยมากถ้าอยู่ระหว่าง 350-500 องศาเซลเซียส [27] ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกไม้ *Acacia mangium* ใช้ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด ถั่วฝักยาว และถั่วลิสง ที่อยู่ตอนใต้ของเกาะสุมาตราของประเทศอินโดนีเซีย โดยใส่ถ่านชีวภาพลงในแปลงปลูกในอัตรา 10 ลิตรต่อตารางเมตร ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 50 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และถั่วลิสงมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดินหลังจากใส่ถ่านชีวภาพมีคุณภาพดีขึ้น โดยมีค่า pH คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน และความชื้นของดินเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณรากของข้าวโพด และ arbuscular mycorrhiza มีปริมาณเพิ่มขึ้น ถ่านชีวภาพนอกจากช่วยปรับปรุงความเป็นกรดของดินแล้ว ยังให้ธาตุอาหารต่าง ๆ แก่พืช ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้หรืออินทรีย์วัสดุที่นำมาเผา [44 45] อิทธิพลของถ่านชีวภาพที่ใช้แก้ไขปัญหาค่าความอุดมสมบูรณ์ของดินบริเวณใกล้ชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นพื้นที่เสื่อมโทรมมีน้ำเสียจากขยะชุมชนไหลลงในพื้นที่ ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ปฏิกริยาของดินเป็นกรด ธาตุอาหารต่ำ ค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ

ได้ศึกษาศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตพืชและคุณภาพดิน โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกถั่วลิสง เปลือกหอยพิศรอก สัตว์ปีกและ switchgrass ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 250 -700 องศาเซลเซียส ใช้ถ่านชีวภาพผสมที่ 2% ต่อน้ำหนักดินแห้ง การปรับปรุงดินร่วนปนทรายในห้องปฏิบัติการและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะ มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน (C) สูงขึ้น แต่ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจนต่ำกว่ามาก ข้อจำกัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน และภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแตกต่างกันด้วย ฉะนั้นถ่านชีวภาพอาจถูกออกแบบมาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในกระบวนการไพโรไลซิสและวัตถุดิบที่นำมาใช้ [45, 46] ถ่านชีวภาพจึงมีความเหมาะสมเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบมวลชีวภาพทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน เกิดขึ้นทั้งระบบนิเวศบนบกและในน้ำ พื้นที่ป่าไม้เป็นแหล่งสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน ขณะเดียวกันระบบนิเวศเกษตรก็เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพอย่างมากในการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศบก โดย United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) ซึ่งเป็นหน่วยงานของสหประชาชาติ ที่มีหน้าที่รับผิดชอบการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่เป็นตัวกักเก็บคาร์บอนและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินในระบบนิเวศเกษตร [48] การนำพวงผลไม้ที่วางเปล่าในประเทศมาเลเซีย มาผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 300, 350 และ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง การให้ความร้อนที่อัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที กำหนดเงื่อนไขของอุณหภูมิและชนิดของถ่านชีวภาพ โดยใช้ในอัตราส่วนถ่านชีวภาพ 100 กรัม ผสมดินทรายเขตเงาฝน 100 กรัมและน้ำ 100 มิลลิลิตร เพื่อกักเก็บน้ำและธาตุอาหาร พบว่าให้ผลผลิตเป็น 21.5, 19.5 และ 18.0 % ของน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300, 350 และ 400 °C ตามลำดับ และสามารถกักเก็บธาตุอาหาร NPK โดยที่การตอบสนองต่อ K ที่อุณหภูมิ 400 °C ได้มากกว่า [48 49]

ซึ่งประสิทธิภาพของการดูดซับอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีขนาดของรูพรุนแตกต่างกัน การศึกษาการดูดซับและการชะล้างของไนเตรต แอมโมเนียม ฟอสเฟตในดินปนทรายที่ผสมถ่านชีวภาพจำนวน 13 ชุดการทดลอง ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ถ่านชีวภาพจากไม้ Brazilian pepper (BP600) และ peanut hull (PH600) ถูกนำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการดูดซับสารอาหารในดินปนทราย ซึ่งถ่านชีวภาพจาก BP600 มีประสิทธิภาพในการดูดซับ ไนเตรต แอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำชะได้ 34.0%, 34.7% และ 20.6% ตามลำดับเมื่อเทียบกับดินเพียงอย่างเดียว และถ่านชีวภาพจาก PH600 ยังช่วยลดการชะล้างของไนเตรตและแอมโมเนียโดย 34% และ 14% ตามลำดับ แต่เกิดจากการปล่อยฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจากดิน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของถ่านชีวภาพในการชะล้างของ

สารอาหารในดินเพื่อการเกษตรไม่สม่ำเสมอและแตกต่างกัน ดังนั้นลักษณะการดูดซับสารอาหารของ  
ถ่านชีวภาพควรมีการศึกษาก่อนที่จะมีการใช้งานในโครงการปรับปรุงดินโดยเฉพาะ [50]



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 การเตรียมถ่านชีวภาพ

##### 3.1.1 วัสดุที่ใช้ทดลอง

##### 1) ไม้กระถินยักษ์

การทดลองนี้ใช้ไม้กระถินยักษ์พันธุ์ชุลวาเตอร์ หรือกระถินยักษ์ฮาวาย ซึ่งในอดีตโครงการพระราชดำริได้ใช้ไม้กระถินยักษ์ในการพัฒนาและฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรม เนื่องจากเป็นไม้โตเร็ว มีใบขนาดเล็กสามารถย่อยสลายเป็นธาตุอาหารในดินได้เร็ว มีเมล็ดขนาดเล็กจำนวนมากขยายพันธุ์ได้เร็ว ต่อมามีการแพร่กระจายพันธุ์ไปในพื้นที่ต่าง ๆ ตลอดจนพื้นที่เกษตรกรรม จนกลายเป็นวัชพืชที่กำจัดได้ยาก สำหรับกลุ่มเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่ เป็ด แพะ วัว เป็นต้น นำส่วนของยอด ใบ ไปย่อยเพื่อผสมอาหารหมักและอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ จะตัดเอาส่วนของยอดและต้นอ่อนอายุประมาณไม่เกิน 1 ปี ไปใช้เลี้ยงแพะเนื้อและแพะนม ซึ่งแพะจะกัดกินเฉพาะส่วนยอดและเปลือกของกระถินยักษ์ ทำให้ในชุมชนมีเศษไม้ ปลายไม้เหลือทิ้งจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยพัฒนาโครงสร้างของดินเสื่อมโทรม ให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น จึงได้ทดลองนำเศษไม้ ปลายไม้ ดังกล่าว ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 เซนติเมตร สำหรับใช้เป็นตัวแทนไม้เนื้ออ่อน สำหรับผลิตถ่านชีวภาพเพื่อการเกษตร

##### 2) กะลามะพร้าว

กะลามะพร้าว เป็นวัสดุเหลือทิ้งชนิดหนึ่ง เนื่องจากคนไทยทุกภูมิภาคนิยมบริโภคน้ำมะพร้าว เนื้อมะพร้าวที่อยู่ด้านในของลูกนำมาคั้นเอาน้ำ จะได้น้ำสีขาวขุ่น เรียกว่า “กะทิ” นำไปใช้ประกอบอาหาร หวาน คาว ทำน้ำมันมะพร้าว เป็นต้น ดังนั้น ส่วนของกะลามะพร้าวจึงเป็นของเหลือทิ้งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นพลังงาน ความร้อนสำหรับประกอบอาหาร ถ่านกัมมันต์สำหรับบำบัดของเสียทั้งอากาศและน้ำ ส่วนการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับปรับปรุงดินยังมีการศึกษากันน้อย จึงได้ทดลองนำมาใช้เป็นวัสดุตัวแทนของไม้เนื้อแข็งสำหรับผลิตเป็นถ่านชีวภาพเพื่อการเกษตร

### 3) ขนาดวัสดุ

ไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว มาย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 2 X 2 เซนติเมตร และนำไปตากแดดให้แห้ง เพื่อให้ความชื้นเหลือน้อยที่สุด ซึ่งการเตรียมวัสดุทดลองได้ดำเนินการตามคำแนะนำและวิธีการของ IBI Biochar Certification Program Manual: Requirements and Procedures for Biochar Certification Version 2.1

### 4) การเตรียมวัสดุ / อุปกรณ์เตาเผาถ่านห้องปฏิบัติการ

- 4.1) เตาเผาไฟฟ้าชนิดเปิดหน้า (Electric Furnace)
- 4.2) หม้อดินพร้อมฝาปิด (ภาชนะบรรจุวัสดุเผา)
- 4.3) เศษไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวตากแห้ง
- 4.4) ถูซี่พลาสติกสำหรับบรรจุถ่านที่เผาแล้ว
- 4.5) ปากกาเคมี
- 4.6) เครื่องบดถ่าน

### 5) กระบวนการเผา

นำวัสดุแต่ละชนิดบรรจุในภาชนะแบบมีฝาปิด ในการทดลองนี้ใช้หม้อดิน เพื่อไม่ให้ ออกซิเจนเข้าไปเผาไหม้ จากนั้นนำใส่ในเตาเผาไฟฟ้า (Furnace) ในห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินการเผาที่อุณหภูมิคือ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยตั้งค่าการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที เมื่อการเผาไหม้ในแต่ละอุณหภูมิสิ้นสุดลงปล่อยให้เตาเผาเย็นตัวจนอุณหภูมิปกติจึงทำการเปิดเตา นำถ่านชีวภาพที่ได้บรรจุในถุงซี่พลาสติกปิดให้สนิท ทำการบันทึกข้อมูลในแต่ละอุณหภูมิและเวลาจนครบจำนวน

### 6) การบดย่อยถ่านชีวภาพ

หลังจากทำการเผาถ่านชีวภาพครบตามอุณหภูมิและเวลาแล้ว นำถ่านชีวภาพไปบดให้มีขนาดเล็กลง และใช้ (Sieve) เบอร์ 8 คัดขนาดน้อยกว่า 2.36 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่อไป

### 3.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

#### 1) วิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์หาลักษณะของพื้นที่ผิวจำเพาะ รูพรุน บนพื้นผิวโดยใช้ กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM ) และหาขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ หาค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนด้วยเครื่อง Multipoint BET และหาความสามารถของถ่านชีวภาพในการกักเก็บน้ำ(น้ำหนักต่อปริมาตร)

2) วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง(pH) โดยใช้ pH meter และค่าการนำไฟฟ้า(EC) โดยใช้ Electrometric method และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ C, H, N, O, S ด้วยเครื่อง C, H, N Analyzer วิเคราะห์ P Available ด้วยเครื่อง Flame Photometer และวิเคราะห์หา Ca, Na, Mg, K ในถ่านชีวภาพ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption (AA)

3) เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากเศษไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวจากพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในแต่ละอุณหภูมิและเวลา โดยมีขั้นตอนตามรูปที่ 8 เพื่อหาความแตกต่างของคุณสมบัติที่ดีที่สุด หลังจากนั้นใช้สถิติ Paired T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อหาวัสดุดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตถ่านชีวภาพสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝนของศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งมีปัญหาการเป็นดินทรายเขตเงาฝนเขตเงาฝน และมีสภาพความเป็นกรด ขาดความชื้นในดินทำให้ดินจับตัวแน่น

### 3.1.3 วิเคราะห์ความสามารถในการกักเก็บน้ำ

นำถ่านชีวภาพที่บดแล้วร่อนด้วยตะแกรง (sieve) เบอร์ 8 หรือขนาด 2.38 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักถ่าน 100 กรัม ใส่ภาชนะแช่น้ำสะอาด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีก จะได้ปริมาตรน้ำที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างและรูพรุนของถ่าน โดยนำน้ำหนักหลังการดูดซับลบออกจากน้ำหนักก่อนการดูดซับคูณด้วย 100 และหารด้วยน้ำหนักก่อนการดูดซับ จะได้เปอร์เซ็นต์หรือปริมาตรของน้ำที่ถ่านชีวภาพกักเก็บไว้ โดยใช้วิธีการของ (Song, et al., 2016; Marchetti et al., 2012) ซึ่งใช้สมการดังนี้

การหาความสามารถในการกักเก็บน้ำของถ่านชีวภาพจาก

$$= \frac{(\text{น้ำหนักหลังการดูดซับ} - \text{น้ำหนักก่อนการดูดซับ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการดูดซับ}}$$

ปริมาตรน้ำที่ถ่านชีวภาพดูดซับได้หน่วยเป็นมิลลิลิตร

### 3.1.4 วิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการเผาถ่านชีวภาพ

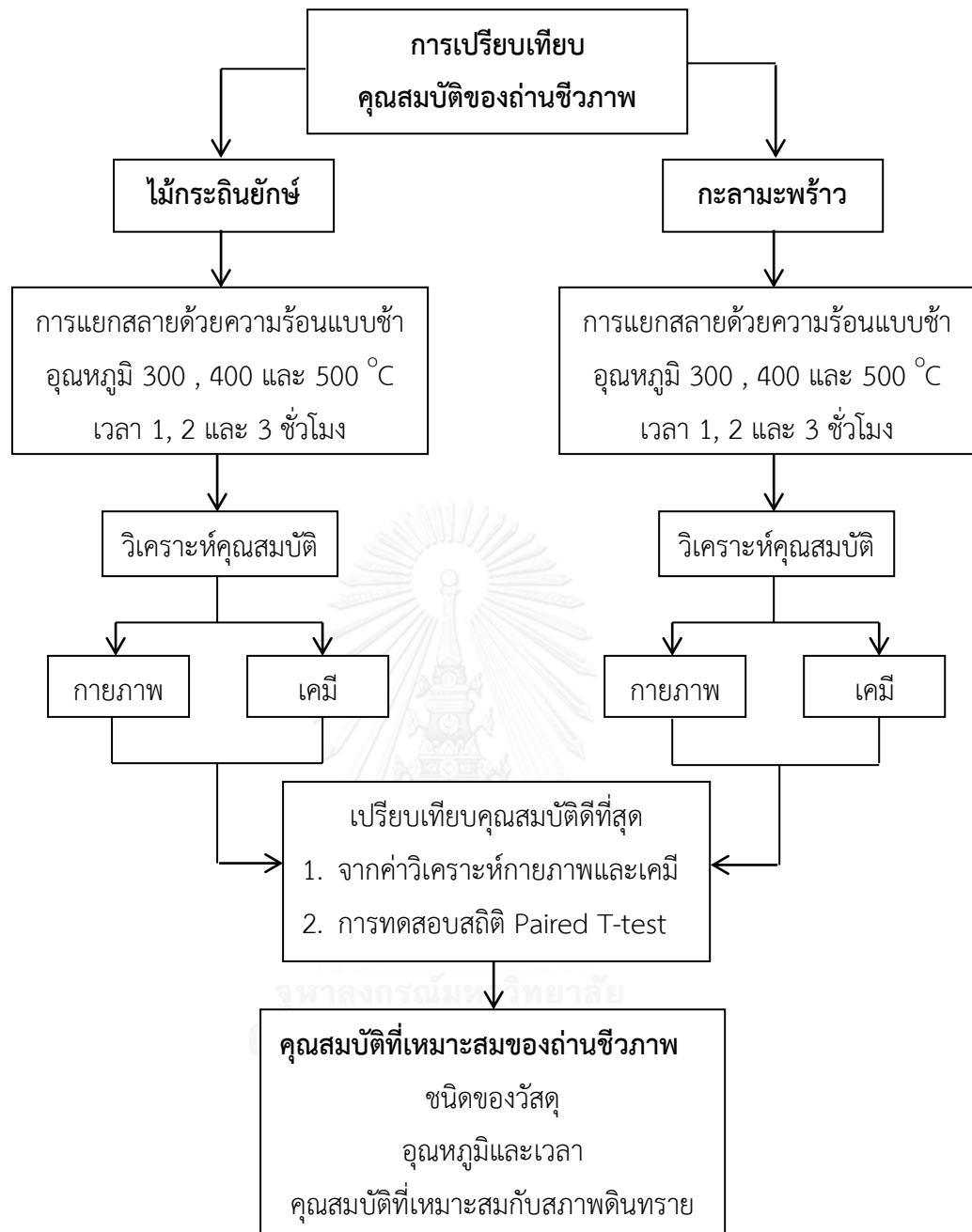
ผลการวิเคราะห์ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน และค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวที่ผ่านการผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสถานะที่แตกต่างกัน 9 สถานะดังตารางที่ 7 วิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method; RSM)

ซึ่งดำเนินการโดยใช้แผนการทดลองแบบ  $3^2$  factorial experiment design โดยใช้ตัวแปรจากผลวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย และค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นค่าตอบสนอง ต่อจากนั้นนำค่าที่ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Equation) และวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Minitab 17

ตารางที่ 7 สถานะที่ใช้ในการเตรียมถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว

สถานะที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าตอบสนอง		
			พื้นที่ผิว จำเพาะ	รูพรุน	pH
1	300	1	SA1	APD1	pH1
2	300	2	SA2	APD2	pH2
3	300	3	SA3	APD3	pH3
4	400	1	SA4	APD4	pH4
5	400	2	SA5	APD5	pH5
6	400	3	SA6	APD6	pH6
7	500	1	SA7	APD7	pH7
8	500	2	SA8	APD8	pH8
9	500	3	SA9	APD9	pH9





รูปที่ 8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกคุณสมบัติของถ่านชีวภาพสำหรับ  
ปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝน

### 3.1.5 วัสดุ/อุปกรณ์ภาคสนาม

- 1) ถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ
- 2) ถังโลหะขนาดความจุ 50 ลิตร จำนวน 1 ใบ
- 3) ท่อใยหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว ยาว 1 เมตร
- 4) เลื่อยมือตัดไม้
- 5) มีด หรือ ขวานสำหรับผ่าไม้
- 6) สว่านเจาะถ้ำ
- 7) เหล็กสกัดปลายแหลม
- 8) ค้อนเหล็ก ขนาด 2 ปอนด์
- 9) เศษไม้สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง

### 3.1.6 อุปกรณ์และสารเคมี

#### 1) การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน

##### 1.1) อุปกรณ์

- (1) เครื่อง pH meter
- (2) เครื่องชั่ง
- (3) ปีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 มล. หรือ ขนาด 100 มล.
- (4) แท่งแก้วสำหรับคน
- (5) กระจกฉีดยา
- (6) ข้อนตวง
- (7) กระจกตวง 25 มล.

##### 1.2) สารเคมี

- (1) สารละลายมาตรฐาน pH 7.0 (Standard buffer Solution)
- (2) สารละลายมาตรฐาน pH 4.0 (Standard buffer Solution)
- (3) สารละลายมาตรฐาน pH 10.0 (Standard buffer Solution)
- (4) สารละลาย 1 M KCl : ละลาย KCl (อบที่ 110 °C นาน 2 ชั่วโมง) 74.5 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
- (5) สารละลาย 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  : ละลาย  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (อบที่ 110 °C นาน 2 ชั่วโมง) 1.47 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

## 2) การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของดิน

### 2.1) อุปกรณ์

- (1) ขวดชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
- (2) Dispenser ขนาด 10 และ 20 มล.
- (3) กระจกบอทดวง ขนาด 100 มล.
- (4) บิวเรตขนาด 50 มล.
- (5) เครื่องกวน (magnetic stirrer)

### 2.2) สารเคมี

- (1) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1.0 N
- (2) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc.  $H_2SO_4$ )
- (3) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) 0.5 N
- (4) สารละลายออร์โทฟีแนนโทรีน อินดิเคเตอร์

## 2) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินโดยวิธี Bray II

### 2.1) อุปกรณ์

- (1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- (2) ขวดแก้วกันแบน (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- (3) หลอดแก้ว (test tube)
- (4) กระจกบอทดวง เบอร์ 5 ขนาด 11 เซนติเมตร
- (5) ปิเปต (pipette)
- (6) เครื่องทำสารละลายเจือจาง (Auto dilutor)
- (7) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร
- (8) บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
- (9) สารเคมีชนิดต่าง ๆ
- (10) เครื่อง Spectrophotometer

### 2.2) สารเคมี สารละลายและวิธีเตรียม

- (1) น้ำยาสกัด Bray II (0.03 N  $NH_4F$ , 0.1 N  $HCl$ ) (Bray และ Kurtz, 1945) ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride,  $NH_4F$ ) 11.10 กรัม ในน้ำกลั่น 8 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc.  $HCl$ ) ลงไป 86 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตร 10 ลิตร ปรับ pH . ให้อยู่ระหว่าง 1.5-1.6

(2) Stock solution (Reagent A : Sulfuric-molybdate-tartrate solution) (Reid และ Copeland, 1969, Hue และ Evans, 1978) ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate,  $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ ) 50 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ละลายแอนติโมนี โพแทสเซียมตาร์ทเรท (antimony potassium tartrate,  $\text{KSbO}\cdot\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) 1.213 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60 °C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่ แอมโมเนียมโมลิบเดต คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 700 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวด Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตรด้วย น้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวด polyethylene หรือขวด pyrex สีน้ำตาลและเก็บไว้ในที่มืดและเย็น น้ำยานี้ ทิ้งไว้ได้นาน 6 เดือน

(3) น้ำยา develop สี (Working solution, Reagent B) (The Auburn University modified Murphy and Riley (1962); Watanabe and Olsen, (1965) และ Mehlich,(1978)) ละลาย ascorbic acid 1.76 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ทำให้มีปริมาตร 2 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ

2 ชั่วโมง จึงนำมาใช้ สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง (4) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 มก./กก. P ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ที่อบให้แห้งที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) 0.2195 กรัม ในน้ำกลั่นพอสมควร ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟูริก 1-2 หยด แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

(5) นำสารละลายมาตรฐาน ข้อ (4) มาทำ standard set ให้มีความเข้มข้น, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 มก./กก. P ด้วยน้ำยาสกัด

### 3) การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Potassium)

#### 3.1) อุปกรณ์

- (1) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มล.
- (2) ขวดชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มล.
- (3) ปิเปต (Pipette) ขนาด 1, 2, 5 และ 10 มล.
- (4) กระจดาชกรอง เบอร์ 1
- (5) กรวยกรอง
- (6) Dispenser ขนาด 25 มล.
- (7) Flame Spectrophotometer
- (8) เครื่องชั่ง (Balance)
- (9) เครื่องเขย่า (Shaker)

### 3.2 สารเคมี

- (1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (NH<sub>4</sub>OAc) 1 M pH 7.0
- (2) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 mg L<sup>-1</sup>
- (3) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 mg L<sup>-1</sup>

### 4) การวิเคราะห์แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน (Exchangeable cations)

Ca<sup>++</sup> , Mg<sup>++</sup> , Na<sup>+</sup> และ K<sup>+</sup> เป็นแคตไอออนเกาะอยู่ที่อนุภาคของดิน หรือ เรียกว่า แคตไอออนเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนที่กันได้กับแคตไอออนอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคดิน

#### 4.1) แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca<sup>++</sup> และ Mg<sup>++</sup>)

##### 4.1.1) อุปกรณ์

- (1) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
- (2) เครื่อง pH meter
- (3) เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
- (4) เครื่องชั่ง (Balance)
- (5) ขวดخمพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 และ 125 มล.
- (6) ขวดกรอง (Filtering flask) ขนาด 500 มล.
- (7) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มล.
- (8) Buchner funnel
- (9) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 หรือ เบอร์ 5
- (10) กระจกตวง 1,000 มล.
- (11) ขวดพลาสติกทนกรด-ด่าง ขนาด 20 ลิตร
- (12) กระจกฉีดยาน้ำยา ขนาด 500 มล.
- (13) ปิเปตขนาด 1, 2, 5 และ 10 มล.

##### 4.1.2) สารเคมี

- (1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (NH<sub>4</sub>OAc) 1 M pH 7.0
- (2) สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 1,000 mg L<sup>-1</sup>
- (3) สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L<sup>-1</sup>
- (4) สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 1,000 mg L<sup>-1</sup>
- (5) สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg L<sup>-1</sup>
- (6) สารละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ (SrCl<sub>2</sub>) 1,500 mg L<sup>-1</sup>

#### 4.2) โปแตสเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K<sup>+</sup> และ Na<sup>+</sup>)

##### 4.2.1) อุปกรณ์

- (1) เครื่อง Flamephotometer
- (2) อุปกรณ์อื่นๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

##### 4.2.2) สารเคมี

- (1) สารละลายมาตรฐานโซเดียม 1,000 mg L<sup>-1</sup>
- (2) สารละลายมาตรฐานโซเดียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L<sup>-1</sup>
- (3) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียม 1,000 mg L<sup>-1</sup>
- (4) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L<sup>-1</sup>
- (5) สารละลายอื่นๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

#### 5) การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Cation Exchange Capacity, C.E.C.)(Ammonium saturation method)

##### 5.1) อุปกรณ์

- (1) ขวดชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มล.
- (2) ขวดกรอง (Filtering flask) ขนาด 500 มล.
- (3) ขวดกลั่น (Kjeldahl flask) ขนาด 800 มล.
- (4) ขวดพลาสติกทนกรดทนด่างขนาด 10 และ 20 ลิตร
- (5) กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- (6) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5
- (7) เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
- (8) เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)
- (9) บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มล.
- (10) เครื่องกวน (Magnetic stirrer)

##### 5.2) สารเคมี

- (1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (Ammonium acetate, NH<sub>4</sub>OAc) 1M
- (2) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH<sub>4</sub>Cl) 1 M pH 7.0
- (3) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 M
- (4) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) 10 % acidified

pH 7.0

- (5) เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 95 %
- (6) สารละลายกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) 3 %
- (7) สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)
- (8) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ( phenolphthalein) 1 %
- (9) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ( $AgNO_3$ ) 0.10 M
- (10) สารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรริก (HCl) 0.1 M
- (11) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M
- (12) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
- (13) โปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (Potassium hydrogen phthalate)

#### 6) การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity =EC)

##### 6.1) อุปกรณ์

- (1) เครื่องชั่ง
- (2) บีกเกอร์ขนาด 600 หรือ 1,000 มล.
- (3) spatula\
- (4) เครื่องอัดน้ำออกจากดิน (Baroid Press)
- (5) เครื่อง Electrical Conductivity meter
- (6) หลอดทดลองขนาด 40 มล.
- (7) กระจกตวง 25 มล.
- (8) แท่งแก้วคนสาร

##### 6.2) สารเคมี

- (1) สารละลายมาตรฐาน 0.01 M KCl : ละลาย KCl (ที่อบที่  $110^{\circ}C$  นานประมาณ 3 ชั่วโมง) 0.7456 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะเป็นสารละลาย มาตรฐานมีค่าการนำไฟฟ้าที่  $25^{\circ}C$  1.412 dS/m
- (2) สารละลายมาตรฐาน 0.1 M KCl : ละลาย KCl (ที่อบที่  $110^{\circ}C$  นานประมาณ 3 ชั่วโมง) 7.456 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะเป็นสารละลาย มาตรฐานมีค่าการนำไฟฟ้าที่  $25^{\circ}C$  12.88 dS/m)

### 3.2.สถานที่วิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

- 3.2.1 สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 3.2.2 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 3.2.3 วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 3.2.4 คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตเพชรบุรี
- 3.2.5 กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 จังหวัดฉะเชิงเทรา
- 3.2.6 กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 10 จังหวัดราชบุรี
- 3.2.7 กลุ่มวิทยบริการ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
- 3.2.8 ศูนย์เรียนรู้และวิจัยป่าเต็ง ตำบลดงป่าเต็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

### 3.3 การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

#### 3.3.1 สถานที่ทดลอง

การทดลองปลูกงาดำใช้พื้นที่บริเวณแปลงงานเกษตรผสมผสาน ศูนย์ศึกษาการพัฒนา ห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ใช้อาคารโปร่งแสงและด้านข้างของอาคารโดยจัดทำมุ้งตาข่าย ขนาดกว้าง ยาว = 4 X 6 เมตร ตามภาคผนวก 3

#### 3.3.2 การเตรียมดิน

ดินในพื้นที่ทดลองมีสภาพเป็นดินทรายเขตเงาฝน ทำการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก โดยกำจัดวัชพืชบริเวณผิวดินออกให้หมด ชุดให้มีความลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร ทำการร่อนด้วยตะแกรง (Sieve) เบอร์ 4 หรือขนาด 4.76 มิลลิเมตร นำไปตากในโรงเรือนโปร่งแสงให้แห้ง เป็นเวลา 10 วัน แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 8 ขนาด 2.38 มิลลิเมตร จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักดินแยกเป็นกอง โดยใช้วิธีการตามคำแนะนำการปลูกพืชของ OECD 208 เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโต ตามตารางชุดการทดลองที่ 8

