ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ประสิทธิภาพการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน

Digestion Efficiency of Community Garbage Decompost by Mixing with Fine-Textured Soils under Different Amount of Watering

นามผู้วิจัย นางสาวนฤมล วงษ์สวรรค์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน

Digestion Efficiency of Community Garbage Decompost by Mixing with Fine-Textured Soils under Different Amount of Watering

โดย

นางสาวนฤมล วงษ์สวรรค์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2552

นฤมล วงษ์สวรรค์ 2552: ประสิทธิภาพการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด. 143 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน การศึกษามี 2 การทดลองแรกวางแผนแบบ 2x3x3 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ การคลุกขยะกับดิน และการทำเป็นชั้นสลับกับดิน ปัจจัยที่สองคือ ขยะ:ดิน ในสัดส่วน 1:1, 3:1 และ 6:1 โดยน้ำหนัก ปัจจัยที่ 3 การรดน้ำ ประกอบด้วย ไม่รดน้ำ, รดน้ำ 10 ลิตร (ปริมาณน้ำ : ขยะ 1:2) และรดน้ำ 20 ลิตร (ปริมาณน้ำ : ขยะ 1:1) ทุก ๆ สัปดาห์ การทดลองที่ วางแผนแบบ 2x3 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ในโรงเรือน และนอกโรงเรือน ปัจจัยที่สอง คือ ขยะ:ดิน ในสัดส่วน 1:1, 3:1 และ 6:1 โดยปริมาตร การทดลองทำในฤดูฝน ช่วงเดือนมิ.ย. - ก.ย. 2551

ผลการทดลองพบว่า การหมักแบบคลุกขยะกับดิน และการทำเป็นชั้นสลับกับดินมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า C/N ratio 17.53 และ 16.98 ตามลำดับ การคลุกขยะกับดินให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.28, 0.30 และ 1.51 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการทำเป็นชั้นสลับกับดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนขยะ:ดิน พบว่า การทดลองที่ 1 สัดส่วน 1:1 มีประสิทธิภาพของการย่อยสลายต่ำกว่าสัดส่วน 3:1 และ 6:1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่า C/N ratio เท่ากับ 19.83, 15.03 และ 16.89 ตามลำดับ สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 ให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.35 และ 0.36 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสัดส่วนอื่น ๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่มีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 1.26 ซึ่งมีค่าต่ำสุด ต่ำกว่าสัดส่วนอื่น ๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับการรดน้ำ พบว่า การไม่รดน้ำมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลาย ปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ส่วนการทดลองที่ 2 พบว่า การใช้สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1, 3:1 และ 6:1 รวมทั้งการหมักในโรงเรือนและนอกโรงเรือน มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Narumon Vongsawan 2009: Digestion Efficiency of Community Garbage Decompost by Mixing with Fine-Textured Soils under Different Amount of Watering. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Suthep Thongpae, Ph.D. 143 pages.

The study on digestion efficiency of community garbage decompost by mixing with fine-textured soil under different amount of watering was done in 2 experiments. The first was conducted in 2x3x3 factorial in CRD with 3 replications. This experiment involved with 3 factors, mixing and alternate layering, followed by garbage: soil in the ratio 1:1, 3:1, and 6:1 by weight and finally watering consisted of non-watering, watering 10 liters (water:garbage 1:2) and 20 liters (water:garbage 1:1) per week. The second experiment was conducted in 2x3 factorial in CRD with 3 replications. This experiment involved with 2 factors, inside and outside the house, followed by garbage: soil in the ratio 1:1, 3:1, and 6:1 by volume. The experiment was done in rainy season during June – September 2008.

The results indicated that mixing and alternate layering of garbage with soil resulted no significantly difference in decomposed efficiency according to C/N ratio of the compost which gave the value of 17.53 and 16.92 respectively. The content of nitrogen phosphorus and potassium in the compost from mixing were 0.28, 0.30 and 1.51 % respectively which higher than the content in the compost from alternate layering significantly difference. As compare to the garbage:soil ratio, in the first experiment, the ratio 1:1 showed the lowest decomposed efficiency. The C/N ratio of the compost from the ratio 1:1, 3:1 and 6:1 were 19.83, 15.03 and 16.89 respectively. The content of nitrogen and phosphorus in the compost from the ratio 6:1 were 0.35 and 0.36 % respectively which higher than the others but the content of potassium was 1.26 % that lower than the others. According to the watering, no watering tended to give more decomposed efficiency and also higher content of nitrogen and phosphorus in the compost. For the second experiment, all garbage:soil ratios and also inside and outside the house gave no significantly difference on the decomposed efficiency.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการวิจัย ให้คำปรึกษา รองศาสตราจารย์อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร ประธานการสอบ และศาสตราจารย์ชำนาญ ฉัตรแก้ว ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์ เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการฯ มูลนิธิชัยพัฒนา และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานความสำเร็จแห่งการดำเนินการวิจัย และที่สำคัญขอกราบขอบพระคุณ คุณตา คุณยาย คุณพ่อ และคุณแม่ รวมถึงพี่ ๆ น้อง ๆ ที่มอบทุกสิ่งทุกอย่างให้ ทั้งความรัก คำปรึกษา กำลังใจ และสิ่งอื่นอีกมากมายจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ คุณจุลบุตร จันทร์สูรย์ คุณชาตรี นิ่มปี และเจ้าหน้าที่ภาคสนามทุกท่าน ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอบคุณพี่หน่อย พี่แข พี่อ้อ พี่เนส ป๊อบ เพื่อน ๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 30 น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เป็นกำลังใจและแรงผลักดันให้กันเสมอมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นฤมล วงษ์สวรรค์

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (5)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 3
การตรวจเอกสาร 4
อุปกรณ์และวิธีการ 33
อุปกรณ์ 33
วิธีการ 35
ผลและวิจารณ์ 47
ผล 47
วิจารณ์ 102
สรุปและข้อเสนอแนะ 107
สรุป 107
ข้อเสนอแนะ 113
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 114
ภาคผนวก 119
ภาคผนวก ก ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก การหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน 120
ภาคผนวก ข ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก การหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน 132
ภาคผนวก ค มาตรฐานต่างๆ 139
ประวัติการศึกษา และการทำงาน 143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบขยะชุมชนแต่ละประเภท (แบ่งตามรายได้ประชาชาติ)	9
2	การจัดจำแนกแบคทีเรียโดยอาศัยความแตกต่างของแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน	23
3	อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	27
4	ปริมาณมูลฝอยรายปีในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีตั้งแต่ปี 2540-2559	30
5	องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี	31
6	องค์ประกอบทางเคมีของขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี	32
7	คุณสมบัติของดินบางประการของตัวอย่างดินที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่ 1	48
8	คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่ 1	48
9	อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองการทดลองที่ 1	50
10	ความหนาแน่นของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	52
11	ความชื้นของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	54
12	ร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	60
13	ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	62
14	ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	64
15	ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	66
16	ปริมาณแคลเซียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	68
17	ปริมาณแมกนีเซียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่1	70
18	ปริมาณตะกั่วของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	71
19	ปริมาณแคดเมียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	73
20	ปริมาณกรด-เบสของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	75
21	ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	77
22	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 1	79
23	คุณสมบัติของดินบางประการของตัวอย่างดินที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่2	81
24	คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่ 2	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง การทดลองที่2	83
26	ความหนาแน่นของปุ๋ยหมักการทดลองที่2	84
27	ความชื้นของปุ๋ยหมักการทดลองที่2	85
28	การยุบตัวของปุ๋ยหมักการทดลองที่2	89
29	ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	91
30	ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	92
31	ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	94
32	ปริมาณแคลเซียมของปุ๋ยหมักการการทดลองที่ 2	95
33	ปริมาณแมกนีเซียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	96
34	ปริมาณตะกั่วของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	97
35	ปริมาณแคดเมียมของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	98
36	ปริมาณกรด-เบสของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	99
37	ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	100
38	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักการทดลองที่ 2	101
39	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	108
40	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียด ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	109
41	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินด้วยสัดส่วนขยะ:ดินต่าง ๆ	110
42	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน ด้วยสัดส่วนขยะ : ดินต่าง ๆ	111
43	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินด้วยอัตราการรดน้ำต่าง ๆ	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ไนโตรเจนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	121
ก2	ฟอสฟอรัสของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	122
ก3	โพแทสเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	123
ก4	แคลเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	124
ก5	แมกนีเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	125
ก6	ตะกั่วของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	126
ก7	กรด-เบสของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	127
ก8	อินทรียวัตถุของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	128
ก9	C/N ratioของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	129
ก10	ความหนาแน่นของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	130
ก11	ความชื้นของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน	131
ข1	ไนโตรเจนของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	133
ข2	ฟอสฟอรัสของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	133
ข3	โพแทสเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	134
ข4	แคลเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	134
ข5	แมกนีเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	135
ข6	ตะกั่วของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	135
ข7	อินทรียวัตถุของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	136
ข8	C/N ratioของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	136
ข9	กรด-เบสของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	137
ข10	ความหนาแน่นของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	137
ข11	ความชื้นของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน	138
ค1	ปริมาณธาตุอาหารที่พบในดิน	140
ค2	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 1	141
ค3	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2	142

