บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulose decomposer) ซึ่งประกอบด้วย แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และเชื้อรา ความเร็วในการย่อยสลายนอกจากขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุอีกด้วย วัสดุที่มี C:N ratio กว้างจะย่อยสลายช้ากว่าวัสดุที่มี C:N ratio แคบ ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำปุ๋ยหมักได้แก่ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เศษตอซังพืช เศษเหลือจากการเพาะเห็ด เศษจากการหีบน้ำมัน และเศษเหลือจากการผลิตสัตว์ เช่น เขาสัตว์ กระดูกป่น เลือดป่น เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะผลิตออกมาปริมาณมากในแต่ละปี และเป็นวัสดุที่ยากต่อการกำจัด แต่เมื่อนำมาทำปุ๋ยหมักแล้วจะทำให้ปริมาตรของวัสดุเหล่านี้ลดลง 4 – 5 เท่าของปริมาตรเดิม (Wang *et al.,* 2005) ทำให้ลดความยุ่งยากในการจัดการเศษซากเหลือใช้ ในด้านของความยากง่ายในการย่อยสลายเศษซากเหลือใช้เหล่านี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ C:N ratio ซึ่งพบว่าวัสดุเหล่านี้มักจะมีค่า C:N ratio สูง เนื่องจากมีองค์ประกอบของเซลลูโลสและลิกนินค่อนข้างสูงจึงสลายตัวได้ยาก เช่น ฟางข้าว มี C:N ratio 78- 80 (Wang *et al,* 2005) แกลบมี C:N ratio 111-152 (กรมวิชาการเกษตร, 2549) เป็นต้น ทำให้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้ย่อยสลายสมบูรณ์ใช้เวลานาน เศษพืชที่นิยมใช้อีกพวกหนึ่งคือกากเมล็ดพืชจากการหีบน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณ N สูงและมี C ต่ำ และเศษเหลือจากการผลิตสัตว์ เช่น กระดูก เปลือกไข่ เปลือกหอย ซึ่งมี Ca และ P สูง โดยทั่วไปแล้วอัตราการย่อยสลายมักจะพิจารณาถึง C:N ratio ของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ซึ่ง N เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลายและการเจริญเติบโตตลอดจนถึงการผลิตเอนไซม์ของเชื้อจุลินทรีย์ (Bertoldi *et al*, 1983) ถ้าวัสดุใดมี C:N ratio สูง มากๆ กิจกรรมการย่อยสลายเกิดขึ้นช้า แต่ถ้าต่ำเกินไปจะสูญเสีย N ในระหว่างการย่อยสลายจากกระบวนการ ammonia volatilization จากรายงานของเสียงแจ๋ว และคณะ (2549) พบว่าในการใช้วัสดุผลิตปุ๋ยหมัก เช่น ละอองข้าว เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกมะม่วง กากสับปะรด กากมะเขือเทศ และซังข้าวโพดหวาน จะมีระยะเวลาการย่อยสลายสั้นกว่าวัสดุชนิดอื่นโดยใช้ระยะเวลาระหว่าง 21-42 วัน มีค่า C:N ratio ลดลงจาก 33-46 เป็น17-20 และมีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลลูโลสค่อนข้างสูงจาก 8.19-10.01 เป็น 9.38-12.02 log no. ต่อกรัมของวัสดุ ซึ่งปุ๋ยที่ได้จากวัสดุเหล่านี้มีปริมาณ N, P และ K ค่อนข้างสูง ยกเว้นละอองข้าวเป็น 0.88-2.57, 0.84-2.71 และ 1.02-1.23% ตามลำดับ ส่วนฟางข้าว กากและเปลือกของมันสำปะหลังใช้ระยะเวลาการย่อยสลายนานกว่ากลุ่มแรกระหว่าง 53-77 วัน ค่า C:N ratio ลดลงจาก 53-87 เป็น 19-20 ปริมาณธาตุอาหาร 3 ชนิดต่ำกว่า 1% ส่วนการย่อยวัสดุกากอ้อยเป็นกลุ่มที่ย่อยสลายนานที่สุด ใช้ระยะเวลา 168 วัน ค่า C:N ratio ลดลงจาก 161 เป็น 29 สำหรับ pH ของวัสดุหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายแล้วจะเพิ่มขึ้นจากระหว่าง 5.0-7.2 เป็น 7.2-8.7 ซึ่งอยู่ในระดับเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย และมีรายงานของมลชยาและคณะ (2548) พบว่า C:N ratio เริ่มต้น ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มีค่าประมาณ 30:1 ถ้าหากมีการปรับค่าดังกล่าวให้เหมาะสมก็จะทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ดังนั้นการปรับค่า C:N ratio จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้การสลายตัวของวัสดุเกิดเร็วขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุอื่นที่มี N เป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูงที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แทนปุ๋ยเคมีได้ เช่น มูลสัตว์ ดินค่ำ เศษซากพืชตระกูลถั่ว กระดูกป่น เขาป่น กากเลือดแห้ง และรำข้าว เป็นต้น