#### 3.3.3 การเตรียมพันธุ์งาดำ

เมล็ดพันธุ์งาดำที่ใช้ทดลอง คือ มก.18 จากภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การศึกษาครั้งนี้ ใช้งาดำพันธุ์ มก 18 เนื่องจากมีลำต้นเดี่ยว ฝักไม่แตกง่าย ชอบลักษณะดินปนทรายมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ใช้น้ำน้อย ไม่ชอบน้ำแช่ขัง ซึ่งมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ นอกจากนี้เมล็ดงาดำยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง



ตารางที่ 8 อัตราส่วนของปุ๋ยเคมีและปริมาณถ่านชีวภาพในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดที่	ชุดการทดลอง	ปริมาณปุ๋ยเคมี N P K(g) สูตร 15 : 15 : 15	ปริมาณถ่านชีวภาพ (%)
1	C (Control)	-	-
2	CF	50	-
3	BC1	-	5
4	BC2	-	10
5	BC3	-	15
6	BC4	-	20
7	CFBC1	50	5
8	CFBC2	50	10
9	CFBC3	50	15
10	CFBC4	50	20

### 3.3.4 การเตรียมชุดการทดลอง

1) กระจกทดลอง ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร เนื่องจากลักษณะสายพันธุ์งาคำเป็นพืชที่มีขนาดความสูงประมาณ 120 – 130 เซนติเมตร ระบบรากแผ่กว้างประมาณ 30 เซนติเมตร การใช้อุปกรณ์และวิธีการทดลองปลูกพืชใช้มาตรฐานของ OECD 208 โดยทำการตีหมายเลขชุดทดลองและจำนวนให้ครบทุกกระจกเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการเตรียมดินปลูก

2) ใช้ถาดรองเพื่อป้องกันดิน ถ่านชีวภาพ และน้ำไหลออก

3) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design=RCD) ประกอบด้วย 10 ชุดทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ โดยการเขียนหมายเลขชุดทดลองและจำนวนซ้ำใส่ในกล่องคนให้ทั่วแล้วจับฉลาก เพื่อให้ทุกหมายเลขมีโอกาสได้รับเลือกและมีสภาพแวดล้อมเหมือนกัน

4) นำดินที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4.2 ชั่งน้ำหนักแยกเป็นกองตามชุดทดลอง ชั่งปุ๋ยเคมีสูตร 15 : 15 : 15 และถ่านชีวภาพตามชุดทดลองในตารางที่ 8 มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วแบ่งดินที่ผสมออกเป็น 4 ส่วน เพื่อเก็บตัวอย่างดินสำหรับนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน น้ำหนักจำนวน 1 กิโลกรัม จากนั้นนำดินส่วนที่เหลือตวงใส่กระจกให้มีปริมาณเท่า ๆ กัน รดน้ำให้ชุ่ม ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอ

### 3.4 การปลูกพืช

#### 3.4.1 วิธีการปลูกงาดำ

การปลูกงาดำใช้การหยอดเมล็ดลงในกระถาง ๆ ละ 10 เมล็ด แล้วโรยทับด้วยดินบาง ๆ ปล่อยให้ชุ่ม เมื่ออายุได้ 10 วัน เก็บข้อมูลครั้งที่ 1 และเมื่ออายุได้ 20 คัดต้นที่มีความสมบูรณ์ไว้จำนวน 3 ต้นต่อกระถางเพื่อเก็บข้อมูลจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต การทดลองกำหนดระยะเวลาการปลูกจำนวน 3 ครั้ง โดยเริ่มดำเนินการทดลองปลูกงาดำ หลังจากดำเนินการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมแล้วทำการผลิตถ่านเพื่อปลูกต่อไป ข้อจำกัดการปลูกทั้ง 3 ครั้ง ใช้ดินชุดเดียวกัน โดยก่อนและหลังปลูกงาดำ ต้องเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช จากนั้นนำดินในกระถางออกตากในโรงเรือนเป็นเวลา 10 วัน แล้วดำเนินการเตรียมการทดลองครั้งต่อไป

#### 3.4.2 การดูแล รักษาและการให้น้ำ

ในระหว่างทำการทดลองหากเกิดโรคและแมลงระบาด มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมี เพื่อควบคุมและไม่ให้ผลผลิตเสียหาย อัตราการใช้น้ำของพืชตามค่ามาตรฐานการปลูกพืชในเขตชลประทานของกรมชลประทาน โดยปกติอัตราการใช้น้ำของงาอยู่ที่ประมาณ 490 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อฤดูกาล โดยในการทดลองนี้ใช้วิธีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 1 หัวจ่ายต่อ 1 กระถาง โดยตรวจสอบปริมาณการไหลที่หัวจ่ายในอัตราที่เท่ากันและช่วงเวลาในการให้น้ำ 09.00 - 09.30 นาฬิกา โดยทำการตรวจสอบน้ำในถาดรองด้านล่าง ถ้ามีน้ำขังอยู่มากในวันต่อไป เราจะงดการให้น้ำ หรือถ้าใช้ช่วงฤดูฝนอากาศชื้นมากเกินไป เราจะทำการให้น้ำเท่าที่จำเป็น และตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำจ่ายถึงจ่าย

### 3.5 การเก็บข้อมูล

#### 3.5.1 การวัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำโดยเก็บตัวอย่างดินจากกระถางทดลอง ในแต่ละชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการเพาะปลูก เพื่อวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดินตามพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ ตามตารางที่ 9

#### 3.5.2 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลของผลผลิตแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วนคือ จำนวนปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ดังนี้

### 1) ด้านปริมาณผลผลิต

1.1) การวัดอัตราการเจริญเติบโตของงาดำ จัดเก็บข้อมูลทุก 10 วัน ช่วงวันที่ 10, 20, 30, 40, 30, 60, 70, และ 80 โดยการวัดสูงจากระดับผิวดินถึงปลายยอด (หน่วยเซนติเมตร)

1.2) การติดดอกและติดฝักของงาดำ ช่วงติดดอกของงาดำเริ่มตั้งแต่ช่วงวันที่ 37-70 วัน การเก็บข้อมูลจึงเริ่มบันทึกก่อนงาดอกติดดอกและติดฝัก คือช่วงวันที่ 30 เป็นต้นไป

1.3) การเก็บข้อมูลด้านน้ำหนักผลผลิต โดยการจัดเก็บน้ำหนักรวมของต้นและน้ำหนักเฉลี่ยของต้น น้ำหนักเมล็ดรวม จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก เป็นต้น

#### ตารางที่ 9 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สมบัติของดิน

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	วิธีการของ
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	-	pH meter	พัชรี อีร์จินดาจร, 2552
การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity )	dS/m	Conductivity meter	พัชรี อีร์จินดาจร, 2552
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)	%	Walkley and Black method	Soil Survey Staff, 1996
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	%	Kjeldahl method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)	mg/kg	Spectrophotometric Molybdovanadophosphate method (Bray II)	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
โพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)	mg/kg	Flame photometric method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
แคลเซียม (Ca)	mg/kg	Atomic Adsorption	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
แมกนีเซียม (Mg)	mg/kg	Atomic Adsorption	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
โซเดียม (Na)	mg/kg	Atomic Adsorption	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	cmol/kg	NH <sub>4</sub> OAc method	กรมพัฒนาที่ดิน, 2553

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2547

## 2) ด้านคุณภาพของผลผลิต

ทำการแยกเมล็ดที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ซึ่งรายละเอียดการจัดเก็บข้อมูลตามตารางที่ 10 ระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูลผลผลิตงาดำ

ตารางที่ 10 ระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูลผลผลิตงาดำ

วันที่เก็บข้อมูล/ รายการ	10	20	30	40	50	60	70	80	การเก็บ ผลผลิต
1.การงอกของเมล็ด	/	-	-	-	-	-	-	-	-
2.ความสูงของต้น (ซม.)	/	/	/	/	/	/	/	/	-
3.การติดดอก (จำนวน)	-	-	/	/	/	/	/	/	-
4.การติดฝัก (จำนวนฝัก)	-	-	-	/	/	/	/	/	-
5.น้ำหนักต้นรวม(กรัม)	-	-	-	-	-	-	-	-	/
6.น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น	-	-	-	-	-	-	-	-	/
7.น้ำหนักเมล็ดรวม (กรัม)	-	-	-	-	-	-	-	-	/
8.เมล็ดสมบูรณ์ (กรัม)	-	-	-	-	-	-	-	-	/
9.เมล็ดไม่สมบูรณ์ (กรัม)	-	-	-	-	-	-	-	-	/

### 3.5.3 การวิเคราะห์ผลของถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตงาดำ

นำข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตงาดำของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละฤดูกาล เพาะปลูกมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้สถิติ one way ANOVA วิธี Tukey Pairwise ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสัดส่วนที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตงาดำ

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (Average Pore Diameter; APD) และการนำไฟฟ้า สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ องค์ประกอบของธาตุ (ประกอบด้วยปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; CEC) และปริมาณธาตุอาหาร (ประกอบด้วย ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม) โดยได้นำผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวที่ผ่านการผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ (ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 300-500 °C ใช้เวลาในการเผาตั้งแต่ 1-3 ชั่วโมง) โดยใช้เตาเผาไฟฟ้าของผลห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาศึกษาในเชิงเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุดิบและสภาวะในการเตรียมถ่านชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินที่มีปัญหาการเป็นดินทรายเขตเงาฝนเขตเงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพในการศึกษานี้ ได้แก่ ไม้กระถินยักษ์ (*Leucocephala glauca* Benth.) และกะลามะพร้าว สำหรับคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพคือ พื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน และค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยผลการศึกษาค้นสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว มีดังนี้

##### 4.1.1 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์

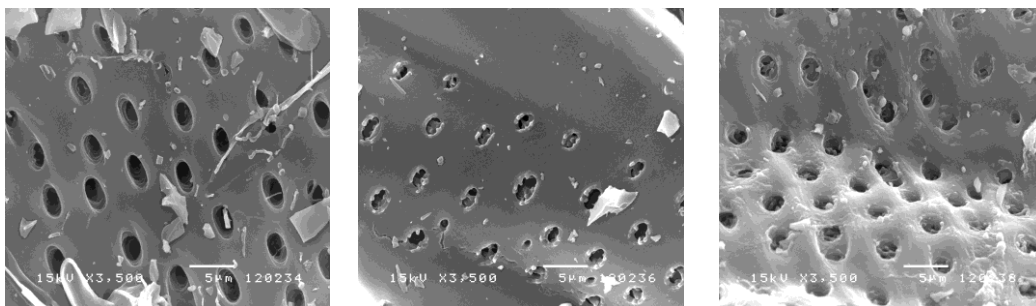
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ที่ผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะดังตารางที่ 11 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ที่ผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ

สภาวะในการเผา		คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์							
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	SA (m <sup>2</sup> /kg)	APD (A <sup>o</sup> )	EC (dS/m)	%C	%H	%N	%O	%S
300	1	2.14	71.87	0.34	68.85	3.44	0.02	27.66	0.03
300	2	4.09	57.78	0.50	66.91	3.41	0.02	29.55	0.11
300	3	6.09	59.73	0.53	67.56	3.52	0.02	28.85	0.05
400	1	4.56	63.8	0.33	68.21	3.62	0.02	28.07	0.08
400	2	108.89	25.55	0.55	66.98	4.30	0.22	28.46	0.04
400	3	100.56	26.85	0.52	68.68	3.13	0.06	28.09	0.04
500	1	330.63	22.87	0.64	72.98	2.92	0.10	23.99	0.01
500	2	370.37	22.41	0.79	70.74	2.98	0.10	26.07	0.11
500	3	376.51	23.07	0.39	73.26	2.91	0.08	23.64	0.11
สภาวะในการเผา		คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์							
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	pH	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	
300	1	6.0	26.20	9,822	2,228	263	86.50	69.86	
300	2	5.5	27.00	8,552	2,536	286	103.97	106.30	
300	3	5.0	37.80	6,696	1,822	209	74.23	127.45	
400	1	5.6	46.09	8,940	1,951	189	74.77	87.80	
400	2	6.8	57.53	10,846	3,000	180	129.43	102.60	
400	3	6.2	27.07	6,225	2,190	152	25.23	96.81	
500	1	7.9	23.10	9,423	2,844	233	85.67	41.30	
500	2	7.8	29.70	11,087	3,595	149	131.67	69.26	
500	3	7.7	19.53	8,263	2,528	183	84.80	64.40	

1) พื้นที่ผิวจำเพาะ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.41-376.51 m<sup>2</sup>/kg โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จากการศึกษา พบว่า สภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 500 °C ใช้เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง โดยจากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [50] ที่

กำลังขยาย 3,500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพเกิดรูพรุนบนพื้นผิวกระจายทั่วบริเวณ ดังตัวอย่างรูปที่ 8



อุณหภูมิ 500 °C เวลา 1 ชม.

อุณหภูมิ 500 °C เวลา 2 ชม.

อุณหภูมิ 500 °C เวลา 3 ชม.

รูปที่ 9 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์ด้วยอุณหภูมิ 500°C ที่เวลา 1-3 ชม.

2) ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (APD) มีค่าอยู่ระหว่าง 22.41 - 71.87 อังสตรอม (Å) โดยค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จากการศึกษ พบว่า สภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่มีค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 300°C ใช้เวลาในการเผา 1 ชั่วโมง

3) ค่าความนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.33 - 0.79 dS/m โดยสภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่มีค่าความนำไฟฟ้ามากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 500°C ใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง

4) องค์ประกอบของธาตุ พบว่า ปริมาณคาร์บอนมีค่าอยู่ระหว่าง 66.91 - 73.26% ปริมาณไฮโดรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 2.91 - 4.30% ปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.22% ปริมาณออกซิเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 23.64 - 29.55% และปริมาณกำมะถันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.11% โดยปริมาณคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณไฮโดรเจนและออกซิเจนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-7.9 หรือมีสภาพเป็นกรดอ่อนถึงด่างอ่อน

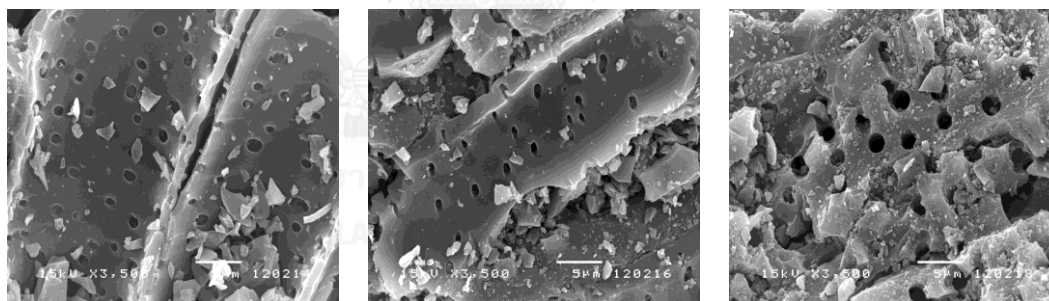
6) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าอยู่ระหว่าง 41.30-127.45 cmol/kg โดยสภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 300 °C ใช้เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง

7) ปริมาณธาตุอาหาร พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ระหว่าง 19.53 - 57.53 mg/kg ปริมาณแคลเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 6,225 - 11,087 mg/kg ปริมาณแมกนีเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,822 - 3,595 mg/kg ปริมาณโซเดียมมีค่าอยู่ระหว่าง 149 - 2,092 mg/kg และปริมาณโพแทสเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 25.23 - 131.67 mg/kg

#### 4.1.2 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะดังตารางที่ 12 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) พื้นที่ผิวจำเพาะ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.95 - 351.95  $m^2/kg$  โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จากการศึกษ พบว่า สภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 500 °C ใช้เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง โดยจากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [50] ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพเกิดรอยแตกเป็นรูพรุนบนพื้นผิวกระจายทั่วบริเวณ ดังตัวอย่างรูปที่ 10



อุณหภูมิ 500 °C เวลา 1 ชม.

อุณหภูมิ 500 °C เวลา 2 ชม.

อุณหภูมิ 500 °C เวลา 3 ชม.

รูปที่ 10 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวด้วยอุณหภูมิ 500 °C ที่เวลา 1-3 ชม.

2) ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (APD) มีค่าอยู่ระหว่าง 22.06 - 95.26 อังสตรอม (Å) โดยค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จากการศึกษ พบว่า สภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่มีค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 300 °C ใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง



3) ค่าความนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14 - 1.47 dS/m โดยสภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่มีค่าความนำไฟฟ้ามากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 500<sup>o</sup>C ใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง ตารางที่ 12 Error! No text of specified style in document.คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 9 สภาวะ

สภาวะในการเผา		คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว							
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /kg)	APD (A <sup>o</sup> )	EC (dS/m)	%C	%H	%N	%O	%S
300	1	1.03	60.60	1.15	53.47	3.70	0.10	42.57	0.16
300	2	1.03	95.26	0.62	48.32	3.93	0.01	47.56	0.18
300	3	0.95	80.07	0.45	43.46	3.62	0.01	52.76	0.15
400	1	4.01	48.21	0.16	31.84	3.08	0.02	64.87	0.19
400	2	8.76	40.57	0.23	43.08	3.17	0.01	53.62	0.12
400	3	11.32	40.30	0.14	54.28	3.16	0.01	42.54	0.01
500	1	199.38	27.07	0.65	65.48	3.15	0.01	31.35	0.01
500	2	347.96	22.06	1.47	64.77	2.93	0.01	32.29	0.01
500	3	351.95	22.20	1.21	64.06	2.70	0.01	33.20	0.03
สภาวะในการเผา		คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว							
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	pH	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	
300	1	6.4	25.87	2,476	524	520	42.90	34.76	
300	2	6.5	18.70	3,820	631	694	40.90	26.25	
300	3	6.9	35.50	3,765	403	782	41.40	55.09	
400	1	7.2	17.00	3,246	524	528	45.03	19.92	
400	2	8.8	17.87	3,842	672	613	40.23	13.67	
400	3	9.1	76.57	4,441	1,634	2,083	129.60	26.34	
500	1	9.3	45.27	4,410	400	646	117.27	24.95	
500	2	8.9	78.83	4,610	393	2,386	64.53	14.74	
500	3	8.9	47.83	5,293	320	1,497	116.13	61.23	

4) องค์ประกอบของธาตุ พบว่า ปริมาณคาร์บอนมีค่าอยู่ระหว่าง 31.84 - 65.48% ปริมาณไฮโดรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 2.70 - 3.92% ปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.10% ปริมาณออกซิเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 31.35 - 64.87% และปริมาณกำมะถันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.19% โดยปริมาณคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณไฮโดรเจนและออกซิเจนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 6.4 - 9.3 หรือมีสภาพเป็นกรดอ่อนถึงด่าง

6) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าอยู่ระหว่าง 13.67 - 61.23 cmol/kg โดยสภาวะที่ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 500<sup>o</sup>C ใช้เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง

7) ปริมาณธาตุอาหาร พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ระหว่าง 17.00 - 78.83 mg/kg ปริมาณแคลเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 765 - 8,293 mg/kg ปริมาณแมกนีเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 400 - 1,634 mg/kg ปริมาณโซเดียมมีค่าอยู่ระหว่าง 520 - 2,083 mg/kg และปริมาณโพแทสเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 40.23 - 129.60 mg/kg

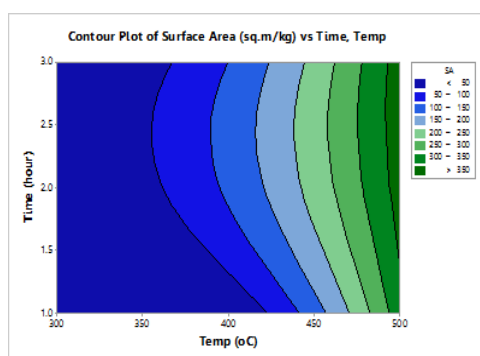
#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าว ดำเนินการเพื่อหาวัสดุดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตถ่านชีวภาพที่นำมาใช้ปรับปรุงดินบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่มีปัญหาการเป็นดินทรายเขตเงาฝนเขตเงาฝน และดินมีความเป็นกรด ซึ่งต้องปรับปรุงดินให้สามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหารได้ ดังนั้นคุณสมบัติของถ่านชีวภาพแต่ละชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกัน คือ พื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน องค์ประกอบของธาตุ (%C, %H, %N และ %O) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 9 แบบ โดยการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Paired T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการเปรียบเทียบแสดงดังต่อไปนี้

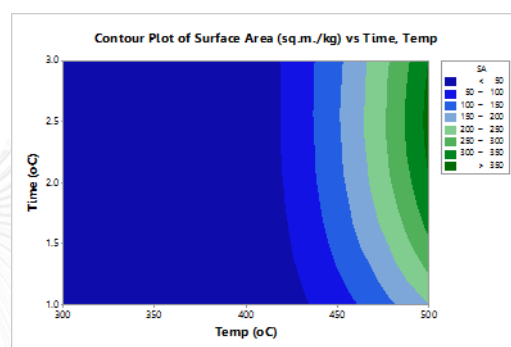
##### 4.2.1 พื้นที่ผิวจำเพาะ

พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 10 โดยพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับของถ่านชีวภาพ โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพนั้นมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างมากตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 10-

400 m<sup>2</sup>/kg ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิต ขณะที่พื้นที่ผิวจำเพาะของดินทรายเขตเงาฝนมีค่าประมาณ 0.01 m<sup>2</sup>/kg ดังนั้น การใช้ถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากในการปรับปรุงดินจะสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะของดินทรายเขตเงาฝนได้ จากการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Paired T-test พบว่า ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) (ตารางที่ 13) โดยค่าเฉลี่ย (mean) ของพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีค่าสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว



ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์



ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

Error! No text of specified style in document. รูปที่ 11 พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

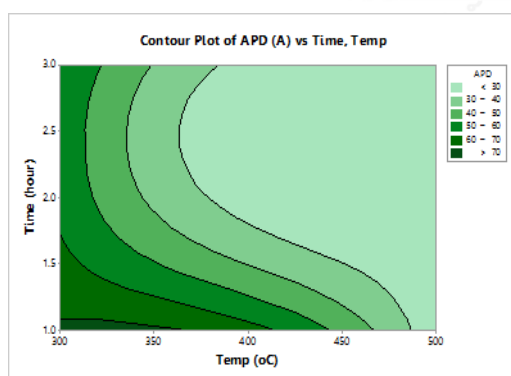
ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T-value	P-value
Surface area (ไม้กระถินยักษ์) (m <sup>2</sup> /kg)	300	2	4.11	1.98	1.14	2.48	0.038
	400	2	71.34	58.0	33.5		
	500	2	359.20	24.9	14.4		
Surface area (กะลามะพร้าว) (m <sup>2</sup> /kg)	300	2	1.00	0.05	0.03		
	400	2	8.03	3.71	2.14		
	500	2	299.8	87.0	50.2		

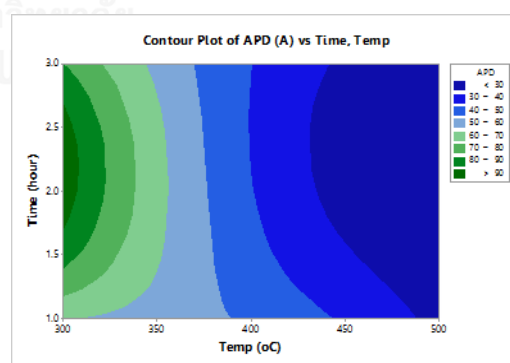
จากตารางที่ 12 จะเห็นว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่สภาวะต่างๆ มีค่าค่อนข้างกว้าง เนื่องจากในการเตรียมถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 300°C และ 400°C นั้น ให้ถ่านที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่เตรียมที่อุณหภูมิ 500°C มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zheng et al ในปี 2010 ที่พบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดที่เตรียมที่อุณหภูมิ 250°C มีค่าน้อยกว่าถ่านชีวภาพที่เตรียมที่อุณหภูมิ 550°C อยู่มาก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในการศึกษาวิจัยในอนาคตควรมีการทดลองแบ่งช่วงอุณหภูมิในกาเตรียมถ่านให้ละเอียดขึ้นระหว่างช่วงอุณหภูมิ 400 - 500°C เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวจำเพาะที่มีต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

#### 4.2.2 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน

ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 12 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพขึ้นกับคุณสมบัติวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่นเดียวกันกับพื้นที่ผิวจำเพาะ ถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะสามารถดูดซับธาตุอาหารของพืชได้ดีกว่า จากการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Paired T-test พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) (ตารางที่ 14)



ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์



ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

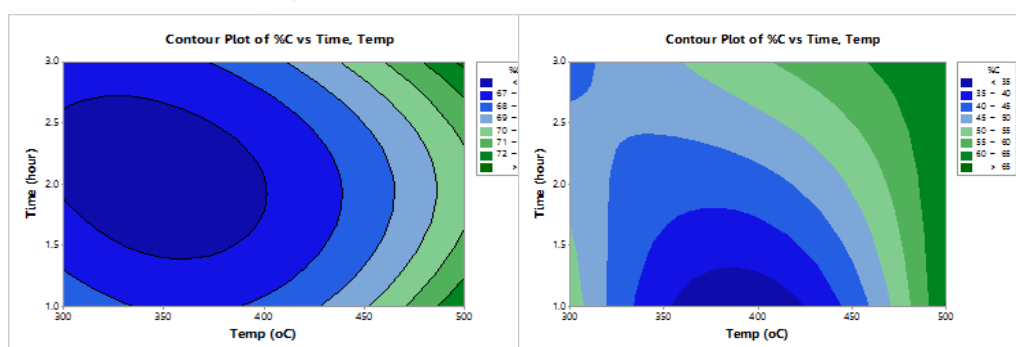
รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T-value	P-value
APD(ไม้กระถินยักษ์) (Å)	300	2	63.13	7.63	4.41	-1.26	0.243
	400	2	38.70	21.70	12.5		
	500	2	22.78	0.34	0.19		
APD(กะลามะพร้าว) (Å)	300	2	68.60	17.40	10.00		
	400	2	43.03	4.49	2.59		
	500	2	23.78	2.85	1.65		

#### 4.3 องค์ประกอบของธาตุ

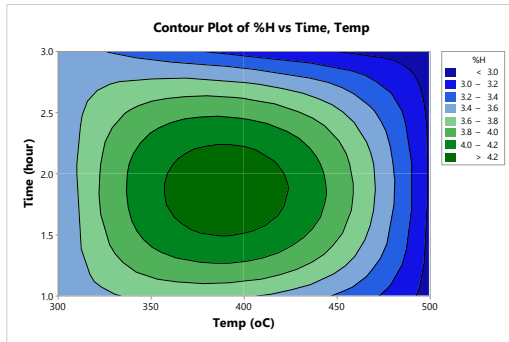
องค์ประกอบของธาตุของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 13 ถึง รูปที่ 16 จากการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Paired T-test พบว่า ปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ส่วนปริมาณไฮโดรเจนและไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) (ตารางที่ 15 ถึง ตารางที่ 18)



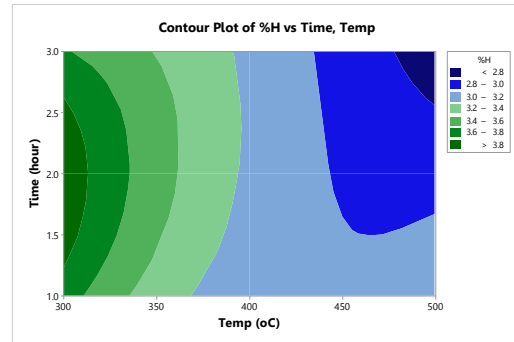
ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 13 ปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

