การใช้ถ่านจากการเผาในสภาพอับอากาศในการปรับปรุงดิน

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์*

บทคัดย่อ

ถ่านเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงดินเขตร้อนชื้น พื้นที่ดังกล่าวมีกระบวนการชะล้างสูง ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลง และความอุดมสมบูรณ์ในดินต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จากผลการศึกษาการผสมปนเปของถ่านในดินไม่ว่าจากกิจกรรมของมนุษย์ในอดีต จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ หรือจากผลการทดลองต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า ถ่านช่วยให้สมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดินดีขึ้น เช่น ทำให้ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่มขึ้นและคงอยู่อย่างยาวนาน การเพิ่ม pH ของดินกรดจากการใส่ถ่านส่งผลให้ความอิ่มตัวของเบส และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะฟอสฟอรัส และ แคลเซียม ถ่านที่ได้จากการเผาในสภาพอับอากาศยิ่งทำให้มีประจุลบบริเวณพื้นผิว และมีรูพรุนมากขึ้น ความพรุนทำให้การระบายน้ำระบายอากาศได้ดีในขณะเดียวกันยังสามารถอุ้มน้ำได้ดีด้วย สภาพดังกล่าวเหมาะต่อการอยู่อาศัยและการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น เชื้อราไมคอร์ไรซา และ แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ และสิ่งที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือถ่านประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอนที่คงทนต่อการย่อยสลาย จึงช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ดังนั้น การปรับปรุงดินด้วยถ่านในปริมาณที่เหมาะสมและกระทำอย่างกว้างขวาง น่าจะช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ : ถ่าน ถ่านที่เผาในสภาพอับอากาศ วัสดุปรับปรุงดิน เกษตรยั่งยืน

*ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

Pyrolysis Charcoal Using for Soil Amendment

Issariyaporn Damrongrak*

ABSTRACT

Charcoal is suitable material for soil amendment of tropical areas which is high weathering, enhance low organic matter content and unfertile. Recent investigations gave evidence that incorporation of carbonized material from incomplete combustion of organic substance in the soils leading to higher quality of chemical, physical and biological properties of soil. Such as raise and maintain cation exchange capacity. Elevation of soil pH leading higher base saturation as well as plant nutrient availability, especially phosphorus and calcium. Charcoal from incomplete combustion make a great number of porous and large surface area enhance well aeration as the same time capable to hold some water in the fine pore. Such condition is appropriate for the growth and activity of beneficail microorganisms such as mycorrhiza and nitrogen fixing bacteria. Pyrogenic carbon in charcoal is hardly decay. So that it's decrease CO_2 emission. There for provide using of pyrolysis charcoal as soil amendment have a potentail of decreasing global worming from green house effect.

Keywords: Charcoal Pyrolysis charcoal Soil amendment Sustainable Agriculture

* Department of Agricultural Technology, Faculty of Science Tecnology and Agriculture, Rajabhat Yala University, Thailand.

บทนำ

สภาพปัญหาใหญ่ของการเกษตรโดยเฉพาะการเพาะปลูกในปัจจุบันคือ ภาวะขาดแคลนพื้นที่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูก ในขณะเดียวกันต้องผลิตอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรโลก พื้นที่เกษตรที่มีอยู่ในปัจจุบันเสื่อมโทรมลงไปมากทั้งพิจารณาในแง่สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และ สมบัติทางชีวภาพ โดยเฉพาะดินที่ทำการเพาะปลูกในเขตร้อนชื้นพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำลงมาก ส่วนใหญ่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และในหลาย ๆ พื้นที่โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อหยาบมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (1) เป็นที่ทราบกันแล้วว่าอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญในดินซึ่งมีผลต่อสมบัติของดินหลายประการ เช่น ทำให้ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงขึ้น ต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชโดยตรง ส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดิน ทำให้เม็ดดินเสถียร และ ช่วยในการอุ้มน้ำของดิน ฯลฯ (2,3) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดการให้ดินมีอินทรียวัตถุในปริมาณเหมาะสมและคงอยู่ได้อย่างยาวนาน โดยเฉพาะดินเขตร้อนชื้น ซึ่งมีกระบวนการชะล้าง (weathering) สูง แร่ดินเหนียวมีสัดส่วนของชนิด 1:1 เช่น เคโอลิไนต์ มากกว่าชนิด 2:1 เช่น เวอร์มิคิวไลต์ (2) แม้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใส่วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ไม่ว่าจะในลักษณะไถกลบเศษซากพืชหรือตอซังลงในไร่นา การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด ก็ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอนคงอยู่ในดินได้ในระยะยาว (4) เนื่องจากเขตร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง เป็นสภาพที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์โดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายในสภาพที่มีอากาศหรือออกซิเจนเพียงพอนั้นอินทรีย์คาร์บอนส่วนใหญ่จะสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการย่อยสลายในสภาพที่ขาดออกซิเจนอินทรีย์คาร์บอนจะเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทน (CH_4) (5) ซึ่งแก๊สทั้งสองชนิดเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนเช่นเดียวกัน ในเขตร้อนชื้นมีปัจจัยทางด้านแสงอย่างไม่จำกัด ทำให้มีพืชพรรณและสัตว์หลากหลายและจำนวนมาก หรือมีมวลชีวภาพสูง แต่เมื่อมีการทับถมและย่อยสลายลงสู่ดินก็ไม่ได้ทำให้ดินในเขตนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้นแต่อย่างใดเมื่อเปรียบเทียบกับดินในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว (6)

การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในเขตร้อนชื้นโดยใส่ปุ๋ยเคมี ให้ผลดีแค่ในระยะเวลาสั้น ๆ เนื่องจากดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำจึงทำให้ปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปนั้นถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้น้อย แต่จะสูญเสียจากการชะละลายได้ง่าย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ก็ต้องใส่ในปริมาณมากในขณะเดียวกันจะคงอยู่ในดินได้ในระยะเวลาไม่นาน (7) อย่างไรก็ตามจากปรากฏการณ์ของดินในบางพื้นที่ของโลก เช่น บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำอะเมซอนประเทศบราซิลพบดินสีดำเนื่องจากมีพวกถ่านเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการกระทำของชาวพื้นเมืองอินเดียนแดง โดยอาจจะเป็นผลจากการทำไร่เลื่อนลอยซึ่งมีการตัดฟันต้นไม้ และเผาเศษพืชที่ปกคลุมพื้นที่เพื่อเตรียมดินเพาะปลูก หรือจากกิจกรรมการทำเตาเผาถ่านเมื่อประมาณ 500-2,500 ปี มาแล้ว ดินดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์สูงแม้ปลูกพืชมาเป็นเวลานานกว่า 40 ปี ก็ยังคงให้ผลผลิตสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ย (8) หรือดิน Chernozem ในเขตทุ่งหญ้าแพรี ของอเมริกาเหนือ และเยอรมัน เป็นดินที่มีอินทรียวัตถุปริมาณมาก ซึ่งคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบจะพบในรูปสารประกอบอะโรแมติก ค่อนข้างสูง (9)

ประเทศไทยเช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ ในแถบเอเชียมีการใช้ประโยชน์จากถ่านเพื่อการ

