

การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผัก และกากไขมัน

Co-Compost Production from Sewage Sludge Mixed with Vegetable Wastes and Scum

รัชกร นามกร^{1/} สุเทพ ศิลพานันท์กุล^{1/} พิศิษฐ์ วัฒนสมบุญ^{1/} และธวัช เพชรไทย^{1/}
Ratchakorn Namkorn^{1/}, Suthep Silapanuntakul^{1/}, Pisit Vatanasomboon^{1/} and Tawach Prechthai^{1/}

Abstract: The objectives of the study were to determine the physical and chemical characteristics of co-composts and their quality. The co-composts were produced from residue wastes (sewage sludge from domestic wastewater treatment plant, vegetable waste and scum) as an alternative for recycling and reducing solid wastes. The study was consisted of 3 experiments: experiment 1) sewage sludge : vegetable waste, 2) sewage sludge : scum, and 3) sewage sludge : vegetable waste : scum. The total weight of all experiment was 14 kg. The result showed that after composting composts (56 days) had the residual weight of experiment 1, 2, and 3 reduced to 2.47 kg, 11.09 kg, and 3.07 kg, the pH 8.71, 5.44, and 6.91, total organic carbon 26.16 %, 49.40 and 31.84 %, C:N ratio 16.56:1, 88.22:1, and 20.91:1, respectively. In addition, the highest degradation rate was found in the experiment 1 followed by experiment 3 and 2. The major nutrient and heavy metals (Cu, Cd, and Pb) of the finished compost were observed to meet the compost standard of Land Development Department. The percentage of N, P and K in experiment 1, 2, and 3 were 1.58 - 2.32 - 2.19, 0.56 - 0.98 - 0.50 and 1.52 - 1.96 - 2.00, respectively. The findings suggested that the compost of experiment 1 and 3 might be suitable for soil amendments.

Keywords: Co-compost production, sewage sludge, vegetable wastes, scum

^{1/}ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตราชวิถี กรุงเทพฯ 10400

^{1/}Department of Environmental Health Science, Faculty of Public Health, Mahidol University, Ratchathewi Campus, Bangkok, 10400, Thailand

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักร่วม และคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้ง ประเภทกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนหมักร่วมกับเศษผักและกากไขมัน สำหรับเป็นทางเลือกในการนำกลับมาใช้ประโยชน์และลดปริมาณมูลฝอย โดยมีรูปแบบการทดลองดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้กากตะกอนน้ำทิ้ง : เศษผัก ชุดการทดลองที่ 2 ใช้กากตะกอนน้ำทิ้ง : กากไขมัน และชุดทดลองที่ 3 ใช้กากตะกอนน้ำทิ้ง : เศษผัก : กากไขมัน โดยมีน้ำหนักรวมเริ่มต้นที่ 14 กิโลกรัม ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 หลังสิ้นสุดการหมัก (ระยะเวลา 56 วัน) มวลลดลงเหลือ 2.47, 11.09 และ 3.07 กิโลกรัม ค่าพีเอช เท่ากับ 8.71, 5.44 และ 6.91 ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 26.16, 49.40 และ 31.84 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16.56:1, 88.22:1 และ 20.91:1 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของชุดการทดลองที่ 1 ให้ผลดีที่สุด รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3 และ 2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคุณภาพปุ๋ยหมักจากธาตุอาหารหลักและไลหะหนัก (ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว) ของทั้งสามชุดการทดลองตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าร้อยละของปริมาณไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส-โพแทสเซียม เท่ากับ 1.58 - 2.32 - 2.19, 0.56 - 0.98 - 0.50 และ 1.52 - 1.96 - 2.00 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองที่ 1 และ 3 อาจมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพของดินได้

คำสำคัญ: การผลิตปุ๋ยหมักร่วม กากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผัก กากไขมัน