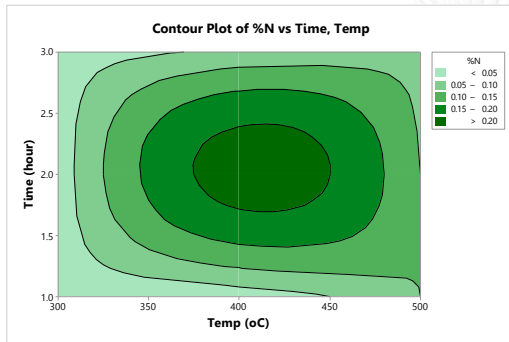


ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

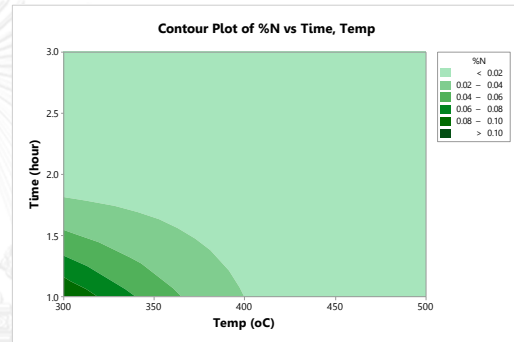


ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 14 ปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

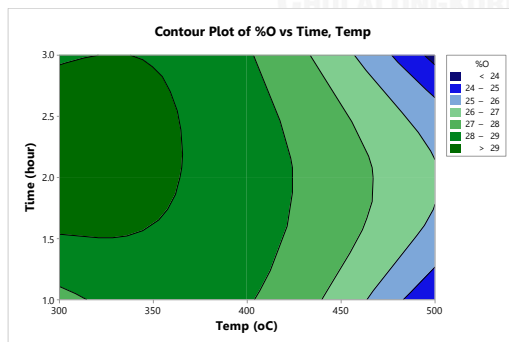


ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

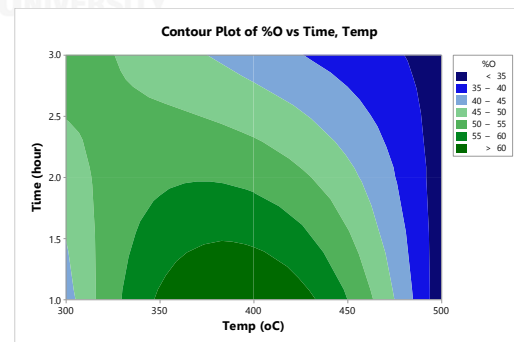


ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ



รูปที่ 16 ปริมาณออกซิเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ



ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Variables	Temp.	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T- value	P- value
%C (ไม้กระถินยักษ์)	300	2	67.77	0.99	0.57	5.32	0.001
	400	2	67.96	0.88	0.51		
	500	2	72.33	1.38	0.80		
%C (กะลามะพร้าว)	300	2	47.42	5.01	2.89		
	400	2	43.07	11.22	6.48		
	500	2	64.77	0.71	0.41		

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T- value	P- value
%H (ไม้กระถินยักษ์)	300	2	3.45	0.05	0.03	0.53	0.608
	400	2	3.68	0.59	0.34		
	500	2	2.94	0.04	0.022		
%H (กะลามะพร้าว)	300	2	3.75	0.16	0.09		
	400	2	3.14	0.05	0.03		
	500	2	2.93	0.23	0.13		

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

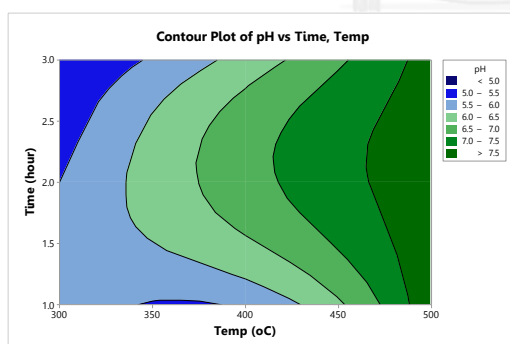
Variables	Temp (°C)	Time (h)	Mean	StDev.	SE Mean	T- value	P- value
%N (ไม้กระถินยักษ์)	300	2	0.02	0.00	0.00	1.86	0.099
	400	2	0.10	0.11	0.06		
	500	2	0.09	0.01	0.01		
%N (กะลามะพร้าว)	300	2	0.04	0.05	0.03		
	400	2	0.01	0.01	0.00		
	500	2	0.01	0.00	0.00		

ตารางที่ 18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

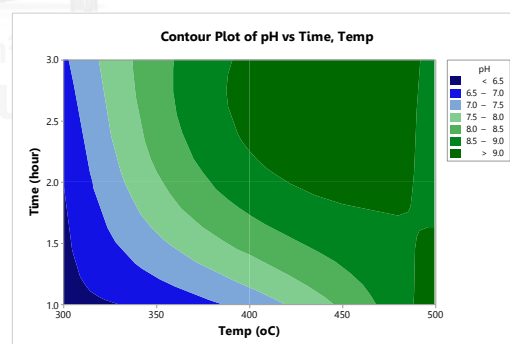
Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T- value	P- value
%O (ไม้กระถินยักษ์)	300	2	28.68	0.96	0.55	-5.27	0.001
	400	2	28.21	0.22	0.13		
	500	2	24.57	1.31	0.76		
%O (กะลามะพร้าว)	300	2	47.63	5.10	2.94		
	400	2	53.68	11.17	6.45		
	500	2	32.28	0.93	0.53		

#### 4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจาก  
สภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 17 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณและองค์ประกอบ  
ของธาตุ ประเภทของวัตถุดิบ และสภาวะที่ใช้ในการผลิต จากการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ Paired T-  
test พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิต  
จากสภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่  
19)



ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์



ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 17 ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

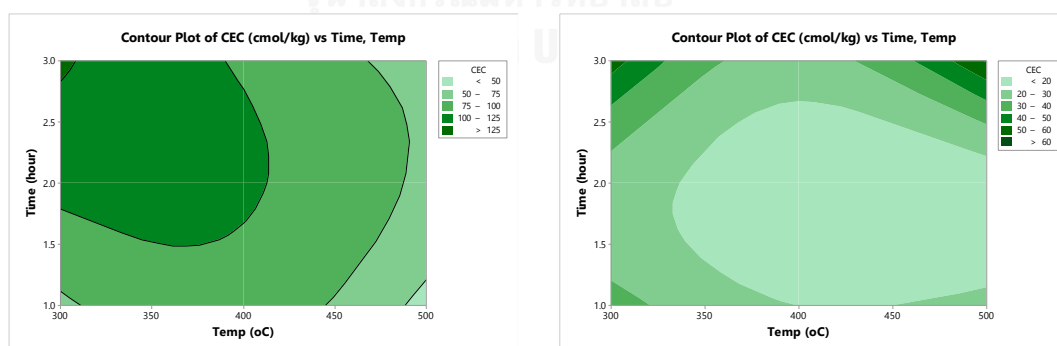


ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T-value	P-value
pH (ไม้กระถินยักษ์)	300	2	5.5	0.50	0.29	-6.29	0.000
	400	2	6.2	0.60	0.35		
	500	2	7.8	0.10	0.06		
pH (กะลามะพร้าว)	300	2	6.60	0.27	0.15		
	400	2	8.36	1.02	0.59		
	500	2	9.03	0.23	0.13		

#### 4.3.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับ  
กะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 18 ถ่านชีวภาพที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยน  
ประจุบวกสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของพืชได้ จากการเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ  
Paired T-test พบว่า ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้  
กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ  
เชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่ 20 )



ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

ถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 18 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ

ตารางที่ 20 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์กับกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

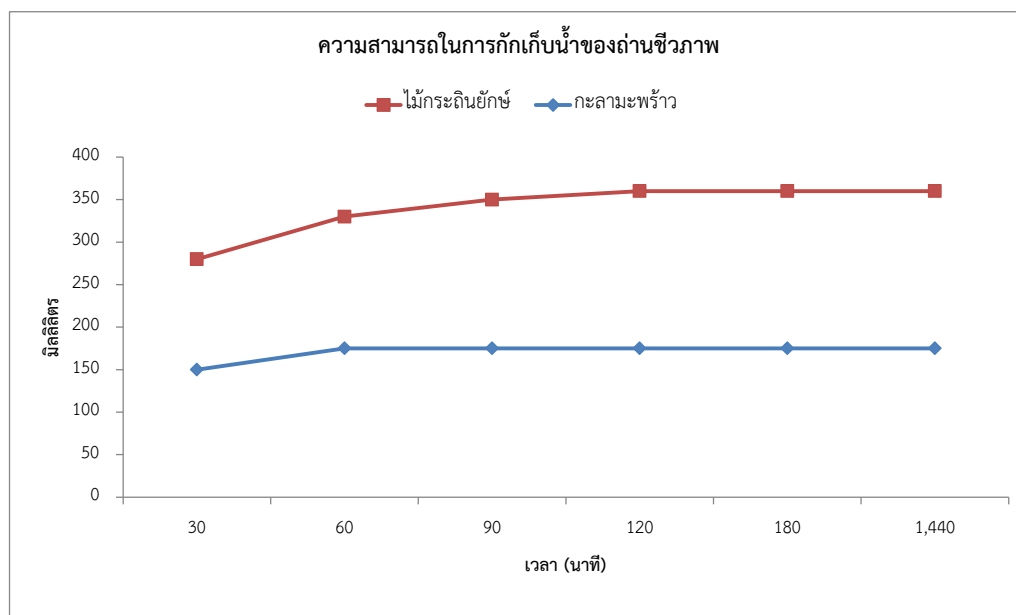
Variables	Temp	Time	Mean	StDev.	SE Mean	T-value	P-value
CEC (ไม้กระถินยักษ์) (cmol/kg)	300	2	101.2	29.10	16.80	5.49	0.001
	400	2	95.74	7.46	4.31		
	500	2	58.32	14.94	8.63		
CEC (กะลามะพร้าว) (cmol/kg)	300	2	38.70	14.82	8.56		
	400	2	19.98	6.34	3.66		
	500	2	33.60	24.40	14.10		

จากผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ พบว่า คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาณคาร์บอน ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวสำหรับการปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝน เขตเงาฝน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มากกว่า และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

นอกจากนี้ เมื่อศึกษาความสามารถในการกักเก็บน้ำของถ่านชีวภาพทั้งสองชนิด พบว่า ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้มากกว่าถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว ดังรูปที่ 19

#### 4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่นำมาใช้เป็นตัวแปรตอบสนองสำหรับการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม (อุณหภูมิและเวลาที่ใช้) ในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method; RSM) ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน และค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ส่งผลต่อการปรับปรุงดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายเขตเงาฝนเขตเงาฝน และดินกรด โดยการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM ดำเนินการโดยใช้แผนการทดลองแบบ  $3^2$  factorial experiment design สร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Equation) และวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงหัวข้อที่ 4.5



รูปที่ 19 ความสามารถในการกักเก็บน้ำของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินและกะลามะพร้าว

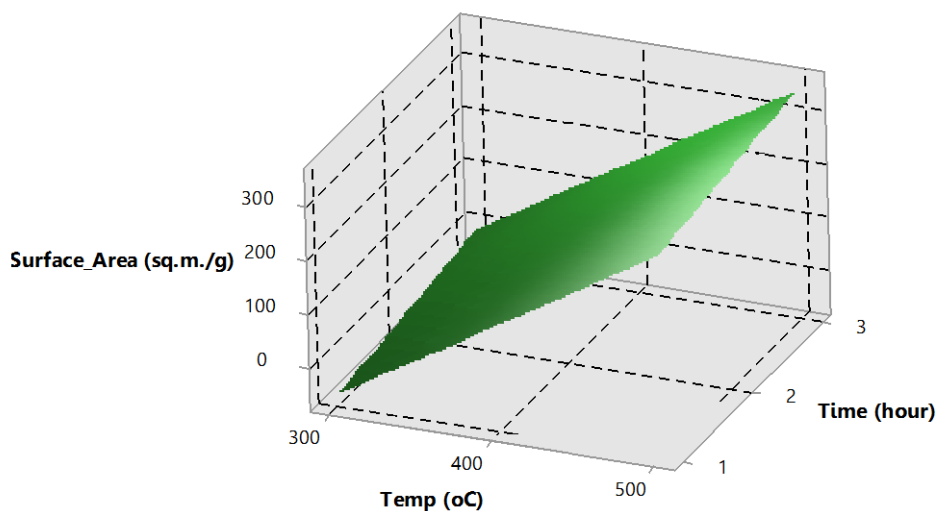
#### 4.5 การวิเคราะห์การถดถอย

##### 4.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิและเวลา

ผลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผามีความสัมพันธ์กันตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 (first order linear regression model) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 0.8268 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ขณะที่เวลาที่ใช้ในการเผาไม่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิ ( $X_1$ ) และเวลา ( $X_2$ ) ในการเผา แสดงดังสมการที่ 1 และ รูปที่ 20

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะ} = 1.775X_1 + 24.3X_2 - 614 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

**Surface Plot of Surface\_Area vs Time, Temp**



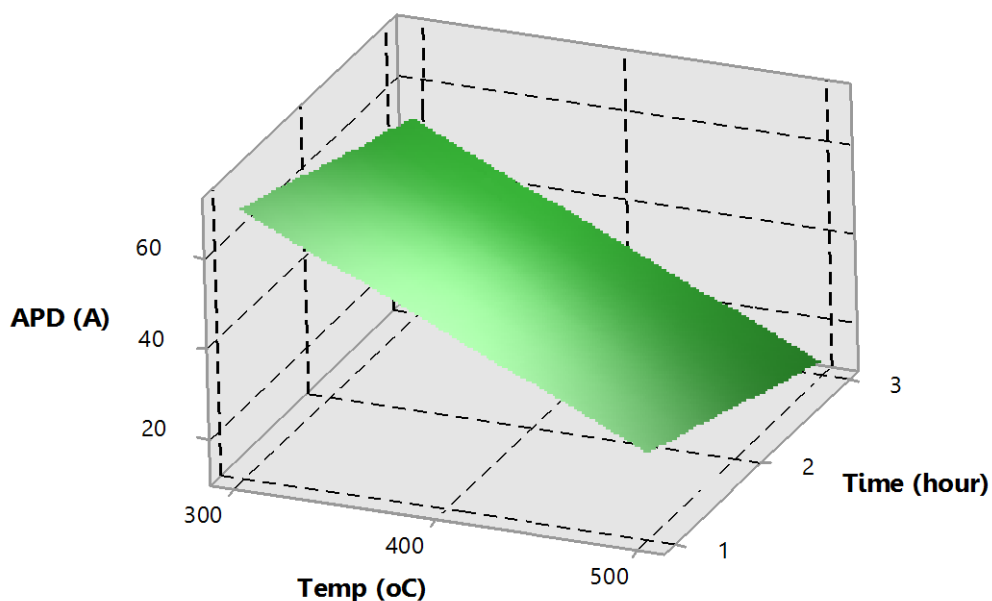
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1  
ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับอุณหภูมิ (°C) และเวลา (ชั่วโมง) ในการเผา

#### 4.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกับอุณหภูมิ และเวลา

ผลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผามีความสัมพันธ์กันตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 (first order linear regression model) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 0.7371 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ขณะที่เวลาที่ใช้ในการเผาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกับอุณหภูมิ ( $X_1$ ) และเวลา ( $X_2$ ) ในการเผา แสดงดังสมการที่ 2 และ รูปที่ 21

$$APD = -0.2017X_1 - 8.15X_2 + 138.5 \quad (\text{สมการที่ 2})$$

### Surface Plot of APD vs Time, Temp

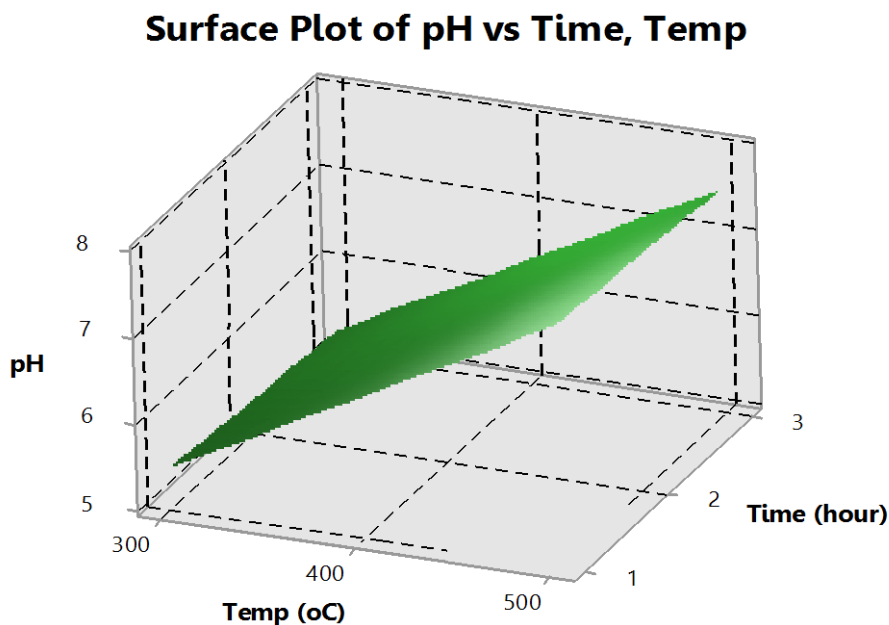


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 ระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (ชั่วโมง) ในการเผา

#### 4.5.3 การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิและเวลา

ผลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผามีความสัมพันธ์กันตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 (first order linear regression model) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 0.7794 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ขณะที่เวลาที่ใช้ในการเผาไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับอุณหภูมิ ( $X_1$ ) และเวลา ( $X_2$ ) ในการเผา แสดงดังสมการที่ 3 และรูปที่ 22

$$\text{pH} = 0.0115X_1 - 0.1X_2 + 2.100 \quad (\text{สมการที่ 3})$$



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ตามสมการการถดถอยเชิงเส้นลำดับที่ 1 ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (ชั่วโมง) ในการเผา

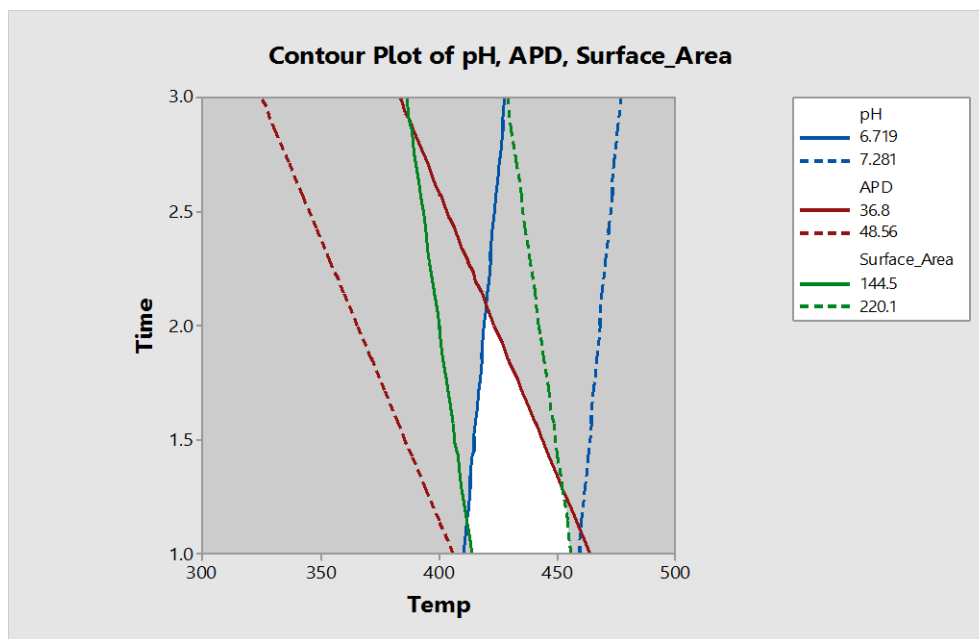
#### 4.5.4 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ในการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองดำเนินการโดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ response optimizer ในโปรแกรม Minitab 17 โดยกำหนดค่าเป้าหมายของตัวแปรตอบสนองดังนี้

- 1) กำหนดให้ค่าเป้าหมายพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านชีวภาพมีค่าสูงที่สุด เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของพืช
- 2) กำหนดให้ค่าเป้าหมายของค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพมีค่าเท่ากับ 7.0 เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่มีความเป็นกรด

โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยเตาเผาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ คือ ที่อุณหภูมิในการเผา  $434.8^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวจะได้ผลผลิตเป็นถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ  $182.3 \pm 37.8 \text{ m}^2/\text{kg}$  มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน  $42.68 \pm 5.88$  อังสตรอม ( $\text{\AA}$ ) และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง  $7.0 \pm 0.28$

ทั้งนี้ เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของถ่านชีวภาพทั้ง 3 กราฟ (รูปที่ 19 ถึง รูปที่ 21) มาซ้อนทับกัน พบว่า ช่วงของสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ คือ ที่อุณหภูมิในการเผาระหว่าง 413-450 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง (พื้นที่สีขาวดังรูปที่ 23)



รูปที่ 23 พื้นที่จากการซ้อนทับกันของกราฟทั้ง 3 ที่แสดงช่วงของสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน และค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เวลาที่ใช้ในการเผาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดกับการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝน เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้เตาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ สามารถควบคุมสภาวะและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตได้ เช่น เตาเผาเป็นระบบปิดมีพื้นที่ขนาดเล็ก ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอลมีค่าคงที่และต่อเนื่อง ปริมาณออกซิเจนภายนอกไม่สามารถเข้าได้ เป็นต้น

ดังนั้น ผลวิเคราะห์และค่าสถิติที่ได้จากห้องปฏิบัติการ จึงได้ทำการออกแบบเตาเผาเพื่อผลิตถ่านชีวภาพสำหรับการทดลองปลูกงาดำ โดยถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตรมาทดลองเผาถ่านชีวภาพ

#### 4.6 เตาเผาถ่านชีวภาพสำหรับใช้ในการทดลอง

สำหรับเตาเผาที่ประดิษฐ์จากถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ความสูง 90 เซนติเมตร โดยออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในพื้นที่การเกษตรได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากเตาเผาถ่านเพื่อผลิตน้ำส้มควันไม้ที่ประชาชนใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ จะต้องนำไม้พืนมาที่เตาเผาทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งเตาเผาถ่านชีวภาพจากถังโลหะ 200 ลิตรมีอุปกรณ์ตามข้อ 3.15 โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ราคาถูก และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ประชาชนทั่วไปสามารถนำไปใช้ได้จริง ตัวอย่างเตาเผาดังรูปที่ 24 โดยออกแบบให้สามารถใช้ได้กับถังขนาดบรรจุวัสดุที่อยู่ด้านในเตาเผาที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ลิตรไปจนถึง 70 ลิตร ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ของประชาชนมีขนาดไม่เท่ากัน แต่สามารถนำมาใช้กับเตาเผานี้ได้ แต่มีข้อจำกัดเรื่องการควบคุมออกซิเจนหรือลมที่พัดในพื้นที่ได้ยาก จึงได้ออกแบบให้ช่องควบคุมออกซิเจนอยู่ด้านล่างของเตาเผา หรือนำไปตั้งในพื้นที่ที่ปิดทั้ง 4 ด้านช่วยลดผลกระทบจากลมที่พัดขณะทำการเผาถ่านในพื้นที่



รูปที่ 24 เตาเผาถ่านชีวภาพจากถังโลหะขนาด 200 ลิตร

ผลการทดลองเตาเผาถ่านชีวภาพจากถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร สามารถให้ความร้อนได้สูงสุดประมาณ  $470^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 60 – 165 นาที ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการเผาคือที่อุณหภูมิ  $450^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการเผาและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพที่ได้ตามตารางที่ 21 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ Standardized Product



Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil (IBI Biochar Standards) Version 2.1

ตารางที่ 21 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขี้เถ้าไม้กระถินยักษ์ที่ผลิตจากเตาเผาถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร

Surface	Apd	pH	EC	ECE	C	H	N	O	S	Ca	Mg	Na	P	K
m <sup>2</sup> /g	Å			cmol/Kg	%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
35.02	30.45	8.00	0.22	59.24	79.02	2.29	0.00	18.69	0.01	10294	159	37	118	168

#### 4.7 การเจริญเติบโตและผลผลิตงาดำที่ปลูกด้วยดินทรายเขตเงาฝนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ที่ผลิตด้วยสภาวะดังที่กล่าวไว้ข้างต้นถูกนำมาผสมกับดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินและนำมาทดลองปลูกงาดำโดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 10 ชุด ที่มีการผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพลงในดินตามอัตราส่วนที่ต่างกัันดังตารางที่ 22 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการปลูกงาดำทั้งสิ้น 3 ฤดูกาลเพาะปลูก (ฤดูกาลเพาะปลูก) ได้แก่

- ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม 2558
- ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ระหว่างเดือนกันยายน ถึง ธันวาคม 2558
- ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ระหว่างเดือนธันวาคม 2558 ถึง มีนาคม 2559

โดยใช้ดินที่เตรียมตั้งแต่การปลูกในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ตลอดการปลูกทั้ง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกงาดำ

ตารางที่ 22 อัตราส่วนของปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพที่นำมาผสมกับดินของแต่ละชุดการทดลอง

ชุดที่	ชุดการทดลอง	ปริมาณปุ๋ยเคมี N P K (g)	ปริมาณถ่านชีวภาพ (%)
1	BC1	-	5
2	BC2	-	10
3	BC3	-	15
4	BC4	-	20
5	C (Control)	-	-
6	CF	50	-
7	CFBC1	50	5
8	CFBC2	50	10
9	CFBC3	50	15
10	CFBC4	50	20

ระหว่างการปลูกงาได้ดำเนินการวัดการเจริญเติบโตของต้นงาทำได้โดยการวัดความสูงจากระดับผิวดินถึงปลายยอดทุกๆ 10 วัน จนถึงตั้งแต่วันที่ 10 ถึง วันที่ 80 บันทึกข้อมูลการติดดอกและติดฝักของงาตั้งแต่ช่วงวันที่ 30 และบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตงา โดยข้อมูลผลผลิตงาที่ทำการบันทึก ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนักต่อฝัก น้ำหนักต่อต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

จากนั้นจึงนำข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตงาของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละฤดูกาลเพาะปลูกมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้สถิติ one way ANOVA วิธี Tukey Pairwise ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตงาต่อไป

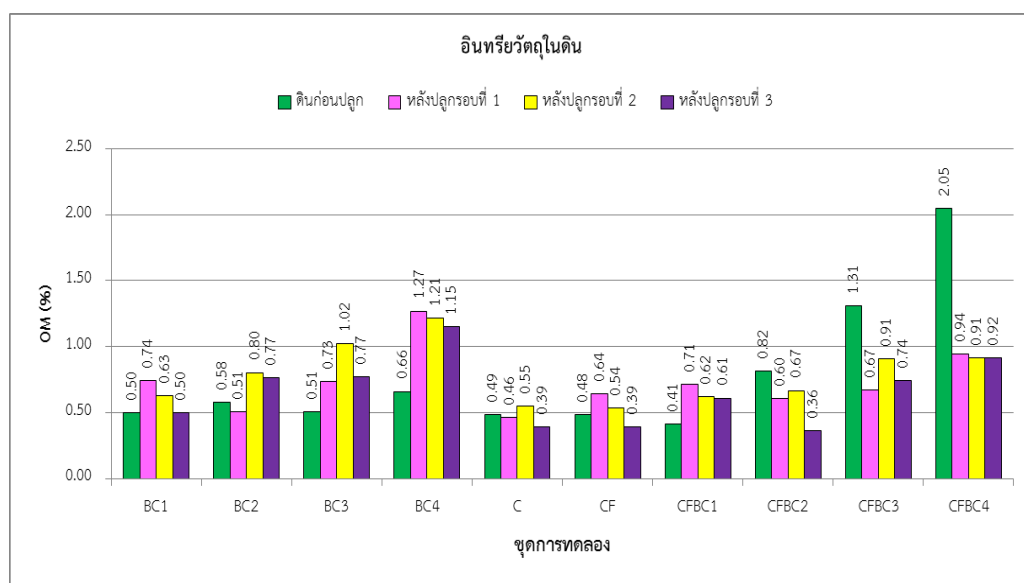
#### 4.7.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลอง

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณแมกนีเซียม ปริมาณโซเดียม และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โดยดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 และหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ซึ่งคุณสมบัติของดินในแต่ละชุดการทดลองเป็นข้อมูลสำคัญ ที่ใช้ในการอธิบายผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝนบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อการเพิ่มผลผลิตงาได้ โดยผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินมีรายละเอียด ดังนี้