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่า pH ณ ช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยหมักโดยจุลินทรีย์ (A = mesophilic , B = thermophilic , C = cooling ,O = maturing)	27
2	การผสมขยะกับดิน	36
3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามปริมาณการรดน้ำเป็นเวลา 31 วัน	56
4	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ : ดินเป็นเวลา 31 วัน	57
5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการคลุกขยะกับดินและการทำเป็นชั้นสลับกับดินเป็นเวลา 31 วัน	59
6	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ : ดินเวลา 51 วัน	87
7	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการหมักในโรงเรือนและนอกโรงเรือนเป็นเวลา 51 วัน	88

ประสิทธิภาพของการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียดภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน

Digestion Efficiency of Community Garbage Decompost by Mixing with Fine-Textured Soils under Different Amount of Watering

คำนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาขยะมูลฝอยเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องได้เล็งเห็นความสำคัญ และให้ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหากันอย่างเต็มความสามารถ เพราะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในระดับชุมชนทุกระดับตั้งแต่ระดับสุขาภิบาล เทศบาล และเมืองใหญ่ ปัญหานี้นับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการรับเอาผลผลิตเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาใช้ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนจำนวนประชากรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น มาตรฐานการครองชีพที่สูงขึ้น ทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้หรือขยะมูลฝอยที่มีปริมาณสูงขึ้น และไม่สามารถกำจัด/ทำลายได้หมดในระยะเวลาอันสั้น ทำให้มีการตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหาตามมา จากปัญหาที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องได้รับการกำจัดอย่างรวดเร็ว จึงต้องหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาช่วยเร่งให้เกิดการย่อยสลายซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิด และองค์ประกอบของขยะมูลฝอย รวมทั้งสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยนั้นมีหลายวิธี เช่น การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การนำไปถมที่ การเผา การหมักทำปุ๋ย เป็นต้น ทางเลือกของการกำจัดขยะมูลฝอยที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายก็คือ การนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยหมัก เนื่องจากขยะที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นการกำจัดขยะด้วยการนำมาหมักทำเป็นปุ๋ยหมัก จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการกำจัดขยะที่เกิดจากชุมชน

ในการหมักขยะมูลฝอยจากชุมชนนั้น ได้มีการใส่ดินลงไปในชั้นขยะ เพื่อให้ดินเป็นช่วยเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้ขยะเกิดการย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยหมักได้ ทั้งนี้เพราะในดินมี

Fe_2O_3 และ/หรือ $Fe(OH)_3$ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็คตรอนที่ดี ทำให้จุลินทรีย์สามารถหายใจได้ (ไพบูลย์และคณะ,2542) นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นสื่อกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากขยะมูลฝอยที่ใช้หมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ ซึ่งถ้าปริมาณน้ำมากเกินไปก็จะมีผลต่อยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายขยะมูลฝอย แต่ถ้าหากปริมาณน้ำน้อยเกินไปก็จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย อันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายได้ ดังนั้นการคลุกเคล้าขยะมูลฝอยเข้ากับดิน และปริมาณน้ำที่รดจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายขยะ และคุณภาพของปุ๋ยหมักด้วย การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยสลายขยะด้วยการคลุกเคล้าขยะกับดิน ที่ระดับการรดน้ำในปริมาณที่ต่างกัน และเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายขยะด้วยการคลุกเคล้าขยะกับดิน

2. เพื่อศึกษาความเหมาะสมของปริมาณน้ำที่ใช้รดบ่อหมักขยะชุมชน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและสะดวกในการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักด้านกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่น อุณหภูมิ ด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณธาตุอาหารรอง อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณโลหะหนักอันตรายที่ได้จากการหมักขยะชุมชนภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

1. นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย

1.1 ขยะมูลฝอย เป็นเศษสิ่งของวัสดุที่ไม่มีผู้ใดต้องการ เช่น เศษอาหาร เศษกระดาษ เศษพลาสติก เครื่องใช้ที่ชำรุด เศษวัสดุจากการเกษตร อุตสาหกรรม การก่อสร้าง ตลอดจนกิ่งไม้ ใบหญ้าหรือซากสัตว์ ขยะมูลฝอยบางอย่างยังมีคุณค่าในตัวเองและอาจเป็นที่ต้องการของบุคคลอีกกลุ่มก็ได้ เช่น กระดาษ พลาสติก เสื้อผ้าเก่า ขวดแก้ว โลหะ ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ,2536)

1.2 ขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งปฏิกูลที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมีน้ำหรือความชื้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (เกษม,2541)

1.3 มูลฝอย หมายถึง เศษของเหลือใช้จากกิจกรรมต่างๆ ทั้งจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ ซึ่งนับวันจะเป็นปัญหาใหญ่ที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะต้องดำเนินการแก้ไข ทั้งนี้เนื่องมากจากผลของการพัฒนาประเทศ และความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างต่อเนื่อง (อดิศักดิ์,2541)

1.4 ขยะ หมายถึง เศษของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและการใช้สอยของมนุษย์ ขยะอาจมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแหล่งที่ก่อให้เกิดขยะนั้น เช่น ขยะจากบ้านเรือนที่พักอาศัยมีลักษณะเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการหุงต้ม เศษผ้าและเศษของที่ไม่ใช้แล้วต่างๆ เป็นต้น ขยะจากตลาดมักเป็นพวกเศษอาหารสด ผัก ผลไม้ ส่วนขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรมนั้นๆ บางชนิดอาจมีสารที่เป็นพิษปะปนอยู่ (สิทธิชัย,2541)

1.5 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามของขยะมูลฝอยว่า หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น (พัฒนา,2547)

2. แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย

ในการจัดการปัญหามูลฝอยมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงแหล่งกำเนิดมูลฝอย เพื่อจะทำให้การจัดการมูลฝอยเป็นไปได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับชนิดมูลฝอย และเกิดประสิทธิภาพ โดยไม่ทำให้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพัฒนา (2547) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดมูลฝอยตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของที่ดินไว้ดังนี้

2.1 มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (residential wastes)

มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย เป็นมูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีพของคนที่อาศัยอยู่ในบ้านพักอาศัยหรืออาคารชุด ได้แก่ เศษอาหาร เศษกระดาษ ถุงพลาสติก ใบไม้ ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพ เศษแก้ว เป็นต้น

2.2 มูลฝอยจากธุรกิจการค้า (commercial wastes)

มูลฝอยจากธุรกิจการค้า หมายถึงมูลฝอยที่มาจากสถานที่ที่มีการประกอบกิจการค้าขายส่ง ขายปลีก หรือการบริการทางการค้าต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นกิจการค้าประเภทใด ได้แก่ อาคารสำนักงาน ตลาด โรงแรม โรงมหรสพ หรือโกดังเก็บสินค้า ซึ่งมักจะมีภาชนะเก็บมูลฝอยเป็นของตนเอง มูลฝอยที่เกิดขึ้นมักจะมี เศษอาหาร เศษแก้ว พลาสติก เศษวัสดุสิ่งก่อสร้างต่างๆ หรืออาจมีของเสียอันตราย เป็นต้น

2.3 มูลฝอยจากการพักผ่อนหย่อนใจ (recreational wastes)

มูลฝอยจากสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือสถานที่ท่องเที่ยวไม่ว่าจะเป็นแหล่งธรรมชาติ หรืออาจจะเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นแหล่งศิลปกรรม มูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็นเศษอาหาร เศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งหลาย เช่น ถุงพลาสติก กระป๋องโลหะ ถุงกระดาษ เป็นต้น

2.4 มูลฝอยจากโรงพยาบาล (hospital wastes)

มูลฝอยจากโรงพยาบาลมักถูกจัดไว้ในกลุ่มของมูลฝอยอันตราย เพราะอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายประการ ได้แก่ อาจเป็นการแพร่กระจายเชื้อโรคเป็นที่น่ารังเกียจ เป็นต้น จึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะแยกออกจัดการต่างหากจากมูลฝอยที่มาจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ

2.5 มูลฝอยจากการเกษตร (agricultural wastes)

แหล่งมูลฝอยที่สำคัญมักมาจากกิจกรรมการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาหาร ได้แก่ มูลสัตว์ เศษหญ้า ภาชนะบรรจุยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น ในอดีตของเสียจากการเกษตรเหล่านี้ส่วนใหญ่ (ยกเว้น ภาชนะบรรจุยาปราบศัตรูพืช) มักถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยนำมาไถกลบลงบนพื้นที่ที่จะทำการเพาะปลูก แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการเร่งผลผลิตให้ได้ปริมาณมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการนำปุ๋ยเคมีมาใช้แทน ทำให้ปริมาณมูลฝอยจากการเกษตรเพิ่มปริมาณมากขึ้น

2.6 มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastes)

มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้นหรือประเภทของอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ได้แก่ พวกเศษอาหาร มูลฝอยแห้งต่างๆ เช่น เศษกระดาษ กระดาษแข็ง ขี้เถ้า และของเสียอันตราย เป็นต้น

3. แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย

3.1 ลักษณะของขยะมูลฝอย

เกษม (2541) ได้รวบรวมเอกสารด้านขยะมูลฝอยและสรุปได้ว่า ลักษณะของขยะมูลฝอย หมายถึง รูปลักษณะของมูลฝอยที่เป็นกลุ่มของความยากง่ายในการเน่าเปื่อย และมีพิษภัยประกอบด้วย 3 ลักษณะดังนี้

