



รายงานผลงานวิจัย

เรื่อง
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานอุตสาหกรรม
Composting of industrial ripen mango peel waste

โดย

ธีระพงษ์ สว่างปัญญากร

พาวิน มะโนชัย

ธารารัตน์ ชี้อตอพ

ชนวัฒน์ นิต์คนวิจิตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการ มจ.1-54-051



รายงานผลงานวิจัย

เรื่อง การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานอุตสาหกรรม
Composting of industrial ripen mango peel waste

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย

ประจำปี 2554

จำนวน 234,700 บาท

หัวหน้าโครงการ

นายธีระพงษ์ สว่างปัญญากร

ผู้ร่วมโครงการ

นายพาวิน มะโนชัย

นางธารารัตน์ ชี้อตอพ

นายชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

1 / กันยายน / 2555

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้รับ
สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประจำปี 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์เรื่อง
ของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุก ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	20
ผลการวิจัย	22
วิจารณ์ผลการวิจัย	39
สรุปผลการวิจัย	39
เอกสารอ้างอิง	40



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551	5
ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ของแต่ละตำรับ	9
ตารางที่ 3 รายละเอียดลักษณะสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	19
ตารางที่ 4 แผนการทดลอง	21
ตารางที่ 5 แผนการทดลองใหม่การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1	22
ตารางที่ 6 ค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากตำรับต่าง ๆ	34
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียเศษเปลือก มะม่วงสุก	35
ตารางที่ 8 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ	36
ตารางที่ 9 การจำแนกสปีชีส์ของจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ตัวอย่าง species identification of microorganisms	37

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ระบบกองเติมอากาศ	4
ภาพที่ 2 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเปลือกมะม่วงสุกด้วยระบบกองเติมอากาศ	5
ภาพที่ 3 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากฟางข้าวและมูลโค 3:1 4:1 5:1 6:1 7:1 โดยปริมาตร อายุ 1 วัน	9
ภาพที่ 4 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากฟางข้าวและมูลโค	10
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยกับเวลา	10
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างในกองปุ๋ยกับอายุของกองปุ๋ย	11
ภาพที่ 7 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1	11
ภาพที่ 8 ฟางข้าว 4 เង มูลโค 1 เង วางเป็นชั้นบาง ๆ พื้นกว้าง 2.5 เมตร รดน้ำแต่ละชั้นให้ชุ่ม	12
ภาพที่ 9 วางวัตถุดิบ 15 – 17 ชั้น กองเป็นรูปสามเหลี่ยม สูง 1.5 เมตร มีความยาวของกองไม่จำกัด	12
ภาพที่ 10 รักษาความชื้นภายนอกกองโดยรดน้ำทุกวันและเอาไม้แทงกองปุ๋ยทุก 10 วัน เพื่อเติมน้ำภายในกอง	13
ภาพที่ 11 สภาพปุ๋ยอินทรีย์จากฟางข้าวอายุ 60 วัน โดยไม่พลิกกลับกอง	14
ภาพที่ 12 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของเกษตรกรเทศบาลตำบลแม่โจ้ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเชียงใหม่	16
ภาพที่ 13 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากเศษข้าวโพดหวานของสวนส้มอำเภอฟาง จังหวัดเชียงใหม่	17
ภาพที่ 14 กองปุ๋ยอินทรีย์ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ มูลนิธิชัยพัฒนา	17
ภาพที่ 15 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของเทศบาลนครเชียงใหม่	18
ภาพที่ 16 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของผู้ประกอบการเอกชนอำเภอลี้ จังหวัดลำพูน	18
ภาพที่ 17 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของสวนส้มอำเภอฟาง จังหวัดเชียงใหม่	19
ภาพที่ 18 เปลือกมะม่วงสุกโรงงานถูกส่งมาทำการวิจัยที่ฐานเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	23
ภาพที่ 19 เปลือกมะม่วงสุกที่ส่งมาเริ่มมีน้ำเสียออกมา เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	23
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ A1 A2 A3	24
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ B1 B2 B3	24
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ C1 C2 C3	24
ภาพที่ 23 การใช้เศษใบไม้และมูลสัตว์ 3 ต่อ 1 โดยปริมาตรเป็นวัสดุรองก้นชีวภาพ (Biofilter)	26
ภาพที่ 24 การตรวจสอบความชื้นภายในและภายนอกกองปุ๋ย และการวัดอุณหภูมิกองปุ๋ยประจำวัน	26
ภาพที่ 25 กองปุ๋ยอินทรีย์เปลือกมะม่วงสุก	27
ภาพที่ 26 กองปุ๋ยอินทรีย์เปลือกมะม่วงสุก	27
ภาพที่ 27 เปลือกมะม่วงสุกที่ย่อยสลายสมบูรณ์	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 28 สภาพของปุ๋ยอินทรีย์เศษเปลือกมะม่วงสุกอายุ 60 วันโดยไม่ต้องพลิกกลับกอง	28
ภาพที่ 29 สภาพเปลือกมะม่วงสุกบางส่วนภายในกองปุ๋ยที่ไม่ย่อยสลายภายในอายุ 60 วัน	29
ภาพที่ 30 สภาพเมล็ดมะม่วงที่ถูกย่อยสลายในกองปุ๋ย	29
ภาพที่ 31 การตากปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทำให้แห้งก่อนนำไปตีป่นในเครื่องย่อยเศษพืช	30
ภาพที่ 32 สภาพเปลือกมะม่วงสุกเมื่อแห้งแล้ว จะรอบแตกง่ายเมื่อนำไปตีป่น และไม่มีกลิ่น	30
ภาพที่ 33 เมล็ดมะม่วงส่วนที่ยังไม่ย่อยสลาย ถูกแยกออกมาภายหลังจากการตีป่น	31
ภาพที่ 34 ปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกเมื่อผ่านเครื่องย่อยเศษพืชแล้ว	31
ภาพที่ 35 ปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกบรรจุกระสอบ	32



การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานอุตสาหกรรม

Composting of industrial ripen mango peel waste

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร¹ พาวิน มะโนชัย² ธารารัตน์ ชี้อตอฟ¹ ชนวัฒน์ นิตัตวิจิตร¹

TEERAPONG SAWANGPANYANGKURA¹ PAWIN MANOCHAI²

TARARAT CHITOV¹ CHANAWAT NITATWIJIT¹

¹ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ² คณะผลิตกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เดิมมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระหว่างเปลือกมะม่วงสุกของโรงงานบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ กับเศษใบไม้ และมูลโค ด้วยระบบกองเติมอากาศขนาดกองละ 3 ตันมีความยาวกอง 11 เมตร แต่เนื่องจากผู้วิจัยได้มีการพัฒนาต่อยอดระบบกองเติมอากาศมาเป็นวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ที่ไม่จำเป็นต้องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยอีกต่อไป โดยอาศัยหลักการของการพาความร้อนทำให้มีการไหลเวียนของอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยตามธรรมชาติ จึงได้ปรับการทดลองแบ่งออกเป็น 9 ตำรับที่แปรผันสัดส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุก เศษใบไม้ และมูลโคโดยปริมาตร คือ A1 1:0:1, A2 2:0:1, A3 3:0:1, B1 1:1:1, B2 2:1:1, B3 3:1:1, C1 1:2:1, C2 2:2:1 และ C3 3:2:1 ตามลำดับ ขนาดของกองปุ๋ยแต่ละกองคือ 2.5 x 1.5 x 4.0 เมตร (กว้าง x สูง x ยาว) ผลการทดลองพบว่า การย่อยสลายใช้เวลาในกระบวนการประมาณ 60 วัน ตำรับ C8 2:2:1 มีการย่อยสลายที่ดีที่สุด มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.90 ค่าการนำไฟฟ้า 2.67 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอินทรีย์วัตถุร้อยละ 40.16 มีค่า N ร้อยละ 2.47 P₂O₅ ร้อยละ 0.94 และ K₂O ร้อยละ 1.14 และมีค่า N P₂O₅ และ K₂O รวมกันมีค่าร้อยละ 4.55 มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ร้อยละ 120 โดยค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากทุกตำรับมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 10⁶ - 10⁸ โคโลนีต่อกรัม จำนวนยีสต์และราอยู่ในช่วง 10⁵ - 10⁶ โคโลนีต่อกรัม และจำนวนแอคติโนมัยซีสอยู่ในช่วง 10⁵ - 10⁸ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างอันเนื่องมาจากอัตราส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ กับมูลโค ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการใช้อย่างมีประสิทธิภาพจากแกนมะม่วงที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย

คำสำคัญ

เปลือกมะม่วงสุก, ปุ๋ยอินทรีย์, กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์, วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1

Abstract

The objective of this study at first was to study the suitable ratio in composting between ripen mango peel from Lanna Agro Industry co. Ltd., Chiangmai province, leaves and cow manure by Aerated Static Pile (ASP) System. The size of the 3 metric ton compost pile was 11 meter in length. But since the Author has developed the ASP system to Maejo Engineering 1 method which needs no forcing air into the piles but rely only on the naturally passive aeration from the effect of Chimney Convection so the study was divided into 9 treatments by varied the ratio between ripen mango peel, leaves and cow manure as A1 1:0:1, A2 2:0:1, A3 3:0:1, B1 1:1:1, B2 2:1:1, B3 3:1:1, C1 1:2:1, C2 2:2:1 and C3 3:2:1 by volume, respectively. The size of each compost pile was 2.5 x 1.5 x 4.0 meter (width x height x length). The results showed that the decomposition process took 60 days to finish without turning. The C8 treatment (2:2:1) had the most decomposed and had the pH of 6.90, electrical conductivity 2.67 dS/m, organic matter 40.16%, N 2.47%, P_2O_5 0.94%, K_2O 1.14% and altogether of N P_2O_5 K_2O was 4.55% and seed germination was 120%. Every sample from each treatment met the Compost Standard of Thailand. The amount of total microorganisms, yeasts and fungi, and actinomycetes of the samples were in the range of $10^6 - 10^8$, $10^5 - 10^6$ and $10^5 - 10^8$ colonies per gram, respectively, which had no different despite the varied ratio between ripen mango peel, leaves and cow manure. The recommend from this study was a further study in utilization of mango seed left from the shredder should be conducted.