##### 1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุในดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของดิน และเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้บ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก่อนใช้ปลูกงาในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ดินของชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนร้อยละ 10 ถึง 20 (CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่ผสมปุ๋ยเคมีหรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การผสมปุ๋ยเคมีหรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวลงในดินทรายเขตเงาฝนที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำไม่สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ จำเป็นต้องผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพลงในดินทรายเขตเงาฝน จึงจะสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุได้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีไว้ได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนต่างๆ (CFBC1, CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีค่าลดลงเมื่อใช้ปลูกซ้ำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และ 3 (รูปที่ 25) เนื่องจากพืชนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของชุดการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ ตามความสัมพันธ์เพื่อให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

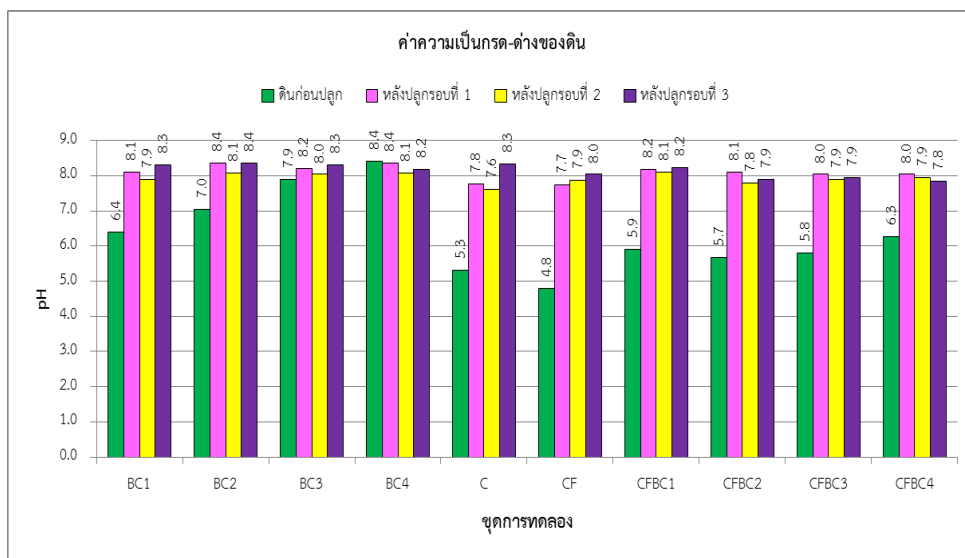


รูปที่ 25 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนใช้ปลูกงาดำ ในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1- หลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

## 2) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นดัชนีที่สำคัญในการบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ความสามารถในการละลาย/ตกตะกอน การเคลื่อนย้ายของสารประกอบและไอออนต่างๆ และความเป็นประโยชน์และการเป็นพิษต่างๆ ของพืช โดยผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ดังรูปที่ 26 พบว่า ดินในชุดควบคุมมีคุณสมบัติเป็นกรด ( $\text{pH} = 5.3$ ) แต่เมื่อมีการผสมถ่านชีวภาพในสัดส่วนต่างๆ (ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC3, และ BC4) พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าเพิ่มขึ้น โดยดินของชุดการทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพร้อยละ 15 และ 20 (BC3 และ BC4) มีค่าเป็นด่าง แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน

ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดได้ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (รูปที่ 31) และแมกนีเซียม (รูปที่ 32) ที่มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ



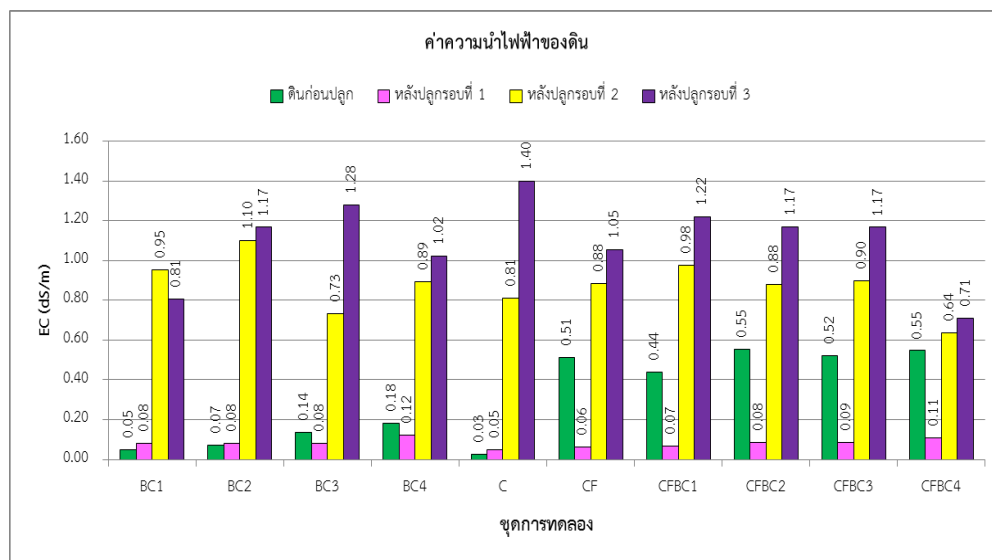
รูปที่ 26 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

ทั้งนี้ เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น (ตามตารางที่ 24) ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการใช้น้ำใต้ดินที่มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมค่อนข้างสูง มาใช้ในการรดน้ำ เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่แห้งแล้งมีปริมาณน้ำผิวดินไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก

### 3) ค่าความนำไฟฟ้าของดิน

ค่าความนำไฟฟ้าของดินเป็นดัชนีที่ใช้แสดงถึงระดับความเค็มของดินซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยผลการวิเคราะห์ค่าความนำไฟฟ้าของดินก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าของดินแต่ละชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 0.03 – 0.55 dS/m ซึ่งมีความเค็มจัดอยู่ในระดับไม่เค็มและไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี (ชุดการทดลอง CF, CFBC1, CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 27) พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าของดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงก่อนและหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่

3 ซึ่งมีค่าความนำไฟฟ้าของดินอยู่ระหว่าง 0.64 - 1.40 dS/m ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการใช้น้ำใต้ดินที่มีความเค็มมาใช้ในการรดน้ำระหว่างเพาะปลูก

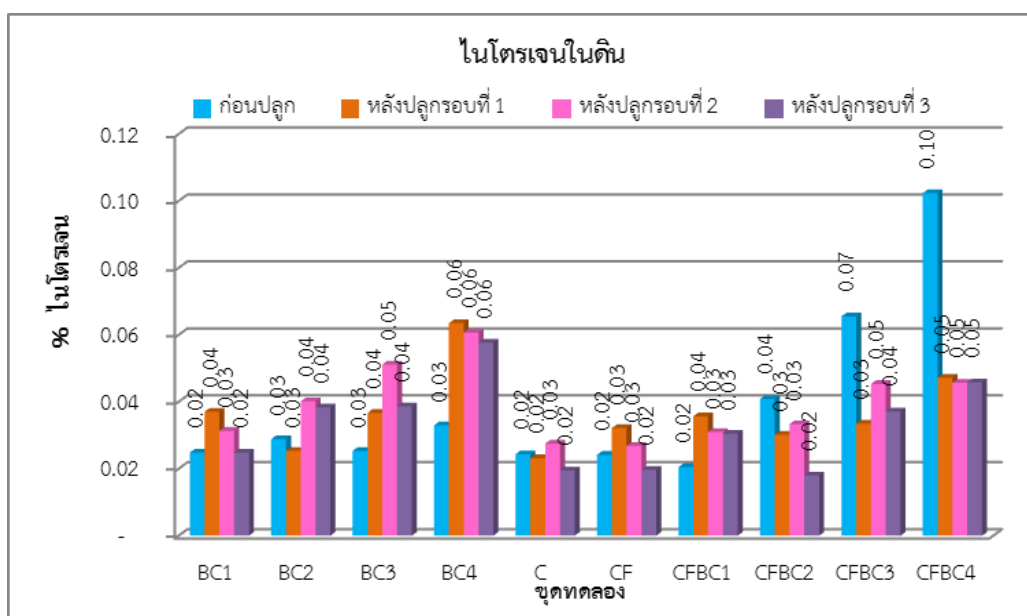


รูปที่ 27 ค่าความนำไฟฟ้าของดินแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูการเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูการเพาะปลูกที่ 3

#### 4) ปริมาณไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจน( $N_2$ )ในดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของงาดำ ซึ่งปกติไนโตรเจนที่พืชสามารถดูดตั้งไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ( $NH_4^+$ ) อยู่ในดินสามารถดูดซึมโดยพืช แอมโมเนียมไอออนส่วนใหญ่พร้อมที่จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต ( $NO_3^-$ ) ไม่ได้อยู่ในดิน แต่สามารถถูกดูดซึมได้ด้วยพืช หรือ ย้ายจากดินไปในส่วนของราก ไนโตรเจนเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้บ่งชี้การเจริญเติบโตของต้นและใบ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนใช้ปลูกงาดำ ในฤดูการเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ดินของชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนร้อยละ 10 ถึง 20 (CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่ผสมปุ๋ยเคมีหรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การผสมปุ๋ยเคมีหรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวลงในดินทรายเขตเงาฝนที่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินได้ จำเป็นต้องผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพลงในดินทรายเขตเงาฝน จึงจะสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจนได้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีช่องว่างในรูพรุนและมีประจุลบที่สามารถดูดซับและกักเก็บไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีไว้ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ พบว่า

ปริมาณไนโตรเจนในดินของชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนต่างๆ (CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อใช้ปลูกซ้ำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และ 3 (รูปที่ 28) ยังพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในดินหลงเหลืออยู่ เนื่องจากปุ๋ยเคมีที่นำมาใช้อยู่ในรูปของแอมโมเนียไอออนและไนเตรท พืชสามารถดูดดึงไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแจากบรยายได้ และถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บไว้ในรูปฟรอนได้ นำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของชุดการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ เพื่อให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

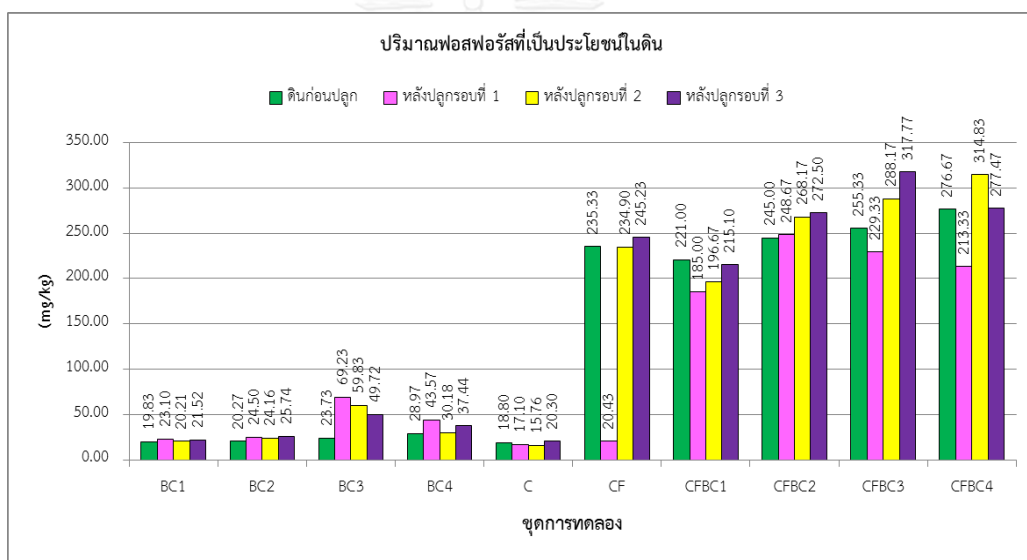


รูปที่ 28 ปริมาณไนโตรเจนของแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

### 5) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากธาตุหนึ่ง โดยฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมการเติบโต ความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและราก ตลอดจนการออกดอกออกผล ถ้าพืชได้รับปริมาณฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ ออกดอกช้ากว่าปกติ ดอกมีขนาดเล็ก และมีร้อยละของดอกที่ติดผลต่ำกว่าปกติ โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P) ก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี (ชุดการทดลอง CF, CFBC1, CFBC2, CFBC3 และ CFBC4) มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น

อย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 29) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 และหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 (หรือก่อนปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2) จะเห็นว่า ดินของชุดการทดลองที่มีการเติมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว (BC1, BC2, BC3 และ BC4) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน หลังปลูกสูงกว่าก่อนปลูก ซึ่งโดยธรรมชาติในดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินมักเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการดูดตรึงฟอสเฟต (P Fixation) ไปอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ยากขึ้น ทำให้พืชแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสอยู่เสมอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ Available P ในดินชุดควบคุมที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ หลังปลูกลดลง แสดงให้เห็นว่า การเติมถ่านชีวภาพลงในดินทำให้เกิดการชะลอกระบวนการดูดตรึงฟอสเฟต อีกประการหนึ่งพืชดูดตั้งไนโตรเจนไปใช้ก่อนแล้วทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น

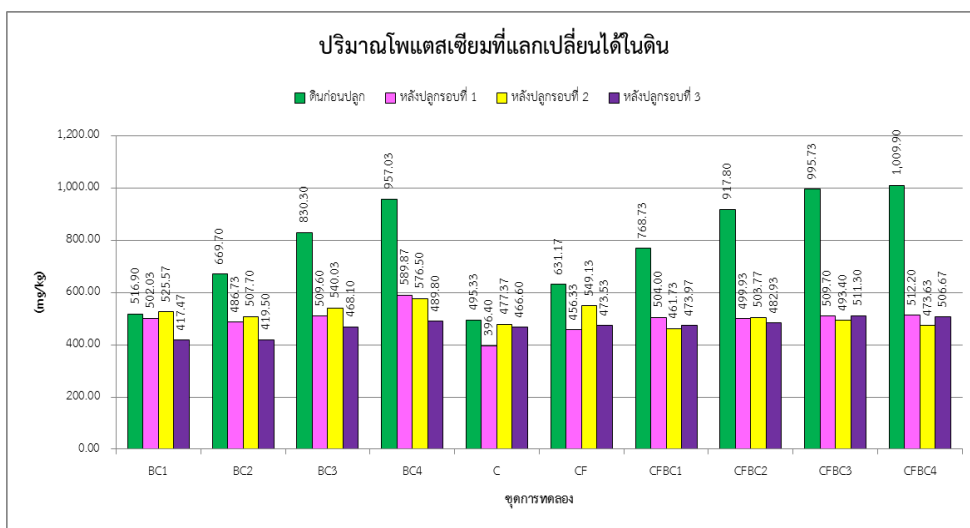


รูปที่ 29 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละชุดการทดลองก่อนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

#### 6) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

โพแทสเซียมเป็นอีกหนึ่งธาตุอาหารหลักของพืช โดยโพแทสเซียมจำเป็นต่อกระบวนการสร้างสมต่างๆ ในเซลล์ที่มีชีวิต เช่น กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ ความต้านทานโรค คุณภาพและปริมาณของผลผลิตพืช การขาดโพแทสเซียมในพืชจำพวกธัญพืชจะส่งผลให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ชุดการ

ทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพในสัดส่วนที่สูง (ชุดการทดลอง BC3, BC4, CFBC3 และ CFBC4) จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่สูงขึ้นตามสัดส่วนของถ่านชีวภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพสามารถดูดซับโพแทสเซียมไว้ และมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียโพแทสเซียมในดินได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 30) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการปลูกในแต่ละชุดการทดลองมีค่าลดลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากพืชดูดโพแทสเซียมไปใช้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วหากมีโพแทสเซียมในดินมากพืชจะดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณซึ่งมากกว่าที่พืชต้องการใช้จริงๆ



รูปที่ 30 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

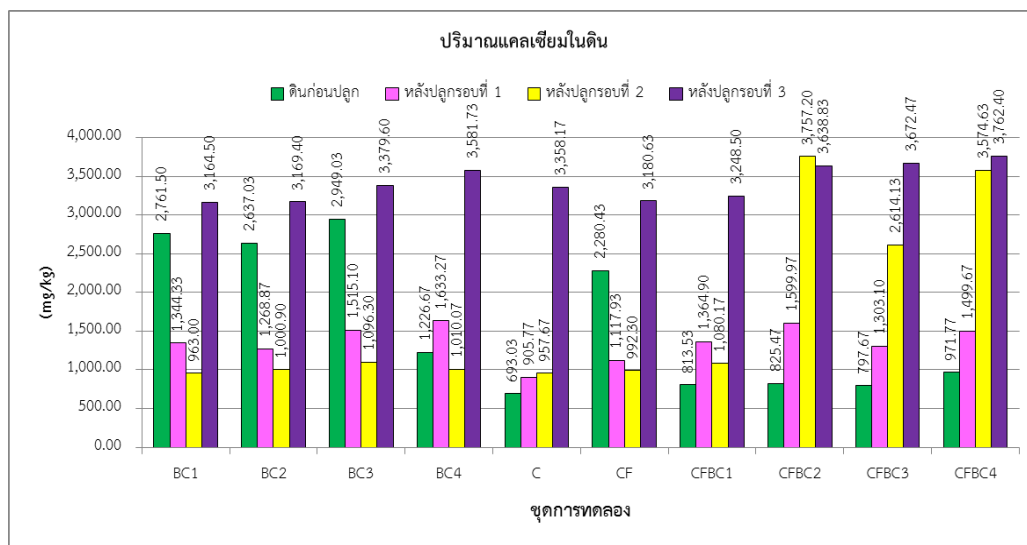
## 7) ปริมาณแคลเซียมในดิน

แคลเซียมจัดเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อพืช โดยความสำคัญของแคลเซียมมีต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ มีบทบาทต่อการสร้างโปรตีน ลดการดูดดึงโพแทสเซียม ส่งเสริมการดูดดึงไนโตรเจน เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในดิน ก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแคลเซียมในดินของชุดการทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในสัดส่วนร้อยละ 5 ถึง 15 มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ (CFBC1 CFBC2 CFBC3 และ CFBC4) มีปริมาณแคลเซียมในดินที่น้อยกว่าและไม่แตกต่างจากชุดควบคุมมากนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่างาดำมีการดูดดึงแคลเซียมไปใช้ในการสร้างเมล็ดมากขึ้น เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับไนโตรเจนช่วยให้งาดำสร้างผนังเซลล์มีการติดฝักและให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักเมล็ดมากกว่าชุดทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว เพราะดินที่ผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว มีพื้นที่และรูพรุนและประจุลบที่สามารถ



ดูดจับแคลเซียมที่มีประจุบวกไว้ได้มาก ทำให้มีแคลเซียมเหลืออยู่ในดินปลูกมากกว่าชุดทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพ

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 31) พบว่า ปริมาณแคลเซียมในดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการใช้น้ำใต้ดินที่มีความกระด้างและมีปริมาณแคลเซียมสูงมาใช้ในการรดน้ำระหว่างเพาะปลูก



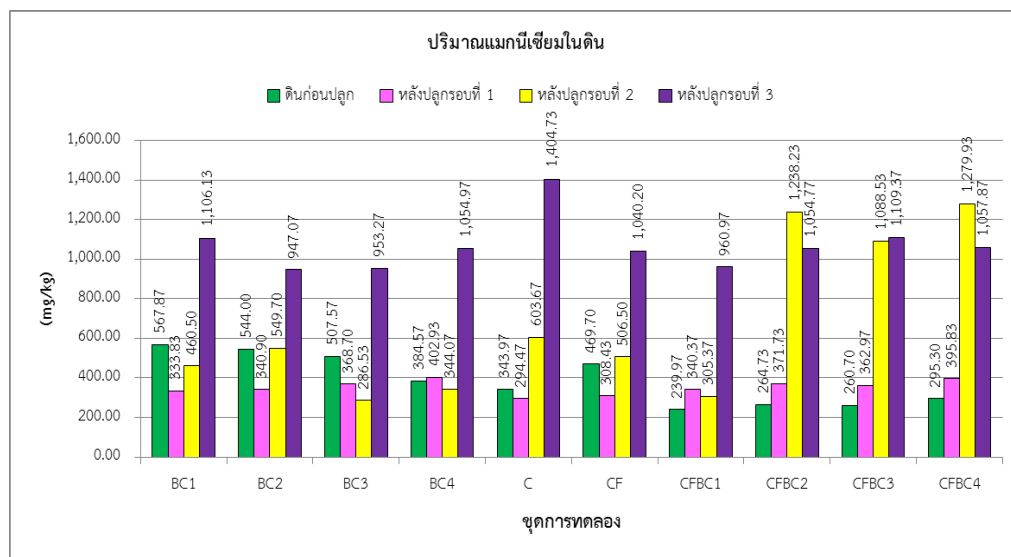
รูปที่ 31 ปริมาณแคลเซียมในดินแต่ละชุดการทดลอง ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

## 8) ปริมาณแมกนีเซียมในดิน

แมกนีเซียมจัดเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อพืช โดยความสำคัญของแมกนีเซียมมีต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่เป็น phosphate carrier และมีส่วนในการสร้างน้ำมันทำให้ปริมาณน้ำมันในพืชเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในดิน ก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในดินของชุดการทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในสัดส่วนร้อยละ 5 ถึง 15 มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ (CFBC1 CFBC2 CFBC3 และ CFBC4) มีปริมาณแมกนีเซียมในดินที่น้อยกว่าชุดควบคุม

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 32) พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณแมกนีเซียมยังคงสะสมอยู่ในดินมาก แสดงว่าพืชนำแมกนีเซียมไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อย

ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นฤดูแล้ง ในพื้นที่มีน้ำผิวดินไม่เพียงพอกับกิจกรรมด้านต่างๆ จึงมีความจำเป็นต้องใช้น้ำบาดาล ที่มีปริมาณแมกนีเซียมอยู่ด้วย ได้ผลวิเคราะห์น้ำบาดาลตามตารางที่ 33

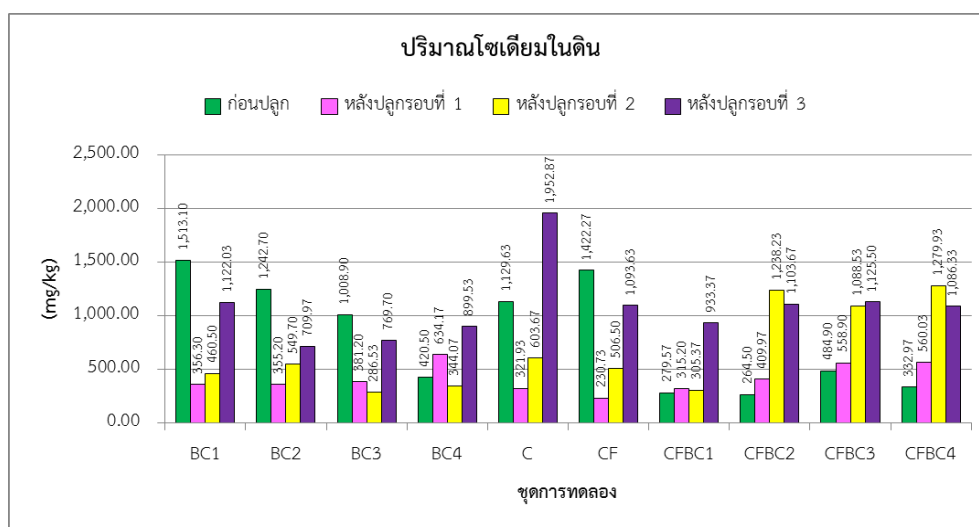


รูปที่ 32 ปริมาณแมกนีเซียมในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

### 9) ปริมาณโซเดียมในดิน

ปริมาณโซเดียมในดินเป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ความเค็มของดินซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในดินก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณโซเดียมในดินของชุดการทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวในสัดส่วนร้อยละ 5 ถึง 15 ชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่ผสมแต่ปุ๋ยเคมี มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ โดยหากดินมีปริมาณโซเดียมที่มากเกินไปจะเกิดภาวะโซเดียมเป็นพิษ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 33) พบว่า ปริมาณโซเดียมในดินมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงหลังปลูกฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากการใช้น้ำใต้ดินที่มีความเค็มและมีปริมาณแคลเซียมสูงมาใช้ในการรดน้ำระหว่างเพาะปลูก

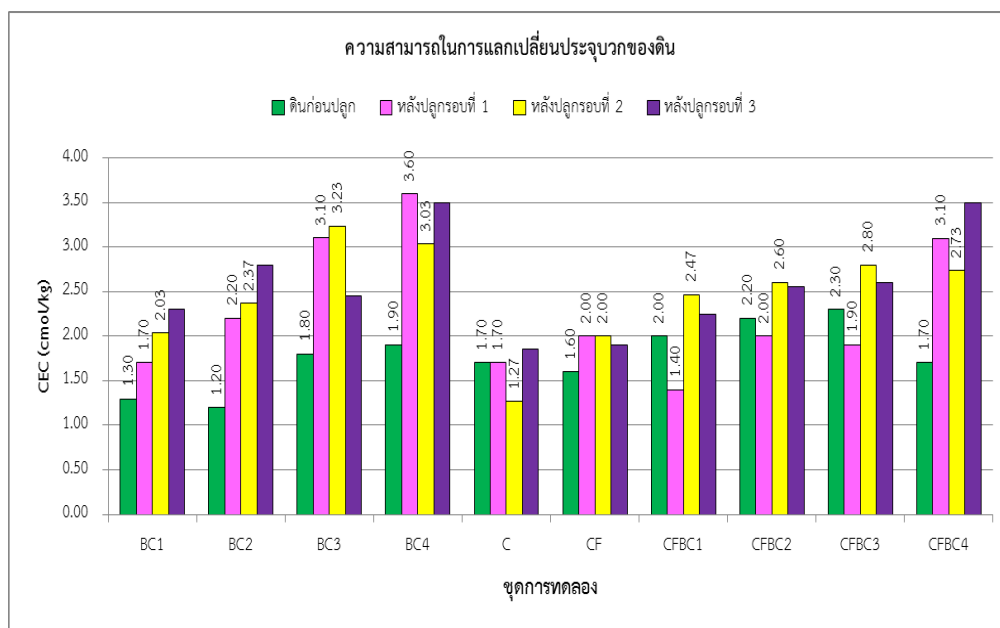


รูปที่ 33 ปริมาณโซเดียมในดินแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

#### 10) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อปริมาณธาตุอาหารของพืชซึ่งส่วนใหญ่เป็นธาตุที่มีประจุบวก โดยดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงจะส่งผลให้ธาตุอาหารไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปจากดินได้ง่าย โดยธาตุอาหารเหล่านี้จะดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว โดยรากพืชสามารถดูดดึงธาตุอาหารประจุบวกเหล่านี้ได้โดยตรงจากอนุภาคดินเหนียว ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงแสดงว่าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ โดยผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนใช้ปลูกงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนร้อยละ 5 ถึง 15 (ชุดการทดลอง CFBC1, CFBC2 และ CFBC3) มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น และสูงกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้ เนื่องจากถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกค่อนข้างสูง เมื่อนำมาผสมร่วมกับปุ๋ยเคมีและดินจึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกให้มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดินแต่ละชุดการทดลองมาใช้ปลูกงาดำ (รูปที่ 34) พบว่า ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในชุดการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพในสัดส่วนต่างๆ เพียงอย่างเดียว (ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC3 และ BC4) มีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากนำมาใช้ในการปลูกทั้งในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึง ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์



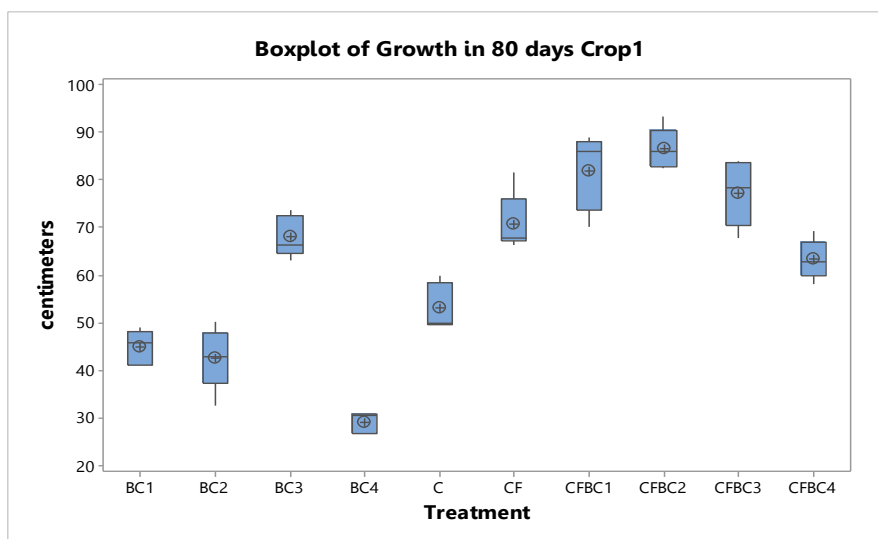
รูปที่ 34 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแต่ละชุดการทดลอง  
ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงหลังฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพจะมีอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตของงาดำ

#### 4.7.2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำ

##### 1) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วัน สูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC2 (ความสูงเฉลี่ย 86.49 ซม.), CFBC1 (ความสูงเฉลี่ย 81.97 ซม.) และ CFBC3 (ความสูงเฉลี่ย 77.30 ซม.) ตามลำดับ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ สำหรับความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 35

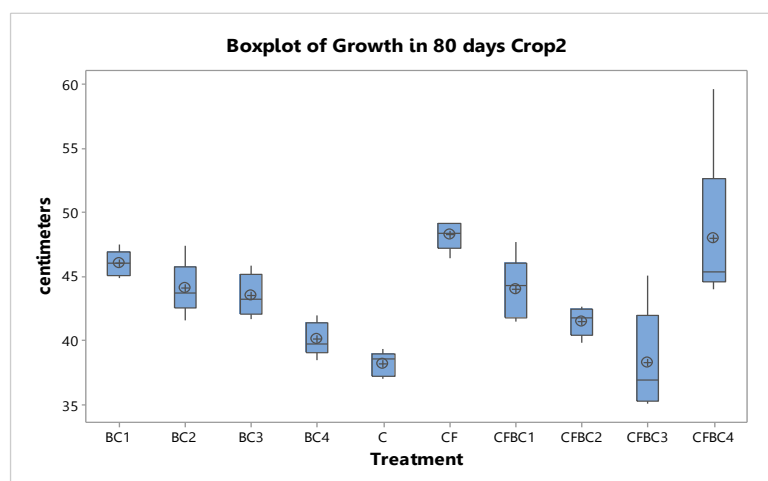


รูปที่ 35 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำที่ระยะเวลา 80 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1, BC2 และ CFBC4

## 2) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วัน สูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CF (ความสูงเฉลี่ย 48.20 ซม.), CFBC4 (ความสูงเฉลี่ย 47.95 ซม.) และ BC1 (ความสูงเฉลี่ย 45.97 ซม.) ตามลำดับ ซึ่งเป็นความสูงน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 สำหรับความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 36

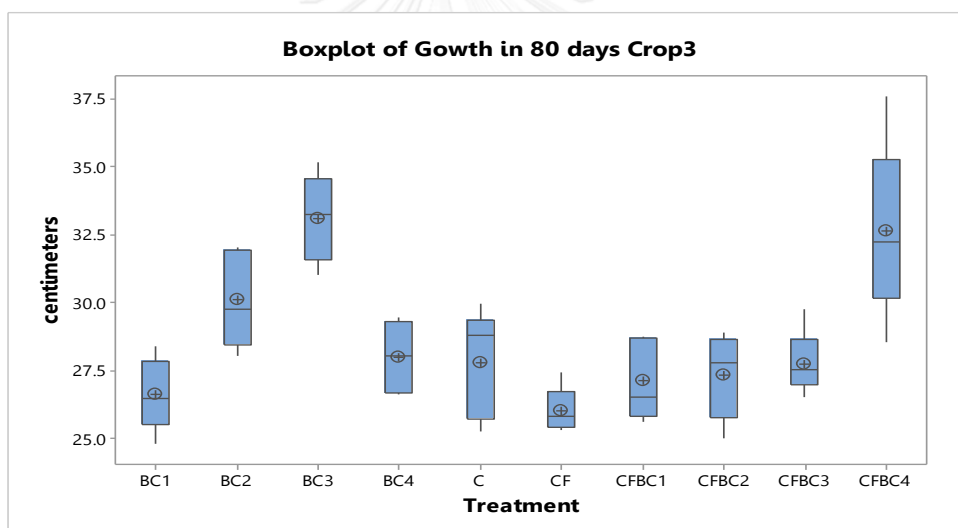


รูปที่ 36 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำที่ระยะเวลา 80 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC2, BC3, BC4, CFBC1, CFBC2 และ CFBC3 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วัน สูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง BC3 (ความสูงเฉลี่ย 33.07 ซม.), CFBC4 (ความสูงเฉลี่ย 32.60 ซม.) และ BC2 (ความสูงเฉลี่ย 30.09 ซม.) ตามลำดับ ซึ่งเป็นมีความสูงน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 และฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 สำหรับความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 37

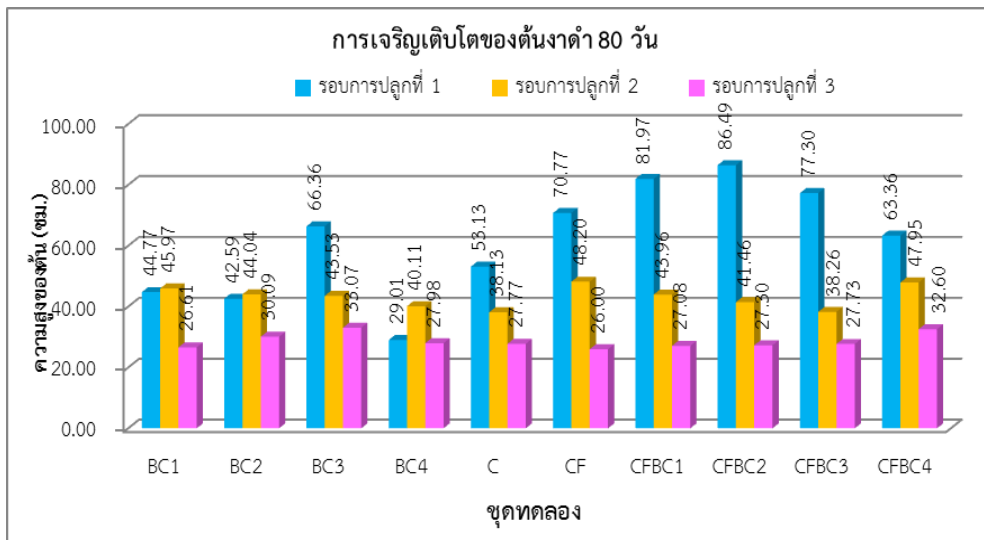


รูปที่ 37 ความสูงเฉลี่ยของต้นที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำที่ระยะเวลา 80 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง CF, BC2, BC4, CFBC1, CFBC2 และ CFBC3 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำที่ระยะเวลา 80 วันของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ต้นงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นงาดำที่ระยะเวลา

80 วันสูงที่สุด รองลงมาเป็น ฤดูแล้งเพาะปลูกที่ 2 และฤดูแล้งเพาะปลูกที่ 3 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 38

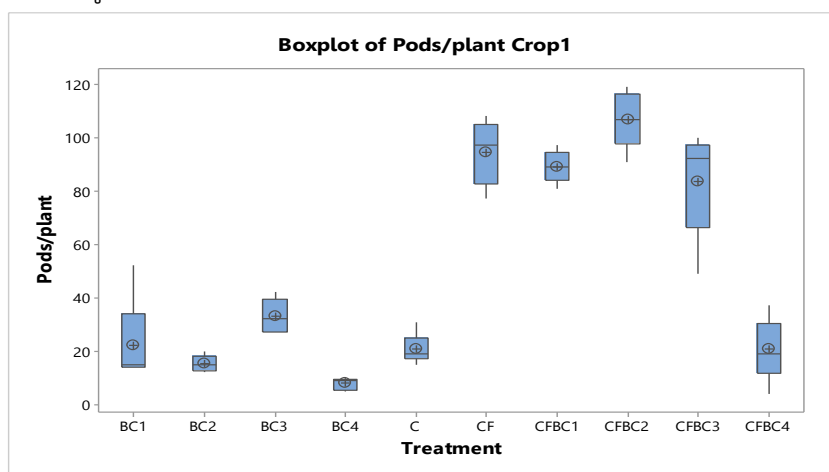


รูปที่ 38 การเจริญเติบโตของต้นงาดำในระยะเวลา 80 วันของแต่ละฤดูแล้งเพาะปลูก

#### 4.7.3 จำนวนฝักต่อต้นของผลผลิตงาดำ

##### 1) ฤดูแล้งเพาะปลูกที่ 1

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC2 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 107 ฝัก), CF (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 94 ฝัก) และ CFBC1 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 89 ฝัก) ตามลำดับ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ และปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 39.

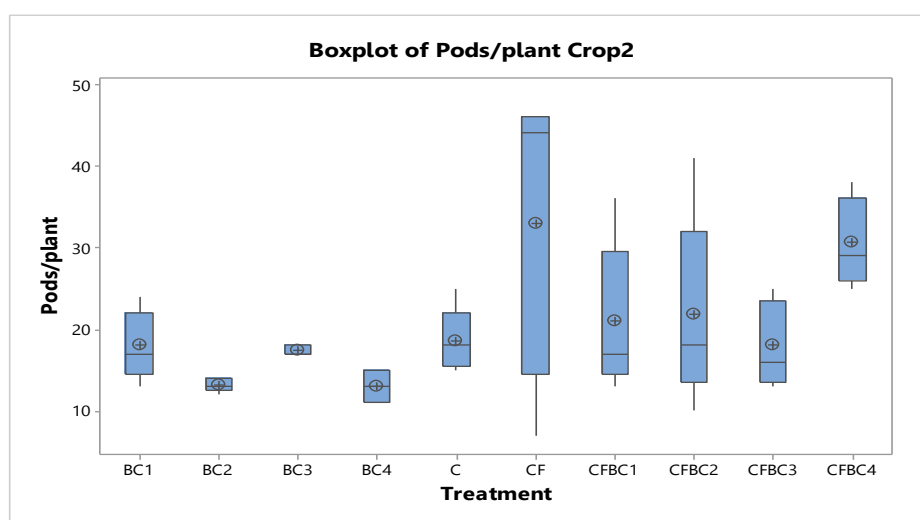


รูปที่ 39 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูแล้งเพาะปลูกที่ 1

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น พบว่า ชุดการทดลองที่มีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC3, BC4 และ CFBC4

## 2) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CF (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 33 ฝัก), CFBC4 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 31 ฝัก) และ CFBC2 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 22 ฝัก) ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 สำหรับจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 40



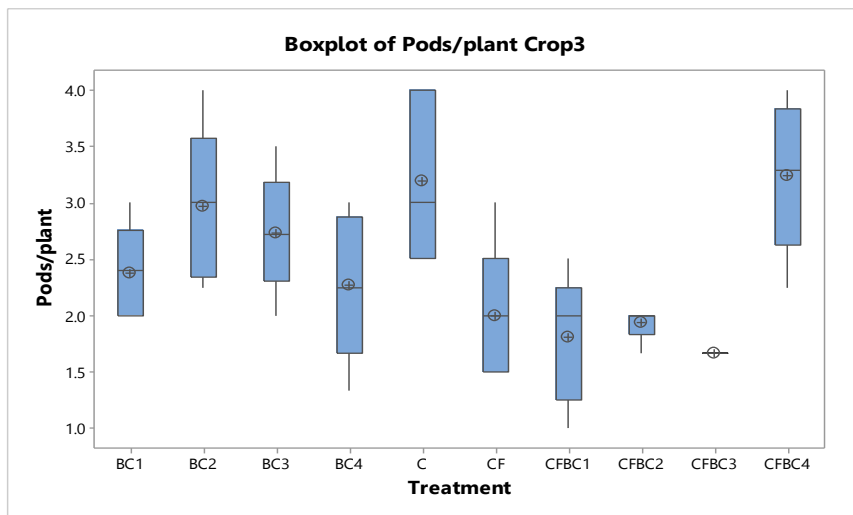
รูปที่ 40 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น พบว่า ทุกชุดการทดลองมีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 3) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

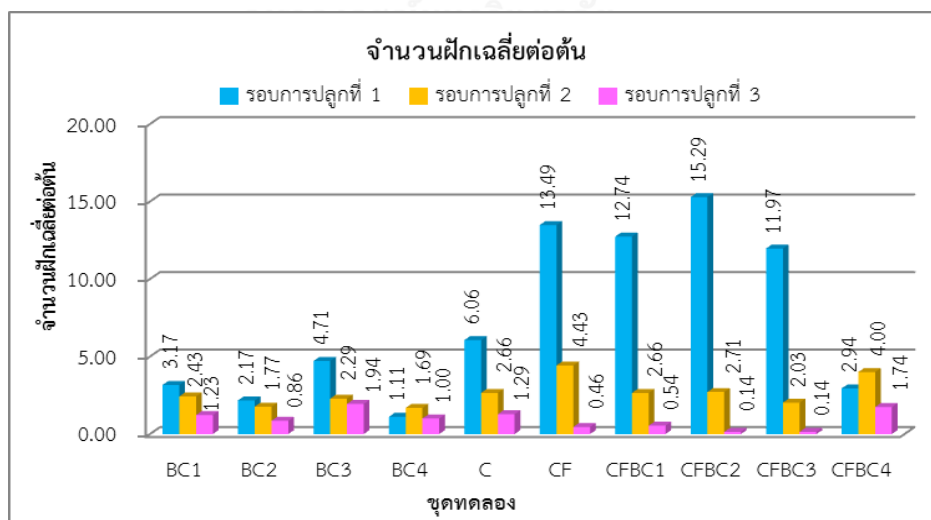
ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC4 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 3 ฝัก), C (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 3 ฝัก) และ BC2 (จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น 3 ฝัก) ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 เป็นอย่างมาก สำหรับจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 41





รูปที่ 41 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น พบว่า ชุดการทดลองมีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ BC1, BC2, BC3, BC4, และ CFBC4 นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ต้นงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด รองลงมาเป็น ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และ ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 42

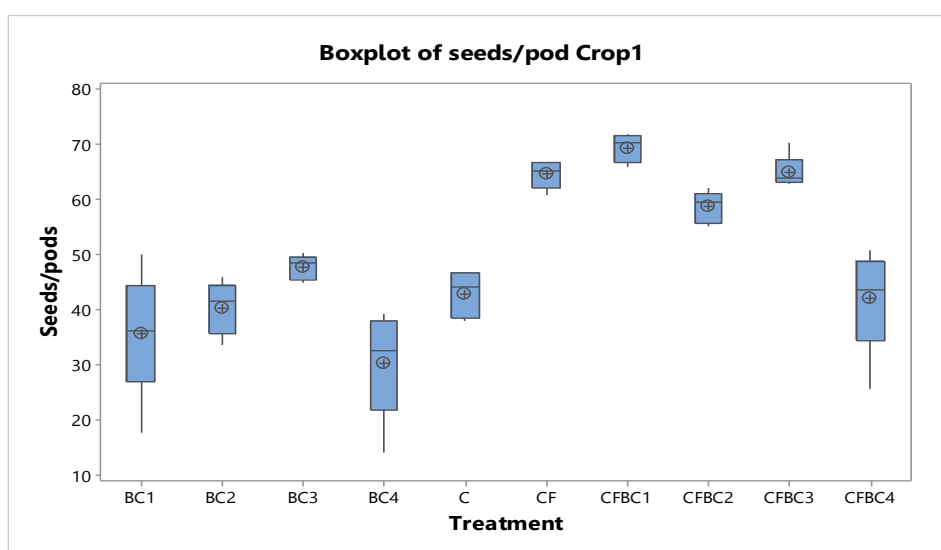


รูปที่ 42 จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก

#### 4.7.4 จำนวนเมล็ดต่อฝักของผลผลิตงาดำ

##### 1) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC1 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 69 เมล็ด), CFBC3 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 65 เมล็ด) และ CF (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 65 เมล็ด) ตามลำดับ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ และปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 43

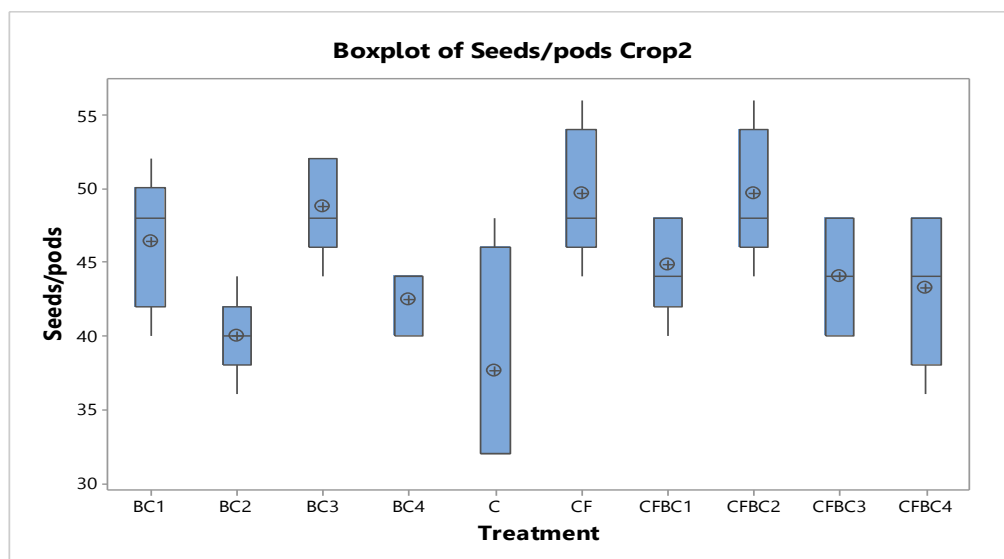


รูปที่ 43 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

จากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก พบว่า ชุดการทดลองที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC3, BC4 และ CFBC4

##### ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC2 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 50 เมล็ด), CF (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 50 เมล็ด) และ BC3 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 49 เมล็ด) ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 สำหรับเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 44

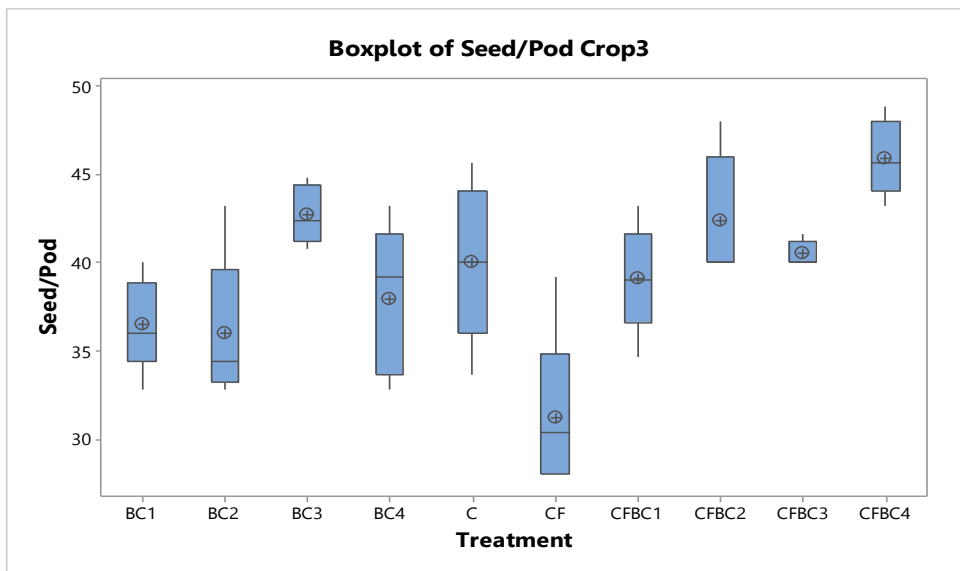


รูปที่ 44 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก พบว่า ชุดการทดลองที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC4, CFBC1, CFBC3 และ CFBC4 นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

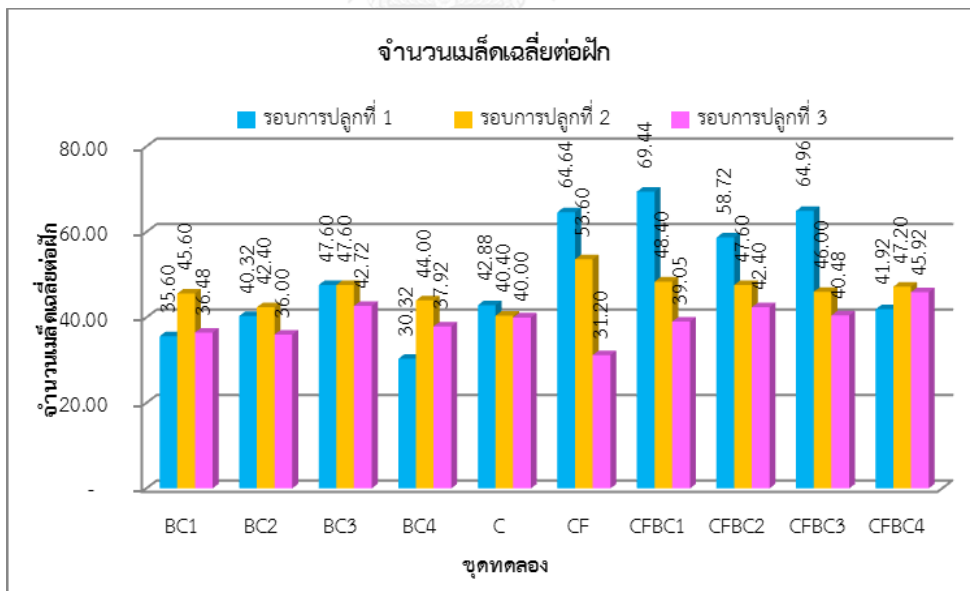
### ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CFBC4 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 46 เมล็ด), BC3 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 43 เมล็ด) และ CFBC2 (จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก 42 เมล็ด) ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 และฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 สำหรับเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 45 โดยจากการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝัก พบว่า ชุดการทดลองที่มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1, BC2, BC4, CFBC1, CFBC2, CFBC3 และ CFBC4 (ทุกชุดการทดลองยกเว้น CF) นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 45 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ต้นงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักสูงที่สุด รองลงมาเป็น ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 46

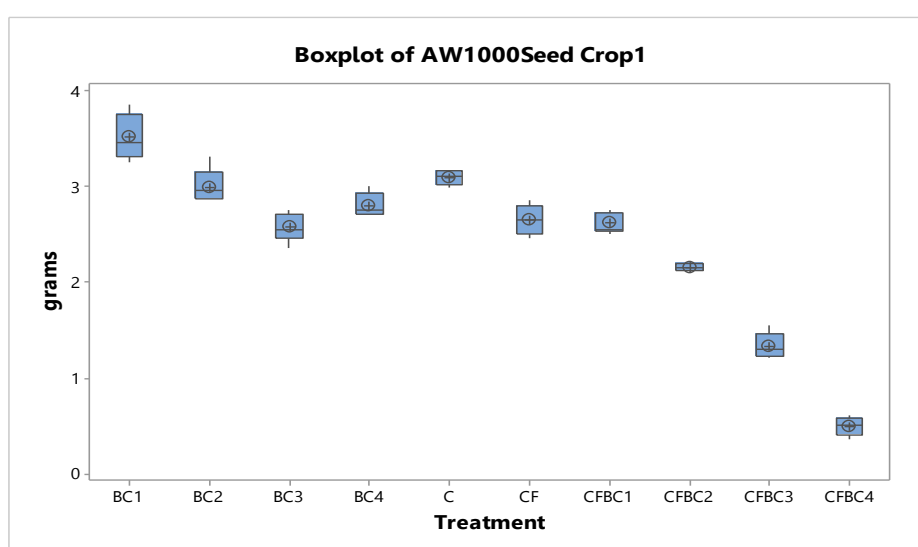


รูปที่ 46 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อฝักของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 ถึงฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

#### 4.7.5 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด

##### 1) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 3.51 กรัม), C (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 3.09 กรัม) และ BC2 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 2.99 กรัม) ตามลำดับ ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการผสมเฉพาะถ่านชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ และชุดการทดลองควบคุม สำหรับน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 47

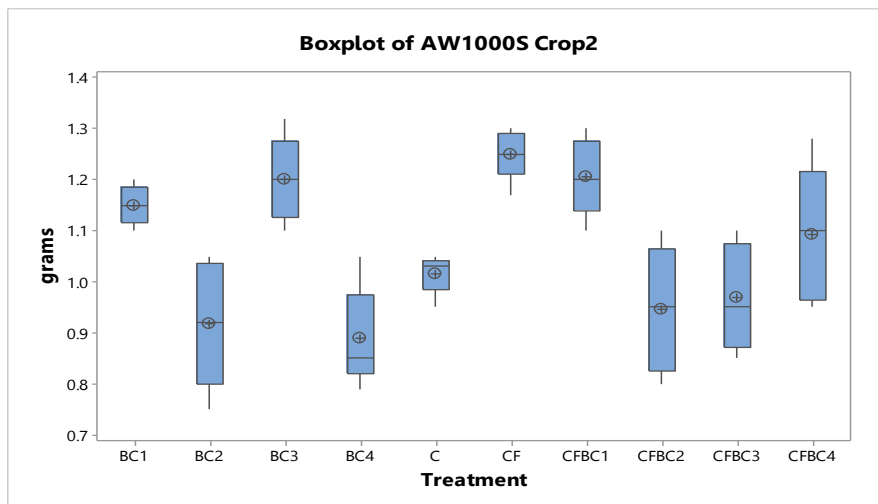


รูปที่ 47 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด พบว่า ชุดการทดลองที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC2 และ BC4

##### 2) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง CF (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 1.25 กรัม), CFBC1 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 1.21 กรัม) และ BC3 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 1.20 กรัม) ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 สำหรับน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 48

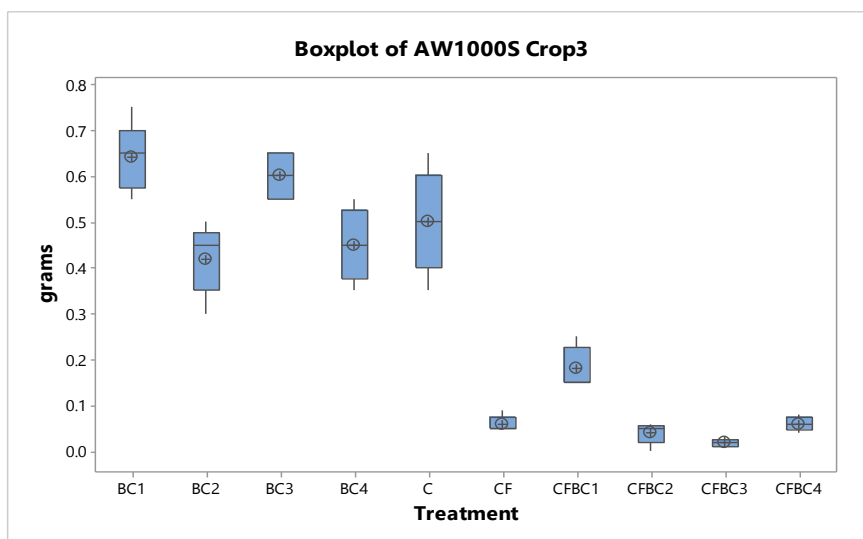


รูปที่ 48 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด พบว่า ชุดการทดลองที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ BC1, BC2, BC4, CFBC1, CFBC2, CFBC3 และ CFBC4 (ทุกชุดการทดลองยกเว้น CF) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

