บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ผลของถ่านชีวภาพจากเตาแต่ละแบบต่อคุณสมบัติดิน การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานสีม่วง มีวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. ถ่านชีวภาพ
2. ดิน คุณสมบัติของดิน และธาตุอาหารพืช
3. แกลบ
4. เตาเผาถ่านชีวภาพ
5. ข้าวโพดหวานสีม่วง

1. ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์ (biochar) คือ ของแข็งหรือเถ้าหรือถ่านที่ได้จากการนำชีวมวลมาเผาหรือให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนหรือสภาพที่มีออกซิเจนจำกัด ชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพได้มาจากวัตถุดิบอินทรีย์ที่ได้โดยตรงจากสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์ หรือโดยอ้อมจากของเสียที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ผลผลิตที่ได้ประกอบด้วย น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (Syngas) ได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ มีเทน (CH_4) รวมกัน 20% และถ่านชีวภาพ 20% (อรสา สุกสว่าง, 2552) โดยสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตในพืชด้วยการปรับสภาพความเป็นกรดในดิน เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน และเพิ่มความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารและน้ำในดินของพืช

1.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ

1.1.1 พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เช่น อ้อย, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด และข้าวฟ่างหวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่าง ๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้

1.1.2 เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (agricultural residues) เช่น ฟางข้าว, เศษลำต้นข้าวโพด, ซังข้าวโพด, เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น

1.1.3 ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว, ยูคาลิปตัส, กระถินณรงค์, เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น

1.1.4 ของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (waste streams) เช่น กากน้ำตาล, ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล, แกลบ, ขี้เลื่อย, เส้นใยปาล์ม, กะลาปาล์ม เป็นต้น

1.2 กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ (กันยาพร ไชยวงศ์, ณัฐพล วิชาญ และธัญศิภรณ์ จันทร์หอม, 2555) การเผาไหม้ชีวมวลเพื่อผลิตถ่านชีวภาพนั้น เรียกว่า “การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)” มีการปฏิบัติกันอยู่ 2 วิธี คือ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) และการแยกสลายความร้อนแบบเร็ว (Fast Pyrolysis)

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือกระบวนการกลั่นสลาย เป็นกระบวนการกลั่นสลายตัวทางความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยทางอ้อม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง ของเหลวที่ควบแน่นได้ และก๊าซ กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแตกออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง หรือต่อกันเป็นสายโซ่ที่สั้นลง โดยมีปฏิกิริยาทางเคมีทั่วไป ดังนี้

ปฏิกิริยามูลฐาน

สารอินทรีย์ $\longrightarrow$ ก๊าซ + ของเหลว + ถ่านชาร์ (ของแข็ง)

ปฏิกิริยารอง

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ + ความร้อน

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ - ความร้อน

$CO + CO_2 \longrightarrow 2CO$ - ความร้อน

$CO + O_2 \longrightarrow CO_2$ + ความร้อน

$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_4$ + ความร้อน

จากปฏิกิริยามูลฐานพบว่าการเกิดการสลายตัวทางความร้อนของสารอินทรีย์หรือชีวมวลจะทำให้เกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้เกิดก๊าซที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และชาร์ (ของแข็ง) กระบวนการไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบช้า และแบบเร็ว

1.2.1 การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายสารอินทรีย์แบบช้า ๆ ใช้ระยะเวลาเป็นชั่วโมง และใช้อุณหภูมิระหว่าง 350-600 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (EEDA, 2009) ซึ่งเตาเผาที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมนำมาพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพสังคมในปัจจุบัน

1.2.2. การแยกสลายความร้อนแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) คือ ส่วนการแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็ว จะใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้เป็นวินาที ในกระบวนการเผาไหม้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุม การทำงานทุกขั้นตอน ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 500-1,000 องศาเซลเซียส

ตาราง 2.1 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน

การแยกสลายด้วยความร้อน	**ถ่าน (%)**	**ของเหลว (%)**	**ก๊าซ (%)**
แบบช้า	35	30	35
แบบเร็ว	12	75	13

ที่มา : http:// International Biochar Initiative.org (2560)

1.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ (เสาวคนธ์ เหมวงษ์, ประเสริฐ บุญพิทักษ์กุล และยุทธนา มูลสุวรรณ, 2559)

1.3.1 ความพรุนและพื้นที่ผิว มีบทบาทสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยส่งผลต่อการอุ้มน้ำ ความจุในการดูดซับ และความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหาร การเพิ่มปริมาณความพรุน และพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเผา

1.3.2 ปริมาณธาตุอาหาร ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพที่ได้จากกระดูกจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง หากผลิตถ่านชีวภาพมาจากไม้เนื้อแข็งจะมีปริมาณธาตุอาหารต่ำ

1.3.3 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่เป็นประจุบวก และจะปลดปล่อยออกมาเพื่อให้พืชนำมาใช้ประโยชน์ ถ่านชีวภาพที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงจะสามารถดูดซับธาตุโลหะหนักและสารประกอบที่ปนเปื้อนในดินได้ เช่น สารกำจัดแมลง สารกำจัดวัชพืช เป็นต้น