คำนำ

มูลฝอยหรือวัสดุเหลือทิ้งชุมชนเป็นปัญหาสำคัญและนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นมาจนถึงปัจจุบัน สืบเนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากร การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การขยายตัวทางอุตสาหกรรม และการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ ทำให้ขยะมูลฝอยมีปริมาณสูงขึ้นตามมา ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้หมดในระยะเวลาอันสั้น ถ้าไม่มีการกำจัดหรือจัดการให้ถูกต้องและเหมาะสม ปัญหาความสกปรกต่าง ๆ กลิ่นเหม็น และแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม จากสถิติในปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 41,410 ตัน/วัน (ไม่รวมปริมาณขยะมูลฝอยก่อนนำมาทิ้งถัง) ซึ่งการจัดการในกรุงเทพมหานครสามารถเก็บขนขยะมูลฝอยได้ทั้งหมด 8,834 ตัน/วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 63 จากนั้นจะถูกนำไปกำจัดยังสถานที่ฝังกลบ ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 12 จะถูกนำไปหมักทำปุ๋ย (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) อย่างไรก็ตามมูลฝอยที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีองค์ประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะขยะอินทรีย์หรือขยะที่สามารถย่อยสลาย เช่น เศษผัก สามารถนำมาหมัก

ทำปุ๋ยได้ร้อยละ 45 – 50 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551ก) ส่วนตะกอนน้ำทิ้งนั้นถือว่าเป็นมูลฝอยประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ และเมื่อพิจารณาจากควบคุมคุณภาพน้ำในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครในปัจจุบันพบว่าทั้งหมด 7 แห่ง มีตะกอนน้ำทิ้งเกิดขึ้นปริมาณเฉลี่ย 40-50 ลูกบาศก์เมตร/วัน (เกษตรฯ และนิสิตา, 2550) ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดด้วยวิธีต่าง ๆ ด้วย นอกจากนี้ปัจจุบันพบว่ากากไขมันที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารนั้นจะมีปริมาณมากขึ้นและเป็นปัญหาในการกำจัด โดยปริมาณกากจะเพิ่มตามขนาดของพื้นที่ร้านอาหาร ซึ่งผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าร้านอาหารขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีอัตราการเกิดกากไขมัน เท่ากับ 1.5, 4.2 และ 19.2 กิโลกรัม/วัน (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551ข) กากไขมันนี้หากนำไปกำจัดไม่ถูกวิธีหรือเพียงเอาไปฝังกลบจะส่งกลิ่นเหม็น ขณะที่น้ำชะกากไขมันที่เกิดขึ้นอาจปนเปื้อนสู่ลำน้ำได้ดินได้ หรือถ้านำไปเผาก็ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศตามมาได้ ประทุม และกิตติพงษ์ (2556) ได้เสนอการออกแบบบ่อฝังกลบขยะป้องกันสารพิษโดยผสมน้ำยางธรรมชาติโดยใช้อัตราส่วนผสมร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียวซึ่งสามารถลดการซึมของน้ำเสียจะพอขยะได้ดี มูลฝอยดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเป็นปัญหาที่ยั่งยืนในการกำจัด แม้ว่ามูลฝอยเหล่านี้จะมีศักยภาพสำหรับการนำกลับมาใช้

ประโยชน์ใหม่ได้ก็ตาม แต่ก็พบว่าการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ยังคงมีน้อย ซึ่งหากมีการจัดการโดยการนำมาทำปุ๋ยหมักก็น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถกำจัดและลดปริมาณมูลฝอยหรือวัสดุเหลือทิ้งชุมชนได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งจะมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร และช่วยส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์ให้มากขึ้น ด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน (Aiemsumaang, 1999) และการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสดร่วมกับกากตะกอนน้ำทิ้ง (Vajarapana, 2003) พบว่าคุณภาพปุ๋ยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ตามมาตรฐาน ส่วนโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ไม่เกินค่ามาตรฐาน และการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับขุยมะพร้าว พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมเพียงพอสำหรับเกณฑ์ปุ๋ยหมัก แต่ปริมาณฟอสฟอรัสยังต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Jaipetch, 2000)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผัก และกากไขมัน เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักในแต่ละชนิด และคุณภาพปุ๋ยหมักเพื่อนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนการทดลอง คือ นำกากตะกอนมาผสมร่วมกับเศษผัก กากตะกอนมาผสมร่วมกับกากไขมัน และกากตะกอนผสมร่วมกับเศษผัก และกากไขมัน โดยเก็บรวบรวมกากตะกอนน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง เศษผัก เก็บรวบรวมมาจากโรงอาหารคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และกากไขมันเก็บรวบรวมมาจากถังดักไขมันโรงอาหาร โรงพยาบาลราชวิถี