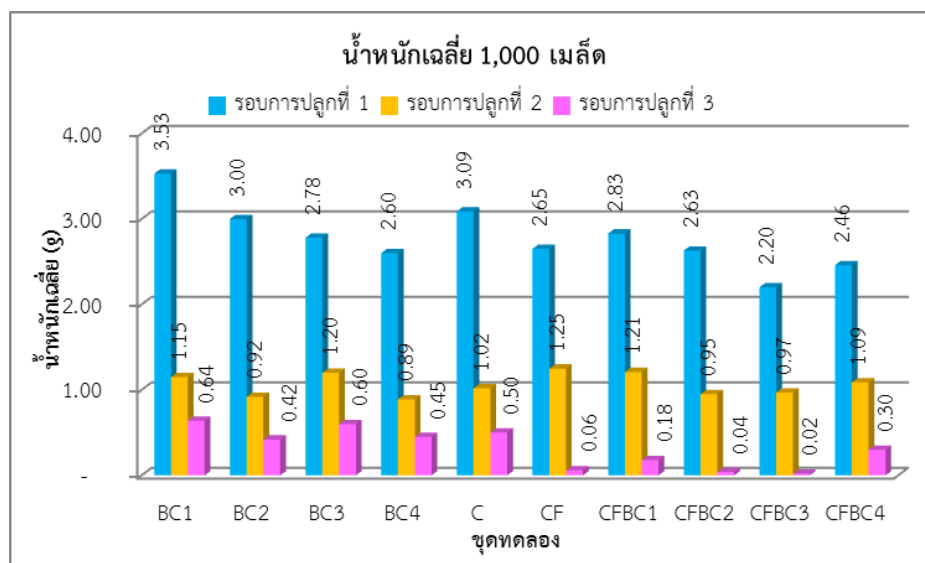
ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตงาดำที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดสูงที่สุด 3 ชุดการทดลองแรก ได้แก่ ชุดการทดลอง BC1 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 0.64 กรัม), BC3 (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 0.64 กรัม) และ C (น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด 0.50 กรัม) ตามลำดับ ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดน้อยกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 และฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 สำหรับน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองดังรูปที่ 49



รูปที่ 49 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละชุดการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

โดยจากการทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด พบว่า ชุดการทดลองที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลอง BC2, BC3 และ BC4 ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด ของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ต้นงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด สูงที่สุด รองลงมาเป็น ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 58

**หมายเหตุ** ในการหาค่าเฉลี่ยของการทดลองครั้งนี้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเฉลี่ย จากค่ามาตรฐานค่าเฉลี่ย 1,000 เมล็ด แต่ในชุดทดลองให้ผลผลิตเป็นเมล็ดไม่ครบจำนวนค่ามาตรฐาน จึงใช้น้ำหนักเฉลี่ยของ 100 เมล็ด เปรียบกับค่ามาตรฐานแทน ทำให้เห็นว่าชุดทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยน้อยกว่าชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของผลผลิตเป็นน้ำหนักเมล็ด ชุดทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีมีน้ำหนักเมล็ดรวมมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 50



รูปที่ 50 น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดของแต่ละฤดูกาลเพาะปลูก

#### 4.8 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝน

จากการทดลองปลูกงาดำที่มีส่วนผสมแตกต่างกันทั้ง 10 ชุดทดลอง พบว่า งาดำให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักต้นรวม น้ำหนักเมล็ดรวมและจำนวนฝักรวมทั้ง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยแต่ละชุดการทดลองให้ผลผลิตดังนี้

##### 4.8.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุกับการเจริญเติบโตของงาดำ

###### 1) ชุดทดลอง BC1

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน
- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำสูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 เล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ทั้งนี้ มีการใช้ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำทำให้ปริมาณ OM หลังปลูกลดลง
- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ดังตารางที่ 23



ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในดินก่อน-หลังฤดูการปลูกของแต่ละชุดการทดลองการเจริญเติบโตของต้นงาดำ

คุณสมบัติ ของดิน	ปริมาณ OM ในดินแต่ละฤดูการปลูก <sup>1/</sup> (%)				การเจริญเติบโตของต้นงาดำ ในระยะ 80 วัน <sup>2/</sup> (ชม.)		
	ก่อน ฤดูการ ปลูกที่ 1	ก่อน ฤดูการ ปลูกที่ 2	ก่อน ฤดูการ ปลูกที่ 3	หลัง ฤดูการ ปลูกที่ 3	ฤดูการ ปลูกที่ 1	ฤดูการ ปลูกที่ 2	ฤดูการ ปลูกที่ 3
BC1	0.50	0.74 (0.24)	0.63 (-0.11)	0.50 (-0.13)	44.77	45.97 (1.20)	26.61 (-18.16)
BC2	0.58	0.51 (-0.07)	0.80 (0.29)	0.77 (-0.03)	42.59	44.04 (-24.56)	30.09 (-35.01)
BC3	0.51	0.73 (0.22)	1.02 (0.29)	0.77 (-0.25)	68.09	43.53 (-24.56)	33.07 (-35.01)
BC4	0.66	1.27 (0.61)	1.21 (-0.06)	1.15 (-0.06)	29.01	40.11 (11.10)	27.98 (-1.03)
C	0.49	0.46 (-0.03)	0.55 (0.09)	0.39 (-0.16)	53.13	38.13 (-15.00)	27.77 (-25.36)
CF	0.48	0.64 (0.16)	0.54 (-0.10)	0.39 (-0.13)	70.77	48.20 (-22.57)	26.00 (-44.77)
CFBC1	0.41	0.71 (0.30)	0.62 (-0.09)	0.61 (-0.01)	81.97	43.96 (-38.02)	27.08 (-54.89)
CFBC2	0.82	0.60 (-0.22)	0.67 (0.07)	0.36 (-0.31)	86.49	41.46 (-45.03)	27.30 (-59.19)
CFBC3	1.31	0.67 (-0.64)	0.91 (0.24)	0.74 (-0.17)	77.30	38.26 (-39.04)	27.73 (-49.57)
CFBC4	2.05	0.94 (-1.09)	0.91 (-0.03)	0.92 (0.01)	63.36	47.95 (-15.41)	32.60 (-30.76)

หมายเหตุ: <sup>1/</sup>ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงความแตกต่างเมื่อเทียบปริมาณหลังปลูกกับก่อนปลูก

<sup>2/</sup>ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงความแตกต่างเมื่อเทียบกับฤดูการปลูกที่ 1

- อินทรีย์วัตถุในดินมีธาตุไนโตรเจนประมาณร้อยละ 5
- ก่อนปลูกฤดูการที่ 2 = หลังปลูกฤดูการที่ 1
- ก่อนปลูกฤดูการที่ 3 = หลังปลูกฤดูการที่ 2

## 2) ชุดทดลอง BC2

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ ทำให้ปริมาณ OM หลังปลูกลดลง
- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำสูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน
- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

## 3) ชุดทดลอง BC3

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพที่นำมาผสม
  - ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 แม้ว่ามีปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมถ่านชีวภาพในดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พืชดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
  - ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง
- การที่ปริมาณ OM ก่อนฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นการยืนยันว่าถ่านชีวภาพมีความสามารถในการปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ อย่างไรก็ตาม การผสมถ่านชีวภาพในดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พืชดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

## 4) ชุดทดลอง BC4

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน
  - ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำสูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 เนื่องจากมีปริมาณ OM ในดินก่อนปลูกค่อนข้างสูงกว่าก่อนปลูกฤดูกาลที่ 1 ซึ่งเป็นผลมาจากถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน
  - ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง
- การที่ปริมาณ OM ก่อนฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นการยืนยันว่าถ่านชีวภาพมีความสามารถในการปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ อย่างไรก็ตาม การผสมถ่านชีวภาพในดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พืชดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

### 5) ชุดทดลอง C

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ ทำให้ปริมาณ OM หลังปลูกลดลง
- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 เนื่องจากในดินมีปริมาณ OM ก่อนปลูกน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากมีซากต้นงาดำจากฤดูกาลปลูกที่ 1 และ 2 หลงเหลืออยู่
- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 และ 2 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

### 6) ชุดทดลอง CF

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีที่นำมาผสม
- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 และมีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำทำให้ปริมาณ OM หลังปลูกลดลง
- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

### 7) ชุดทดลอง CFBC1

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ในโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน
- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 แม้ว่ามีปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลงจากการในธาดูอาหารไปใช้
- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

การที่ปริมาณ OM ก่อนฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นการผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในดิน อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการที่ปริมาณ OM ในดินสูงขึ้นไม่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นงาดำในฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 สูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

### 8) ชุดทดลอง CFBC2

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ โดยต้นงาดำในชุดการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งนี้ ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่พืชนำธาตุอาหารไปใช้

- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 แม้ว่าปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลงจากการในธาตุอาหารไปใช้

- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

แม้ว่าปริมาณ OM ในดินหลังปลูกจะลดลง แต่การเจริญเติบโตของต้นงาดำในฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 ค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าพืชไม่ดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งอาจเกิดจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

### 9) ชุดทดลอง CFBC3

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ โดยต้นงาดำในชุดการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งนี้ ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่พืชนำธาตุอาหารไปใช้

- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 อย่างไรก็ตาม ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพที่นำมาผสมดิน

- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดแม้ว่าในดินจะมีปริมาณ OM สูงกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

### 10) ชุดทดลอง CFBC4

- ฤดูกาลปลูกที่ 1 มีการใช้ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุเพื่อการเจริญเติบโตของต้นงาดำ โดยปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลงซึ่งเป็นผลมาจากการที่พืชนำธาตุอาหารไปใช้

- ฤดูกาลปลูกที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นงาดำน้อยกว่าฤดูกาลปลูกที่ 1 และ ปริมาณ OM ในดินหลังปลูกมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจากการในธาตุอาหารไปใช้

- ฤดูกาลปลูกที่ 3 ต้นงาดำมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ซึ่งคาดว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

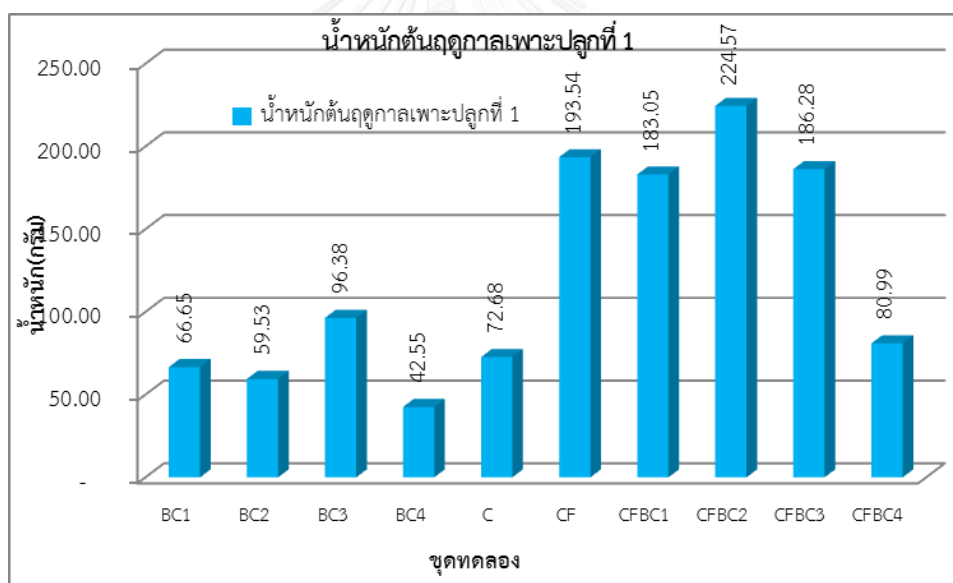
แม้ว่าปริมาณ OM ในดินหลังปลูกจะลดลง แต่การเจริญเติบโตของต้นงาดำใน ฤดูกาลปลูกที่ 2 และ 3 ค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าพืชไม่ดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งอาจเกิดจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

#### 4.8.2 ปริมาณผลผลิต

##### 1) ถดถูการเพาะปลูกที่ 1

##### 1.1) น้ำหนักต้น

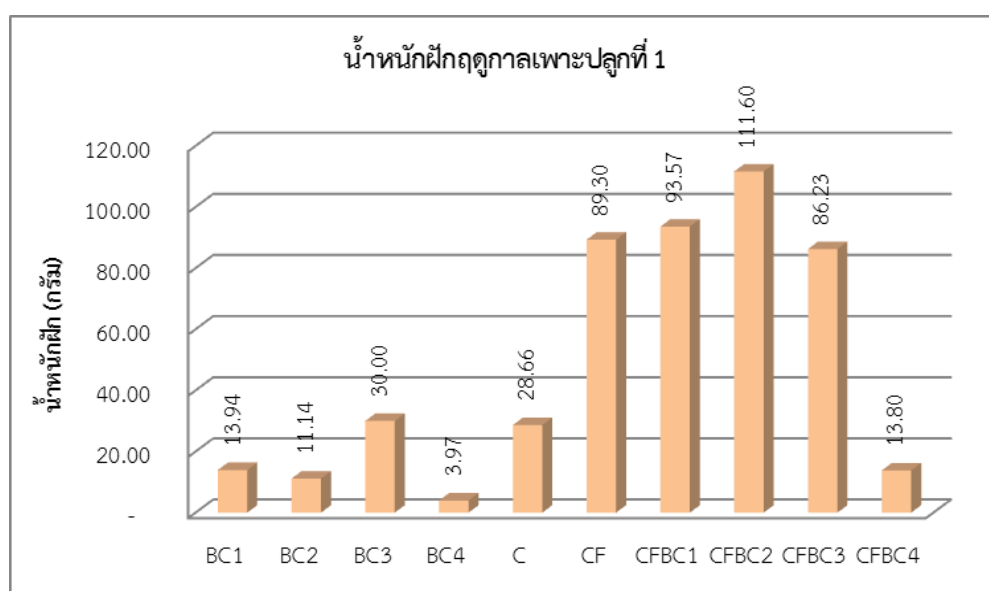
การตรวจวัดน้ำหนักแห้งของต้นในถดถูการเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ชุดทดลองที่มี ส่วนผสมของปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันให้ผลผลิตไปในทิศทางเดียวกัน โดยชุดทดลอง CFBC2 ให้น้ำหนักสูงที่สุด รองลงมาคือ CF, CFBC3 และ CFBC1 ให้น้ำหนักต้นไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และชุดทดลอง CFBC4 และ BC3 ให้น้ำหนักต้นมากกว่าชุดควบคุม และ BC1, BC2 และ BC4 ให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักต้นน้อยกว่า C ซึ่งไม่มี ความแตกต่างกันในทางสถิติกับชุด C ทั้งที่ไม่ได้มีการเติมธาตุอาหารแต่อย่างใด แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับงาดำ ดังรูปที่ 51



รูปที่ 51 น้ำหนักต้นถดถูการเพาะปลูกที่ 1

### 1.2) น้ำหนักฝัก

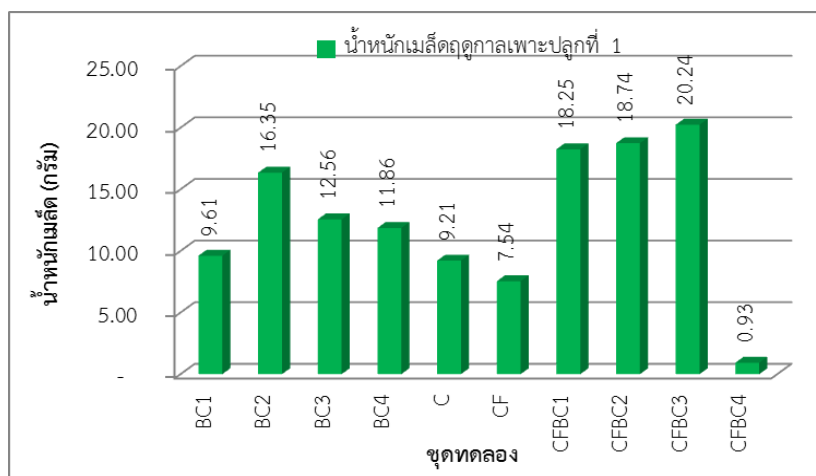
การเปรียบเทียบน้ำหนักฝักของงาดำในการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ชุดทดลอง CFBC2 ให้ค่าน้ำหนักฝักมากที่สุด รองลงมาคือ CFBC1 CF และ CFBC3 ตามลำดับ ซึ่งการติดฝักและให้น้ำหนักฝักไม่แตกต่างกันในทางสถิติ โดยที่ BC3 เป็นชุดทดลองที่ผสมถ่านชีวภาพที่อัตราส่วน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ให้น้ำหนักฝักมากกว่าชุดควบคุม (C) จะเห็นได้ว่าชุดทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักฝักมากกว่าดินทรายและการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าใช้ถ่านชีวภาพผสมมากเกินไป จะทำให้การติดฝักให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักฝักลดลง เช่นในชุดทดลอง CFBC4 และ BC4 ดังรูปที่ 52



รูปที่ 52 น้ำหนักฝักของผลผลิตแต่ละชุดการทดลองฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1

### 1.3) น้ำหนักเมล็ด

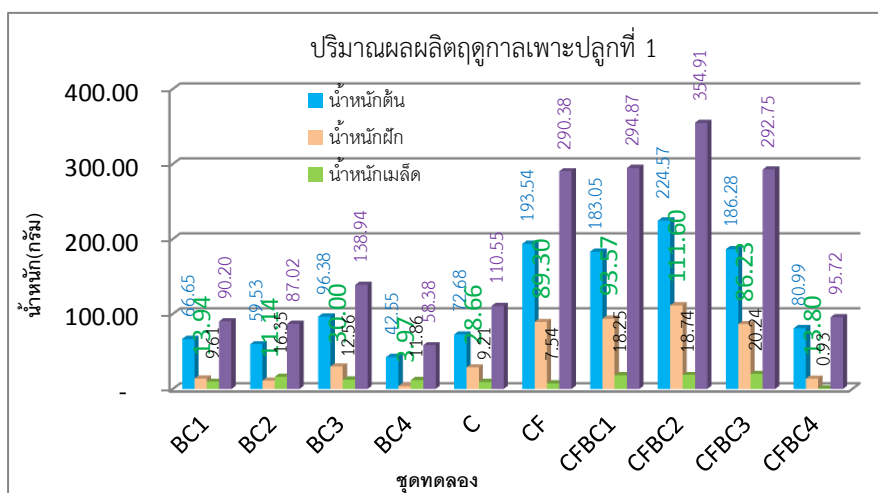
การศึกษาน้ำหนักเมล็ดงาดำ จากการทดลองในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยเคมีในสัดส่วนที่ 0.5 – 1.5 % งาดำสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักเมล็ดมากที่สุดคือ CFBC2 , CFBC1 และ CF รองลงมาคือ BC3 ให้น้ำหนักที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพสามารถตอบสนองต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเป็นน้ำหนักเมล็ดได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 น้ำหนักเมล็ดของถั่วกลีบของชุดทดลองที่ 1

## 1.4) น้ำหนักรวม

จากรูปที่ 54 พบว่า ชุดทดลอง CFBC2 ให้ค่าน้ำหนักผลผลิตรวมมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลอง CFBC1 CFBC3 และ CF ซึ่งให้ค่าน้ำหนักผลผลิตรวมใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีการผสมปุ๋ยเคมีร่วมกับถ่านชีวภาพให้ผลผลิตรวมมากกว่าชุดการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าชุดการทดลองที่มีการผสมระหว่างปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพไม่เพียงแต่ให้ค่าน้ำหนักรวมสูงเท่านั้นแต่พบว่าให้ค่าน้ำหนักต้น น้ำหนักฝักและน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อีกด้วย แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพมีประสิทธิภาพในการเก็บกักและปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชได้ดี

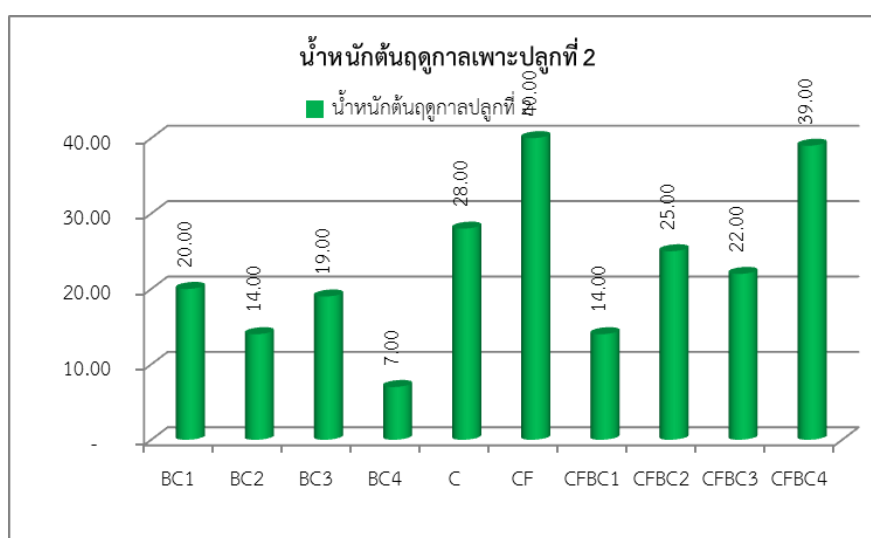


รูปที่ 54 น้ำหนักผลผลิตรวมของถั่วกลีบของชุดทดลองที่ 1

## 2) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

### 2.1) น้ำหนักต้น

การตรวจวัดน้ำหนักแห้งของต้นในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 พบว่ามีความแตกต่างกับฤดูกาลที่ 1 เนื่องจากชุดการทดลองที่ให้ค่าน้ำหนักต้นสูงที่สุดคือ CF 1 (40 กรัม) รองลงมาคือ CFBC4 (39 กรัม) ซึ่งมีค่าสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งมีความแตกต่างกับชุดทดลองอื่นๆที่มีค่าอยู่ในช่วง 7 ถึง 28 กรัม

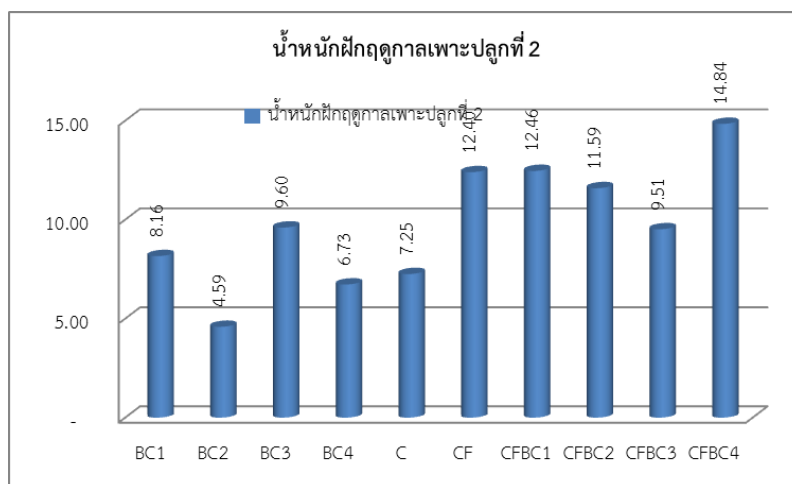


รูปที่ 55 น้ำหนักต้นฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

### 2.2) น้ำหนักฝัก

จากรูปที่ 56 พบว่าชุดทดลองที่มีการผสมระหว่างปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่ต่างกันให้ผลผลิตน้ำหนักฝักใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วง 9.51 ถึง 14.84 กรัม ซึ่งให้ค่ามากกว่าชุดควบคุม (7.25 กรัม) อย่างไรก็ตามชุดทดลองที่ไม่ได้ผสมปุ๋ยเคมีโดยใช้ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวก็ให้ค่าน้ำหนักฝักเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพยังคงมีประสิทธิภาพในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชได้ระดับหนึ่ง

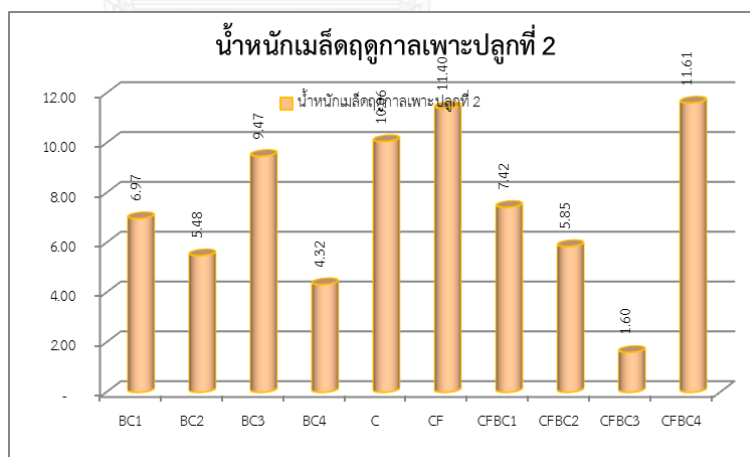




รูปที่ 56 น้ำหนักรีดกตุกกาลเพาะปลูกที่ 2

### 2.3) น้ำหนักเมล็ด

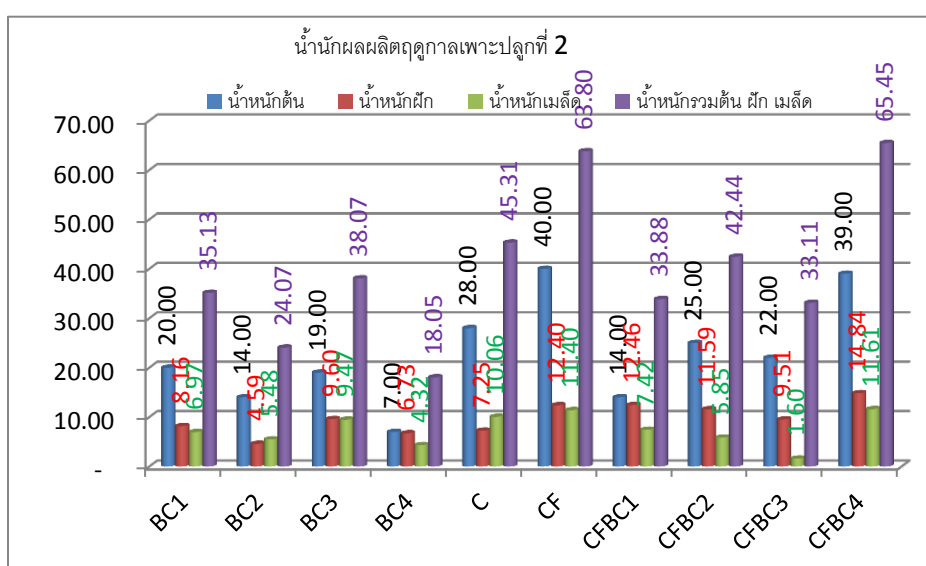
จากรูปที่ 57 พบว่าน้ำหนักเมล็ด ในชุดการทดลอง CFBC4 และ CF ให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน (11.61 และ 11.40 กรัม) รองลงมาคือชุดควบคุม และ BC3 (10.06 และ 9.47 กรัม) ส่วนผลผลิตน้ำหนักเมล็ด ต่ำสุดพบที่ชุดทดลอง CFBC3 (1.60 กรัม)



รูปที่ 57 น้ำหนักเมล็ดของผลผลิตแต่ละชุดการทดลองกตุกกาลเพาะปลูกที่ 1

## 2.4) น้ำหนักรวม

จากรูปที่ 58 แสดงน้ำหนักรวมของผลผลิตในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 พบว่าชุดการทดลองที่ CFBC4 และ CF ให้ผลผลิตรวมสูงสุดใกล้เคียงกัน (64.45 และ 63.80 กรัม) ส่วนชุดการทดลอง BC1 BC3 C CFBC1 CFBC2 และ CFBC3 ให้ค่าน้ำหนักรวมใกล้เคียงกับ เท่ากับ 35.13 38.07 45.31 33.88 42.44 33.11 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลอง BC2 และ BC4 ให้ค่าน้ำหนักรวมของผลผลิตต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (24.07 และ 18.05 ตามลำดับ)

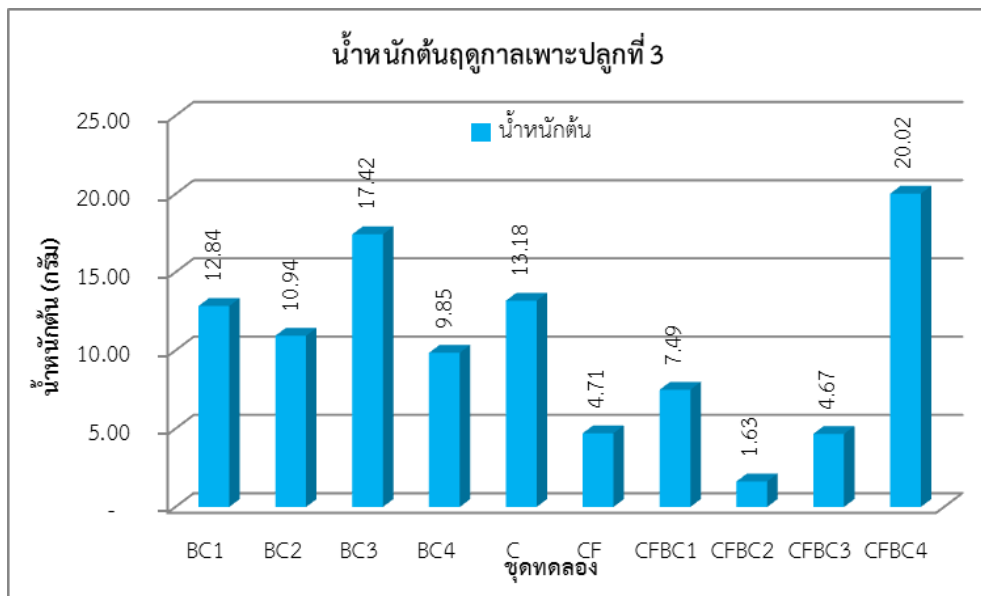


รูปที่ 58 น้ำหนักผลผลิตรวมของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2