รำข้าว

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวจากการศึกษาพบว่าข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม จะได้รำข้าวประมาณ 5-8 กิโลกรัม (International Rice Research Institute, 2006) รำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ค่อนข้างสูง เช่น N 2.64%, P 2.52%, K 2.09% (นันทกร และคณะ, 2548) นอกจากนั้นยังมีธาตุอาหารอื่นๆ เช่น Ca, Mg, Mn, Fe, Zn และสารประกอบที่เป็นโปรตีน 13%, ไขมัน 13% รวมถึง vitamin B และ E ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของ จุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์มีการเจริญเพิ่มขึ้นการย่อยสลายของเศษซากพืชก็จะเร็วขึ้น การปรับสภาพบางอย่างให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษพืชจะช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง โดยเฉพาะเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยากในกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้เป็นปุ๋ยหมัก เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์คือจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส (Cellulose decomposer) เนื่องจาก เซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในเซลล์ซากพืชถึง 30-60 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) และยังมี hemicellulose และ lignin ร่วมอยู่ด้วย การย่อยสลายวัสดุเหล่านี้นอกจากขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ ความแตกต่างทางสมบัติเคมี รวมถึงชนิด และกิจกรรมของเอนไซม์แต่ละชนิดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ค่า pH ปริมาณออกซิเจน และ C:N ratio เป็นต้น โดยเฉพาะ C:N ratio ก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการย่อยสลายวัสดุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก เนื่องจากขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ C เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างสารประกอบในเซลล์จุลินทรีย์ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ใช้สารประกอบ N เพื่อนำไปสังเคราะห์สารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิกด้วย ในกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีหลายประการ เช่นการเปลี่ยนแปลงปริมาณ N, P, K, OM, pH, OM, การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO_2 การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก และ C:N ratio

1. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและชีวภาพในปุ๋ยหมัก

1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ปกติแล้วค่า pH มีค่าอยู่ตั้งแต่ต่ำที่สุดจนถึงมีค่าสูงคือตั้งแต่ 1-14 กล่าวคือ 1-7 อยู่ในสภาพที่เป็นกรด และ 7-14 อยู่ในสภาพที่เป็นด่าง ในสภาพดินที่เหมาะสมต่อการที่ทำให้แร่ธาตุต่าง ๆ ปลดปล่อยออกมาแล้วเป็นประโยชน์สูงสุดต่อการที่จะทำให้พืชดูดเอาแร่ธาตุไปใช้ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม จะอยู่ในช่วงประมาณ 5.8-6.3 แต่ถ้า pH ของดินต่ำเกินไป ความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ก็จะเป็นประโยชน์น้อยลง ในทำนองเดียวกันเมื่อค่า pH สูงกว่านี้เกิน 6.3 ขึ้นไป ความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ของอาหารก็ลดลงไป (ดีพร้อม, ไม่ระบุ พ.ศ.) ในปุ๋ยหมักโดยทั่วไปค่า pH ไม่มีผลมากนักต่อกระบวนการย่อยสลาย เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายแบคทีเรียจะเจริญได้ดีใน pH ที่เป็นกลางส่วนเชื้อราสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรดได้ แต่โดยปกติแล้ว pH เริ่มต้นของการหมักจะค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ซึ่งถือเป็น pH ที่พบได้ใน cell sap ของพืชส่วนใหญ่ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายมักพบว่า pH ในช่วงแรกจะลดลงโดยกิจกรรมของ acid forming bacteria ซึ่งจะย่อยสารประกอบคาร์บอนทำให้เกิดกรดอินทรีย์มีผลทำให้ pH ค่อนข้างเป็นกรดประมาณ 4.5-5.0 แต่หลังจากนั้น จะเป็นด่างเล็กน้อยประมาณ 7.5-8.5 เนื่องจากโปรตีนถูกย่อยสลายและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา (พิทยากร, 2542) อย่างไรก็ตามแล้วค่า pH ของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-8.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในปุ๋ยหมัก

Meunchang *et al.*, (2004) ทำการศึกษาระยะเวลาและการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักจาก filter cake โดยแบ่งตำรับการทดลองออกเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือตำรับการทดลองที่หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวซึ่งมี C:N ratio ต่ำคือ 14:1 และตำรับการทดลองที่หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยเพื่อปรับระดับของ C:N ratio ให้สูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ 22:1 จาก

การศึกษาพบว่าค่า pH ของปุ๋ยหมักในทั้ง 2 ตำรับการทดลองมีค่าลดลงจากประมาณ 7.7 ไปอยู่ที่ 6.8 ในระหว่าง 40 วันแรกของการย่อยสลายซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการผลิตกรดโดยจุลินทรีย์และกรดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณแอมโมเนียมอย่างมากและหลังจากนั้นจะเกิดขบวนการไนตริฟิเคชันตามมาภายหลังจากระยะเวลาที่ 40 วัน แต่จะไม่ส่งผลให้ค่า pH ลดลงและพบว่าในปุ๋ยหมักตำรับการทดลองที่หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 6.7 ส่วนในปุ๋ยหมักตำรับการทดลองที่หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 7 ไปตลอดระยะเวลาการทดลอง สอดคล้องกับรายงานของ วิทยา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของสารเร่ง พด.1 และสารประกอบ N ต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยแบ่งออกเป็น 6 ตำรับการทดลอง คือ ตำรับการทดลองย่อยสลายที่ไม่มีการเติมสารใด ๆ ลงในขี้เลื่อยไม้ยางพารา และตำรับการทดลองย่อยสลายที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 0.15% (โดยน้ำหนัก) และปุ๋ยยูเรียในอัตราส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% และ2.0% (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของขี้เลื่อยหมักทั้ง 6 ตำรับการทดลอง มีค่าเท่ากันคือ 6.30 แต่เมื่อเริ่มต้นหมักผ่านไป 3 วัน pH ของขี้เลื่อยหมักทั้ง 6 ตำรับการทดลองลดลงเป็น 5.3, 5.19, 5.72, 5.19 และ5.19 ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์หลายชนิดทั้งในสารเร่ง พด.1และจุลินทรีย์จากธรรมชาติ สามารถย่อยสลายสารประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็ว และผลิตกรดอินทรีย์ขึ้น หลังจากนั้นระดับค่า pH ของขี้เลื่อยหมักจะค่อยๆ สูงขึ้นเรื่อยๆ และรักษาระดับอยู่ในช่วง 7.0-7.9 ตลอดระยะเวลาการทดลอง

