ผลของระยะเวลาในการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักเทศบาล จากการหมักด้วยไส้เดือนดินสีแดง (*Eudrilus eugeniae*)

Influenced of composting time to chemical properties changes of municipal solid waste by earthworms (*Eudrilus eugeniae*)

เกษมวนัส ศรสวรรค์ [1] และ นุกูล ถวิลถึง [1*]

Kasemwanas Sornsawan [1] and Nukoon Tawinteung [1*]

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักเทศบาลด้วยไส้เดือนดินสีแดง (*Eudrilus eugeniae*) โดยขยะอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กได้มาจากศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 10 ตำรับ ประกอบด้วยระยะเวลาในการหมัก 10 ระยะคือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ไส้เดือนดินในแต่ละระยะเวลาการหมักที่เท่ากัน ใส่ไส้เดือนดินที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 25 ตัว ในกระบะไม้ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ที่บรรจุขยะอินทรีย์ 1,500 กรัม รักษาความชื้นไว้ที่ร้อยละ 70 เก็บปุ๋ยหมักและแยกไส้เดือนดินเพื่อบันทึกน้ำหนัก และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก จากผลการทดลองพบว่าไส้เดือนดินสีแดงสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้ภายใน 6 สัปดาห์ (42 วัน) โดยไส้เดือนดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด 4.35 เท่า ในสัปดาห์ที่ 6 ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีสภาพเป็นด่างปานกลาง (pH 8.2) และไส้เดือนดินสีแดงมีประสิทธิภาพต่ำในการลดค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก ขยะอินทรีย์จากกรุงเทพมหานครมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง (ร้อยละ 61.7) ทำให้อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักทั้งที่ใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดินสูงตามไปด้วย สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงในสัปดาห์ที่ 8-10 อย่างไรก็ตาม ทุกระยะของการหมักมีสัดส่วนที่ต่ำกว่า 20 ปริมาณมหธาตุ (ยกเว้นโพแทสซียม) และจุลธาตุเพิ่มขึ้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5-10

Abstract

The chemical properties changes in municipal solid waste compost during processing by earthworms (*Eudrilus eugeniae*) were investigated. Earthworms were introduced into each of 30

คำสำคัญ: ไส้เดือนดิน, ปุ๋ยหมักเทศบาล, ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[1] Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

[*] Corresponding author : nukoon.ta@kmitl.ac.th

wood containers (15x15x15 cm) contained 1,500 g of organic municipal solid waste from Bangkok (On-nut) disposal center. The composts were collected on each week over a period of ten weeks. Weights of earthworms were recorded. Compost samples were analyzed for chemical properties and compared to the others set of compost without earthworms. The result revealed that the composition was completed within 6 weeks (42 days) as the highest of earthworm weight (increased 4.35 times) was observed. Earthworms gave the higher pH (8.2) as compared to that of no earthworms (pH 7.6) and its shown weak ability to decreased electrical conductivity of compost. Organic municipal solid waste from Bangkok has high organic matter content (61.7%) reflected to high organic matter of composts in both with and without earthworm. The C/N ratio was decreased on the 8^{th}-10^{th} weeks. However, C/N ratio was lower than 20 in all period of decomposition. Macronutrients (N, P, Ca and Mg) and micronutrients (Fe, Mn, Cu and Zn) were increased from 5 to 10 weeks due to the mineralization of dead earthworms by microorganism. However, it was not observed on K.