## 3) ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

### 3.1) น้ำหนักต้น

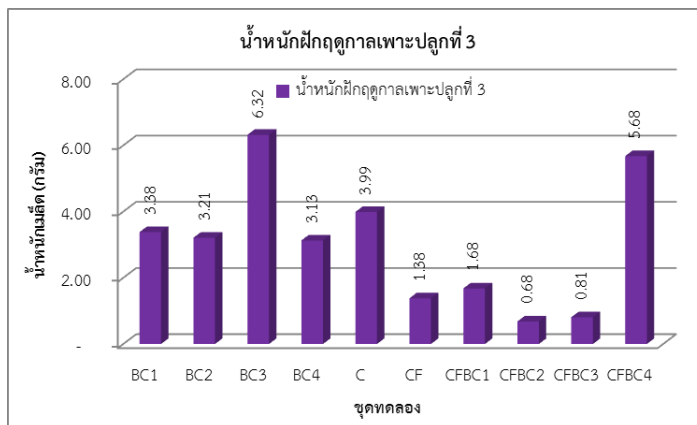
จากรูปที่ 59 แสดงน้ำหนักต้นในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 พบว่า ดินทดลองที่ผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในชุดทดลอง CFBC4 ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักต้นสูงที่สุด (20.02 กรัม) แต่พบว่าชุดทดลองอื่นที่มีการใช้ดินทดลองที่ผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ ให้ค่าน้ำหนักต้นต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.63 ถึง 7.49 กรัม ส่วนชุดทดลอง BC3 ที่มีการใช้ดินผสมถ่านชีวภาพ ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักต้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่นที่ใช้ดินผสมถ่านชีวภาพ (17.42 กรัม) โดยชุดการทดลอง BC1 BC2 และ BC4 ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักต้นสูงใกล้เคียงกับชุดควบคุม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.85 ถึง 12.84 กรัม



รูปที่ 59 น้ำหนักต้นฤดูการเพาะปลูกที่ 3

### 3.2) น้ำหนักฝัก

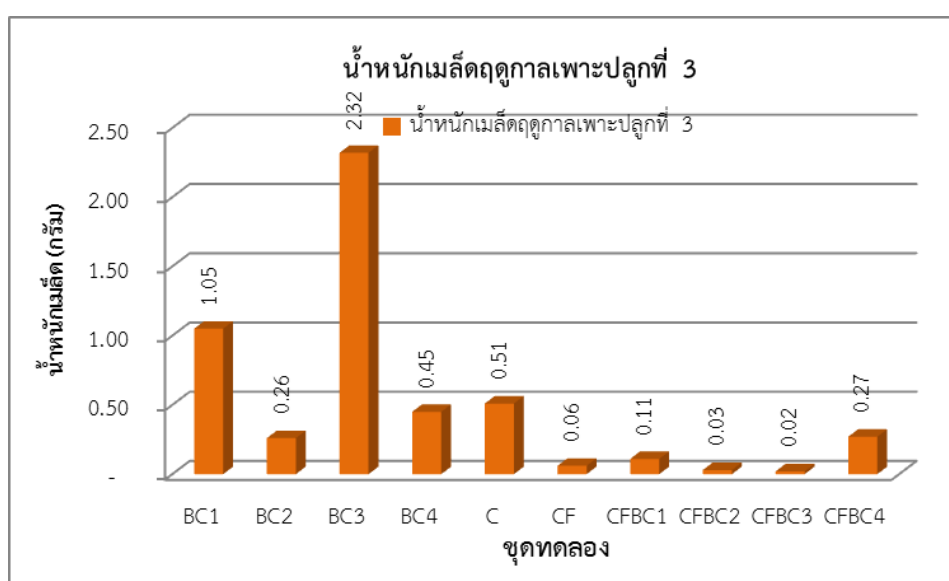
จากรูปที่ 60 พบว่าค่าผลผลิตน้ำหนักฝักในฤดูการเพาะปลูกที่ 3 ให้ผลเป็นไปทิศทางเดียวกันกับค่าผลผลิตน้ำหนักต้น ซึ่งเห็นได้ว่าชุดทดลอง BC3 ซึ่งใช้ดินทดลองผสมถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว และชุดทดลอง CFBC4 ซึ่งใช้ดินทดลองผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ เป็นสองชุดการทดลองที่ให้ค่าผลผลิตน้ำหนักฝักสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.32 และ 5.68 กรัม ตามลำดับ และเช่นเดียวกันพบว่า ชุดการทดลอง BC1 BC2 และ BC 4 ให้ค่าน้ำหนักฝักใกล้เคียงกับชุดควบคุม ส่วนชุดการทดลอง CF CFBC1 CFBC2 CFBC3 ซึ่งใช้ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ ให้ค่าน้ำหนักฝักต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.68 ถึง 1.68 กรัม



รูปที่ 60 น้ำหนักฝักฤดูการเพาะปลูกที่ 3

### 3.3) น้ำหนักเมล็ด

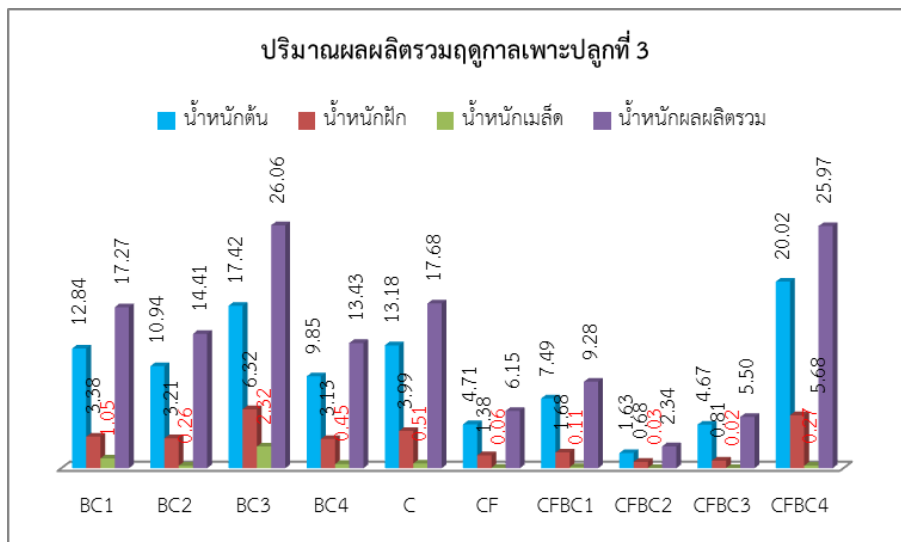
จากรูปที่ 61 ทุกชุดการทดลองที่ใช้ดินทดลองผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพให้ค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.11 กรัม ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ 0.51 กรัม ส่วนชุดทดลอง BC3 เป็นชุดทดลองที่ให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดสูงที่สุด (2.32 กรัม)



รูปที่ 61 น้ำหนักเมล็ดฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

### 3.4) น้ำหนักรวม

จากรูปที่ 62 พบว่าปริมาณน้ำหนักรวมฤดูกาลที่ 3 มีค่าสูงที่สุดที่ชุดทดลอง BC3 ซึ่งเป็นชุดทดลองที่ใช้ดินผสมถ่านชีวภาพให้ค่าผลผลิตรวมที่ 26.06 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับชุดทดลอง CFBC4 ซึ่งใช้ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพ ซึ่งให้ค่าผลผลิตรวมที่ 25.97 กรัม ในขณะที่ชุดทดลองอื่นที่ใช้ดินผสมปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพให้ค่าผลผลิตรวมต่ำกว่าชุดทดลองควบคุมและชุดทดลองที่ใช้ดินผสมถ่านชีวภาพ



รูปที่ 62 น้ำหนักผลผลิตรวมของฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3

#### 3.4) สรุปภาพรวมผลผลิตฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 2 และ 3

จากการทดลองปลูกงาดำตลอดทั้ง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก พบว่าฤดูกาลที่ 1 ชุดทดลอง CFBC2 ให้ผลผลิตน้ำหนักร้อนและฝักสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณผลผลิตรวม พบว่าชุดการทดลอง CFBC2 (ถ่านชีวภาพ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ให้ผลผลิตรวมสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตที่ต้องการคือน้ำหนักเมล็ดซึ่งพบปริมาณผลผลิตเมล็ดสูงที่สุดที่ชุดการทดลอง CFBC3 ส่วนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 ชุดการทดลอง CF ให้ผลผลิตน้ำหนักร้อนสูงที่สุด ส่วนชุดทดลอง CFBC4 ให้ผลผลิตน้ำหนักร้อนและเมล็ดรวมถึงผลผลิตรวมสูงที่สุด ในฤดูกาลที่ 3 ชุดทดลอง CFBC4 ให้ผลผลิตน้ำหนักร้อนสูงที่สุด ส่วนชุดทดลอง BC3 ให้ผลผลิตน้ำหนักร้อนและเมล็ดสูงที่สุด ส่วนน้ำหนักรวมพบว่า CFBC4 และ BC3 ให้ค่าน้ำหนักรวมสูงที่สุดใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการใส่ถ่านชีวภาพสัดส่วนที่ 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรรวมกับการใส่ปุ๋ยเคมีลงในดินทรายเขตเงาฝนให้ผลผลิตดีที่สุดในระยะสั้น แต่ในระยะยาวพบว่าถ่านชีวภาพในสัดส่วนที่มากขึ้นที่ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะให้ผลผลิตดีที่สุด ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปไม่ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดสูงขึ้น

## 4.10 ข้อจำกัดที่ส่งผลต่อข้อมูลที่ตลาดเคลื่อน

### 4.10.1 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่องาดำเป็นอย่างมาก เพราะงาดำต้องการแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ทำการปลูกงาดำต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก ทำให้มีความเข้มของแสงไม่เท่ากัน

### 4.10.2 น้ำ

การเจริญเติบโตของงาดำมีความจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้เซลล์เต่งตึงและยังเป็นตัวละลายแร่ธาตุต่างๆ ก่อนที่จะลำเลียงเข้าสู่ต้น ดังนั้นความต้องการใช้น้ำในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดในแต่ละช่วงอายุของงาดำ และมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของแหล่งน้ำที่นำมาใช้

### 4.10.3 แหล่งน้ำ

#### 1) น้ำผิวดิน

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่แหล่งน้ำตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เงาฝน มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ ซึ่งในแต่ละปีมีน้ำไหลลงแหล่งน้ำในปริมาณจำกัดและไม่เพียงพอกับกิจกรรมในพื้นที่ และในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา น้ำในอ่างเก็บน้ำทุกอ่างแห่งจนไม่สามารถดำเนินการกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่ ได้ และส่งผลกระทบต่อการศึกษาทดลอง

#### 2) น้ำใต้ดิน

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำดิบที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่น้ำใต้ดินการปนเปื้อนของสารละลายจำนวนมาก เมื่อนำมาใช้ทำให้เกิดผลกระทบต่อการศึกษาของงาดำ จากการตรวจวิเคราะห์น้ำใต้ดินพบว่า น้ำมีค่าความกระด้าง และปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม อยู่ในรูปของแคตไอออนที่มีสมบัติเป็นต่าง แต่มีประจุบวก ได้แก่ แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{++}$ ) แมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{++}$ ) โพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) ค่อนข้างสูง (ตามตารางที่ 24) ทำให้ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความนำไฟฟ้า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณของธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโซเดียมที่ไปปิดกั้นน้ำที่บริเวณปลายรากทำให้งาดำไม่สามารถนำน้ำไปเลี้ยงลำต้นได้ ทำให้ผลผลิตของงาดำลดลง

### 3) ความชื้น

ความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยทางอ้อมที่มีผลต่อปริมาณความต้องการน้ำของงาดำ ถ้าความชื้นในอากาศต่ำงาดำก็คายน้ำมากขึ้น ทำให้ต้องการน้ำเพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ดังนั้นน้ำและความชื้นจึงมีความสัมพันธ์กับฤดูกาลเพาะปลูกงาดำ

### 4) ฤดูกาล

การทดลองปลูกงาดำติดต่อกัน 3 ฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากงาดำไม่ชอบสภาพอากาศร้อนจัด อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงระหว่าง 25 – 30 °C แต่ในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 เป็นช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 40 °C ซึ่งข้อจำกัดของงาดำคือถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จะทำให้การผสมเกสรติดยากการสร้างฝักเป็นไปได้ช้า

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์น้ำใต้ดินที่นำมาใช้ในการทดลองปลูกงาดำ

ดัชนี	ผลการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน*
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.76	7.00 - 8.50
ค่าความนำไฟฟ้า (µS)	722	
ความกระด้าง (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	481.77	300
ไนเตรต (mg-N/L)	0	45
ซัลเฟต (mg/L)	2.59	ไม่เกิน 200
แคลเซียม (mg/L)	34.03	
แคดเมียม (mg/L)	ND	ต้องไม่มีเลย
แมกนีเซียม (mg/L)	15.17	
โพแทสเซียม(mg/L)	2.32	
โซเดียม (mg/L)	10.93	

หมายเหตุ: \* มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551

การปลูกงาดำในแต่ละฤดูกาลเพาะปลูกเป็นการปลูกในฤดูกาลที่ต่างกันโดยเป็นการปลูกต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง มีนาคม 2559 เนื่องจากต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตงาดำ จึงออกแบบการทดลองให้มีการเตรียมดินที่ใช้ในการปลูกเพียงครั้งเดียวตอนเริ่มต้นการทดลอง ทำให้มีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ ความแห้งแล้ง ซึ่งส่งผลต่อผลผลิตงาดำในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3 อย่างเห็นได้ชัด

### 5) ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง จากการทดลองครั้งนี้ มีการเติมธาตุอาหารก่อนปลูกงาดำเพียงครั้งเดียว จึงทำให้ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชจำเป็นต้องใส่ธาตุอาหารเพิ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ต้องใช้ในปริมาณและช่วงเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการของงาดำ เนื่องจากการเจริญเติบโตของแต่ละช่วงอายุใช้ธาตุอาหารและปริมาณแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการเติมธาตุอาหารพืชในรูปของปุ๋ยเคมีสูตรเสมอ N : P : K (15 : 15 : 15) ทำให้งาดำเจริญเติบโตทางต้นมากกว่าการให้ผลผลิตเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งงาดำตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีกว่าปุ๋ยเคมี เพราะการเจริญเติบโตในระยะแรกของพืชจะใช้ธาตุไนโตรเจนทำการสร้างใบและลำต้น เพื่อสะสมอาหารสำหรับสร้างดอกในระยะที่ 2 พืชจะใช้ธาตุฟอสฟอรัสมากกว่าไนโตรเจนและในระยะที่ 3 การติดฝักเพื่อสร้างเมล็ด พืชจะใช้โพแทสเซียมมากกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีสูตรเสมอ ทำให้มีการเจริญเติบโตของต้นมากกว่าการสร้างเมล็ด

### 6) ดิน

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของดินในพื้นที่ห้วยทรายมีปริมาณของทรายหยาบ (Sand) 84 - 85 % ทรายแป้ง (Silt) 6 - 10 % และดินเหนียว (Clay) 6- 10 % ไม่เหมาะสมกับการใช้ประกอบอาชีพทางการเกษตร ถึงแม้ว่าจะผสมถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและหน้าที่ของดินเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีให้เกิดความสมดุลแล้วก็ตาม แต่ถ้าใช้สัดส่วนของถ่านชีวภาพมากเกินไป จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้าลง เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณของไอออนรอบพื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุนจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการดูดซับและกักเก็บธาตุอาหารได้มากกว่า ทำให้พืชถูกดูดดึงธาตุอาหารไปได้น้อยลง



## 7) โรคและแมลงศัตรูพืช

โรคและแมลงศัตรูพืชเป็นปัญหาสำคัญต่อการทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควรและตายในที่สุด โดยจากผลการวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนและหลังการปลูกฤดูการที่ 3 พบว่า ดินทดลองมีค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและปริมาณเกลือโซเดียมที่สูงขึ้นมากในทุกชุดการทดลองแสดงว่าดินทดลองมีค่าความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดจากการความแห้งแล้งของพื้นที่ทำให้ความชื้นในดินน้อยไม่สามารถเก็บน้ำได้พืชต้องใช้น้ำได้ดินที่มีความเค็ม จึงทำให้มีปริมาณโซเดียมสะสมในดินทดลองมากขึ้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 วัตถุดิบและสภาวะในการเตรียมถ่านชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินทรายเขต เงาฝน

##### 5.1.1 วัตถุดิบที่เหมาะสม

การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาณคาร์บอน ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์และกะลามะพร้าวที่ผลิตจากสภาวะอุณหภูมิต่างๆ สรุปได้ว่า คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่าถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวสำหรับการปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มากกว่า และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

##### 5.1.2 สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์

การวิเคราะห์สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ด้วยเตาเผาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ คือ ที่อุณหภูมิในการเผา  $434.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าวจะได้ผลผลิตเป็นถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ  $182.3 \pm 37.8\text{ m}^2/\text{kg}$  มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน  $42.68 \pm 5.88$  อังสตรอม (Å) และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง  $7.0 \pm 0.281$  โดยช่วงของสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์ คือ ที่อุณหภูมิในการเผาระหว่าง  $413\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ผลิตจากเตาเผาที่ประดิษฐ์จากถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร ซึ่งควบคุมปริมาณออกซิเจนได้ยากกว่าการใช้เตาเผาไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการจึงปรับสภาวะในการเผาโดยใช้อุณหภูมิในการเผา  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  และใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

## 5.2 การเจริญเติบโตและผลผลิตงาดำที่ปลูกด้วยดินทรายที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพดินเขตเงาฝน

งาดำที่ปลูกในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่สูงกว่าฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และ 3 อย่างเห็นได้ชัด ทั้งจำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เม็ด (grain weight) โดยจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิตของงาดำ ยังพบว่าในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุดการทดลองส่วนใหญ่ให้ผลผลิตงาดำที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งชุดการทดลองที่ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของงาดำสูงในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1 เป็นชุดการทดลองที่มีการผสมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ (ชุดการทดลอง CFBC2, CFBC1 และ CFBC3)

## 5.3 ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายเขตเงาฝนเพื่อการเพิ่มผลผลิตงาดำ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝนสามารถเพิ่มผลผลิตงาดำได้ ถ้าต้องการปลูกงาดำด้วยดินทรายเขตเงาฝนให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุด ควรเติมทั้งปุ๋ยเคมีและถ่านชีวภาพในสัดส่วนระหว่าง 5 - 10 ตันต่อเฮกแตร์ (0.5 - 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) หากใช้ถ่านชีวภาพในสัดส่วนที่มากกว่านี้จะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตงาดำลดลง เพราะถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน มีประจุเป็นลบ สามารถกักเก็บธาตุอาหารและความชื้นได้มาก ซึ่งจะทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้าลง ทั้งนี้ระยะเวลาการใช้ถ่านชีวภาพปลูกงาดำซ้ำกันหลายครั้งไม่ทำให้งาดำมีผลผลิตเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการเติมธาตุอาหารตามความต้องการของพืชก่อนทำการปลูกครั้งต่อไป

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินทรายเขตเงาฝนให้ใช้สัดส่วน 5 - 10 ตัน/เฮกแตร์ (0.5 - 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) จะดีที่สุด

5.4.2 ควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำและบำบัดน้ำให้มีคุณภาพก่อนนำมาใช้ในการปลูกพืช

5.4.3 ส่งเสริมให้ความรู้แก่ประชาชน ทราบถึงประโยชน์และขั้นตอนการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม

5.4.4 ควรใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดินเสื่อมโทรม เพื่อปรับปรุงโครงสร้างดิน ช่วยให้จุลินทรีย์มีที่อยู่อาศัยและสามารถขยายพันธุ์ ช่วยให้รากหญ้าแฝกได้รับสารอาหารจากถ่านชีวภาพและเจริญเติบโตได้ดี

## 5.5 หัวข้องานวิจัยต่อไป

5.5.1 ใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและเศษพรรณไม้อื่นๆ เช่น ตอซัง เปลือกผลไม้และฝักไม้ที่มีในพื้นที่

5.5.2 เปลี่ยนพันธุ์พืชที่ใช้ในการทดลองชนิดอื่นๆ ที่เหมาะสมกับสภาพดินทราย เช่น พืชหัว เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

1. เกษม จันทร์แก้ว, วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. Book, 2540: p. 588.
2. พิมพ์ดา โยธาสมุทร, พื้นที่การเพาะปลูกกับความเป็นประเทศเกษตรกรรม. เอกสารรายงาน, 2553.
3. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. book, 2541.
4. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และ ลือชัย ครุฑน้อย, การประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2555.
5. กรมพัฒนาที่ดิน, คู่มือการพัฒนาที่ดินสำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร กรมพัฒนาที่ดิน. 2553.
6. วิณา เชิดบุญชาติ, งาและน้ำมันงา. 2537.
7. Xu, R., et al., *Thermal self-sustainability of biochar production by pyrolysis*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011. 91(1): p. 55-66.
8. Peng Xin, et al., *Temperature and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China*. Soil and Tillage Research, 2011. 112(2): p. 159-166.
9. อิศริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, การใช้ถ่านจากการเผาในสภาพอับอากาศในการปรับปรุงดิน. วารสาร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 2552. 4(1).
10. กรมพัฒนาที่ดิน, คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1,2. 2547.
11. Myers, R.L., *SESAME A High Value Oilseed*. Thomas Jefferson Agriculture Institute. , 2002.
12. Yamashita, K., et al., *Sesame seed lignans and gamma-tocopherol act synergistically to produce vitamin E activity in rats*. The Journal of nutrition, 1992. 122(12): p. 2440-2446.
13. Langham, D.R., et al., *Sesame grower guide*. Sesaco Corp, 2008. 30: p. 331.
14. Scherr, S.J. and S. Yadav, *Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment to 2020*. 1996.

15. Amonette, J.E. and S. Joseph, *Characteristics of biochar: microchemical properties*. Biochar for environmental management: Science and technology, 2009. 33.
16. Sohi, S., et al., *A review of biochar and its use and function in soil*. Advances in agronomy, 2010. 105: p. 47-82.
17. Lehmann, J., et al., *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant and soil, 2003. 249(2): p. 343-357.
18. Kookana, R., et al., *3 Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences*. Advances in agronomy, 2011. 112(112): p. 103-143.
19. จ้างงค์ กาญจนบุรังกูร และ พิศาล วสุวานิช, *ว่าไรดีและระยปลูกที่เหมะสมของไม้กระถิน ยักษ์ ณ สถานีผลิตเมล็ดพันธุ์ไม้ป่าทองผาภูมิ 2539*: p. 19.
20. ทวีวงศ์ ศรีบุรี, *การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพดิน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและ การพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดำริ, 2554*.
21. Demirbas, A., *Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004. 72(2): p. 243-248.
22. Winsley, P., *Biochar and bioenergy production for climate change mitigation*. New Zealand Science Review, 2007. 64(1): p. 5-10.
23. Scott, S., *Enterprise and Economic Development Analysis/ Policies/ BIS*. 2009.
24. JRC, I., *ILCD Handbook*. International Reference Life Cycle Data System Home page. Available at: [ict.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/projects](http://ict.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/projects), 2010.
25. Sohi, S., et al., *Biochar, climate change and soil: A review to guide future research*. Advances in agronomy, 2009. 105: p. 47-82.
26. ฟอเรอร์, ว.ส., et al., *การเปรียบเทียบพันธุ์เบื้องต้น : พันธุ์งาผลผลิตสูง จากชุดรวบรวมและศึกษาพันธุ์ ปี 2543*. 2543.

27. Lehmann, J., J. Gaunt, and M. Rondon, *Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review*. Mitigation and adaptation strategies for global change, 2006. 11(2): p. 395-419.
28. Sohi, S., et al., *Biochar, climate change and soil: A review to guide future research*. 2009: CSIRO Glen Osmond, Australia.
29. Lehmann, J., *Bio-energy in the black*. Frontiers in Ecology and the Environment, 2007. 5(7): p. 381-387.
30. ทวีวงศ์ ศรีบุรี, การทดสอบคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพดิน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและ การพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนตามแนวพระราชดำริ. , 2554.
31. Chan, K., et al., *Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment*. Soil Research, 2008. 45(8): p. 629-634.
32. Liang, B., et al., *Black carbon increases cation exchange capacity in soils*. Soil Science Society of America Journal, 2006. 70(5): p. 1719-1730.
33. Knowles, O., et al., *Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids*. Science of the Total Environment, 2011. 409(17): p. 3206-3210.
34. Yanai, Y., K. Toyota, and M. Okazaki, *Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments*. Soil Science and Plant Nutrition, 2007. 53(2): p. 181-188.
35. Khalid Chaudhry, U., et al., *Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (Triticum aestivum L.)*. PeerJ PrePrints, 2016. 4: p. e1631v1.
36. Rondon, M.A., et al., *Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions*. Biology and fertility of soils, 2007. 43(6): p. 699-708.
37. Cavigelli, M. and G. Robertson, *Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem*. Soil Biology and Biochemistry, 2001. 33(3): p. 297-310.

38. Warnock, D.D., et al., *Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms*. Plant and Soil, 2007. 300(1-2): p. 9-20.
39. Lehmann, J., et al., *Biochar effects on soil biota—a review*. Soil Biology and Biochemistry, 2011. 43(9): p. 1812-1836.
40. Free, H., et al., *The effect of biochars on maize (Zea mays) germination*. New Zealand journal of agricultural research, 2010. 53(1): p. 1-4.
41. Shrestha, G., S.J. Traina, and C.W. Swanston, *Black carbon's properties and role in the environment: A comprehensive review*. Sustainability, 2010. 2(1): p. 294-320.
42. Downie, A., A. Crosky, and P. Munroe, *Physical properties of biochar*. Biochar for environmental management: Science and technology, 2009: p. 13-32.
43. Nguyen, B.T. and J. Lehmann, *Black carbon decomposition under varying water regimes*. Organic Geochemistry, 2009. 40(8): p. 846-853.
44. Yamato, M., et al., *Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia*. Soil science and plant nutrition, 2006. 52(4): p. 489-495.
45. Novak, J.M., et al., *Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand*. Annals of Environmental Science, 2009. 3(1): p. 2.
46. Novak, J., et al., *Biochars impact on water infiltration and water quality through a compacted subsoil layer*. Chemosphere, 2016. 142: p. 160-167.
47. Diallo, H.A., *United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), in The Future of Drylands*. 2008, Springer. p. 13-16.
48. Shafie, S., et al., *Effect of pyrolysis temperature on the biochar nutrient and water retention capacity*. Journal of Purity, Utility Reaction and Environment, 2012. 1(6): p. 293-307.
49. Yao, Y., et al., *Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil*. Chemosphere, 2012. 89(11): p. 1467-1471.



50. Schwilch, G., et al., *Experiences in monitoring and assessment of sustainable land management*. Land Degradation & Development, 2011. 22(2): p. 214-225.