เกษตรมาเป็นเวลานาน เช่น ถ่านไม้นำมาเป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้บางชนิด และปลูกหน้าวัว ส่วนถ่านแกลบมักนำมาใช้เป็นวัสดุเพาะ วัสดุปักชำ หรือผสมในดินปลูกไม้ดอกไม้ประดับในกระถางหรือในถุงปลูกเนื่องจากมีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนย้าย และมีคุณสมบัติช่วยให้การระบายน้ำระบายอากาศได้ดี ในขณะเดียวกันก็สามารถอุ้มน้ำได้ดีด้วย (10) อย่างไรก็ตาม ถ่านที่ได้จากการเผาโดยไม่สมบูรณ์หรือเผาในสภาพอับอากาศมีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน สามารถทำให้อินทรีย์คาร์บอนหรืออินทรียวัตถุคงอยู่ในดินได้นาน แตกต่างจากการใส่ซากอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ (11) จึงเหมาะกับดินในเขตร้อนชื้นซึ่งมีปฏิกิริยาและการชะล้างค่อนข้างรุนแรง ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมองค์ความรู้เรื่องถ่านกับการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน จึงได้ทำการรวบรวมและเรียบเรียงองค์ความรู้ดังกล่าวประกอบด้วยประเด็นต่างๆ คือ สภาพปัญหาของการขาดแคลนอินทรียวัตถุในดินเขตร้อนชื้น กระบวนการเผาถ่านในสภาพอับอากาศ คุณสมบัติของถ่านต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพ ตลอดจนความได้เปรียบในการเป็นแหล่งคาร์บอนที่คงทนในดิน เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับนักวิชาการเกษตร นักวิชาการสิ่งแวดล้อมทางดิน เกษตรกร ตลอดจนผู้สนใจทั่วไปเพื่อนำความรู้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงดินในเขตร้อนชื้นต่อไป

สภาพปัญหาการขาดแคลนอินทรียวัตถุในดินเขตร้อนชื้น

ดินในเขตร้อนชื้นนอกจากจะมีปัญหาเฉพาะโดยธรรมชาติจากกระบวนการเกิดดินอย่าง เช่น ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินลูกรัง ดินอินทรีย์ และดินทรายจัด ซึ่งนอกจากสมบัติทางเคมี และกายภาพไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกแตกต่างกันไปตามลักษณะปัญหาแล้ว แม้พื้นที่เพาะปลูกที่เดิมเคยมีความอุดมสมบูรณ์ แต่เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ประกอบกับถ้ามีการจัดการที่ไม่เหมาะสมก็ยิ่งเร่งให้เกิดภาวะเสื่อมโทรมเร็วขึ้น สำหรับประเทศไทยจากการประเมินโดยกรมพัฒนาที่ดินพบว่าจากพื้นที่ทั้งหมดของประเทศคือประมาณ 321 ล้านไร่ มีพื้นที่ดินเสื่อมโทรม 224.9 ล้านไร่ คิดเป็น 70.06 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด (12)

สิ่งสำคัญที่จะทำให้ดินมีสภาพเหมาะสมต่อการเพาะปลูกคืออินทรียวัตถุซึ่งได้มาจากกระบวนการผุพังของซากพืชซากสัตว์ อันเป็นองค์ประกอบหลักควบคู่ไปกับส่วนของอนินทรียสารที่สลายตัวผุพังมาจากหินและแร่ ถึงแม้จะมีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่เป็นอนินทรียสาร (2) ดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกควรมีอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ (1) ในประเทศไทยพื้นที่ที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ มีไม่น้อยกว่า 197 ล้านไร่ หรือประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีประมาณ 98.7 ล้านไร่ หรือ คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด (12) แต่ถ้าเปรียบเทียบกับพื้นที่ดินเสื่อมโทรมทั้งหมดนั้นพบว่าดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์มีมากถึง 87.6 เปอร์เซ็นต์ แหล่งเบื้องต้นของอินทรียวัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดินคือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งพืชชั้นสูงนำมาสร้างเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง อยู่ในกิ่งใบที่ร่วงหล่น (letter) ในราก และสารที่รากพืชขับออกมา (root exudate) (13) สัตว์เป็นแหล่งคาร์บอนอันดับสองเนื่องจากสัตว์กินพืชเป็นอาหาร คาร์บอนถูกส่งผ่านทางห่วงโซ่อาหารไปตามลำดับ ทั้งพืชและสัตว์ที่ตายและทับถมอยู่ในดินนั้นจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายให้เปลี่ยนรูปเป็นสารที่คงทนต่อการย่อยสลายซึ่ง

เรียกว่าฮิวมัส (humus) นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังรวมไปถึงเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่ตายแล้วและยังมีชีวิตอยู่ (2) อินทรียวัตถุมีบทบาทสำคัญทั้งส่งเสริมสมบัติทางเคมี กายภาพ และ ชีวภาพ ซากอินทรีย์ที่อยู่บริเวณผิวดินช่วยปกคลุมผิวดินไม่ให้น้ำฝนตกกระทบต่อเม็ดดินโดยตรง ลดการเซาะกร่อนของดิน (soil erosion) และ ป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่นป้องกันการส่องกระทบของแสงแดดโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่อยู่ในดิน สำหรับอินทรียวัตถุที่อยู่ภายในชั้นดินทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารให้แก่พืช (6) โดยมีบทบาทสำคัญเช่น อินทรียวัตถุเองประกอบด้วยธาตุอาหารพืชหลายชนิด และฮิวมัสมีสมบัติสามารถดูดซับธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์แก่พืชเนื่องจากฮิวมัสเป็นอินทรีย์คอยลอยด์ที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (Cation Exchange Carpacity, CEC) (2) นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังช่วยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดิน ทำให้เม็ดดินคงทน ดินที่มีโครงสร้างดีเช่นโครงสร้างแบบทรงกลม (crum structure) จะมีปริมาณและสัดส่วนของขนาดช่องว่างที่เหมาะสมทำให้ระบายน้ำระบายอากาศได้ดีในขณะเดียวกันก็สามารถอุ้มน้ำได้ดีด้วย (5)

การคงสภาพปริมาณอินทรียวัตถุในดินต้องพิจารณาความสมดุลระหว่างอัตราการเติมลงไปในดินควรจะเท่ากับหรือมากกว่าอัตราที่สูญเสีย ซึ่งสูญเสียโดยการย่อยสลาย พืชดูดไปใช้ประโยชน์ และ การเซาะกร่อนของดิน (14) มนุษย์มีส่วนทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเปลี่ยนแปลง เช่น การตัดไม้ทำลายป่าเป็นการทำลายแหล่งมวลชีวภาพ และเนื่องจากพื้นผิวขาดสิ่งปกคลุมทำให้อุณหภูมิดินสูง และเกิดการเซาะกร่อนได้ง่ายก่อให้เกิดการสูญเสียอินทรียวัตถุในดินมากขึ้น

อัตราการย่อยสลายและการสูญเสียอินทรียวัตถุในดินขึ้นกับ ชนิดของอินทรียวัตถุ เนื้อดิน ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ความชื้น การถ่ายเทอากาศ ชนิดและปริมาณแร่ดินเหนียว และกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน พบว่าอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 8-9 °C (6) ดังนั้น จึงพบว่าดินเขตร้อนชื้นมักมีอินทรียวัตถุต่ำแม้ภูมิภาคเขตนี้จะมีมวลชีวภาพสูง ดังตัวอย่างกรณีการใส่อินทรีย์คาร์บอนเพิ่มลงไปในดินประเทศบราซิลซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น โดยใส่ลงไปสูงถึง 13 เมกะกรัม/เฮกตาร์/ปี แต่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่เหลืออยู่ในดินมีเพียง 26 เมกะกรัม/เฮกตาร์ ในขณะที่ดินทางตะวันตกของแคนาดาและประเทศอังกฤษซึ่งอยู่ในเขตอบอุ่นมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงถึง 65 และ 26 เมกะกรัม/เฮกตาร์ จากการเติมอินทรีย์คาร์บอนเพียง 1.6 และ 1.2 เมกะกรัม/เฮกตาร์/ปี เท่านั้น และพบว่าอัตราการหมุนเวียนกลับของคาร์บอนในเขตร้อนชื้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับเขตอบอุ่น ดังเช่นในประเทศบราซิลใช้เวลาเพียง 2 ปี แต่ในประเทศอังกฤษใช้เวลา 22 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศแคนาดาซึ่งใช้เวลานานถึง 40 ปี (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสภาวะอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อนชื้นและเขตอบอุ่น (6)