1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity ; EC)

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าวัดเพื่อแสดงถึงความเข้มข้นของเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งเป็นค่าวัดโดยรวมไม่สามารถแยกบอกความเข้มข้นของเกลือแต่ละตัวได้ หน่วยการวัดค่า EC มีหลายหน่วยแล้วแต่เครื่องมือที่ใช้วัด น้ำบริสุทธิ์จะมีค่าการนำไฟฟ้าเป็นศูนย์แต่เมื่อน้ำมีเกลือละลายอยู่เกลือเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ซึ่งประจุบวกและลบที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้สารละลายที่มีเกลือที่แตกตัวได้มีค่า EC ซึ่งค่า EC ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า EC ของสารละลายเป็นตัวบอกปริมาณเกลือที่ละลายในสารละลายได้ ในปุ๋ยหมักโดยทั่วไปต้องมีค่า EC ไม่เกิน 6 dSm^{-1} เนื่องจากค่าสูงเกินไปจากค่าที่กำหนดจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในปุ๋ยหมัก

จากการศึกษาของ Keener *et al.* (2005) พบว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากมูลม้าผสมกับกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุปูพื้นในคอกม้าทำการทดลองและเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า EC ตลอดระยะเวลาการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดลอง 200 วัน พบว่าค่า EC มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางลดลงโดยมีค่า EC ประมาณ 13 dSm^{-1} ในเดือนแรก และมีค่าประมาณ 9 dSm^{-1} ในเดือนสุดท้าย ซึ่งค่าดังกล่าวในช่วงแรกมีค่าสูงเป็นผลเนื่องมาจากการเติมปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ในการเริ่มต้นการกองปุ๋ยหมักจึงทำให้ช่วงแรกมีค่า EC สูง แต่ช่วงหลังจากนั้นค่า EC ดังกล่าวมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการถูกชะล้างโดยน้ำฝนขณะทำการทดลองจึงทำให้ค่า EC มีค่าลดลง สอดคล้องกับการทดลองของสุชน และคณะ (2550) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยของสลายวัสดุอินทรีย์ที่ใช้รองคอกในระบบการเลี้ยงสุกรหลุมโดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ แกลบ : ต้นเบญจมาศ : ฟางข้าว ในสัดส่วน 3 : 3 : 1 รองพื้นคอกที่มีขนาดพื้นที่ 2 x 2.5 ตารางเมตร และขุดเป็นหลุมลึกประมาณ 90 เซนติเมตร โดยใช้วัสดุรองพื้น ในอัตรา 800 กิโลกรัมต่อคอก แบ่งใส่วัสดุดังกล่าวเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นเสริมด้วยปุ๋ยหมักเก่า 4.0 กิโลกรัม และปุ๋ยยูเรีย 350 กรัม รดน้ำให้มีความชื้นประมาณ 60% ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุรองคอกทุกเดือนตลอดระยะเวลา 3 เดือน พบว่าค่า EC มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแต่มีแนวโน้มลดลง

1.3 ไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrient) ซึ่งมีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืชอย่างเห็นชัดเจน เพราะเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชทุกชนิดสร้างโปรตีน เพื่อเป็นส่วนประกอบของ protoplasm นอกจากนี้ N ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ nucleoprotein, chlorophyll, vitamin, adenosine triphosphate (ATP), ฮอร์โมนบางชนิดและสารประกอบอื่นๆ โดยธาตุ N ในใบพืชประมาณร้อยละ 70 อยู่ใน chloroplast รากพืชดูด N จากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (NO_3^-) และเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) และส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน ถ้าขาด N ใบของพืชจะเหลืองผิดปกติ พืชบางชนิดมีลำต้นสีเหลือง บางทีก็มีสีชมพูเจือปนอยู่ด้วย เริ่มจากใบล่างของพืชจะมีสีเหลืองปนส้ม ปลายใบและขอบใบค่อยๆแห้งและลุกลามจนในที่สุดใบจะล่วงหล่นออกจากต้นก่อนกำหนดที่ควรจะหล่น ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านลีบเล็ก และมีจำนวนน้อย พืชไม่เติบโตหรือโตช้ามาก ผลผลิตต่ำ และไม่มีคุณภาพ สำหรับในปุ๋ยหมักระหว่างการย่อยสลายของเศษวัสดุ N มีความสำคัญโดยจุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่ง N เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่นโปรตีน และ nucleic acid เป็นต้น (Poincelot, 1975)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ N ทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยหมัก

วิทยา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของสารเร่ง พด.1 และสารประกอบ N ต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพาราพบว่าในช่วง 9 วันแรกของการทดลองปริมาณ N มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากทำการหมักได้ 9 วัน พบว่าปริมาณ N มีค่าลดลง เนื่องจากยูเรียซึ่งเป็นแหล่งของ N ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบแอมโมเนียหรือไนเตรท ซึ่งจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1 และจากธรรมชาติจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายขี้เลื่อยสูงขึ้นและบางส่วนสูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจน แต่หลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง พบว่าปริมาณ N เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากการย่อยสลายขี้เลื่อยทำให้มีอัตราการปลดปล่อยปริมาณ N ออกมามากกว่าการการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์จึงพบว่ามีปริมาณ N เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับรายงานของ Meunchang *et al.* (2004) ทำการศึกษาระยะเวลาและการเปลี่ยนแปลงปริมาณ N ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักจาก filter cake โดยแบ่งตำรับการทดลองออกเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือตำรับการทดลองที่ 1 หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวซึ่งมี C:N ratio ต่ำคือ 14:1 และตำรับการทดลองที่ 2 หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยเพื่อปรับระดับของ C:N ratio ให้สูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ 22:1 จากการศึกษาพบว่าปริมาณ N ทั้ง 2 ตำรับการทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยในตำรับการทดลองที่หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวมีค่าสูงกว่าในตำรับการทดลองที่หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยและมีค่าสูงกว่าไปจนสิ้นสุดการทดลอง การที่ปริมาณ N ในปุ๋ยหมักมีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการสูญเสียปริมาณ C ในเศษวัสดุมีมากกว่าการสูญเสียปริมาณ N ในระหว่างการย่อยสลาย จึงทำให้ปริมาณ N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง อย่างไรก็ตามการย่อยสลายวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันและปริมาณการปลดปล่อยของ N ก็แตกต่างกันด้วย ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Larney (2003) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ N ในการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเศษไม้ทำการทดลองในช่วงระยะเวลา 3 ปี พบว่าปริมาณของ Total N ในปุ๋ยหมักเศษไม้จะมีปริมาณต่ำกว่าในปุ๋ยหมักฟางข้าว ซึ่งพบว่า N ในปุ๋ยหมักเศษไม้มีค่าประมาณ 0.17% และ N ในปุ๋ยหมักฟางข้าวมีประมาณ 0.43% ตามลำดับ

1.4 ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช โดยมีบทบาทในการควบคุมการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชมาก P เป็นองค์ประกอบของ Adenosine triphosphate (ATP), Adenosine diphosphate (ADP), Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP), Nuclic acid, Coenzyme และสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์โปรตีนและการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการเมตตาบอลิซึมต่างๆ ตลอดจนการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของพืช (นครินทร์, 2546) ในปุ๋ยหมัก P มีความสำคัญโดยที่ในระหว่างการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จุลินทรีย์จะใช้ P ในการเจริญเติบโต และพบว่าโดยทั่วไปปุ๋ยหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วจะต้องมีปริมาณ P อยู่ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ P ($\%P_2O_5$) ในปุ๋ยหมัก

จากรายงานของ วิทยา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของสารเร่ง พด.1 และสารประกอบ N ต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพารา พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุ P ของขี้เลื่อยหมักในระหว่างกระบวนการย่อยสลายมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจาก P ในขี้เลื่อยที่อยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาโดยอัตราการปลดปล่อยมีมากกว่าอัตราการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ สอดคล้องกับการทดลองของ Larney (2003) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ P ในการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเศษไม้ทำการทดลองในช่วงระยะเวลา 3 ปี พบว่าปุ๋ยหมักจากเศษไม้มีปริมาณการปลดปล่อย P ต่ำกว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าว และปริมาณ P ของปุ๋ยหมักทั้งสองมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 ปีของการทดลอง สาเหตุที่ P เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการลดลงของมวลวัสดุ เช่นเดียวกับรายงานของ Larney *et al.* (2002) ที่พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายจะทำให้สูญเสียมวลวัสดุไปประมาณ 20-30% และพบว่าปริมาณของ P แตกต่างจากปริมาณของ N เนื่องจาก P ไม่มีการสูญเสียไปในระหว่างการย่อยสลาย ดังนั้นเมื่อมวลวัสดุลดลงไปในระหว่างการย่อยสลายก็ยิ่งทำให้ P มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของสุชน และคณะ (2550) ที่พบว่า P มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในระหว่างการย่อยของสลายวัสดุอินทรีย์ที่ใช้รองคอกในระบบการเลี้ยงสุกรหลุม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณ P อยู่ที่ประมาณ 6.5%

1.5 โพแทสเซียม (K)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารพืชซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีความแตกต่างจากธาตุอาหารอื่นๆ ตรงที่ K ในต้นพืชไม่ได้อยู่ในองค์ประกอบของอินทรียสาร เช่น โปรตีน ไขมัน หรือเซลลูโลสโดยตรง แต่อยู่ในรูปของสารละลายในเซลล์ (cell sap) หน้าที่ของ K ในต้นพืชคล้ายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืช ซึ่งได้แก่ กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ เมื่อพืชขาด K ขอบใบจะมีสีซีด (chlorosis) จะกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด ในปุ๋ยหมัก K มีความสำคัญโดยที่ในระหว่างการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ จุลินทรีย์จะใช้ K ในการเจริญเติบโต และพบว่าในปุ๋ยหมักโดยทั่วไปจะต้องมีปริมาณ K ไม่น้อยกว่า 0.5%โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ K (%K_2O) ในปุ๋ยหมัก

วิทยา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของสารเร่ง พด.1 และสารประกอบ N ต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพารา พบว่าปริมาณ K จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์ในกองขี้เลื่อยมีการใช้ K ในกระบวนการเจริญเติบโตกระบวนการย่อยสลาย และกระบวนการอื่นๆก็ตาม แต่การย่อยสลายมีการปลดปล่อยปริมาณ K ออกมามากกว่า ดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ K ของขี้เลื่อยในระหว่างกระบวนการย่อยสลายจึงมีปริมาณ K เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ปริมาณการปลดปล่อย K อาจจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งเห็นได้จากการทดลองของสุชน และคณะ (2550) ที่พบว่าปริมาณ K มีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการย่อยของสลายวัสดุอินทรีย์ที่ใช้รองคอกในระบบการเลี้ยงสุกรหลุมโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ ประมาณ 1.45 - 2.05%

1.6 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)

