

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

สายพันธุ์กาแฟอาราบิกาส่งเสริมปลูกในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง และสวพส. มีความหลากหลายของสายพันธุ์ ผลผลิตที่เกษตรกรแปรรูปและจำหน่าย ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ที่แท้จริงได้ ทำให้มีความแตกต่างด้านคุณภาพการชิม ซึ่งการแข่งขันในตลาดกาแฟจะเน้นเรื่องคุณภาพที่มีเอกลักษณ์ด้านรสชาติที่เฉพาะ ในระยะที่ผ่านมาโครงการหลวงไม่มีสายพันธุ์กาแฟอาราบิกาที่มีคุณภาพดีสำหรับส่งเสริมให้กับเกษตรกร ดังนั้นมูลนิธิโครงการหลวง และสวพส. จึงได้รวบรวมและคัดเลือกสายพันธุ์กาแฟอาราบิกาที่มีคุณภาพดีในด้านการเจริญเติบโต การทนทานต่อโรคและแมลงศัตรูกาแฟ รวมถึงคุณภาพการชิมที่ดีหรือมีเอกลักษณ์รสชาติ และทดสอบการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในพื้นที่ความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ (ต่ำกว่า 1,000, 1,000-1,200 และมากกว่า 1,200 msl.) นอกจากนี้การปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงนั้นเกี่ยวข้องกับอาชีพของเกษตรกรจำนวนมากและเป็นรายได้หลักของหลายชุมชน แต่เนื่องด้วยสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และส่งผลให้ผลผลิตกาแฟลดลง รวมถึงประเทศไทยกำลังเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น โดยมีนโยบาย BCG Economy Model ซึ่งจะช่วยต่อยอดจุดแข็งของประเทศให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในด้านความหลากหลายทางชีวภาพและความหลากหลายทางวัฒนธรรม เพื่อแก้ปัญหาทรัพยากรเสื่อมโทรม ขยะล้นเมือง โลกร้อน รวมถึงรายได้เกษตรกร จึงต้องมีการเตรียมความพร้อมให้กับเกษตรกร เพื่อความยั่งยืนด้านรายได้ และรักษาสีเขียวของเกษตรกรบนพื้นที่สูง โดยการเสริมมูลค่าเพิ่มจากระบบการปลูกกาแฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาและใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของกาแฟที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตและแปรรูป เพื่อต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟตามแนวทาง BCG และรวมกับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น การแปรรูปที่เหมาะสมต่อการให้กลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพทางการตลาด เสริมสร้างความยั่งยืนต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมของชุมชนบนพื้นที่สูงได้

1 สายพันธุ์กาแฟ (พงษ์ศักดิ์, 2561)

สายพันธุ์กาแฟอาราบิกาที่สำคัญ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

1) อาราบิกาแท้ ได้แก่ สายพันธุ์คาทูรา ทิปปิก้า บลูเมาเทน เบอร์บอน โดยสายพันธุ์เหล่านี้มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ แต่มีข้อด้อยคือ อ่อนแอต่อโรคราสนิม ทำให้เกษตรกรไม่สามารถเก็บผลผลิตเพื่อจำหน่ายได้ การจัดการสวนที่ดีจึงต้องมีการเพิ่มต้นทุนด้านการจัดการโรคและแมลง จึงนิยมปลูกกันน้อยลง

2) กลุ่มสายพันธุ์ที่เกิดจากการผสมข้าม เช่น คาติมอร์ (Catimor) เป็นสายพันธุ์ที่ได้มาจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ คาทูราผลสีแดง CIFIC 19/1 ซึ่งเป็นต้นแม่ และ ไฮบริด เดอ ติมอร์ CIFIC 832/1 ซึ่งเป็นต้นพ่อ และการผสมกลับ (Backcross) ระหว่างลูกผสมทำให้ลูกผสมที่ได้มีความต้านทานต่อโรคราสนิม ซึ่งได้จากพันธุ์ไฮบริด เดอ ติมอร์ ลักษณะทรงต้นเตี้ย ผลผลิตสูง การใช้เลขหมาย CIFIC 19/1 และ CIFIC 832/1 ถูกกำหนดโดยนักปรับปรุงพันธุ์พืชที่ ศูนย์วิจัยโรคราสนิมนานาชาติ (Centro de Investigacao das Ferrgens de Cafeeiro, CIFIC) มานพ และคณะ (2551) ได้รายงานผลการวิจัยและพัฒนากาแฟอาราบิกาของกรมวิชาการเกษตร สามารถคัดเลือกต้นที่มีลักษณะดี ต้นเตี้ย ข้อสั้น ให้ผลผลิตสูงสม่ำเสมอ มีคุณภาพและต้านทานโรคราสนิม 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถคัดเลือกได้ 3 สายพันธุ์ ที่ต้านทานต่อโรคราสนิม 100 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ สายพันธุ์ Catimor CIFIC 7963-13-28, Catimor CIFIC 7963-51-7 และ Catimor CIFIC 7963-661-36 และเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ (ใช้เมล็ด F8 จากต้นคัดเลือก) จำนวน 3 สายพันธุ์ กับพันธุ์เปรียบเทียบ 7 พันธุ์ โดย

สายพันธุ์ Catimor CIFIC 7963-13-28 ให้ผลผลิตต่อต้น และสารกาแฟเกรด A สูงสุด เมื่อทดสอบสายพันธุ์คัดเลือก 3 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับพันธุ์ Caturra ในพื้นที่ปลูก 4 แห่ง สามารถคัดเลือกสายพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่ต้านทานต่อโรคราสนิม คือ สายพันธุ์ Catimor CIFIC 7963-13-28 ลักษณะเด่น คือ ต้านทานโรคราสนิมสูง ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟดิบ (green bean) เฉลี่ย 5 ปี สูงถึง 215 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์ Caturra, Bourbon และ Typica ที่เกษตรกรปลูกทั่วไป คุณภาพการชิม (cup quality taste) อยู่ระดับ 6.5 -7.0 คะแนน (จาก 10 คะแนน) สิทธิเดช และสุมานี (2563) รายงานผลการคัดเลือกและผลิตเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าคุณภาพของโครงการหลวง ในปี พ.ศ. 2563 สามารถคัดเลือกสายพันธุ์กาแฟที่มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตที่ดีในชุดที่ 1 จำนวน 4 แหล่งพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อ่างช้าง (AK) จำนวน 3 เบอร์ พันธุ์อินทนนท์ (IN) จำนวน 2 เบอร์ โดยส่งวิเคราะห์คุณภาพการชิมซ้ำในปี 2562 ในพันธุ์จากป่าเมี่ยง (PM) และพันธุ์จากตีนตึก (TT) นำตัวอย่างเมล็ดกาแฟ 20 ตัวอย่าง ส่งวิเคราะห์คุณภาพทางด้านรสชาติ (Cup test) พบว่าทั้ง 20 ตัวอย่าง ในแหล่งพันธุ์ป่าเมี่ยง (PM) 10 ตัวอย่าง และแหล่งพันธุ์ตีนตึก (TT) 10 ตัวอย่าง อยู่ในกลุ่มคุณภาพดีเยี่ยม ส่วนชุดที่ 2 ที่รวบรวมในปี พ.ศ. 2559 เริ่มให้ผลผลิตในปี 2563/64 ยังไม่สามารถวิเคราะห์คุณภาพการชิมได้ สิทธิเดช และสุมานี (2564) สามารถคัดเลือกสายพันธุ์กาแฟที่มีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพด้านการชิมที่ดีเยี่ยมจำนวน 4 แหล่งพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อ่างช้าง (AK) เบอร์ A5/A7/A10 พันธุ์อินทนนท์ (IN) เบอร์ A42/A58 พันธุ์ตีนตึก (TT) เบอร์ B1/B4/ B9/B19 และพันธุ์ป่าเมี่ยง (PM) เบอร์ B27/B29/B36/B40 ส่วนการเจริญเติบโตต้นกาแฟ ในชุดที่ 2 จำนวน 4 แหล่งพันธุ์ (แม่ลำน้อย ห้วยน้ำขุน ห้วยส้มป่อย และวาวี) พบว่ากาแฟจากแหล่งพันธุ์แม่ลำน้อย (MLN) มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 33.58 มม. ความสูงเฉลี่ย 142.5 ซม. และความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 155.7 ซม. และมีน้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด 2,428 กรัม ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านรสชาติ พบว่าอยู่ในเกณฑ์คะแนนคุณภาพดีเยี่ยม

