

การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียของโรงงานผลิตสารให้ความหวาน Co-compost Produced from Food Waste and Residue of the Sweetener Industry

วิญญงค์ เกลี้ยงช่วย, ไกรชาติ ตันตระการอาภา, ธนาศรี สีหะบุตร

สุเทพ ศิลปนนท์กุล และพิศิษฐ์ วัฒนสมบุญ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวาน เศษอาหารจากโรงอาหารของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลและกากของเสียจากกระบวนการผลิตสารให้ความหวานจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากของเสียต่อเศษอาหารในอัตราส่วนดังต่อไปนี้ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, และ 40:60 ทำการหมักเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ จากนั้นนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้มาตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนหลังจากการหมักสมบูรณ์ ในแต่ละชุดของการทดลองมีการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยและประเทศต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าปุ๋ยหมักร่วมพบปริมาณของโลหะหนักที่พบมีทั้งสิ้น 4 ธาตุ คือ สารหนู ตะกั่ว โครเมียม และทองแดง มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.02 - 0.31, 0.79 - 3.03, 1.60 - 4.78 และ 3.26 - 7.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 3 ธาตุ คือ สารหนู ตะกั่ว โครเมียม ในแต่ละอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ยกเว้นธาตุทองแดง และปริมาณโลหะหนักยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยของประเทศไทย ทวีปอเมริกาและทวีปยุโรป สำหรับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียมทั้งหมด ในปุ๋ยหมักร่วมทั้ง 5 อัตราส่วน มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.53 - 8.05, 0.18 - 0.48 และ 0.0538 - 0.1026 % ตามลำดับ ส่วนความชื้น พีเอชและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.39 - 0.64% , 6.21-6.97 และ 4.98 - 18.03 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การผลิตปุ๋ยหมักร่วม / เศษอาหาร / กากของเสีย / โรงงานผลิตสารให้ความหวาน / โลหะหนัก

Abstract

This study aimed to generate co-compost produced from food waste and residue of the sweetener industry. Food waste collected from Faculty of Public Health cafeteria, Mahidol University and Residue of the sweetener industry was obtained from one industry. The study was performed in 5 different ratios of residue of the sweetener industry and food waste as 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 and 40:60 respectively. The composting process was done for 9 weeks. The produced co-compost was measured for heavy metal contamination after reaching the maturity. The co-compost properties were compared to Thai and some countries standard. The result indicated that there were 4 heavy metals content namely; As, Pb, Cr and Cu with the quantity of 3.26 - 7.81, 0.02 - 0.31, 0.79 - 3.03, and 1.60 - 4.78 mg/kg, respectively. The concentration of As, Pb and Cr in each ratio was significantly different ($p\text{-value} < 0.05$) except Cu. The concentration of concern heavy metals were acceptable when

compared to the Thai standard, USA and European country standard. The major nutrient for plantation namely; nitrogen, phosphorus and potassium were 1.53 - 8.05, 0.18 - 0.48 and 0.0538 - 0.1026 %, respectively. The ranges of moisture content, pH and C/N ratio were 0.39 - 0.64 %, 6.21-6.97 and 4.98 - 18.03, respectively.

Key words: Co-compost / Heavy metal / Residue of the sweetener industry / Food waste

1. บทนำ

ปัจจุบันจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยและผลที่ตามมา ก็คือ การเกิดวัสดุเหลือใช้ทั้งจากชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมเป็นจำนวนมากขึ้น [วัสดุเหลือใช้ที่ทั้งจาก ชุมชน ได้แก่ มูลฝอย สิ่งปฏิกูล และน้ำเสีย] วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ได้แก่ เศษวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตรวมทั้งของเสียอื่น ในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ 14.3 ล้านตัน หรือ 39,221 ตันต่อวัน (ยังไม่รวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยก่อนนำมาทิ้งในถัง) ซึ่งลดลงจากปี 2547 ประมาณ 0.3 ล้านตัน เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้วันละ 8,291 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลและเมืองพัทยาเกิดขึ้นประมาณวันละ 12,635 ตัน และนอกเขตเทศบาลซึ่งครอบคลุมพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบล ทั้งหมดเกิดขึ้นประมาณวันละ 18,295 ตัน โดยทั่วไปวัสดุเหลือทิ้งส่วนใหญ่จะมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2535) ได้ประมาณการปริมาณการนำวัสดุเหลือทิ้งบางประเภทมาใช้ประโยชน์ เช่น มูลฝอยชุมชน น้ำมัน สารตัวทำละลาย สารโลหะหนัก มูลสัตว์ สิ่งปฏิกูล และเศษพืชผลการเกษตร ประเทศไทยมีการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมูลฝอยชุมชนซึ่งปริมาณที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดปัญหา ในการกำจัดอย่างมาก