อินทรียวัตถุ คือส่วนของซากพืชหรือซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว และเซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายหรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ OM ในดินจะประกอบไปด้วย สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรท ประมาณ 10-20%, สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเช่น กรดอะมิโน และน้ำตาลอะมิโน (amino sugar) ประมาณ 20%, สารประกอบ aliphatic fatty acid, alkane ฯลฯ ประมาณ 10-20% และที่เหลือเป็นสารประกอบพวก aromatic compound (ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2544) สำหรับบทบาทสำคัญในระบบนิเวศในดิน OM ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้เม็ดดินจับกันเป็นก้อน ยังช่วยทำให้ดินร่วนซุยขึ้น มีผลต่อการควบคุมความสัมพันธ์ของอากาศและน้ำในดิน เพื่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยในการชะล้างพังทลายของดิน และบางครั้งยังเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคพืชด้วย สำหรับในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก OM เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นมาตราฐานในการกำหนดคุณภาพปุ๋ยหมักซึ่งในปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วจะต้องมีปริมาณ OM อยู่ไม่ต่ำกว่า 30% โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ในปุ๋ยหมัก

Garcia *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้กากตะกอนที่ได้จากการบดผลมะกอกผสมกับใบมะกอกโดยแบ่งเป็น 2 ตำรับการทดลองคือใช้กากตะกอนมะกอก 65% หมักร่วมกับใบมะกอก 35% และอีกตำรับหนึ่งใช้กากตะกอนมะกอก 74% หมักร่วมกับใบมะกอก 25% และเติมยูเรีย 1% หมักเป็นระยะเวลา 252 วัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของ OM ลดลงตลอดระยะเวลา

การทดลองโดยตำรับที่เติมปุ๋ยยูเรีย 1% มีการลดลงของ OM อย่างรวดเร็วเนื่องจาก C:N ratio เมื่อเริ่มต้นหมักมีความเหมาะสมจึงทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วกว่าตำรับการทดลองที่ไม่เติมปุ๋ยยูเรีย และนอกจากนี้ Gigliotti (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ระหว่างการย่อยสลายปุ๋ยหมัก 3 ชนิด คือชนิดที่1ปุ๋ยหมักจากเศษพืชและมูลสัตว์ (อัตราส่วน 50:50) ปุ๋ยหมักชนิดที่2 ทำจากขยะของเสีย เศษหญ้าและเศษใบยาสูบ (อัตราส่วน 55:30:15)และปุ๋ยหมักชนิดที่3 ปุ๋ยหมักจากเศษพืชและมูลสัตว์ (อัตราส่วน 70:30) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (Dissolved organic carbon ; DOC) ของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงไปในลักษณะที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าลดลงประมาณ 72, 75 และ64%ในปุ๋ยหมักชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 และปุ๋ยหมักชนิดที่ 3 ตามลำดับซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ DOC ที่ละลายน้ำได้ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันกับสมดุลของการเพิ่มและการลดลงของ OM กล่าวคือการลดลงของปริมาณ OM เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณ C ในเศษพืชดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Larney (2003) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ C ในการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเศษไม้ พบว่าปริมาณ C ในปุ๋ยหมักลดลงเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ และพบว่าปริมาณ C ในปุ๋ยหมักเศษไม้มีปริมาณสูงกว่าในปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ซึ่งปริมาณ C ลดลงในช่วง 28 วันแรกของการทดลอง C ที่ย่อยสลายง่ายเช่นพวกแป้ง น้ำตาล ถูกย่อยสลายออกมาก่อนพวก Cellulose, Hemicellulose และLignin และพบว่าปริมาณ C ลดลงอย่างช้าๆในปุ๋ยหมักเศษไม้เนื่องจากในเศษไม้มีปริมาณของ Cellulose, Hemicellulose และLignin อยู่ในปริมาณที่สูงกว่าในฟางข้าว

1.7 อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)

C:N ratio เป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมและเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลายเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก และการเจริญตลอดจนการผลิตเอ็นไซม์ของเชื้อจุลินทรีย์ (Bertoldi *et al.,* 1983) C:N ratio เป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ C เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ใช้สารประกอบ N เพื่อนำไปสังเคราะห์สารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิค (Poincelot, 1975) ถ้าวัสดุมี C:N ratio สูงมากๆ กิจกรรมการย่อยสลายจะเกิดช้า แต่ถ้า C:N ratio ต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสีย N ในระหว่างการย่อยสลายเนื่องจากกระบวนการ ammonia volatilization นอกจากนี้ C:N ratio สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักที่ทำนั้นย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ และสามารถนำไปใช้ได้หรือไม่ โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมี C:N ratio ระหว่าง 26-35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ใส่ในดินได้โดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย แต่ถ้า C:N ratio ลดลงถึง 20 แสดงว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี (พิทยากร, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลง C:N ratio ในปุ๋ยหมัก