3.1.1 ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยง่าย (food waste or garbage) ได้แก่ ขยะมูลฝอยเศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ กระดาษ ผ้า ไม้ เศษพืชผัก ฯลฯ

3.1.2 ขยะมูลฝอยที่เน่ายากหรือเน่าเปื่อยไม่ได้เลย (rubbish) ได้แก่ ถุงพลาสติก แก้ว โลหะ หิน กระเบื้อง หนัง ยาง ฯลฯ

3.1.3 ขยะมูลฝอยที่อันตรายหรือสารเคมี (hazardous waste or chemical waste) ได้แก่ กากสารพิษ โลหะหนัก สารกำจัดแมลงและศัตรูพืช ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล และสารเคมีที่เป็นพิษอื่นๆ ฯลฯ

3.2 ชนิดของขยะมูลฝอย

3.2.1 ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยได้ง่าย (garbage) ได้แก่ พวกเศษอาหาร เศษเนื้อ เศษผัก ที่ได้จากการเตรียมและการปรุงอาหาร ขยะมูลฝอยชนิดนี้จะเป็นพวกที่ย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ง่าย มีความชื้นสูง

3.2.2 ขยะมูลฝอยที่ไม่เน่าเปื่อย หรือเน่าเปื่อยได้ยาก (rubbish) ได้แก่ พวกเศษกระดาษ เศษผ้า เศษไม้ กิ่งไม้ หญ้า ฟางข้าว แก้ว กระเบื้อง ยาง เศษโลหะต่างๆ ฯลฯ ขยะมูลฝอยชนิดนี้จะมีทั้งชนิดที่เผาไหม้ได้ และเผาไหม้ไม่ได้

3.2.3 ขี้เถ้า (ashes) เป็นขยะมูลฝอยที่เกิดจากสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ เช่น เถ้าที่เกิดจากเตาไฟที่ใช้ในการปรุงอาหาร หรือเถ้าที่เกิดจากเตาไม้ ถ่าน ถ่านหิน หรือวัตถุติดไฟอื่นๆ

3.2.4 ขยะมูลฝอยจากถนน (street refuse) ได้แก่ เศษสิ่งของต่างๆ ที่กวาดจากถนน ตรอก ซอย และที่อื่นๆ เช่น เศษไม้ เศษอิฐ กรวด ทราย กระดาษ ถุงพลาสติก เป็นต้น

3.2.5 ซากสัตว์ (dead animal) ได้แก่ ซากสัตว์ที่ตายแล้วทุกชนิด เช่น สุนัข แมว สุกร เป็นขยะมูลฝอยชนิดที่เน่าเปื่อยเร็ว และมีกลิ่นเหม็น

3.2.6 ซากยานพาหนะ (abandoned vehicles) ได้แก่ ยานพาหนะทุกชนิดที่หมดสภาพการใช้งานหรือใช้งานไม่ได้แล้ว รวมทั้งส่วนประกอบของยานพาหนะด้วย เช่น ยาง ล้อ แบตเตอรี่ เป็นต้น

3.2.7 ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial refuse) ได้แก่ เศษวัสดุที่เกิดจากการผลิต หรือขั้นตอนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเศษวัสดุชนิดใดก็ได้แล้วแต่ชนิดของโรงงานนั้นๆ และจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน

3.2.8 ขยะมูลฝอยจากการก่อสร้าง (construction refuse) ได้แก่ เศษวัสดุก่อสร้าง เช่น เศษไม้ เศษปูน อิฐหัก หิน ทราย เป็นต้น

3.2.9 ขยะมูลฝอยจากซากก่อสร้าง (demolition refuse) ได้แก่ เศษที่เกิดจากการรื้อถอนหรือทำลายสิ่งปรักหักพัง เช่น การรื้อถอนตึกเก่า อาคารเก่า บ้านเรือน เป็นต้น

3.2.10 ขยะมูลฝอยประเภททำลายยาก (hazardous refuse) ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่ต้องใช้กรรมวิธีในการทำลายเป็นพิเศษ จึงจะทำลายได้ เช่น พลาสติก ฟิล์มถ่ายรูป กากสารพิษ สารเคมีอันตราย เป็นต้น

4. ลักษณะและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

อดิศักดิ์ และคณะ (2541) และพัฒนา (2547) ได้แบ่งลักษณะของขยะมูลฝอยออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics)

4.1.1 องค์ประกอบทางด้านกายภาพ (physical composition) นิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งของต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นขยะทั้งหมด โดยแบ่งเป็นขยะที่เผาไหม้ได้ (combustible) เช่น กระดาษ ผ้า เศษอาหาร ผัก หญ้า ไม้ พลาสติก ยาง และขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (non- combustible) เช่น โลหะ แก้ว กระเบื้อง อิฐ หิน กรวด และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้อาจถูกแบ่งออกตามสัดส่วนโดยน้ำหนักหรือปริมาตรก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักนิยมแบ่งตาม

สัดส่วนโดยน้ำหนักมากกว่า ในประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่มีประชากรที่รายได้สูง ขยะจากชุมชนส่วนใหญ่จะเป็นพวกเศษกระดาษและพลาสติก ในขณะที่ประเทศเกษตรกรรมหรือประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ ขยะจะเป็นพวกเศษอาหารเป็นส่วนใหญ่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบขยะชุมชนแต่ละประเภท (แบ่งตามรายได้ประชาชาติ)

องค์ประกอบขยะ	**ประเทศที่มีรายได้ประชาชาติระดับต่ำหรือมีรายได้ต่ำกว่า 360 US$ ต่อปี**	**ประเทศที่มีรายได้ประชาชาติระดับปานกลางหรือมีรายได้ต่ำกว่า 360-3,500 US$ ต่อปี**	**ประเทศที่มีรายได้ประชาชาติระดับสูงหรือมีรายได้สูงกว่า 3,500 US$ ต่อปี**
กระดาษ	2%	14%	31%
โลหะ	2%	2%	8%
พลาสติก	2%	11%	8%
แก้ว	4%	2%	10%
ยาง หนัง ไม้	7%	14%	5%
เศษผัก-อาหาร	60%	47%	25%
อื่นๆ	22%	10%	13%
ความหนาแน่น	250-500	170-330	100-170
ความชื้น(%)	40-80	40-60	20-30

ที่มา: พัฒนา (2547)

4.1.2 ความหนาแน่น (density) ได้แก่ ค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของขยะ แบ่งเป็นความหนาแน่นปกติ (bulk density) คือ ความหนาแน่นปกติโดยไม่มีการอัดหรือบีบขยะให้ผิดไปจากธรรมดา ความหนาแน่นในขณะขนส่ง (transported density) คือ ความหนาแน่นของขยะในรถยนต์เก็บขนในขณะขนส่ง ซึ่งปกติแล้วจะถูกทำให้แน่นขึ้น เนื่องจากการสั่นสะเทือนและการอัดของพนักงานเก็บขนขยะ ความหนาแน่นของมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะด้วย เช่น ขยะที่มีพวกเศษอาหารจะมีความหนาแน่นสูงกว่าขยะที่มีพวกกระดาษ หรือพลาสติกมาก โดยทั่วไปขยะจากชุมชนในกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง จะมีความหนาแน่นค่อนข้าง

น้อย คือ ประมาณ 100-170 กก./ลบ.ม. และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ปานกลาง จะมีความหนาแน่นประมาณ 170-350 กก./ลบ.ม. ซึ่งประเทศไทยอยู่ในกลุ่มนี้ โดยมีความหนาแน่นประมาณ 250 กก./ลบ.ม. และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูง ประมาณ 250-500 กก./ลบ.ม.

4.2 ลักษณะทางเคมี (chemical characteristics)

4.2.1 ความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในขยะ โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่มีอยู่ในขยะมีทั้งน้ำที่มีอยู่ภายในตัวของขยะเอง (inherent water) เช่น น้ำที่อยู่ในพืชผัก เศษอาหาร ซึ่งมีประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (attached water) เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหาร ซึ่งประมาณ 1/3 หรือ 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วขยะในกลุ่มประเทศเกษตรกรรมหรือประเทศกำลังพัฒนา มีค่าความชื้นสูงกว่าขยะในกลุ่มประเทศอุตสาหกรรม สำหรับขยะในประเทศไทยมีค่าความชื้นประมาณ 50-60 % (พัฒนา , 2547)

4.2.2 ปริมาณของแข็งรวม (total solids) หมายถึง ปริมาณขยะแห้งที่เหลือภายหลังจากนำน้ำออกไปหมดแล้ว

4.2.3 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (volatile solids) หมายถึง ส่วนของขยะที่สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ

4.2.4 ปริมาณเถ้า (ash) หมายถึง กากของขยะที่เหลือจากการเผาไหม้

4.2.5 ค่าความร้อน (calorific value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาขยะ ซึ่งขยะในประเทศไทยมีค่าความร้อนประมาณ 1,100-1,500 กิโลแคลอรี่/กก.

