บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาการย่อยสลายตามธรรมชาติของผักตบชวา

การศึกษาการย่อยสลายตามธรรมชาติของผักตบชวา เป็นการศึกษาเพื่อทราบแนวโน้มของการย่อยสลายของผักตบชวา โดยไม่มีการเติมจุลินทรีย์และอากาศจากระบบอัดอากาศเพิ่มเติม มีเพียงการพลิกกลับกองเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศบ้างเท่านั้น อัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาตินั้น จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสาร (substrate structure) ที่เป็นลักษณะที่ย่อยสลายยากเพียงใด โมเลกุลที่มีความสลับซับซ้อน เช่น ลิกนิน และเซลลูโลส เป็นต้น จะทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ยาก ทั้งนี้อาจต้องใช้ระบบเอนไซม์มากกว่า 1 ชนิด หรืออาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ผสมในการย่อยสลาย (Maurice, 1998)

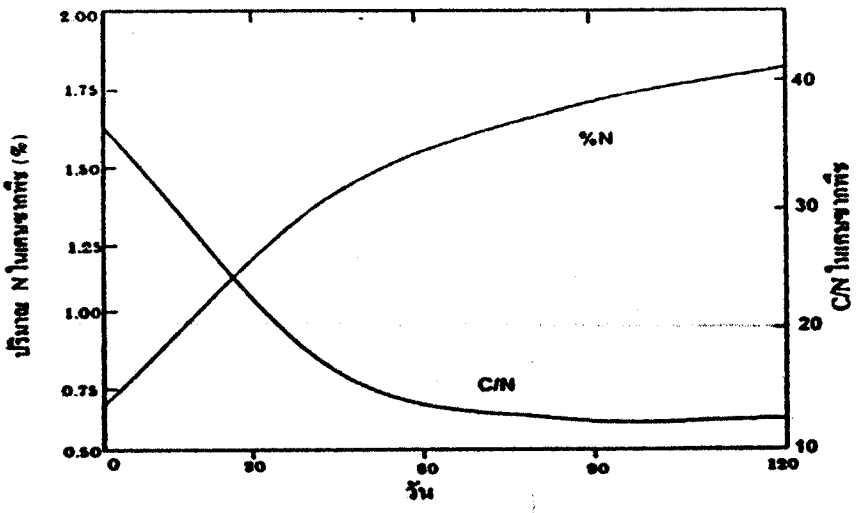
ในการศึกษานี้มีแผนการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น ตลอดจนติดตามดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และอุณหภูมิ ดังรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ไม่เป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือไม่พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิซึ่งโดยทั่วไปแล้วในระหว่างการหมักปุ๋ยอุณหภูมิควรเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 45 องศาเซลเซียส (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ ตลอดจนการสะสมความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการศึกษานี้ เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณวัสดุหมักเริ่มต้นประมาณ 30 กิโลกรัมซึ่งน้อยเกินไป เมื่อเกิดการย่อยสลายและมีการยุบตัวลงอย่างมาก เป็นเหตุให้การถ่ายเทอากาศเป็นไปได้สะดวก การสะสมความร้อนจึงมีได้น้อย ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เพียง 34 องศาเซลเซียส

ในกรณีของ C/N ratio เป็นค่าที่บ่งบอกความยากง่ายในการย่อยสลายอินทรียสารของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตัวจักรสำคัญในการผลิตปุ๋ยหมัก ถ้าวัสดุหมัก (ผักตบชวา) มี C/N ratio สูงมาก การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากความไม่เหมาะสมของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ดวงพร คันธโชติ (2545) กล่าวว่าในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในรูปต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น

เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งอาหารในการสร้างและแบ่งเซลล์ได้น้อย เนื่องจากไนโตรเจนเอามาสร้างสารประกอบโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของไซโตพลาสซึมมีไม่เพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ เมื่อจุลินทรีย์เจริญได้น้อยกระบวนการย่อยสลายจึงเกิดช้าตามไปด้วยนั่นเอง ทั้งนี้ C/N ratio ที่เหมาะสมต่อการเริ่มต้นกระบวนการหมักนั้นควรมีค่าอยู่ในช่วง 25-35 (สมทิพย์ ด่านธีรวนิช, 2541)