วิทยา (2546) ได้ทำการศึกษาผลของสารเร่ง พด.1 และสารประกอบ N ต่อการย่อยสลายขี้เลื่อยไม้ยางพารา พบว่าตำรับการทดลองที่มีการใส่สารเร่ง พด.1 ร่วมกับปุ๋ยยูเรียในอัตรา 0.5% (โดยน้ำหนัก) มีส่วนช่วยส่งเสริมให้ C:N ratio ลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเปรียบเทียบผลของการใส่สารเร่งพด.1ร่วมกับปุ๋ยยูเรียในอัตรา 0.5%,1.0%,1.0%, 1.5% และ2.0% (โดยน้ำหนัก) C:N ratio มีค่าที่ไม่มีความแตกต่างกัน และพบว่าในช่วง9วันแรกของการทดลอง C:N ratio ของขี้เลื่อยหมักจะเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 9 ของการทดลองมีค่า 365.54, 369.54, 321.28, 344.06, 297.32 และ289.23 ตามลำดับ เนื่องจาก N ถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ พร้อมทั้ง N บางส่วนสูญเสียไปในรูปของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจน และยังพบอีกว่าหลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง C:N ratio มีค่าลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของ Gigliotti (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ระหว่างการย่อยสลายปุ๋ยหมัก พบว่าปริมาณอินทรีย์ C ที่ละลายได้ของปุ๋ยหมักเป็นไปในลักษณะที่มีค่าลดลง และนอกจากนี้ Meunchang *et al***.** (2004) ทำการศึกษาระยะเวลาและการเปลี่ยนแปลง C:N ratio ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักจาก filter cake โดยแบ่งตำรับการทดลองออกเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือตำรับการทดลองที่หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวซึ่งมี C:N ratio ต่ำคือ 14:1 และตำรับการทดลองที่หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยเพื่อปรับระดับของ C:N ratio ให้สูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ 22:1 จากการทดลองพบว่า C:N ratio มีค่าลดลง โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกในทั้ง 2 ตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวมี C:N ratio ลดลงไปอยู่ที่ประมาณ 10:1 และตำรับการทดลองที่หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยมี C:N ratio ลดลงไปอยู่ที่ประมาณ 14:1 และหลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 90 วัน

1.8 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2-evolution)

การปลดปล่อยปริมาณ CO_2 เป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการ metabolism ของจุลินทรีย์ ปริมาณความมากน้อยของ CO_2 ที่ถูกปลดปล่อยออกมาอาจจะเป็นเครื่องชี้ถึงความมากน้อยของกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมและปริมาณของ จุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ CO_2 ที่วัดได้ อย่างไรก็ตามทั้งปริมาณและการปลดปล่อยจะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของของจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของ oxidation carbon compounds ด้วยและนอกจากนี้สภาพแวดล้อมต่างๆยังมีส่วนควบคุมการปลดปล่อย CO_2 อีกด้วย เช่น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ ค่า pH เป็นต้น (อำพรรณ, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปุ๋ยหมัก

Tognetti *et al.* (2006) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของขยะของเสียเพื่อดูถึงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ทำการทดลองโดยใช้เศษตะกอนของเสียที่ขนาดและอนุภาคต่างกันหมักร่วมกับเปลือกไม้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ในทุกอัตราส่วนของการหมักมีแนวโน้มที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือในช่วง 50 วันแรกปริมาณการปลดปล่อย CO_2 มีปริมาณค่อนข้างสูงแต่หลังจาก 50 วันแรกจนถึงวันที่ 90 ของการทดลองปริมาณ CO_2 ลดลงอย่างรวดเร็วและหลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 130 วัน สอดคล้องกับการทดลองของสุชน และคณะ (2550) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยของสลายวัสดุอินทรีย์ที่ใช้รองคอกในระบบการเลี้ยงสุกรหลุม พบว่ามีกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยเชื้อจุลินทรีย์สูงที่สุดใน 30 วันแรกโดยวัดจากปริมาณการปลดปล่อย CO_2 และหลังจากนั้นพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์มีค่าลดลง

1.9 ดัชนีความงอก (Germination index;GI)

ดัชนีความงอกเป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกถึงการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยการประเมินอัตราการงอกของเมล็ดในสารละลายที่สกัดจากปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับการงอกของเมล็ดในน้ำกลั่น วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถวัดสารที่เป็นพิษต่อพืช (Phototoxic substance) ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยหมัก โดยตรงสารที่เป็นพิษต่อพืชในปุ๋ยหมักได้แก่ ก๊าซแอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ กลุ่ม phenolic compound และสารที่เป็นพิษอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย และปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายยังไม่เสร็จสมบูรณ์

การเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

Meunchang *et al.* (2004) ทำการศึกษาระยะเวลาและการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักโดยใช้วิธีทดสอบการงอกของเมล็ดพืช ได้แก่ เมล็ดผักกาด และเมล็ดมะเขือเทศ ปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบเป็นปุ๋ยหมักจาก filter cake โดยแบ่งตำรับการทดลองออกเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือตำรับการทดลองที่ 1 หมัก filter cake เพียงอย่างเดียวซึ่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำคือ 14:1 และตำรับการทดลองที่ 2 หมัก filter cake ร่วมกับกากอ้อยเพื่อปรับระดับของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้สูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ 22:1 จากการศึกษาพบว่าในปุ๋ยหมักทั้ง 2 ตำรับการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่า 50% ในช่วง 50 วันแรกของการย่อยสลาย ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นพิษของ ammonia และกรดอินทรีย์ที่มีค่าต่ำ และพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูงกว่า 80% โดยในตำรับที่ 1 ที่เป็นปุ๋ยหมักจาก filter cake มีค่าสูงกว่า 80% ในช่วง 90 วันของการทดลอง และในตำรับที่ 2 ปุ๋ยหมักจาก filter cake ร่วมกับกากอ้อย และมีค่าสูงกว่า 80% ในช่วงระยะเวลาที่ 80 วัน การที่เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืชมีค่าต่ำกว่า 50% จะใช้เป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของปุ๋ยหมักได้ และการที่เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืชมีค่าสูงกว่า 80% จะเป็นตัวที่ใช้ในการพิจารณาถึงปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายหลังการใส่ปุ๋ยหมักในดิน