4.2.6 องค์ประกอบด้านเคมี (chemical composition) ได้แก่ ปริมาณธาตุไนโตรเจน (Nitrogen : N) ฟอสฟอรัส (Phosphorus : P) โพแทสเซียม (Potassium :K) คาร์บอน (Carbon : C) และไฮโดรเจน (Hydrogen : H) เป็นต้น ข้อมูลองค์ประกอบด้านเคมีส่วนใหญ่จะ

นำมาใช้ในการเลือกวิธีและออกแบบระบบกำจัดขยะ เช่น ใช้คำนวณค่าความร้อนของขยะ คำนวณหาสัดส่วนของ Carbon และ Nitrogen (C/N ratio) และปริมาณสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการหมักทำปุ๋ย เป็นต้น

4.2.7 สารเคมีเป็นพิษ เช่น โลหะหนักต่างๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการประเมินขอบเขตและความรุนแรงของภาวะการณ์ปนเปื้อนของของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

4.3 ลักษณะทางชีววิทยา (biological characteristics)

ลักษณะทางชีววิทยาของขยะ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ (microorganisms) ที่ปนเปื้อนอยู่ในขยะ เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส ซึ่งจุลินทรีย์บางชนิดอาจก่อให้เกิดโรคได้ (pathogenic) บางชนิดไม่ก่อให้เกิดโรค (non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้ขยะเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น decomposition bacteria

5. ผลกระทบของปัญหาขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ในชุมชน หากไม่ได้รับการเก็บรวบรวมและกำจัดโดยวิธีการที่ถูกต้องจะก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต สามารถสรุปผลกระทบที่สำคัญของขยะมูลฝอยได้ดังนี้

5.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.1.1 ผลกระทบต่อดิน ขยะมูลฝอยที่ถูกทิ้งทับถมกันบนดินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะมูลฝอย คือ หากมีองค์ประกอบที่เป็นสารที่สลายตัวยากหรือไม่สลายตัวเลย เช่น มีโลหะหนักหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ก็จะก่อให้เกิดมลพิษทางดินขึ้น แต่ถ้ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มากก็จะช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างและอินทรียวัตถุในดินมากขึ้น

5.1.2 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การที่เราทิ้งขยะมูลฝอยลงในแม่น้ำลำคลองจะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ เนื่องจากเป็นการเพิ่มสารแขวนลอยและสารที่ละลายได้ในน้ำ และจะไปลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้ยังทำให้แม่น้ำลำคลองตื้นเขินได้อีกด้วย

5.1.3 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำใต้ดิน เมื่อน้ำชะขยะมูลฝอยซึมลงสู่ใต้ดิน จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะถ้าบริเวณนั้นมีระดับน้ำใต้ดินสูงและคุณสมบัติของดินไม่ดี จะทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่ายและมีการแพร่กระจายของความเป็นพิษได้กว้างขวางยากต่อการแก้ไขและเป็นอันตรายต่อประชาชนที่บริโภคและอุปโภคแหล่งน้ำใต้ดินด้วย

5.1.4 ผลกระทบต่ออากาศ จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยนั้นมีสารประกอบส่วนใหญ่เป็น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ จะเกิดการบูดเน่าอย่างรวดเร็วในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยของเรา จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทน แอมโมเนีย ซึ่งจะเกิดในภาวะที่ไร้ออกซิเจนและจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ก่อให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้ นอกจากนี้การย่อยสลายของขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารหรือมูลสัตว์ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (methane) ซึ่งเป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ตัวหนึ่งที่จะมีผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า สภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม,2541)

5.2 ผลกระทบต่อมนุษย์

5.2.1 เป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคและสัตว์พาหะนำโรค เนื่องจากขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบทั้งอินทรียวัตถุและอนินทรียวัตถุ ดังนั้นในขยะมูลฝอยอาจจะมีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิดปะปนมาด้วย บางชนิดอาจมีความทนทานและสามารถเจริญเติบโตได้ต่อไปอีก ทำให้เป็นอันตรายต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน นอกจากนี้ขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการเก็บขนและกำจัดอย่างถูกวิธีจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรค เช่น แมลงวัน หนู เป็นต้น

5.2.2 การเสี่ยงต่อสุขภาพ ในชุมชนที่ขาดการจัดการขยะมูลฝอยที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลจะทำให้ประชาชนในชุมชนนั้นเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่างๆ ได้ง่าย เนื่องจากขยะมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่กระจายของโรค ทำให้การแพร่กระจายของเชื้อโรคเป็นไปได้ง่าย

5.3 ผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม

5.3.1 การสูญเสียทางเศรษฐกิจ ชุมชนที่ไม่มีการวางแผนในการจัดการขยะมูลฝอยที่ดี จะก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจตามมา เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดและจัดการมากขึ้น และขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการเก็บขนตามสถานที่ต่างๆ จะทำให้ชุมชนนั้นขาดความสวยงาม ส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวของชุมชนนั้น

5.3.2 ทำให้ชุมชนขาดความสวยงาม การจัดการขยะมูลฝอยที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล จะช่วยทำให้ชุมชนนั้นเกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อย ซึ่งจะแสดงถึงความเจริญและวัฒนธรรมของชุมชนนั้น หากชุมชนละเลยในการจัดการขยะมูลฝอยก็จะทำให้ทัศนียภาพของชุมชนนั้นเสียไป

5.3.3 เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย เนื่องจากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยนั้นมีหลายประเภท บางประเภทสามารถติดไฟได้ง่ายและเป็นเชื้อเพลิงได้อย่างดี ดังนั้นหากไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยที่ดี จะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยได้ นอกจากนี้การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการเผากลางแจ้ง อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟไหม้ป่าหรือบ้านเรือนได้

6. การกำจัดขยะ

6.1 การฝังอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill)

เป็นการนำขยะมูลฝอยไปฝังหรือถมในที่ลุ่มโดยไม่ให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน วิธีนี้ต้องอาศัยหลักการย่อยสลายโดย จุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งจะมีการเกิดก๊าซมีเทน และกรดอินทรีย์ต่างๆ วิธีการนี้สามารถทำได้หลายลักษณะทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่และภูมิประเทศ ได้แก่ การทำในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำขัง เช่น วิธีขุดเป็นร่อง วิธีขุดแล้วกลบ

6.2 การเผาอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (incineration)

เป็นการเผาขยะมูลฝอยในเตาเผา ซึ่งเตาเผานั้นจะต้องทำการเผาขยะมูลฝอยชนิดต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ทำให้เกิดเหตุรำคาญ เช่น กลิ่นรบกวน และมลภาวะทางอากาศ ความร้อนของเตาเผาขยะมูลฝอยที่ใช้โดยทั่วไป คือ 676 ^{0}C – 1,000 ^{0}C โดยความร้อนประมาณ 676 ^{0}C จะช่วยทำให้ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกทำลายหมดและไม่ทำให้มีกลิ่นรบกวน ส่วนที่อุณหภูมิ 1,000 ^{0}C จะทำให้ขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการนำขยะมูลฝอยมากองรวมกันแล้วเผากลางแจ้ง จึงเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล เนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในเตาเผา

6.3 การทำปุ๋ยหมัก (composting)

เป็นการกำจัดขยะมูลฝอยโดยให้สารอินทรีย์ต้องเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชที่ค่อนข้างคงรูป โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปุ๋ยที่ได้จะมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ มีความร่วนซุยสูง อุ้มน้ำได้ดี และแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงสภาพดิน ขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับการนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ได้แก่ ขยะมูลฝอยจากตลาดสด และขยะมูลฝอยจากการเกษตร

7. การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการทำปุ๋ยหมัก

7.1 การทำปุ๋ยหมัก

การกำจัดขยะโดยการทำปุ๋ยหมัก เป็นการใช้ปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพื่อย่อยสลายสารวัตถุในขยะมูลฝอยที่สามารถสลายตัวได้ เช่น พวกอินทรีย์สาร ซึ่งจะมีธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) และเมื่อย่อยสลายตัวจนสมบูรณ์ดีแล้วจะได้กากที่เหลือเป็นผลผลิต ที่เรียกว่า ปุ๋ยหมัก (compost) สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน และเป็นอาหารของพืชได้ ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักแบ่งได้ 2 ประเภท (Day and Shaw, 2001) คือ

7.1.1 การหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic composting) เป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ซึ่งสามารถแสดงสมการทางชีวเคมีได้ดังนี้

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic microorganism}} CO_2 + NH_3 + \text{Products} + \text{ENERGY}$$

เมื่ออินทรีย์สารถูกย่อยสลายแล้วจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมาพร้อมกับให้แร่ธาตุซึ่งเป็นอาหารสำหรับพืชในรูปต่าง ๆ เช่น ไนเตรต ซัลเฟต และฟอสเฟต ในการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้นจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสม การหมักแบบใช้ออกซิเจนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1) การหมักโดยอาศัยออกซิเจนธรรมชาติ (windrow composting) เป็นการนำขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้กองบนพื้นเป็นกองเล็กๆ เพื่อให้ขยะมูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศให้มากที่สุด ถ้ากองขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ขยะมูลฝอยภายในกองได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนขึ้นได้

2) การหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกล (high rate composting) เป็นการใช้เครื่องจักรช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับขยะมูลฝอยได้มากที่สุด อาจทำเป็นกระทะเจาะรูมีการพลิกกลับ เป็นต้น นอกจากการใช้เครื่องจักรช่วยแล้ว จะต้องทำให้ขยะมูลฝอยเป็นชิ้นเล็กและแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออก จะช่วยทำให้ขยะมูลฝอยนั้นสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น