Key words

Ripen mango peel, compost, composting, Maejo Engineering 1 method

คำนำ

ประเทศไทยมีผลิตผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก หนึ่งในผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญคือผลไม้ ซึ่งมีการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออกปริมาณมากในแต่ละปี ลักษณะที่สำคัญของผลไม้ไทยคือมีเปลือกในสัดส่วนที่สูง และอาจมีผลที่เสียหายจากการมีตำหนิจากโรคพืช เปลือกผลไม้และเศษของผลไม้สดที่ถูกคัดแยกออกเนื่องจากมีตำหนินั้นเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสด โดยเฉพาะเมื่อเศษและเปลือกผลไม้เหล่านี้มีปริมาณมากจากโรงคัดบรรจุผลไม้สดหรือจากการแปรรูปขั้นต่ำ (Minimally Processed Fruits) เช่น ผลไม้ปอกเปลือก หรือผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค ในระดับอุตสาหกรรม หรือจากแหล่งกระจาย/จำหน่ายสินค้าขนาดใหญ่ เป็นต้น เปลือกและเศษผลไม้ที่เป็นของเสียในระดับอุตสาหกรรมเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการบริหารจัดการที่ถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งควรเป็นการจัดการที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียซึ่งจะช่วยผู้ประกอบการให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ในปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีนำเศษและเปลือกผลไม้สดไปฝังกลบหรือกองทิ้งไว้ในที่โล่ง สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากกลิ่น น้ำเสีย การเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พาหะนำโรค การเกิดแก๊สพิษหลุมฝังกลบ และการเกิดน้ำชะขยะในหลุมฝังกลบ

การจัดการของเสียประเภทเปลือกและเศษผลไม้สดแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าและนำประโยชน์กลับคืน คือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก (Compost) เนื่องจากของเสียประเภทนี้เป็นสารอินทรีย์ หากมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมก็สามารถนำของเสียเหล่านี้มาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดีได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีที่เหมาะสมควรใช้เวลาในกระบวนการที่สั้นอยู่ในช่วงประมาณ 30 - 60 วัน ใช้พลังงานต่ำ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับปริมาณการเกิดของเสียในแต่ละวัน

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (Composting) เป็นการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นอินทรีย์วัตถุคล้ายฮิวมัส ที่มีธาตุอาหารในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ภายใต้เงื่อนไขการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน โดยมีปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญ คือ ความชื้น ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจน ความร้อน ขนาดวัตถุดิบ ความพรุน และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ธีระพงษ์, 2552) ข้อดีของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพมีออกซิเจนคือ ไม่เกิดกลิ่น ไม่มีน้ำเสีย และไม่ดึงดูดแมลงวัน

องค์ความรู้ที่นักวิจัยมีอยู่ ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษพืชแบบไม่พลิกกลับกองด้วยระบบกองเดิมอากาศ (ภาพที่ 1) ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษพืชได้เป็นอย่างดี ได้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดีตรงตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 ได้ปริมาณครั้งละ 10 กองหรือ 10 ตัน กระบวนการใช้เวลาประมาณ 30 วัน หลังจากนั้นไปทำให้แห้ง ตีป่นให้เล็กละเอียดแล้วบรรจุกระสอบ (ธีระพงษ์, 2549) โดยเคยได้รับรางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ ปี 2549 รองชนะเลิศอันดับสอง ด้านสังคม จากการที่เทคโนโลยีนี้ได้ช่วยให้กลุ่มเกษตรกรถึง 470 แห่งทั่วประเทศผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษพืชแทนการเผาทำลาย



ภาพที่ 1 ระบบกองเดิมอากาศ

ที่มา : ชีระพงษ์ (2549)

ในด้านการนำของเสียที่เหลือจากการกระบวนการตัดแต่งผลไม้สดมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยระบบกองเดิมอากาศ ผู้วิจัยเคยทำการทดลองเบื้องต้นนำเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด จ.เชียงใหม่ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2550 (ชีระพงษ์, 2550) มาทำการทดลอง ณ ศูนย์สาธิตการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเดิมอากาศ แม่โจ้ 70 ปี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตามวิธีการของ ชีระพงษ์ (2549) คือใช้เศษเปลือกมะม่วงสุก 3 ส่วนโดยปริมาตรต่อมูลโค 1 ส่วน กระบวนการย่อยสลายใช้เวลาประมาณ 60 วัน โดยต้องพลิกกลับกอง 1 ครั้งเพื่อลดผลจากการกดทับของเปลือกมะม่วงที่อยู่ด้านในกองปุ๋ย หลังจากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้แห้งอีกประมาณ 2 สัปดาห์ พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 กำหนด (ตารางที่ 1) โดยไม่มีกลิ่น แมลงวัน และน้ำเสียใด ๆ เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ (ภาพที่ 2)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้จากเศษเปลือกมะม่วงสุกตามตารางที่ 1 พบว่า ค่าโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ 3.1 มีค่าสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะ เศษเปลือกมะม่วงมีการสะสมโพแทสเซียมสูง จึงเป็นประโยชน์ต่อการนำปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโพแทสเซียมสูงไปใช้ปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มขนาดและความหวานของไม้ผลได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่า แต่ก็ยังไม่จูงใจผู้ประกอบการที่จะนำเศษเปลือกมะม่วงสุกที่เกิดขึ้นประมาณวันละ 7 ตัน ไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยระบบกองเดิมอากาศ อันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1) ต้องใช้พื้นที่มากหากใช้ระบบกองเดิมอากาศแบบเดิมที่ได้ปุ๋ยอินทรีย์กองละ 1 ตัน และ 2) ยังมีค่าต้นทุนสูงจากค่ามูลโค 0.60 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งค่าไฟฟ้าอีก 0.10 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยอินทรีย์



ภาพที่ 2 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเปลือกมะม่วงสุกด้วยระบบกองเดิมอากาศ
ที่มา : ชีวะพงษ์ (2551)

ตารางที่ 1 ค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551

ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด	ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ เปลือกมะม่วงสุก
1	ความชื้น	น้อยกว่า 30 %	19.7
2	อินทรีย์วัตถุรับรอง	มากกว่า 20 %	39.5
3	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.7
4	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	น้อยกว่า 20:1	15.4:1
5	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	น้อยกว่า 10 เดซิซีเมนส์/เมตร	4.2
6	ธาตุอาหารหลัก (ร้อยละ)	ไนโตรเจน (N) มากกว่า 1.0	2.5
		ฟอสฟอรัส (P_2O_5) มากกว่า 0.5	1.7
		โพแทสเซียม (K_2O) มากกว่า 0.5	3.1
7	การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (ร้อยละ)	ไม่น้อยกว่า 80	-

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาโจทย์ 2 ประการข้างต้น จึงควรต้องมีการวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกด้วยกระบวนการเติมอากาศที่มีความเหมาะสม โดยใช้พื้นที่น้อยและมีต้นทุนต่ำที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นแรงจูงใจให้โรงงานนำของเสียไปเพิ่มมูลค่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดี ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นต้นแบบสำหรับการกำจัดเปลือกมะม่วง รวมถึงเป็นแนวทางสำหรับการจัดการเศษและเปลือกผลไม้ชนิดอื่นของโรงงานคัดบรรจุ หรือโรงงานแปรรูปผลิตผลขั้นต่ำ รวมทั้งของเสียระดับอุตสาหกรรมประเภทอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดีในเชิงพาณิชย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการเติมอากาศ
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุกและมูลโคกับความถี่ของการเติมอากาศที่เหมาะสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ใหม่ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการของเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารของประเทศในอนาคต ที่สามารถลดพื้นที่การใช้งานและประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศ (P)
2. ได้องค์ความรู้ที่อาจนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียประเภทอื่นต่อไปได้ (P)
3. ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุกและความถี่ของการเติมอากาศที่เหมาะสม (G)
4. องค์ความรู้ที่ได้รับจากโครงการจะถูกเผยแพร่เพื่อเป็นประโยชน์แก่ภาคธุรกิจในระยะยาว
5. โรงงานอาจนำองค์ความรู้นี้ไปใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียโรงงานในเชิงพาณิชย์ได้
6. โรงงานสามารถมีการจัดการของเสียที่ดี มีการปฏิบัติที่ดีในโรงงาน (GMP) เพิ่มศักยภาพการแข่งขัน
7. องค์ความรู้ที่ได้รับจะเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ที่มีเศษผักเศษผลไม้คัล้ายคัลึงกัน ในการนำของเสียเหล่านี้มาเพิ่มมูลค่าโดยนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์
8. ของเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารได้รับการนำประโยชน์กลับคืนและเพิ่มมูลค่า แทนการนำไปฝังกลบร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชน ที่สร้างปัญหาน้ำชะขยะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การตรวจเอกสาร

การทำปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก (Composting) เป็นการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นอินทรีย์วัตถุคล้ายฮิวมัสที่มีธาตุอาหารในรูปแบบที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายใต้เงื่อนไขการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน โดยมีปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญ คือ ความชื้น จุลินทรีย์ ออกซิเจน ความร้อน ขนาดวัตถุดิบและความพรุน และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ธีระพงษ์, 2549) ข้อดีของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพมีออกซิเจนคือ ไม่เกิดกลิ่น ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีความเป็นกรดต่ำที่เป็นกลาง ไม่มีน้ำเสีย และไม่ดึงดูดแมลงวัน

ธีระพงษ์ (2549) กล่าวว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบอัตราเร่งเพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ในเวลาอันสั้นประมาณ 1 - 2 เดือน จำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายในกองปุ๋ยให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนอยู่เสมอจนกว่าการย่อยสลายจะสิ้นสุด ปัจจัยหลักที่สำคัญมีดังนี้

1. มีความชื้นพอเหมาะอยู่ตลอดเวลา จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนต้องการความชื้นที่เหมาะสม การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะหยุดชะงักถ้าวัตถุดิบแห้งเกินไปหรือมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8-12 และถ้าเปียกโชกมากเกินไปการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนก็จะหยุดชะงักเช่นเดียวกันและจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำงานแทน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นและการทำปุ๋ยอินทรีย์จะเสร็จช้า ความชื้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 45 - 55 (Diaz et al, 1993)

2. มีจุลินทรีย์มากพอ การย่อยสลายจะเกิดได้รวดเร็วถ้าในกองปุ๋ยมีจุลินทรีย์อยู่มาก แหล่งจุลินทรีย์ที่หาได้ง่าย ได้แก่ มูลโค มูลม้า มูลช้าง มูลไก่ หรือสารเร่ง พด.1 เป็นต้น จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยจะมีการพัฒนาจำนวนและคัดเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาติ มีการทำงานร่วมกัน ประกอบด้วย รา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และไรติเฟอร์ เป็นต้น

3. มีออกซิเจนภายในกองปุ๋ยเพียงพอ เนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะมีปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนหลายเท่า การทำปุ๋ยอินทรีย์แบบอัตราเร่งจึงมุ่งเน้นการเติมออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยเพื่อให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนอย่างเพียงพออยู่เสมอ วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไปจึงจำเป็นต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ยบ่อย ๆ เพื่อเติมออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเติมอากาศจะใช้วิธีเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยด้วยพัดลมโบลเวอร์ (Blower) เป็นระยะ ๆ (Active Aeration) และสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จะอาศัยหลักการทางวิศวกรรมด้านการพาความร้อน (Chimney Convection) ช่วยให้มีการไหลเวียนของอากาศภายนอกเข้าไปในกองปุ๋ยตามธรรมชาติ (Passive Aeration)