การเตรียมวัสดุหมัก

เตรียมกากตะกอนโดยนำไปผึ่งลมให้แห้ง หลังจากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนเศษผักจะนำมาทำการลดขนาด โดยการตัดและสับให้มีขนาด 2-3 เซนติเมตร และกากไขมันคัดแยกเอาเฉพาะกากที่ลอยอยู่ด้านบนของถังดักไขมัน ดังภาพที่ 1 จากนั้นนำวัสดุหมักมาผสมกันตามสัดส่วนที่ได้การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุก่อนการหมักจากการคำนวณ C : N ratio เริ่มต้นให้อยู่ในช่วงระหว่าง 25:1-30:1 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ย ในแต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ น้ำหนักรวมถังละ 14 กิโลกรัม ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ถังหมักพลาสติกขนาด 36 ลิตร โดยเปิดฝาดังเพื่อให้มีการเติมอากาศ ใช้ตาข่ายในลอนคลุมปิดเพื่อป้องกันการรบกวนจากแมลง ในขณะหมักจะทำการกลับกองทุก ๆ 7 วัน ใช้ระยะเวลาการหมัก 56 วัน (2 เดือน) จากนั้นสุ่มตัวอย่างในชุดทดลองเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีทั้งก่อนการหมักและสิ้นสุดการหมัก

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

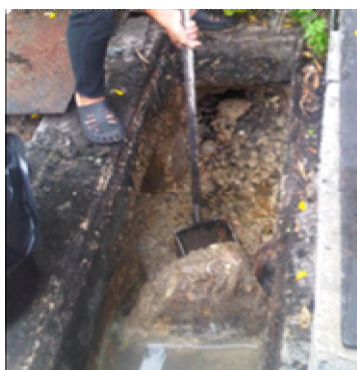
การวิเคราะห์ตัวอย่างแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้นวิเคราะห์ด้วยวิธี oven drying 105 °C และการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช โดยใช้ pH meter ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนวิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion method 550 °C อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยการคำนวณ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้ vanado-molybdate yellow color ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว) โดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (AAS)



(1A) sewage sludge



(1B) vegetable waste



(1C) scum



(1D) composter tank

Figure 1 Preparation of waste materials and composter tank

Table 1 Amount of mixed waste materials for the experiment

Type	Experiment	Proportion	Volume (wet weight, kg)		
			Sludge	Vegetable waste	Scum
1	Sludge : Vegetable waste	2:5	4	10	-
2	Sludge : Scum	2:5	4	-	10
3	Sludge : Vegetable waste : Scum	2:4:1	4	8	2

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. คุณลักษณะของกากตะกอน เศษผัก และกากไขมัน

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุก่อนการหมัก ดังตารางที่ 2 พบว่า กากไขมันมีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือ กากตะกอน และเศษผัก ความชื้นในเศษผักมีค่ามากที่สุด ส่วนกากตะกอนมีค่าพีเอชเป็นกลาง และกากไขมันมีค่าพีเอชเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในกากไขมันมีค่ามากที่สุด ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในกากตะกอนมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ เศษผัก และกากไขมัน ปริมาณโพแทสเซียมในเศษผักมีค่ามากที่สุด จากผลการทดลองการหมัก ดังสรุปไว้ใน ตารางที่ 3 พบว่า เมื่อสิ้นสุดการหมักความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันของชุดการทดลองที่ 1 และ 3 คือร้อยละ 69.83 $\pm$ 1.46 และ 65.95 $\pm$ 0.25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากเศษผักเป็นวัสดุหมักที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี จึงส่งผลต่อความชื้นสูง เป็นผลให้ความชื้นเริ่มต้นของการหมักสูงเช่นกัน ประกอบกับระยะเวลาการหมักสั้นทำให้ความชื้นยังคงเหลืออยู่มาก ต้องอาศัยการพลิกกลับกองเพื่อช่วยให้ความชื้นระเหยได้ดีขึ้น เมื่อสิ้นสุดการหมักค่าความชื้นจึงลดลง ขณะเดียวกันชุดการทดลองที่ 2 มีค่าความชื้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 20.53 $\pm$ 0.36 คาดว่ามาจากวัสดุหมักประเภทกากไขมันที่มีค่าความชื้นเดิมน้อย ความหนาแน่นมาก ทำให้การเก็บสะสมความชื้นต่ำ และอุณหภูมิไม่สูงพอทำให้ของเหลวในระบบระเหยออกไปได้น้อย (Kongrod, 2003)