	อังกฤษ (Rothamsted)	ตะวันตกของแคนาดา	บราซิล
สภาพภูมิอากาศ	Temperate	Cool-Temperate	Tropic
ชนิดดิน (order)	-	Mollisols	Spodosols
การปลูกพืช	ข้าวสาลี	ปลูกข้าวสาลีหมุนเวียนกับพืชอื่น	อ้อย
น้ำหนักดิน (Mg/ha)	2,200	2,700	2,400
อินทรีย์คาร์บอน (Mg/ha)	26	65	26
อินทรีย์คาร์บอนที่ใส่เพิ่ม (Mg/ha/year)	1.2	1.6	13
Turn over rate of carbon (years)	22	40	2

กระบวนการผลิตถ่านในสภาพอับอากาศ

การเผาไหม้สารอินทรีย์เป็นกระบวนการทำลายโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์ให้เล็กลง ถ้าเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์อินทรีย์คาร์บอนจะเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนธาตุอื่น ๆ จะปลดปล่อยออกมาเป็นองค์ประกอบอยู่ในเถ้าถ่าน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือการเผาไหม้ในลักษณะอับอากาศในเตาเผาถ่านที่ได้ออกแบบเฉพาะจะได้ถ่านที่มีคุณลักษณะพิเศษหลายประการ เช่น มีความพรุนสูง ไม่มีสารพิษจำพวกน้ำมันดิน (tar) หรือ มีน้อยมากขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการเผา (15) นอกจากนี้กระบวนการเผาถ่านดังกล่าวยังได้ผลพลอยได้คือ น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) ซึ่งเมื่อทำให้บริสุทธิ์แล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้ป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช กำจัดเห็บหมัดในสัตว์เลี้ยง ใช้ทาบาดแผล (16,17) และได้รับการอนุญาตจากองค์การอาหารและยาในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เพื่อใช้ปรับแต่งกลิ่นควันในอาหารได้ (16)

กระบวนการเผาถ่านในลักษณะอับอากาศนั้นมีหลายรูปแบบแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ที่นิยมกันในประเทศไทยขณะนี้คือ การเผาถ่านด้วยเตาอิวาเตะ และ การเผาด้วยเตา 200 ลิตร ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ **ขั้นตอนที่ 1** การไล่ความชื้น (dehydration) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-270 องศาเซลเซียส โดยใช้ความร้อนเพื่อทำให้ไม้เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนสะสมเอาไว้พอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน การไล่ความชื้นสามารถทำได้ทั้งให้ความร้อนโดยตรงโดยจุดไม้ฟืนบางส่วนในเตาเพื่อให้ลุกไหม้ วิธีที่สองคือให้ความร้อนทางอ้อมโดยการจุดเชื้อเพลิงหน้าเตา ให้เพียงลมร้อนเข้าไปไล่ความชื้นภายในเตา **ขั้นตอนที่ 2** ไม้กลายเป็นถ่านหรือปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) อุณหภูมิในเตาอยู่ในช่วง 270-400 องศาเซลเซียส (15) อุณหภูมิปากปล่องควันประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส (18) ช่วงแรกไม้ฟืนจะลุกไหม้และสลายตัวด้วยความร้อนที่สะสมไว้จากขั้นตอนที่ 1 เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ควันที่ออกมาจากปล่องจะเป็น

สีขาวอมเหลือง กลิ่นฉุน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นสีเทา ในการเผาต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลานานพอสมควรโดยควบคุมอากาศเข้าด้วยการลดพื้นที่หน้าเตาให้เหลือประมาณ 20-30 ตารางเซนติเมตร (18) ควบคู่กับการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิสูงถึงช่วง 300-400 องศาเซลเซียส เซลลูโลสยังคงสลายตัวอย่างต่อเนื่อง ส่วนลิกนินเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส การรองรับน้ำส้มควันไม้จะเริ่มทำเมื่อเกิดควันสีเทาแกมน้ำตาล คืออุณหภูมิปากปล่องควันประมาณ 82-120 องศาเซลเซียส (15, 18) และสิ้นสุดการเก็บเมื่อของเหลวที่กลั่นตัวออกมาเริ่มมีลักษณะหนืด ๆ สีน้ำตาลดำ แสดงว่ามีน้ำมันดินปะปนออกมาแล้ว **ขั้นตอนที่ 3** การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) เนื่องจากถ่านที่ผ่านการเผาไหม้จาก 2 ขั้นตอนแรก ยังคงมีปริมาณคาร์บอนเสถียรต่ำ และมีน้ำมันดินเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก ถ้านำไปใช้ปิ้งย่างอาหารซึ่งในการเผาไหม้จะมีความร้อนสูงถึง 500-600 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำมันดินเปลี่ยนเป็นสาร 3,4-benzopyrene และ 1,2,5,6-dibenzanthracene ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้น จึงต้องไล่น้ำมันดินออกไปโดยปรับให้อากาศเข้าไปในเตาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยการเปิดหน้าเตาประมาณ 1 ใน 2 แต่ต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิภายในเตาส่วนบนสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ถ่านถูกเผาจนเป็นเถ้า เปิดไว้ประมาณ 30 นาทีหรือสังเกตได้จากควันถ้าเริ่มมีสีใสก็จะปิดช่องอากาศเข้า ปล่อยให้ความร้อนถ่ายเทจนอุณหภูมิในเตาใกล้เคียงกันทุกจุดประมาณ 500 องศาเซลเซียส เมื่อไม่มีควันออกมาจากปล่องแล้วจึงปิดเตา **ขั้นตอนที่ 4** ทำให้เย็น (cooling) โดยเกลี่ยดินบนเตาออกให้เห็นหลังเตาเพื่อระบายความร้อน ทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมง หรือ 1 คืน (18) ก่อนเปิดเตาเพื่อนำถ่านมาใช้ประโยชน์ต้องให้อุณหภูมิภายในลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการลุกติดไฟของถ่านอีกครั้งเมื่อได้รับออกซิเจน ดังนั้นการเปิดเตาจึงต้องเริ่มเปิดที่ปล่องควัน เพื่อระบายความร้อนและแก๊สต่าง ๆ ออกไป (15)