4. มีอุณหภูมิสูงภายในกองปุ๋ย ปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะให้ความร้อนออกมา ภายในเวลา 2-5 วันแรกของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเติมอากาศ อุณหภูมิในกองปุ๋ยอาจจะขึ้นสูงถึง 60 - 70 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้จุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic Microorganisms) ที่ชอบความร้อนสูงและส่วนใหญ่เป็นพวกรา (Fungi) ที่มีอยู่ในมูลสัตว์อยู่แล้วจะพัฒนาตัวเองขึ้นมาและจะย่อยสลายเศษพืชได้เร็วมาก เมื่อค่าอุณหภูมิต่ำลงเป็น 45 - 60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก (Mesophilic Microorganisms) ที่ชอบความร้อนสูงปานกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียและรา ก็จะเข้ามาทำหน้าที่ย่อยสลายแทน เงื่อนไขที่ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในกองปุ๋ยได้ดีก็คือ กองปุ๋ยควรมีความสูงไม่ต่ำกว่า 1 - 2 เมตรและกองเป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม

สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 กองปุ๋ยที่มีรูปร่างสามเหลี่ยมปริซึม มีความสูง 1.5 เมตร จะสามารถสะสมความร้อนเอาไว้ในกองปุ๋ยได้ เมื่อความร้อนลอยตัวสูงขึ้นก็จะเกิดการชักนำเอาอากาศภายนอกที่เย็นกว่าให้ไหลเข้าไปในกองปุ๋ย เป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตามธรรมชาติตลอดเวลา (Passive Aeration) ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์การพาความร้อนแบบ Chimney Convection การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้จึงไม่ต้องการพลิกกลับกองแต่อย่างใด

5. ขนาดของวัตถุดิบ เศษพืชที่เหลือจากการเกษตรกรรมบางชนิดที่มีขนาดใหญ่ เช่น ต้นข้าวโพด เป็นต้น ควรถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงพอสมควรด้วยเครื่องย่อยเศษพืช (Shredder) ให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 – 3 นิ้ว เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ แต่ถ้าเศษพืชมีขนาดเล็กเกินไปจนไม่มีการระบายอากาศที่ดีภายในกองปุ๋ย เช่น แกลบ หรือขี้เลื่อยจากการเพาะเห็ด เป็นต้น ก็จะทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ชะงักงันได้

6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบ (C/N Ratio) ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนมีความสำคัญ เพราะจุลินทรีย์ต้องการทั้งสองธาตุในการเมแทบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานและสร้างเซลล์ใหม่ โดยปกติแล้วธาตุคาร์บอนจะได้จากเศษพืชและธาตุไนโตรเจนจะได้จากมูลสัตว์ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเติมอากาศต้องการค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20 : 1 – 25 : 1 (Diaz et al, 1993) ส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีค่าสัดส่วนแตกต่างกันี้ มีแนวโน้มที่การย่อยสลายจะยืดเวลาแล้วเสร็จออกไป

จากการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเติมอากาศในระหว่างปี พ.ศ. 2547 – 2551 ซึ่งมีเคยมีข้อสังเกตจากนักวิจัยว่ามีการพาความร้อน (Chimney Convection) เกิดขึ้นในกองปุ๋ย ซึ่งเกิดจากการที่ความร้อนในกองปุ๋ยที่สะสมเอาไว้ลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นกว่าที่อยู่ภายนอกจะไหลเข้าไปแทนที่ในกองปุ๋ย เท่ากับเป็นการเติมอากาศตามธรรมชาติ (Passive Aeration) ให้กับจุลินทรีย์ใช้ในการกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงได้ดำเนินงานวิจัยในปี พ.ศ. 2551 เพื่อศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองและไม่ใช้พัดลมโบลเวอร์ โดยการกองเป็นแถวยาวและศึกษาผลของการเติมอากาศจากการพาความร้อน (ธีระพงษ์, 2554) และพบว่า แม้ว่าจะไม่มีการเติมอากาศด้วยพัดลมโบลเวอร์ตามวิธีของระบบกองเติมอากาศ แต่กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนก็ยังคงดำเนินต่อไปได้ เพียงแต่ใช้เวลาในกระบวนการนานกว่า คือใช้เวลา 60 วัน โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ก็ยังคงมีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศเช่นเดิม

เพื่อศึกษาผลของการเติมอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยจากการพาความร้อน ธีระพงษ์ (2554) ได้ทำการศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุในกองปุ๋ยที่มีวัตถุดิบเป็นฟางข้าวกับมูลโค โดยมีสมมติฐานว่าหากมีอากาศภายนอกไหลเข้าไปในกองปุ๋ยจากผลของการพาความร้อน กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยย่อมเป็นแบบใช้ออกซิเจนที่มีค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุที่เป็นกลาง การทดลองแบ่งออกเป็น 5 ตำรับ แปรผันสัดส่วนระหว่างฟางข้าวและมูลโค 3:1 4:1 5:1 6:1 และ 7:1 โดยปริมาตร กองปุ๋ยมีความกว้างฐาน 2.5 เมตร วางเศษพืชสลับกับมูลสัตว์เป็นชั้นบาง ๆ แล้วทำให้เป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึมสูง 1.5 เมตร ความยาว 3.5 เมตร เก็บตัวอย่างจากทุกตำรับเพื่อวัดค่าความเป็นกรดต่างทุกสัปดาห์เป็นเวลา 10 สัปดาห์ รักษาระดับความชื้นกองปุ๋ยให้มีความร้อยละ 45 ถึง 70 เป็นเวลา 75 วันโดยไม่พลิกกลับกอง ผลการทดลองพบว่า การย่อยสลายยุติที่เวลาประมาณ 8 สัปดาห์ ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่แห้งแล้วของตำรับที่ 1 2 และ 3 ที่มีสัดส่วนผสมฟางข้าวต่อมูลโค 3:1 4:1 และ 5:1 โดยปริมาตร ตามลำดับ มีค่าคุณภาพสอดคล้องกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุในกองปุ๋ยทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่า 7.5 ซึ่งแสดงถึงสภาวะการย่อยสลาย

แบบใช้ออกซิเจนภายในกองปุ๋ย โดยมีการพาความร้อนแบบ Chimney Convection เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีการไหลเวียนของอากาศภายนอกที่เย็นกว่าเข้าไปแทนที่ในกองปุ๋ย จึงทำให้มีออกซิเจนสำหรับกระบวนการย่อยสลายโดยไม่ต้องพลิกกลับกอง ตารางที่ 2 แสดงค่าคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ของแต่ละตำรับ

ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ของแต่ละตำรับ

ตำรับ ที่	อัตรา ส่วน ผสม โดย ปริมาตร	ความ เป็น กรด ต่าง	การนำ ไฟฟ้า (เดซิซี เมนส์/ เมตร)	อินทรีย์วัตถุ รับรอง (ร้อยละ)	N (ร้อยละ)	P ₂ O ₅ (ร้อยละ)	K ₂ O (ร้อยละ)	C/N	การย่อยสลาย ที่สมบูรณ์ (Seed Germination) (ร้อยละ)
1	3:1	7.53	1.87	33.83	1.80	1.65	0.60	12.09	115.0
2	4:1	8.28	4.66	45.02	2.26	1.36	1.52	12.60	108.0
3	5:1	8.43	5.43	39.39	2.18	1.26	1.55	11.90	96.7
4	6:1	8.13	11.10	19.12	1.01	1.55	0.96	12.59	85.7
5	7:1	8.24	12.78	22.31	0.97	1.71	1.07	15.33	98.8
ค่ามาตรฐาน*	-	-	<10	>20	>1.0	>0.5	>0.5	<20	80.0



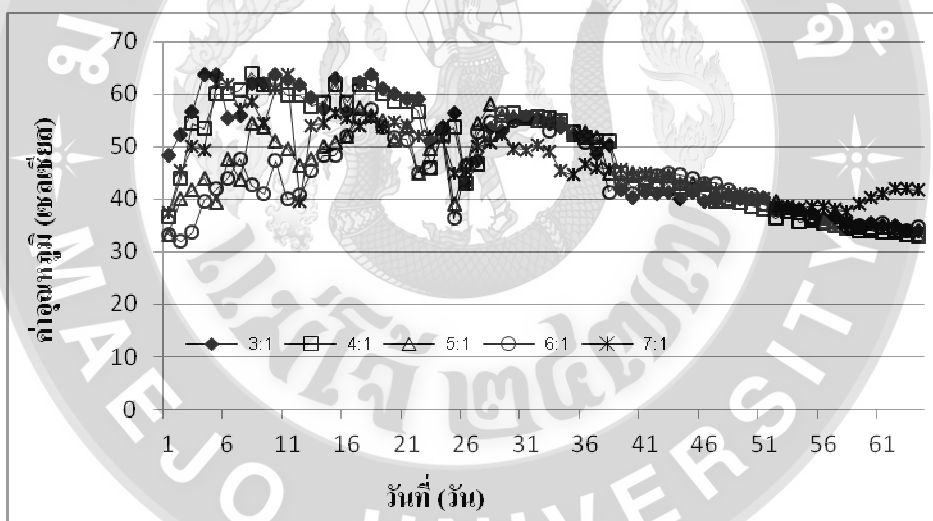
ภาพที่ 3 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากฟางข้าวและมูลโค

3:1 4:1 5:1 6:1 7:1 โดยปริมาตร อายุ 1 วัน

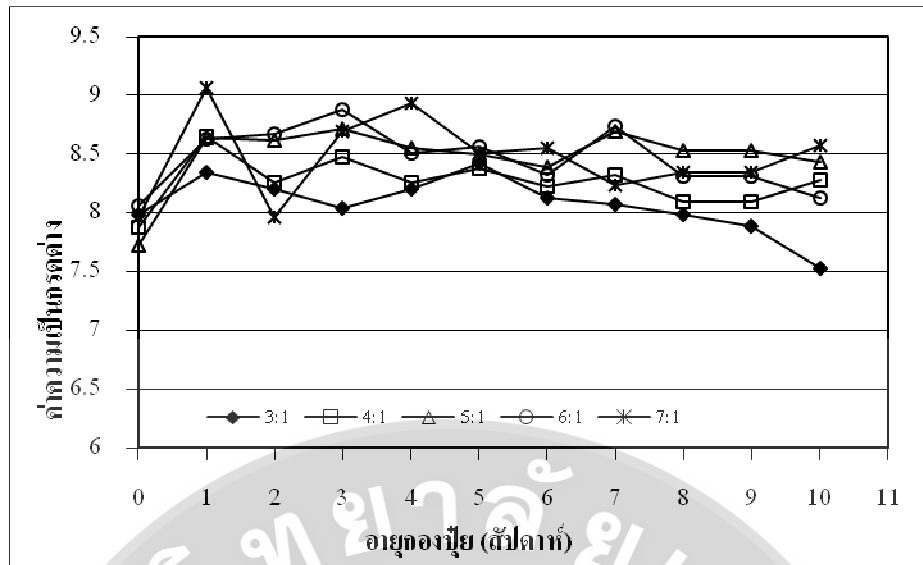
ที่มา : ชีระพงษ์ (2554)