2. แนวทางการใช้ประโยชน์จากของเสียในกระบวนการแปรรูปกาแฟ ด้วยหลัก BCG Model

2.1 BCG Model

เป็นการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม ที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติไปพร้อมกัน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยเน้นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เชื่อมโยงกับ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) คำนึงถึงการนำวัสดุต่างๆ กลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด และทั้ง 2 เศรษฐกิจนี้ อยู่ภายใต้เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการพัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ต้องพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุลให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนไปพร้อมกัน โดยเปลี่ยนข้อได้เปรียบที่ไทยมีจากความหลากหลายทางชีวภาพและวัฒนธรรม ให้เป็นความสามารถในการแข่งขันด้วยนวัตกรรม เพื่อให้เกิดเศรษฐกิจ BCG ที่เติบโต แข่งขันได้ในระดับโลก เกิดการกระจายรายได้ลงสู่ชุมชน ลดความเหลื่อมล้ำ ชุมชนเข้มแข็ง มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน

หัวใจสำคัญของ BCG Model คือการพัฒนาแบบคู่ขนาน ทั้งในส่วน “ยอดปิรามิด” ซึ่งหมายถึง ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรที่มีความพร้อมสูง มีกำลังในการลงทุนด้านเทคโนโลยี พร้อมรับความเสี่ยง สามารถเข้าถึงความก้าวหน้าทางวิทยาการระดับสูงสำหรับผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าสูงมากๆ เช่น สินค้า เกษตรมูลค่าสูง ส่วนประกอบอาหารสุขภาพ ชีววัตถุ การแพทย์สมัยใหม่/แม่นยำ สารเคมีชีวภาพมูลค่า

สูง หรือการท่องเที่ยวมูลค่าสูงเฉพาะกลุ่ม แม้กลุ่มนี้จะมีจำนวนน้อยแต่สร้างมูลค่าเพิ่มได้สูง และจะเป็นกำลังสำคัญของเศรษฐกิจไทยในอนาคต

BCG ในส่วน “ฐานปิรามิด” เป็นการยกระดับ “ผลิตภาพ” และ “มาตรฐาน” ให้กับผู้ประกอบการ ขนาดกลางและขนาดย่อม เกษตรกรรายย่อยและภาคชุมชน ซึ่งแม้ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงแต่ส่งผลกระทบสูง เนื่องจากเกี่ยวข้องกับคนจำนวนมากที่เป็นรากฐานเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ Duică et al. (2014) โดยการพัฒนาทั้งหมดจะต้อง เสริมความเข้มแข็งให้กับทุนทางสังคม อันได้แก่ ภูมิปัญญาและวัฒนธรรมท้องถิ่น ตลอดจนทุนทางทรัพยากรธรรมชาติ ตามแนวคิดของปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ที่จะขยายผลไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ของสหประชาชาติ (SEP for SDGs) ที่มุ่งพัฒนาโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และเพิ่มโอกาสให้ทุกคน BCG Model เป็นกลไกที่สำคัญในการยกระดับคุณภาพชีวิตของคนในประเทศอย่างทั่วถึง สามารถ กระจายโอกาสและลดความเหลื่อมล้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการตอบสนองต่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของคนได้ในหลายมิติ

ในยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนด้าน สาขาเกษตรและอาหาร มุ่งสู่การผลิตสินค้าเกษตรและอาหาร จากการผลิตมากแต่ได้น้อยไปสู่การ ผลิตสินค้าที่เป็นพรีเมียมที่ผลิตน้อยแต่สร้างรายได้สูง รวมถึงเพิ่มความหลากหลายของผลผลิตทางการเกษตร และอาหาร โดยต้องปรับโครงสร้างการผลิตทั้งระบบ อาศัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจจากเทคโนโลยีการ วิเคราะห์ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Behavior Analytics) ก่อให้เกิดการผลิตแม่นยำ และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด ลดของเหลือทิ้ง (Optimized Wasted Production) ตรวจสอบและติดตาม ผลผลิตได้แบบเรียลไทม์ ลดการบุกรุกผืนป่า (Forest Management) เนื่องจากการบริหารจัดการพื้นที่ เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพในการผลิตตามศักยภาพ ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ใช้ เทคโนโลยีระบบการผลิตและเครื่องจักรกลที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงความยั่งยืน ยกระดับสินค้าเกษตรและ อาหารสู่สินค้าปลอดภัย สร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ มีระบบตรวจสอบย้อนกลับแบบเรียลไทม์ (RealTime Traceability) และพัฒนามาตรฐานสินค้าให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล พัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร อัจฉริยะสำหรับเกษตรกรรายย่อยเพื่อให้เกษตรกรทุกระดับสามารถเข้าถึงได้ ยกระดับเกษตรกรรายย่อยสู่ วิสาหกิจ/ธุรกิจเกษตรที่เชื่อมต่อกับอุตสาหกรรม เกิดการกระจายรายได้ตลอดห่วงโซ่ และมุ่งสู่การส่งออก เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ

แผนงานและโปรแกรมขับเคลื่อนตามหลัก BCG ในแผนงานการพัฒนาสาขาการเกษตร (BCG - Agriculture Development) มุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนจากการผลิตสินค้าเกษตรโภคภัณฑ์แบบเชิงเดี่ยว ซึ่งมีความเปราะบางจากความผันผวนของราคาตลาดโลกและภัยธรรมชาติ ไปสู่รูปแบบเกษตรสมัยใหม่ที่ผลิตสินค้าเกษตรพรีเมียม ที่หลากหลายด้วยการใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในการวางแผนการผลิต ส่งเสริมการ นำความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมไปใช้ร่วมกับภูมิปัญญาเพื่อยกระดับประสิทธิภาพทั้งระบบ ตั้งแต่การปรับปรุงพันธุ์ การเพาะปลูก การแปรรูป จนถึงการตลาด รวมถึงการยกระดับสินค้าเกษตรสู่การเป็นสินค้า ที่มีมาตรฐานครอบคลุมทั้งด้านคุณภาพ โภชนาการ ความปลอดภัย และระบบการผลิตที่ยั่งยืน (Seesung, 2021) ประกอบด้วย 2 โปรแกรม โปรแกรมที่ 1 ส่งเสริมการผลิตแม่นยำสูง (Precision Farming) ประสิทธิภาพสูง และเกษตรยั่งยืน การส่งเสริมการนำเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำไปประยุกต์ใช้ตั้งแต่การเลือกชนิดพืชให้เหมาะสมกับสภาพดินในพื้นที่ ทรัพยากรน้ำ สภาพภูมิอากาศในแต่ละปี การ

ใช้ปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการ ของชนิดพืช สัตว์ในแต่ละช่วงวัยและฤดูกาล เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ เพิ่มผลกำไร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติในแปลงผลิตพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ การตรวจวิเคราะห์ คุณภาพดินก่อนการใส่ปุ๋ย ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืช รวมถึงการใช้โปรแกรมปุ๋ยสั่งตัด การเลี้ยงปลา ในระบบนาขั้นสูง ระบบการผลิตพืชในระบบโรงเรือน (Smart Greenhouse) รวมถึงการพัฒนา แพลตฟอร์มเพื่อการติดตามตรวจสอบและพยากรณ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของพืชและการเลี้ยงสัตว์ เช่น การระบาดของโรค แมลง สภาพภูมิอากาศ ภัยธรรมชาติ เพื่อการบริหารจัดการของเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Eastwood et al., 2019) โปรแกรมที่ 2 ส่งเสริมระบบการผลิตสินค้าเกษตรพรีเมียม (เน้นคุณภาพ โภชนาการ ความปลอดภัย และการผลิตที่ยั่งยืน) ส่งเสริมแนวคิดผลิตน้อยแต่ สร้างรายได้มาก ด้วยการยกระดับคุณภาพสินค้าเกษตรสู่สินค้าพรีเมียม ส่งเสริมให้เกษตรกรเข้าถึงพันธุ์ที่มีคุณภาพอย่างทั่วถึง ผลักดันให้ระบบการผลิตเข้าสู่มาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agriculture Practices : GAP) การผลิตพืชในระบบโรงเรือน หรือการผลิตด้วยระบบ Plant Factory ซึ่งผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ ความปลอดภัย และมีปริมาณสารสำคัญสูงและสม่ำเสมอ จัดให้มีระบบการตรวจสอบย้อนกลับได้ทั้งระบบ (Traceability) รวมถึงการหมุนเวียนการใช้ประโยชน์จากทรัพยากร อย่างคุ้มค่าเพื่อให้สินค้าที่ผลิตเป็นสินค้าคาร์บอนต่ำ

2.2 BCG Model กับห่วงโซ่การผลิตกาแฟ

การพัฒนาธุรกิจกาแฟตลอดห่วงโซ่การผลิตในปัจจุบันนั้นมีการนำหลัก BCG มาใช้ เช่น ด้านเศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) โดยการใช้แก้วกาแฟและหลอดสำหรับเครื่องดื่มที่ทำจากไบโอพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในเวลาสั้น รวมถึงการสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) โดยการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นสินค้าหรือ upcycling เช่น เฟอร์นิเจอร์เครื่องใช้ต่างๆ และสินค้าต่างๆ เช่น วัสดุปลูกต้นไม้ ถาดรองแก้วกาแฟ ที่ทำจากเปลือกกาแฟกะลา เป็นต้น ซึ่งเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) โดยการจัดการของเสียจากกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่ต้นน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูป และการจัดการของเหลือใช้จากเปลือกกาแฟผลสด และเปลือกกาแฟกะลา เป็นต้น

3. การใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของกาแฟ

เมล็ดกาแฟนั้นเป็นเมล็ดของผลกาแฟ (seed) โดยที่ไม่ได้มีส่วนใดเกี่ยวข้องกับแก้วแต่อย่างใด แต่ที่เรียกว่า Bean นั้นเนื่องจากมีลักษณะคล้ายคลึงกับ เมล็ดถั่วนั่นเอง Eira et al. (2006)

1) ผิว/เปลือก โดยสีของผิวจะแตกต่างกันตามชนิดของกาแฟ หรือระดับความสุกของกาแฟ ซึ่งเริ่มจากสีเขียวไปจนถึงสีแดงเมื่อผลกาแฟสุก นับได้ว่าเป็นเนื้อเยื่อชั้นแรกที่คอยปกป้องเมล็ดกาแฟ

2) เมือก/เนื้อเยื่อ หรือที่เราเรียกกันว่าเมือก เป็นชั้นเนื้อเยื่อห่อหุ้มกะลาไว้ มีลักษณะลื่นและหวาน ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด เช่น น้ำตาล และโปรตีน ซึ่งจะเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการโปรเสสกาแฟ โดยที่สารอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ หรืออื่นๆ ในระหว่างกระบวนการหมักซึ่งจะทำให้เกิดสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ เช่น กรดอะซิติก

3) Parchment หรือ กะลากาแฟ หรือเรียกกันว่ากะลา โดยจะเป็นชั้นในสุดของผลกาแฟ ทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดกาแฟที่อยู่ด้านในทั้งก่อนและหลังจากการโปรเส็จ หลังจากการโปรเส็จเสร็จสิ้น กะลาจะมีลักษณะคล้ายกับกระดาษ

4) Silver Skin เยื่อหุ้มเมล็ด เป็นเนื้อเยื่อบางๆห่อหุ้มเมล็ดกาแฟ และเป็นจุดเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟ

5) Green Beans เอนโดสเปิร์ม หรือ กาแฟสาร เป็นส่วนที่ใช้สะสมอาหารสำหรับเอ็มบริโอซึ่งเป็นส่วนที่สะสมสารอาหารต่างๆที่จะถูกนำไปใช้โดยเอ็มบริโอสำหรับการเจริญเติบโตเป็นต้นกาแฟต้นใหม่ และยังเป็นส่วนสำคัญต่อรสชาติของกาแฟ เพราะสารอินทรีย์ที่ถูกสะสมไว้สำหรับเอ็มบริโอจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นรสชาติของกาแฟระหว่างกระบวนการคั่ว