วิธีกำจัดมูลฝอยที่ผ่านการพิสูจน์จนเป็นที่ยอมรับกันอยู่อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้เกิดปัญหา สุขภาพและผลกระทบต่อสถานะแวดล้อมได้เป็นอย่างดีนั้น ได้แก่การฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล การเผา และการ หมักทำเป็นปุ๋ย การกำจัดมูลฝอยโดยการแปรเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ย เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำส่วนของขยะมูลฝอยไปใช้ ประโยชน์ต่อไปได้ ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นการนำเศษอาหารจากโรงอาหารของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ กากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวาน เป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต การดูแลคัดค้านได้แก่ ถ่านกัมมันต์ สารกรอง และแป้ง ซึ่งมีปริมาณถึง 379 ตันต่อเดือน โดยของเสียดังกล่าวนี้มี องค์ประกอบทางเคมีได้แก่อินทรีย์คาร์บอนที่ค่อนข้างสูง และมีธาตุอาหารหลักอยู่ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องด้วย กากของเสียมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก และเมื่อนำมาผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักรวม ก็จะได้ปุ๋ยหมักที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในระดับหนึ่ง

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของโลหะหนัก 4 ชนิดที่ได้จากการผสมระหว่างเศษอาหาร และกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวาน โดยวิธีการสกัดด้วย $\text{HNO}_3\text{-HCl}$ แล้วตรวจวัดโดยใช้เครื่อง ICP-MS รวมถึงศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ความเป็นกรด-ด่าง และ

2. วิธีการ

2.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

เศษอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองในครั้งนี้ นำมาจากโรงอาหารคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ส่วนกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวานเก็บมาจากโรงงานที่ผลิตสารให้ความหวานที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยทำการสุ่มตัวอย่างวัสดุทั้งสองชนิดใส่ในถัง

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างกากของเสียไปผึ่งลมให้แห้งแล้วหลังจากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนเศษอาหารทำการคัดแยกวัสดุที่ไม่ใช่อินทรีย์วัตถุออก วัตถุดิบทั้งสองชนิดจะมีการพิจารณาให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยการคลุกเคล้า (Homogeneity) ก่อนจะนำไปผสมและหลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งสองมาผสมกันตามอัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 1 คลุกเคล้าให้เข้ากันได้ดีแล้วนำไปใส่ในถังหมัก จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างวัสดุในชุดทดลองก่อนการหมักและทำการหมักสมบูรณ์แล้วจากถังหมักเพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวาน (S) และเศษอาหาร (F)

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	
	S:F	กากของเสียจากโรงงาน	เศษอาหาร
1	0: 100	0	1000
2	10: 90	100	900
3	20: 80	200	800
4	30: 70	300	700
5	40: 60	400	600

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของวัสดุหมักในชุดทดลองก่อนหมักและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว

ตัวอย่างปุ๋ยหมักรวม ณ เวลาเริ่มต้นและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์มาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของตัวอย่าง ได้แก่ pH ตรวจวัดโดยใช้ pH meter (ตัวอย่าง: น้ำ = 1: 2.5), ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนใช้ Walkley and black method, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใช้ Kjeldahl method, ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดด้วยสารละลาย