ค่าพีเอชเริ่มต้นของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 5.58 $\pm$ 0.28, 5.09 $\pm$ 0.25 และ 5.14 $\pm$ 0.05 ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการหมักชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น คือ 8.71 $\pm$ 0.17 และ 6.91 $\pm$ 0.33 ตามลำดับ เนื่องมาจากวัสดุหมักที่ผสมร่วมเกิดการย่อยสลายในสภาวะเดิมอากาศเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในวัสดุหมักลดลง (Kongrod, 2003) เมื่อสิ้นสุดการหมักแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพีเอชสูงขึ้น ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก คือ 5.44 $\pm$ 0.33 ซึ่งคาดว่าเนื่องจาก

กากไขมันมีความเป็นกรดมากกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น และเมื่อพิจารณาพบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2005) กำหนดไว้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสม ไว้ในช่วง 5.5-8.5

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเริ่มต้นหมักของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 37.10 $\pm$ 0.85, 47.24 $\pm$ 0.17 และ 47.03 $\pm$ 0.60 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีค่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 26.16 $\pm$ 0.19 และ 31.84 $\pm$ 0.33 ตามลำดับ ทั้งนี้มีสาเหตุจากจุลินทรีย์ในวัสดุหมักย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำและสารอื่นๆ และสามารถเปลี่ยนคาร์บอนจากอินทรีย์สารไปเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ (Aiamsuamang, 1999; Jaipetch, 2000) แต่ชุดการทดลองที่ 2 มีกากไขมันเป็นองค์ประกอบทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเกิดการย่อยสลายยากกว่า

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นการหมักของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 26.07:1, 34.33:1 และ 31.50:1 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีแนวโน้มการย่อยสลายที่ลดลงร้อยละ 16.56:1 และ 20.91:1 ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นแหล่งอาหารที่จำเป็นอย่างเพียงพอ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่า 20 ตามเกณฑ์คุณภาพปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน แต่ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น คือ 88.22:1 เนื่องมาจากกากไขมันเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนมาก แนวโน้มการย่อยสลายจึงยากมาก

ปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นการหมักของทั้งสามชุดการทดลอง คือ ทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 115.15 - 238.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม มีค่าอยู่ในช่วง 0.84 - 0.98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่ว มีค่าอยู่ในช่วง 2.31 - 2.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการหมักทั้งสามชุดการทดลอง คือ ทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 101.17-372.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม มีค่าอยู่ในช่วง 0.86-1.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่ว มีค่าอยู่ในช่วง 2.35-2.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโลหะหนักเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการหมัก 56 วัน

เนื่องมาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้สารอินทรีย์ โดยเฉพาะโลหะหนักคงรูปมากขึ้น แต่ปริมาณโลหะหนักมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน คือ ทองแดงและตะกั่วมีค่าต่ำกว่า 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียมมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่ายอมรับได้ ประสิทธิภาพการย่อยสลายเมื่อสิ้นสุดการหมักมีแนวโน้มลดลงในทั้งสามชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากอัตรามวลรวมในแต่ละชุดการทดลองเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น โดยพบว่าลักษณะเนื้อปุ๋ยมีความร่วนซุย และมีความพรุนสูง ดังภาพที่ 2 โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงที่สุด คือ ร้อยละ 82 $\pm$ 0.81 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าร้อยละ 78 $\pm$ 0.12 เนื่องมาจากเศษผักเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายและปรับสภาวะการหมักปุ๋ยได้ดีขึ้น แต่ในชุดการทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายน้อย ซึ่งคาดว่าเนื่องจากปริมาณวัสดุหมักประเภทไขมันมีปริมาณมากทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ยาก เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักหลังจากนำวัสดุหมักผสมรวมแล้วดังตารางที่ 4 สรุปได้ว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นร้อยละ 1.42 และ 1.58 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.58 และ 1.52 ตามลำดับ เนื่องมาจากการใช้ไนโตรเจนเป็นแหล่งอาหารในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ (Aiemsumaang, 1999) ส่วนชุด

การทดลองที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นร้อยละ 1.38 เมื่อสิ้นสุดการหมักมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 0.56 เนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ได้