1.3.4 ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ถ่านชีวภาพโดยทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นด่าง สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยเฉพาะดินที่มีสภาพเป็นดินกรด หรือดินที่ถูกทำลายจากการใช้สารเคมีในระยะเวลานาน

1.3.5 การกักเก็บคาร์บอน ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนสูง ใช้เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในดิน และเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศด้วยการสังเคราะห์

แสงของพืชให้มาอยู่ในรูปคาร์บอนที่เสถียรและสะสมในถ่านชีวภาพ จัดเป็นการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

2. ดิน คุณสมบัติของดิน และธาตุอาหารพืช

ดินเกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุ (organic matter) ที่ได้มาจากการสลายตัวของเศษซากพืชและสัตว์จนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะร่วน ไม่เกาะกันแข็งเป็นหิน เกิดขึ้นปกคลุมพื้นผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ และเป็นที่ยึดเหนี่ยวรากพืช และเป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2556)

2.1 ความสำคัญของดิน

2.1.1 เป็นที่ยึดเกาะของรากพืช รากของพืชจะเติบโตชอนไชหยั่งลึกแพร่กระจายลงไปในดินอย่างกว้างขวางทั้งแนวลึกและแนวราบ ดินที่ร่วนซุยและมีชั้นดินลึก ทำให้รากพืชสามารถเจริญเติบโต รากเกาะยึดดินได้แน่น ต้านทานต่อลมพายุ และไม่ทำให้ต้นพืชล้ม

2.1.2 เป็นแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารพืชจะถูกปลดปล่อยออกจากอินทรียวัตถุและแร่ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดิน ให้อยู่ในรูปที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย

2.1.3 เป็นแหล่งเก็บกักน้ำหรือความชื้นในดิน ให้อยู่ในรูปที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่าย เพื่อไปหล่อเลี้ยงลำต้นและสร้างการเจริญเติบโตให้กับพืช น้ำในดินจะต้องอยู่ในสภาพที่เหมาะสมที่รากพืชสามารถดูดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ การรดน้ำพืชจนขังแฉะทำให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่งผลให้พืชเหี่ยวเฉาและตายในที่สุด

2.1.4 เป็นแหล่งให้อากาศแก่รากพืช รากพืชใช้อากาศในดินเพื่อการหายใจ รากพืชประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิต ต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ ทำให้เกิดพลังงานสำหรับการดูดน้ำ และธาตุอาหารของพืช ดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี รากพืชจะเจริญเติบโต สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารได้มาก ทำให้ต้นพืชเจริญเติบโต แข็งแรง และให้ผลิตผลสูง

2.2 ประเภทของดิน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยปริมาณอินทรียวัตถุในดินเป็นเกณฑ์ ดังนี้

2.2.1 ดินอินทรีย์ (organic soil) คือ ดินที่มีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก มีอินทรียวัตถุมากกว่า 20% หรือมีความหนาของชั้นอินทรียวัตถุรวมกันมากกว่าความหนาของชั้นอนิ

นทรียวัตถุ โดยทั่วไปมีชั้นอินทรียวัตถุหนากว่า 40 เซนติเมตร อินทรียวัตถุในชั้นนี้อาจเป็นเศษใบไม้ กิ่งไม้ หรือสารอินทรีย์ที่กำลังสลายตัว ยังคงมองเห็นเป็นชิ้นส่วนของเศษซากพืชทับถมกันอยู่บนชั้นอินทรียวัตถุที่สลายตัวแล้ว

2.2.2 ดินอนินทรีย์ (inorganic soil) คือ ดินที่มีอนินทรียวัตถุหรือสารประกอบจำพวกแร่เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก มีอินทรียวัตถุน้อยกว่า 20%

2.3 องค์ประกอบของดิน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2556)

2.3.1 อนินทรียวัตถุ หรือ แร่ธาตุ มีปริมาณมากในดินทั่วไป อนินทรียวัตถุได้จากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ อนินทรียวัตถุในดินมีลักษณะของชิ้นส่วนที่เรียกว่า “อนุภาคดิน” ซึ่งมีหลายรูปทรงและมีขนาดแตกต่างกันไป แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มอนุภาคขนาดทราย มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.00-0.05 มิลลิเมตร

2) กลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05-0.002 มิลลิเมตร

3) กลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง < 0.002 มิลลิเมตร

อนินทรียวัตถุ หรือแร่ธาตุในดินเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมลักษณะของเนื้อดิน เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้อนุภาคที่อยู่ในกลุ่มขนาดดินเหนียวยังเป็นส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการทางเคมีต่างๆ ในดินด้วย

2.3.2 อินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุในดินครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของซากพืช ซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่แต่ไม่รวมถึงรากพืช หรือเศษซากพืช หรือสัตว์ที่ยังไม่มีการย่อยสลาย อินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุกำมะถัน อีกทั้งมีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของดิน เช่น โครงสร้างดิน ความร่วนซุย การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ การดูดซับน้ำ และธาตุอาหารของดิน ซึ่งส่งผลกระทบไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.3.3 น้ำในดิน หมายถึง ส่วนของน้ำที่พบอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินหรือเม็ดดิน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากน้ำในดินเป็นตัวช่วยละลายธาตุอาหารต่างๆ ในดิน และการเคลื่อนย้ายอาหารพืชจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช

2.3.4 อากาศในดิน หมายถึง ส่วนของก๊าซต่างๆ ที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ก๊าซทั่วไปที่พบในดิน ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งรากพืชและจุลินทรีย์ในดินใช้ในกระบวนการหายใจ และสร้างพลังงานในการดำรงชีวิต

2.4 คุณสมบัติของดิน คุณสมบัติที่สำคัญของดินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และคุณสมบัติด้านธาตุอาหารพืช (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2556)

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

1) เนื้อดิน (texture) เนื้อดินเป็นสมบัติที่บอกถึงความหยาบหรือละเอียดของชิ้นส่วนเล็กๆ ของดิน เรียกว่า "อนุภาคของดิน" ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ขนาดใหญ่เรียกว่าอนุภาคขนาดทราย (2.0-0.05 มิลลิเมตร) ขนาดกลางเรียกว่าอนุภาคขนาดทรายแป้ง (0.05-0.002 มิลลิเมตร) และขนาดเล็กที่สุดคืออนุภาคดินเหนียว (< 0.002 มิลลิเมตร) เนื้อดินอาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

(1) ดินทราย เป็นดินที่มีอนุภาคขนาดทรายเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 85% จะเกาะตัวกันหลวมๆ และมองเห็นเป็นเม็ดเดี่ยวๆ ถ้าสัมผัสดินที่อยู่ในสภาพแห้งจะรู้สึกสากมือ หากดินอยู่ในสภาพชื้นจะมีลักษณะเป็นก้อนหลวมๆ แต่พอสัมผัสจะแตกออกจากกันทันที ดินทรายเป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดี ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารพืชมีน้อย เนื้อดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดินทราย ดินทรายปนดินร่วน และดินร่วนปนทราย

(2) ดินร่วน ประกอบด้วยอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในปริมาณใกล้เคียงกัน (อนุภาคขนาดดินเหนียว 7-27% อนุภาคขนาดทรายแป้ง 28-50% และมีอนุภาคขนาดทรายน้อยกว่า 52% เนื้อดินค่อนข้างละเอียด ในสภาพดินแห้งจะจับกันเป็นก้อนแข็งพอประมาณ ในสภาพดินชื้นเมื่อสัมผัสหรือคลึงดินจะรู้สึกนุ่มมือแต่อาจจะรู้สึกสากมืออยู่บ้างเล็กน้อย เมื่อกำดินให้แน่นในฝ่ามือแล้วคลายมือออก ดินจะจับกันเป็นก้อนไม่แตกออกจากกัน ดินร่วนมีการระบายน้ำปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่มีความเหมาะสมสาหรับการเพาะปลูก เนื้อดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง

(3) ดินเหนียว ประกอบด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียวตั้งแต่ 40% ขึ้นไป มีอนุภาคขนาดทราย 45% หรือน้อยกว่า และมีอนุภาคขนาดทรายแป้งน้อยกว่า 40% เนื้อดินละเอียด ในสภาพดินแห้งจะแตกออกเป็นก้อนแข็ง เมื่อเปียกน้ำแล้วจะมีความยืดหยุ่น สามารถปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ ลักษณะดินเหนียวเหนอะหนะติดมือ ดินมีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี สามารถอุ้มน้ำ ดูดยึด และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดี เนื้อดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย และดินเหนียวปนทรายแป้ง

2) โครงสร้างดิน (soil structure) เป็นสมบัติของดินที่เกิดขึ้นจากการเกาะจับกันของอนุภาคที่เป็นของแข็งในดิน (ส่วนที่เป็นแร่ธาตุหรืออนินทรียสารและอินทรียวัตถุ) เกิดเป็นเม็ดดินหรือเป็นก้อนดินที่มีขนาด รูปร่าง และความคงทนแข็งแรงในการยึดตัวต่างๆกัน โครงสร้างของดินมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำที่ผิวดิน การอุ้มน้ำ ระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศในดิน รวมถึงการแพร่กระจายของรากพืชด้วย โครงสร้างดินอาจเกิดจากแรงเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคในดิน นอกจากนี้ รากพืช กิจกรรมของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน อินทรียวัตถุ และสารอื่นๆ ที่มีในดิน สามารถที่จะเป็นตัวเชื่อมให้เกิดโครงสร้างดิน เช่น ดินทรายมีเม็ดทรายกระจายอยู่เป็นเม็ดเดี่ยวๆ ไม่มีการเกาะกันเป็นโครงสร้างแบบก้อนกลม ทำให้การอุ้มน้ำไม่ดี เมื่อฝนตกดินอุ้มน้ำได้น้อยจึงเกิดสภาพแห้งแล้งได้ง่าย ดินเหนียวมีอนุภาคเกาะกันแน่นเป็นก้อนทึบ อุ้มน้ำได้มากเมื่อฝนตก แต่เนื้อดินจะแน่นทึบไม่โปร่งซุยเหมือนดินทราย การถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำไม่ดี ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง รากพืชไม่สามารถเจริญเติบโต ดูดน้ำและธาตุอาหารได้ (ดุสิต จิตตนูนท์, 2554)

3) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เป็นสัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดิน หรือน้ำหนักแห้งของดินกับปริมาตรรวมของดิน สามารถคำนวณได้จากสูตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นรวมของดิน } (\rho_b) = \frac{\text{มวลแห้งของดิน } (m_s)}{\text{ปริมาตรรวมของดิน } (V_b)}$$

เมื่อ มวลแห้งของดิน (m_s) คือ มวลของดินตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

ปริมาตรรวมของดิน (V_b) คือ ปริมาตรของของแข็ง (V_s) + ปริมาตรของช่องว่างในดิน (V_p)

ความหนาแน่นรวมของดินโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 1.0-1.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าดินยึดเกาะอย่างหลวมๆ และโปร่ง ความหนาแน่นรวมมักต่ำ ถ้าดินถูกอัดแน่น ความหนาแน่นของดินสูงขึ้น

4) ความพรุนของดิน (soil porosity) คือ ส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมด โดยช่องว่างในเม็ดดินขึ้นอยู่กับปริมาตรและขนาดของช่องว่างในดิน ความพรุนดินสามารถจำแนกได้หลายประเภท เช่น ความพรุนรวม ความพรุนของช่องบรรจุอากาศ และความพรุนช่องบรรจุน้ำ ทั้งนี้ปริมาตรของช่องบรรจุอากาศ หรือปริมาตรของช่องบรรจุน้ำของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ความพรุนรวม (total porosity; E) เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของช่องและปริมาตรรวมของดิน การคำนวณความพรุนรวม คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{ความพรุนรวม (E)} = \frac{\text{ปริมาตรของช่อง } (V_p)}{\text{ปริมาตรรวมของดิน } (V_b)}$$

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมี

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) หรือที่เรียกกันว่า "พีเอช" (pH) เป็นค่าปฏิกิริยาดิน วัดได้จากความเข้มข้นของปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในดิน โดยทั่วไปค่าพีเอชของดินจะบอกเป็นค่าตัวเลขตั้งแต่ 1-14 ถ้าดินมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 แสดงว่าดินนั้นเป็นดินกรด หากพีเอชของดินมากกว่า 7 แสดงว่าดินนั้นเป็นดินด่าง ค่าพีเอชของดินมีความสำคัญต่อการปลูกพืชมาก เนื่องจากเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดินให้ออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีค่าพีเอชไม่เหมาะสมธาตุอาหารในดินอาจจะละลายออกมาได้น้อย และไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้ามธาตุอาหารบางชนิดอาจจะละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ พืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตในดินที่มีช่วงพีเอชต่างๆ กัน ซึ่งสามารถใช้ชุดตรวจสอบชนิดใช้น้ำยาเปลี่ยนสีตรวจสอบ เรียกว่า pH Test Kit หรือชุดตรวจสอบพีเอชความเป็นกรด-ด่างของดิน

ตารางที่ 2.2 ค่า pH ของดินที่แสดงความเป็นกรด – ด่างของดิน

ค่า pH	ความเป็นกรด – ด่างของดิน
น้อยกว่า 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด
3.5 – 4.5	กรดรุนแรงมาก
4.6 – 5.0	กรดจัดมาก
5.1 – 5.5	กรดจัด
5.6 – 6.0	กรดปานกลาง
6.1 – 6.5	กรดเล็กน้อย
6.6 – 7.3	กลาง
7.4 – 7.8	ด่างเล็กน้อย
7.9 – 8.4	ด่างปานกลาง
8.5 – 9.0	ด่างจัด
มากกว่า 9.0	ด่างจัดมาก

ที่มา: ดุสิต จิตตนูนท์ (2554)

2) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) หมายถึงปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ที่ดินนั้นสามารถดูดยึดไว้ได้ มีหน่วยเป็นเซนติโมลต่อน้ำหนักดิน 1 กิโลกรัม (cmol/kg) ค่า CEC ของดินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของคอลลอยด์ดิน และสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน ดินที่มีแร่ดินเหนียวมากก็จะมีประจุลบมาก สามารถดูดยึดธาตุอาหารที่มีประจุบวก (cation) ได้มาก แร่ดินเหนียวจึงมีความสำคัญในการควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ความรุนแรงของสภาพความเป็นกรดในดิน ความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียว โดยที่แร่ในกลุ่มเคโอลิน จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุน้อยกว่าแร่ดินเหนียวในกลุ่มสเม็กไทต์ และอิลไลต์ เป็นต้น

2.4.3 คุณสมบัติทางชีวภาพ ชนิด จำนวนประชากร และกิจกรรมทางจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงในดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช เช่น การก่อตัวและพัฒนาการของดิน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน การปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืช การเพิ่มฮิวมัส การตรึงไนโตรเจนจากอากาศ การเปลี่ยนสารฟอสเฟตให้มาอยู่ในรูปของสารละลายที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ และการดูดธาตุอาหารจากดินโดยรากพืช เป็นต้น สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดินที่สำคัญ แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มจุลินทรีย์ เช่น รา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และสาหร่าย เป็นต้น กลุ่มสัตว์ เช่น ไส้เดือน สัตว์ฟันแทะ โปรโตรซัว ไส้เดือนฝอย และอาร์โทรปอดต่างๆ เป็นต้น และกลุ่มพืช (พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี , 2560)