ภาพที่ 4 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากฟางข้าวและมูลโค
3:1 4:1 5:1 6:1 7:1 โดยปริมาตร อายุ 60 วัน โดยไม่ต้องพลิกกลับกอง
ที่มา : ชีระพงษ์ (2554)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยกับเวลา
ที่มา : ชีระพงษ์ (2554)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างในกองปุ๋ยกับอายุของกองปุ๋ย
ที่มา : ชีระพงษ์ (2554)

จากข้อค้นพบข้างต้นจึงนำมาสู่สัดส่วนการใช้เศษพืชกับมูลสัตว์ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกร ดังนี้

1. ถ้าเป็นฟางข้าว ให้ใช้สัดส่วน 4 ต่อ 1 โดยปริมาตร ซึ่งในระยะต่อมาก็พบว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งที่เป็นซังและเปลือกข้าวโพด เศษข้าวโพดหวาน เศษหญ้า และผักตบชวา ก็สามารถนำสัดส่วนนี้ได้ผลดี
2. ถ้าเป็นเศษใบไม้ ให้ใช้สัดส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร



ภาพที่ 7 กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)

ขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธี “วิศวกรรมแม่โจ้ 1” มีดังนี้ (ธีระพงษ์, 2555)

1. นำเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือฟางข้าว 4 ส่วนกับมูลสัตว์ 1 ส่วนโดยปริมาตร (ถ้าเป็นเศษใบไม้ให้ใช้อัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร) วางเป็นชั้นสลับกันโดยมีชั้นเศษพืชหนา 10 เซนติเมตร ฐานกว้าง 2.5 เมตร จำนวน 15 – 17 ชั้น รดน้ำแต่ละชั้นให้มีความชื้น ชั้นกองเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีความสูง 1.50 เมตร กองปุ๋ยจะมีความยาวเท่าไรก็ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเศษพืชและมูลสัตว์ที่มี ความสำคัญของการที่ต้องทำเป็นชั้นบาง ๆ 15 – 17 ชั้นก็เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลสัตว์ได้ใช้ทั้งธาตุคาร์บอน (มีอยู่ในเศษพืช) และธาตุไนโตรเจน (มีในมูลสัตว์) ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายวัตถุดิบเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 8 ฟางข้าว 4 ชั้น มูลโค 1 ชั้น วางเป็นชั้นบาง ๆ ฐานกว้าง 2.5 เมตร รดน้ำแต่ละชั้นให้ชุ่ม
ที่มา : ธีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 9 วางวัตถุดิบ 15 – 17 ชั้น กองเป็นรูปสามเหลี่ยม สูง 1.5 เมตร มีความยาวของกองไม่จำกัด
ที่มา : ธีระพงษ์ (2555)

2. รักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอตลอดเวลา (มีค่าประมาณร้อยละ 60 – 70) โดยมี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รดน้ำภายนอกกองปุ๋ยวันละครึ่ง

ขั้นตอนที่ 2 ทุก 10 วัน ใช้ไม้แทงกองปุ๋ยให้เป็นรูลึกถึงข้างล่างแล้วรอกน้ำลงไป ระยะห่างของรูประมาณ 40 เซนติเมตร ทำขั้นตอนที่สองนี้ 5 ครั้ง ระยะเวลากัน 10 วัน เมื่อเติมน้ำเสร็จแล้วให้ปิดรูเพื่อไม่ให้สูญเสียความร้อนภายในกองปุ๋ย ขั้นตอนนี้แม้ว่าอยู่ในช่วงของฤดูฝนก็ยังต้องทำ เพราะน้ำฝนไม่สามารถไหลซึมเข้าไปในกองปุ๋ยได้ จากข้อดีที่น้ำฝนไม่สามารถชะล้างเข้าไปในกองปุ๋ยได้ เกษตรกรจึงสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีนี้ในฤดูฝนได้ด้วย

ภายในเวลา 5 วันแรก กองปุ๋ยจะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นมาก บางครั้งสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับกองปุ๋ยที่ทำได้ถูกวิธี ความร้อนสูงนี้เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อความร้อนนี้ลอยตัวสูงขึ้นก็จะก่อให้เกิดการไหลของอากาศเย็นเข้าไปในกองปุ๋ยตามหลักการของการพาความร้อน (Chimney Convection) นอกจากนี้ ความร้อนสูงนี้ยังเป็นสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยอีกด้วย (จุลินทรีย์กลุ่ม Thermophiles และ Mesophiles) หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าอุณหภูมิปกติที่อายุ 60 วัน



ภาพที่ 10 รักษาความชื้นภายนอกกองโดยรดน้ำทุกวันและเอาไม้แทงกองปุ๋ยทุก 10 วันเพื่อเติมน้ำภายในกอง
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)

3. เมื่อกองปุ๋ยมีอายุครบ 60 วัน ก็หยุดให้ความชื้น กองปุ๋ยจะมีความสูงเหลือเพียง 1 เมตร แล้วทำปุ๋ยอินทรีย์ให้แห้งเพื่อให้จุลินทรีย์สงบตัวและไม่ให้เป็นอันตรายต่อพืช (Stabilization Period) วิธีการทำปุ๋ยอินทรีย์ให้แห้งอาจทำได้ทั้งไว้ในกองเฉย ๆ ประมาณ 1 เดือน หรืออาจแผ่กระจายให้มีความหนาประมาณ 20 – 30 ซม. ซึ่งจะแห้งภายในเวลา 3 – 4 วัน สำหรับผู้ที่ต้องการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ก็อาจนำปุ๋ยอินทรีย์ที่แห้งแล้วไปตีป่นให้มีขนาดเล็กสม่ำเสมอ ซึ่งจะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 5 – 7 บาท



ภาพที่ 11 สภาพปุ๋ยอินทรีย์จากฟางข้าวอายุ 60 วัน โดยไม่พลิกกลับกอง

ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)

กองปุ๋ยที่สูง 1.5 เมตรจะสามารถเก็บกักความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์เอาไว้ในกองปุ๋ย ความร้อนนั้นนอกจากจะเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ชนิดชอบความร้อนสูงที่มีในมูลสัตว์แล้ว เมื่อความร้อนนี้ลอยตัวสูงขึ้นจะทำให้อากาศภายนอกที่เย็นกว่าไหลเข้าไปในภายในกองปุ๋ย ซึ่งเกิดจากการพาความร้อน (Chimney Convection) อากาศภายนอกที่ไหลหมุนเวียนเข้ากองปุ๋ยนี้ช่วยทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ทำให้ตัดปัญหาการต้องพลิกกลับกองได้ และช่วยให้กองปุ๋ยไม่มีกลิ่นหรือน้ำเสียใด ๆ

หัวใจสำคัญของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีนี้ คือ ต้องรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอตลอดเวลาทั้งภายในและภายนอกกองปุ๋ยด้วยวิธีการ 2 ขั้นตอนข้างต้น บริเวณใดที่แห้งเกินไปหรือแฉะเกินไป จุลินทรีย์จะไม่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้วัสดุไม่ย่อยสลาย กระบวนการอาจใช้เวลานานถึง 6 เดือนถึง 1 ปีก็ได้

ข้อห้ามของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้คือ (ชีระพงษ์, 2555)

1. ห้ามขึ้นเหยียบกองปุ๋ยให้แน่น หรือเอาผ้าคลุมกองปุ๋ย หรือเอาดินปกคลุมด้านบนกองปุ๋ย เพราะจะทำให้อากาศไม่สามารถไหลถ่ายเทได้
2. ห้ามละเลยการดูแลความชื้นทั้ง 2 ขั้นตอน เพราะถ้ากองปุ๋ยแห้งเกินไปจะทำให้ระยะเวลาแล้วเสร็จนานและปุ๋ยอินทรีย์มีคุณภาพต่ำ
3. ห้ามวางเศษพืชเป็นชั้นหนาเกินไป การวางเศษพืชเป็นชั้นหนาเกินไปจะทำให้จุลินทรีย์ที่มีในมูลสัตว์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายเศษพืชได้
4. ห้ามทำกองปุ๋ยใต้ต้นไม้ เพราะความร้อนของกองปุ๋ยอาจทำให้ต้นไม้ตายได้
5. ห้ามระบายความร้อนออกจากกองปุ๋ย เพราะความร้อนสูงในกองปุ๋ยจะช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีมากขึ้น และยังช่วยให้เกิดการไหลเวียนของอากาศผ่านกองปุ๋ยอีกด้วย

เศษพืชทุกชนิดสามารถนำมาใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้ได้ เช่น ฟางข้าว ช้างและเปลือกข้าวโพด ผักตบชวา เศษผักจากตลาด และเศษใบไม้ (ทั้งสดและแห้ง) เป็นต้น ส่วนมูลสัตว์สามารถนำมาใช้ได้ทั้งมูลโค มูลไก่ และมูลสุกร (ทั้งแห้งและเปียก) โดยพบว่า ฟางข้าวและเศษข้าวโพดเป็นเศษพืชที่ย่อยสลายได้ง่ายที่สุด ส่วนเมล็ดลำไยหรือลิ้นจี่ก็สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้แต่ต้องนำไปตัดในเครื่องย่อยเศษพืชเสียก่อน

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้จะช่วยลดการเผาเศษพืชในแปลงเพาะปลูกได้ โดยการตัดตอซังแล้วนำตอซังและฟางข้าวกับมูลสัตว์ขึ้นกองปุ๋ยวิธีใหม่ในที่พองน้ำ ใกล้เคียงน้ำ เมื่อปุ๋ยอินทรีย์แห้งหรือถึงฤดูการเพาะปลูกก็นำไปใช้ในอัตราส่วน 500 – 1,000 กก.ต่อไร่ แล้วไถกลบไปพร้อมกับการเตรียมดินได้เลย ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและแรงงานได้มาก

คำถาม – คำตอบที่พบบ่อย

คำถาม ถ้าไม่สามารถทำกองปุ๋ยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 เสร็จในวันเดียว จะทำค้างไว้ก่อนแล้วค่อยมาทำต่อจนเสร็จในอีก 2 – 3 วัน ได้หรือไม่

คำตอบ ทำได้ เมื่อพร้อมเรื่องเวลาหรือวัสดุแล้วก็ค่อยมาทำต่อให้เป็นกองรูปสามเหลี่ยมสูง 1.5 เมตรก็ได้ แล้วค่อยนับเป็นวันที่ 1 เมื่อได้กองปุ๋ยเป็นรูปสามเหลี่ยมแล้ว