โดยทั่วไปหากว่า C/N ratio ของวัสดุหมักมีค่าสูงมากจะทำการปรับให้ลดลงด้วยการเติมปุ๋ยยูเรีย มูลสัตว์ หรือกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือร่วมกัน แต่ถ้ากรณีที่ C/N ratio มีค่าน้อยมากจะปรับด้วยการเติมเศษพืช แกลบ ฟางข้าว หรือใบไม้แห้ง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือร่วมกัน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, 2541) สำหรับผักตบชวาที่นำมาทำการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นวัสดุหมักโดยไม่ต้องปรับค่า C/N ratio เริ่มต้น เนื่องจากค่า C/N ratio ของผักตบชวามีค่าเท่ากับ 30.37 เมื่อทิ้งให้เกิดการย่อยสลายโดยมีการพลิกกลับวัสดุหมักในถังสัปดาห์ละ 2 ครั้ง และวิเคราะห์ค่า C/N ratio ทุกสัปดาห์ พบว่าค่า C/N ratio ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ก ตารางที่ 13) แสดงให้เห็นว่า ผักตบชวานั้นสามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เพียงแต่ทิ้งให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติก็จะได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติของ C/N ratio ไม่มากกว่า 20 ได้ตามที่กำหนด โดยใช้ระยะเวลาการย่อยสลายรวม 35 วัน ซึ่งค่า C/N ratio นี้จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดการยุติการหมักสำหรับการศึกษาการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการย่อยสลายผักตบชวาเพื่อผลิตปุ๋ยหมักด้วย

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลง C/N ratio สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง C/N ratio ของซากพืชโดยทั่วไปตามที่ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อซากพืชเริ่มย่อยสลาย C/N ratio จะเริ่มลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ไนโตรเจนยังไม่มีการสูญเสียไปในรูปของก๊าซมากนัก มีเพียงการที่จุลินทรีย์นำมาสร้างเซลล์ใหม่ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิต ตลอดจนการสะสมของไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงที่มีความชื้นสูง ดังจะเห็นได้ชัดในช่วงวันเริ่มต้นหมักถึงประมาณวันที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเศษซากพืชทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในเศษซากพืชที่กำลังย่อยสลาย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

ค่าความชื้นซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก และมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งสัมพันธ์กับปฏิกิริยาชีวเคมีของกิจกรรมต่างๆ ในเซลล์ รวมทั้งการปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) ทั้งนี้ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายควรอยู่ระหว่าง 50-60% หากว่าความชื้นมากเกินกว่า 80% จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศจะไม่ดี (สมทิพย์ ด่านธีรวนิช, 2541)

ในการศึกษานี้ความชื้นเริ่มต้นของผักตบชวาสดมีอยู่ถึง 90.00% ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการเริ่มกระบวนการหมัก เนื่องจากเก็บผักตบชวาด้วยเครื่องจักรที่ติดตั้งริมฝั่งซึ่งมีระบบสับให้เป็นชิ้นเล็กแล้วนำมาใช้ศึกษาโดยไม่ผ่านการผึ่งให้แห้งเสียก่อน ในช่วง 21 วันแรกของการหมักพบว่าปริมาณความชื้นยังคงค่อนข้างสูง (88.72-90.00%) นอกจากนี้แล้ววัสดุหมักยุบตัวรวมกันเป็นก้อน การระบายอากาศไม่ดีพอจึงมีกลิ่นฉุน ซึ่งน่าจะมาจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียสารของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่ปลดปล่อยสารประกอบต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) แอมโมเนีย (ammonia, NH_3) เอมีน (amine) มีเทน (methane, CH_4) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide, H_2S) (อรอนงค์ ผิวนิล, 2541)

อิทธิพลของการเติมจุลินทรีย์ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการย่อยสลายผักตบชวาเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก

1. การคัดเลือกจุลินทรีย์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการหมักด้วยการเติมจุลินทรีย์ และ/หรือ การเติมอากาศ โดยการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ตัวอย่างที่นำมาคัดแยกจุลินทรีย์ ได้แก่ ดิน ฟางข้าว ขี้เลื่อย รวมทั้งจากกองปุ๋ยหมักฟางข้าว เนื่องจากในผักตบชวาซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุหมักสำหรับการศึกษานี้ มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 32.7% (วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ, 2540) นอกจากนี้ยังต้องการเติมจุลินทรีย์ที่สามารถดำรงชีวิตและมีกิจกรรมการย่อยสลายได้ที่อุณหภูมิสูง หรือช่วง thermophilic stage เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงที่มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้น

ในการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส เบื้องต้นใช้อาหาร CMC เป็นอาหารคัดเลือก ซึ่งพบว่ามีจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถเจริญได้บนอาหารดังกล่าว จากนั้นนำจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เจริญบนอาหารชนิดนี้มาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายเซลลูโลสในอาหาร Cellulose azure ซึ่งเป็นอาหารที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสจับอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสีด้วยพันธะ β(1,4) glycosidic bond จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ กล่าวคือสามารถตัดพันธะ β(1,4) ได้ ทำให้มีการปลดปล่อยโมเลกุลของสีเป็นอิสระซึ่งจะเห็นอาหารเลี้ยงเชื้อมีสีน้ำเงิน ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์แต่ละไอโซเลทในการย่อยสลายเซลลูโลสนั้นเปรียบเทียบได้จากความเข้มของสีน้ำเงินในอาหาร Cellulose azure

จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการซึ่งคัดแยกได้ในการศึกษานี้เป็นเชื้อรา (ไอโซเลท SK5) ซึ่งจัดจำแนกได้เป็นราในสกุล *Aspergillus* จากการศึกษาพบว่ารามีความสำคัญต่อการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น เซลลูโลส เนื่องจากมีข้อได้เปรียบด้านสัณฐานวิทยา (morphology) รวมทั้งคุณสมบัติของการสร้างเอนไซม์ โดยในเชื้อราจะพบว่ามีการสร้างเอนไซม์สำหรับการย่อยสลายสารประกอบต่างๆ และหลั่งออกมาภายนอกเซลล์ (Maurice, 1998)

จากรายงานการศึกษาพบว่าเชื้อราที่สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิสูง (thermophilic fungi) คือ ช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียสนั้น พบได้ในสกุลต่าง ๆ เช่น ราในสกุล *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Mucor* โดยที่บางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส เช่น *Aspergillus fumigatus* (IW Sutherland, 1999) โดยที่รา *Aspergillus* sp. SK5 ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงนำมาใช้ทดสอบในขบวนการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา

2. ผลของการเติมเชื้อราต่อการย่อยสลายผักตบชวาเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายอินทรีย์สารในขบวนการหมักปุ๋ยซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540; Hoornweg, 1999) คือ (1) mesophilic phase เป็นระยะแรกของขบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กหรือมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น โปรตีน กรดอะมิโนต่างๆ เป็นต้น โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ mesophilic heterothops อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส (2) thermophilic phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเป็น 45-60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มสำคัญในระยะนี้คือพวก thermophile ขบวนการย่อยสลายเกิดอย่างเข้มข้น โดยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น จะถูกย่อยสลายในช่วงนี้ และ (3) maturation phase หรือ curing phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลงสู่ระดับปกติ จุลินทรีย์กลุ่ม thermophile มีจำนวนลดลงและถูกแทนที่ด้วยประชากรจุลินทรีย์กลุ่ม mesophile ที่รอดชีวิตจากช่วง thermophilic phase อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงจนสิ้นสุดขบวนการหมักปุ๋ย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียและเชื้อราในระหว่างขบวนการหมักปุ๋ย พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา ซึ่งตรวจวัดอุณหภูมิภายในถังหมักโดยเฉลี่ย 26 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียในกลุ่ม mesophile มีค่า $2.1 \times 10^8 - 1.1 \times 10^8$ MPN/g โดยตรวจไม่พบแบคทีเรียกลุ่ม thermophile ส่วนเชื้อรานั้นตรวจหาปริมาณโดยวิเคราะห์กลูโคซามีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของรา พบว่ามีค่าในวันเริ่มต้นการหมัก 1.04-2.41 μg/g