2.4.4 คุณสมบัติทางธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโต ออกดอกและติดผล ซึ่งมีทั้งหมด 16 ธาตุ โดยมี 3 ธาตุ ที่พืชได้มาจากอากาศและน้ำ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ส่วนอีก 13 ธาตุนั้น พืชต้องดูดขึ้นมาจากดิน ซึ่งธาตุเหล่านี้ได้มาจากการผุพังสลายตัวของส่วนที่เป็นอนินทรียวัตถุและอินทรียวัตถุหรือฮิวมัสในดิน สามารถแบ่งตามปริมาณที่พืชต้องการใช้ได้ เป็น 2 กลุ่มคือ มหธาตุ และจุลธาตุ

1) ธาตุอาหารพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

(1) มหธาตุ (macronutrients) มหธาตุหรือธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ที่ได้มาจากดินมีอยู่ 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจาก 3 ธาตุนี้พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก แต่ในดินมีธาตุอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช

2. ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อยกว่าธาตุอาหารหลัก และไม่ค่อยมีปัญหาขาดแคลนในดินเหมือนธาตุอาหารหลัก

(2) จุลธาตุ หรือ ธาตุอาหารเสริม (micronutrients) ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (Bo) โมลิบดินัม (Mo) คลอรีน (Cl) และ นิกเกิล (Ni) จัดเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ พืชจะแสดงอาการที่แตกต่างกันตามแต่ชนิดของธาตุอาหารที่ขาด (พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี, 2560)

3. แกลบ

3.1 แกลบดิบ หมายถึง ส่วนเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวไว้ แกลบได้มาจากขบวนการสีข้าว ดังนั้นแกลบถือว่าเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ในแกลบมีสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลายอย่าง ส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์มีมากถึง 75-90% ส่วนที่เหลือเป็นส่วนประกอบของแร่ต่างๆ เช่น ซิลิกา (silica), สารประกอบแอลคาไลด์ (alkalis) และธาตุอาหารพืชบางส่วน (Sarangi *et al*., 2009) เมื่อนำแกลบไปวิเคราะห์พบว่าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน (Carbon) มาก ถึงประมาณ 35% ไฮโดรเจน (Hydrogen) ประมาณ 3-5% (Loha *et al*., 2011) ออกซิเจน (Oxygen) ประมาณ 31-37% ไนโตรเจน (Nitrogen) ประมาณ 0.23-0.32% ซัลเฟอร์ (Sulphur) ประมาณ 0.04-0.08% และที่เหลือเป็นความชื้นประมาณ 8-9% ดังแสดงในตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีในแกลบมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและแหล่งที่ทำการเพาะปลูกข้าว

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีทั่วไปของแกลบ

คุณสมบัติ	ช่วงของค่า
ความแข็ง	5-6 kg/m3
ความหนาแน่นแบบก้อน	96-160 Mohr’s scale
เถ้าถ่าน	22-29 %
คาร์บอน	ประมาณ 35 %

ไฮโดรเจน	3-5 %
ออกซิเจน	31-37 %
ไนโตรเจน	0.23-0.32 %
ซัลเฟอร์	0.04-0.08 %
ความชื้น	8-9 %

ที่มา: Kumar et al., (2012)

3.2 แกลบเผา หมายถึง แกลบที่นำไปเผาให้ความร้อนจนกลายเป็นสีดำ แกลบเผามีสารที่สำคัญหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ที่สามารถเผาไหม้ให้เป็นไอได้ (volatile matter) ประมาณ 63.7% สารประเภทคาร์บอนคงที่ (Fix carbon) ประมาณ 10.5% และขี้เถ้า (Ash) ประมาณ 25.8% (Sarangi *et al*., 2009, Loha *et al*., 2011) กลุ่มสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยเป็นไอได้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดก๊าซที่สำคัญขึ้น เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ไฮโดรเจน (H_2) มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (water vapor) เป็นต้น ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้มีหลายปฏิกิริยา เช่น

$C + O_2 \longrightarrow CO_2$ ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจากน้ำ (Water Gas)

$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$ ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน (Methane Reaction)

นอกจากนี้แกลบมีค่าพลังงานความร้อน 14.27 MJ/kg (กรมพัฒนา พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ซึ่งมีค่ามากพอๆ กับวัสดุประเภท ชานอ้อย ก้านมะพร้าวและ กิ่งไม้ยางพารา

4. เตาเผาถ่านชีวภาพ

เกษตรกรนิยมประดิษฐ์เตาเผาถ่านชีวภาพ เพื่อนำถ่านชีวภาพมาใช้ในการปรับปรุงดิน เตาเผาถ่านชีวภาพที่ประดิษฐ์ขึ้นมานี้สามารถควบคุมอุณหภูมิและอากาศที่จะเข้าสู่เตาได้ ส่งผลให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีคุณภาพดี ตัวอย่างเตาเผาถ่านชีวภาพที่เกษตรกรนิยมใช้ ดังนี้

4.1 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 1 เตาชั้นเดียวแนวตั้ง โดยใช้ถัง 200 ลิตร ที่มีการจุดไฟจากด้านบนของถัง เพื่อให้ไฟลุกจากด้านบนลงมาด้านล่าง และมีช่องระบายอากาศด้านล่างจำนวน 3 ช่อง เริ่มจากเมื่อจุดไฟจนไฟลุกได้ 30 นาที จะทำการปิดปากปล่องช่องระบายอากาศด้านล่างทั้ง 3 ช่อง โดยการ

ใช้ทรายถมทับ และจะเอาปล่องไฟด้านบนออก จากนั้นปิดฝาเตาทั้งหมด เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาชีวภาพ จากนั้นจึงจะได้ถ่านชีวภาพที่ต้องการ (กิตติพงษ์ จันทร์ตระกูล, 2560)

ภาพที่ 2.1 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 1

4.2 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 2 เตาชั้นเดียวแนวตั้ง โดยใช้ถัง 200 ลิตร ที่มีการจุดไฟจากด้านล่าง และไฟจะลุกจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน มีท่อระบายอากาศ 2 ท่อ และบริเวณด้านล่างจะมีท่อที่มีช่องเพื่อรองรับน้ำส้มควันไม้ เริ่มจากจุดไฟเมื่อไฟลุกติดถ่านเชื้อเพลิงได้ประมาณ 30 นาที ทำการปิดปากปล่องทั้ง 2 ด้าน โดยใช้ดินเหนียวอุดหรือใช้ผ้าชุบน้ำอุดไว้ เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

ภาพที่ 2.2 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 2

4.3 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 3 เตาชั้นเดียวแนวนอน โดยใช้ถัง 200 ลิตร หลักการเผาจะเหมือนกับการเผาถ่านหุงต้ม โดยการจุดไฟจากด้านหน้าเตา เมื่อไฟติดถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 30 นาที ให้สังเกตว่าถ้าควันไฟเปลี่ยนเป็นสีฟ้าใส ให้ปิดปากเตาและปล่องไฟที่อยู่บนตัวเตาเผาถ่านชีวภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปภายในเตาเผา ออกแบบโดย ศูนย์เครือข่ายปราชญ์ชาวบ้าน เกษตรกรกลุ่มจุลินทรีย์บ้านดอนผิงแดด อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี (ศูนย์เครือข่ายปราชญ์ชาวบ้าน, 2558)

ภาพที่ 2.3 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 3

4.4 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 4 เตา 2 ชั้น โดยใช้ถัง 200 ลิตรอยู่ด้านใน และด้านนอกเป็นบ่อวงซีเมนต์ที่ตั้งซ้อนกัน 2 ชั้น (เลขที่สิทธิบัตร 110100118 โดย ทวีวงศ์ ศรีบุรี) โดยใช้หลักการเผาถ่านชีวภาพแบบอบไล่ความชื้น จนทำให้ถ่านสุก การเผาถ่านชีวภาพจากเตาชนิดนี้ จะใช้กระบวนการไพโรไลซีสที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยถังชั้นในจะใส่วัสดุที่ต้องการทำถ่านชีวภาพ จากนั้นปิดฝาถัง เพื่อไม่ให้ไฟและออกซิเจนเข้าไปในเตาชีวภาพ ช่องว่างระหว่างถัง 200 ลิตร กับบ่อวงซีเมนต์จะใส่ฟืนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง เมื่อไฟลุกท่วมไม้ฟืนที่ใส่เป็นเชื้อเพลิงแล้ว จะปิดฝาบ่อวงซีเมนต์ และใช้หลักการอบ ส่งผลให้วัสดุที่อยู่ด้านในถัง 200 ลิตรสุกโดยที่ไม่มีการสัมผัสกับไฟ ข้อดีของเตาแบบนี้ คือ ไม่ต้องมีคนเฝ้า หรือคอยเติมฟืนในบ่อวงซีเมนต์ (ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2554)

ภาพที่ 2.4 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 4

4.5 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 5 เตาชั้นเดียวแนวตั้ง โดยใช้ถัง 200 ลิตร ใช้หลักการอบ โดยจุดไฟจากด้านล่างของเตาที่มีถัง 200 ลิตรที่บรรจุถ่านชีวภาพ บริเวณก้นถังจะเจาะช่องระบายอากาศ 10 ช่อง ขนาดครึ่งนิ้ว และมีการต่อท่อระบายอากาศ หลักการในการเผาวัสดุจะคล้ายกับเตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 4 ซึ่งมีการใช้หลักการอบไล่ความชื้น แต่จะเพิ่มการไล่อากาศจากเตาที่ใส่วัสดุสำหรับทำถ่านชีวภาพ กลับลงมาสู่เตาบรอเวณที่อยู่ด้านล่างที่มีถ่านเชื้อเพลิง เพื่อเร่งการติดไฟ การเผาแบบนี้จำเป็นต้องมีคนคอยเติมฟืนตลอดเวลาจนกว่าถ่านชีวภาพจะสุก (International Biochar Initiative, 2017)

ภาพที่ 2.5 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 5

4.6 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 6 เตา 2 ชั้น โดยใช้ถัง 100 ลิตรวางอยู่ด้านในถัง 200 ลิตร เป็นแบบแนวตั้ง ใช้หลักการเผาแบบอบไล่ความชื้น เพื่อให้ถ่านสุก (International Biochar Initiative, 2017) มีรูปแบบการเผาวัสดุที่ทำถ่านชีวภาพคล้ายกับเตาเผารูปแบบที่ 4 แต่แตกต่างกันที่วัสดุของเตาชีวภาพ ซึ่งมีการนำถังขนาดเล็กมาต่อเป็นปล่องไฟเพิ่มเติม เพื่อช่วยเร่งกระบวนการเผาไหม้ให้เกิดเร็วขึ้น และช่วยเพิ่มออกซิเจนในการเผาไหม้ (International Biochar Initiative, 2017)

ภาพที่ 2.6 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 6

4.7 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 7 เตา 2 ชั้น โดยใช้ถัง 100 ลิตรวางอยู่ด้านในถัง 200 ลิตร เป็นแบบแนวตั้ง ถังด้านนอกจะเจาะรูระบายอากาศรอบตัวถังเพื่อเพิ่มอากาศ และเจาะรูบริเวณก้นถัง ใช้หลักการเผาแบบอบไล่ความชื้น เพื่อให้ถ่านสุก (ดัดแปลงจากเตาของ International Biochar Initiative) ซึ่งออกแบบโดย เกศศิรินทร์ แสงมณี เตาประเภทนี้จะสะดวกกับพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก หรือกรณีที่ต้องการผลิตถ่านชีวภาพในเมือง บ้านและชุมชน อีกทั้งกระบวนการเผาเป็นแบบกระบวนการไพโรไลซีสที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยถังชั้นในจะใส่วัสดุที่ต้องการทำถ่านชีวภาพ จากนั้นปิดฝาถัง เพื่อไม่ให้ไฟและออกซิเจนเข้าไปในเตาเผา การเผาด้วยเตาขนาดเล็กนี้ กระบวนการเผาไหม้จะเกิดได้เร็วกว่าถังขนาดใหญ่ในเตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 4 และเตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 6 (เกศศิรินทร์ แสงมณี, 2562)

ภาพที่ 2.7 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 7

4.8 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 8 เตาเผาถ่านชีวภาพที่ได้แก๊สเพื่อใช้ในการหุงต้ม ออกแบบโดย รศ.ดร.อรสา สุกสว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เตาชั้นเดียว โดยใช้ถังขนาดเล็ก ถังด้านบนจะเจาะรูระบายอากาศเพื่อเพิ่มอากาศ เตาแบบนี้เป็นเตาพลังงานชีวมวลผลิตแก๊สหุงต้มและไบโอชาร์ระดับครัวเรือน เคลื่อนย้ายสะดวก ให้พลังงานความร้อนสูง ใช้เชื้อเพลิงน้อย เหมาะสำหรับการหุงต้ม ใช้ประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน การเผาถ่านชีวภาพจากเตาหุงต้ม ถือได้ว่าเป็นผลพลอยได้ เนื่องจากถ่านที่เผาได้นั้นมีคุณสมบัติเป็นถ่านชีวภาพ แต่หลักการเผาจะแตกต่างกัน เพราะวัสดุที่ใช้ทำถ่านชีวภาพจะสัมผัสกับไฟได้โดยตรง (อรสา สุกสว่าง, 2557)

ภาพที่ 2.8 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 8

<u>หมายเหตุ:</u>

เตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 1, 2, 3 และ 8 วัสดุที่ต้องการนำมาเป็นถ่านชีวภาพจะสัมผัสกับไฟโดยตรงในช่วงเวลาที่มีการเผาถ่าน ส่วนเตาเผาถ่านชีวภาพแบบที่ 4, 5, 6 และ 7 การเผาจะอาศัยการอบไล่ความชื้นเพื่อให้วัสดุที่ต้องการนำมาเป็นถ่านชีวภาพสุก หรือวัสดุที่นำมาทำถ่านชีวภาพจะไม่มีการสัมผัสกับไฟเลย และการเผาถ่านชีวภาพในงานวิจัยนี้เป็นการแยกสลายความร้อนแบบช้าในเตาเผาถ่านชีวภาพทั้ง 8 แบบ

5. ข้าวโพดหวานสีม่วง

5.1 ลักษณะข้าวโพดหวานสีม่วง ข้าวโพดหวานสีม่วงเป็นข้าวโพดที่มีปริมาณสารแอนโธไซยานินสูง (anthocyanins) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Zea mays* Linn. ซึ่งแอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ มีหลายเฉดสีตั้งแต่สีน้ำเงินเข้ม สีม่วงจนถึงสีแดง เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติเด่นคือช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) ช่วยปกป้องหลอดเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือด และลดความเสี่ยงของโรคมะเร็ง (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ฝักและเมล็ดข้าวโพดจะมีสีม่วงแดง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 60-70 วัน หลังข้าวโพดออกไหม 50 % ความสูงฝัก 90-100 เซนติเมตร ความสูงต้น 170-180 เซนติเมตร ความยาวฝัก 17.0-18.0 เซนติเมตร ความกว้างฝัก 4.0-4.5 เซนติเมตร น้ำหนักฝัก 210 กรัม น้ำหนักเมล็ด 100 กรัม น้ำหนักซัง 110 กรัม น้ำหนักไหมสด 3.5 กรัม (ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน, 2560)

5.2 คุณภาพข้าวโพดหวานสีม่วง

5.2.1 ด้านรสชาติ คุณลักษณะที่มีบทบาทสำคัญ คือ ความหวาน (sweetness) ลักษณะของแป้ง (starchiness) ความฉ่ำน้ำ (juiciness) และปริมาณน้ำตาลซูโครสและแป้ง สำหรับความหวานเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของรสชาติข้าวโพด โดยจะสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำตาลในเมล็ด ขณะที่เมล็ดกำลังพัฒนากระบวนการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตในเอนโดสเปิร์มไม่สมบูรณ์ ทำให้ขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสไปเป็นแป้งถูกจำกัด เกิดการสะสมน้ำตาลซูโครสภายในเมล็ดมากขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำตาลซูโครสในข้าวโพดจะมีผลต่อความหวานมากกว่าปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส หรือมอลโตส นอกจากนี้พันธุ์ข้าวโพด อายุการเก็บเกี่ยว อุณหภูมิและอายุการเก็บรักษา จะมีผลต่อความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลตัวอื่น (สกุลกานต์ สิมลา, 2556)

ข้าวโพดต่างชนิดกันจะมีปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน กลุ่มของข้าวโพดหวานพิเศษจะเป็นกลุ่มที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือข้าวโพดหวาน และข้าวโพดข้าวเหนียวหรือข้าวโพดเทียนตามลำดับ การสะสมปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่อยๆลดลงเมื่อเมล็ดมีพัฒนาการมากขึ้น โดยในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) เป็นระยะที่มีปริมาณน้ำตาลน้อยที่สุด ระยะที่มีการสะสมน้ำตาลสูงสุดแตกต่างกันเนื่องจากชนิด และพันธุ์ของข้าวโพด แต่ส่วนใหญ่มักจะมีปริมาณสูงสุดในระยะรับประทานฝักสด หรือที่ระยะ 18-22 วัน หลังการผสมเกสร

5.2.2 ด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโพดหวานเป็นคุณลักษณะที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวโพด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโพดหวาน คือ ปริมาณและความหนาของเปลือกหุ้มเมล็ด ปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเพ็กตินและปริมาณไฟโตไกลโคเจน ซึ่งจะมีผลต่อความกรอบ ความเหนียวนิ่ม และความนุ่มขณะรับประทาน (สกุลกานต์ สิมลา, 2556)

1) ความกรอบ ความบางของเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความกรอบของเมล็ดข้าวโพด ความหนาของชั้นเปลือกเมล็ดมีผลต่อความนุ่มและคุณภาพประสาทสัมผัสอื่นๆ ของเมล็ดข้าวโพด ถ้าชั้นเปลือกเมล็ดข้าวโพดมีความหนามากก็จะมีความกรอบมาก ความหนาของเปลือกหุ้มเมล็ดจะขึ้นอยู่กับความหนาของผนังเซลล์ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของผนังเซลล์ และความหนาจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ นอกจากนี้ข้าวโพดขณะยังอ่อนจะมีความบางของเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าข้าวโพดที่มีอายุมากกว่า

2) ความเหนียวนุ่ม อะไมโลสและอะไมโลเพ็กตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีผลต่อความเหนียวนิ่มของข้าวโพด การเพิ่มปริมาณอะไมโลเพ็กตินจะช่วยทำให้เนื้อสัมผัสมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น ปริมาณแป้งและปริมาณอะไมโลเพ็กตินจะเป็นสิ่งบ่งชี้ความเหนียวนิ่มของข้าวโพดได้

3) ความนุ่ม ความหนาของเปลือกหุ้มเมล็ด เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความนุ่มของเมล็ดข้าวโพด ลักษณะเนื้อสัมผัสของเอนโดสเปิร์มและความฉ่ำน้ำ ก็มีอิทธิพลต่อความนุ่มของข้าวโพดเช่นกัน

5.2.3 ด้านกลิ่น กลิ่นข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเมื่อได้รับความร้อนขณะแปรรูป โดยองค์ประกอบที่ให้กลิ่นของข้าวโพดในข้าวโพดหวาน พบว่า ได้แก่สารประกอบ hydrogen sulfide, methanethiol, acetaldehyde, ethanol, ethanethiol, dimethyl sulfide (DMS) และสารระเหยอื่นๆ (สกุลกานต์ สิมลา, 2556)

5.2.4 ด้านสารสำคัญ ข้าวโพดสีม่วงมีสารสำคัญที่เรียกว่า “แอนโธไซยานิน” แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช ให้สีแดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน และการตกตะกอนของ

เกล็ดเลือด ทำให้แอนโธไซยานินมีบทบาทในการป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคระบบหัวใจหลอดเลือด มะเร็ง เบาหวาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการต้านทานสารอนุมูลอิสระได้สูงกว่าวิตามินซี ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็ง ช่วยเสริมสร้างให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค สมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันได้ดีและส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดงอีกด้วย (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ชนิดของแอนโธไซยานินที่พบในข้าวโพดมี 3 กลุ่ม คือ cyanidin derivatives, peonidin derivatives และ palargonidin derivatives กลุ่มของ cyanidin derivatives เป็นกลุ่มที่พบมากที่สุด ส่วนปริมาณของกลุ่ม peonidin dervatives จะมีมากหรือน้อยกว่ากลุ่มของ pelargonidin dervatives นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวโพด (Zhao *et al*., 2008; Zhao *et al*., 2009; Castaneda-Ovendo, 2010)