กาแฟเป็นพืชที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง ทั้งในระดับโลกและภูมิภาคต่างๆ รวมถึงในประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามกาแฟก็สร้างของเหลือใช้จากกระบวนการผลิตจำนวนมากด้วย ซึ่งมีการจัดการนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่นกัน วัสดุในการดูดซับโลหะหนักในดิน ส่วนประกอบของการผลิตเชื้อเพลิงหรือถ่าน (จุฑาภรณ์ และกนกวรรณ, 2019) ส่วนประกอบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เอทานอลหรือไบโอดีเซล วัสดุทำปุ๋ยหมัก การผลิตภาชนะที่นำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุผสมในการเพาะเห็ด รวมถึงการนำเอาเปลือกกาแฟผลสดซึ่งเป็นแหล่งฟีนอลิกจากธรรมชาติ ด้วยการสกัดเอาสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนที่รุนแรงได้ โดยเฉพาะกับแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือความหลากหลายในดิน สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงได้เช่นกัน มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของกาแฟ ดังตาราง

Table 4
Coffee industry by-products and its application.

By-product	Applications	References
Coffee pulp	Mushroom production	Fan et al. (2001) and Murthy and Manonmani (2008)
	Compositing	Nogueira et al. (1999)
	Food commodities	Madhava Naidu et al. (2004)
	Polyphenol extraction	Sera et al. (2000)
	Anthocyanins	Emille et al. (2007) and Murthy et al. (2012)
	Animal feed	Ajebu Nurfeta., 2010
	Biosorbents	Irawaty et al. (2004)
Coffee husk	Citric acid	Shankaranad and Lonsane (1999)
	Gibberellic	Machado et al. (2000, 2002)
	Vermicompost	Sathyanarayana and Khan (2008) and Adi and Noor (2009)
	Flavor	Soares et al. (2000a,b)
	Particle board	Bekalo and Reinhardt (2010)
	Biosorbents	Oliveira et al. (2008)
	Tannase	Battestin and Macedo (2007)
Coffee pulp and husk	Animal feed	Mazzafera (2002)
	Amylase	Murthy et al. (2009)
	Protease	Murthy and Madhava Naidu (2010)
	Pectinase	Murthy and Madhava Naidu (2011)
	Xylanase	Murthy and Madhava Naidu (2010)
	Fructooligosaccharides and β -fructofuranosidase	Mussatto and Teixeira (2010)
	Ethanol production	Gouvea et al. (2009)
	Biogas	Jayachandra et al. (2011) and Rathanivelu and Graziosi (2005)
Coffee silver skin	Aroma	Adriane et al. (2003)
	Phenolic compounds	Borrelli et al. (2004) and Machado (2009)
Spent waste	Dietary fiber	Murthy and Naidu (2010a,b)
	Animal feed	Claude (1979) and Givens and Barber (1986)
	Ethanol	Machado (2009) and Sampaio (2010)
	Coffee oil	Burton et al. (2010)
	Adsorbent	Franca et al. (2009)
	Activated carbon	Nakamura et al. (2009) and Namane et al. (2005)
	Carbonaceous materials	Hirata et al. (2002)
	Antioxidants	Ramalakshmi et al. (2009)
	Spent coffee extracts	Bravo et al. (in press)
	Fuel, biodiesel, bioethanol	Silva et al. (1998), Sendzikiene et al. (2004) and Kondamudi et al. (2008)

4. ศึกษาข้อมูลการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปกาแฟ

ผลกาแฟเชอร์รี่ ที่ผ่านการแปรรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะการแปรรูปที่ต้องใช้น้ำในกระบวนการบดเปลือก และหมักเพื่อกำจัดเมือกหุ้มเมล็ดก่อนนำไปตากให้แห้ง โดยเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำปริมาณมาก และก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งกลิ่นเหม็น หรือทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย

ในกระบวนการผลิตกาแฟเมล็ดด้วยวิธีเปียกที่มีการใช้น้ำค่อนข้างมากนั้น ทำให้มีความเสี่ยงในเกิดมลภาวะค่อนข้างสูง โดยที่ส่วนประกอบหลักก็คือ สารประกอบประเภทสารอินทรีย์ จากการปกปิดเปลือกผลสดและการขจัดเมือก ซึ่งอาจทำให้มีค่า COD (Chemical Oxygen Demand) สูงถึง 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และหรือทำให้ค่า BOD (Biological Oxygen Demand) สูงถึง 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรณีที่มีการร่อนแยกเอาเปลือกผลสดออกไป จะช่วยทำให้ค่า COD และ BOD ต่ำลงได้ เช่น การใช้เทคโนโลยี Semi wet processing ของโคลอมเบีย โดยทั่วไปแล้วกาแฟผลสดที่สุกแล้วปริมาณ 5 – 6 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการทำเป็นกาแฟเมล็ดด้วยวิธีแบบเปียก สามารถผลิตเป็นกาแฟกะลาได้ 1 ตัน

เพื่อลดการปนเปื้อนที่เกิดจากกระบวนการเปียกของผลกาแฟ ประเทศโคลอมเบียได้พัฒนาเทคโนโลยีที่หลีกเลี่ยงการใช้น้ำเมื่อไม่ต้องการและใช้น้ำที่เหมาะสมเมื่อจำเป็น เทคโนโลยีที่เรียกว่า Becolsub เทคโนโลยี Becolsub ประกอบด้วยการขจัดเมือกกาแฟโดยไม่ใช้น้ำ นักวิจัยค้นพบว่าผลกาแฟที่มีเมือก (ผลไม้ที่ยังไม่สุกและแห้งไม่มีเมือก) และพบว่าการขจัดเมือกแบบไม่ใช้น้ำจะลดปัญหาการเกิดเชื้อราในเมล็ดกาแฟได้มากถึง 72% ของการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการตากเมล็ดกาแฟ

พัชนี และคณะ (2549) ได้ศึกษาแนวทางการจัดการน้ำเสียในกระบวนการแปรรูปกาแฟ โดยเสนอแนะให้มีการจัดการน้ำเสียเช่น การใช้ระบบบึงประดิษฐ์ และการใช้บ่อดิน นอกจากนี้ การบำบัดน้ำเสียด้วยการพัฒนาระบบบำบัดและนำสาหร่ายขนาดเล็กมาช่วยตรึงฟิล์มและเพิ่มอัตราผลผลิตชีวมวล แต่ต้องมีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายขนาดเล็กให้เหลือในระบบเพียงครึ่งหนึ่งในวันที่ 7 และเก็บเกี่ยวทั้งหมดในวันที่ 14 จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารอินทรีย์ในน้ำเสียกาแฟได้ดีที่สุด (รุ่งนภา และคณะ 2561)

5. วิเคราะห์และจัดทำแนวทางการจัดการน้ำเสีย และของเหลือใช้ในกระบวนการผลิตและแปรรูปกาแฟ

เศรษฐกิจหมุนเวียน หรือ BCG ในการผลิตกาแฟ สามารถทำได้จากการพิจารณาถึงศักยภาพในการนำเปลือกผลกาแฟกลับมาใช้ใหม่ เศษวัสดุจากการตัดแต่งกิ่งต้นกาแฟ รวมทั้งน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ การใช้ของเสียหรือเศษวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้ย่อมมีประสิทธิภาพจะสามารถเพิ่มผลผลิตให้กับกาแฟได้ และช่วยลดการใช้ปัจจัยการผลิตได้ นอกจากนี้ยังช่วยเรื่องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดและผลกระทบในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนก็สามารถทำได้เช่นกัน ดังนั้น ถ้ามีการจัดการของเสียอย่างเหมาะสม และมีแนวทางการนำมาเพิ่มมูลค่า ก็อาจเป็นช่องทางสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟได้

ประเด็นหลักเป็นเรื่องการจัดการน้ำเสียจากการหมักกาแฟ โดย สวพส. เน้นเรื่องการจัดการร่วมกับชุมชน เช่น การสนับสนุนการจัดทำบ่อกักเก็บน้ำเสีย ทั้งนี้สามารถช่วยบรรเทาผลกระทบให้กับชุมชนได้ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับชุมชนขนาดใหญ่ ที่มีการแปรรูปรายย่อยกระจายอยู่ในชุมชน เช่น บ้านดอยช้าง อ.แม่สรวย จ.เชียงราย ซึ่งมีข้อจำกัดในการขุดบ่อดิน จึงยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด ซึ่งชุมชนและส่วนปกครองท้องถิ่นอยู่ระหว่างการหาแนวทางร่วมกัน โดยแนวทางหนึ่งคือการใช้เครือข่ายท่อระบายน้ำจากจุดแปรรูป ซึ่งมีตัวอย่างพื้นที่ที่สามารถบริหารจัดการน้ำเสียได้ จึงใช้แนวทางวางท่อระบายน้ำจากจุดต่างๆ มารวมกัน และปล่อยลงในบ่อส่วนกลาง เช่น ที่บ้านแม่จันทหลวง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย สำหรับแนวทางในการจัดการน้ำเสียในขนาดการผลิตระดับต่างๆ ที่เหมาะสมควรมีความสอดคล้องกับพื้นที่นั้น โดยหลักการแล้ว ต้องมีการลดความเป็นกรดก่อน เนื่องจากน้ำหมักเป็นกรดสูง คือ มี pH ประมาณ 4-5 ดังนั้น แนวทางการจัดการ

น้ำเสียโดยวิธีการทางชีวภาพ เช่นการใช้จุลินทรีย์ เพื่อลดค่า BOD และ COD ลงมาให้อยู่ในระดับมาตรฐาน น้ำทิ้งที่จะสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีอื่นๆ ได้ แต่บางระบบมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสมกับเกษตรกร ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น

ในกระบวนการผลิตกาแฟนั้นจะมีส่วนเหลือทิ้ง เช่น เปลือกกาแฟเชอรี่ เปลือกกาแฟกะลา และกากกาแฟโดยเกษตรกรบางส่วนนำมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีต้นทุนต่ำ และใช้ประโยชน์ได้จริงในพื้นที่ปลูกกาแฟ ช่วยลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ปุ๋ยเคมี ที่มีราคาสูงขึ้นมาก ในขณะที่เอกชนบางส่วน นำเปลือกกาแฟผลสดไปทำชา แต่เนื่องจากความต้องการบริโภคมีน้อย จึงมีข้อจำกัดในทางการตลาดเช่นเดียวกับการสกัดสารอนุมูลอิสระในเมือกกาแฟ ก็ยังมีโอกาสทางการตลาดน้อย เนื่องจากต้องใช้วิธีการที่เฉพาะและมีคู่แข่งทางการตลาดมากในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามมีข้อมูลจากการค้นคว้าและวิจัยเบื้องต้น พบว่า ในกากกาแฟมีปริมาณน้ำมันคงเหลืออยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งน้ำมันจากกากกาแฟประกอบด้วยไตรอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) และไดเทอร์เพนส์ (Diterpenes) คิดเป็นร้อยละ 78 และ 15 ตามลำดับ (Barbosa *et al.*, 2014) โดยเฉพาะไดเทอร์เพนส์จัดเป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อระบบทางชีววิทยา ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compound) และฤทธิ์เชิงหน้าที่ (Functional properties) สวสพ. ร่วมกับนักวิจัย คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงได้วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงสุขภาพ คือสเปรย์ระงับกลิ่นปากจากสารสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ซึ่งสามารถใช้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ และมีมูลค่าทางการตลาดต่ำ รวมถึงการนำกากกาแฟที่ใช้แล้วมาสกัดน้ำมัน เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมัน เพื่อเพิ่มช่องทางตลาดและมูลค่าจะส่วนต่างๆ ของกาแฟได้ นอกจากนี้การเพิ่มมูลค่าจะต้องพิจารณาถึงต้นทุนและความพร้อมใช้งานของผลิตภัณฑ์และมูลค่าทางการตลาดด้วย รวมถึงความพร้อมของเทคโนโลยีการผลิตที่ง่ายต่อการใช้ประโยชน์สำหรับเกษตรกร พร้อมกับการสร้างความตระหนักต่อการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด สิ่งเหล่านี้จะช่วยเสริมสร้างมูลค่าให้กับสินค้าและชุมชนได้อย่างยั่งยืน

6.การทำปุ๋ยหมัก

การหมักเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณสารอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง และปัจจัยอื่นๆ เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น ในช่วงแรกของการหมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในกองหมัก ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายโดยในช่วงแรกจะย่อยสลายอย่างรวดเร็ว จนปริมาณสารอาหารลดลง ทำให้การย่อยสลายเริ่มช้าลง จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบอีกต่อไป

การหมักสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การหมักแบบใช้อากาศ และการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

1) การหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic Composting) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซออกซิเจน โดยเมื่อจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารและก๊าซออกซิเจนแล้วเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีอัตราการย่อยสลายเร็ว มีความเกี่ยวข้องกับการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของอินทรีย์คาร์บอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Yamada and

Kawase., 2006) ข้อดีของการหมักโดยใช้อากาศ คือ ไม่มีกลิ่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองหมักค่อนข้างสูงพอที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ และลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่ระเหยสู่อากาศ (ธีระพงษ์ และคณะ, 2547)

2) การหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Composting) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศโดยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน อุณหภูมิภายในกองใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก การสิ้นสุดของการหมักนานกว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน คุณภาพปุ๋ยที่ได้ค่อนข้างต่ำ และอาจส่งกลิ่นเหม็นรบกวน (Tchobanoglous et al., 1993)

6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก ได้แก่

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยทางกายภาพที่เป็นเครื่องบ่งชี้กิจกรรมการย่อยสลายวัสดุโดยจุลินทรีย์เมื่อสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ออกซิเจน ขนาดของกองปุ๋ย และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในกองปุ๋ยหมักเหมาะสม ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและทำหน้าที่ย่อยสลายวัตถุดิบได้ดี โดยอุณหภูมิ 45 - 55 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพสูง อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส จะสามารถทำลายโรคพืชซึ่งอาจปนเปื้อนมากับวัสดุหมัก (Polprasert, 1996) ถ้าหากอุณหภูมิเกิน 70 องศาเซลเซียส ก็เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง (Sylla, et al., 2003)

การเติมอากาศหรือการระบายอากาศ

การเติมอากาศหรือการระบายอากาศมีความสำคัญต่อการหมัก คือ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกองหมักให้เหมาะสม และเพื่อระเหยหรือกำจัดน้ำออกจากสารอาหารที่มีความชื้นมากเกินไป โดยหากมีการเติมอากาศมากเกินไปจะส่งผลทำให้กองหมักมีอุณหภูมิต่ำเกินไป หรือหากมีการเติมอากาศที่น้อยเกินไปจะทำให้ภายในกองหมักเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง (Haug, 1993)

ความชื้น

ความชื้นมีความสำคัญในการหมัก คือ ใช้ในการละลายสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนในกองหมัก โดยค่าความชื้นเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักควรมีค่าประมาณร้อยละ 50 - 60 (Rabbani et al., 1983) และค่าความชื้นที่ต่ำที่สุดที่จะยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์คือ ประมาณร้อยละ 30 - 35 (Stentiford, 1996) หากค่าความชื้นสูงกว่า ร้อยละ 65 อาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ (Bernal et al., 2009) ส่งผลต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลายลดลง

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีความสำคัญต่อการย่อยสลายในกองหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถที่เจริญเติบโตได้ดีใน pH ที่แตกต่างกัน เช่น แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ใน pH ต่ำกว่า 3 และที่สูงกว่า 10.5 นอกจากนี้แบคทีเรียและแอคติโนมัยซิส สามารถเจริญเติบโตได้ดีใน pH ที่เป็นกลาง ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6 - 9 (Miller, 1992) ในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมักมีค่า pH สูง วัสดุหมักเริ่มต้นโดยทั่วไปมีค่า pH ประมาณ 6 ซึ่งในช่วงแรกค่า pH ของการหมักลดลงทำให้การย่อยสลายจะเกิดช้าลง เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นค่า pH สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิ

เคชั่น หลังจากนั้นค่า pH ของการหมักจะตกลงมา เนื่องจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่นลดลง โดยทั่วไปแล้วการหมักไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่า pH เริ่มต้น ยกเว้นวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่า pH สูงหรือต่ำมากเกินไป ทำให้ส่งผลต่อกระบวนการหมัก โดยในช่วงแรกเกิดการย่อยสลายได้ช้ามาก จึงควรมีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง (Haug, 1993)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก บอกถึงความยากง่ายของการย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์สารจะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ในกระบวนการหมัก ถ้าหากในกองหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงคือปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้า ส่งผลให้กระบวนการการย่อยสลายเกิดขึ้นช้า แต่ถ้าวัสดุหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำคือ มีปริมาณไนโตรเจนมาก จะทำให้การเจริญเติบโตและการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจส่งผลให้ปริมาณของอากาศไม่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ และถ้าหากปริมาณไนโตรเจนมีมากเกินไป จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย โดยทั่วไปอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 50 (Tchobanoglous et al., 1993) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่ดีที่สุดในการผลิตปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 25 - 30 (Huang et al., 2004)

ขนาดของวัสดุหมัก

ขนาดของวัสดุหมักมีความสำคัญ โดยทั่วไปวัสดุหมักที่มีขนาดเล็กจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าวัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากวัสดุหมักขนาดเล็กจะช่วยให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นซึ่งง่ายต่อจุลินทรีย์ที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยา ขนาดของวัสดุหมักควรน้อยกว่า 5 เซนติเมตร

6.2 การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

การได้ที่ของปุ๋ยหมัก มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ ซึ่งหากนำปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ที่ไปใช้ จะส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อดินและพืช เช่น ปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพของพืช ปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายต่อในดิน และทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในดินลดลง ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด และเกิดเป็นสารเป็นพิษจำพวกเอธิลีนออกไซด์ แอมโมเนียและกรดอินทรีย์ ส่งผลให้พืชลดอัตราการเกิดเมตาโบลิซึม ลดการดูดซึมสารอาหาร ลดการหายใจของราก (Jimenez and Garcia, 1989) โดยวิธีประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การประเมินทางกายภาพ

สีและกลิ่น

วัสดุหมักที่ได้ที่แล้วจะมีสีดำหรือน้ำตาลดำ เนื่องจากสีของฮิวมัส และอาจมีสีเทาหรือวงสีขาวเนื่องจากการเจริญเติบโตของแอคติโนมัยซิส (Polprasert, 1989) กลิ่นจะค่อยๆ ลดลงตั้งแต่ช่วงแรกของการหมัก และกลิ่นเหม็นจะหายไปเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Jimenez and Garcia, 1989) ซึ่งกลิ่นที่ได้จะคล้ายกลิ่นดิน

อุณหภูมิ

กองหมักที่ได้ที่แล้วอุณหภูมิมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง และคงที่ถึงแม้จะมีการพลิกกลับกองหมัก ซึ่งอุณหภูมิลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ เป็นสิ่งที่บ่งชี้ได้ว่าการหมักเกือบเสร็จสมบูรณ์แล้ว หากพลิกกลับกองแล้วกองหมักยังมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักยังไม่ได้ที่ (Haug, 1993)

2) การประเมินทางเคมี

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัสดุหมักโดยทั่วไปในช่วงเริ่มต้นของการหมักค่า pH ลดลง จนมีค่าประมาณ 5 และอาจต่ำกว่านี้ขึ้นกับวัสดุที่ใช้หมัก ซึ่งค่าที่ลดลงเกิดจากจุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์จากวัสดุหมัก หลังจากนั้นค่า pH มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอาจอยู่ในช่วง 7 - 8 หรืออาจสูงกว่า หากค่า pH สูงหรือมีค่าเป็นกรดแสดงว่าการหมักยังไม่ได้ที่ ซึ่งอาจใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยไป หรืออาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ (Jimenez and Garcia, 1989) ซึ่งค่า pH ของวัสดุหมักที่ได้ที่ควรอยู่ในช่วง 5.0 - 8.0 (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