7.1.2 การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic composting) เป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสามารถแสดงสมการทางชีวเคมีได้ดังนี้

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{anaerobic microorganism}} CO_2 + NH_3 + \text{Products} + \text{ENERGY} + H_2S + CH_4$$

การหมักปุ๋ยในสภาพที่ไม่มีอากาศเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่ไม่มีอากาศหรือเรียกอีกอย่างว่าแบบ cold process ที่เรียกเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก และเป็นกระบวนการที่ปล่อยพลังงานออกมาน้อยกว่าสภาพที่มีอากาศ ซึ่งพลังงานที่ปล่อยออกมาน้อยเนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก กระบวนการในสภาพที่ไม่มีอากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ประการที่สองจำนวนความร้อนที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่า การทำปุ๋ยหมักในสภาพไม่มีอากาศนี้จะมีสารอินทรีย์บางชนิด เช่น พวกไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons)จะไม่ถูกย่อยสลาย และข้อเสียของการทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้ จะทำให้เกิดกลิ่นต่างๆ เช่นกลิ่นเหม็นเน่าเนื่องจากโปรตีนต่างๆถูกย่อยสลายโดยพวกแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic bacteria) จึงทำให้เกิดสารที่มีกลิ่นต่างๆขึ้นในกองปุ๋ยหมัก

7.2 ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

การเกิดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจำเป็นต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังต่อไปนี้

7.2.1 ปัจจัยทางกายภาพ (Physical Factors)

1) ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่ใช้หมัก JICA (1982) ได้แนะนำว่าขนาดของขยะมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ยหมัก คือ 0.5 – 1.5 นิ้ว ซึ่งอัตราความเร็วในการเกิดการออกซิเดชันทางชีววิทยา เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของพื้นที่ผิวที่ให้เชื้อจุลินทรีย์เข้ายึดเกาะ ถ้าพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากจะทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์เข้ายึดเกาะได้ดีและทำให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้น ดังนั้นวัสดุในการหมักควรจะมีขนาดเล็ก และต้องมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Bertoldi et al ,1983)

2) ความชื้น เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจน จากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณของก๊าซออกซิเจนในวัสดุหมัก ถ้าความชื้นมากปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลง อาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศได้ ซึ่ง JICA (1982) ได้ศึกษาพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักขยะมูล

ฝอยควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายวัสดุที่มีเส้นใย (fiber) และมีความหนาแน่นต่ำ ควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 80-85 เปอร์เซ็นต์ (Gaur et al., 1982)

จากรายงานของ Robert (2001) พบว่า โดยทั่วไปแล้วการหมักปุ๋ยหมักจะต้องคงสภาพความชื้นให้อยู่ในกองปุ๋ยหมักในช่วงระหว่าง 50-60 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเหมาะสมต่อกระบวนการหมัก และ Tiquia et al. (1996) รายงานว่า การเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักที่ระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการหมักปุ๋ยหมัก

3) การระบายอากาศ จะต้องทำให้มีอากาศที่เพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ปริมาณอากาศที่ต้องการในการหมักขยะมูลฝอยแบบใช้ออกซิเจนนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของขยะมูลฝอยหรือวัสดุที่จะนำมาหมัก โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ต้องการออกซิเจนนั้น จัดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีววิทยา ซึ่งปัจจัยที่สำคัญก็คือก๊าซออกซิเจน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เป็นปัจจัยจำกัดต่อการดำเนินกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณก๊าซออกซิเจนต้องไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ (Bertoldi และคณะ ,1982)

4) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายและเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูง การย่อยสลายอินทรียวัตถุเป็นไปได้เร็วและสามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุในขยะได้ลึกจากผิวสัมผัสกับอากาศถึง 20 เซนติเมตร (JICA, 1982) อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง อุณหภูมิสูงสุดไม่ควรเกิน 70 องศาเซลเซียส และไม่ควรเกิดต่อเนื่องเป็นเวลานานเกินไป เนื่องจากจะทำให้ จุลินทรีย์ถูกทำลาย (Poincelot, 1975) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการคัดเลือกกลุ่มของ จุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในช่วงเริ่มแรกในกระบวนการย่อยสลาย จุลินทรีย์กลุ่ม Mesophilic (เจริญที่อุณหภูมิ 25- 45 องศาเซลเซียส) เป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลาย เมื่ออุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic (เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส ขึ้นไป) จะเจริญขึ้นมาแทนที่ และมีบทบาทแทนกลุ่ม Mesophilic การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน ดังนั้นสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการหมักจึงรวมไปถึงการมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ปฏิกิริยาชีวเคมีที่

เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก เมื่ออุณหภูมิลดลงจะหมายความถึงต้องมีการเติมออกซิเจน หรือความชื้น หรืออาจจะหมายถึง ปฏิกิริยาการหมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว

7.2.2 ปัจจัยทางเคมี (Chemical Factors)

1) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง Bertoldi et al. (1983) รายงานว่า วัสดุที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.0 – 11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5 – 8.0 เนื่องจากแบคทีเรียชอบ pH ช่วงที่เป็นกลาง ส่วนเชื้อราสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพค่อนข้างเป็นกรดได้ แต่โดยปกติแล้ว pH เริ่มต้นในการหมักมักจะค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย คืออยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ซึ่งถือว่าเป็น pH ที่พบใน Cell sap ของพืชส่วนใหญ่ (Gray et al., 1971 ; Bertoldi et al., 1983) รายงานว่าในช่วงแรกของการย่อยสลายจะทำให้ pH ลดลงโดย กิจกรรมของ Acid Forming Bacteria ซึ่งจะย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนทำให้เกิดกรดอินทรีย์มีผลให้ pH ค่อนข้างเป็นกรดประมาณ 4.5 – 5.0

2) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัตถุดิบ เป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุดังกล่าวจะย่อยสลายได้เร็วหรือช้า และใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก กล่าวคือถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio สูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (De Bertoldi et al., 1983) คาร์บอนในอินทรียสารจะเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างโครงสร้างของเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะได้พลังงานออกมา จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น การเพิ่มจำนวนนี้จะมีการสร้างเซลล์ใหม่ จุลินทรีย์จึงต้องการไนโตรเจนซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการสังเคราะห์เซลล์ (Gotaas, 1976) Martins and Dewes (1992) กล่าวว่า ถ้า C/N ratioของวัตถุดิบ มีค่าอยู่ในช่วง 25-35 การหมักจะมีประสิทธิภาพที่สุด แต่ถ้า C/N ratio มีค่าสูงกว่า35 กระบวนการหมักจะช้าลง ขณะที่ C/N ratio มีค่าต่ำกว่า 20 จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ในระหว่างกระบวนการหมักอินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วระเหยออกจากกองปุ๋ยหมัก ขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอินทรียสารในกอง ทำให้ C/N ratio มีค่าลดลง จากการศึกษาของ Bertoldi et al. (1983) พบว่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มีค่าประมาณ 25 ต่อ 1 ดังนั้น ถ้ามีการปรับค่าอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอน ต่อไนโตรเจนให้เหมาะสมจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น

7.3 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักสามารถแบ่งได้ดังนี้ (ธงชัย,2535)

7.3.1 ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

1) ช่วยให้ดินมีโครงสร้างที่ดี กล่าวคือทำให้ดินลักษณะร่วนซุย รากพืชเจริญเติบโตดีขึ้น การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น

2) เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินให้ดีขึ้น

7.3.2 ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

1) การใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง และเป็นประโยชน์แก่พืชในระยะยาว

2) ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้ธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของประจุบวกถูกดูดยึดไม่สูญเสียไป

3) ปุ๋ยหมักช่วยลดความเป็นพิษของการที่มีธาตุบางธาตุในดินละลายออกมามากเกินไป เช่น Al, Fe เป็นต้น

4) การใส่ปุ๋ยหมักในดินเป็นการช่วยเพิ่มความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (buffer capacity)

7.3.3 ช่วยปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

1) การใส่ปุ๋ยหมักในดินเป็นการเพิ่มแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดินทำให้จุลินทรีย์เพิ่มปริมาณและพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น

2) การใส่ปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น มีผลช่วยยับยั้งการเจริญ และความสามารถในการก่อโรคพืชของเชื้อโรค โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้รากพืช

3) เมื่อมีจุลินทรีย์ในดินมากขึ้น ทำให้ในดินเกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งบางชนิดพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง

8. จุลินทรีย์ในดิน

8.1 ชนิดของจุลินทรีย์ในดิน

ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในดิน ได้แก่ แบคทีเรีย แอกทิโนไมซีต (actinomycetes) รา สาหร่าย และไวรัส โดยมีจำนวนชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในดินแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและปริมาณของสารอาหาร ชนิดและสภาพแวดล้อมของดิน เป็นต้น (ศิริพรรณ , 2550)