2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดิน

Usman (2004) ศึกษาการบ่มตัวอย่างดินโดยใช้ดินด่างที่มีอินทรีย์คาร์บอนในปริมาณต่ำ (0.31%) และมี $CaCO_3$ ปริมาณสูง (15.9%) ค่า pH ดินเริ่มต้นอยู่ที่ 8.16 และมีค่า EC คือ 2.9 dSm^{-1} นำมาบ่มกับปุ๋ยหมักที่ทำจากตะกอนของเสียและปุ๋ยหมักจากเศษหญ้าแห้ง โดยบ่มตัวอย่างดินกับปุ๋ยหมักตะกอนในอัตรา 15, 45 และ 90 tha^{-1} และบ่มดินร่วมกับปุ๋ยหมักจากเศษหญ้าในอัตราเดียวกันโดยบ่มตัวอย่างดินให้มีความชื้นเท่ากับ 70% ของความชื้นดิน เก็บตัวอย่างดินที่ระยะเวลาที่ 0, 27, 60 และ 90 วัน เมื่อนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์พบว่าค่า pH ของดินมีค่าอยู่ในช่วง 7.5-8.2 ในระหว่างการบ่มตัวอย่างดิน ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ปุ๋ยหมักจากตะกอนและปุ๋ยหมักจากเศษหญ้าในอัตราที่สูงขึ้นจะทำให้ค่า pH ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่บ่มโดยไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยมีค่า pH ลดลงประมาณ 0.55-0.66 และ 0.18-0.24 ตามลำดับ และค่า pH มีค่าต่ำสุดในดินที่บ่มร่วมกับปุ๋ยหมักตะกอนที่ใส่ในอัตรา 90 tha^{-1} การลดลงของค่า pH เป็นผลเนื่องมาจากการสร้างกรดในการย่อยสลายของเสียที่เป็นอินทรีย์ โดยเฉพาะของเสียจากตะกอน สอดคล้องกับการทดลองของ Speir *et al*. (2003) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักตะกอนในดินทรายมีผลต่อภาวะการณ์เป็นกรดในดินบริเวณที่มีการใส่ตะกอนของเสีย แสดงให้เห็นว่าค่า pH มีความแปรผันกันเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการบ่มดิน

2.2 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในดิน

จากการศึกษาของ Usman (2004) พบว่าการบ่มปุ๋ยหมักตะกอนของเสียในดินทำให้ความเค็มของดินเพิ่มขึ้นมากกว่าการบ่มดินกับปุ๋ยหมักจากเศษหญ้าแห้ง โดยความเค็มของดินเพิ่มขึ้นตามอัตราของการใช้ของเสียจากอินทรีย์ และความเค็มของดินเพิ่มขึ้นสูงสุดในดินที่บ่มร่วมกับปุ๋ยหมักตะกอนที่มีอัตราการใส่ 90 tha^{-1} จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความเค็มของดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยหมักตะกอนโดยที่อัตรา15, 45 และ 90 tha^{-1} มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่บ่มโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยหมักโดยเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาของการหมักและเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนปุ๋ยหมักจากเศษหญ้าแห้งความเค็มของดินมีความแตกต่างกันเมื่อบ่มดินร่วมกับปุ๋ยหมักจากหญ้าแห้งในอัตรา 90 tha^{-1} ความเค็มของดินเป็นผลเนื่องมาจากการปลดปล่อยไอออนในระหว่างขบวนการปลดปล่อย OM สอดคล้องกับการทดลองของ Wong *et al.* (2001) ที่พบว่าค่า EC ของดินเพิ่มขึ้นจนเห็นถึงความแตกต่างเนื่องจากการเพิ่มปุ๋ยหมักตะกอน และนอกจากนี้ Moreno *et al.* (1999) ได้พบว่าการเพิ่มปุ๋ยหมักตะกอนของเสียในดินเขตแห้งแล้งค่า EC ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วความเค็มของดินดังกล่าวเป็นปัจจัยหนึ่งในการจำกัดการเจริญเติบโตของพืช (Richards, 1960)

2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ N ในดิน

Sanchez (1997) ศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการใช้ปุ๋ยหมักจากตะกอนของเสียต่อความเป็นประโยชน์ของ N ในการปลูกข้าวโพด ทำการบ่มตัวอย่างดินโดยมี 2 ตำรับการทดลอง คือตำรับดิน (50g) และตำรับดินบ่มร่วมกับปุ๋ยหมัก (500 mg) บ่มเป็นระยะเวลา 150 วัน พบว่าอัตราการปลดปล่อย Nในดินมีปริมาณ N เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของ NO_3^- มีค่าเพิ่มขึ้นและ NH_4^+ มีค่าลดลง ในระหว่างการบ่มสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ในระยะ 45 วันแรกเป็นช่วงแรกของการปรับตัวของจุลินทรีย์ซึ่งอัตราการปลดปล่อย N จะมีปานกลางในระยะที่ 2 ช่วงเวลา 45-120วัน ขบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นและในระยะสุดท้ายคือช่วงหลังจากวันที่ 120 วัน อัตราการปลดปล่อย N เกิดมากขึ้นชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้เป็นอย่างดีในสภาพธรรมชาติ ซึ่งปริมาณไนเตรทจะเพิ่มมากอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Okamoto *et al.* (2004) ทำการทดลองหาความเข้มข้นของ N ในดิน โดยการนำตัวอย่างดิน 4 ตัวอย่าง มาบ่ม คือ ดินที่บ่มร่วมกับ 500 mgNkg $^{-1}$ แอมโมเนียมไนเตรท, ดินที่บ่มร่วมกับรำข้าว, ดินที่บ่มร่วมกับฟางข้าวหมักร่วมกับรำข้าว และดินที่ไม่เติม N (control) พบว่า 1 สัปดาห์หลังจากการบ่มปริมาณของ inorganic–N สูงที่สุดใน Treatment ที่มีบ่มร่วมกับ 500 mgNkg $^{-1}$ ของแอมโมเนียมไนเตรท ส่วนในดินที่บ่มร่วมกับรำข้าว และ ดินที่บ่มร่วมกับฟางข้าวหมักร่วมกับรำข้าวมีการเพิ่มขึ้นของ inorganic–N อย่างช้าๆ และพบว่าในดินที่มีการปลูกพืชจะมีปริมาณของ inorganic–N ต่ำกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกพืช เนื่องจากมีการดูดใช้ inorganic– N โดยพืช และในส่วนของการตอบสนองของพืช พบว่าการตอบสนองต่อดินที่มีการเติมรำข้าว และดินที่เติมฟางข้าวหมักร่วมกับรำข้าว จะมีการปลดปล่อยอนินทรีย์ N ออกมาอย่างช้าๆ และเป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ P ในดิน