ถ่านที่ได้จากกกระบวนการเผาข้างต้นมี 2 ชนิดคือ 1) ถ่านขาว หรือถ่านแข็ง (white or hard charcoal) ความร้อนที่ใช้สำหรับเผาให้ได้ถ่านประเภทนี้สูงถึง 1,000-1,100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำถ่านที่กำลังลุกไหม้ออกมาดับนอกเตาด้วยขี้เถ้าผสมกับดินและน้ำประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ขี้เถ้าจะติดแน่นอยู่บนผิวถ่านเห็นเป็นสีขาวปนเทา มีคาร์บอนเสถียร 68 เปอร์เซ็นต์ สารระเหยง่าย 24.5 เปอร์เซ็นต์ เถ้าถ่าน 0.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อน 6,983 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ความแข็งอยู่ในระดับ 8 เป็นถ่านที่จุดติดไฟยากแต่ลุกไหม้ได้นาน 2) ถ่านดำ หรือถ่านอ่อน (black or soft charcoal) ใช้ความร้อนเผาประมาณ 400-700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการปิดเตาเพื่อไม่ให้อากาศเข้า ปล่อยถ่านไว้ในเตาจนกว่าจะเย็นเอง ถ่านที่ได้มีสีดำมีคาร์บอนเสถียร 77.6 เปอร์เซ็นต์ สารระเหยง่าย 9.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้าถ่าน 2.4 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อน 7,023 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ความแข็งอยู่ในระดับ 7 ถ่านชนิดแรกนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำน้ำแร่ เพิ่มรสชาติและธาตุอาหารในข้าว ใช้ในการประกอบอาหารปิ้งย่าง ใช้เป็นน้ำอาบซึ่งมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำจากบ่อน้ำพุร้อน และ ใช้ทำผงขัดของใช้จำพวกโลหะ ส่วนถ่านดำนั้นใช้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งอาจจะมีควันหรือสิ่งเจือปนหลงเหลืออยู่บ้างแต่เป็นส่วนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านที่เผาธรรมดา และในแง่การเกษตรก็สามารถใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้อย่างดี (15)

การเตรียมถ่านเพื่อใช้ปรับปรุงดินจากวัสดุอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก เช่น ถ่านแกลบ อาจเตรียม

ได้ง่าย ๆ ด้วยการเผาแบบสุม ซึ่งทำโดยนำปี๊บมาเจาะรูโดยรอบ ส่วนด้านบนเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร เพื่อสอดท่อสังกะสีลงไปเป็นช่องระบายอากาศ การเผาแกลบจะนำกระดาษไปจุดไฟแล้วคว่ำปี๊บลงเทแกลบดิบลงไปรอบ ๆ ช่วงแรกควันจะเป็นสีดำ ต่อมาจะกลายเป็นสีขาวแสดงว่าแกลบกำลังถูกเผา เมื่อแกลบเป็นสีดำทำการเกลี่ยออกไปแล้วใส่แกลบดิบลงไปอีก เมื่อได้แกลบเผาในปริมาณที่ต้องการแล้วนำเอาปี๊บออกแล้วรดน้ำจนไฟดับสนิท (19)

คุณสมบัติของถ่านในการเป็นสารปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

โดยทั่วไปการใช้วัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment or soil conditioner) มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการคือ เพื่อปรับปรุงสภาพทางเคมีของดิน เพื่อปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน และเพื่อรักษาความชื้น (20) สารปรับปรุงดินมีมากมายหลายชนิด หากจำแนกตามองค์ประกอบหลักสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ สารปรับปรุงดินอินทรีย์ และสารปรับปรุงดินอนินทรีย์ ตัวอย่างสารปรับปรุงดินประเภทอินทรีย์ เช่น เศษซากพืช หรือตอซังจากไร่นา แกลบ ขี้เถ้าแกลบ ถ่านแกลบ ทลายปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มน้ำมัน สแฟรกนัมมอส พีทมอส แม้แต่ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมัก ถ้าใส่ลงดินเพื่อจุดประสงค์ทำให้ดินร่วนซุย ระบายน้ำระบายอากาศได้ดี หรืออุ้มน้ำได้ดีก็จัดเป็นสารปรับปรุงดิน ส่วนสารปรับปรุงดินประเภทอนินทรีย์ เช่น ปูนเพื่อการเกษตรชนิดต่าง ๆ ซึ่งใส่ลงไปในดินเพื่อแก้ปัญหาดินเป็นกรด ยิปซัม (gypsum; $CaSO_4.2H_2O$) ใช้แก้ปัญหาดินเค็มโดยเฉพาะดินเค็มโซดิก (2) และยังช่วยลดการอัดแน่นของดินอีกด้วย เช่นเดียวกับไลม์-ซัลเฟอร์หรือสารประกอบแคลเซียมโพลีซัลไฟด์ซึ่งมีบทบาทในการลดการอัดแน่นหรือความแน่นทึบของดิน ส่วนสารที่ช่วยในการอุ้มน้ำของดิน เช่น สารโพลีเมอร์ แคลไซด์เคลย์ (calcined clay) และสารซีโอไลท์ ซึ่งนอกจากมีความพรุนสูงช่วยดูดซับน้ำแล้วยังสามารถดูดซับโมเลกุลสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้หลายชนิด รวมทั้งไอออนต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชเนื่องจากเป็นสารที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) สูง ถ่านจากวัสดุอินทรีย์ เช่น ถ่านไม้ ถ่านแกลบ ถ่านจากซังข้าวโพด ฯลฯ มีคุณสมบัติที่ดีต่อการส่งเสริมสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน ตลอดจนเป็นแหล่งคาร์บอนที่คงทนในดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. คุณสมบัติของถ่านต่อการส่งเสริมคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศจะมีความพรุนสูง มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก high aromatic ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง และเกิดหมู่ฟังชันต่างๆ โดยเฉพาะคาร์บอกซิล (COO^-) นั่นก็คือมีประจุลบสุทธิที่พื้นผิวในปริมาณมาก หรือทำให้มีความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (21) ประกอบกับถ่านเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากด้วย (4) ดังนั้นทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชซึ่งอยู่ในรูปไอออนได้เป็นจำนวนมาก และช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะละลาย (9) ไม่ว่าธาตุอาหารในดินจะได้รับจากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ หรือธาตุอาหารที่มีอยู่เดิมในดิน ดังตัวอย่างที่ได้รับการกล่าวถึงกันมากจากผลของถ่านที่ส่งเสริมคุณสมบัติที่ดีของดินคือ บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำอะเมซอนประเทศบราซิล พบดินสีดำเนื่องจากมีถ่านเป็นองค์ประกอบเรียกกันทั่วไปว่า Terra Preta de Indio เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง พบว่าแม้ปลูกพืชมาเป็นเวลานานกว่า 40 ปี ก็ยังคงให้ผลผลิตสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ย (8) ลักษณะดินดังกล่าวเดิมสันนิษฐานว่าเกิดจากเถ้าภูเขาไฟจากเทือกเขา

เอนดิส บางแนวคิดบ่งบอกว่าน่าจะเกิดจากการตกตะกอนจากทะเลสาบหรือแหล่งน้ำต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การสรุปครั้งล่าสุดซึ่งผ่านการยืนยันจากนักวิชาการอีกหลายกลุ่มและเป็นที่ยอมรับกันในขณะนี้คือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยอาจจะเป็นผลจากการทำไร่เลื่อนลอยซึ่งมีการตัดฟันต้นไม้ และเผาเศษไม้เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก หรือจากกิจกรรมการทำเตาเผาถ่านของชาวพื้นเมืองอินเดียนแดงเมื่อประมาณ 500-2,500 ปีมาแล้ว (8)