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นร้อยละ 1.29, 0.79 และ 1.18 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.32, 0.98 และ 1.96 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 2 มีกากไขมันผสมอยู่และปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaipetch (2000) ที่ศึกษาการย่อยสลายกากไขมันโดยการทำปุ๋ยหมัก พบว่าคุณภาพปุ๋ยมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่ามาตรฐาน เมื่อทำการเติมกากตะกอนและเศษผักลงไปจะเข้าไปเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสให้สูงขึ้น ส่งผลให้ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสมากขึ้นได้

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นร้อยละ 1.83, 0.23 และ 1.51 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.19, 0.50 และ 2.00 เนื่องมาจากชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีการเติมวัสดุหมักประเภทเศษผักซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมสูง ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นได้

Table 2 Physical and chemical characteristics of waste materials

Parameter	Type of materials		
	Sludge	Vegetable waste	Scum
Density (g/cm ³)	0.85	0.35	1.00
Moisture content (%)	82.00	93.00	51.00
pH	6.63	5.92	4.35
Fat oil and grease (%)	*	*	92.00
Total organic carbon (%)	30.00	47.90	55.00
C:N ratio	9.55	31.72	49.11
Total Kjeldahl nitrogen (%)	3.14	1.51	1.12
Total phosphorous (%)	0.83	0.36	0.01
Total potassium (%)	0.02	1.86	0.02
Cu (mg/kg)	655.00	3.25	7.25
Cd (mg/kg)	0.50	**	**
Pb (mg/kg)	45.50	1.50	1.00

*not measured

** referred to detection limit of Cd



(2A) co-compost of experiment 1 (2B) co-compost of experiment 2 (2C) co-compost of experiment 3

Figure 2 The finished composts (56 days)

Table 3 Physical and chemical characteristics of co-compost before composting (0 day) and after composting (56 days)

Parameters		Average $\pm$ S.D.		
		Experiment 1 (Sludge : Vegetable waste)	Experiment 2 (Sludge : Scum)	Experiment 3 (Sludge : Vegetable waste : Scum)
Moisture content (%)	Before	88.79 $\pm$ 0.79	54.72 $\pm$ 0.65	86.54 $\pm$ 1.04
	After	69.83 $\pm$ 1.46	20.53 $\pm$ 0.36	65.95 $\pm$ 0.25
pH	Before	5.58 $\pm$ 0.28	5.09 $\pm$ 0.25	5.14 $\pm$ 0.05
	After	8.71 $\pm$ 0.17	5.44 $\pm$ 0.33	6.91 $\pm$ 0.33
Total organic carbon (%)	Before	37.10 $\pm$ 0.85	47.24 $\pm$ 0.17	47.03 $\pm$ 0.60
	After	26.16 $\pm$ 0.19	49.40 $\pm$ 0.33	31.84 $\pm$ 0.33
C:N ratio	Before	26.07:1	34.33:1	31.50:1
	After	16.56:1	88.22:1	20.91:1
Total Kjeldahl nitrogen (%)	Before	1.42 $\pm$ 0.02	1.38 $\pm$ 0.05	1.49 $\pm$ 0.07
	After	1.58 $\pm$ 0.04	0.56 $\pm$ 0.02	1.52 $\pm$ 0.11
Total phosphorous (%)	Before	1.29 $\pm$ 0.07	0.79 $\pm$ 0.04	1.18 $\pm$ 0.03
	After	2.32 $\pm$ 0.59	0.98 $\pm$ 0.04	1.96 $\pm$ 0.10
Total potassium (%)	Before	1.83 $\pm$ 0.66	0.23 $\pm$ 0.03	1.51 $\pm$ 0.22
	After	2.19 $\pm$ 0.05	0.50 $\pm$ 0.05	2.00 $\pm$ 0.01
Cu (mg/kg)	Before	238.22 $\pm$ 0.01	115.15 $\pm$ 0.03	147.86 $\pm$ 0.01
	After	372.86 $\pm$ 0.12	101.17 $\pm$ 0.09	263.45 $\pm$ 0.10
Cd (mg/kg)	Before	0.98 $\pm$ 0.03	0.84 $\pm$ 0.03	0.92 $\pm$ 0.03
	After	1.03 $\pm$ 0.01	0.86 $\pm$ 0.01	0.96 $\pm$ 0.01
Pb (mg/kg)	Before	2.39 $\pm$ 0.07	2.31 $\pm$ 0.08	2.39 $\pm$ 0.09
	After	2.48 $\pm$ 0.05	2.35 $\pm$ 0.05	2.41 $\pm$ 0.05
Mass (kg)	Before	14	14	14
	After	2.47	11.09	3.07
Degradation rate (%)		82 $\pm$ 0.81	20 $\pm$ 0.45	78 $\pm$ 0.12