คำถาม จะทำกองปุ๋ยเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้หรือไม่

คำตอบ ไม่ได้ เพราะการทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมนั้น เมื่ออากาศร้อนในกองปุ๋ยลอยออกจากกองปุ๋ยขึ้นไปอากาศเย็นจะไหลเข้าไปแทนที่ตามหลักการของการพาความร้อน แต่อากาศเย็นอาจจะไม่ไหลเข้าไปข้างในกองปุ๋ย เพราะมีโอกาสที่จะเกิดการลัดวงจรได้ โดยอากาศเย็นจะไหลไปแทนที่อากาศร้อนเฉพาะบริเวณด้านข้างของกองปุ๋ย ส่งผลให้ไม่มีอากาศสำหรับจุลินทรีย์บริเวณกลางกองปุ๋ยสำหรับการย่อยสลาย เมื่อไม่มีอากาศการย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศที่ส่งกลิ่นเหม็น วัสดุมีความเป็นกรด มีน้ำเสียออกมา และกระบวนการใช้เวลานานกว่า การทำกองเป็นรูปสามเหลี่ยมจะบังคับให้ทุกส่วนของกองปุ๋ยได้รับอากาศที่ไหลเวียน กระบวนการย่อยสลายจึงเป็นแบบใช้อากาศที่ไม่มีกลิ่น วัสดุมีความเป็นกรดต่ำที่เป็นกลาง และใช้เวลาย่อยสลายสั้นกว่า

คำถาม จะใช้ไม้ไผ่หรือท่อพีวีซีเจาะรูหลายท่อนเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยเพื่อให้อากาศไหลเข้าไปได้หรือไม่

คำตอบ ไม่ได้ เพราะการเสียบท่อนแบบนั้นจะทำให้อากาศร้อนในกองปุ๋ยหนีหายไป ทำให้กองปุ๋ยเย็นลงกลายเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์และทำให้เกิดการพาความร้อนอีกด้วย ส่งผลให้ไม่มีการไหลเวียนของอากาศในกองปุ๋ย การย่อยสลายจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์

คำถาม มีคอกหรือขี้ของโรงปุ๋ยเดิมที่เป็นผนังซีเมนต์บล็อกลอยอยู่แล้ว จะทำกองปุ๋ยแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ให้เต็มภายในคอกซีเมนต์บล็อกลอยได้หรือไม่

คำตอบ ไม่ได้ เพราะหากทำกองปุ๋ยเต็มคอกซีเมนต์บล็อก ผนังซีเมนต์บล็อกจะขัดขวางไม่ให้เกิดการไหลเข้าไปในกองปุ๋ยของอากาศทางด้านข้าง วิธีแก้ไขจึงควรทำกองปุ๋ยรูปสามเหลี่ยมในคอกซีเมนต์บล็อกจะถูกต้องกว่า

คำถาม ทำไมการทำปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้ไม่ต้องเติมกากน้ำตาล ปุ๋ยยูเรีย รำข้าว แกลบ สารเร่งจุลินทรีย์อีเอ็ม หรือน้ำหมักชีวภาพ

คำตอบ สาเหตุที่การทำปุ๋ยอินทรีย์วิธีอื่นต้องเติมกากน้ำตาลหรือปุ๋ยยูเรีย ก็เพื่อให้มีไนโตรเจนสำหรับให้จุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์และเจริญเติบโต การทำปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใช้ไนโตรเจนที่มีในมูลสัตว์อยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเติมกากน้ำตาลหรือปุ๋ยยูเรียอีก ส่วนการทำปุ๋ยอินทรีย์บางวิธีต้องเติมรำข้าวหรือแกลบก็

เพื่อให้มีคาร์บอนสำหรับให้จุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์และเจริญเติบโต แต่ในเศษพืชก็มีคาร์บอนอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องใช้รำข้าวหรือกลบแต่อย่างใด นอกจากนั้น ในมูลสัตว์ก็อุดมไปด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิดอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารเร่งจุลินทรีย์หรืออีเอ็ม ส่วนการเติมน้ำหมักชีวภาพก็ไม่มี ความจำเป็น เพราะการเติมน้ำหมักชีวภาพจะทำให้กองปุ๋ยมีกลิ่นเหม็นและไม่มีประโยชน์ต่อกระบวนการย่อยสลาย

คำถาม ในชุมชนไม่มีเศษพืชหรือมูลสัตว์จะอย่างไรดี

คำตอบ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ช่วยให้สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ปริมาณครั้งละมาก ๆ เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินหรือการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการเพื่อให้ได้วัตถุดิบจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ควรขอเศษพืชจากชุมชนอื่นที่อาจมีค่าขนส่งบ้าง สั่งซื้อมูลสัตว์จากชุมชนอื่นหรือจังหวัดอื่น รับแลกเศษใบไม้หรือฟางกับปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

คำถาม ถ้าไม่มีเวลารดน้ำประจำวันหรือแทงกองปุ๋ยทุก 10 วัน จะใช้วิธีติดสปริงเกอร์และใช้ท่อน้ำเจาะรูติดตั้งไว้ตรงกลางกองปุ๋ยแล้วเปิดวาล์วเป็นครั้งคราวได้หรือไม่

คำตอบ การติดตั้งสปริงเกอร์เพื่อลดปัญหาการรดน้ำกองปุ๋ยประจำวันสามารถทำได้ แต่ต้องระวังอย่ารดนาน เพราะจะทำให้มีน้ำนองในบริเวณและมีน้ำมูลสัตว์ไหลออกมา แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมูลสัตว์นี้ยังสามารถนำไปเป็นประโยชน์ใช้รดต้นไม้ได้ เพราะมีคุณค่าเหมือนกับน้ำยูเรียที่ไม่มีความเป็นกรด ส่วนการใช้ท่อน้ำเจาะรูติดตั้งกลางกองปุ๋ยทำไม่ได้ เพราะน้ำไม่สามารถฉีดผ่านรูไปยังทุกส่วนของกองปุ๋ยได้ เพราะปุ๋ยอินทรีย์มีคุณสมบัติชอบอุ้มน้ำ การใช้ไม้แทงกองปุ๋ยแล้วเติมน้ำน่าจะเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด

คำถาม ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำด้วยวิธีนี้ให้คุณภาพแตกต่างจากการทำด้วยวิธีอื่นอย่างไร

คำตอบ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำด้วยวิธีนี้มีคุณภาพไม่แตกต่างจากวิธีอื่นและผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศเหมือนกัน แต่แตกต่างกันตรงที่วิธีการทำ กล่าวคือ วิธีนี้จูงใจให้เกษตรกรหันมาทำปุ๋ยอินทรีย์ได้มากกว่าจากการที่ไม่ต้องพลิกกลับกอง มีความง่าย ไม่ต้องเติมสารพิเศษอื่น ใช้ระยะเวลาในกระบวนการสั้น สามารถทำในนาหรือในสวนผลไม้ก็ได้ และได้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณครั้งละมาก ๆ



ภาพที่ 12 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของเกษตรกรเทศบาลตำบลแม่ใจ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 13 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 จากเศษข้าวโพดหวานของสวนส้มอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 14 กองปุ๋ยอินทรีย์ของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ มูลนิธิชัยพัฒนา
อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 15 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของเทศบาลนครเชียงใหม่
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 16 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของผู้ประกอบการเอกชนอำเภอสี จังหวัดลำพูน
ที่มา : ชีระพงษ์ (2555)



ภาพที่ 17 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของสวนส้มอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : สิริระพงษ์ (2555)

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้จัดทำประกาศเรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ลงวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2548 โดยมีเหตุผลว่า ด้วยปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามามีใช้ในการปรับปรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีข้อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดลักษณะสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งิที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (Total P₂O₅) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (Total K₂O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

อุปกรณ์และวิธีการ

โครงการวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. เมื่อโรงงานบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด 106/5 หมู่ 8 ถ.เชียงใหม่-ลำปาง ต.สารภี อ.สารภี จ.เชียงใหม่ 50140 เริ่มมีเศษเปลือกมะม่วงสุกจากสายการผลิตประจำปี ซึ่งปกติจะเริ่มมีในเดือนเมษายน ไปจนถึงเดือนพฤษภาคม ปริมาณสูงสุดวันละ 7 ตัน โรงงานจะทยอยส่งเศษเปลือกมะม่วงสุกมายังสถานที่ทดลอง คือ ฐานเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยจัดส่งตามระยะเวลาตามแผนงานที่โครงการวิจัยกำหนด ครั้งละ 7 ตัน

2. นำเศษเปลือกมะม่วงสุกผสมคลุกเคล้ากับมูลโคในสัดส่วนที่แปรผันตามตารางที่ 4 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม กองเป็นรูปสามเหลี่ยมสูง 1.50 เมตร กว้าง 2.50 เมตร ยาว 11 เมตร เพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ ครั้งละ 3 ตัน การเติมอากาศให้เป็นไปตามตารางเพื่อศึกษาความถี่ของการเติมอากาศที่เหมาะสม

การรักษาความชื้นของกองปุ๋ย การทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้แห้ง และรายละเอียดอื่นของกระบวนการให้เป็นไปตามกรรมวิธีผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระบบกองเติมอากาศของ ชีระพงษ์ (2549) แต่ละด่ำรับ (Treatment) ทำ 1 ซ้ำ เพื่อประหยัดงบประมาณในการวิจัย

เมื่อกระบวนการย่อยสลายสิ้นสุดลง (ประมาณ 30 วัน) นำไปทำให้แห้ง แล้วตีป่นให้มีขนาดเล็ก สม่่าเสมอด้วยเครื่องย่อยเศษพืช

3. วิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบและปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ทุกด่ำรับ ดังนี้ ค่าความชื้น ค่าอินทรีย์วัตถุ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าไนโตรเจน ค่าฟอสฟอรัส (P_2O_5) ค่าโพแทสเซียม (K_2O) ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอัตราส่วน C/N การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (Seed Germination Rate) และบันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกองปุ๋ยและของอากาศภายนอก

ตารางที่ 4 แผนการทดลอง

ตำรับที่	สัดส่วนเศษเปลือกมะม่วง ต่อมูลโค (โดยปริมาตร)	การเติมอากาศ
1	3 ต่อ 1	เติมอากาศวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 15 นาที ที่ละกอง (ใช้พัดลมโบลเวอร์ของศูนย์ฯ)
2	4 ต่อ 1	
3	5 ต่อ 1	
4	6 ต่อ 1	
5	7 ต่อ 1	เติมอากาศวันละ 1 ครั้ง ๆ ละ 15 นาที ที่ละกอง
6	4 ต่อ 1	
7	5 ต่อ 1	
8	6 ต่อ 1	

4. ศึกษาจำนวน (โดยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ) และประเภทของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย ยีสต์ รา แอคติโนไมซีต) ที่มีในปุ๋ยแต่ละตำรับ เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านจุลินทรีย์อันจะบ่งถึงคุณภาพและเป็นประโยชน์ในการพิจารณาแนวทางการนำไปใช้งานในการปรับปรุงสภาพดินหรือบำรุงพืชชนิดต่าง ๆ รวมทั้งอาจนำไปสู่การคัดแยกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการขยายผลในอนาคต

5. การทดลองตำรับที่ถือว่ามีความเหมาะสม คือ ใช้ปริมาณมูลโคต่ำ ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย และไม่ก่อให้เกิดกลิ่นหรือน้ำเลี้ยว ในขณะที่ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ยังมีค่าคุณภาพเป็นไปตามค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑ รวมทั้งมีจำนวนและความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสภาพดินหรือบำรุงพืช

6. รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผล และรายงานสรุปเป็นรูปเล่ม

เนื่องจากตามแผนและวัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดีในเชิงพาณิชย์ จากเศษเปลือกมะม่วงสุกของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการเติมอากาศ และเพื่อศึกษาสัดส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุกและมูลโค กับความถี่ของการเติมอากาศที่เหมาะสม แต่เนื่องจากในระหว่างที่รอการอนุมัติงบประมาณเพื่อดำเนินงานวิจัยนั้น นักวิจัยได้มีผลการวิจัยใหม่ที่พบว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้หรือฟางข้าวโดยไม่พลิกกลับกองและไม่ต้องเติมอากาศ วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 นั้น มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยนี้ได้ โดยมีข้อดีคือไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าระบบท่ออากาศ (ธีระพงษ์, 2554) จึงได้ปรับแผนการทดลองครั้งนี้ให้สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ตามตารางที่ 5 โดยกองปุ๋ยแต่ละกองมีฐานกว้าง 2.5 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 1.5 เมตร ทำกองให้เป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม วางเศษเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ และมูลโคเป็นชั้นบาง มีความหนาไม่เกิน 10 ซม. วางสลับกัน และรดน้ำทุกชั้น ส่วนการดูแลความชื้นกองปุ๋ยให้เป็นไปตามวิธีของ ธีระพงษ์ (2554)

ตารางที่ 5 แผนการทดลองใหม่การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1

ตำรับที่	เปลือกมะม่วง : เศษใบไม้ : มูลโค	ค่าที่ทำการวิเคราะห์	หมายเหตุ
A1	1 : 0 : 1	วิเคราะห์ค่าคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์และวัตถุดับ	แต่ละตำรับทำ 1 ซ้ำ
A2	2 : 0 : 1	1. ค่าความชื้น	
A3	3 : 0 : 1	2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	
B4	1 : 1 : 1	3. ค่าอินทรีย์วัตถุ	
B5	2 : 1 : 1	4. ค่าอัตราส่วน C/N	
B6	3 : 1 : 1	5. ค่าการนำไฟฟ้า	
C7	1 : 2 : 1	6. ค่าร้อยละ N P ₂ O ₅ K ₂ O	
C8	2 : 2 : 1	7. ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ย (วัดวันละครั้ง หา	
C9	3 : 2 : 1	ค่าเฉลี่ยจาก 4 จุด)	

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้เริ่มดำเนินงานในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ล่าช้ากว่าที่ได้กำหนดในแผนงานเนื่องจากจำเป็นต้องรอให้โรงงานบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด อ.สารภี จ.เชียงใหม่เริ่มมีการผลิตมะม่วงสุกแช่แข็งเสียก่อน จึงจะมีเศษเปลือกมะม่วงสุกเป็นของเหลือออกมา ซึ่งโดยปกติแล้วมะม่วงจะเริ่มสุกในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคมของทุกปี

เมื่อเปลือกมะม่วงสุกถูกนำมาส่งที่ฐานเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สังเกตพบว่า มีเมล็ดของมะม่วงติดมาด้วย และเมื่อทิ้งไว้เพียง 24 ชั่วโมงก็พบว่า มีน้ำเสียสีดำคาวไหลออกมา จากกองเปลือกมะม่วงสุก มีกลิ่นเหม็น (ภาพที่ 19) ซึ่งเกิดจากผลของการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจน (Fermentation) ที่ปล่อยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแก๊สไข่เน่าออกมา



ภาพที่ 18 เปลือกมะม่วงสุกโรงงานถูกส่งมาทำการวิจัยที่ฐานเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

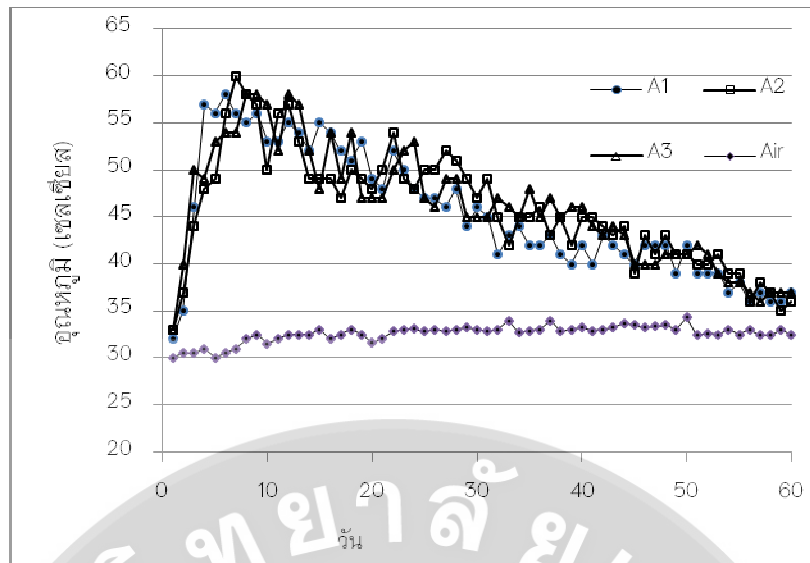


ภาพที่ 19 เปลือกมะม่วงสุกที่ส่งมาเริ่มมีน้ำเสียออกมา เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

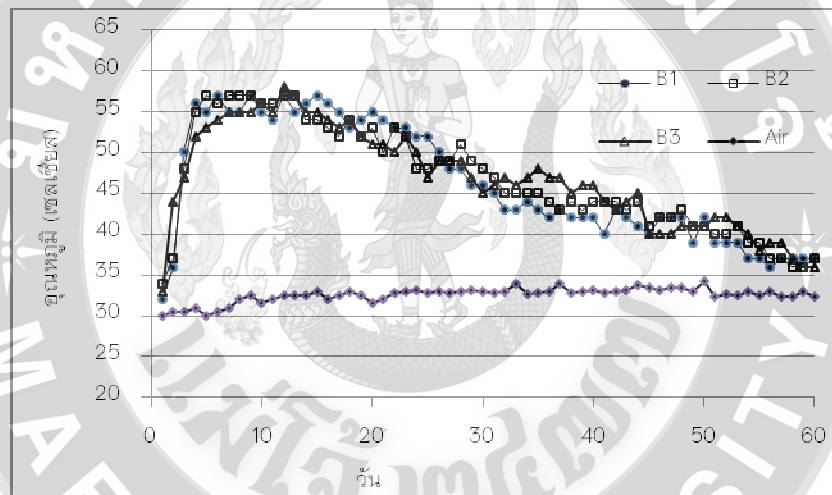
กองปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 แต่ละกองได้มีการใช้สัดส่วนผสมวัตถุดิบตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5 โดยได้มีการใช้เศษใบไม้ผสมกับมูลโคในสัดส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตรคลุมกองปุ๋ยแต่ละกองด้วย (ภาพที่ 20) เพื่อใช้เป็นวัสดุกรองกลิ่นชีวภาพ (Biofilter) และป้องกันการดึงดูดแมลงวันที่จะมา

ภายในระยะ 60 วันของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ได้มีการดูแลความชื้นตามวิธีของ ชีระพงษ์ (2554) คือ รดน้ำกองปุ๋ยวันละครั้ง และทุก 10 วันใช้ไม้เจาะกองปุ๋ยระยะห่าง 40 ซม. เจาะลึกถึงพื้นดิน แล้วกรอกน้ำลงไป เสร็จแล้วปิดรูเพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความร้อน โดยไม่มีการพลิกกลับกอง

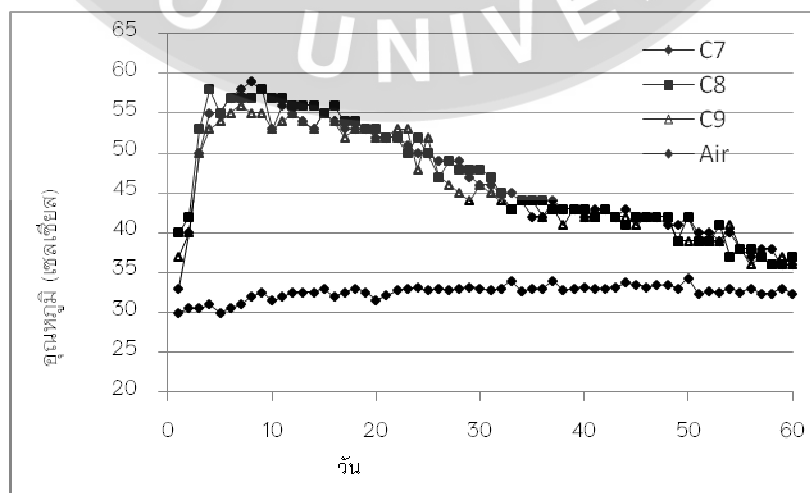
ถึงแม้ว่าจะมีวัสดุกรองกลิ่นชีวภาพคลุมกองปุ๋ย แต่ก็พบว่ายังมีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อยในบริเวณและมีน้ำสีดำไหลออกมาเล็กน้อยในกรณีที่เราเติมน้ำมากเกินไปหรือมีฝนตก ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยที่วัดหาค่าเฉลี่ยวันละครั้งจาก 3 จุดของแต่ละกอง ที่เวลา 09.00 น. ของทุกวัน เป็นเวลา 60 วัน ดังแสดงในภาพ 20 – 22



ภาพ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ A1 A2 A3



ภาพ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ B1 B2 B3



ภาพ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกองปุ๋ยของตำรับ C1 C2 C3

เมื่อครบอายุกองปุ๋ย 60 วัน ได้ลัมกองเพื่อให้แห้งก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าคุณภาพ ซึ่งจากการลัมกองพบว่า ดาร์บ C8 ที่มีอัตราส่วนผสมประกอบด้วยเปลือกมะม่วงสุกต่อใบไม้ต่อมูลโค 2 : 2 : 1 มีการย่อยสลายที่ดีที่สุด ซึ่งเกิดจากในระบบมีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนจากใบไม้ และมีธาตุไนโตรเจนจากใบไม้และเศษเปลือกมะม่วงสุกที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายในกระบวนการมาจากที่อยู่ในมูลสัตว์อยู่แล้ว

ในการลัมกองปุ๋ยพบว่า เมล็ดของมะม่วงที่ปะปนมาไม่ได้ถูกย่อยสลายเนื่องจากมีองค์ประกอบของลิกนินมาก ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในเวลา 60 วันของกระบวนการ แต่ก็มีน้ำหนักรที่เบาขึ้นและมีบางส่วนที่กรอบแตกได้ง่าย ภายในกองปุ๋ยที่อายุ 60 วันก็ยังคงพบเศษเปลือกมะม่วงบางส่วนที่ยังคงมีสีเหลืองสดคล้ายเศษเปลือกมะม่วงสุกใหม่ แต่เมื่อทิ้งให้แห้งก็พบว่าได้เปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำและกรอบแตกง่าย ในการลัมกองรวมทั้งการทิ้งให้แห้งเพื่อให้จุลินทรีย์สงบตัว (Stabilization Period) ไม่พบว่ามีการกลิ่นจากกองปุ๋ยแต่อย่างใด

จากภาพค่าอุณหภูมิของกองปุ๋ย พบว่า ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะการย่อยสลายภายในกองปุ๋ย โดยดาร์บ C8 ที่มีอัตราส่วนผสมประกอบด้วยเปลือกมะม่วงสุกต่อใบไม้ต่อมูลโค 2 : 2 : 1 มีการย่อยสลายที่ดีที่สุดแต่ไม่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่า ค่าอุณหภูมิที่สูงในกองปุ๋ยนอกจากจะเกิดจากการคายพลังงานออกมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความพรุนในกองปุ๋ยอีกด้วย กองปุ๋ยที่ประกอบด้วยสัดส่วนของเปลือกมะม่วงสุกมากจะมีการอัดตัวแน่นกว่าทำให้มีการสะสมค่าอุณหภูมิได้มากกว่า ในขณะที่กองปุ๋ยที่ประกอบด้วยสัดส่วนของใบไม้มากจะมีการอัดตัวน้อยกว่าทำให้มีการสะสมค่าอุณหภูมิได้ต่ำกว่า

ค่าอุณหภูมิสูงสุดในกองปุ๋ยสำหรับการทดลองครั้งนี้คือ 60 องศาเซลเซียสในวันที่ 7 ของกองปุ๋ยการทดลอง A2 ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการแบ่งปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจำหน่ายออกเป็นสองชนิดคือ Class A และ Class B ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ Class A สามารถจำหน่ายเพื่อการใช้ในบ้านเรือนที่อาจมีการสัมผัส โดยถ้าเป็นกระบวนการผลิตแบบ Aerated Static Pile หรือแบบ In Vessel จะต้องมียุณหภูมิในกองปุ๋ย 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วันเพื่อให้มีความมั่นใจว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความปลอดภัยปราศจากเชื้อโรคปนเปื้อนที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ (US.EPA. 1993) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่า กองปุ๋ยแต่ละดาร์บมีค่าอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 6 5 7 7 9 13 และ 6 วัน สำหรับดาร์บที่ A1 A2 A3 B4 B5 B6 C7 C8 และ C9 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ US.EPA. (1993) กำหนด โดยการทดลองดาร์บ C8 มีจำนวนวันที่มีค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสมากที่สุด



ภาพที่ 23 การใช้เศษใบไม้และมูลสัตว์ 3 ต่อ 1 โดยปริมาตรเป็นวัสดุกรองกลิ่นชีวภาพ (Biofilter)



ภาพที่ 24 การตรวจสอบความชื้นภายในและภายนอกกองปุ๋ย และการวัดอุณหภูมิกองปุ๋ยประจำวัน



ภาพที่ 25 กองปุ๋ยอินทรีย์เปลือกมะม่วงสุก



ภาพที่ 26 เปลือกมะม่วงสุกที่ย่อยสลายสมบูรณ์



ภาพที่ 27 เปลือกมะม่วงสุกที่ย่อยสลายสมบูรณ์



ภาพที่ 28 สภาพของปุ๋ยอินทรีย์เศษเปลือกมะม่วงสุกอายุ 60 วันโดยไม่ต้องพลิกกลับกอง



ภาพที่ 29 สภาพเปลือกมะม่วงสุกบางส่วนภายในกองปุ๋ยที่ไม่ย่อยสลายภายในอายุ 60 วัน



ภาพที่ 30 สภาพเมล็ดมะม่วงที่ถูกย่อยสลายในกองปุ๋ย



ภาพที่ 31 การตากปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทำให้แห้งก่อนนำไปตีป่นในเครื่องย่อยเศษพืช



ภาพที่ 32 สภาพเปลือกมะม่วงสุกเมื่อแห้งแล้ว จะกรอบแตกง่ายเมื่อนำไปตีป่น และไม่มีกลิ่น



ภาพที่ 33 ปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการตีป่นแล้ว



ภาพที่ 34 เมล็ดมะม่วงส่วนที่ยังไม่ย่อยสลาย ถูกแยกออกมาภายหลังจากการตีป่น



ภาพที่ 35 ปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกเมื่อผ่านเครื่องย่อยเศษพืชแล้ว



ภาพที่ 36 ปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกบรรจุกระสอบ

ภายหลังที่ทำให้ปุ๋ยอินทรีย์แห้ง ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ทุกตัวรับภายหลังจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2551 โดยมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.29 – 7.39 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.93 – 2.67 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (มาตรฐานกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) มีค่าอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วงร้อยละ 28.58 – 40.25 (มาตรฐานกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 20) มีค่า N อยู่ในช่วงร้อยละ 1.05 – 2.83 (มาตรฐานกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 1.0) ค่า P_2O_5 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.58 – 1.23 (มาตรฐานกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5) ค่า K_2O มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.07 – 1.14 (มาตรฐานกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5) ค่า N P_2O_5 และ K_2O รวมกันมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.21 – 4.55 (มาตรฐานกำหนดให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 2.0) โดยตัวอย่างตัวรับ C8 ที่มีการย่อยสลายดีที่สุดมีค่าความเป็นกรดต่าง 6.90 ค่าการนำไฟฟ้า 2.67 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อินทรีย์วัตถุร้อยละ 40.16 มีค่า N ร้อยละ 2.47 P_2O_5 ร้อย

ละ 0.94 และ K_2O ร้อยละ 1.14 มีค่า N P_2O_5 และ K_2O รวมกันมีค่าร้อยละ 4.55 ตาราง 6 แสดงค่าคุณภาพ
ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากตำรับต่าง ๆ



ตาราง 6 ค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากตำรับต่าง ๆ

ตำรับ	อัตราส่วน	pH	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนส์/เมตร)	อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	N (ร้อยละ)	P ₂ O ₅ (ร้อยละ)	K ₂ O (ร้อยละ)	N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	Ca (ร้อยละ)	Mg (ร้อยละ)	ค่าการย่อยสลาย สมบูรณ์ (ร้อยละ)
A1	1 : 0 : 1	6.38	1.00	40.25	2.59	1.02	0.54	4.15	16.96	0.43	90
A2	2 : 0 : 1	6.29	2.02	33.69	2.83	0.72	0.61	4.16	13.82	0.40	88
A3	3 : 0 : 1	6.65	2.57	28.58	2.38	1.23	0.69	4.30	21.00	0.44	85
B1	1 : 1 : 1	7.14	1.91	35.73	2.67	1.14	0.10	3.91	16.85	0.47	115
B2	2 : 1 : 1	6.67	2.01	40.24	2.76	0.74	0.07	3.57	18.31	0.33	110
B3	3 : 1 : 1	6.98	0.96	39.73	1.63	0.80	0.04	2.47	22.37	0.48	95
C1	1 : 2 : 1	7.39	1.81	36.23	1.88	0.58	0.07	2.53	12.02	0.30	120
C2	2 : 2 : 1	6.90	2.67	40.16	2.47	0.94	1.14	4.55	19.08	0.42	120
C3	3 : 2 : 1	6.95	0.93	31.03	1.05	0.78	0.38	2.21	14.85	0.33	110
ค่ามาตรฐาน	-	-	< 10	>20	>1	>0.5	>0.5	>2.0	-	-	80

สำหรับการศึกษาคูณภาพด้านจำนวนจุลินทรีย์ของปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุก ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแอคติโนมัยซิส ทำโดยนำตัวอย่าง 25 กรัม มาผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl solution) 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} หลังจากนั้นทำการเจือจางจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-6} ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85% ตัวอย่างที่ถูกเจือจางแล้วจะถูกนำมาเพาะเลี้ยงเชื้อ โดยนำตัวอย่างที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} – 10^{-6} ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับเชื้อจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ ด้วยวิธีการเกลี่ยเชื้อบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ (spread plate) ดังนี้

1. การศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar บ่มจนเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. การศึกษาจำนวนยีสต์และรา เพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (pH 3.5) บ่มจนเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

3. การศึกษาจำนวน Actinomycetes เพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Actinomycetes isolation agar บ่มจนเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °ซ เป็นเวลา 3 วัน

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแอคติโนมัยซิส ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุก ในอัตราส่วนผสมระหว่าง เปลือกมะม่วง เศษใบไม้ มูลโค ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุก

อัตราส่วนเปลือกมะม่วง : เศษใบไม้ : มูลโค	จำนวนจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อกรัม)		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา	แอคติโนมัยซิส*
1 : 0 : 1	5.40×10^8	3.00×10^6	2.11×10^8
2 : 0 : 1	4.40×10^7	7.00×10^5	2.10×10^6
3 : 0 : 1	1.53×10^8	3.00×10^6	4.00×10^6
1 : 1 : 1	9.40×10^7	1.50×10^5	4.50×10^6
2 : 1 : 1	9.80×10^7	1.00×10^6	5.50×10^5
3 : 1 : 1	8.15×10^6	2.00×10^6	4.00×10^5
1 : 2 : 1	3.05×10^7	1.00×10^5	4.00×10^6
2 : 2 : 1	2.23×10^7	5.50×10^6	1.15×10^7
3 : 2 : 1	2.20×10^7	1.05×10^5	3.15×10^6

* ผลรวมของโคโลนีที่มีลักษณะผิวหน้าด้าน แห้ง ขอบโคโลนีเกาะลึกลงไปในเนื้ออาหารฐาน

จากผลการวิเคราะห์พบว่า แม้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ดำรับแรกคือการใช้เปลือกมะม่วงต่อมูลโคในอัตราส่วน 1 : 0 : 1 จะให้ผลจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยซิสที่มีค่าสูงกว่าดำรับอื่น แต่ในภาพรวมผลจำนวนจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงดำรับต่าง ๆ นั้นไม่ต่างกันมากนัก โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 10^6 – 10^8 โคโลนีต่อกรัม จำนวนยีสต์และราอยู่ในช่วง 10^5 – 10^6 โคโลนีต่อกรัม และจำนวนแอคติ

โนมัยซีสอยู่ในช่วง $10^5 - 10^6$ โคโลนีต่อกรัม จากข้อมูล ไม่มีความแตกต่างอันเนื่องมาจากอัตราส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ กับมูลโค นอกจากนั้นยังพบว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีวิศวกรรมแมงไจ้ 1 ที่ใช้ในการศึกษานี้โดยใช้เศษเปลือกมะม่วงสุกเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียวร่วมกับมูลโค นั้น ก็ให้ค่าเชิงปริมาณด้านจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับเมื่อผสมเศษใบไม้ลงไปร่วมกับเศษเปลือกมะม่วงสุก ผลด้านจำนวนจุลินทรีย์ของปุ๋ยอินทรีย์ตำรับต่าง ๆ นี้ทำให้เห็นถึงความยืดหยุ่นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในการปรับอัตราส่วนของเศษเปลือกมะม่วงสุกและใบไม้ที่ใช้ต่อมูลโค เพราะจะให้จำนวนจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากเศษใบไม้และมูลโคที่นักวิจัยได้เคยผลิตก่อนหน้านี้ (ตาราง 8) พบว่า ค่าจำนวนจุลินทรีย์ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยใช้เปลือกมะม่วงและมูลโคเป็นวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์จากวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ซึ่งเป็นจำนวนจุลินทรีย์ที่สูงพอควร จากผลการวิเคราะห์ด้านจำนวนจุลินทรีย์สรุปได้ว่าสามารถนำปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีเช่นเดียวกันกับปุ๋ยอินทรีย์จากเศษพืชทั่วไป โดยควรพิจารณาค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ดินปลูกด้านกายภาพและเคมีร่วมด้วยในการนำไปใช้งาน โดยตารางที่ 9 เป็นผลการวิเคราะห์หีสักของจุลินทรีย์จากตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เศษเปลือกมะม่วงสุก