โดยทั่วไปวัสดุหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์หรือได้ที่แล้วค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อยู่ในช่วง 15-20 (Tchobanoglous and Kreith, 2002) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมัก หากวัสดุหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่น้อยกว่า 20 อาจเนื่องจากวัสดุหมักเริ่มต้นมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงซึ่งอาจหมายความว่าปุ๋ยหมักที่ได้นั้นอาจยังไม่ได้ที่ โดยค่าการได้ที่ของปุ๋ยหมักอาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จุดสิ้นสุดการย่อยสลายด้วยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จุดเริ่มต้น (C/N final: C/N initial) โดยค่าที่ได้ต่อน้อยกว่า 0.75 (Jimenez and Garcia, 1989) ถ้าหากวัสดุหมักมีสารอินทรีย์ คาร์บอนบางส่วนอยู่ในรูปย่อยสลายได้ยาก ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าประมาณ 25-30 (Harrison, 2008)

ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็มของเกลือที่ละลายในน้ำ โดยในวัสดุหมักที่เสร็จสมบูรณ์ค่าการนำไฟฟ้าควรมีค่าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หากนำวัสดุหมักที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเกินไปกำหนดไปใช้อาจจะส่งผลกระทบต่อดินและพืช ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการดูดน้ำและสารอาหารไปใช้ของพืชได้

3) การประเมินการได้ที่ทางชีวภาพ

ดัชนีการงอกของเมล็ด

การประเมินการได้ที่ของวัสดุหมักทางชีวภาพสามารถประเมินได้ด้วยการตรวจวัดค่าดัชนีการงอกของเมล็ด โดยทั่วไปค่าดัชนีการงอกของเมล็ดต้องมีค่ามากกว่า ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ว่าปุ๋ยนั้นได้ที่แล้วและไม่เป็นอันตรายต่อพืช (Huang et al., 2004) แต่สำหรับในประเทศไทยตามประกาศของกรมวิชาการเกษตรได้กำหนดค่าดัชนีการงอกของเมล็ดไว้ว่า วัสดุหมักที่ได้ที่แล้วควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 (กรมวิชาการเกษตร, 25561)

การนับจำนวนจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญของการย่อยสลายในทุกระยะของการหมัก ได้แก่ รา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีท โดยจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในกองหมักอยู่ที่ 45-55 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด ทำให้พบจุลินทรีย์ประเภท รา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีท เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการตรวจสอบการนับจำนวนจุลินทรีย์ในแต่ละช่วง ก็จะสามารถทราบถึงจำนวนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ได้ ซึ่งนำมาช่วยในการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยได้

7.การดูดซับคาร์บอน

อิทธิพลเรือนกระจก (greenhouse effect) เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์ที่เกิดตามธรรมชาติ โดยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gasses) ที่มีในธรรมชาติรวมห้าชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัส ออกไซด์ โอโซนในชั้น tropospheric และไอน้ำ ปล่อยให้แสงช่วงคลื่นสั้นผ่านชั้นบรรยากาศเข้าสู่พื้นผิวโลก ทำให้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่รังสีความร้อนในรูปแสงช่วงคลื่นยาว และก๊าซเรือนกระจกดูดซับรังสีความร้อนนี้ไว้บางส่วนก่อนออกไปยังนอกโลก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้รวมเรียกว่าอิทธิพลเรือนกระจก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศ และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตเมือง ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งกลไกตามธรรมชาติหลายกระบวนการจะดูดซับก๊าซ CO₂ จากบรรยากาศ เช่น การแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ กับมหาสมุทร และการดูดซับโดยสิ่งมีชีวิตในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานที่จะเปลี่ยน CO₂ ในรูปอนินทรีย์สารให้กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต โดยใช้พลังงานแสง พืชมีการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ กับอากาศโดยกระบวนการที่สำคัญสองชนิด ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นการดูดซับ CO₂ จากอากาศ และกระบวนการหายใจซึ่งเป็นการปล่อย CO₂ สู่อากาศ กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในส่วนของพืชที่มีสีเขียวซึ่งมีคลอโรฟิลล์เป็นส่วนประกอบ พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานเคมีเก็บสะสมไว้ในสารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ที่สร้างมาจาก CO₂ กับน้ำ ส่วนกระบวนการหายใจ เป็นการนำพลังงานเคมีที่สะสมไว้นั้นมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช โดยกระบวนการเผาผลาญที่ใช้ก๊าซออกซิเจน การสังเคราะห์แสงของใบพืช

แนวทางหนึ่งในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวนั้นสามารถดำเนินการได้ 4 รูปแบบ คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อบริการสาธารณะ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวบริเวณเส้นทางสัญจร การเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่ออรรถประโยชน์ และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (ถิราญ และคณะ, 2563) ซึ่งกาแฟเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชนได้ เนื่องจากกาแฟสามารถปลูกภายใต้ร่มเงาของไม้ยืนต้นอื่นๆได้ โดยการปลูกกาแฟอะราบิกาในไทยนั้นมีการปลูกหลายรูปแบบ ได้แก่ การปลูกกาแฟแบบเชิงเดี่ยว การปลูกร่วมกับไม้ผล การปลูกร่วมกับไม้ยืนต้น หรือการปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าธรรมชาติ ซึ่งรูปแบบการปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าธรรมชาตินั้น ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีคุณภาพในด้านขนาดของเมล็ดดีกว่าการปลูกรูปแบบอื่น และยังสามารถช่วยสร้างรายได้เพิ่มจากการเก็บของป่า หรือนำเศษไม้ไปทำฟืนอีกด้วย เป็นการลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิตกาแฟ รวมถึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการอนุรักษ์ป่า อนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ และระบบนิเวศเอาไว้ได้ เป็นแนวทางในการช่วยให้มีการอยู่ร่วมกันระหว่างคนกับป่า (วิษณุภาส และคณะ, 2560; วารุณี และคณะ 2553; ประชา และคณะ, 2560; Bote and Struik, 2011)

กาแฟจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในระบบการเกษตร โดยกักเก็บคาร์บอนไว้ เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) (Coltri et al., 2013) และเชื่อว่าพื้นที่เกษตรกรรมเป็นแหล่งที่มีศักยภาพในการดูดซับ CO₂ ได้ในปริมาณมาก (Albrecht and Kandji, 2003) ดังนั้นกาแฟจึงเป็นพืชทางเลือกหนึ่งเพื่อความยั่งยืนทางการเกษตร และเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการ

พัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่มีการพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุลให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนไปพร้อมกันภายใต้เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)

8. การวิเคราะห์คำนวณข้อมูลต่างๆ

8.1 พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ หรือ Basal area (BA)

พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ หรือ Basal area (BA) เป็นค่าเชิงปริมาณที่สำคัญมากในการบอกถึงการปกคลุมของต้นไม้ในพื้นที่ป่า ซึ่งบอกถึงความหนาแน่น และยังเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีความสำคัญ (Important Value Index, IVI) ของพันธุ์ไม้ และนอกจากนี้แล้ว ค่าพื้นที่หน้าตัดยังใช้บอกถึงปริมาณมวลชีวภาพได้อีกด้วยการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด (Basal area) มีดังนี้

$$BA = \frac{\pi DBH^2}{4}$$

เมื่อ BA = พื้นที่หน้าตัด
 dbh = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก

8.2 ดัชนีความหลากหลายของพรรณไม้

ดัชนีความหลากหลาย (Diversity index) เป็นการรวบรวมค่าความร่ำรวยและความสม่ำเสมอของชนิด (Species richness and evenness) ไว้ให้อยู่เป็นค่าเดียวกันเพื่อใช้ในการประเมินเปรียบเทียบความหลากหลายระหว่างสังคม ซึ่งดัชนีความหลากหลายของแชนนอนวีเนอร์ (Shannon – Wiener Index) มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีสูตรการคำนวณค่าดัชนี Shannon-Wiener Index : H' ดังนี้ (Shannon and Wiener, 1949)

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$$

โดย H' = ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener Index Diversity

P_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นของชนิดนั้น i ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด

S = จำนวนชนิดพันธุ์ที่พบในสังคม

Σ = ผลรวมจำนวนชนิดไม้ทุกชนิด

$\ln$ = ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithms) หรือลอการิทึมแบบเนเปียร์

(Napierian logarithms) ค่าลอการิทึม (log) ที่เป็นฐานธรรมชาติที่มีฐานเป็น e ซึ่งเขียนว่า $\log_e$ เขียนแทนด้วย $\ln$

8.3 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้

การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ในพื้นที่ที่เป็นนิเวศวิทยาของต้นกาแพ โดยการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ (Importance value index, IVI) ของชนิดไม้แต่ละชนิดในสังคม เพื่อหาชนิดไม้เด่นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดัชนีชี้วัด (Indicator) ของแต่ละสังคมพืชได้ โดยเกิดจากผลรวมของค่าความสัมพันธ์ทั้งสามคือ ค่าความหนาแน่นสัมพันธ์ (Relative density, RD) ค่าความถี่สัมพันธ์ (Relative frequency, RF) และค่าความเด่นสัมพันธ์ (Relative dominance, RDo) (Whittaker, 1970) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) + ความถี่สัมพัทธ์ (RF) + ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo)
โดย RD, RF และ RDo หาได้จาก

8.4 ความหนาแน่นของชนิดพันธุ์ (Density: D) คือ จำนวนต้นไม้อัตโนมัติทั้งหมดของชนิดพันธุ์ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่างต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{จำนวนชนิดพันธุ์ A ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{หน่วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลงที่สำรวจ}}$$

จากนั้นนำความหนาแน่นที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, RD) โดย

$$\text{RD (\%)} = \frac{\text{ความหนาแน่นของชนิดพันธุ์ A} \times 100}{\text{ผลรวมของความหนาแน่นของทุกชนิดไม้}}$$

8.5 ความถี่ของชนิดพันธุ์ A (Frequency: F) คือ ค่าความบ่อยครั้งของชนิดพันธุ์ไม้ใดไม้หนึ่ง ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง เป็นการบ่งบอกถึงการกระจายของชนิดพรรณพืชในสังคมพืชนั้น มีสูตรคำนวณดังนี้

$$F = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดพันธุ์ A ปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}} \times 100$$

จากนั้นนำความถี่ที่ได้ไปคำนวณหาความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency: RF) โดย

$$\text{RF} = \frac{\text{ความถี่ของชนิดพันธุ์ A}}{\text{ผลรวมของความถี่ทุกชนิดพันธุ์}} \times 100$$

8.6 ความเด่น (Dominance: Do) คือความมีอิทธิพลของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคมพืช นิยมวัดกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ ความเด่นในด้านคลุมพื้นที่ของเรือนยอด ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด (BA) และความเด่นทางด้านมวลพฤกษ์ ในการศึกษครั้งนี้ใช้ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด

$$\text{Do} = \frac{\text{ผลรวมพื้นที่หน้าตัดของชนิดพันธุ์ A}}{\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชนิดไม้ที่ทำการสำรวจทั้งหมด}}$$

จากนั้นนำความเด่นที่ได้ไปคำนวณหาความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance: RDo)

$$\text{RDo} = \frac{\text{ความเด่นของชนิดไม้ชนิดนั้น}}{\text{ความเด่นรวมของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

ทั้งนี้ ผลรวมของค่า RD, RF และ RDo ในไม้ยืนต้นจะมีค่าเท่ากับ 300

8.7 มวลชีวภาพของพรรณไม้ชนิดอื่น

มวลชีวภาพของพรรณไม้ชนิดอื่นใช้สมการ allometry ของ Tsutsumi et al. (1983)

$$W_S (\text{ลำต้น}) = 0.0509 (D^2H)^{0.919} \quad R^2 = 0.978$$

$$W_B (\text{กิ่ง}) = 0.00893 (D^2H)^{0.977} \quad R^2 = 0.890$$

$$W_L (\text{ใบ}) = 0.0140 (D^2H)^{0.669} \quad R^2 = 0.714$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพใบ (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

ความเข้มข้นของคาร์บอนในลำต้น กิ่ง และใบของพรรณไม้อื่น ใช้ผลการศึกษาของ Tsutsumi et al. (1983) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49.9, 48.7 และ 48.3 ตามลำดับ

8.8 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้สนสามใบ

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้สนสามใบ คำนวณหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ ในส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ ตามสมการของ สมชาย และคณะ (2553) ดังนี้

$$W_S (\text{ลำต้น}) = 0.0503 (D^2H)^{0.8775} \quad R^2 = 0.9749$$

$$W_B (\text{กิ่ง}) = 0.0012 (D^2H)^{1.0996} \quad R^2 = 0.4982$$

$$W_L (\text{ใบ}) = 0.4536 (W_B)^{0.7933} \quad R^2 = 0.6324$$

เมื่อ W = มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (1.30 เมตร) (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

8.9 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นกาแพ

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นกาแพ โดยใช้สมการของ Segura et al. (2006)

$$\text{Log}_{10}(B_T) = a + b * \text{Log}_{10}(d_{15}) + c * \text{Log}_{10}(h)$$

โดย d_{15} = ขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูง 15

เซนติเมตร

h = ความสูงต้นกาแพ

a = -1.113

b = 1.578

c = 0.581

8.10 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นพลัม

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นกาแฟ โดยใช้สมการของ VELÁZQUEZ & Cazco-Logroño.
(2018)

$$B_{\text{residues}} = -2.576 - 0.092 \cdot D_t + 0.021 \cdot D_c$$

$$D_t = \text{Stem diameter (cm.)}$$

$$D_c = \text{Dimeter of the crown (cm.)}$$