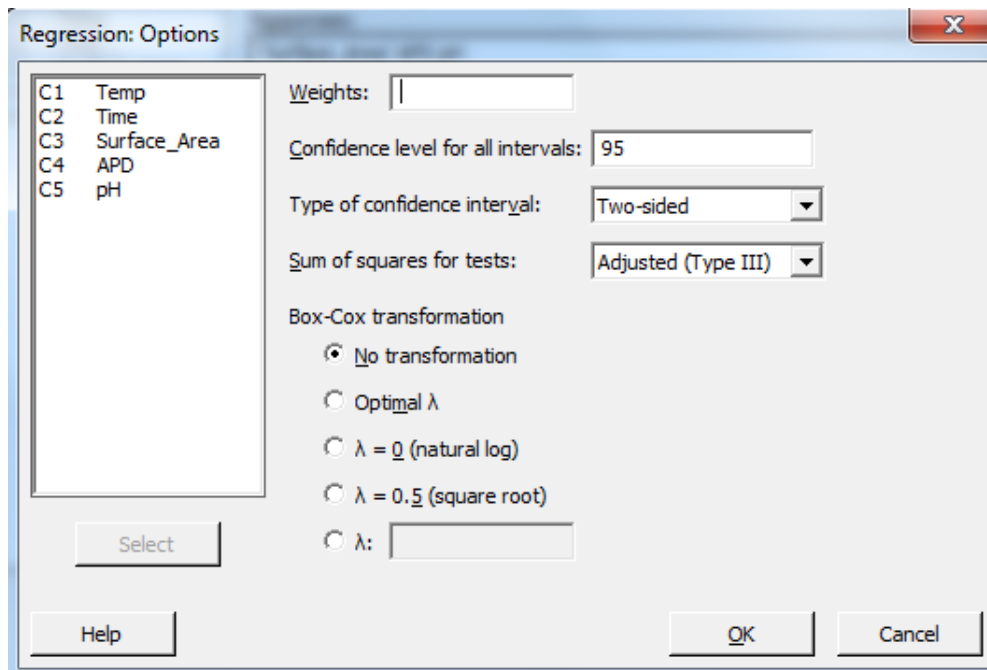
## 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1) เลือกคำสั่ง Stat--> Regression --> Regression --> Fit Regression Model

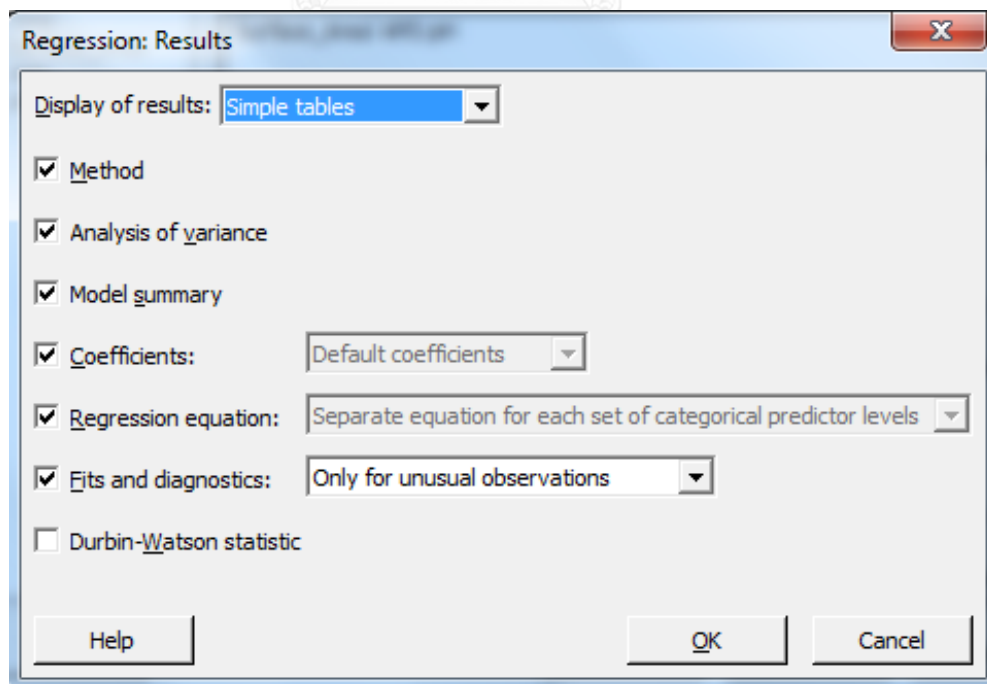
	C1-T	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	C6-T	C7-T	C8-T	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	
	Temp(oC)	Time(h)	SA(m <sup>2</sup> /g)	APD(Å)	%C	%H	(%N	(%O	(%S	pH	p(mg/kg)	EC(ds/m)	Ca(m/kg)	Mg(mg/g)	Na(mg/kg)	K(mg/kg)	CEC(mol/kg)	
1	300	1	2.14	71.87	68.85	3.44	0.02	27.66	0.03	6.00	26.20	0.34	9822	2228	263	86.50	69.86	
2	300	2	4.09	57.78	66.91	3.41	0.02	29.55	0.11	5.50	527.00	0.50	8552	2536	286	103.97	106.30	
3	300	3	6.09	59.73	67.57	3.52	0.02	28.84	0.05	5.00	37.80	0.53	6696	1822	2092	74.23	127.45	
4	400	1	4.56	63.80	68.21	3.62	0.02	28.07	0.08	5.60	460.93	0.33	8940	1951	189	74.77	87.80	
5	400	2	108.89	25.55	66.98	4.3	0.22	28.46	0.04	6.80	577.53	0.55	10846	3000	180	129.43	102.60	
6	400	3	100.56	26.85	68.68	3.13	0.06	28.09	0.04	6.20	27.07	0.52	6225	2190	1526	25.23	96.81	
7	500	1	330.63	22.87	72.98	2.92	0.10	23.99	0.01	7.90	23.10	0.64	9423	2844	233	85.67	41.30	
8	500	2	370.37	22.41	70.74	2.98	0.10	26.07	0.11	7.80	82.97	0.79	11087	3595	149	131.67	69.26	
9	500	3	376.51	23.07	73.26	2.91	0.08	23.64	0.11	7.70	19.53	0.39	8263	2528	1832	84.80	64.40	
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		

2.2) ในช่อง Response variables ให้เลือก Surface area, APD, และ pH และในช่อง Continuous predictors ให้เลือก Temp ,Time

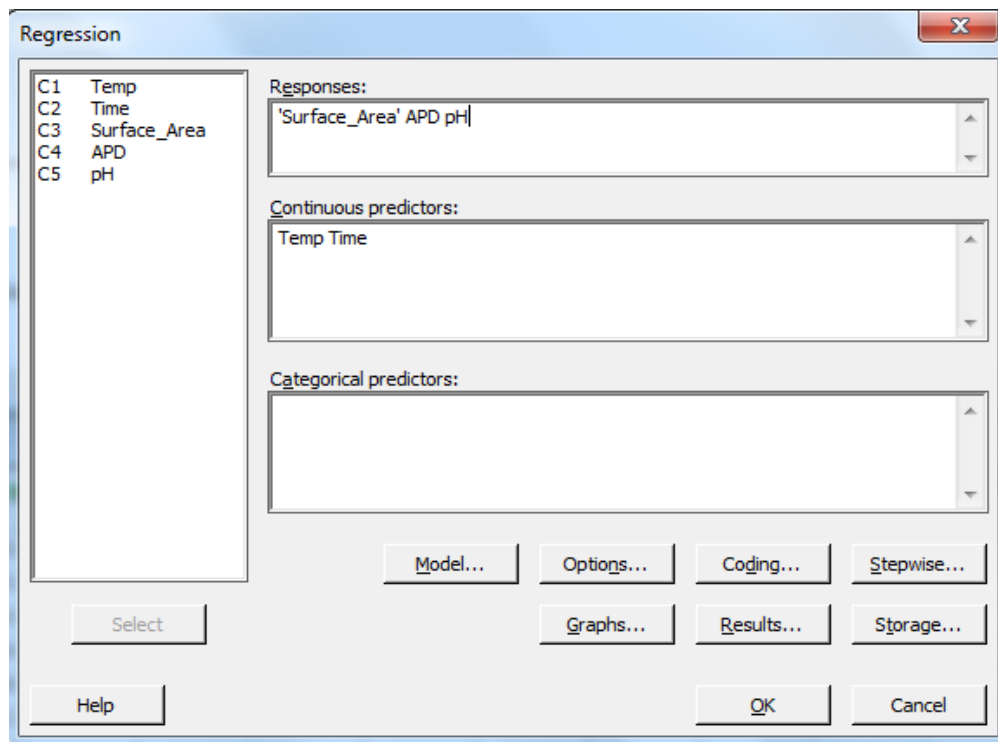
2.3) Click ที่ปุ่ม Options... และเลือก Confident interval เป็น 95



2.4) Click ที่ปุ่ม Results... เลือกการแสดงผล



2.5) Click ที่ปุ่ม OK เพื่อเริ่มวิเคราะห์ข้อมูล



2.6) Click ที่ปุ่ม OK เพื่อเริ่มวิเคราะห์ข้อมูล

### 3. ผลการวิเคราะห์ในไฟล์ Regression

Regression Analysis

Surface area vs Temp & Time

Best fit Linear Regression (First order)

$R^2$  0.8268

Coefficient

Term	Coefficient	SE Coefficient	P-value
Constant	-614	128	0.003
Temp ( $X_1$ )	1.775	0.283	0.001
Time ( $X_2$ )	24.3	28.3	0.423

P-value indicates that;

- temp significantly effect surface area ( $P < 0.05$ )
- time do not significantly effect surface area ( $P > 0.05$ )

### Regression Equation

$$\text{Surface\_Area} = -614 + 1.775X_1 + 24.3X_2$$

APD vs Temp & Time

Best fit Linear Regression

$$R^2 = 0.7371$$

#### Coefficient

Term	Coefficient	SE Coefficient	P-value
Constant	138.5	20.0	0.000
Temp ( $X_1$ )	-0.2017	0.0440	0.004
Time ( $X_2$ )	-8.15	4.40	0.114

P-value indicates that;

- temp significantly effect surface area ( $P < 0.05$ )
- time do not significantly effect surface area ( $P > 0.05$ ).

### Regression Equation

$$\text{APD} = 138.5 - 0.2017X_1 - 8.15X_2$$

pH vs Temp & Time

Best fit Linear Regression

$$R^2 = 0.7794$$

#### Coefficient

Term	Coefficient	SE Coefficient	P-value
Constant	2.100	0.954	0.070
Temp ( $X_1$ )	0.01150	0.00210	0.002
Time ( $X_2$ )	-0.100	0.210	0.651

P-value indicates that;

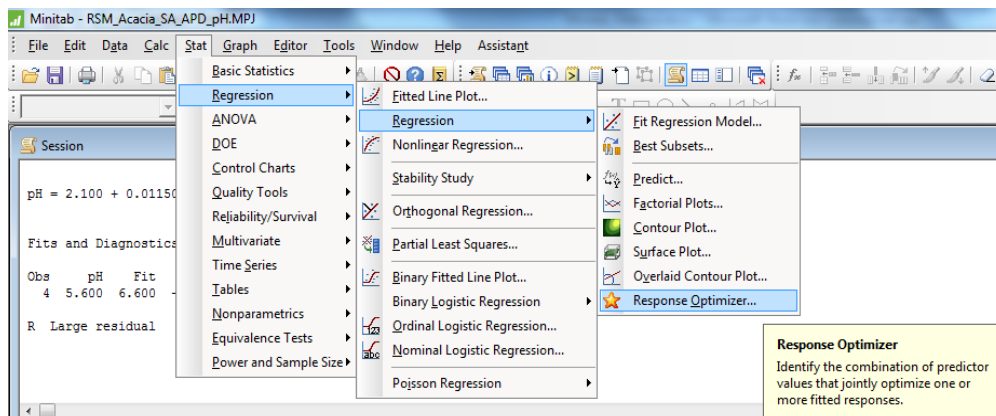
- temp significantly effect surface area ( $P < 0.05$ )
- time do not significantly effect surface area ( $P > 0.05$ ).

## Regression Equation

$$APD = 2.100 + 0.01150X_1 - 0.100X_2$$

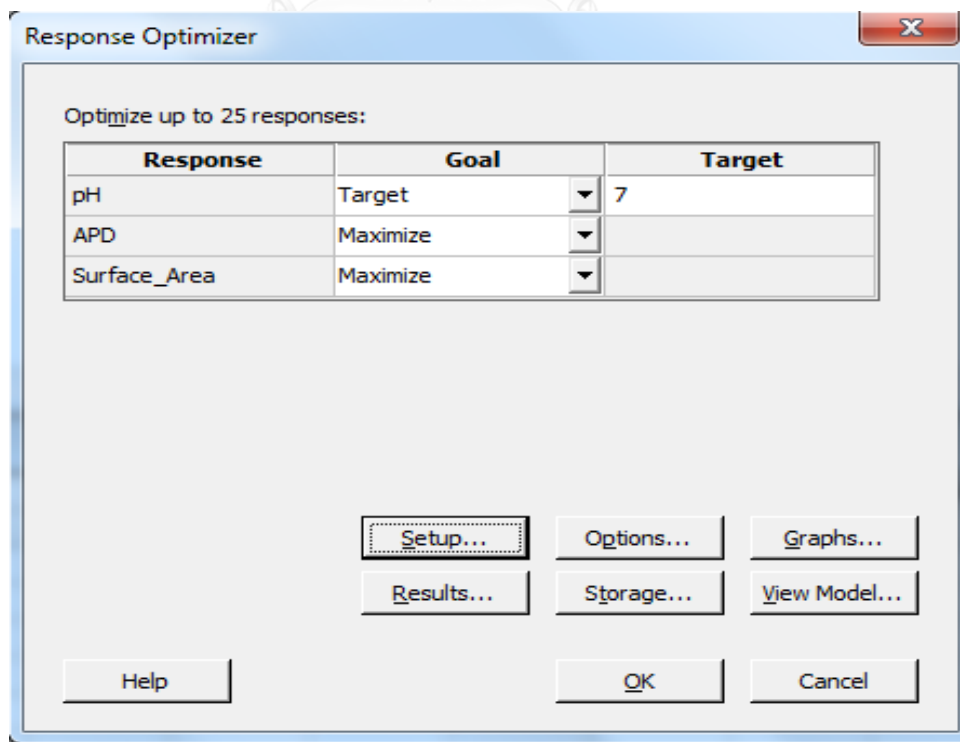
วิเคราะห์หา Optimum Conditions โดยใช้คำสั่ง Stat--> Regression --> Regression--

>Response Optimizer...

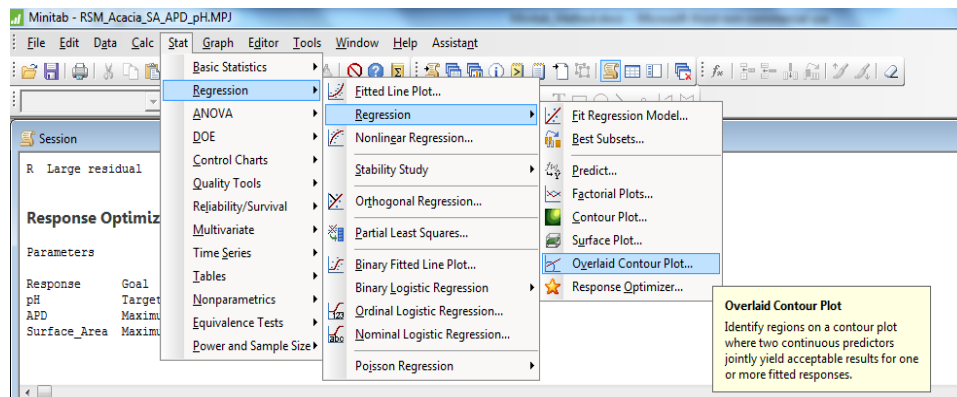


1. กำหนดค่า Goal และ Target ดังนี้

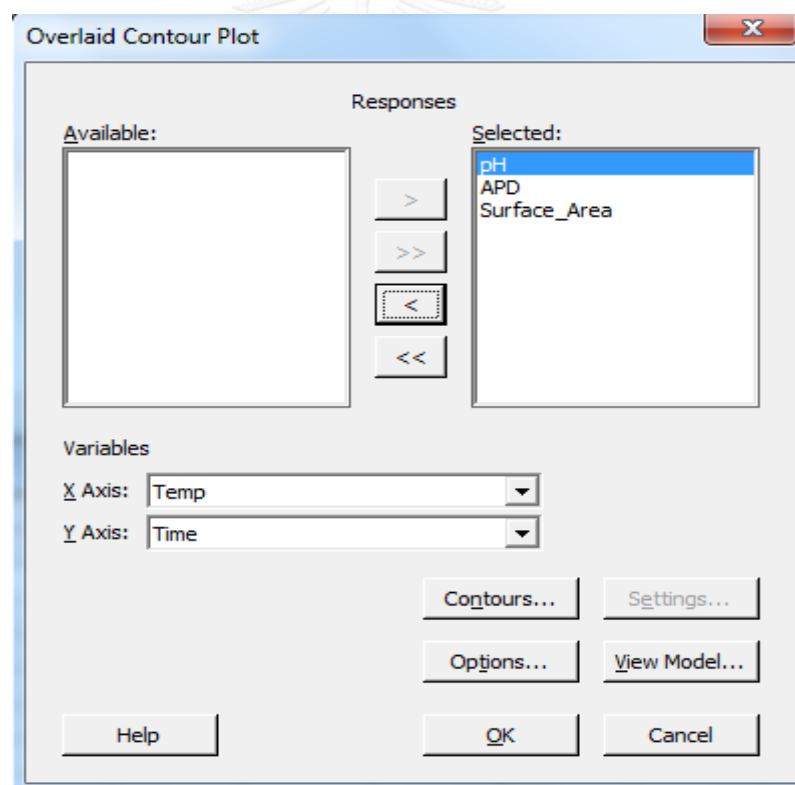
- pH กำหนด Goal แบบระบุค่า โดยกำหนดให้ pH ที่เหมาะสมที่สุดมีค่า =7
- APD กำหนดให้มียค่ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (maximize)
- Surface area กำหนดให้มียค่ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้(maximize)จากนั้น click ปุ่ม OK



2. Plot graph overlaid contour โดยเลือกคำสั่ง Stat--> Regression --> Regression -  
-> Overlaid Contour Plot...



3. เลือก response เป็น pH, APD, surface area



4. Click ปุ่ม contour เพื่อกำหนดค่า low และ high ของ response แต่ละตัว ดังนี้ค่า low กำหนดจาก ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จาก condition ที่เหมาะสม ลบกับค่า SE ของตัวแปรนั้นๆ ค่า high กำหนดจาก ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จาก condition ที่เหมาะสม บวกกับค่า SE ของตัวแปรนั้นๆ



ดังนั้น

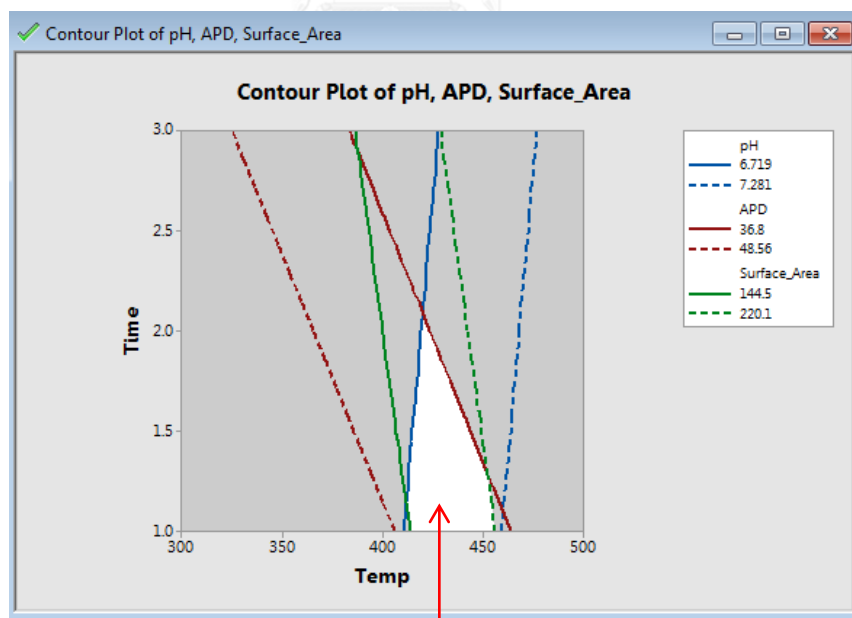
- ค่า low ของ pH =  $7 - 0.281 = 6.719$       ค่า high ของ pH =  $7 + 0.281 = 7.281$
- ค่า low ของ APD =  $42.68 - 5.88 = 36.8$       ค่า high ของ APD =  $7 + 0.281 = 48.56$
- ค่า low ของ surface area =  $182.3 - 37.8 = 144.5$       ค่า high ของ surface area =  $182.3 + 37.8 = 220.1$

Overlaid Contour Plot: Contours

Response	Low	High
pH	6.719	7.281
APD	36.8	48.56
Surface_Area	144.5	220.1

Help      OK      Cancel

5. Click ปุ่ม OK จะได้กราฟ ดังนี้



พื้นที่สีขาวเป็นแสดง optimum condition ของค่า pH, APD .และ surface area

## ภาคผนวก 2

### วัสดุที่ได้ผลิตถ่านชีวภาพ

#### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ



เศษไม้กระถินยักษ์

กะลามะพร้าว

#### 2.2 เตาเผาไฟฟ้าห้องปฏิบัติการ



ตัวอย่างถ่านชีวภาพในห้องปฏิบัติการ



2.3 เตาเผาถ่านชีวภาพจากถังโลหะขนาดความจุ 200 ลิตร



เตาเผาถ่านจากถังโลหะขนาด 200 ลิตร

ถังโลหะขนาด 50 ลิตร สำหรับบรรจุวัสดุ





การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาใช้น้ำหนักของเชื้อเพลิงเท่ากับวัสดุผลิตถ่าน  
ควบคุมอากาศภายนอกโดยปิดกันทั้ง 4 ด้านและตรวจสอบอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวันแสงอินฟราเรด



ผลผลิตถ่านชีวภาพ



#### 2.4 ทำการบดและคัดแยกขนาด

การบดย่อยเพื่อให้ได้ขนาด > 1 เซนติเมตร



ตระแกรงคัดขนาด < 4.76 มิลลิเมตร สำหรับการทดลอง



### ภาคผนวก 3 การเตรียมพื้นที่ทดลอง

#### 3.1 การจัดทำมุ้งสำหรับงานทดลอง



#### 3.2 พื้นที่ทดลองปลูกงาดำ



#### 3.3 ภาพแสดงช่วงอายุของงาดำ

ช่วงอายุ 1-10 วัน





ช่วงอายุ 20 วัน



อายุ 30-40 วัน(ช่วงการติดดอก)



อายุ 60 วัน



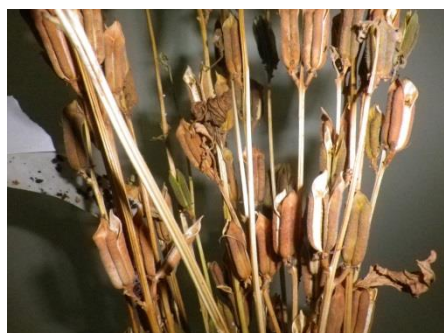
ระยะเก็บเกี่ยว 80 -90 วัน



### 3.4 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้น และน้ำหนักฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1-3



ลักษณะของฝักงาดำ





### ลักษณะของเมล็ด



### 3.5 ปริมาณผลผลิตแต่ละชุดการทดลอง

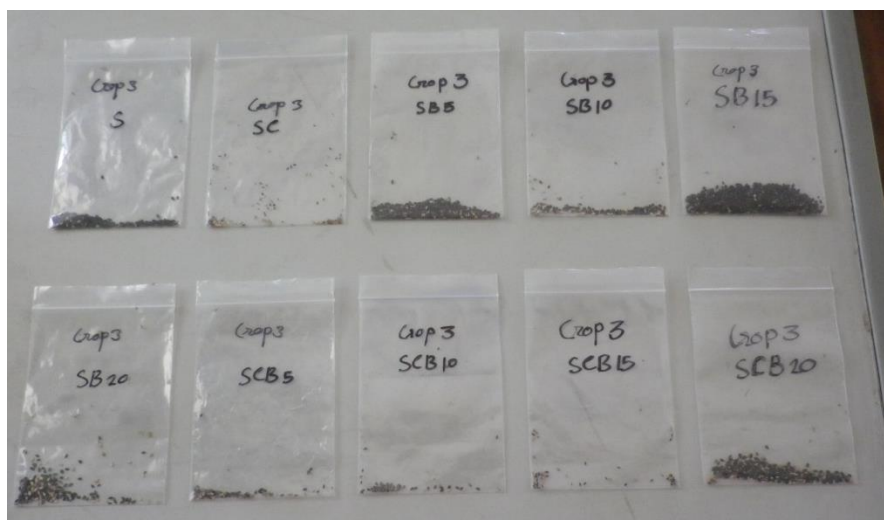
#### เมล็ดงาดำฤดูกาลเพาะปลูกที่ 1



#### เมล็ดงาดำฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2



## ฤดูกาลเพาะปลูกที่ 3



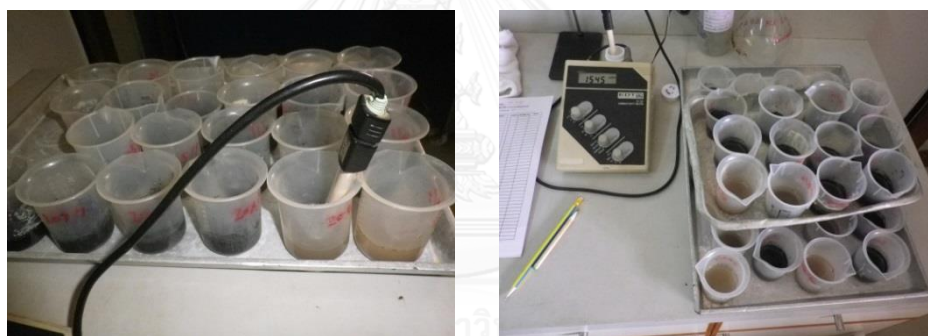
## ภาคผนวก 4

### เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### 4.1 pH meter



#### 4.2 Electrical Conductivity meter

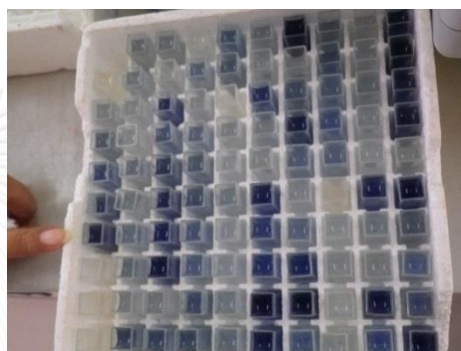


#### 4.3 การเตรียมดินเพื่อวิเคราะห์





#### 4.4 เครื่องตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัส (Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 นาโนเมตร)



#### 4.5 การวิเคราะห์โปแทสเซียม (Flame Photometer)



**ภาคผนวก 5**  
**เกณฑ์และระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช**

ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)					
ธาตุอาหารพืช	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช(mg kg <sup>-1</sup> )				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
pH	<3.5	3.6-6.5	6.6-7.3	7.4-8.9	>9.0
EC	<2	2-4	4-8	8-16	>16
OM	<0.5	1.0-1.5	1.5-2.5	3.5-4.5	>4.5
Phosporus(P)	< 3	3-10	11 - 15	16-45	> 45
Calcium(Ca)	< 400	400-1000	1001-2000	2001- 4000	>4000
Magnesium(Mg)	< 36	36-120	121-365	366-975	> 975
Potassium(K)	< 30	30-60	61 - 90	91-120	>120
Sulfer(S)	< 5	5-10	11-20	21-30	> 30

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก						
มาก	ต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง	สูง	สูงมาก
CEC	<3.0	3.0-5.0	5.0-10.0	10.0-15.0	15.0-20.0	>30.0

ระดับธาตุประจุบวกต่างๆ ที่สกัดได้ในดิน					
(วิธีวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก NH <sub>4</sub> Oac 1 N pH7 อัตราส่วน 1:20)					
ระดับ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
Ca <sup>2+</sup>	<2.0	2.0-5.0	5.0-10.0	10.0-20.0	>20.0
Mg <sup>2+</sup>	<0.3	0.3-1.0	1.0-3.0	3.0-8.0	>8.0
K <sup>+</sup>	<0.08	0.08-0.15	0.15-0.23	0.23-0.31	>0.31
N <sup>+</sup>	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.7	0.7-2.0	>2.0

ที่มา : ปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ดาบตำรวจ พินิจภณ ปิตุยะ เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2507 ที่จังหวัด นครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป คณะ วิทยาการจัดการ วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม ปีการศึกษา 2536 จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากร ธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้นได้เข้า ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