Table 4 Major nutrients of the finished composts (56 days)

Experiments	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
Sludge : Vegetable waste	1.58	2.32	2.19
Sludge : Scum	0.56	0.98	0.50
Sludge : Vegetable waste : Scum	1.52	1.96	2.00
Standard**	≥ 1.0	≥ 0.5	≥ 0.5

** Quality compost standard of Land Development Department

สรุป

จากการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีเพียงชุดการทดลองที่ 1 และ 3 เป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารหลัก อันประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม การทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระยะเวลาการหมักน้อยที่สุด (28 วัน) และมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยกเว้นค่าความชื้นที่คงเหลือสูงอยู่ ดังนั้น หากนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ควรนำไปผึ่งแดดก่อนเพื่อลดความชื้นให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช ในขณะเดียวกัน ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระยะเวลาการหมักให้นานที่สุด ซึ่งยังมีคุณสมบัติบางประการไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น ค่าพีเอช และปริมาณไนโตรเจน ดังนั้นสามารถนำวัสดุหมักประเภทอื่นมาช่วยปรับปรุงธาตุอาหารในปุ๋ยหมักให้มีปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ ส่วนชุดการทดลองที่ 3 พบว่า ใช้ระยะเวลาการหมักมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 แต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีวัสดุหมักรวม คือ กากไขมัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยสลายยาก

สรุปได้ว่าวัสดุหมักทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกันที่ดี และชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีความเป็นไปได้แต่ยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน เนื่องจากความชื้นในปุ๋ยหมักสูงจึงควรนำไปผึ่งแดดก่อนนำมาใช้เพื่อลดความชื้นให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช อย่างไรก็ตาม

พิจารณาโลหะหนักอื่น ๆ ที่มีความเป็นพิษในปุ๋ยหมัก จะต้องมีความต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน จึงจะถือว่าปลอดภัยต่อการนำมาใช้เป็นประโยชน์ ทางด้านการเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งจะส่งผลดีต่อการไม่ปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม และยังสามารถนำมูลฝอยหรือวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาหมุนเวียนใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นวิธีการกำจัดที่มีต้นทุนต่ำและลดปริมาณมูลฝอยหรือวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นได้อีกทางเลือกหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม พิษวิทยา และการบริหารจัดการสารเคมี (The Center of Excellence on Environmental Health, Toxicology and Management of Chemicals; ETM) สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ที่ให้ความสนับสนุนในด้านทุนการวิจัย และภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2551ก. คู่มือแนวทางการลด คัดแยก และใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยสำหรับอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้าน. พิมพ์ครั้งที่ 1. รุ่งศิลป์การพิมพ์ (1977) จำกัด. กรุงเทพฯ.

- กรมควบคุมมลพิษ. 2551ข. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมัน และการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับร้านอาหาร. พิมพ์ครั้งที่1. บริษัททีคิวพี จำกัด, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2552. ขยะมูลฝอย. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- เกศรัฎฐา กลั่นกรอง และนิลิตา คงไพฑูรย์. 2550. คู่มือเรื่องกากตะกอน. วารสารสำนักการระบายน้ำ 4: 12-13.
- ประชุม คำพุด และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2556. การป้องกันสารพิษจากบ่อดักไขมันขยะที่ฝังกลบน้ำใต้ดินโดยใช้น้ำยางธรรมชาติ. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(2): 101-109.
- Aiemsumaang, O. 1999. Application of aeration static pile system to co-compost of garbage and sewage sludge. Kasetsart University, Bangkok.
- Jaipetch, S. 2000. Degradation of fats, oils and greases by in-vessel composting. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Kongrod K. 2003. Optimal conditions for composting process of sewage sludge and bagasse. Mahidol University, Nakhon Pathom.
- Land Development Department. 2005. Compost : THAI AGRICULTURAL STANDARD TAS 9503 – 2005. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.
- Vajarapana C. 2003. Influence of aeration rate sewage sludge on composting of municipal and market wastes. Kasetsart University, Bangkok.