Eghball *et al*. (2005) ได้ทำการศึกษาความเป็นประโยชน์ของ P จากปุ๋ยคอกมูลวัวและมูลสุกรในการบ่มร่วมกับดิน 3 ชนิด ปรับความชื้นดินให้อยู่ที่ 60% ผลการศึกษาพบว่าความเป็นประโยชน์ของ P ดินมีปริมาณสูงเพิ่มขึ้นและพบว่าปริมาณ P ในดินที่บ่มร่วมกับมูลวัวมีปริมาณสูงกว่าในดินที่บ่มร่วมกับมูลสุกร ความแตกต่างของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดในการปลดปล่อยความเป็นประโยชน์ของ P เป็นผลเนื่องมาจากส่วนประกอบของปริมาณ P ในปุ๋ยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันซึ่งในมูลวัวมีปริมาณ 25% ที่เป็นสารอินทรีย์ในขณะที่ในมูลสุกรมีปริมาณสารอินทรีย์น้อยกว่า 10% (Sharpley *et al*, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Adams *et al*. (2001) ที่กล่าวว่าการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยหมักตะกอนของเสียมีความแตกต่างกันเนื่องจากชนิดของตะกอนและวัสดุในการย่อยสลายและนอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการบ่มตัวอย่างดินเพื่อศึกษาถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยหมักตะกอนในสภาพพื้นที่จริงโดยใช้ปุ๋ยหมักตะกอนจากของเสียใส่ลงไปในดินก่อนการปลูกถั่ว 1 เดือน ในอัตรา 0, 2, 4 และ 8.1 $Mgha^{-1}$ ในพื้นที่จริงพบว่าปริมาณ P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยหมักตะกอนการเพิ่มขึ้น ของค่าดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายของ OM ของปุ๋ยหมักโดยจุลินทรีย์ดิน (Laboski, 2003) ซึ่งสอดคล้องกันกับรายงานของ Laboski (2003) ที่ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นประโยชน์ของ P ในดินโดยการบ่มดินกับปุ๋ยคอกเป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่าเป็นประโยชน์ของ P ในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากที่ระยะเวลา 1 เดือนแรกคือ 166 $mgkg^{-1}$ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาที่ 9 เดือนมีปริมาณ 172 $mgkg^{-1}$

2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ K ในดิน

Venecio *et al*. (2006) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบ่มตัวอย่างดินร่วมกับปุ๋ยหมัก ที่ได้จากเศษเหลือของกล้วย ผลการทดลองพบว่าปริมาณ extractable K เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 2 สัปดาห์แรก และ avialble K ก็มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเทียบกับดินในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก สอดคล้องกับการทดลองของ Adams *et al*. (2001) ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยหมักตะกอน พบว่าปริมาณ K มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปุ๋ยหมักตะกอนโดยเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายของ OM ของปุ๋ยหมัก โดยจุลินทรีย์ดิน (Laboski, 2003) และการเพิ่มขึ้นของค่า K ดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของสมศักดิ์ (2549) ที่พบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพลงไปในดินพบว่าปริมาณ K ในดินที่ปลูกคะน้าเพิ่มสูงขึ้นจาก 33.8 $mgkg^{-1}$ เป็น 352 $mgkg^{-1}$

2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM ในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Pedra *et al.* (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอน (carbon mineralization ; C-CO_2) ในดินโดยบ่มร่วมกับปุ๋ยหมัก 2 ชนิดคือปุ๋ยหมักจากตะกอนของเสียและปุ๋ยหมักจากขยะของเสียและดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักเป็นตำรับควบคุม ผลการทดลองพบว่าในดินที่บ่มร่วมกับปุ๋ยหมักตะกอนของเสียมีแนวโน้มที่มีการปลดปล่อยปริมาณ C มากกว่าในดินที่บ่มร่วมกับปุ๋ยหมักขยะของเสียแสดงให้เห็นว่าการปลดปล่อยปริมาณ C ที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ปุ๋ยหมักทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกของการบ่มดิน อย่างไรก็ตามการลดลงของ OM เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณ C ในระหว่างการบ่มปุ๋ยหมักในดินจึงทำให้มีปริมาณ OM ลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Beraud *et al.* (2005) ที่พบว่าเมื่อทำการบ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักตะกอน (sewage sludge compost ; SSC) กับดินเพื่อศึกษาอัตราการ mineralization ของปริมาณ C เป็นระยะเวลาประมาณ 140 วัน วิเคราะห์ปริมาณ C ในดินพบว่า มีปริมาณ C เท่ากับ 10% และจากการทดลองของ Antonio *et al.* (2003) ทำการทดลองเกี่ยวกับการบ่มตัวอย่างดินร่วมกับปุ๋ยหมักจากเศษเหลือจากการตัดแต่งกิ่งของต้นมะนาวบ่มตัวอย่างเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ผลการทดลองพบว่าปริมาณ C ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณ OM ลดลงไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved