

การใช้วัสดุเหลือทิ้งยาสูบเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์
โดยเทคโนโลยีกองสติดูดอากาศ

Tobacco Waste Residue as the N-source for Composting
by Using Negative Pressure Mode Operation

บุญจรัตน์ โจนันท์^{1*} และเกศสุดา สิทธิสันติกุล²

Banjarata Jolanun^{1*} and Katesuda Sitthisuntikul²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

²คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand 50300

²Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: bjolanun@gmail.com

Received: March 26, 2020

Revised: July 15, 2020

Accepted: September 16, 2020

Abstract

The objectives of this research were 1) to apply the tobacco waste residues as major nutrient sources for community-based composting and 2) to investigate the effectiveness of negative pressure mode composting and compost quality for agricultural use of toxic free farming groups of On-Tai municipality, Chiang mai. Two exterior composting piles (1 ton/pile) with dry weight ratio of tobacco waste residues: dry leaves at 300:300 kg (1:1) amended with the organic fertilizer pellets as an inoculum of about 5% per pile (wt,db) were demonstrated. The initial condition of the C/N ratio and moisture content was controlled of 20-25 and 60-65%, respectively. Changes in the physical and chemical properties of the compost were monitored throughout the study (60 days) and the cost-benefit analysis of negative pressure mode composting was also examined. Results revealed that the tobacco waste residues were comprised of high content of the N (3.08%) and organic matter, whereas the content of heavy metals (Pb, Cr, Hg) found was low (<0.05 mg/kg). The performance of negative pressure mode composting rapidly achieved the thermophilic temperatures and leveled off at 61.7-63.0°C for 36 days. The final quality of compost was acceptable according to the recommended Thai standard criteria regulated by Department of Agriculture of Thailand (2548/2551 B.E.). The application of negative pressure mode composting offers the average production rate of compost of about 12 ton/year (wt,db), while the payback period and the cost per kg-compost are 1.36 year (16.32 month) and 0.75 Baht/kg-compost.

Keywords: tobacco residues, nitrogen source, compost, composting, negative pressure

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 1) เพื่อประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งยาสูบเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน และ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพเทคโนโลยีกองสเถียรดูอากาศและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการใช้ประโยชน์ด้านเกษตรของกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ เทศบาลตำบลออนใต้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการศึกษากองหมักขั้นนำร่องขนาด 1 ตันต่อกอง (จำนวน 2 ซ้ำ) วัสดุเหลือทิ้งยาสูบและเศษใบไม้แห้งถูกผสมที่อัตราส่วน 300:300 กิโลกรัม (1:1) โดยมีมูลและผสมปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดร้อยละ 3-5 เป็นต้นเชื้อจุลินทรีย์ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 20-25 และร้อยละ 60-65 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการหมักได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักจนสิ้นสุดการสังเกตการณ์ (60 วัน) รวมทั้งการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ผลการศึกษาพบว่าวัสดุเหลือทิ้งยาสูบมีปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ 3.08 โดยน้ำหนัก) และปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ขณะที่ปริมาณสารกลุ่มโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม และปรอท มีค่าต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การหมักวัสดุเหลือทิ้งยาสูบร่วมกับเศษใบไม้แห้งโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบกองสเถียรดูอากาศให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายและเข้าสู่ช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิก (61.7-63.0°C) อย่างรวดเร็วและนานถึง 36 วัน คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งกำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548/2551) ระบบการหมักแบบกองสเถียรดูอากาศสามารถผลิตปุ๋ยหมักที่อัตราเฉลี่ย 12 ตันต่อปี (มูลเปือก) โดยระบบการหมักมีระยะเวลาคืนทุน 1.36 ปี (16.32 เดือน) และค่าใช้จ่ายในการผลิตเฉลี่ย 0.75 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก

คำสำคัญ: วัสดุเหลือทิ้งยาสูบ แหล่งธาตุไนโตรเจน ปุ๋ย การหมักปุ๋ย ดูดอากาศ

คำนำ

จากปัญหาการปนเปื้อนสารเคมีที่ตรวจพบในเลือดของเกษตรกร และการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินเนื่องจากการใช้สารเคมีในการผลิตติดต่อกันค่อนข้างนานในปริมาณมาก ส่งผลให้ชุมชนเกษตรกรในเทศบาลตำบลออนใต้ได้ตระหนัก ประกอบกับการสนับสนุนจากหน่วยงานด้านการเกษตร และด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ จึงได้รวมกลุ่มทำการเกษตรโดยเน้นการผลิตพืชและผักปลอดสารพิษ ซึ่งการรวมกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษดังกล่าว ทำให้เกษตรกรในพื้นที่ได้ค้นพบความเปลี่ยนแปลงในทางบวกที่เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปทั้งด้านอาชีพและสุขภาพ อย่างไรก็ตามจากการลงพื้นที่สำรวจของคณะผู้วิจัย พบว่ากลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ (เทศบาลตำบลออนใต้) ได้ประสบปัญหาการพึ่งพาตนเองด้านปัจจัยการผลิตอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันกลุ่มผู้เลี้ยงสัตว์ในชุมชนได้เก็บรวบรวมมูลสัตว์ไว้จำหน่ายเองโดยตรง ซึ่งแต่เดิมจะให้กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษนำไปกำจัดโดยผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้นกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษเทศบาลตำบลออนใต้จึงขาดแคลนมูลสัตว์สำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบและแหล่งธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัส/โพแทสเซียม) ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ การขาดแคลนวัตถุดิบหรือวัสดุเหลือทิ้งที่มีศักยภาพเพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะแหล่งธาตุไนโตรเจนสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ส่งผลกระทบต่อการทำเกษตรปลอดสารพิษและความยั่งยืนของกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษเทศบาลตำบลออนใต้

ด้วยพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้ จัดเป็นพื้นที่หนึ่งในเขตภาคเหนือตอนบนที่เกษตรกรได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ (โรงงานยาสูบ) ให้ทำการเพาะปลูกพืชยาสูบเป็น

รายได้เสริมหลังฤดูทำนา โดยเฉพาะพืชยาสูบสายพันธุ์เวอร์รียเนียร์ ประกอบกับพืชยาสูบเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อยให้ผลผลิตสูงในระยะเวลาอันสั้น (ประมาณ 90 วัน) รวมถึงเป็นพืชที่ได้รับโควตาในการปลูกและการประกันราคารับซื้อล่วงหน้าจากโรงงานยาสูบ จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อภัยแล้ง และการขาดทุนให้แก่เกษตรกรร่อนได้ ซึ่งแตกต่างจากการปลูกพืชไร่ชนิดอื่นที่อาจมีความต้องการน้ำสูงกว่า และมีความผันผวนของราคาซื้อขาย จากการลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลการผลิตพืชยาสูบและเศษวัสดุเหลือทิ้ง พบว่าในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้มีอัตราการผลิตพืชยาสูบมากกว่า 100 ตัน (มวลเปียก) ต่อปี และมีโรงบ่มยาสูบทั้งของเอกชน (สหกรณ์เครดิตยูเนี่ยน) และเตาบ่มชุมชนกระจายในพื้นที่มากกว่า 50 เตาบ่ม โดยได้รับโควตาการบ่มใบยาจากโรงงานยาสูบประมาณ 3 ตันต่อเตาบ่ม ดังนั้น พื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้จึงมีเศษชีวมวลเหลือทิ้งยาสูบ (ก้านยาสูบ เศษใบยาสูบ และเศษฝุ่นใบยา) ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกพืชยาสูบ (เศษสด) และการบ่มใบยา (เศษก้านและใบยา) ในปริมาณสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อปี ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม เช่น การเผาทำลาย อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมสู่ชุมชน (ดิน น้ำ อากาศ) ได้โดยง่ายและยากที่จะหลีกเลี่ยง

วัสดุเหลือทิ้งยาสูบจัดเป็นของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสมอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพื่อป้องกันการปนเปื้อนสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมของชุมชน อย่างไรก็ตาม จากรายงาน Shakeel (2014) พบว่าวัสดุเหลือทิ้งยาสูบมีปริมาณธาตุไนโตรเจน (ร้อยละ 2.35) และโพแทสเซียม (ร้อยละ 1.95) ค่อนข้างสูง และยังมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (937 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาหลายผลงานได้บ่งชี้ว่า สารสกัดจากพืชยาสูบ (*Nicotiana tabacum* L.) ซึ่งมีนิโคติน (Nicotine) เป็นสารประกอบอัลคาลอยด์ชนิดหนึ่งสามารถให้ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดและฆ่าแมลง

ศัตรูพืชด้านการเกษตรได้ดี เช่นเดียวกับกับพืชสมุนไพร และพืชท้องถิ่นชนิดอื่น เช่น หางไหล บอระเพ็ด และยูคาลิปตัส เป็นต้น (Yodsing, 2009; Shakeel, 2014) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งยาสูบในท้องถิ่นในเทศบาลตำบลออนใต้ สู่การใช้ประโยชน์ด้านปัจจัยการผลิตให้แก่กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษอย่างเป็นรูปธรรมและถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งยาสูบเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักทดแทนการใช้มูลสัตว์ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีกองสัติดูดอากาศ (Negative pressure mode composting) ภายใต้เงื่อนไขอัตราการดูดอากาศและการใช้พลังงานที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถส่งเสริมให้กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ในช่วงต้นของการหมักเกิดขึ้นได้ดี สามารถพัฒนาอุณหภูมิการหมักแบบเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic composting) และควบคุมความชื้นของกองหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jolanun *et al.*, 2016) ประโยชน์ทางตรงและทางอ้อมที่เกิดขึ้น นอกจากเป็นการลดค่าใช้จ่าย (มูลสัตว์) ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่เกษตรกร ส่งเสริมปัจจัยการผลิต การบำรุงและปรับปรุงธาตุอาหารให้แก่ดิน ผลลัพธ์ที่ได้ยังถือเป็นการส่งเสริมและขับเคลื่อนเกษตรปลอดสารพิษ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวมของชุมชนเทศบาลตำบลออนใต้

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดของการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัย (Figure 1) ได้อธิบายถึงความเชื่อมโยงระหว่างบริบทของกลุ่มเกษตรกรร่อนได้และการจัดการวัสดุเหลือทิ้งด้วยเทคโนโลยีการหมักปุ๋ย โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกองสัติดูดอากาศ (Negative pressure mode composting) ภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานที่ค่อนข้างต่ำ ขณะเดียวกัน การดำเนินระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องการแรงงานและผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมระบบ มีต้นทุนต่ำ จึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่

เหมาะสมในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งยาสูบเป็นแหล่งธาตุอาหารหลัก เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษของเทศบาลตำบลออนใต้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบจึงสามารถส่งผลกระทบต่อฐานเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมโดยรวมให้แก่ชุมชนเกษตรกรออนใต้ ทั้งในด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม รายได้ครัวเรือน และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

วัสดุทดลองและอุปกรณ์

วัสดุเหลือทิ้งยาสูบ และเศษใบไม้แห้ง (ปลั๊กเอเจนท์) ที่ใช้ในการศึกษารวบรวมในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้ โดยวัตถุดิบจะถูกสับย่อยเพื่อลดขนาดลงและทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีก่อนนำไปขึ้นกองหมักปุ๋ย (Table 1) สำหรับระบบเทคโนโลยีกองสัติดูดอากาศที่ใช้ในการทดสอบ Figure 2

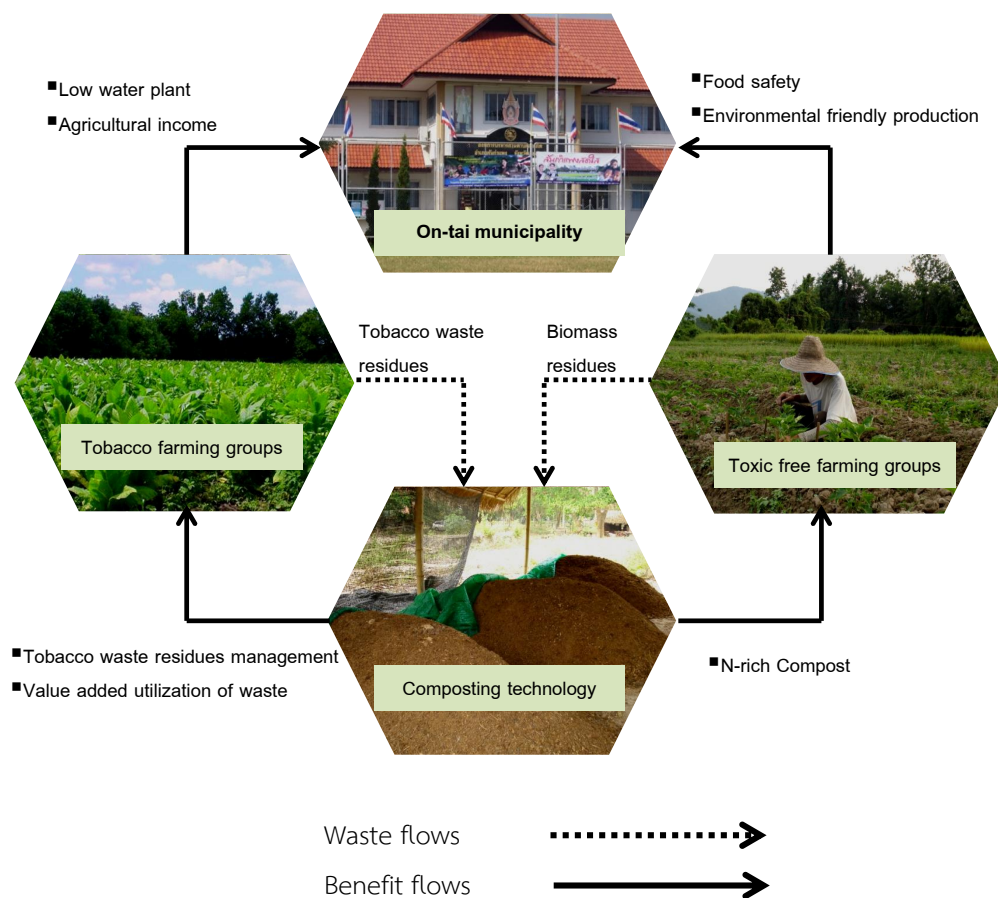


Figure 1 Conceptual framework of research

Table 1 Physical and chemical characteristics of composting materials

Properties	Experimental materials	
	Tobacco waste residues	Bulking agent
Bulk density (g/cm ³)	0.87	0.84
Moisture content (%)	12.01	18.34
pH	6.06	6.79
EC (dS/m)	1.96	0.13
N (%)	3.08	1.29
C (%)	40.23	50.19
Ash (%)	27.58	9.66
C/N	13.23	38.46
Pb (mg/kg)	<0.005	–
Cr (mg/kg)	0.008	–
Cd (mg/kg)	0.021	–
Hg (mg/kg)	<0.005	–

Note: The values are means in duplicates

**Figure 2** Negative pressure mode composting system

การดำเนินงาน

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเทคโนโลยีระบบกองสติดูดอากาศ ในการเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักจะถูกผสมให้เข้ากันระหว่างปริมาณใบไม้แห้ง:วัสดุเหลือทิ้งยาสูบ ที่อัตราส่วน 1:1 ประมาณ 300:300 กก. (มวลแห้ง) โดยผสมปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

สำหรับใช้เป็นต้นเชื้อจุลินทรีย์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 5 โดยมวลต่อกอง (30 กก./กอง) หลังจากนั้นทำการขึ้นกองหมักจำนวน 2 กอง (2 ชั้น) ทำการปรับความชื้นเริ่มต้นให้แก่กองหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 โดยมวลผสมของวัสดุหมักหลังปรับความชื้นมีค่าประมาณ 1 ตันต่อกอง (มวลเปียก) สำหรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

(C/N) เริ่มต้นของการหมักทั้งสองกองมีค่าประมาณ (20-25) และความสูงเริ่มต้นของกองหมักทั้งสองกองสูงประมาณ 1.20 เมตร ตามลำดับ

ตลอดระยะเวลาการศึกษา ได้กำหนดช่วงเวลาการดูอากาศ (0.30 ลบ.ม.ต่อวันต่อกอง) ให้สัมพันธ์กับกิจกรรมการย่อยสลายและการพัฒนาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองหมัก โดยใช้พัดลมดูอากาศขนาด 0.5 แรงม้า (Figure 2) และกำหนดช่วงเวลาการดูอากาศเริ่มต้นที่ 2 ชม.ต่อวัน ควบคู่กับการตรวจวัดการพัฒนาอุณหภูมิของกองหมัก หากการพัฒนาอุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิกของกองหมักลดลงต่ำกว่า 60°C. จะทำการปรับลดช่วงเวลาการดูอากาศเหลือเพียง 1 ชม.ต่อวัน และเมื่ออุณหภูมิของกองหมักลดลงประมาณ 50°C. หรือต่ำกว่า จะทำการหยุดการดูอากาศ โดยจะดำเนินระบบการหมักแบบกองกลางแจ้งไม่มีการพลิกกลับกองแทน (Windrow composting) จนสิ้นสุดการหมัก

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

กรณีการเก็บตัวอย่างจากกองหมักทั้งสองกอง ตลอดช่วงระยะการหมักปุ๋ย ทำการแบ่งความสูงและความกว้างของกองหมักออกเป็น 3 ส่วน แล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุหมัก ณ ตำแหน่งที่ระดับ 1/3 และ 2/3 ของความสูงและความกว้างของกองหมักให้ทั่วถึง หลังจากนั้นจึงคลุกเคล้าตัวอย่างให้เป็นตัวแทนของวัสดุหมักก่อนนำไปวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทั้งในส่วนของวัสดุทดลอง ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งยาสูบและเศษใบไม้แห้ง รวมทั้งวัสดุหมักซึ่งสุ่มเก็บจากกองหมัก จะทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering) โดยแบ่งกองวัสดุออกเป็น 4 ส่วน ที่ใกล้เคียงกัน แล้วเลือก 2 ส่วน ที่กองอยู่ตรงกันข้ามมารวมกัน ส่วนที่เหลือแยกทิ้งไป ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ตัวอย่างวัสดุเพื่อการวิเคราะห์อย่างน้อยประมาณ 2 กก. เพื่อการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (จำนวน 2 ซ้ำ) สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีในห้องปฏิบัติการ อ้างอิง Soil and Plant Analysis Council, Inc. (1999)

นอกจากนี้ ทำการประเมินผลเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบ Paired t-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุหมัก

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยด้วยเทคโนโลยีกองสติดูอากาศ ที่อัตราส่วนผสมใบไม้แห้ง: วัสดุเหลือทิ้งยาสูบประมาณ 1:1 หรือ 300:300 กก. (มวลแห้ง) และผสมปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดสำหรับใช้เป็นต้นเชื้อจุลินทรีย์ที่อัตราส่วนผสมโดยมวลร้อยละ 5 ต่อกอง (30 กก./กอง) ทำการขึ้นกองหมักขนาด 1 ตันต่อกอง จำนวน 2 ซ้ำชุดการทดลอง ภายใต้เงื่อนไขการปรับค่าความชื้นเริ่มต้นในช่วงร้อยละ 50-60 และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เริ่มต้นประมาณ 20-25 พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และเคมีของวัสดุหมักตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก (60 วัน) มีดังนี้

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของกองหมักทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 19.3-19.7°C. หลังจากนั้นอุณหภูมิของกองหมักทั้งสองกองได้พัฒนาเข้าสู่ช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิก (45-65°C.) อย่างรวดเร็วภายใน 5 วันแรกของการหมักปุ๋ย โดยอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เฉลี่ยทั้งสองกองอยู่ในช่วง 61.7-63°C. ซึ่งระยะเวลาการพัฒนาอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิกของทั้งสองกองพบว่ามีนานประมาณ 36 วัน หลังจากนั้นอุณหภูมิกองหมักทั้งสองกองจึงค่อยๆ คลายตัวลดต่ำลงเข้าสู่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงประมาณ 19-30°C. และที่สิ้นสุดการหมัก (60 วัน) พบว่าอุณหภูมิกองหมักของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 34-36°C. ตามลำดับ (Figure 3)

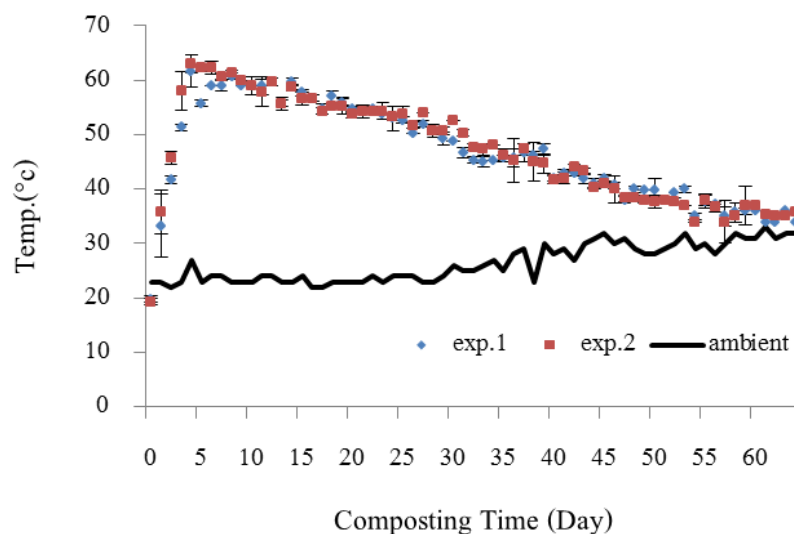


Figure 3 Changes of temperature profiles

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิในกองหมักเป็นผลของความร้อน (Metabolic heat) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ในวัสดุหมักโดยจุลินทรีย์ ดังนั้น การพัฒนาอุณหภูมิของทั้งสองกองที่เข้าสู่ช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิกอย่างรวดเร็วและสามารถรักษาอุณหภูมิช่วง 61.7-63°C. ได้อย่างรวดเร็วและนานถึง 36 วัน บ่งชี้ว่าการหมักปุ๋ยวัสดุเหลือทิ้งจากยาสูบร่วมกับเศษใบไม้แห้งโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดเป็นต้นเชื้อจุลินทรีย์ให้ประสิทธิภาพการหมักที่ดี การควบคุมปัจจัยเริ่มต้นของการหมัก คือ ค่า C/N (20-25) และค่าความชื้น (50-60%) ของกองหมักอยู่ในช่วงที่เหมาะสม นอกจากนี้ เนื่องจากระบบการหมักทั้งสองกองสามารถรักษาอุณหภูมิของกองหมักให้สูงกว่า 55°C. ได้นานกว่า 15 วัน จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดและลดปริมาณเชื้อโรค

ในกองหมัก (Process to Further Reduced Pathogens, PFRPs/App.B of 40CFR Part 503) (Jolanun, 2013; Epstein, 1997; Polprasert, 1996)

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง

ในช่วงแรกของการหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้นของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ 6.6-6.8 หลังจากนั้นค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่อนข้างเป็นด่างอยู่ในช่วง 8.5-10.0 ภายใน 15 วันแรกของการหมัก หลังจากวันที่ 25 ของการหมักเป็นต้นไป ค่า pH ของทั้งสองกองหมักมีค่าลดลงและแปรปรวนเล็กน้อยอยู่ในช่วง 8.0-9.0 จนถึงสิ้นสุดการหมัก (Figure 4)

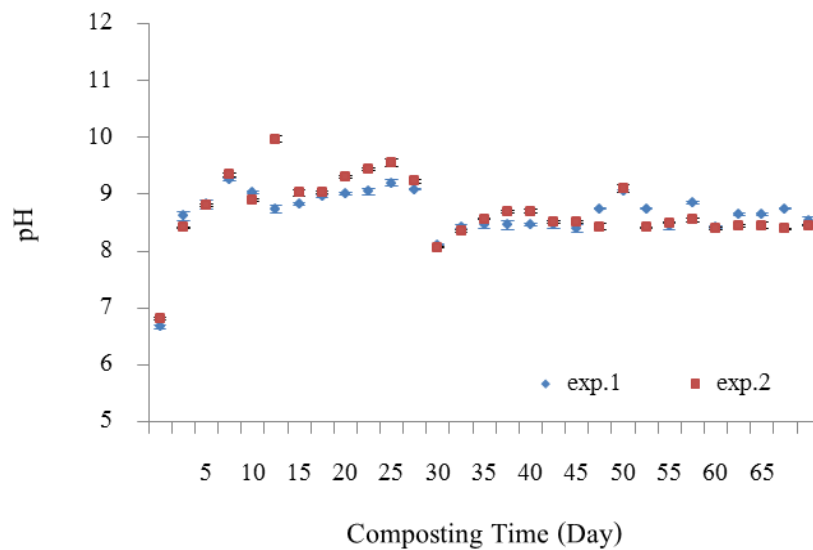


Figure 4 Changes of pH profiles

ในช่วงแรกของการหมัก การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิของกองหมัก ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากกระบวนการ Mineralization ของสารประกอบไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมไอออน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ที่ละลาย จึงส่งผลให้ค่า pH ของวัสดุหมักเพิ่มสูงขึ้นมีค่าเป็นต่างในช่วงประมาณ 8.5-10.0 อย่างไรก็ตาม ในทางทฤษฎีเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นและวัสดุหมักมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ค่า pH ของวัสดุหมักค่อยๆ ลดต่ำลงเข้าสู่ค่า pH ที่เป็นกลาง และค่อนข้างคงที่เมื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ใกล้สิ้นสุดลง (Jolanun *et al.*, 2014; Jolanun, 2013; Jolanun and Towprayoon, 2010; Jolanun *et al.*, 2005; Epstein, 1997; Polprasert, 1996). ซึ่งค่า pH ที่สิ้นสุดการหมัก (8.4-8.5) ของทั้งสองกองพบว่า เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548/2551) ซึ่งกำหนดอยู่ใน ช่วง 5.5-8.5

การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและค่าจลนศาสตร์การหมัก

จากการศึกษาพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) เริ่มต้นของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.1-43.4 และในช่วง 14 วันแรกของการหมัก พบว่าค่าอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองชุดการทดลองลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ในช่วงร้อยละ 30-35 หลังจากนั้นค่าอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองชุดการทดลองจึงค่อยๆ ลดต่ำลงมีค่าประมาณร้อยละ 30 จนถึงสิ้นสุดการสังเกตการณ์ (60 วัน) สำหรับค่าจลนศาสตร์การหมัก (k-rate) พบว่าค่าคงที่การย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองชุดการทดลองเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ($r^2=0.84-0.87$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.004-0.006 ต่อวัน (Figure 5)

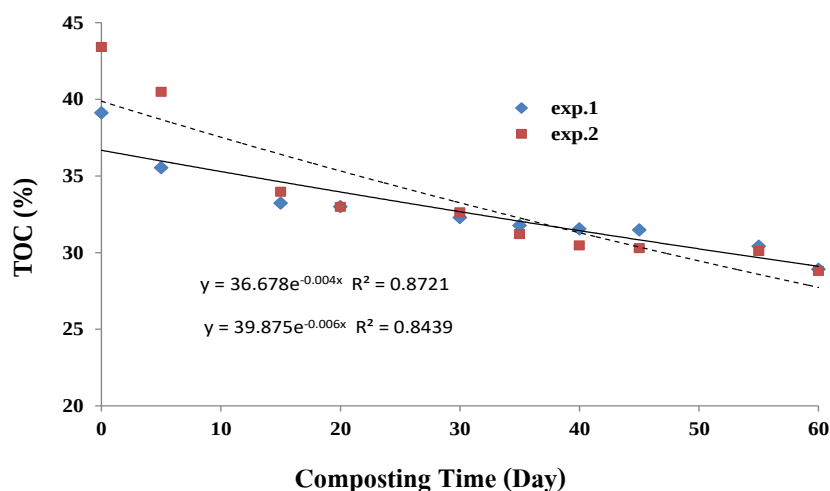


Figure 5 Changes of total organic carbon and the kinetic plot of composting

สำหรับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอน (TOC) เป็นผลจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในกองหมัก ดังนั้น การพัฒนาอุณหภูมิของกองหมักที่สูงในช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิก (61.7-63°C) ประกอบกับการควบคุมความชื้นที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาการหมัก (50-60%) จึงส่งผลให้ค่าอินทรีย์คาร์บอนของวัสดุหมักทั้งสองกองลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการลดลงของค่าอินทรีย์คาร์บอนอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการหมักบ่งชี้ว่า เทคโนโลยีการหมักแบบกองสติดูดอากาศสามารถประยุกต์ใช้ในการหมักวัสดุเหลือทิ้งยาสูบร่วมกับเศษใบไม้แห้งอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ กระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีในกองหมักพบว่า เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Jolanun *et al.*, 2016; Jolanun and Towprayoon, 2010; Jolanun *et al.*, 2005) และไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดระหว่างทั้งสองกองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

คุณภาพปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบ

หลังจากวันที่ 60 ของการหมัก (สิ้นสุดการสังเกตการณ์) ผลการศึกษาพบว่า วัสดุหมักของทั้งสองกองได้แปรสภาพเป็นปุ๋ยหมัก เนื้อวัสดุและกลิ่นมีลักษณะคล้ายดินและมีสีน้ำตาลเข้ม จากผลการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก (Table 2) พบว่าปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548/2551) นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารหลัก (N) ทดแทนการใช้มูลสัตว์ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ เทศบาลตำบลออนใต้ ได้เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เนื่องจากปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงถึง 4.6% โดยน้ำหนัก ขณะที่ปริมาณธาตุไนโตรเจนในมูลสัตว์ (มูลวัว) ซึ่งรายงานโดย Jolanun *et al.* (2014) มีค่าอยู่ในช่วง 1-2% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (52% โดยน้ำหนัก) ที่ค่อนข้างสูงและไม่ส่งผลเป็นพิษต่อพืช (ค่าดัชนีการออก, GI 86%)

Table 2 Properties of final compost produced from tobacco waste residues

Parameters	Compost (tobacco waste residues)
Size (passing sieve 12.5x12.5 mm) of particle (%)	100
Moisture (%)	30% (after curing)
Stones and other consolidated mineral	none
Foreign materials (glass, plastic, metal)	none
Organic matter (% by wt)	52%
pH	8.4
C/N ratio	6.2-6.4
EC (dS m ⁻¹)	0.46 dS m ⁻¹
N (% by wt)	4.6%
P ₂ O ₅ (% by wt)	0.4%
K ₂ O (% by wt)	5.8%
Germination index (GI,%)	86%

Note: The values are means in duplicates

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบเทคโนโลยีกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบ ทำการประเมินที่อัตราการผลิตปุ๋ยหมัก 2 กอง (วัสดุเหลือทิ้งยาสูบ+เศษใบไม้แห้ง) เฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อปี (มวลเปียก) ทำการขึ้นกองหมักพร้อมกันจำนวน 2 กอง (ขนาด 1 ตันต่อกอง) ดังนั้นรวมวัสดุหมัก (วัสดุเหลือทิ้งยาสูบ+เศษใบไม้แห้ง) ทั้งหมดเฉลี่ย 20 ตันต่อปี (มวลเปียก) เพื่อคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบ และผลตอบแทน โดยไม่คิดค่าเสื่อมราคาของระบบ (อายุการใช้งาน >5 ปี) ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขและข้อมูลประกอบการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ดังนี้

- ต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ของระบบ (จำนวน 2 กอง) รวมประมาณ 15,000 บาท (Table 3)

- ค่าแรงงานคน 300 บาทต่อคนต่อวัน (สำหรับการขึ้นกองปุ๋ยหมัก จำนวน 2 คน สำหรับระบบการหมักแบบ 2 กอง)

- ระยะเวลาเต็มอากาศใช้พัดลมขนาด 0.373 kW, Eff. 50% ใช้เวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน

- ราคาโรงเรือนชั่วคราวขนาด 4x6 เมตร ต้นทุนประมาณ 25,000 บาท

- ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดราคาเฉลี่ย 350 บาทต่อ 1 กระสอบ (50 กก.) หรือคิดเป็นราคาเฉลี่ย 7 บาท/กก.

- ราคาปุ๋ยหมัก คิดที่อัตรา 3 บาทต่อกก.-ปุ๋ยหมัก

- ไม่คิดราคาเศษวัสดุติดในการหมัก เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งภายในชุมชน

- ระบบผลิตปุ๋ยหมักนี้ผลิตได้ในอัตรา 600 กก. ต่อกอง (วัสดุหมักเริ่มต้น 1 ตันต่อกอง หรือ 1,000 กก. ต่อกอง) หรือคิดเป็นร้อยละ 60 โดยมวล (มวลเปียก)

- ค่าไฟฟ้า อัตราหน่วยละ 3 บาท

Table 3 Cost estimation for system and equipment

Descriptions	System installation (2 Piles)	
	No.	Baht
PVC Ø 4 in (class 8.5, 4 m)	1 pcs	629
PVC Ø 3 in (class 8.5, 4 m)	2 pcs	750
PVC ball valve Ø 4 in	1 pcs	300
PVC ball valve Ø 3 in	2 pcs	560
PVC reducing socket Ø 4 in to Ø 3 in	2 pcs	94
PVC three way elbow Ø 4 in	2 pcs	198
PVC cap Ø 4 in	1 pcs	110
PVC elbow Ø 4 in	2 pcs	198
Triangle steel bracket with PVC net (1.70 m)	2 set	2,000
Blower 1/2 hp (max. air flow rate 250 m ³ /h)	1 set	5,500
Electric wire VCT no.2 x 2.5 BCC (50 m)	1 set	2,060
Electric control cabinet	1 set	800
Sun shade net (20 m)	1 set	700
Miscellaneous other material	-	1,000
Total	-	14,899≈15,000

Cost estimation was based on the year of 2016-2017. Total cost estimation was approximately 15,000 Baht (2 Piles).

ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตเฉลี่ยต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก (Table 4) พบว่า งบลงทุนเริ่มต้น ซึ่งรวมทั้งการจัดสร้างโรงเรือนชั่วคราว (25,000 บาท) และค่าวัสดุอุปกรณ์ (15,000 บาท) ทั้งหมดรวมเป็นเงิน 40,000 บาท สำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบต่อปี ซึ่งประกอบด้วยค่าไฟฟ้า (900 บาทต่อปี) ค่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (2,100 บาทต่อปี) และค่าแรง (6,000 บาทต่อปี) รวมทั้งสิ้น 9,000 บาทต่อปี ขณะที่ระบบการหมัก (จำนวน 2 กอง) สามารถผลิตปุ๋ยหมักรวมกันได้

ที่อัตราประมาณ 12 ตันต่อปี (มวลเปียก) และหากกำหนดราคาปุ๋ยหมักในอัตรา 3 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่า การประยุกต์ใช้ระบบการหมักแบบกองสัณฐานอากาศให้ผลตอบแทนจากการขายปุ๋ยหมักประมาณ 36,000 บาทต่อปี ระบบการหมักมีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 1.36 ปี (16.32 เดือน) และค่าใช้จ่ายในการผลิต (Operating cost) เฉลี่ย 0.75 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก ตามลำดับ

Table 4 Cost-benefit analysis of negative pressure mode composting (2 piles)

Items	Baht
Fixed capital investment	
Equipment	15,000
Building	25,000
Total	40,000
Annual operating cost (Baht/year)	
Electricity (3 Baht/unit/day x 60 day/time x 5 time/year)	900
Labor (4 person/time x 300 Baht/day/person x 5 time/year)	6,000
Organic fertilizer pellets (300 kg/yr x 7 Baht)	2,100
Total	9,000
Yearly income (Baht/year)	
Quantity of compost (kg-compost/year)	12,000
Price of compost (3 Baht/kg-compost)	36,000
Payback period (year)	1.36
Operating cost per kg-compost (Baht/kg-compost)	0.75

Cost-benefit analysis was based on two piles of composting operation.

สรุปผลการวิจัย

ในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งยาสูบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการสู่การใช้ประโยชน์ด้านปัจจัยการผลิตให้แก่กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษเทศบาลตำบลออนใต้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

วัสดุเหลือทิ้งยาสูบบ่มองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนทดแทนมูลสัตว์ในการหมักปุ๋ยให้แก่เกษตรกรได้เป็นอย่างดีเนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งยาสูบบ่มมีปริมาณไนโตรเจน (3.08% โดยมวลแห้ง) และปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง นอกจากนี้ไม่พบการปนเปื้อนของสารกลุ่มโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม และปรอท ในปริมาณที่จะส่งผลเป็นพิษต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระบวนการ

หมักหรือการดูดซับของพืชเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร (ต่ำกว่า 0.05 มก./กก.)

การหมักวัสดุเหลือทิ้งยาสูบร่วมกับเศษใบไม้แห้งโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบกองสไลด์ดูอากาศให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองหมักค่อนข้างเร็ว โดยค่าคงที่การย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดพบว่าเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและมีค่าอยู่ในช่วง 0.004-0.006 ต่อวัน นอกจากนี้การพัฒนาอุณหภูมิของกองหมักพบว่าเข้าสู่ช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิก (61.7-63°C.) อย่างรวดเร็วภายใน 5 วันแรกของการหมักและคงระดับอุณหภูมิที่สูงนานประมาณ 36 วัน จึงให้ประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดและลดปริมาณเชื้อโรคในกองหมัก รวมทั้งคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งกำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548/2551)

ระบบการหมักแบบกองสติดูดอากาศสำหรับชุมชนสามารถผลิตปุ๋ยหมัก (ขึ้นพร้อมกันจำนวน 2 กอง) ที่อัตราเฉลี่ย 12 ตันต่อปี (มวลเปียก) โดยให้ผลตอบแทนจากการขายปุ๋ยหมักประมาณ 36,000 บาทต่อปี ขณะเดียวกัน ระบบการหมักมีระยะเวลาคืนทุน 1.36 ปี (16.32 เดือน) และค่าใช้จ่ายในการผลิตเฉลี่ย 0.75 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง การใช้วัสดุเหลือทิ้งยาสูบเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สำหรับกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ เทศบาลตำบลออนใต้ จังหวัดเชียงใหม่ สนับสนุนโดย ศูนย์ส่งเสริมการวิจัยในภูมิภาคเอเชียของมูลนิธิเกาหลีเพื่อการศึกษาขั้นสูง ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ รวมทั้งกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Epstein, E. 1997. **The Science of Composting**. Lancaster: A Technomic Publishing. 487 p.
- Jolanun, B., S. Tripetchkul, C. Chiemchaisri, P. Chaiprasert and S. Towprayoon. 2005. Effect of moisture content on fed batch composting reactor of vegetable and fruit wastes. **Environmental Technology** 26: 293-301.
- Jolanun, B. and S. Towprayoon. 2010. Novel bulking agent from clay residue for food waste composting. **Bioresource Technology** 101(12): 4484-4490.
- Jolanun, B. 2013. **Composting: Science & Technology Simplified**. Chiang Mai: Mr.James Design and Print. 155 p. [in Thai].
- Jolanun, B., C. Kaewkam, O. Bauoon and C. Chiemchaisri. 2014. Turned windrow composting of cow manure as appropriate technology for zero discharge of mulberry pulp wastewater. **Environmental Technology** 35(16): 2104-2114.
- Jolanun, B., K. Sasudjit and M. Maungrung. 2016. Negative Pressure Mode for Composting of Wastewater from Mulberry Pulp and Paper Handicraft. pp. 22-27. *In Proceedings of the 2nd Environment and Natural Resources International Conference (ENRIC 2016) 16-17 November 2016*. Ayutthaya: Mahidol University.
- Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling 2nd Edition**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 412 p.
- Shakeel, S. 2014. Consideration of tobacco dust as organic amendment for soil: A soil & waste management strategy. **Earth Sciences** 3(5): 117-121.
- Soil and Plant Analysis Council, Inc. 1999. **Soil Analysis Handbook of Reference Methods**. Boca Raton: CRC Press. 247 p.
- Yodsing, N. 2009. **Production of Crude Extract from Herbs for Insecticides**. Master Thesis. Ubon Ratchathani Rajabhat University. 95 p. [in Thai].