Kewords: Municipal solid waste compost, Earthworm, Vermicompost, *Eudrilus eugeniae*

บทนำ

ปัญหาขยะนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะตามเมืองใหญ่ๆ เช่นกรุงเทพมหานครที่พบขยะมูลฝอย (Municipal Solid Wastes, MSW) สูงถึง 4.21 ล้านตันในปี 2559 (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) องค์ประกอบของขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร พบว่าเป็นกลุ่มขยะอินทรีย์มีมากที่สุดคือร้อยละ 50.34 โดยมูลฝอยส่วนหนึ่ง กรุงเทพมหานครนำไปกำจัดโดยการหมักเป็นปุ๋ยประมาณ 1,200 ตันต่อวัน จากขยะทั้งหมด 9,900 ตันต่อวัน (สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร, 2559) โดยกระบวนการหมักประกอบด้วยการย่อยมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลงและอยู่ภายในถังหมักประมาณ 8-12 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำขยะเข้าสู่โรงบ่มมูลฝอยให้ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้เวลาประมาณ 40 วัน (ภาณุวัฒน์, 2559) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จะต้องอยู่ภายใต้เกณฑ์กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2550 จึงจะสามารถขึ้นทะเบียนและจำหน่ายเพื่อการค้าได้ นรีลักษณ์ (2548) รายงานผลการสำรวจปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าจำนวน 340 ตัวอย่างจาก 20 จังหวัด พบว่า 339 ตัวอย่าง ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดมาตรฐานโดยสมบัติของปุ๋ยอินทรย์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ ปริมาณอินทรียวัตถุคิดเป็นร้อยละ 95 การย่อยสลายที่สมบูรณ์คิดเป็นร้อยละ 94 และค่าการนำไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 52 ซึ่งสาเหตุปัญหาเหล่านี้ นอกจากจะเกิดจากการใช้เศษวัสดุอินทรีย์ที่ไม่เหมาะสมแล้ว ยังอาจเกิดจากระยะเวลาในการหมักที่ส่งผลให้เกิดการหมักที่ไม่สมบูรณ์ด้วย จากการวิจัยพบว่าการย่อยสลายขยะอินทรีย์ด้วยไส้เดือนดินส่งผลให้เกิดการย่อยสลายที่

สมบูรณ์เร็วขึ้น (Neuhauser และคณะ, 1998: Frederickson และคณะ, 1997)

ไส้เดือนดินสามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้แทบทุกชนิด โดยกินเศษซากอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์เข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายภายในลำไส้ของไส้เดือนดินแล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวารซึ่งมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ พบจุลินทรีย์จำนวนมาก มีธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชในปริมาณที่สูง โดยพบธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น รวมทั้งยังช่วยลดสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (อานัฐ, 2549; Nagavallemma และคณะ, 2004) นอกจากนี้ Taeporamaysamai และ Ratanatamsku (2016) รายงานว่าการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่เป็นกรด (pH 4.3-4.7) เป็นเวลา 60 วัน ส่งผลให้ได้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่มีเป็นกลาง (pH 7) สภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน จุลินทรีย์และพืช ปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วง pH 5-9 (Singh และคณะ, 2013) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักควรจะมีค่าน้อยกว่า 6 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ถึงจะเหมาะต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน จุลินทรีย์ และไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Yadav และคณะ, 2012) จากการศึกษาการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ผ่านมา ส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับผลผลิตสุดท้ายคือปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยหมัก ในช่วงระยะเวลาการหมักยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อย ดังนั้นในการทดลองในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักเทศบาล (กรุงเทพมหานคร) จากการหมักด้วยไส้เดือนดินสีแดง (*Eudrilus eugeniae*)

