การเปลี่ยนฟางข้าว (ของเหลือทิ้งในนาข้าว) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในลักษณะปุ๋ยหมัก

สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

บทคัดย่อ

การเผาฟางข้าวเป็นวิธีการจัดการฟางข้าวที่เกษตรผู้ทำนาส่วนใหญ่ของประเทศไทยนิยมใช้จัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ และประกอบกับความเชื่อบางประการเรื่องการฆ่าเชื้อโรคในดิน แต่การจัดการฟางข้าวด้วยวิธีการดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ และมลพิษทางดิน ซึ่งเป็นปัญหามลพิษทั้งในระดับพื้นที่ และระดับโลก การผลักดันให้จัดการฟางข้าวโดยการเปลี่ยนฟางข้าวเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในลักษณะของปุ๋ยหมัก จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าวแล้วได้ จากสมบัติของฟางข้าวสามารถนำมาหมักเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมัก ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ขนาดของวัสดุ ขนาดของความสูงของกองหมัก อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณอากาศหรือออกซิเจน ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ย ระยะเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการหมัก และสารเร่งชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์, ปุ๋ยหมัก, ฟางข้าว

บทนำ

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรีในการทำนาข้าวปลอดภัย คือการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว แม้ว่าฟางข้าวจะมีประโยชน์มากมายในหลายแง่มุม มีงานวิจัยจำนวนมากยืนยันถึงประโยชน์ของฟางข้าวในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ การผลิตเอทานอล (Kristianto and Zhu, 2017) โพลีเมอร์ (Wang, Qiao, and Sun, 2018) การสกัดซิลิก้าจากฟางข้าว (Krishani et al., 2018) การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว (กิตติศักดิ์ บัวศรี, 2544) การใช้ฟางข้าวดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย (จิตตรา ดอกบัว, 2552) การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากฟางข้าว (ธนพรรณ บุณยรัตกลิน และคณะ, 2545) การผลิตไซลิทอลจากฟางข้าว (นัชลธร โลนุกิจ, 2553) การผลิตแผ่นผนังเบาในงานก่อสร้าง (นิตยา พัดเกาะ, 2552) เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก (สัจจะชาญ พรัดมะลิ และคณะ, 2552) อาหารเลี้ยงโครีดนม (สุนทร วิทยาคุณ และคณะ, 2548) พลาสติกชีวภาพโพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอตและการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีชีวภาพจากกากของแข็งที่เกิดจากอุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมัน (สุวิมล กาญจนสุธา, 2551) กระดาษจากฟางข้าว (อุดมพร บุญจริง, 2550) ซึ่งเป็นงานวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องด้วยศักยภาพและภาวะเร่งรัดในการทำนาครั้งต่อไปของเกษตรกร การเผาฟางข้าวจึงยังคงเป็นทางเลือกในการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในนาข้าว มีความพยายามในการหาแนวทางลดการเผาฟางข้าวของเกษตรกร (ปรารภ คันธวัน, 2548) แต่ทุกวันนี้ก็ยังคงมีการเผาฟางข้าว โดยสาเหตุของการเผาฟางข้าวคือ เพื่อต้องการให้ฟางข้าวแห้งและเร่งเตรียมดินปลูกข้าวในครั้งต่อไป นอกจากนี้ฟางข้าวยังเป็นอุปสรรคต่อการไถเตรียมดิน ซึ่งการเผาฟางข้าวก่อให้เกิดปัญหา 4 ด้าน ได้แก่ 1) ปัญหาที่เกิดกับดินทำให้ดินเสื่อมสภาพ ขาดความอุดมสมบูรณ์ อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของพืชไม่หมุนเวียนกลับคืนสู่ดิน เพราะฟางข้าวเมื่อไถกลบลงไปในดินแล้วจะย่อยสลายเป็นอินทรีย์วัตถุช่วยในการปรับปรุงบำรุงดิน ทำให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น และเพิ่มปุ๋ยให้กับดิน 2) ปัญหาที่เกิดกับจำนวนปุ๋ยที่ใช้ เกษตรต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นเพราะดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากเป็นอุปสรรคต่อการผลิตข้าวปลอดภัยของเกษตรกรผู้ทำนา 3) ปัญหาที่เกิดขึ้นกับต้นทุนการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตข้าวสูงขึ้นเพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ย

ในอัตราที่เพิ่มขึ้น และ 4) ปัญหาที่เกิดขึ้นกับจำนวนผลผลิตทำให้ผลผลิตข้าวลดลงเพราะดินเสื่อม ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง นอกจากนี้การเผาฟางข้าวยังเป็นการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) นำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหามลภาวะทางอากาศในระดับโลก มีผลการศึกษายืนยันว่าฟางข้าวสามารถพัฒนาเป็นปุ๋ยหมัก (บุญส่ง แก้วจรัส, 2553) หรือใส่ในดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว (วรพจน์ รัมพณีนิล และคณะ, 2525; 2557) ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี (นัทฐาทักษ์ รัตนศรัณย์, 2548 และ บุญส่ง แก้วจรัส, 2553)

ฟางข้าว

1. ความหมายของฟางข้าว

ฟางข้าว (ภาพที่ 1) คือลำต้นแห้งของธัญพืชหลังจากการเก็บเกี่ยว และนำเมล็ดข้าวออกแล้ว ฟางเกิดขึ้นจากต้นของธัญพืชอาทิข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวเจ้า ข้าวสาลี เป็นต้น เป็นผลผลิตพลอยได้ชนิดหนึ่งจากเกษตรกรรม

2. การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว

1. ฟางใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องและควรใช้ร่วมกับอาหารข้นหรือเสริมด้วยใบพืชตระกูลถั่วโปรตีนสูง

2. การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าว เพื่อให้สัตว์ได้รับประโยชน์เพิ่มขึ้น ได้แก่ การทำฟางหมักยูเรีย และฟางปรุงแต่งสด โดยใช้สารละลายยูเรีย-กากน้ำตาลราดฟางให้ทั่ว

3. การใช้ฟางหมักเลี้ยงโค-กระบือ สามารถใช้ในสภาพเปียกหรือแห้งก็ได้ฟางหมักที่เปิดจากกองใหม่ ๆ มีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย ควรทิ้งไว้สักพัก (ประมาณ 2 ชั่วโมง) ก่อนให้สัตว์กิน ถ้าใช้ฟางหมักยูเรีย เป็นอาหารหยาบอย่างเดียวควรเสริมอาหารข้น เพื่อให้เกิดแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์และควรมีน้ำสะอาดให้โค-กระบือกินตลอดเวลา

ภาพที่ 1 ฟางข้าว
ที่มา: สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และคณะ, 2562

ปุ๋ย และปุ๋ยหมัก

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีความประสงค์จะให้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมเพิ่มเติมแก่พืชเพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการ และให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ส่วนปุ๋ยตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 คือ เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อความเติบโตแก่พืช ส่วนปุ๋ยหมัก (compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าวซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆหญ้าแห้ง

ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้วเศษพืชเศษขยะเหล่านี้จะย่อยสลายเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ย สีน้ำตาลปนดำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นก็สามารถนำเอาปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน วิธีการหมักวัสดุต่างๆให้กลายเป็นปุ๋ยหมัก อาจทำได้หลายๆ วิธีแตกต่างกันไป เช่นการหมักเศษพืชแต่เพียงอย่างเดียวหรือมีการเติมมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีลงไปในกองปุ๋ยด้วยเพื่อเร่งให้เศษวัสดุแปรสภาพได้เร็วขึ้นการใส่ผงเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มเติมลงไปกองปุ๋ยเพื่อเสริมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติหรือการมีรูปแบบของการกองปุ๋ยแตกต่างกันไปซึ่งแต่ละวิธีอาจใช้ระยะเวลาในการหมักไม่เท่ากันและปุ๋ยหมักที่ได้ก็มีคุณภาพแตกต่างกันไป

วิธีการตรวจคุณภาพวัสดุในการผลิตปุ๋ย

ในการผลิตปุ๋ยนั้น จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการผลิตว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหรือไม่ โดยเราใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการตรวจวัด หาค่ามาตรฐานของวัสดุที่นำมาผลิต เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานความเหมาะสมของมาตรฐานการผลิตปุ๋ยดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัด

ตารางที่ 1 ตารางค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการการตรวจวัดคุณภาพการผลิตปุ๋ย

ลำดับที่	พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวิเคราะห์
1	ความชื้น	-Oven drying method -Gravimetric method
2	ไนโตรเจนทั้งหมด	-Kjeldahl method -Colorimetric method ด้วยเครื่อง spectrophotometer technicon
3	ปริมาณฟอสฟอรัส	- Colorimetric molybdovanadophosphate method (AOAC ,1984) ด้วยเครื่อง spectrophotometer technicon
4	ปริมาณโพแทสเซียม	-Atomic-absorption spectrophotometer ด้วยเครื่อง Unicom 929
5	คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	-Walkley& Black -คำนวณ Go taas, 1996
6	โลหะหนัก	-Atomic Absorption
7	pH	-pH meter
8	อุณหภูมิ	-เทอร์โมมิเตอร์
9	ปริมาณของแข็งระเหย	-Muffle drying method
10	ความหนาแน่นปกติ (bulk density)	-ใช้การคำนวณ
11	สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio)	-ใช้การคำนวณ

ที่มา: สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551)

ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมัก

การเมินคุณภาพของปุ๋ยหมัก กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักไว้ดังนี้

1) ต้องมี C/N ratio ไม่สูงกว่า 20 : 1
2) มี Total nitrogen 1% P_2O_5 1% K_2O 0.5 %หรือสูงกว่า
3) มีความชื้นและสารระเหยได้ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
4) มีอินทรียวัตถุ 30-60 %
5) มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-7.5
6) ไม่มีเชื้อโรคที่ร้ายแรง ไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาและมีอุณหภูมิตามธรรมชาติ

ปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเป็นตัวควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่อไปถึงการย่อยสลายด้วย ปัจจัยของสภาพแวดล้อมสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุ

โดยปกติแล้วสารอินทรีย์นำมาทำปุ๋ยหมักจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) อินทรียวัตถุ ในไร่นาและชนบท เช่น จากเศษพืช มูลวัว มูลสุกร ฯลฯ และ 2) อินทรียวัตถุในตัวเมืองและอุตสาหกรรม เช่น จากมูลฝอย ตะกอนน้ำเสีย กากเหลือกำจัดจากโรงงาน (เกียรติชัย ตั้งสิริวรกุล, 2547 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) อินทรียวัตถุต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอินทรียสารที่มีธรรมชาติทางเคมี (chemical nature) ที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิด อายุ สภาพแวดล้อมที่มีอินทรียสารนั้น ๆ อยู่ แม้แต่ในอินทรียวัตถุชนิดเดียวกัน ยังปรากฏว่ามีอินทรียสารที่แตกต่างกันออกไป ในบรรดาธาตุต่าง ๆ ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์นั้น ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากที่สุด ถ้าชิ้นส่วนของพืชมีไนโตรเจนสูง การสลายตัว จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (ประยูร เพียตะเณร, 2547 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก อาจจะพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดย จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าเซลล์ ส่วนประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายเช่นเดียวกัน และเซลล์จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนเพื่อสร้างสารประกอบของเซลล์ เช่น สารโปรตีน และ Nucleis acid เป็นต้น ดังนั้นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10 – 15 หมายความว่า การที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10 – 15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดสมดุลของสารประกอบทั้งสองเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (ศศิวรรณ จิตรพิทักษ์เลิศ, 2546, อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) โดยคาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยมีการสร้างเซลล์ใหม่ ธาตุไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งต้องการคาร์บอนมากกว่าไนโตรเจน ถ้าคาร์บอนมากเกินไปการย่อยสลายจะลดลง ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ จะเจริญเติบโตไม่ดีเมื่อมีไนโตรเจนน้อยและเวลาที่ใช้ในการหมักก็จะนาน แต่ถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียกระจายสู่บรรยากาศ เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากกองหมักด้วย นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป อาจเป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ และยังก่อให้เกิดกลิ่นจากกระบวนการหมักนี้ได้

1.2 ขนาดของวัสดุ

ในการทำปุ๋ยหมักบางชนิด เช่น มูลฝอย อาจจะมีคำแนะนำให้ทำการตัดเศษวัสดุให้เล็กลง เนื่องจากจุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายที่ผิวของวัสดุได้มากยิ่งขึ้น ทำให้มีการสัมผัสออกซิเจนได้มาก กระบวนการย่อยสลายจึงเร็วขึ้น แต่ถ้าขนาดวัสดุเล็กเกินไป ช่องว่างต่าง ๆ ในกองหมักก็จะเล็กลงไปด้วย ทำให้ไปขัดขวางการแพร่ของอากาศในกองหมัก การย่อยสลายเป็นไปได้ช้าและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อานุภาพ แก้วกอง, 2541 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ในทางกลับกันถ้ามูลฝอยมีขนาดใหญ่มากเกินไปจะมีช่องว่างในกองหมักมาก กองหมักจะแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร ดังนั้นควรบดหรือสับวัสดุให้สั้นกว่า 2 – 3 นิ้ว (พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในชิ้นส่วนของวัสดุหมักได้ทั่วถึง และแพร่กระจายรวดเร็ว แต่ถ้าหากไม่ต้องการสับวัสดุให้เล็กลง อาจจะใช้วิธีกองวัสดุหมักเป็นชั้น ๆ และใช้การพลิกกลับกองช่วยอีกครั้งก็ได้ เพื่อให้วัสดุคลุกเคล้ากันดีและช่วยในการเพิ่มอากาศ อานุภาพ แก้วกอง, 2541 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) ได้เสนอว่า วัสดุหมักควรมีขนาด 2 – 2.95 นิ้ว และ เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) แนะนำว่าขนาดมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการหมัก คือ 0.15 – 1.5 นิ้ว

ตารางที่ 2.5 ค่า N และ C/N ratio โดยประมาณจากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้หมัก	% ไนโตรเจนโดยน้ำหนัก	อัตราส่วน C/N ratio
Night soil	5.5-6.5	6-10
ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการหมักแล้ว	1.9	16
ตะกอนน้ำเสีย	5-6	6
มูลฝอย	3.6	12
วัชพืช	2	19
มูลสัตว์จากฟาร์ม	2.15	14
ขี้เลื่อย (สด)	0.11	511
เศษอาหาร	2-3	15
เปลือกผลไม้	1.5	35
เศษไม้	0.07	700
กระดาษ	0.2	170

ที่มา: สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551

1.3 ขนาดของความสูงของกองหมัก

กองหมักมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดความร้อนสูง จนทำลายจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการย่อยสลายได้ ในทางตรงกันข้ามกองหมักปุ๋ยที่มีขนาดเล็กเกินไปจะรักษาอุณหภูมิและความชื้นไม่ค่อยได้ ทำให้การสลายตัวของวัสดุหมักช้าลง การหมักปุ๋ยแบบกองในหลุม มักจะกำหนดให้มีความกว้าง 2 – 3 เมตร ยาว 1 – 6 เมตร ลึก 0.5 – 1.0 เมตร ส่วนการหมักแบบกองบนพื้นดิน มักกำหนดให้มีขนาดกองปุ๋ย

กว้าง 2 -3 เมตร สูง 1.0 – 1.5 เมตร ความยาวตามความเหมาะสม แต่ พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) เสนอว่า กองหมักควรกว้าง 3 -6 เมตร และสูง 1.5 – 3 เมตร ซึ่งโดยทั่วไปความสูงของกองหมักไม่ควรน้อยกว่า 1 เมตร และไม่ควรสูงกว่า 2 เมตร เพราะถ้ากองหมักมูลฝอยสูงน้อยไปหรือมากไปจะทำให้การย่อยสลายเป็นไปไม่ดีเท่าที่ควร (เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

1.4 ลักษณะเนื้อสาร

ลักษณะเนื้อสารของปุ๋ยหมักโดยรอบเป็นสิ่งสำคัญที่จะบอกความเร็วในการย่อยสลาย เนื้อสารโดยรวมของกองปุ๋ยจะประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นหลัก การผสมคลุกเคล้าระหว่างของแข็ง ของเหลว และก๊าซในกองปุ๋ยที่ดีจะทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ เช่น การใช้ขี้เลื่อยผสมกับกระดูกป่น หรือกากถั่วเหลือง เพื่อผลสุดท้ายทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงมาอยู่ในช่วงที่เหมาะสม การอัดแน่นจนเกินไปย่อมทำให้สัดส่วนของก๊าซมีน้อยลงเกิดสภาพไม่มีอากาศ (จำลอง วรรณโครต, 2539 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายอินทรียวัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าวทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไปชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (thermoduric) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (themophilic) จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลง จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mespohilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น (จุไรรัตน์ อนันต์นฤการ, 2543 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) การที่อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น แสดงว่ามีการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม และเก็บรักษารวมทั้งกระจายความร้อนออกไปจนสามารถตรวจวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ได้ ส่วนการที่อุณหภูมิลดลง แสดงว่าวัสดุต้องการเติมอากาศหรือความชื้น เพราะถ้าไม่อย่างนั้น จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เฉพาะเจาะจงเนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะตอบสนองเฉพาะอุณหภูมิในช่วงหนึ่ง ๆ เท่านั้น (เกียรติชัย ตั้งสิริวรกุล, 2547 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) แต่ถ้ามีการสะสมความร้อนมากเกินอุณหภูมิที่เหมาะสม จุลินทรีย์บางกลุ่มอาจจะถูกฆ่า ยกเว้นสภาพสปอร์ แต่ก็มีข้อดีเนื่องจากเป็นการกำจัดเชื้อโรคบางชนิด (พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ 1) mesophilic stage มีช่วงอุณหภูมิ 15-43 องศาเซลเซียส 2) thermophilic stage มีช่วงอุณหภูมิ 43 -72 องศาเซลเซียส 3) coolingdown stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิเริ่มลดลง 4) maturing stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ในช่วงแรก ๆ ของการหมักที่อุณหภูมิราว 35 องศาเซลเซียส พวกคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง และน้ำตาลจะถูกย่อยสลาย ส่วนโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายที่อุณหภูมิราว ๆ 60 – 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุหมักไปแล้ว 2 – 4 วัน ต่อจากนั้นเมื่อกระบวนการหมักเริ่มจะสมบูรณ์ อุณหภูมิก็จะเริ่มลดลง จุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซีส และก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น (อานุภาพ แก้วกอง, 2541 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

การที่ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเหมาะสมเช่น ระดับ pH ชนิดของวัสดุหมัก ขนาดของกองหมัก ในกรณีที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง และกิจกรรมลดลงตามไปด้วย (เกียรติชัย ตั้งสิริวรกุล อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

2.2 สิ่งที่ควรจะคำนึงในเรื่องของอุณหภูมิในกองปุ๋ยมีอยู่ 2 ประการ คือ

2.2.1 การผลิตความร้อนของแต่ละสาร พบว่าเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีล้วน ๆ มีการปลดปล่อยความร้อนออกมาแล้วมีการเก็บสะสมความร้อนทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยค่อย ๆ สูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ดี (พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ดังนั้นจึงมีแนวคิดว่า ในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ควรกระทำโดยการควบคุมการปลดปล่อยความร้อนที่ออกมา ในทางปฏิบัตินั้นการปลดปล่อยความร้อนจะถึงจุดสูงสุดจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่ออกมา เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสม การปลดปล่อยความร้อนอาจจะใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เป็นค่าประมาณที่ดีที่สุด มีรายงานว่า sewage sludge จะสามารถผลิตความร้อนได้ 21.8 และ 15.2 กิโลกรัมต่อจูล (สาเหตุที่มี 2 ค่า เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน)

2.2.2 การระบายความร้อนและการจัดการความร้อน การระบายความร้อนเป็นการจัดการอุณหภูมิของกองปุ๋ย ในตอนเริ่มแรกของการทำปุ๋ยหมัก การเก็บความร้อนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ปกติการวัดความสามารถในการเก็บความร้อนจะใช้น้ำเป็นมาตรฐาน เนื่องจากโดยปกติจะมีน้ำอยู่ 2 ใน 3 ของกองปุ๋ยอยู่เสมอ นั่นคือ การระบายความร้อนจากกองปุ๋ยจะพิจารณาจากความสามารถในการนำและพาความร้อนจากภายในออกมาภายนอกกองปุ๋ย ในทางปฏิบัตินั้น การควบคุมการระบายและเก็บความร้อนจะควบคุมขนาด – รูปร่างของกองปุ๋ยและควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการควบคุมวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

3. ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำภายในกองหมักซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมัก และอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซในวัสดุหมัก ถ้าความชื้นมากขึ้นปริมาณก๊าซจะลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายช้าลง เพราะน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ระหว่างอนุภาคของวัสดุหมัก (กิ่งกาญจน์ เทียมเวช, 2546 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) ได้ศึกษาหาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการทำ ปุ๋ยหมักที่ได้จากมูลสุกร จากการศึกษาพบว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร คือ ร้อยละ 50 – 60 ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากคุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านเคมีและทางด้านชีวภาพ โดยพบที่ระดับความชื้นร้อยละ 50 และ 60 นั้นกระบวนการหมักมีประสิทธิภาพมากกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 70 กิ่งกาญจน์ เทียมเวช, 2546 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) พบว่าลักษณะของวัสดุที่เหลือทิ้งที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน มีผลต่อระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น ถ้าสารอินทรีย์มีความหนาแน่นมาก ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ ร้อยละ 50 - 60 (โดยน้ำหนัก) ในพืชที่เส้นใยและมีความหนาแน่นน้อย ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอาจสูงถึงร้อยละ 80 – 85 และถ้าความชื้นที่กองปุ๋ยหมักต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) พบว่าความชื้นที่ระดับร้อยละ 50 – 60และปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ อัตราย่อยสลายจะเกิดขึ้นสูง และเมื่อเพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 70 อัตราการย่อยสลายช้าลง ถ้าความชื้นต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถ้าความชื้นสูงกว่าระดับที่เหมาะสม ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนในกองเศษพืช

จากการศึกษาพบว่า ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณร้อยละ 50 – 60 โดยน้ำหนัก ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าเพราะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 ทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าเช่นเดียวกัน นอกจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และกิจกรรมของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศด้วย กล่าวคือ ถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นได้ยาก จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน

4. ปริมาณอากาศหรือออกซิเจน

อานุภาพ แก้วกอง, 2541 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย (2551) กล่าวว่า การให้อากาศแก่กองหมัก เป็นสิ่งจำเป็นในการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนในระบบการหายใจภายในเซลล์ และใช้ถ่ายเทของเสีย เช่น น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากกองหมัก ซึ่ง จุลินทรีย์พวก aerobic จะต้องการออกซิเจน 11 – 14% และจุลินทรีย์ พวก mesophile ต้องการประมาณ 5%

4.1 ผลจากปริมาณอากาศไม่เพียงพอ

ในกองปุ๋ยหมัก ถ้าให้เกิดสภาพไร้อากาศและมีกลิ่นเหม็นจากสารประกอบซัลเฟอร์เกิดขึ้น แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้มวลของปุ๋ยหมักลดลง จนบางครั้งทำให้กองปุ๋ยหมักแห้งเกินไป และส่งผลให้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง ในความเป็นจริงช่วงตอนต้นของการหมัก จะเป็นช่วงที่ต้องการอากาศมากที่สุด โดยจะส่งผลให้เกิดช่วงเทอร์โมฟิลิกที่สมบูรณ์ และมีการย่อยสลายที่ดี และเมื่อปุ๋ยหมักเข้าสู่ช่วงได้ที่แล้ว อาจจะลดอัตราการเติมอากาศลงก็ได้

4.2 การให้อากาศ สามารถทำได้ 2 วิธี

4.2.1 การพลิกกลับกองปุ๋ย ซึ่งนอกจากจะช่วยให้อากาศ และการระบายแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าวัสดุหมักให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมออีกด้วย การให้อากาศวิธีนี้จะทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง และการพลิกกลับกองที่เหมาะสม จะช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง โดย ศศิวรรณ จิตรพิทักษ์เลิศ, 2546 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) แนะนำว่าการพลิกกลับกองหมัก ทุก 5 -7 วัน จะช่วยให้วัสดุหมักย่อยสลายเร็วขึ้น แต่เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ศึกษาพบว่า การพลิกกลับกอง 3 ครั้ง/สัปดาห์ จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2.2 การใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งจะเติมอากาศเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางภายภาพ และเคมีของวัสดุหมัก ในการศึกษาความต้องการอากาศนั้น พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) รายงานว่าควรให้อากาศ 284 มิลลิกรัม/กรัม – ชั่วโมง ในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการหมัก ซึ่งวัสดุหมักจะยังมีลักษณะสดอยู่ต่อจากนั้นให้อากาศ 9 มิลลิกรัม/กรัม – ชั่วโมง ในขันสุดท้ายของการหมักโดยกระบวนการหมักจะแล้วเสร็จภายในเวลา 4 สัปดาห์

5. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่าง หรือปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออนเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะวัดผลสำเร็จในการทำปุ๋ยหมัก โดยระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของวัสดุหมักให้มีสภาพเป็นฮิวมัส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ pH เป็นกลางก่อนเข้าสู่กองปุ๋ยหมัก พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) กล่าวว่า การทราบความเปลี่ยนแปลงของ pH ในกระบวนการหมักจะช่วยให้ทราบถึงความเป็นไปของระยะหมักที่ดำเนินการอยู่ในขณะนั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนแปลง pH ของกระบวนการหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ในช่วงแรก pH ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็นสภาวะด่างที่ช่วง 8.0 – 9.0 (thermophilic stage) ต่อมา pH จะลดลงมาเล็กน้อย (cooling stage) และท้ายสุด pH ก็จะ

ลดลงมาจนมีค่าอยู่ในช่วง 7.0 – 8.0 (maturing stage) จุไรรัตน์ อนันต์นฤการ, 2543 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) รายงานว่า แบคทีเรียและ actinomycetes จะเจริญได้ดีที่ระดับ pH 6 – 8 ส่วนราจะเจริญได้ดีที่ pH 5.5 – 8

6. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ย

มีการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยไว้มากมาย โดยจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

6.1 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในกองหมัก จะตรวจพบเชื้อราเสมอ แต่มีชนิดและปริมาณของเชื้อราแตกต่างกันตามวัสดุที่นำมาใช้หมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้นจะเป็นสภาพที่เหมาะสมกับแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองหมักที่มีอุณหภูมิในช่วง 50 องศาเซลเซียส และในสภาพแห้งแล้งที่อุณหภูมิ 62 – 63 องศาเซลเซียส ก็ยังพบเชื้อราได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อราเลย (เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ปัจจัยต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมชนิด และคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองหมัก จากการศึกษาชนิดของเชื้อราในระยะต่าง ๆ ของการทำปุ๋ยหมักพบว่า ในระยะที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น มักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumigatus* และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45 – 55 องศาเซลเซียส มักจะพบพวก *Cladosporium* sp. ,*Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบพวก *Penicillum duponti* (อานุภาพ แก้วกอง, 2541 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

6.2 Actinomycetes

Actinomycetes ที่มักจะพบในกองหมัก ได้แก่ พวก *Thermoactinomycetes* sp. *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูโลส ออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจาก 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว อาจจะพบพวก *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. อีกด้วย จากข้อมูลต่าง ๆ พบว่า Actinomycetes สามารถเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตลดลงจนถึงหยุดชะงัก เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Actinomycetes ด้วย (พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ, 2544 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) โดยทั่วไป Actinomycetes จะเจริญเติบโตได้ช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรา นอกจากนี้ยังเติบโตไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีอากาศไม่เพียงพอ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการอากาศในการเติบโต Actinomycetes ที่เจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุหมักจะมีลักษณะเป็นจุดสีขาว ๆ คล้ายผงปูนขาว ซึ่งสามารถเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากที่อุณหภูมิขึ้นสูงจนถึงจุดสูงสุด (มณฑา เช่งศรี, 2546 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

6.3 แบคทีเรีย (Bacteria)

จุลินทรีย์พวกนี้จะพบอยู่ในช่วงของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และมักตรวจพบในปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เสมอ ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 2.3×10^8 เซลล์/น้ำหนัก 1 กรัม ส่วนพวกที่ทนต่อสปอร์และทนต่อความร้อนจะมีค่าประมาณ 3.9×10^4เซลล์/น้ำหนัก 1 กรัม ปริมาณของแบคทีเรียดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่แน่นอน โดยจะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาหมัก อย่างไรก็ตามปริมาณของแบคทีเรีย จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น (พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) โดยทั่วไปในกองปุ๋ยหมักมักจะพบพวก *Psueudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococus* sp. และ *Bacillus* sp. ซึ่งพวก *Bacillus* sp. ค่อนข้างจะพบในปริมาณมากกว่าชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะพวก *B. subtillis* และ *B. stearothermophilus* ที่ชอบ

อุณหภูมิสูงจะเจริญได้ดีในช่วง 50 – 55 องศาเซลเซียส (ศศิวรรณ จิตรพิทักษ์เลิศ, 2546 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) แต่บางกรณีก็อาจถึง 65 องศาเซลเซียส พวก *Bacillus* sp. จัดเป็นพวกที่สามารถสร้างสปอร์ได้ จากการตรวจสอบพบว่าสปอร์จะเพิ่มขึ้นมาก ตั้งแต่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (จุไรรัตน์ อนันต์นฤการ, 2543 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) นอกจากนี้ยังพบว่ามีพวก *Clostridium* sp. ที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่จะเจริญในสภาพที่ไม่มีอากาศ บางครั้งอาจพบแบคทีเรียพวกหนึ่งที่สามารถทนต่อการสร้างความร้อนได้สูง ซึ่งได้แก่ *Thermus aquaticus* เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 40 – 79 องศาเซลเซียส แต่เจริญได้ดีที่ 70 องศาเซลเซียส (พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) จากการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่ม ในกองหมักที่ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและยาก พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกัน

7. ระยะเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการหมัก

ระยะเวลาที่ต้องการในกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดความเสถียรของสารอินทรีย์นั้นขึ้นกับ ค่าเริ่มต้น C/N ratio ความชื้น ขนาดของอนุภาค และการรักษาสภาพการหมักแบบมีออกซิเจน ระยะเวลาที่ต้องการเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพของอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับค่า C/N ratio เริ่มต้นของมูลฝอยชุมชนภายใต้ภาวะมีออกซิเจนและค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 70 ไว้ว่า ค่า C/N ratio เริ่มต้น 20 , 30-35 และ 78 ต้องใช้ระยะเวลาในการหมัก 9-12, 10-16 และ 21 วัน ตามลำดับ

8. สารเร่งชนิดอื่น ๆ

นอกจากเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายปุ๋ยหมักแล้ว สารตัวเร่งอื่นก็นิยมใช้ ซึ่งอาจจะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

8.1 สารอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ โปรตีน กรดอินทรีย์ ยูเรีย เป็นต้น ในทางปฏิบัติโดยการใช้ปัสสาวะรดกองปุ๋ย การใช้เลือดแห้ง การผสมเศษวัสดุโดยใช้กระดูกป่น กากถั่ว กากน้ำตาล รำข้าว (จำลอง วรรณโครต, 2539 อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551)

8.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ สารเคมี ปุ๋ยเคมีต่าง ๆ ที่นิยมใช้ เช่น ปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยผสมต่าง ๆ ปูนขาว ยิปซั่ม และหินฟอสเฟต จุดประสงค์ในการเพิ่มสารเหล่านี้ เพื่อลดสัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนให้เหมาะสม ตลอดจนเพื่อเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมัก (มณฑา เซ่งศรี อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ในการศึกษาการใช้สารเร่งในกระบวนการหมักปุ๋ย อานุภาพ แก้วกอง, 2541 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ได้รายงานว่ามีการศึกษา การใช้สารเร่งในการหมักมูลฝอย แล้วพบว่า สารเร่งไม่มีผลช่วยในการเร่งระยะเวลาหมักให้สั้นลงได้ ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาที่ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา โดยใช้สารเร่ง ซึ่งพบว่า การใส่สารเร่งชนิดต่าง ๆ ลงไปในกองปุ๋ยหมักจะทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่รายงานโดย พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง, 2545 (อ้างถึงใน สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย, 2551) ที่นำสารเร่งมาใช้ในการหมักมูลฝอยเทศบาลแล้วพบว่า โครงสร้างเร่งร้อยละ 0.015 ของน้ำหนักวัสดุที่ใช้หมักทั้งหมดจะทำให้มีอัตราการย่อยสลายได้เร็วกว่าการใช้สารเร่งในอัตราอื่น ๆ

บทสรุป

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุโดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การทำให้ชื้น การสับ การบด การหมัก การร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากอินทรีย์สารโดยตรง โดยทั่วไปอยู่ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ส่วนปุ๋ยหมัก (compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ เป็นปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้วเศษพืชเศษขยะเหล่านี้จะย่อยสลายเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ย สีน้ำตาลปนดำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทาง

ชีวเคมีของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นก็สามารถนำเอาปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน วิธีการหมักวัสดุต่างๆ ให้กลายเป็นปุ๋ยหมัก อาจทำได้หลายๆ วิธีแตกต่างกันไป เช่นการหมักเศษพืชแต่เพียงอย่างเดียวหรือมีการเติมมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีลงไปในกองปุ๋ยด้วยเพื่อเร่งให้เศษวัสดุแปรสภาพได้เร็วขึ้นการใส่ผงเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มเติมลงไปกองปุ๋ยเพื่อเสริมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ หรือการมีรูปแบบของการกองปุ๋ยแตกต่างกันไปซึ่งแต่ละวิธีอาจใช้ระยะเวลาในการหมักไม่เท่ากัน และปุ๋ยหมักที่ได้ก็มีคุณภาพแตกต่างกันไป

ผู้เขียน

ผศ.ดร.สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย

หลักสูตรสิ่งแวดล้อมเมืองและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

E-mail: sirawanr@gmail.com

เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2544). การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิตตรา ดอกบัว. (2552). การศึกษาประสิทธิภาพเซลลูโลสฟอสเฟตจากฟางข้าวและชานอ้อยเพื่อใช้ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ.

ธนพรรณ บุณยรัตกลิน, ทรงสิริ วิชิรานนท์ และ อุดม พลเยี่ยม. (2545). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากฟางข้าว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

นัชลธร โลนุกิจ. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยีและการตลาดสำหรับพัฒนาการผลิตไซลิทอลจากฟางข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นัทฐา ทักษ์รัตนศรัณย์. (2548). ผลของการใส่ฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินพิมายและชุดดินสิงห์บุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา พัดเกาะ. (2552). การศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษา การนำฟางข้าวและเปลือกข้าวโพดมาผลิตแผ่นผนังเบาในงานก่อสร้าง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

บุญส่ง แก้วจรัส. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพการทำปุ๋ยหมักฟางข้าวโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และการปรับวัสดุหมัก. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ปรารภ คันธวัน. (2548). แนวทางลดการเผาฟางข้าวของเกษตรกรบ้านโนนจั่น ตำบลทุ่งทอง อำเภอทรายทองวัฒนา จังหวัดกำแพงเพชร. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ราชันย์ วงษ์ทวี, ศราวุธ ดวงมะวงศ์, สุรสิทธิ์ พ่อค้า, ชัยณรงค์ วิเศษนันท์ และยุทธศาสตร์ คงชสิงห์. (2550). การวิจัยเครื่องอัดแท่งฟางข้าวและหญ้าแห้ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

วรพจน์ รัมพณีนิล และพรพิบูลย์ ธัมพิบูลย์ (2527) ผลการคลุกฟางข้าวติดต่อกันที่มีต่อดินและผลผลิตข้าว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

วรพจน์ รัมพณีนิล, พรพิบูลย์ ธัมพิบูลย์ และณรงค์ ผลวงษ์. (2525). การใส่ฟางข้าวในดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

วินิต ชินสุวรรณ, สมชาย ชวนอุดม, วสุ อุดมเพทายกุล, วราจิต พยอม, และณรงค์ ปัญญา. (2542). ความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้แรงงานคนและใช้เครื่องเกี่ยวนวด. วารสารวิจัย มข., *4*(2), 4-7.

สัจจะชาญ พรัดมะลิ, ประชุม คำพุฒ, ปราโมทย์ วีรานุกูล และเซ็นนิตย์ งามมานะ. (2552). การใช้ดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว และแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย และเสรีย์ ตู้ประกาย. (2551). การปรับปรุงปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งใบ. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย, กวิตา ปานล้ำเลิศ, ไพฑูรย์ รื่นสุข, สุทธิพงษ์ จ่างทอง และเสรีย์ ตู้ประกาย. (2562). การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางข้าวแบบติดรถเกี่ยวนวดข้าวเพื่อลดการใช้ปุ๋ยในการผลิตข้าวปลอดภัย. มหาวิทยาลัยสวนดุสิต.

สุนทร วิทยาคุณ, ไกรสิทธิ วสุเพ็ญ, เฉลิมพล เยื้องกลาง, ชัยณรงค์ ขาวทอง และชเวง สารคล่อง. (2548). อิทธิพลระดับผนังเซลล์และขนาดอนุภาคของฟางข้าวในอาหารผสมครบส่วนที่ใช้ฟางข้าวบดหยาบเป็นแหล่งเยื่อใยหลักต่อสมรรถภาพการผลิตของโครีดนม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

สุวิมล กาญจนสุธา. (2551). การใช้กากมันสำปะหลังและฟางข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพโพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอต และการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีชีวภาพจากกากของแข็งที่เกิดจากอุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อุดมพร บุญจริง. (2550). การทดลองเนื้อดินเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยใช้ดินด่าวเกวียน.มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

Dossou-Yovo, E.R., Brüggemann, N., Ampofo, E., Mouinoulgue, A., & Agbossou, E.K. (2016). Combining no-tillage, rice straw mulch and nitrogen fertilizer application to increase the soil carbon balance of upland rice field in northern Benin, *Soil and Tillage Research*, *163*, 152-159.

He, L.L., Zhong, Z.K., & Yang. H.M. (2017). Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture, 16*(3), 704-712.

Krishania, M., Kumar, V., & Sangwan, R.S. (2018). Integrated approach for extraction of xylose, cellulose, lignin and silica from rice straw. *Bioresource Technology Reports, 1*, 89-93

Kristianto, Y., & Zhu, L. (2017). Techno-economic optimization of ethanol synthesis from rice-straw supply chains. *Energy, 141*, 2164-2176.

Oladele, S. O., Adeyemo, A. J., & Awodun, M. A. (2019). Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma, 336*, 1-11

Tang, Z., Fan, F., Wang, X., Shi, X., & Wang, D. (2018). Mercury in rice (Oryza sativa L.) and rice-paddy soils under long-term fertilizer and organic amendment. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 150*, 116-122.

Wang, Y., Zhao, Z., Guo, Z., Jia, Z., & Ding, K. (2018). Response of soil microbes to a reduction in phosphorus fertilizer in rice-wheat rotation paddy soils with varying soil P levels. *Soil and Tillage Research, 181*, 127-135.

Wang, Z., Qiao, X., & Sun, K. (2018). Rice straw cellulose nano fibrils reinforced poly (vinyl alcohol) composite films. *Carbohydrate Polymers, 197*, 442-450.

Yin, H., Zhao, W., Li T., Cheng, X., & and Liu, Q. (2018). Balancing straw returning and chemical fertilizers in China: Role of straw nutrient resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81*, 2695-2702.