2.4 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้เป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Random Design) โดยมี 5 กลุ่มซึ่งกำหนดให้มีการแปรผันตามสัดส่วนของวัสดุที่ใช้หมัก ระหว่างกากของสารให้ความหวานและเศษอาหาร การวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่มีผลิตได้ ปริมาณของโลหะหนักที่หลงเหลือ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสัดส่วนทั้งห้า โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของวัสดุหมักในชุดทดลองก่อนหมักและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total form) ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว โครเมียม และทองแดงโดยการต้มตัวอย่างในกรดผสมเข้มข้น (Conc. HNO_3 และ HCl) ในอัตราส่วนของ Conc. HNO_3 และ HCl เท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยปริมาตร (กรมวิชาการเกษตร, 2544) และตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS

3. ผลและการอภิปรายผล

ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวานและเศษอาหารดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุก่อนการหมัก

ลักษณะสมบัติทางเคมี	วัสดุหมัก	
	กากของเสียจากโรงงาน	เศษอาหาร
ความชื้น (%)	32.44	47.78
pH	3.60	4.77
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	29.08	52.05
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.42	2.43
อัตราส่วนคาร์บอน : ไนโตรเจน	69.00	21.45
เถ้า (% โดยน้ำหนักแห้ง)	42.29	6.37
สารหนู (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.58	0.04
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	5.93	0.58
ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.14	0.75
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	4.77	2.14

ในส่วนของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ ทั้ง 4 ธาตุ คือ โลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารโดยตรงคือ ทองแดง โลหะหนักที่เป็นพิษได้แก่ สารหนู ตะกั่ว และ โครเมียม และธาตุอาหารหลักสำหรับพืชใช้ประโยชน์ในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ โพแทสเซียม รายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3

3.1 สารหนู (As)

จากตารางที่ 3 พบว่าปุ๋ยหมักรวมทั้ง 5 ชุดการทดลองมีปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง $0.14 \pm 0.02 - 0.31 \pm 0.10$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณของสารหนูในชุดที่ 3 ปริมาณสารหนูมีค่ามากที่สุดคือ 0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูที่พบในเศษอาหารมีค่า 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสารหนูน้อยกว่าในกากของเสีย (0.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ พบว่าสารหนูในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.2 โครเมียม (Cr)

เมื่อพิจารณาปริมาณโครเมียมในปุ๋ยหมักรวม พบว่าปริมาณของโครเมียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของเศษอาหารเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของเศษอาหารที่เพิ่มขึ้นซึ่งเศษอาหารมีส่วนทำให้ปริมาณของโครเมียมมีปริมาณลดลงโดยค่าสูงสุดของโครเมียมคือชุดการทดลองที่ 2 (4.78 ± 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และพบว่าปริมาณของโครเมียมในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.3 ตะกั่ว (Pb)

ปริมาณของตะกั่วในเศษอาหารมีปริมาณมากกว่ากากของเสียและจากผลการทดลองพบว่าปริมาณของตะกั่วที่พบในปุ๋ยหมักรวมทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของปริมาณกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวานที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสูงสุดของตะกั่วที่ตรวจพบคือ 3.03 ± 0.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ 1 มีเพียงเศษอาหารเพียงอย่างเดียว (0:100) โดยทุกชุดการทดลองมีปริมาณตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.4 ทองแดง (Cu)