ผลการศึกษาดิน Terra Preta de Indio จัดอยู่ในอันดับ Anthrosols ซึ่งเป็นดินที่พัฒนาลักษณะมาจากการกระทำของมนุษย์ เปรียบเทียบกับดินบริเวณข้างเคียงโดยใช้ Synchroton-base near edg X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy พบว่ามีแร่ดินเหนียวชนิดเดียวกันคือเคโอลิไนต์ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 และพบมากในดินที่มีการชะล้างสูง (highly weathering) โดยเฉพาะแถบภูมิอากาศร้อนชื้น (22) แต่ดิน terra Preta de Indio มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และ แคลเซียมสูงกว่าดินบริเวณข้างเคียงถึง 3-33 เท่า และ 7-153 เท่า (24) มีปริมาณอินทรียคาร์บอนสูงถึง 150 กรัม/กิโลกรัมดิน ในขณะที่บริเวณข้างเคียงมีปริมาณ 20-30 กรัม/กิโลกรัมดิน (7) ปริมาณแคตไอออนสูงกว่าดินบริเวณใกล้เคียง 1.9 เท่า (24) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Sombroek และคณะ (23) ซึ่งทำการวิเคราะห์หาค่า CEC ของดินดังกล่าวและดินบริเวณข้างเคียงด้วยวิธีมาตรฐาน พบว่าดิน terra Preta de Indio มีค่า CEC สูงกว่าบริเวณใกล้เคียง และค่า CEC สูง ขึ้นเมื่ออินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น

เนื่องจากถ่านมีคุณสมบัติเป็นด่าง ดังนั้นเมื่อใส่ในดินจะทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น การเตรียมพื้นที่ปลูกโดยตัดฟันต้นไม้แล้วเผาของเกษตรกรพื้นเมืองลุ่มน้ำอะเมซอน ทำให้ดินมี pH สูงขึ้น 0.4 หน่วย (24) การทดลองใส่ถ่านสำหรับการปลูกพืชในดินชนิดต่าง ๆ ทำให้ pH เพิ่มขึ้น 1.2 หน่วย คือเพิ่มจาก 5.4 เป็น 6.6 และหลังจากใส่ถ่านเป็นเวลา 3 ปี ค่า pH ของดินเท่ากับ 6.3 ในขณะที่กรณีไม่ใส่ถ่านมีค่า pH 5.8 (25) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม pH เนื่องจากถ่านยังคงให้ผลในระยะยาว ค่า pH ของดินที่เพิ่มขึ้นทำให้ความอิ่มตัวของเบสเพิ่มขึ้น 10 เท่า (26) อย่างไรก็ตามอินทรีย์คาร์บอนที่นำมาใช้ปรับปรุงดินอาจได้จากแหล่งอื่น เช่น เถ้าถ่านหิน (coal ash) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตพลังงาน การทดลองเพิ่มเถ้าถ่านหิน ปริมาณ 110 เมกะกรัม/เฮกตาร์ ทำให้ pH เฉลี่ยของดิน Eroded Palouse เพิ่มจาก 6.0 เป็น 6.8 (27) การทดลองใช้เถ้าถ่านหินทั้งเถ้าลอยและเถ้าหยาบร่วมกับยิปซัมและปูนขาวอัตราส่วน 5:4:1 ในการปลูกคะน้าในชุดดินปากช่องมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตรเสมอซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมรวมกัน 40 กิโลกรัม/ไร่ พบว่าการใส่ส่วนผสมของเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยเพิ่มจาก 4.5 เป็น 5.7 และยังทำให้ ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก ความอิ่มตัวของด่าง ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ในดินสูงขึ้น และพบว่าพืชดูดใช้ไนโตรเจนได้มากขึ้น โดยเถ้าลอยมีประสิทธิภาพดีกว่าเถ้าหยาบ (28)

Tryon (29) รายงานว่า เบสที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใส่ถ่านไม้เนื้อแข็งในดินทรายและดินร่วน อย่างไรก็ตาม แคตไอออนที่เป็นเบสดังกล่าวจะถูกเรียกว่าแคตไอออนที่เป็นประโยชน์มากกว่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากแคตไอออนเหล่านี้อยู่ในรูปของเกลือที่ละลายได้ ไม่ใช่เกาะยึดอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ หรือผิวของอนุภาคด้วยแรงทางประจุ ซึ่งรูปดังกล่าวข้างต้นสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืช

ได้ทันที ถ่านนอกจากช่วยปรับปรุงความเป็นกรดของดินแล้ว ยังให้ธาตุอาหารต่าง ๆ แก่พืช ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้หรือวัสดุอินทรีย์ที่นำมาเผา เช่น ถ่านจากเปลือกไม้ *Acacia mangium* มีคุณสมบัติดังนี้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.4 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 0.398 กิโลกรัม/กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 10.4 กรัม/กิโลกรัม (30) ดังนั้นถ่านไม่ใช่ทำหน้าที่เพียงเป็นวัสดุปรับปรุงดินเท่านั้นยังทำหน้าที่ในแง่ของปุ๋ยด้วย การใส่ถ่านในดินเพื่อการเพาะปลูก จะช่วยเพิ่ม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แต่การใส่ในปริมาณมากกว่า 100 เมกะตัน/เฮกตาร์ จะทำได้ยากในแง่การปฏิบัติในไร่นา อย่างไรก็ตาม มีผลการศึกษาที่ใส่ถ่านในปริมาณน้อยลงก็ยังพบว่า ความอิ่มตัวของเบสเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด (4)

2. คุณสมบัติของถ่านต่อการส่งเสริมคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การที่ถ่านมีรูพรุนมาก จะช่วยในการดูดซับน้ำของดินได้เป็นอย่างดี จากการทดลองใส่ถ่านแกลบในดินนาเขตชลประทานที่ประเทศไทยและประเทศฟิลิปปินส์ และดินนาเขตน้ำฝนที่ประเทศอินเดีย และทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยใส่ปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ ของดินบนหรือประมาณ 16 ตัน-คาร์บอน/เฮกตาร์ หรือ 2.56 ตัน-คาร์บอน/ไร่ พบว่านอกจากจะเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน และอินทรีย์คาร์บอนแล้ว ยังทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง (31) อย่างไรก็ตามสำหรับสมบัติทางกายภาพของดินนั้นการใส่แกลบดิบให้ผลเด่นชัดกว่าการใส่แกลบเผา ดังเช่นผลการศึกษาใช้แกลบดิบและถ่านแกลบในอัตรา 12.5, 25.0, 37.5 และ 50 เมกะกรัม/เฮกตาร์ ในการปลูกข้าวโพด พบว่าความหนาแน่นรวมของดินในกรณีที่ใส่แกลบดิบ 25.0 เมกะกรัม/เฮกตาร์ และเมื่อใส่ถ่านแกลบ 50 เมกะกรัม/เฮกตาร์ ลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่แกลบ กรณีใส่แกลบดิบอัตรา 50 เมกะกรัม/เฮกตาร์ ทำให้อัตราแทรกซึมของน้ำสู่ดิน (infiltration rate) ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกเท่ากับ 2,250 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ส่วนฤดูปลูกที่สองเท่ากับ 2,181 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าใส่ถ่านแกลบในปริมาณเดียวกัน และการใส่แกลบดิบระดับความชื้นของดินที่จุดเหี่ยวถาวรสูงกว่าใส่ถ่านแกลบอย่างเด่นชัด (32)

การศึกษาการใช้ถ่านแกลบในการเพาะปลูกในสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยใส่ถ่านแกลบในแปลงปลูกมันเทศ สองลักษณะคือ ใส่โดยไม่คลุกเคล้ากับดิน ใส่โดยคลุกเคล้ากับดิน และ ไม่ใส่ถ่านแกลบ เป็นกรรมวิธีควบคุม ทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ร่องดูให้มีระดับสูงกว่าพื้นร่อง 20 มิลลิเมตร ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกเพื่อให้อยู่ในสภาพชุ่มน้ำ พบว่ากรณีใส่ถ่านแกลบโดยไม่คลุกเคล้ากับดินให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน 0.6 เท่า และให้น้ำหนักส่วนใต้ดิน (หัวและราก) 1.4 เท่า ของกรณีไม่ใส่ถ่านแกลบ และพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในดินปลูกที่ไม่ใส่ถ่านแกลบสูงกว่าแปลงที่ใส่ถ่านแกลบโดยไม่คลุกเคล้ากับดินอย่างเด่นชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใส่ถ่านแกลบทำให้ดินโปร่ง ถ่ายเทอากาศได้ดี (33)