ตารางที่ 8 คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำ ปุ๋ยอินทรีย์*	จำนวนจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อกรัม)		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา	แอคติโนมัยซีส
เศษใบไม้ : มูลโค	1.57×10^7	1.95×10^5	ND
เศษใบไม้ : มูลโค	5.00×10^7	2.50×10^4	ND
เศษใบไม้ : มูลกระบือ	5.50×10^7	1.39×10^7	1.32×10^7

* จากการศึกษาก่อนหน้านี้โดย ชีระพงษ์ และคณะ (2553) ชีระพงษ์ และคณะ (2554)

ND - ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่านี้

ตารางที่ 9 การจำแนกสปีชีส์ของจุลินทรีย์ในปฏินทรีย์ตัวอย่าง species identification of microorganisms

isolate	Oxygen requirement	Gram reaction	spore	Mother cell swollen	Rhizoid growth	Manni- tol utilisa- tion	Egg-yolk reaction	Toxin crystals	Motil- ity	Reduction of nitrate	Anaerobic utilization of glucose	Tyro- sine decom- position	Lyso- zyme resist- ance	VIP reac- tion	Hemol- ytic activ- ity	Ba813 (PCR)	its (PCR)	Species
CT 8	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	<i>Bacillus cereus</i>
CT 37	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	<i>B. licheniformis</i>
CT 38	FA	+ve	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	<i>B. cereus</i>
CT 39	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	<i>B. licheniformis</i>
CT 53	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	<i>B. licheniformis</i>
CT 57	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	<i>B. subtilis</i>
CT 59	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	<i>B. pumilus</i>
CT 77	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	<i>B. licheniformis</i>
CT 94	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	<i>B. subtilis</i>
CT 96	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	<i>B. amyloquefaciens</i>
CT 131	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	
CT 143	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	
CT 150	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	
CT 158	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	
CT 163	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	
CT 166	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	
I 1	A	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	
I 3	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	
I 4	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	
I 6	A	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	
I 7	FA	+ve	(+)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>
I 101	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	<i>B. subtilis</i>

isolate	Oxygen requirement	Gram reaction	spore	Mother cell swollen	Rhizoid growth	Manni- tol utilisa- tion	Egg-yolk reaction	Toxin crystals	Motil- ity	Reduction of nitrate	Anaerobic utilization of glucose	Tyro- sine decom- position	Lyso- zyme resist- ance	VIP reac- tion	Hemol- ytic activ- ity	<i>Ba813</i> (PCR)	<i>its</i> (PCR)	Species
I 102	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	<i>B. subtilis</i>
I 103	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	<i>B. subtilis</i>
I 104	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	<i>B. subtilis</i>
I 105	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	<i>B. subtilis</i>
I 106	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	<i>B. subtilis</i>
I 107	FA	+ve	(+)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	<i>B. subtilis</i>
I 108	FA	+ve	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	<i>B. subtilis</i>

FA: Facultative anaerobic; A:Aerobic; *Ba813*: test for *B. anthracis* –all negative (non anthracis); *its*: internal transcribe spacer fragment for *Bacillus* spp

วิจารณ์ผลการวิจัย

การปรับวิธีการทดลองจากเดิมที่ใช้ระบบกองเดิมอากาศ ปรับเปลี่ยนมาเป็นการผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ที่สามารถตัดค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้า และลดต้นทุนด้านท่ออากาศกับพัดลมโบลเวอร์ ทำให้กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกมีความง่ายมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ภายหลังจากกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ย 60 วัน แล้วทำให้แห้งเพื่อให้จุลินทรีย์สงบตัว ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากทุกตำรับมีค่าผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการ พ.ศ. 2551 รวมทั้งจำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ก็มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งนอกจากจะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ที่ผู้ประกอบการจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกโดยการกองเป็นแถวยาวไม่พลิกกลับกองแล้ว ยังแสดงให้เห็นว่าผู้ประกอบการยังสามารถผสมเศษใบไม้ลงในกระบวนการในปริมาณต่าง ๆ กันได้โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้รวมทั้งจำนวนจุลินทรีย์ อันจะช่วยให้มีการใช้ประโยชน์จากใบไม้เพิ่มขึ้นแทนการเผาทำลายด้วย

การมีเศษใบไม้ในกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยที่มีเศษเปลือกมะม่วงสุก ของการทดลองตำรับ C8 ซึ่งมีส่วนผสมเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ และมูลโค 2 : 2 : 1 โดยปริมาตร ทำให้มีการย่อยสลายแบบ Co-Composting และยังช่วยให้มีการพยุบโครงสร้างภายในกองปุ๋ยไม่ให้เศษเปลือกมะม่วงสุกอัดตัวแน่นจนเกินไปจนอากาศภายนอกไม่สามารถไหลเวียนเข้าไปในกองปุ๋ยได้ และขณะเดียวกันก็ยังมีความพรุนในกองปุ๋ยที่เหมาะสมที่ยังสามารถเก็บความร้อนสะสมไว้ในกองปุ๋ยได้ดี เมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นตามธรรมชาติก็จะเกิดปรากฏการณ์ชักนำเอาอากาศเย็นกว่าที่อยู่ภายนอกให้ไหลเข้าไปในกองปุ๋ยแทนที่ ตามหลักการของการพาความร้อน จุลินทรีย์จึงได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอจากการไหลเวียนของอากาศนี้ตลอดเวลาของกระบวนการ 60 วัน การย่อยสลายจึงเกิดขึ้นได้ดีกว่าการทดลองตำรับอื่น

อย่างไรก็ตาม ในปุ๋ยอินทรีย์จากเศษเปลือกมะม่วงสุกภายหลังจากการติดย่อยด้วยเครื่องย่อยเศษพืชแล้ว ก็ยังมีเศษเมล็ดมะม่วงส่วนหนึ่งที่มอดคั้บประกอบของลิกนินสูงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถทำการย่อยสลายภายในเวลา 60 วันได้ ยังไม่แตกออกเป็นชิ้นเล็ก ซึ่งมีประมาณร้อยละ 5 ของปุ๋ยอินทรีย์ แต่เนื่องจากเศษเมล็ดมะม่วงนี้ประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงกว่าเศษพืชชนิดอื่นคล้ายกับส่วนเปลือกและเมล็ดของผลไม้ทั่วไปสามารถนำไปใช้ปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มขนาดและความหวานของไม้ผลได้ จึงควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคตถึงการใช้ประโยชน์จากเศษเมล็ดมะม่วงที่ยังไม่ย่อยสลายนี้ เพื่อให้ของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์กลับคืนให้มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เดิมมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมเหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระหว่างเปลือกมะม่วงสุกของโรงงานบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ กับเศษใบไม้ และมูลโค ด้วยระบบกองเติมอากาศขนาดกองละ 3 ตันมีความยาวกอง 11 เมตร แต่เนื่องจากผู้วิจัยได้มีการพัฒนาต่อ ยอดระบบกองเติมอากาศมาเป็นวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ที่ไม่จำเป็นต้องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยอีกต่อไป โดยอาศัยหลักการของการพาความร้อน ทำให้มีการไหลเวียนของอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยตามธรรมชาติ จึงได้ปรับการทดลองแบ่งออกเป็น 9 ตำรับที่แปรผันสัดส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุก เศษใบไม้ และมูลโคโดยปริมาตร คือ A1 1:0:1, A2 2:0:1, A3 3:0:1, B1 1:1:1, B2 2:1:1, B3 3:1:1, C1 1:2:1, C2 2:2:1 และ C3 3:2:1 ตามลำดับ ขนาดของกองปุ๋ยแต่ละกองคือ 2.5 x 1.5 x 4.0 เมตร (กว้าง x สูง x ยาว) ซึ่งให้ปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเสร็จแล้วประมาณ กองละ 1 ตัน

ผลการทดลองพบว่า กระบวนการวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีศักยภาพในการนำประโยชน์กลับคืนจากของเสียเศษเปลือกมะม่วงสุกแทนการฝังกลบที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนน้ำใต้ดินในระยะยาว การย่อยสลายใช้เวลาในกระบวนการประมาณ 60 วัน หลังจากนั้นทำให้แห้งด้วยการตากแดด จากการสังเกตพบว่า ตำรับ C8 ที่มีเศษเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ และมูลโค 2 : 2 : 1 โดยปริมาตร มีการย่อยสลายที่ดีที่สุด มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.90 ค่าการนำไฟฟ้า 2.67 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอินทรีย์วัตถุร้อยละ 40.16 มีค่า N ร้อยละ 2.47 P₂O₅ ร้อยละ 0.94 และ K₂O ร้อยละ 1.14 และมีค่า N P₂O₅ และ K₂O รวมกันมีค่าร้อยละ 4.55 มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ร้อยละ 120 โดยค่าคุณภาพของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากทุกตำรับมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 10⁶ - 10⁸ โคโลนีต่อกรัม จำนวนยีสต์และราอยู่ในช่วง 10⁵ - 10⁶ โคโลนีต่อกรัม และจำนวนแอคติโนมัยซีส์อยู่ในช่วง 10⁵ - 10⁶ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างอันเนื่องมาจากอัตราส่วนผสมระหว่างเศษเปลือกมะม่วงสุก ใบไม้ กับมูลโค ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะม่วงที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย

เอกสารอ้างอิง

- ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2549. คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง : ระบบกองเติมอากาศ. กรุงเทพฯ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 48 หน้า.
- ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2550. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษพืชที่เหลือจากการเกษตรกรรมและของเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมล้านนาครั้งที่ 1. 8- 9 สิงหาคม. ศูนย์วิชาการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2554. การศึกษาเบื้องต้นถึงผลของการพาความร้อนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนของกองปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง. การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 7. 29 - 30 กรกฎาคม. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2555. **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. วชิราการพิมพ์. เชียงใหม่. 76 หน้า.

ยงยุทธ โอสธสภ. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Diaz L.F., Savage G.M., Eggerth L.L. and Golueke C.G., 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers. USA.

US.EPA. 1993. Use of Composting for Biosolids Management. [Online]. Available http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_10_15_mtb_combioman.pdf