ในช่วงระยะเวลา 2-3 วันแรกของการหมัก อุณภูมิภายในถังหมักค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยในวันที่ 4 ตรวจวัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยโดยเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเริ่มเข้าสู่ช่วง thermophilic phase จึงได้เติมเชื้อรา *Aspergillus* sp. SK5 ในปริมาณ 1×10^8 สปอร์ต่อกิโลกรัมลงในถังหมัก เมื่อตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์อีกครั้งในวันที่ 7 ของการหมักปุ๋ย พบว่าเชื้อราในถังหมักเพิ่มมากขึ้น (1.88-5.31 μg/g) เมื่อเทียบกับเวลาเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่ขบวนการหมักปุ๋ยอยู่ในช่วง thermophilic phase เป็นสภาวะส่งเสริมให้มีการเพิ่มปริมาณของเชื้อรากลุ่ม thermophile โดยรวมทั้งหมดที่มีอยู่ในถังหมัก จากการศึกษาพบว่าในถังหมักที่มีการเติมหัวเชื้อราตรวจวัดปริมาณกลูโคซามีน (3.67-5.31 μg/g) สูงกว่าถังหมักที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อ (1.88-3.71 μg/g) อย่างไรก็ตามปริมาณกลูโคซามีนที่ตรวจวิเคราะห์ได้นี้มิได้บ่งบอกว่าเป็นเชื้อรากลุ่มใด (mesophile หรือ thermophile) รวมทั้งไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของกลูโคซามีนที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากหัวเชื้อรา *Aspergillus* sp. SK5 ที่เติมลงในถังหมัก

สำหรับปริมาณแบคทีเรีย thermophilic ที่ตรวจพบในวันที่ 7 ของการหมัก ซึ่งอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50-54 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 9×10^{5}-2.8×10^{7} MPN/g ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายผักตบชวาภายในถังหมัก

จากรายงานของพิทยากร ลิ่มทอง (2531) ซึ่งศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวในหลุมคอนกรีตขนาด $1.2\times 2.0\times 0.8$ เมตร โดยเปรียบเทียบการเติมเชื้อราและแอคติโนมัยซีสซึ่งเจริญได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเปรียบเทียบการเติมมูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยสูตร 15-15-15 พบว่าการเติมมูลสัตว์ซึ่งเป็นกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่หาได้ง่ายและราคาถูก ร่วมกับการเติมจุลินทรีย์ผสมมีส่วนช่วยส่งเสริมการย่อยสลายฟางข้าวในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้เวลาหมัก 42 วัน เนื่องจากมีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์และปริมาณที่มากพอ ตลอดจน ค่า C/N ratio เริ่มต้นไม่สูงมาก ซึ่งหากใช้ฟางข้าวอย่างเดียว ค่า C/N ratio ประมาณ 90 แต่ในการศึกษานี้ใช้เพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์ชนิดเดียวจึงคาดว่าการย่อยสลายควรจะมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นมาช่วยเปลี่ยนสารตัวกลาง (intermediate) ด้วยวิถี (path way) อื่น ๆ มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้พบว่าการเติมหัวเชื้อรา *Aspergillus* sp. SK5 ลงในถังหมักมิได้ช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายวัสดุหมักหรือลดระยะเวลาของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้เติมหัวเชื้อ (ทั้งหมดใช้ระยะเวลาเท่ากัน คือ 28 วัน) แต่ทั้งนี้การเติมหัวเชื้อรามีผลต่อการลดปริมาณคาร์บอนและค่า C/N ratio ได้ดีกว่าการไม่เติมหัวเชื้อราเมื่อพิจารณาในระยะเวลาเดียวกัน เนื่องจากเชื้อราสามารถใช้เซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญได้ แล้วปล่อยคาร์บอนให้สูญหายไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการหายใจของเซลล์ ทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมหัวเชื้อรา

การที่ไม่พบว่าหัวเชื้อมีส่วนช่วยลดระยะเวลาของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาอาจเนื่องมาจากเหตุผลบางประการ ได้แก่