3. คุณสมบัติของถ่านต่อการส่งเสริมสมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ถ่านเพื่อปรับปรุงดินทั้งถ่านและจุลินทรีย์ในดินจะมีผลซึ่งกันและกันกล่าวคือ โครงสร้างของถ่านที่เป็นรูพรุน ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวประกอบกับความเป็นด่างของถ่านช่วยปรับ pH ดินกรดให้สูงขึ้นเหมาะต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์มากขึ้น ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ทำให้ถ่านเกิดการเปลี่ยนสภาพ ถึงแม้ว่าถ่านมีสารพวกอะโรแมติกซึ่งคงทนต่อการย่อยสลายมากกว่าอินทรีย์สารที่ไม่ได้ผ่านการเผาไหม้ Pietikainen และ คณะ (34) พบว่าอัตราการเจริญเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียในดินป่าเขตอบอุ่น (temperate) ในชั้นดินที่มีถ่านผสมอยู่สูงกว่าดินชั้น

ถัดลงไปซึ่งไม่มีถ่าน ในดินเขตร้อนชื้นที่มีการชะล้างสูงการใส่ถ่านเพียง 7.9 กิโลกรัมคาร์บอน/แฮกตาร์ หรือ 1.26 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (35) เช่นเดียวกับ Zackisson และ คณะ (36) พบว่ามวลชีวภาพ (biomass) ในดินที่ใส่ถ่านสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ถ่าน นอกจากนี้ Uvarov (37) รายงานว่าการใส่ถ่านทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ซึ่งตรวจวัดด้วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น

ลักษณะรูพรุนและขนาดของรูพรุนที่หลากหลาย จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราไมคอร์ไรซาซึ่งเป็นเชื้อราที่อยู่อาศัยบริเวณรากพืช เป็นการอยู่อาศัยแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ช่วยในการดูดน้ำและธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุที่ถูกตรึงได้ง่ายในดิน การที่สปอร์เชื้อราตกอยู่ในรูพรุนของถ่านทำให้ลดการแข่งขันแย่งชิงปัจจัยในการเจริญเติบโตจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น ดังนั้นถ่านจึงสามารถทำหน้าที่เป็น innoculum ของ Arbuscular mycorrhiza ได้เป็นอย่างดี (36) การเข้าอยู่อาศัยในรากถั่วอัลฟัลฟาของเชื้อราไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อใส่ถ่าน 1 กิโลกรัม/ลูกกบาศก์เมตร ในดินเถ้าภูเขาไฟ (Vocalnic ash soil) ซึ่งให้ความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของถั่วอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.88$, $p<0.01$, $n=7$) และยังพบว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราไมคอร์ไรซา *Glomus etunicatum* ในรากหอมเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ถ่านปริมาณ 7 กรัม/กิโลกรัมดิน โดยคลุกสปอร์เชื้อราดังกล่าวในดิน (38) การใส่ถ่านเปลือกไม้โดยไม่ใส่ปุ๋ยในการปลูกข้าวโพด พบว่าปริมาณรากและการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น (39) แสดงให้เห็นว่าถ่านเอื้อต่อการเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์

ถ่านที่ผสมปนเปอยู่ในดินนอกจากมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีบทบาทสำคัญต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยเฉพาะการตรึงไนโตรเจน โดยทั่วไปนั้นการตรึงไนโตรเจนเกิดได้ดีในสภาวะที่ดินมีไนเตรตต่ำ แต่มีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม และจุลธาตุเพียงพอ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของดิน Terra Preta de Indio จากการทดลองเพิ่มปริมาณถ่านในดินจาก 0, 32, 62 และ 93 ตันคาร์บอน/แฮกตาร์ ในดินอันดับออกซิโซล (Oxisols) ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทำให้ไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงเพิ่มจาก 50-72 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนที่พืชดูดดึง เมื่อตรวจวัดด้วยวิธี ^{15}N dilution (40) อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านลงไปในดินอาจทำให้เกิดการขาดไนโตรเจนชั่วคราวเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ เพิ่มจำนวน หรือเรียกว่าเกิดกระบวนการ immobilization. แต่เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ตายก็สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารกลับออกมาสู่ดินเช่นเดิม

4. คุณสมบัติของถ่านต่อการเป็นแหล่งคาร์บอนที่คงทน

คาร์บอนที่อยู่ในโลกนี้ทั้งหมด 10^9 เมกะกรัม ประกอบด้วยส่วนที่อยู่บนพื้นแผ่นดิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในมวลชีวภาพ 500 เมกะกรัม เป็นองค์ประกอบอยู่ในดินในรูปอินทรีย์คาร์บอน 1,500 เมกะกรัม อยู่ในบรรยากาศ ซึ่งในปัจจุบันมีค่าสูงถึง 772 เมกะกรัม (CO_2 = 367 ppm) อยู่ในมหาสมุทร ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นสารคาร์บอเนตที่ละลายได้ปริมาณ 38,000 เมกะกรัม อินทรียวัตถุที่ละลายได้ 600 เมกะกรัม ส่วนที่ตกตะกอนในท้องทะเล 3,000 เมะกะกรัม และที่เป็นองค์ประกอบในหินและฟอสซิล 4,000 เมกะกรัม (6)

การเผาเศษไม้จนเป็นเถ้าถ่านจะมีคาร์บอนเหลืออยู่เพียงประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะปลดปล่อยสู่บรรยากาศในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าเผาไม้ให้เป็นถ่านจะเก็บคาร์บอนไว้ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (4) และถ้าปะปนอยู่ในดิน

ตารางที่ 2 Pyrogenic carbon (C_{pyr}) sequestration in Chernozems and anthropogenic dark earths (24)

เขตพื้นที่	ชนิดดิน	อายุของ C_{pyr}	C_{pyr} (g/Kg)	C_{py}(Mg/ha/m)	C_{pyr}(%TOC)
อเมริกาเหนือ	Chernozem	ไม่ทราบ	1-15	2-23 (0-10 cm)	5-25
เยอรมัน	Chernozem	ไม่ทราบ	-	-	Up to 45
เยอรมัน	Chernozem	ไม่ทราบ	-	-	10-20
เยอรมัน	Anthrosol	5,500-2,700 BC	0.1-25	-	2-35
เยอรมัน	Anthrosol	700 BC	0.2-2.4	23	7-13
บราซิล	Anthrosol	150 AD-500 BC	4-24	40-60	Up to 35

หมายเหตุ : TOC = Total Organic Carbon

จะสามารถเก็บคาร์บอนไว้ได้นานนับร้อยหรือพันปี (8) ดังเช่นดินสีดำซึ่งพบกระจายอยู่ในพื้นผิวโลกตามทุ่งหญ้าแพรี่ทั้งในเมริกาเหนือ และ เยอรมัน เรียกดินนี้ว่า Chernozem ซึ่งเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุปริมาณมาก (Mollisols) เนื่องจากพืชพรรณที่ขึ้นอยู่บริเวณดังกล่าวเป็นทุ่งหญ้าแพรี จากผลกระทบของไฟไหม้ทุ่งหญ้าในอดีตประกอบกับโดยธรรมชาติของดินทุ่งหญ้าจะมีปริมาณอินทรียวัตถุมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินซึ่งมีพืชพรรณชนิดอื่นปกคลุม ทำให้เกิดเป็นดินสีดำ (24) ดินดังกล่าวที่พบในอเมริกาเหนือ มี Pyrogenic carbon 1-15 กรัม/กิโลกรัมดิน โดยพบบริเวณผิวดินช่วงความลึก 10 เซนติเมตร 2-23 เมกะกรัม/เฮกตาร์ และคิดเป็น 5-25 เปอร์เซ็นของคาร์บอนทั้งหมด ส่วนดินสีดำที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในอดีต (Anthrosols) กระจายอยู่ที่ประเทศเยอรมัน และ บราซิล นั้น ดินในประเทศบราซิลที่เรียกว่า Terra Preta de Indio มี Pyrogenic carbon สูงถึง 4-24 กรัม/กิโลกรัมดิน ในช่วงความลึก 1 เมตรจากผิวดิน มี Pyrogenic carbon ถึง 40-60 เมกะกรัม/เฮกตาร์ คาร์บอนดังกล่าวที่สะสมอยู่ในดินเหล่านี้มีอายุนับร้อยถึงหลายพันปี (ตารางที่ 2) ดังนั้นการเปลี่ยนคาร์บอนจากวัสดุอินทรีย์มาเป็นถ่านที่สะสมอยู่ในดิน นอกจากจะให้ผลดีในแง่เป็นสารปรับปรุงดินแล้ว ยังเป็นการเก็บกักคาร์บอนไม่ให้หมุนเวียนไปสู่บรรยากาศในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งน่าจะมีบทบาทสำคัญในการลดภาวะโลกร้อน

วิจารณ์

ดินเขตร้อนชื้น ซึ่งส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำโดยธรรมชาติ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยให้เกิดการชะล้าง (weathering) สูง แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีโครงสร้างแบบ 1:1 (2) รวมทั้งการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์โดยจุลินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็วจึงทำให้ดินมีอินทรียวัตถุต่ำ (12) ถึงแม้ว่าในเขตภูมิอากาศนี้จะมีพืชพรรณและสัตว์หลากหลายชนิดรวมทั้งมีปริมาณมากกว่าเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใส่ปุ๋ยเคมีนั้นพืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อย แต่จะสูญเสียไปจากพื้นที่ปลูกทั้งโดยการชะละลายและการเซาะกร่อนของดิน การที่ดินไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้เนื่องจากมีความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ แนวทางปฏิบัติที่ทราบกันทั่วไปในการเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินคือ

การเติมอินทรียวัตถุให้กับดินอย่างสม่ำเสมอ

อินทรียวัตถุหรืออินทรียคาร์บอนมีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ กล่าวคือ ทำให้ดินมีความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง เนื่องจาก ฮิวมัสเป็นอินทรีย์คอลลอยด์ที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงถึง 200 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม ในขณะที่ เวอร์มิคิวไลต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 มีค่า CEC เพียง 100 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม และ เคโอลิไนต์ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 มีค่า CEC เพียง 8 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม (2) อินทรียวัตถุเองเป็นแหล่งของธาตุอาหารปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ให้กับพืชและจุลินทรีย์ในดิน และยังช่วยส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินเสถียร ลดการเกิดชั้นดานแข็ง ลดการเซาะกร่อนของดินเนื่องจากการแทรกซึมของน้ำลงสู่ดินเป็นไปได้ดี (14) นอกจากนี้อินทรียวัตถุทำให้ดินสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่ซากอินทรีย์ให้กับดินต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นในระยะยาวก็ยังไม่ได้ทำให้เพิ่มค่า CEC ของดินแต่อย่างใด

จากการค้นพบดินสีดำแถบที่ราบลุ่มในประเทศบราซิลที่เรียกว่า Terra Preta de Indio ซึ่งเป็นผลมากจากกิจกรรมของมนุษย์ (4,8) และดิน Chernozem ในเขตทุ่งหญ้าแพรีของอเมริกาเหนือและเยอรมัน ล้วนแล้วแต่มีสารประกอบ pyrogenic carbon ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดินข้างเคียง (22-24) ซึ่ง pyrogenic carbon เกิดจากการเผาไหม้ของซากอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีรูพรุน และปฏิริยาออกซิเดชันบนพื้นผิวทำให้เกิดหมู่คาร์บอกซิลิกที่ผิวสัมผัสเป็นจำนวนมาก และเมื่อพื้นผิวถ่านมีการเคลือบด้วยอินทรีย์คอลลอยด์จากแหล่งต่าง ๆ ก็ยิ่งทำให้ดินที่มีถ่านเป็นองค์ประกอบมีความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงขึ้น พบว่าค่า CEC เพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า (21) จึงทำให้ดูดซับธาตุอาหารพืชได้ดี รวมทั้งสภาพรูพรุนซึ่งมีช่องวางหลากหลายขนาดช่วยทำให้ดินระบายน้ำระบายอากาศได้ดี ในขณะเดียวกันก็สามารถดูดซับน้ำได้อย่างเหมาะสม พบว่าชาวพื้นเมืองที่อาศัยอยู่บริเวณดิน Terra Preta de Indio ทำการเพาะปลูกโดยไม่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีก็สามารถให้ผลผลิตสูงตามต้องการ (4) จากผลการศึกษาจากนักวิชาการหลาย ๆ กลุ่ม พบว่าดินดังกล่าวมีค่า CEC ความอิ่มตัวของเบส และ ปริมาณธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัสสูงกว่าดินบริเวณข้างเคียงซึ่งมีแร่ดินเหนียวชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่คือแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 เช่นเคโอลิไนต์ (20) และจากผลการทดลองนำถ่านมาใช้ในการปรับปรุงดินเพาะปลูกจะเห็นว่าทำให้สมบัติทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดินดีขึ้น

pH ของดินกรดที่เพิ่มขึ้นจากการเติมถ่านลงไป ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลจากการเติมปูน คือ ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น ปริมาณอลูมินั่มเหล็ก แมงกานีส ลดลง (2,41) การเผาเศษไม้จนเป็นเถ้าถ่านจะมีคาร์บอนเหลืออยู่เพียงประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเผาเป็นถ่านจะเก็บคาร์บอนไว้ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และถ้าใส่ลงไปในดินจะสามารถเก็บคาร์บอนไว้ได้นานนับร้อยหรือพันปี (4) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากถ่านมีปริมาณธาตุอาหารไม่มากนัก การนำมาใช้ปรับปรุงดินเพื่อการเพาะปลูกควรใส่ร่วมกับปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี และควรได้มีการศึกษาในด้านผลของถ่านที่เผาในสภาพอับอากาศต่อประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมี คุณสมบัติของถ่านที่เผาในสภาพอับอากาศจากวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีในแต่ละท้องถิ่น รวมทั้งอัตราที่เหมาะสมในการใช้ถ่านจากวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ในสภาพดินที่แตกต่างกันทั้งในระดับกระถางและระดับแปลงปลูก จะเห็นได้ว่าถ่านที่เผาในสภาพอับอากาศนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้เป็นอย่างดีเนื่องจากช่วยทำให้ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่มขึ้น

และสามารถคงอยู่ได้อย่างยาวนาน เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ซากอินทรีย์ชนิดอื่น เพิ่ม pH ของดินกรด ทำให้ความความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น ความพรุนของถ่านช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินและเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเพิ่มจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้ถ่านยังสามารถเก็บกักคาร์บอนในดินได้ดี ซึ่งมีศักยภาพในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งถ้าได้มีการส่งเสริมให้ใช้อย่างกว้างขวาง น่าจะมีบทบาทสำคัญในการลดภาวะโลกร้อน และก่อให้เกิดการเกษตรยั่งยืนได้ตามประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ……. : การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงบำรุงดินอินทรียวัตถุต่ำ.คณะกรรมการกำหนดมาตฐานและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-15, 2540.
2. Brady, N. C. and Weil, R. R. : The nature properties of soil. Prentice Hall, New Jersey. 960 p, 2002.
3. Gaskell, M. et al.: Soil fertility management for organic crops. University of California, Division of Agriculture and Natural resources. [cite 2009 Feb. 20]. Available from: http://anrcatalog.ucdavis.edu
4. Bruno, G., Lehmann, J., and Zech, W. : Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-areview. Biol Fertil Soils. 35:219-230, 2002.
5. อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์: ปฐพีวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ยะลา. 312 หน้า, 2548.
6. Tsutsuki, K. : Soil organic matter management for tackling desertification. In. Global perspective in range rehabilitation and prevention of desertification :The organizing committee of OASERD-APEID.
7. Tiessen, H. Cuevas, E, Chacol P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. Nature. 371:783-785, 1994.
8. Lehmann , J. : Terra Preta de Indio. [cite 2009 Feb. 20]. Available from : http://www.css.cornell.edu.
9. Amelong, W., Flach, K.W. and Zech, W. : Climate effects on soil organic matter composition in great plain. Soil Science Society of America J. 61:115-123,1997.
10. เครื่องปลูกกกล้วยไม้. [cite 2009 Feb. 20]. Available from : http://www.css.cornell.edu.
11. . …….. ถ่านเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่คงอยู่ในดิน [cite 2009 Feb. 25]. Available from: http://panmai.com/orchid/orchid
12. อาณัฐ ตันโต. การวิเคราะห์และประเมินผลสำเร็จของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ อินทรียวัตถุ ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก และ วัสดุปรับปรุงดินในประเทศไทย. [cite 2009 Feb. 2]. Available from : http://www.ldd.go.th/pldweb/tech/meet7/book3/t2.doc.
13. Trumbore, E. S. : Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. Proc.Natl. Sci. USA. 94:8284-8291, 1997.
14. ……. The important of soil organic matter. Natural Resource Management. FAO Corporate document reprository.

[cite 2009 Feb. 20]. Available from: http://www.eia.emb.gov.ph.

15. ..... Carbonization process. FAO Corporate document repository. [cite 2009 Feb. 20]. Available from: http://www.eia.emb.gov.ph.
16. ..... Recovery of by products from hardwood carbonization. FAO Corporate document repository. [cite 2009 Feb. 20]. Available from: http://www.eia.emb.gov.ph.
17. ..... คู่มือน้ำส้มควันไม้. โครงการส่งเสริมการผลิตถ่าน และจัดการทรัพยากรไม้อย่างมีประสิทธิภาพ. สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, นครราชสีมา. หน้า 16-30, 2549.
18. ..... คู่มือเตาเผาถ่าน 200 ลิตร. โครงการส่งเสริมการผลิตถ่าน และจัดการทรัพยากรไม้อย่างมีประสิทธิภาพ. สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, นครราชสีมา. หน้า 19-20. 2549.
19. ..... Application of rice husk charcoal. In FFTC (leafet for agriculture practical technology. [cite 2009 Feb. 12]. Available from: http//www.eprida.com
20. Davis, J. G. and Wilson, C. R. Choosing a soil amendment. Fact sheet, Colorado University. [cite 2009 April 15]. Available from: http://www.ext.Colostate.edu/pubs/garden/07235.html
21. Schmidt, M. W. I. and Noack, A. G. : Black Carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges. Global Biogeochem. Cycles.14:777-793, 2000
22. Liang, B., *et al:* Black carbon increase cation exchange capacity in soil. Soil Sci.Soc.AM.J 70 :1719-1730, 2006.
23. Sombroek, W. G., Nachtergaele, F.O., Hebel, A. : Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropiccal and subtropical soils. Ambio 22:417-426,1993.
24. Glaser, B., Lehmann, J., Steiner, C., Nehls, T., Yousaf, M. and Zech, W. : Potential of pyrolyzed organic matter in soil amelioration. 12th ISCO Conference. pp. 4221-427, 2002.
25. Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech , W. and Glaser, B. : Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferrosol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendment. Plant and Soil. 249:343-357,2003.
26. Lehmann, J. et al.: Slash and char: a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon? Paper no.449. Presentation poster.17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand.
27. Cox, D., Bezdicek D., Fauci, M. : Effects of compost, coal ash, and straw amendments on restoring the quality of eroded Palouse soil. Biol Fertil Soils.33:365-372, 2001.
28. Rungsun Im-Erb, Noparat Bamroongrugsa, Koji Kawashima, Tomoyuki Amano and Shigeru Kato. : Utilisation of coal ash in improve acid soil. Songklanakarin J. Sci. Technology. 25(5):697-706, 2004.
29. Tryon, E. H. : Effect of charcoal on certain physical, chemical and biological properties of forest soils. Ecol. Monogr. 18,81-115, 1948.

30. Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F. , Anshori, S. and Ogawa, M. : Effect of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition. 52:489-495, 2006.
31. Steiner, C. : Soil charcoal amendment maintain soil fertility and establish a carbon sink- research and prospects. In Soil Ecology Research Development. Tian-Xiac Liv. (editor) p.1-4. [cite 2009 Feb. 12]. Available from: http//www.biochar.org
32. Nnabude, P. C. and Mbagwu, J. S. C. : Soil water relations of a Nigerian Typic Haplustult amended with freash and burnt rice-mill wastes. Soil and Tillage Rearch. 21: 207-214,1990.
33. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G. and Kiyota, M. : Effect of placing rice husk charcoal inside soil ridges for soil aeration and growth and yield of sweet potato in wet lowland. Journal of Root Crop.25(1): 85-97, 1999.
34. Pietikainen, J., Kiikkila, O. and Fritze, H. : Charcoal as a habitat for microbes and it effects on the microbial community of the underlying humus, Oikos. 89:231-242. 2000.
35. Steiner, C. et al.: Microbail response to charcoal amendments of highly weathered soil and Amazonian dark earths in Central Amazonian:Pleliminary results, In: Amazonian Dark Earths: Exporations in time and space, Glaser, B. and Woods, W. I., Eds., Springer, Heidelberg. 95-212, 2004.
36. Zackisson, O., Nilsson, M.C. and Wardle, D. A. : Key ecological function of charcoal from wildfire in the boreal forest, Oecologia. 77: 10-19,1996
37. Uvarov, A. U. : Effect of smoke emissions from a charcoal kiln on the functioning of forest soil system: A microcosm study, Environ. Monit.Assess. 60:337-357. 2000.
38. Saito, M. and Marumoto, T. : Inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi: The status qua in Japan and future prospects. Plant soil. 244: 273-279, 2000.
39. Matsubara, Y. I., Harada, T., and Yakuwa, T. Effect of inoculation density of VAM fungi spores and addition of carbonized material to bed soil on growth of Wesh onion seedlings. J. Jpn.Soc.Hortic. Sci., 46: 549-554, 1995.
40. Lehmann, J. and Rondon, M. :Bio-char soil management on highly weathering sol in humid tropics. . [cite 2009 Mar 12]. Available from:http://w.w.w.CSS Cornell.edu.
41. อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์ และ โรส เจ๊ะแวมาแจ : การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ จุลธาตุ ภายหลังใส่ปูนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในดินกรดจัด. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 1(1): 21-29, 2549.