อุปกรณ์และวิธีการ

ขยะอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กได้จากศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีสมบัติเป็นด่างปานกลาง (pH 8.41) ค่าการนำไฟฟ้าสูงมาก (ECe 12.15 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) อินทรียวัตถุสูงถึงร้อยละ 61.7 มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม ร้อยละ 2.22, 0.61, 0.26, 6.14 และ 0.21 ตามลำดับ ส่วนปริมาณจุลธาตุพบในปริมาณที่สูงมาก คือ 10,088, 202, 215 และ 286 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ตามลำดับ มีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 19.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 10 ตำรับการทดลอง ประกอบด้วยระยะเวลาในการหมักขยะอินทรีย์ด้วยไส้เดือนดิน 10 ระยะ คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ไส้เดือนดินในระยะเวลาการหมักที่เท่ากัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใส่ไส้เดือนดินสีแดง (*Eudrilus eugeniae*) เพราะทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ มีการเจริญเติบโตดีและสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว (อานัฐ, 2543) เลือกไส้เดือนดินที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 25 ตัว (น้ำหนักรวม 7.4-7.9 กรัม) ในแต่ละกระบะไม้ขนาด 15x15x15 ซม. ที่บรรจุขยะอินทรีย์ปริมาณ 1,500 กรัม ควบคุมความชื้นไว้ที่ 70% โดยน้ำหนัก เก็บปุ๋ยหมักและคัดแยกไส้เดือนดินออกเพื่อบันทึกน้ำหนัก หลังจากนั้นนำปุ๋ยหมักไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด นำตัวอย่างบางส่วนไปสกัดในขณะที่ปุ๋ยหมักอิ่มตัวด้วยน้ำ นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าพีเอช (Thomas, 1996) และค่าการนำไฟฟ้า (EC_e, saturation paste extract) (Rhoades, 1982)

อินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธี Loss on ignition/ LOI (Mark และคณะ, 2005) วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด โดยสกัดตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จากนั้นนำไปกลั่นด้วยวิธี micro-Kjeldahl (Yoshida และคณะ, 1976) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) คำนวณโดยใช้สมการ TOC = (0.4372 x LOI) + 0.6631, r^2 = 0.9076** (Tawinteung, 2015) แล้วนำไปคำนวณสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ส่วนความเข้มข้นทั้งหมดของฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) สกัดตัวอย่างโดยวิธีเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing) แล้ววัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Miller, 1998) สำหรับโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่วนฟอสฟอรัสวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Least Significantly Difference (LSD) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดินโดย Paired Sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลและวิจารณ์

1) การเจริญเติบโตของไส้เดือนดินสีแดง

ไส้เดือนดินมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 โดยพบน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และพบการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 4.35 เท่าในสัปดาห์ที่ 6 (42 วัน) หลังจากนั้นกลับพบว่าไส้เดือนดินมีน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งใกล้เคียงกับน้ำหนักเริ่มต้นในสัปดาห์ที่ 8-10 ดังแสดงใน Figure 1 แสดงว่าไส้เดือนดินมีการย่อยสลายขยะอินทรีย์จนหมดใน 6 สัปดาห์ ส่งผลให้ไม่มีอาหารอย่างเพียงพอ ในสัปดาห์ที่ 7-10 จีรวัฒน์ (2551) รายงานว่าความเร็วในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ขึ้นกับชนิดของขยะอินทรีย์และพันธุ์ของไส้เดือนดิน โดยพบว่าไส้เดือนดินสีแดง (*Eudrilus eugeniae*) สามารถย่อยสลายมูลวัว เศษอาหาร เศษผัก และเศษผลไม้ได้ภายใน 10, 12, 8 และ 12 วัน ตามลำดับ

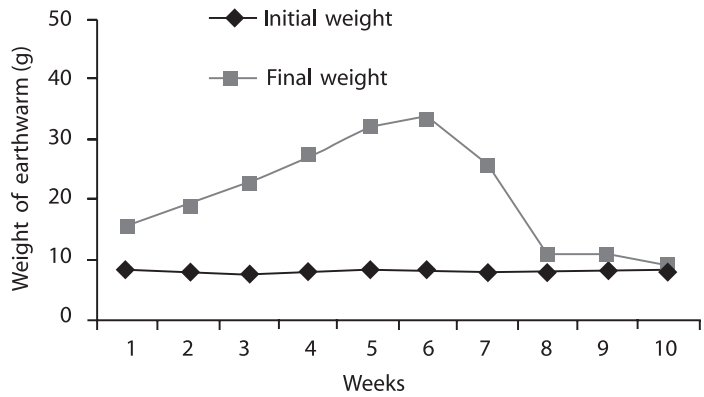

Figure 1 Changes of earthworm weight during municipal solid waste compost processing

2) การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า

การใส่ไส้เดือนดินส่งผลให้ปุ๋ยหมัก กทม. มีค่าพีเอชสูงกว่าการไม่ใส่ไส้เดือนดินอย่างเห็นได้ชัดในทุกระยะของการหมัก (Figure 1 A) โดยพบ pH 8.2 ในปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน และ pH 7.6 ในปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Table 1) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการหมักโดยไส้เดือนดิน กลับไม่พบว่าส่งผลให้ pH แตกต่างกัน (Table 2) โดยพบอยู่ในช่วง 8.1-8.4 Batham และคณะ (2014) รายงานว่า ถ้าปุ๋ยหมักมี pH 7-8 แสดงว่าเข้าสู่สภาพมีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ Taeporamaysamai และ Ratanatamsku (2016) รายงานว่า การย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่เป็นกรด (pH 4.3-4.7) เป็นเวลา 60 วัน ส่งผลให้ได้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่เป็นกลาง (pH 7) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) พบว่าในปุ๋ยหมักที่ใส่ไส้เดือนดินมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน ถึงแม้ในบางช่วงเวลาของการหมักจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงใน Figure 1 (B) และ Table 1 เมื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการหมักโดยไส้เดือนดิน พบว่าส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ของการหมัก แต่พบว่ามีการลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Table 2) Yadav และคณะ (2012) กล่าวว่า ค่าการนำไฟฟ้าเป็นสมบัติที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ในการหมัก โดยปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ควรจะมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 6 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

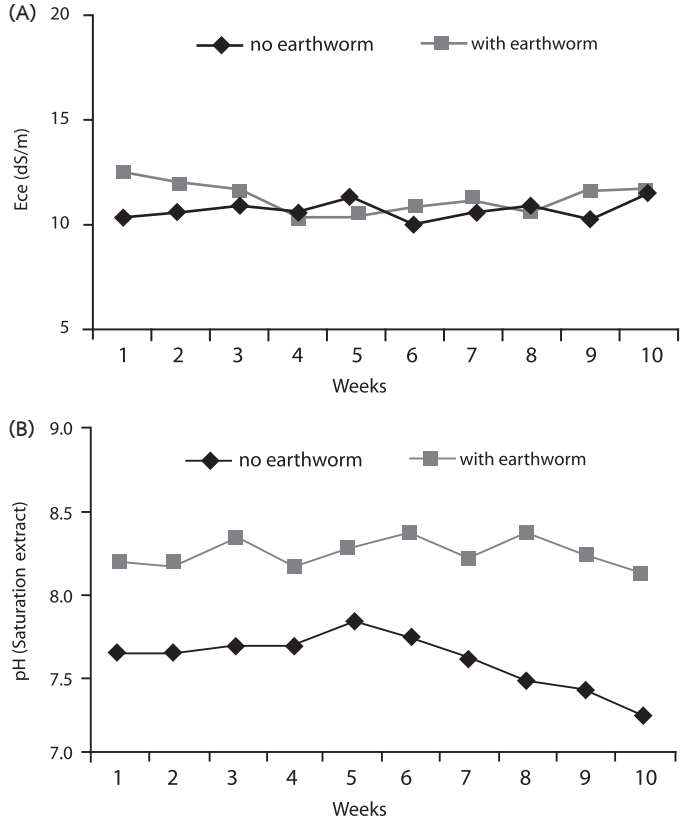

Figure 2 Changes in pH value (A) and Electrical Conductivity (EC_e) (B) of municipal solid waste compost

Table 1 Characteristic of municipal solid waste compost during processing as compared between with and without earthworm

Treatment	pH	EC_e dS/m	OM %	C/N Ratio	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
					%					mg/kg			
no earthworm	7.6b	10.7b	55.4a	12.7a	2.06	0.706	0.246a	7.1	0.237b	11,649	248b	261a	413
with earthworm	8.2a	11.2a	53.2b	11.8b	2.10	0.692	0.227b	7.2	0.250a	11,683	281a	247b	397
F-test	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	*	ns	**	**	ns

Note : Means followed by the same letters in a column is not significantly different according to the Least Significantly Difference, LSD ($p < 0.05$)

ns = not significantly different, * and ** = Significantly different at $p<0.05$ and 0.01 respectively

3) การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุและสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักทั้งที่ใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดินอยู่ในระดับที่สูง เพราะว่าขยะอินทรีย์ (กทม.) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงถึงร้อยละ 61.7 หลังจากผ่านการหมักแล้วพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุลดลง โดยพบว่าการไม่ใส่ไส้เดือนดิน (ร้อยละ 55.4) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าการใส่ไส้เดือนดิน (ร้อยละ 53.2) (Table 1) Chefetz และคณะ (1998) รายงานว่า การย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้นตลอดเวลาโดยจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบที่เป็นโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่ย่อยสลายได้ง่าย ในกรณีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่าอยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินมาตรฐานทั้งปุ๋ยหมักทั้งที่ใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดิน โดยพบในปุ๋ยหมักที่ใส่ไส้เดือนดิน (11.8) ต่ำกว่าการไม่ใส่ไส้เดือนดิน (12.7) เมื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการหมักโดยไส้เดือนดิน พบว่าส่งผลให้สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงในสัปดาห์ที่ 8-10 อย่างไรก็ตาม ทุกระยะมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20

4) การเปลี่ยนแปลงมหธาตุ

การใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดิน ไม่ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในปุ๋ยหมักแตกต่างกัน (Table 1) แต่การไม่ใส่ไส้เดือนดินส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าการใส่ไส้เดือนดิน ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับแมกนีเซียมที่พบว่าการใส่ไส้เดือนดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูงกว่าการไม่ใส่ไส้เดือนดิน เมื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการหมักโดยพบว่า ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 10 พบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับไม่พบว่าส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ 0.201-0.239) (Table 2) โดยพบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 2.08-2.45, 0.69-0.77, 7.01-7.71 และ 0.25-0.28 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของมหธาตุมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน โดยหลังจากไส้เดือนดินตายซากของไส้เดือนดินจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชออกมาหรือเกิดการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) Hoekstra และคณะ (2002)

กล่าวว่าความเป็นประโยชน์ของของธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักไส้เดือนดินขึ้นกับอัตราการมิเนอรัลไลเซชัน นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในรูปทั้งหมด (total) ยังอาจเกิดจากการที่คาร์บอนเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปุ๋ยหมักมีน้ำหนักลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงขึ้น

Table 2 Characteristic of municipal solid waste compost during processing using earthworm

Treatment	pH	ECe	OM	C/N	N	P	K	Ca	Mg
		dS/m	%	Ratio			%		
1st week	8.17	12.3 a	53.2	12.9 a	1.91 de	0.649 cd	0.228	6.83 ef	0.247 bc
2nd week	8.15	11.9 a	49.8	11.5 ab	1.98 cde	0.654 cd	0.217	7.17 bcde	0.224 c
3rd week	8.33	11.6 bc	50.4	12.6 a	1.83 e	0.643 d	0.246	6.45 f	0.226 c
4th week	8.17	10.3 e	53.6	12.9 a	1.92 de	0.674 cd	0.221	6.93 def	0.237 bc
5th week	8.25	10.4 e	52.2	11.2 ab	2.15 bc	0.701 bc	0.239	7.50 abc	0.260 ab
6th week	8.37	10.8 d	56.1	12.6 a	2.08 cd	0.686 bcd	0.207	7.06 cde	0.261 ab
7th week	8.19	11.2 c	54.4	12.7 a	2.00 cde	0.735 ab	0.218	7.37 abcd	0.282 a
8th week	8.35	10.5 de	55.9	11.4 ab	2.30 ab	0.773 a	0.237	7.71 ab	0.262 ab
9th week	8.20	11.6 b	54.1	10.5 b	2.39 a	0.768 a	0.240	7.66 a	0.252 abc
10th week	8.08	11.7 b	52.1	9.80 b	2.45 a	0.772 a	0.219	7.56 abc	0.250 abc
F-test	ns	**	ns	**	**	**	ns	**	*
%CV	1.56	1.97	4.68	8.67	5.01	4.66	8.09	4.17	7.85