(1) ปริมาณหัวเชื้อที่เติมลงไปนี้ค่อนข้างน้อย (1×10^{8} สปอร์ต่อกิโลกรัม) ดังนั้นถึงแม้จะมีการเติมหัวเชื้อราลงไปเพิ่ม แต่ก็มิได้ทำให้มีปริมาณที่แตกต่างไปจากที่มีอยู่เดิมในวัสดุหมักมากนัก ทำให้อัตราการย่อยสลายวัสดุหมักเป็นไปได้ใกล้เคียงกับชุดที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อรา

(2) หัวเชื้อรา *Aspergillus* sp. SK5 ที่เติมลงไปไม่สามารถมีกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมักได้ในสภาวะที่ศึกษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไม่สามารถแข่งขันกับจุลินทรีย์ประจำถิ่นได้ หรือโครงสร้างของเซลลูโลสที่อยู่ในผักตบชวามีความซับซ้อนและยากต่อการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยเชื้อชนิดนี้ (ไม่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเซลลูโลสของเชื้อราชนิดนี้ รวมทั้งการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสของเชื้อราชนิดนี้ใช้ reactive cellulose) และ

(3) การย่อยสลายผักตบชวาสามารถเกิดขึ้นได้ไม่ยากนักโดยจุลินทรีย์ธรรมชาติที่มากับวัสดุหมักนี้ โดยสังเกตจากค่า C/N ratio ของวัสดุหมักซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก (ประมาณ 32) วัสดุที่มีค่า C/N ratio ต่ำจะใช้เวลาไม่มากนักสำหรับขบวนการหมักเพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ (ซึ่งในที่นี้การหมักปุ๋ยจากผักตบชวาใช้เวลา 28 วัน) ดังนั้นการเติมจุลินทรีย์ลงไปในถังหมักจึงไม่มีผลช่วยลดระยะเวลาในการหมักแต่อย่างใด ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับรายงานของนวรัตน์ ใจศิล (2539) ที่รายงานว่าการเติมจุลินทรีย์ EM (effective microorganism) ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส ราและยีสต์ ในขบวนการหมักปุ๋ยจากขยะชุมชนหรือขยะอินทรีย์ ไม่มีผลต่อการลดระยะเวลาของขบวนการหมักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 28 วัน ซึ่งเท่ากับชุดหมักที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ EM ทั้งนี้เนื่องจากขยะชุมชนมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเศษอาหาร เศษผักและผลไม้ ซึ่งค่า C/N ratio เริ่มต้นค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 30) จึงถูกย่อยสลายได้ง่าย

3. ผลของการเติมอากาศต่อการย่อยสลายผักตบชวาเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก

การเติมอากาศนั้นจะช่วยในการระบายอากาศและการควบคุมความชื้น ซึ่งจะทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic) ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินได้ดี ยังคงดำเนินกิจกรรมได้อย่างต่อเนื่อง (พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ่ว พิริยะพฤนต์, 2540) เพราะว่าความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมักไม่สูงมากเกินกว่า 65 องศาเซลเซียส จนมีผลทำให้จุลินทรีย์หลายชนิดตายลง

จากการศึกษานี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมัก พบว่าระว่างวันที่ 2-4 ของการหมักอุณหภูมิภายในถังหมักจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50 องศาเซลเซียส และอยู่ในช่วง 45-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานประมาณ 8 วัน เนื่องพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุหมัก อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมอากาศมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิภายในถังหมัก โดยเฉลี่ยไม่สูงเกินกว่า 55 องศาเซลเซียส อีกทั้งความชื้นที่วิเคราะห์ได้ในชุดที่มีการเติมอากาศจะต่ำกว่าชุดที่ไม่มีการเติมอากาศ และอัตราการเติมอากาศสูง (21.6 L/min) จะทำให้ความชื้นน้อยกว่าชุดที่เติมอากาศอัตราต่ำกว่า (7.2 และ 14.4 L/min) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในช่วงวันที่ 7 ของการหมัก ทั้งนี้จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2544) ในการหมักขยะอินทรีย์ด้วยการเติมอากาศในถังหมักพลาสติกขนาด 1,000 ลิตร พบว่าความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น โดยในถังหมักที่เติมอากาศ 0.8 m^3/kg จะมีค่าความชื้นต่ำกว่าถังที่เติมอากาศ 0.4 m^3/kg นอกจากนี้แล้วกลิ่นเหม็นจากถังที่ไม่มีการเติมอากาศจะรุนแรงกว่าถังที่มีการเติมอากาศอีกด้วย เนื่องจากก๊าซที่เกิดจากขบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การเติมอากาศทั้งจากการพลิกกลับวัสดุหมักและจากการเติมอากาศด้วยเครื่องจักรกล นอกจากจะมีส่วนช่วยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแล้ว ยังส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในกอง

ปุ๋ยหมัก ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถสังเกตได้จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนและค่า C/N ratio ซึ่งจุลินทรีย์นำมาใช้เพื่อสร้างสารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ รวมทั้งใช้เป็นพลังงานในการดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารนั้น มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง หรือกล่าวได้ว่าการเติมอากาศส่งผลต่อการลดลงของค่า C/N ratio อย่างไรก็ตามการเติมอากาศอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลต่อการลดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ซึ่งทุก ๆ ถังหมักจะสิ้นสุดการหมักในเวลาเท่ากัน (ค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 ในวันที่ 28 ของการหมักทุกถังหมัก) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักมีปริมาณวัสดุไม่มากนัก (เริ่มต้นที่ 100 กิโลกรัม) และการยุบตัวลงอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการพลิกกลับวัสดุหมักในถังทุกๆ 7 วัน จึงเป็นการช่วยเพิ่มการระบายอากาศได้ดี หรือมีปริมาณออกซิเจนภายในถังหมักอย่างเพียงพอ ทั้งนี้การเติมอากาศอาจใช้ได้ผลดีกับการหมักวัสดุปริมาณมาก ๆ

คุณภาพของปุ๋ยหมัก

คุณภาพของปุ๋ยหมักจะพิจารณาจากค่าของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม (N-P-K) เนื่องจากเป็นธาตุที่จำเป็นที่พืชนำไปใช้ โดยที่ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบของสารประกอบที่จำเป็นหลายชนิด เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ และไซโตโครม จึงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก สำหรับฟอสฟอรัส (P) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารประกอบประเภทน้ำตาลฟอสเฟต เช่น ไรโบสฟอสเฟต (ribose phosphate) และไซลูโลสฟอสเฟต (xylulose phosphate) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การหายใจ และเมตาบอลิซึม (metabolism) อื่นๆ โดยเฉพาะเมตาบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของ ATP, ADP และ AMP ในกระบวนการถ่ายทอดพลังงานในเซลล์พืช นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิค เช่น RNA และ DNA ส่วนโพแตสเซียม (K) นั้นเป็นธาตุที่มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการดูดน้ำและความเต่งของเซลล์ อีกทั้งยังเป็นธาตุที่ช่วยในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ตลอดจนเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน (นิตย์ ศกุนรัตน์, 2542)

พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540) ได้กล่าวถึงปริมาณธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักซึ่งทำจากวัสดุย่อยสลายง่าย (C/N ratio ต่ำกว่า 100) ควรจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในเกณฑ์ดังนี้คือ ไนโตรเจน 1.00 ± 25% ฟอสฟอรัส 0.50 ± 25% และโพแตสเซียม 2.00 ± 25% ธาตุอาหารพืชของการศึกษานี้มีค่าโดยเฉลี่ยของไนโตรเจน 1.64% ฟอสฟอรัส 0.78% และโพแตสเซียม 5.50% โดยน้ำหนักแห้ง

ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักที่มีตามคุณภาพดีไม่ควรมากกว่า 20 และค่าความชื้นไม่ควรมากกว่า 35-40% ในการศึกษานี้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N ratio เป็นไปตามเกณฑ์ดังกล่าว (ค่าเฉลี่ยประมาณ 18.75) ทั้งนี้คุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ได้จากการศึกษานี้เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมัก พบว่าโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ได้มาตรฐาน (ตารางที่ 11) ยกเว้นค่าความชื้น (โดยเฉลี่ย 59.14%) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามเราสามารถนำปุ๋ยที่ได้ไปผึ่งให้แห้งเพื่อลดความชื้นเสียก่อนนำไปใช้ได้

ตารางที่ 11 แสดงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมัก

ชุดทดลอง	%N	%P	%K	C/N ratio	ความชื้น
UN	1.60	0.77	5.32	19.86	59.08
UNA 1	1.67	0.79	5.46	18.35	59.22
UNA 2	1.64	0.79	5.71	19.43	60.48
UNA 3	1.66	0.78	5.29	18.37	59.63
IN	1.65	0.79	5.33	18.65	59.80
INA 1	1.64	0.79	5.44	18.71	58.76
INA 2	1.63	0.78	5.12	18.29	58.52
INA 3	1.64	0.78	5.93	18.35	57.60
ค่าเฉลี่ย	1.64	0.78	5.45	18.75	59.14
มาตรฐานปุ๋ยหมัก[1]	*ไม่น้อยกว่า 0.5*	*ไม่น้อยกว่า 0.5*	*ไม่น้อยกว่า 1.0*	*ไม่มากกว่า 20*	*ไม่มากกว่า 35-40*

หมายเหตุ [1] วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ (2540)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาอิทธิพลของการเติมหัวเชื้อ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ซึ่งเก็บด้วยเครื่องเก็บผักตบชวาแบบติดตั้งริมฝั่งของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าการเติมเชื้อรา *Aspergillus* sp. SK5 ในขนาด 1×10^8 สปอร์ต่อวัสดุหมัก 1 กิโลกรัม มีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณคาร์บอน และค่า C/N ratio อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ไม่มีอิทธิพลต่อการลดระยะเวลาการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา ซึ่งชุดที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อก็ใช้ระยะเวลาการหมักเท่ากับชุดที่เติมหัวเชื้อ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งในชุดที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อ และ/หรือ อากาศ ก็พบ

จำนวนใกล้เคียงกัน แต่การเติมอากาศมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าความชื้นและ C/N ratio อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และส่งเสริมให้กิจกรรมการย่อยสลายเป็นแบบใช้ออกซิเจนดีขึ้น แต่อัตราการเติมอากาศต่างๆ กันไม่ส่งผลให้ลดระยะเวลาการอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการถ่ายเทอากาศภายในถังหมักจากการยุบตัวของวัสดุหมักและจากการพลิกวัสดุหมักก็เพียงพอแล้ว ซึ่งการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาในการศึกษานี้ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 28 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับแผนงานแก้ไขปัญหาการแพร่กระจายของผักตบชวาใน แม่น้ำนครชัยศรี (แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง) ด้วยการนำขึ้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชนในท้องถิ่น ตลอดจนเพื่อเป็นแนวทางหนึ่งที่ผู้สนใจจะนำไปประยุกต์ตามความเหมาะสม ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องใช้ตัวอย่างผักตบชวาที่เก็บได้จากบริเวณแม่น้ำนครชัยศรีแล้วขนย้ายมาทำการศึกษา โดยตั้งชุดการทดลองที่มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย ทั้งนี้ในทางปฏิบัติจึงควรติดตั้งชุดอุปกรณ์ที่บริเวณใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ

2. การเติมหัวเชื้อราควรมากกว่า 1×10^8 สปอร์ต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก โดยใช้ไม่น้อยกว่า 1×10^6 - 1×10^8 สปอร์ต่อกรัมของวัสดุหมัก

3. เนื่องจากในปัจจุบันมีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน อาทิเช่น กรมพัฒนาที่ดิน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้พัฒนาหัวเชื้อเพื่อใช้สำหรับหมักปุ๋ย จึงสามารถนำมาใช้ได้โดยจะเป็นการลดขั้นตอนในการเตรียมหัวเชื้อ นอกจากนี้แล้วปุ๋ยหมักที่ได้ยังนำมาใช้เป็นกล้าเชื้อในการหมักครั้งต่อไปได้อีกด้วย

4. การหมักในถังที่ใช้ปริมาณวัสดุหมักที่ค่อนข้างมาก (มากกว่า 1 ตัน) ควรมีการเติมอากาศหรือร่วมกับการพลิกวัสดุหมักอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยระบายความร้อน ความชื้น ตลอดจนเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในการดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมัก

5. การเติมอากาศควรเติมเมื่อความร้อนในกองปุ๋ยหมักสูงมากกว่า 65 องศาเซลเซียส เพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้า