จากตารางที่ 3 พบว่าชุดทดลองที่ 4 มีปริมาณของทองแดงต่ำที่สุดคือ 3.26 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยชุดการทดลองที่ 1 (0:100) มีเพียงเศษอาหารเพียงอย่างเดียวปริมาณทองแดงมีปริมาณสูงสุด 7.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนปริมาณของกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวานเพิ่มขึ้นพบว่าปริมาณของทองแดงมีแนวโน้มลดลงยกเว้นชุดทดลองที่ 5 (40:60) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณทองแดงในแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในปุ๋ยหมักแ้ววม ทั้ง 5 ชุดการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี		ชุดที่1 (0 :100)	ชุดที่2 (10 :90)	ชุดที่ 3 (20:80)	ชุดที่ 4 (30:70)	ชุดที่ 5 (40:60)
สารหนู (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ก่อน	0.08±0.07	0.29±0.13	0.35±0.08	0.66±0.04	0.51±0.03
	หลัง	0.14±0.02	0.28±0.02	0.31±0.10	0.28±0.11	0.26±0.09
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ก่อน	1.53±0.13	4.50±1.39	3.24±0.46	5.74±0.62	6.18±0.47
	หลัง	1.60±0.23	4.78±0.73	2.95±0.06	3.01±1.38	1.79±0.26
ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ก่อน	3.10±0.12	3.21±0.96	4.51±1.11	1.07±0.21	1.08±0.15
	หลัง	3.03±0.57	1.02±0.23	0.95±0.42	0.96±0.26	0.79±0.41
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ก่อน	2.89±0.15	2.19±0.69	3.05±0.22	5.53±0.17	5.35±0.66
	หลัง	7.81±0.68	4.14±0.46	4.07±1.17	3.26±0.23	5.20±0.65
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ก่อน	2.43±0.07	1.68±0.05	1.50±0.09	1.35±0.04	1.13±0.03
	หลัง	8.05 ±0.35	4.36 ±0.77	3.33 ±0.48	2.10 ±0.37	1.53 ±0.21
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)	ก่อน	0.28±0.03	0.06±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.04±0.00
	หลัง	0.48±0.01	0.21±0.01	0.25±0.03	0.33±0.02	0.18±0.01
โพแทสเซียม (%)	ก่อน	0.0454	0.0314	0.0314	0.0284	0.0259
		±0.0005	±0.0007	±0.0005	±0.0005	±0.0003
	หลัง	0.1026	0.0682	0.0612	0.0583	0.0538
		±0.0027	±0.0003	±0.0002	±0.0016	±0.0010
คาร์บอน : ไนโตรเจน	ก่อน	21.45	28.03	28.59	30.01	33.64
	หลัง	4.98	8.67	9.53	14.08	18.03

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ทองแดง(Cu)	โครเมียม (Cr)	ตะกั่ว(Pb)
ผลการศึกษาในครั้งนี้	3.26-7.81	1.60-4.78	0.79 - 3.03
ออสเตรีย	1,000	300	900
อังกฤษ	400	-	250
สหรัฐอเมริกา			
- มินเนโซตา	500	1,000	500
- นิวยอร์ก	1,000	1,000	250
แคนาดา			
- ออนตาริโอ	60	50	150
เนเธอร์แลนด์	40	30	160
สวิตเซอร์แลนด์	100	-	100
อิตาลี	600	500	500
กลุ่มประชาคมยุโรป			
- สำหรับไม้ผล	300	150	750
- สำหรับไม้	500	200	1,000
ระดับ			
ช่วงของทุกประเทศ	40-1,200	30-1,000	160-1,000

สำหรับปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในปุ๋ยหมักร่วมทุกการทดลอง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสูงสุดของปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนของต่างประเทศที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 และพบว่าปริมาณโลหะหนักได้แก่ทองแดง, โครเมียม และ ตะกั่ว มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของประเทศอังกฤษ ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศแคนาดา ประเทศเนเธอร์แลนด์ ประเทศออสเตรีย และกลุ่ม

3.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักร่วม ทั้ง 5 ชุดการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.53 - 8.05% โดยพบว่าชุดทดลองที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด และพบว่าในทุกชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมักนี้เกิดจากมวลของปุ๋ยหมักลดลงจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นและอาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ในเตรทในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ในรูปที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนและเกิดการดึงไนโตรเจนจากสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อเกิดการย่อยสลายคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งระเหยสู่บรรยากาศในที่สุด ทำให้เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักร่วมลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักร่วมเพิ่มขึ้น (อนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์, 2546 and Kapetanios E.G. et al,1993).

3.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)

จากตารางที่ 3 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักร่วม โดยค่าสูงสุดที่มีคือ ร้อยละ 0.48 ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มกากของเสียจากโรงงานผลิตสารให้ความหวานขกเว้นชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้นเกิดจากปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลงเพราะถูกย่อยสลายในระหว่างการหมัก ทำให้เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักร่วมทุกชุดการทดลองทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น (อนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์, 2546).

3.7 โพแทสเซียม (Total Potassium)

จะเห็นว่าปริมาณของโพแทสเซียมมีปริมาณค่อนข้างน้อยมากดังตารางที่ 3 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมมีค่าสูงสุดคือ ร้อยละ 0.1026±0.0027 ของชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งปริมาณของโพแทสเซียมมีการเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมักด้วยเหตุผลเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของอนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์(2546) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมเมื่อเริ่มต้นกับสิ้นสุดการหมักมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากกรรมพัฒนาที่ดินกำหนดค่าต่ำสุดของโพแทสเซียมไว้ที่ 1 % ซึ่งปุ๋ยหมักร่วมทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับพืชที่ต้องการโพแทสเซียมไม่มากหรือพื้นที่ที่มีปริมาณของโพแทสเซียมในดินที่เพียงพออยู่แล้ว

3.8 ความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักรวม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชภายในถังหมักพบว่าทุกใบมีลักษณะคล้ายกัน โดยเริ่มต้นมี pH อยู่ระหว่าง 4.23-4.77 และเพิ่มสูงขึ้นถึง 8 ในสัปดาห์ที่ 3 และหลังจากนั้นก็ลดลงเรื่อย ๆ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าอยู่ในช่วง 6.21-6.97 ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ พูนศักดิ์ จันทน์จำปี (2541) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลองมีค่าดังนี้ 4.98, 8.67, 9.53, 14.08 และ 18.03 ตามลำดับ หากพิจารณาจากเกณฑ์ทั่วไปของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20 ซึ่งในการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 ทุกชุดการทดลอง

6. สรุปผล

ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากทุกชุดของการทดลอง มีค่าองค์ประกอบของธาตุอาหารได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ต่ำสุดที่ยอมรับได้ในทุกชุดการทดลอง ส่วนของปริมาณของโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว, โครเมียม, และ ทองแดง มีค่าความเข้มข้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักที่ยอมรับได้สำหรับใช้กับไม้ประดับของประเทศสหรัฐอเมริกา, กลุ่มประเทศในทวีปยุโรปและกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จึงเหมาะกับพืชที่ต้องการโพแทสเซียมหรือควรปรับปริมาณโพแทสเซียมให้ได้ตามมาตรฐานโดยใช้กระดูกป่น หรือ จีเถ้ากระดูกเป็นต้น

7. บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). สถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชน [Online].

Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_wastethai47_48.html. [20 เม.ย 52]

กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). **คุณภาพและมาตรฐานปุ๋ยหมัก**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

กรมวิชาการเกษตร. (2544). **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2535). การนำวัสดุเหลือทิ้งบางประเภทมาใช้ประโยชน์ [Online].

Available: <http://www.onep.go.th>. [20 เม.ย 52]

พูนศักดิ์ จันทน์จำปี. (2541). **การหมักปุ๋ยจากเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแบบเทอร์โมฟิลิกโดยใช้**

ถังหมุน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อนุวัฒน์ เพื่องจันทร์. (2546). **ผลของการกวนและเติมอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากขยะในครัวเรือนโดยใช้เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Daoroong Sungthong. 2005. **Quantitive analysis of some heavy metal and Macreoniutrients in composts, farm manures, and enriched soil.** (M.S. thesis in Environmental Science inter-Department).Bangkok: Faculty of Graduate School, Chulalongkorn University

Kapetanios, E.G. et al. 1993. Compost production from Greek domestic refuse. **Bioresource Technology.** 44,13-16.

The World Bank.2000.Composting and Its Applicability in Developing Countries, 2000 [Online].

Available: <http://www.worldbank.org/html/fpd/urban/uswm/uwp8.pdf>. [28 มี.ย 51]

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณร้านอาหาร โรงอาหารคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลที่เอื้อเฟื้อเศษอาหารและบริษัท MC-Towa International Sweeteners Co.ที่สนับสนุนการกลั่นของเสียสารให้ความหวานจากโรงงาน สำหรับใช้ในการทดลอง