Note : Means followed by the same letters in a column is not significantly different according to the Least Significantly Difference, LSD ($p<0.05$)

ns = not significantly different, * and ** = Significantly different at $p<0.05$ and 0.01 respectively

5) การเปลี่ยนแปลงจุลธาตุ

การเปลี่ยนแปลงจุลธาตุพบในลักษณะเดียวกับการการเปลี่ยนแปลงมหธาตุ โดยพบเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในปริมาณสูงขึ้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 จนถึงสัปดาห์ที่ 10 (Table 3) ทั้งนี้อาจเกิดจากการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ของซากไส้เดือนดิน โดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน ถึงแม้จะมีรายงานว่าไส้เดือนดินสามารถลดความเป็นพิษของโลหะหนักต่างๆ ได้ โดยการกินโลหะเหล่านี้เข้าไปแล้วใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ (Singh and Kalamdhad, 2012) นอกจากนี้ ยังพบจุลธาตุโลหะในปริมาณสูงมาก โดยพบความเข้มข้นสูงสุดของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี 12, 780, 337, 278 และ 470 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Table 3 Micronutrient of municipal solid waste compost during processing using earthworm

Treatment	Fe	Mn	Cu	Zn
		mg/kg		
1st week	10,851 c	231 c	217 c	315 d
2nd week	10,710 c	239 c	215 c	318 d
3rd week	10,795 c	284 abc	220 c	341 d
4th week	11,251 bc	255 bc	242 bc	360 bcd
5th week	11,538 b	253 bc	253 ab	429 ab
6th week	11,185 bc	317 ab	250 ab	404 abc
7th week	12,240 a	337 a	258 ab	418 abc
8th week	12,722 a	324 a	278 a	447 a
9th week	12,757 a	297 abc	275 a	472 a
10th week	12,781 a	273 abc	255 ab	470 a
F-test	**	*	**	**
%CV	2.91	14.2	7.13	11.76

Note : Means followed by the same letters in a column is not significantly different according to the Least Significantly Difference, LSD ($p<0.05$)

ns = not significantly different, * and ** = Significantly different at $p<0.05$ and 0.01 respectively

สรุปผลการทดลอง

ไส้เดือนดินสีแดงสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ของกรุงเทพมหานครได้ภายใน 6 สัปดาห์ (42 วัน) ซึ่งสัปดาห์ที่ 6 ไส้เดือนดินมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยพบน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 4.35 เท่า ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีค่าพีเอช (pH 8.2) สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินอย่างชัดเจน (pH 7.6) นอกจากนี้ยังพบว่า การย่อยสลายขยะอินทรีย์โดยไส้เดือนดินสีแดงมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำในการลดค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักทั้งที่ใส่และไม่ใส่ไส้เดือนดินอยู่ในระดับที่สูง เพราะขยะอินทรีย์กรุงเทพมหานครมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงถึงร้อยละ 61.7 สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงในสัปดาห์ที่ 8-10 อย่างไรก็ตาม ทุกระยะของการหมักมีสัดส่วนที่ต่ำกว่า 20 ปริมาณมหธาตุ (ยกเว้นโพแทสเซียม) และจุลธาตุเพิ่มขึ้นตั้งแต่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5-10 ทั้งนี้อาจเกิดจากการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization) ของซากไส้เดือนดินโดยจุลินทรีย์

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. แผนปฏิบัติการ “ประเทศไทยไร้ขยะ” ตามแนวทาง “ประชารัฐ” ระยะ 1 ปี (พ.ศ. 2559-2560) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

จีรวัฒน์ นวลพุดซา. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบความเร็วและคุณภาพในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยไส้เดือนดินที่เป็นสายพันธุ์ทางการค้าและสายพันธุ์ท้องถิ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 137 น.

นรีลักษณ์ ชูวรเวช. 2548. เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์ เอกสารวิชาการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภาณุวัฒน์ อ่อนเทศ. 2559. การจัดการมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร และการจัดการมูลฝอยโดยชุมชน (CBM) สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. 2559. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร 2556-2557 โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด กรุงเทพมหานคร

อานัฐ ตันโช. 2549. การจัดการขยะอินทรีย์โดยไส้เดือนดิน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ : เชียงใหม่

อานัฐ ตันโช. 2543. การทำปุ๋ยจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน. แม่โจ้ปริทัศน์ 1(6): 98-102.

Batham, M., R. Arya and A. Tiwari. 2014. Time efficient co-composting of water hyacinth and industrial wastes by microbial degradation and subsequent vermicomposting. J Bioremed Biodeg, 5:3.

Chefetz, B.A., F. Genevini, P. Tambone, F. Hadar and Y.C. Yona. 1998. Humic-acid transformation during composting of municipal solid waste. Journal of environmental quality, 27(4): p.794-800.

Frederickson, J., K.R. Butt, R.M. Morris and C. Danial. 1997. Combining vermiculture with traditional green waste composting systems. Soil Biol. Biochem. 29 (3–4), 725–730.

Hoekstra N.J., T. Bosker and E.A. Lantinga. 2002. Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). Agriculture, Ecosystems & Environment 93: 189-196.

Mark, K.M., J.L. Francis, L.B. Selinge and F.O. Andrew. 2005. Influence of loss-on-ignition temperature and heating time on ash content of compost and manure. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 2561–2573.

Miller, R.O. 1998. High-temperature oxidation dry ashing, pp. 53-56. In Yash P. Kalra (ed). Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press Boca Raton Boston London New York Washington, D.C. Soil and Plant Analysis Council, Inc.

Nagavallemma K.P., S.P. Wani, L. Stephane, V.V. Padmaja, C. Vineela, R.M. Babu and K. L. Sahrawat. 2004. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Themeon Agrecosystems Report no. 8. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 20 p.

Neuhauser, E.F., R.C. Loehr and M.R. Malecki. 1998. The potential of earthworms for managing sewage sludge, pp. 9–20. In Edwards, C.A. and E.F. Nauhauser (Eds.), Earthworms in Waste and Environmental Management. SPB Academic Publishing, The Hague.

Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. In AL Page *et al*, (eds). Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. No. 9 in Agron. 2nd ed. pp. 167-179. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. Inc.

Singh, A., A. Jain, B.K. Sarma, P.C. Abhilash, P.C. and H.B. Singh. 2013. Solid waste management of temple floral offerings by vermicomposting using Eisenia fetida. Waste Manag. 33: 1113-1118.

Singh, J. and A.S. Kalamdhad. 2012. Reduction of heavy metals during composting-a review. Int. J. Environ. Prot. 2 (9): 36-43.

Taeporamaysamai O. and C. Ratanatamskul. 2016. Co-composting of various organic substrates from municipal solid waste using an on-site prototype vermicomposting reactor. International Biodeterioration & Biodegradation 113: 357-366.

Tawinteung, N. 2015. A Relationship between Loss on Ignition and Carbon Concentration Determined by Wet Digestion to Assess C/N Ratio of Plant Materials and Organic Fertilizers. In 2nd International Symposium on Agricultural Technology. Global Agriculture Trends for Sustainability. July 1-3, 2015. A-One The Royal Cruise Hotel Pattaya, Thailand.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp 475-490. In D.L. Spark *et al*. (eds), Methods of Soil Analysis, Part III. Chemical Methods. No. 5 in Agronomy. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of American, Inc.

Yadav, K.D., V. Tare and M.M. Ahammed. 2012. Integrated composting vermicomposting process for stabilization of human faecal slurry. Ecol. Eng. 47: 24-29.

Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cook and K.A. Gomez. 1976. Analysis for Total Nitrogen (Organic Nitrogen) in Plant Tissue, pp. 14-16. In Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. 3rd ed. Los Banos, Philippines: The International Rice Research Institute.