8.1.1 แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์กลุ่มใหญ่ที่พบมากที่สุดทั้งชนิดและปริมาณ โดยทั่วไปพบในช่วง 10^8 - 10^9 เซลล์ต่อดินน้ำหนักแห้ง 1 กรัม มีทั้งพวกที่ไม่เคลื่อนที่และพวกเคลื่อนที่โดยอาศัยแฟลกเจลลา (flagella) มีความหลากหลายในรูปแบบของการดำรงชีวิต เช่น พวกที่ดำรงชีวิตแบบ photoautotroph ซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ พวก chemoautotroph ที่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน แบคทีเรียบางพวกก็สามารถดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจนได้ (anaerobe) บางพวกมีความสามารถในการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ (nitrogen-fixing bacteria) แต่โดยภาพรวมแล้วแบคทีเรียในดินส่วนใหญ่จะเป็นพวก heterotroph ที่ดำรงชีวิตแบบ saprophyte โดยย่อยสลายเศษซากพืชหรือสารอินทรียวัตถุในดินเป็นอาหาร หรือเรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า autochthonous คือพวกที่อาศัยอาหารที่มีอยู่แล้วในดิน ไม่ต้องการอาหารจากที่อื่นอีก ซึ่งปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ในขณะที่แบคทีเรียบางพวกซึ่งปกติจะมีอยู่ในดินในปริมาณน้อย แต่เมื่อมีอาหารโดยเฉพาะอินทรียวัตถุที่เพิ่มเติมลงไปในดิน ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่ออาหารที่เพิ่มเติมลงไปในดินลดลง ปริมาณของแบคทีเรียพวกนี้ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว เรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า zymogenous

8.1.2 แอกทิโนไมซีต เป็นแบคทีเรียอีกพวกหนึ่งที่พบมากในดิน อยู่ในช่วงประมาณ 10^7 - 10^8 cfu (colony forming unit) ต่อดินน้ำหนักแห้ง 1 กรัม มีรูปร่างลักษณะยืดยาวเป็นเส้นใยคล้ายราเพียงแต่มีขนาดเล็กและสั้นกว่ามาก และมีเซลล์เดียว ซึ่งมีความกว้างประมาณ 0.05 – 2 ไมโครเมตร ขยายพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่เจริญอยู่ในดินอย่างอิสระแบบ saprophyte แต่บางชนิดก็สามารถทำให้เกิดโรคในคน สัตว์ หรือพืชได้ และบางชนิดสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น Frankia แบคทีเรียแอกทิโนไมซีตที่พบในดินได้แก่ Nocardia , Streptomyces , Micromonospora เป็นต้น

8.1.3 รา จะพบมากที่บริเวณผิวหน้าดินซึ่งมีอากาศ มีรูปร่างเป็นเส้นใย สามารถสร้างสปอร์ได้ ปริมาณราที่พบในดินโดยทั่วไปที่นับโดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่า มีจำนวนรองลงมาจากแบคทีเรียและแอกทิโนไมซีต แต่ปริมาณชีวมวล (biomass) ของราจะมากที่สุด ราจัดเป็นจุลินทรีย์พวก aerobic heterotroph ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่ย่อยเศษซากอินทรียวัตถุในดินเป็นอาหาร จึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุร่วมกับแบคทีเรีย โดยเฉพาะการย่อยสลายที่ย่อยยาก เช่น ลิกนินและสารฮิวมิก นอกจากนี้รายังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยการที่เส้นใยมีการสานกันเป็นตาข่ายยึดอนุภาคของดินไว้เป็นกลุ่มก้อน ราที่อาศัยอยู่ในดินมีมากมายหลายชนิด บางชนิดสามารก่อโรคกับคนหรือสัตว์ได้ บางชนิดก็อาศัยอยู่ในรากพืชแบบ symbiosis เช่น Mycorrhiza เป็นต้น ราที่พบทั่วไปในดินได้แก่ Aspergillus , Rhizopus , Pythium , Penicillium , Mucor , Fusarium เป็นต้น

8.1.4 สาหร่าย ที่พบในดินมีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดียวและมีหลายเซลล์รวมกันเป็นเส้นสายยาว ๆ ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียว ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตโดยการสังเคราะห์แสง จึงเจริญเติบโตได้เฉพาะที่บริเวณผิวดินที่มีแสงเพียงพอ และในดินที่มีความชื้นสูง บทบาทของสาหร่ายโดยทั่ว ๆ ไป ได้แก่ การเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน ช่วยเสริมสร้างการเกิดเม็ดดินโดยการสร้างสารพวก polysacchaides ออกมานอกเซลล์ บางชนิดสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น Anabeana , Nostoc , Gloeothece เป็นต้น ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

8.1.5 ไวรัส ที่พบในดินมีหลายชนิด แต่ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น ไวรัสของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น bacteriophages บทบาทโดยรวมของไวรัสในดินยังไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ ในดินโดยตรง เพียงแต่ไม่มีผลกระทบต่อระบบ

นิเวศของสิ่งมีชีวิตที่ไวรัสเข้าไปอาศัยอยู่ โดยเฉพาะบทบาทในการถ่ายทอดสารพันธุกรรมระหว่างจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในดิน เช่น กระบวนการ transduction ซึ่งอาจทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน

ธนิศร์ (2548) ได้กล่าวไว้ว่าการเจริญเติบโต และการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านอาหาร และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ดังนี้

8.2.1 ปัจจัยด้านอาหาร

1) แหล่งพลังงาน มีความสำคัญต่อแบคทีเรียมากเนื่องจากแบคทีเรียมีความต้องการพลังงานจำนวนมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน แหล่งพลังงานที่สำคัญมี 3 แหล่ง คือ

(1). แสง เป็นแหล่งพลังงานสำหรับกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้ มักพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ในบริเวณที่แสงส่องถึง เช่น ผิวดิน หรือในน้ำที่ไม่มีสิ่งปกคลุม

(2). สารอินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (chemoheterotroph) เป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อดิน เพราะก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน แป้ง หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น (บัญญัติ, 2534)

(3). สารอนินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการออกซิไดซ์สารประกอบอนินทรีย์ให้ได้พลังงาน (chemoautotroph) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นสารประกอบไนเตรตและได้พลังงาน (nitrification) กระบวนการออกซิไดซ์เหล็ก (iron oxidation) เป็นต้น

2) แหล่งคาร์บอน คาร์บอน (C) จัดเป็นธาตุอาหารหลักของแบคทีเรียที่จำเป็นต้องใช้สำหรับสร้างองค์ประกอบเซลล์ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต แหล่ง

คาร์บอนที่แบคทีเรียเลือกใช้จะมีความแตกต่างกัน ตามกลุ่มของแบคทีเรีย เช่น กลุ่มออโตโทรป (autotroph)ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในดินเป็นแหล่งคาร์บอน โดยใช้พลังงานจากแสงหรือจากกระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบอนินทรีย์ กลุ่มเฮทเทอโรโทรป (heterotroph) ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ดังนั้นสามารถจำแนกแบคทีเรียเป็นกลุ่มได้โดยพิจารณาจากแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนที่แบคทีเรียใช้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจัดจำแนกแบคทีเรียโดยอาศัยความแตกต่างของแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน

กลุ่มแบคทีเรีย	แหล่งพลังงาน	แหล่งคาร์บอน	ตัวอย่างแบคทีเรีย
photoautotroph	แสง	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	แบคทีเรียสังเคราะห์แสง เช่น purple sulfer bacteria และ green sulfer bacteria
photoheterotroph	แสง	สารอินทรีย์	แบคทีเรียสังเคราะห์แสง เช่น purple sulfer bacteria และ green sulfer bacteria
chemoautotroph	สารอนินทรีย์	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	แบคทีเรียพวก nitrifying bacteria, sulfer bacteria และ iron bacteria
chemoheterotroph	สารอินทรีย์	สารอินทรีย์	แบคทีเรียส่วนใหญ่ รา แอคติโนมัยซีท และโปรโตซัว

ที่มา: สุบัณฑิต (2546)

3) ตัวรับอิเล็กตรอน กระบวนการหายใจ (respiration) ของแบคทีเรีย เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบออกซิเดชั่น-รีดักชั่นในเซลล์ เพื่อให้เกิดพลังงาน แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ กระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนก๊าซ , กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนก๊าซ และกระบวนการหมัก กระบวนการหายใจเพื่อให้เกิดพลังงานและเกี่ยวข้องกับตัวรับอิเล็กตรอน มี 2 แบบ คือกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากกิจกรรมการออกซิไดซ์อินทรีย์สารและอนินทรีย์สารดังกล่าวทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน ซึ่งกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย (aerobic respiration) มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากวัฏจักรไกลโคลิซิสและกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชั่น และวัฏจักรเครปส์ เมื่ออิเล็กตรอนเข้าสู่กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) จะมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor)ตัวสุดท้าย เกิดการออกซิเดชั่นอย่างต่อเนื่อง และปลดปล่อยสารพลังงานสูงออกมาในรูป ATP รวม 38

ATP สำหรับกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนก๊าซ มีอินทรีย์สาร เช่น NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, Mn_4^+,Fe_3^+ และ CO_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน (นงลักษณ์ และ ปรีชา, 2541) ตัวรับอิเล็กตรอนที่ต่างกันจะมีผลต่อพลังงานในรูป ATP ที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่างกัน ในสภาวะที่มีความ reduceต่ำ แบคทีเรียจะใช้ตัวรับอิเล็กตรอนที่ให้พลังงานมากที่สุดก่อน เช่น ใช้ NO_3^- เป็นตัวรับอิเล็กตรอนก่อนใช้ SO_4^{2-} เนื่องจาก NO_3^- ให้พลังงานมากกว่า ลักษณะเช่นนี้ มักปรากฏในสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำขัง เช่นในดินตะกอนน้ำทะเล หรือดินตะกอนป่าชายเลน (สุบัณฑิต, 2546)

4) แร่ธาตุ แร่ธาตุมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสำหรับนำไปใช้ในการสร้างประกอบและองค์ประกอบต่างๆในเซลล์ อีกทั้งแร่ธาตุบางชนิดมีความสำคัญต่อการดำเนินกระบวนการหรือปฏิกริยาภายในเซลล์ แร่ธาตุที่ต้องการมาก ได้แก่ ไนโตรเจน กำมะถัน และฟอสฟอรัส (บัญญัติ, 2534) แร่ธาตุที่อยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม คลอไรด์ ฯลฯ เหล่านี้ นอกจากใช้เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดแล้ว ยังจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ของแบคทีเรียอีกด้วย

5) growth factor เป็นอินทรีย์สารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ได้แก่ กรดอมิโน purine และpyrimrdine ซึ่งจุลินทรีย์ต้องการมาก ส่วนวิตามินต่างๆต้องการในปริมาณน้อย (บัญญัติ, 2534) growth factor มีความสำคัญต่อการสร้างกรดนิวคลีอิก โปรตีน และกระบวนการทำงานของเอนไซม์

8.1.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

1) การระบายอากาศของดิน โครงสร้างของดินโดยทั่วไปจะมีก๊าซเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน (porous space) (Brock, 1994) ดินซึ่งต่างชนิดกันจะมีอากาศภายในช่องว่างของดินในปริมาณที่ต่างกัน รวมถึงมีการระบายอากาศของดินต่างกันออกไป การระบายอากาศของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณของออกซิเจนโดยตรงและส่งผลต่อค่า redox potential ในดิน ซึ่งมีผลต่อการเลือกใช้ตัวรับอิเล็กตรอนของจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆสำหรับสร้างพลังงาน

2) ความชื้นในดิน น้ำจะอยู่ในช่องว่างของเนื้อดินและแทนที่อากาศในดิน จัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน และมี

สำคัญต่อกระบวนการเมทาโบลิซึมของจุลินทรีย์ในดิน น้ำในดินมีความสำคัญในการเป็นตัวละลายธาตุอาหารและช่วยในการดูดซึมสารอาหารของจุลินทรีย์ทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร (สุบัณฑิต,2546) และมีความเกี่ยวข้องกับแรงดันออสโมติกของแบคทีเรียและจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ กับสิ่งแวดล้อม (บัญญัติ, 2534) อีกทั้งความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กันการระบายอากาศของดินถ้าความชื้นในดินมาก เช่น ดินเลนซึ่งมีน้ำท่วมขัง การระบายอากาศของดินจะเกิดขึ้นได้น้อย ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในดินมีน้อยตามไปด้วย

3) อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์ในดิน จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตต่างกันออกไป เนื่องจากกระบวนการเมตาโบลิซึม และกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์มีความเกี่ยวข้องกับเอนไซม์อยู่เสมอ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีอิทธิพลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์จุลินทรีย์ทั้งต่อการเร่งปฏิกริยา และการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์จุลินทรีย์

4) สภาพความเป็นกรดด่างของดิน ความเป็นกรดด่างของดินมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารในดินที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กิจกรรมและกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์ จะถูกควบคุมโดยการทำงานของเอนไซม์ และการทำงานของเอนไซม์จะถูกควบคุมโดยค่าความเป็นกรดด่างในดินค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มมีค่าต่างกัน จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ เช่น แบคทีเรีย เจริญได้ดีที่ pH ประมาณ 6-8 ส่วนราและยีสต์เจริญได้ดีในสภาวะ pH ที่เป็นกรดประมาณ 5 (บัญญัติ, 2534)

5) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ดินมีสภาพประจุทั้งลบ และบวก ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์โดยธาตุอาหารจะถูกดูดซับไว้กับอนุภาคดิน ซึ่งธาตุอาหารส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก เช่น NH^{+}_{4}, K^{+}, Ca^{2+} จึงเกาะได้ดีกับอนุภาคดินซึ่งมีประจุลบ ทำให้จุลินทรีย์สามารถดึงเอาธาตุอาหารไปใช้ได้ และความเป็นประจุของดินยังมีผลต่อความสามารถในการยึดเกาะของเซลล์จุลินทรีย์ที่มีประจุลบกับอนุภาคดินด้วย

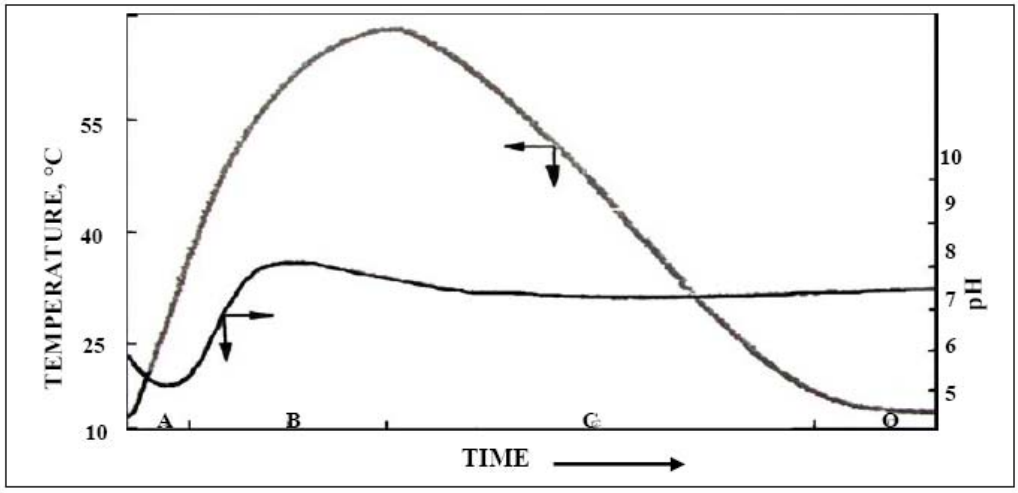
6) ระดับความลึกของดิน จำนวนจุลินทรีย์ในดินจะแปรผกผันกับระดับความลึกของดิน ดินชั้นบนพบจุลินทรีย์ได้หลากหลายกลุ่ม ในจำนวนซึ่งมากกว่าดินชั้นล่างที่ลึกลงไป โดยพบมากที่ระดับความลึก 2-3 เซนติเมตร ตัวอย่างเช่น ดินชั้นบนลึก 3-8 เซนติเมตร จะพบ

แบคทีเรียประมาณ 9.7×106 CFU/ดิน 1 กรัม ซึ่งมากกว่าดินชั้นล่างที่ความลึก 20-25 เซนติเมตร พบแบคทีเรียประมาณ 2.2×106 CFU/ดิน 1 กรัม (Paul and Clark, 1996) และระดับความลึกของดินมีผลต่อปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ pH ความชื้นในดิน และธาตุอาหารในดิน ซึ่งระดับความลึกและปัจจัยต่างๆดังกล่าว ล้วนมีความสัมพันธ์ต่อกันและมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน

8.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการหมักปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์วิธีหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนโครงสร้างจากอินทรียวัตถุเมื่อผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้วกลายเป็นอนินทรีย์วัตถุ หรือแร่ธาตุที่เสถียรในดิน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ pH ความชื้น และค่า C:N ratio ที่เหมาะสมจะทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายปุ๋ยหมักได้ดี (Haug, 1993)

จุลินทรีย์ที่พบในกองปุ๋ยหมักมูลฝอยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ psychrophilic, mesophilicและ thermophilic (สุบัณฑิต, 2546) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมระหว่างอุณหภูมิ และค่า pH ณ ช่วงเวลาต่างๆ ขณะเกิดกิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยหมักโดยกลุ่มจุลินทรีย์



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่า pH ณ ช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยหมักโดยจุลินทรีย์ (A = mesophilic , B = thermophilic , C = cooling ,O = maturing)

ที่มา: Gray et al. (1971)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ประเภทจุลินทรีย์	พิสัย	อุณหภูมิที่เหมาะสม (องศาเซลเซียส)
Psychrophilic	0-30	15
Mesophilic	20-40	32
Thermophilic	40-70	55

ที่มา: สุบัณฑิต, 2546

8.3.1 จุลินทรีย์พวกที่ต้องการก๊าซออกซิเจนและชอบอุณหภูมิปานกลาง (aerobic mesophilic microorganism) มีทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส ซึ่งในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยจุลินทรีย์ในสกุลต่อไปนี้

1) เชื้อรา ได้แก่ Aspergillus, Chaetomium, Cuvularia, Phoma, Fusarium,Memononiella, Trichoderma เป็นต้น

2) แบคทีเรีย ได้แก่ Chytophage, Bacillus, Vibrio, Pseudomonas, Cellomonas,Sporcyotophase เป็นต้น

3) แอคติโนมัยซีส ได้แก่ Streptomyces, Micromonospora, Nocardia จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญในช่วงอุณหภูมิ 15-45 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส

8.3.2 จุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการก๊าซออกซิเจนและชอบอุณหภูมิปานกลาง (anaerobic mesophilic microorganisms) จุลินทรีย์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ แบคทีเรียสกุล Clostridium

8.3.3 จุลินทรีย์พวกที่เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส (thermophilic microorganisms) จุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ Clostridium thermocellum และ Clostridium thermocellulaseum จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทในการย่อยสลายสูง

สำหรับพวก facultative anaerobes นั้น สามารถหายใจและทำกิจกรรมการย่อยสลายได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนตราบใดที่ยังมี electron acceptors อยู่ในกองหมัก

Updegraff (1972) กล่าวไว้ในรายงานการศึกษาว่าในกองปุ๋ยหมักบริเวณต่างกันจะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่างกัน พบว่าที่ 45 องศาเซลเซียส มีการย่อยสลายของในกองปุ๋ยหมักได้ดี สามารถพบเชื้อราได้ที่อุณหภูมิสูงเกิน 45 องศาเซลเซียส จัดเป็นเชื้อราที่ชอบและทนอุณหภูมิสูง แบคทีเรียบางชนิดสามารถพบได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

Chang and Hudson (1967) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในช่วงแรกที่อุณหภูมิของการหมักไม่สูง จะพบเชื้อรา และแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตกรด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 40-70 องศาเซลเซียส จะพบแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถสร้างสปอร์ได้ และมีบทบาทในการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิสูง ภายหลังที่

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลง เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลางในช่วงแรกจะเจริญขึ้นมาอีกครั้ง

สุจิต (2508) ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ขณะย่อยสลายปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างมากกับจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียในขยะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นหรือลดต่ำลง จากการทดลองพบว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิสูง (thermophilic) จะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ระหว่างการหมักอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จาก 54-73 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ ดังนั้นจำนวนของเชื้อจะเพิ่มขึ้นในช่วงนี้ แต่เมื่ออุณหภูมิปุ๋ยหมักสูงถึง 65 องศาเซลเซียส เชื้อจะถูกทำลาย และลดจำนวนลง อุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์หยุดชะงักลง ขณะเดียวกันจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมาก

นิรันดร์ (2543) ศึกษารูปแบบการทำปุ๋ยหมัก 3 แบบ คือ aerobic, anaerobic และแบบ dehydrogenation พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจากกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมักอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีช่วงอุณหภูมิสูงที่สุด คือ 66-69 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจึงค่อยๆลดลง โดยตลอดการทดลองหมักปุ๋ยหมัก 3 เดือน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักอยู่ระหว่าง 43.5-45.5 องศาเซลเซียส เมื่อทำการคัดแยกแบคทีเรียจากกองปุ๋ยหมักเพื่อตรวจดูแบคทีเรียก่อโรค พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่พบเสมอ คือ Vibrio fluvialis, V. choleraenon O1, Staphylococcus aureus และเชื้อ Salmonella enteritidis โดยที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักที่เพิ่มสูงในช่วงแรกมีผลต่อการลดลงของจำนวนแบคทีเรียที่พบ

9. พื้นที่ศึกษา

9.1 ลักษณะทั่วไปและปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เทศบาลเมืองเพชรบุรีมีพื้นที่ 3,370 ไร่ หรือประมาณ 5.4 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ปกครองของอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี แบ่งเป็น 2 ตำบลคือ ตำบลท่าราบ และตำบลคลองกระแซง โดยมีแม่น้ำเพชรบุรีเป็นเส้นแบ่งเขตสองตำบลนี้ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้าง แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่สำคัญได้แก่ บ้านเรือนและสถานประกอบการ

ต่างๆ อัตราการเกิดมูลฝอยของชุมชนเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปี 2540 เท่ากับ 0.51 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ดังนั้นในปี 2540 ซึ่งมีประชากรจริง 37,618 คนและประชากรจร 53,511 คน จึงมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 46.48 ตันต่อวัน จากการสำรวจในอดีตแล้วได้มีการคาดคะเนปริมาณมูลฝอยในอนาคต (ปี 2540-2559) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณมูลฝอยรายปีในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีตั้งแต่ปี 2540-2559

พ.ศ.	ประชากรจริง	ประชากรจร	อัตราการเกิดมูลฝอย (กก./คน/วัน)	ปริมาณมูลฝอย (ตัน/วัน)
2540	37,618	53,511	0.51	46.48
2543	40,489	57,705	0.54	53.02
2545	42,402	60,501	0.56	57.63
2547	44,316	63,297	0.58	62.42
2549	46,230	66,093	0.60	67.39
2551	48,188	68,889	0.62	72.56
2553	50,057	71,685	0.64	77.91
2555	51,917	74,481	0.66	83.46
2557	53,885	77,276	0.68	89.19
2559	55,799	80,072	0.70	95.11

ที่มา : เทศบาลเมืองเพชรบุรี (2540)

9.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

จากการศึกษาของเรียมสงวน (2544) พบว่า องค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีก่อนทำการหมัก ส่วนใหญ่เป็นเศษอาหาร ผัก ร้อยละ 53.81 ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาเป็น พลาสติก แก้ว กระดาษ โลหะอื่นๆ ยกเว้นเหล็ก ร้อยละ 20.81 , 9.15 , 7.84 และ 4.35 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
ผัก เศษอาหาร	53.81
กระดาษ	7.84
พลาสติก	20.81
ไม้	0.42
เหล็ก	1.48
เศษผ้าและสิ่งทอ	1.13
ยาและหนังสัตว์	0.04
แก้ว	9.15
โลหะอื่นยกเว้นเหล็ก	4.35
หิน กระเบื้อง	0.00
dry cell	0.66
อื่นๆ	0.32
รวม	100.00

ที่มา : เรียมสงวน (2544)

สำหรับองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี พบว่า มูลฝอยมีความชื้นร้อยละ 50.60 มูลฝอยอินทรีย์ที่คัดแยกจากมูลฝอยรวมมีความชื้นร้อยละ 73.50 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นปกติ (bulk density) ของมูลฝอยรวมและมูลฝอยอินทรีย์ที่คัดแยกแล้ว คือ 0.28 และ 0.29 กิโลกรัมต่อลิตร ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยอินทรีย์ที่จะนำมาหมัก ได้แก่ ปริมาณของแข็งระเหย คาร์บอน ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม คิดเป็นร้อยละ 50.98 , 28.32 , 1.51 , 0.31 และ 0.48 ตามลำดับ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 18.76 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

พารามิเตอร์	หน่วย	มูลฝอยรวม	มูลฝอยอินทรีย์
ความชื้น (Moisture content)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	50.60	73.50
ปริมาณของแข็งทั้งหมด(Total solids)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	49.40	26.50
ปริมาณสารที่ไหม้ไฟได้	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	-	50.98
คาร์บอน (C)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	-	28.32
ไนโตรเจน (N)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	-	1.51
ฟอสฟอรัส (P)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	-	0.31
โพแทสเซียม (K)	ร้อยละโดยน้ำหนักสด	-	0.48
อัตราส่วน C:N (C/N ratio)	-	-	18.76
ความหนาแน่นปกติ (bulk density)	กิโลกรัม/ลิตร	0.28	0.29

ที่มา : เรียมสงวน (2544)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การทดลองที่ 1 : การหมักขยะแบบคลุกและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน

1. อุปกรณ์ภาคสนาม

1.1 ถังพลาสติกสีดำจำนวน 54 ใบ แต่ละใบความจุ 53 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 44.5 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร บริเวณก้นถังมีท่อสำหรับระบายน้ำออก

1.2 ขยะชุมชน เป็นขยะที่ทำการแยกเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ 1,080 กิโลกรัม

1.3 ดินเนื้อละเอียด 542 กิโลกรัม

1.4 ทรายหยาบ 756 กิโลกรัม

1.5 ถุงมือยางและรองเท้าบู๊ต

1.6 เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับใช้วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก และวัดอุณหภูมิบรรยากาศ

1.7 บัวรดน้ำ

1.8 คราดเหล็ก

1.9 จอบ

1.10 ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

1.11 เข่ง สำหรับใส่ขยะมูลฝอย

1.12 สายวัดชนิดตลับ

1.13 ผ้าปิดจมูกกันฝุ่น

1.14 ถาดอลูมิเนียม สำหรับเก็บตัวอย่างและอบขยะเพื่อหาความชื้น

1.15 น้ำยาฆ่าเชื้อ

2. อุปกรณ์และสารเคมีทางห้องปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2.2 ตู้อบ (drying oven) 75-100 ^{o}C

2.3 ตู้อบ (muffle) 600-650 ^{o}C

2.4 เครื่องบดตัวอย่างทำการวิเคราะห์

2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (analytical balance)

2.6 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ

2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ parameter ตามที่กำหนด

2.8 ถุงกระดาษสำหรับอบตัวอย่าง

การทดลองที่ 2 : การหมักขยะแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียด ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

1. อุปกรณ์ภาคสนาม

1.1 บ่อคอนกรีตทรงกลม (ต่อกัน 2 วง) เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สูงประมาณ 100 เซนติเมตร บริเวณก้นบ่อมีท่อสำหรับระบายน้ำออก จำนวน 24 ถัง

1.2 ขยะชุมชน เป็นขยะที่ทำการแยกเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ 2,555 กิโลกรัม

1.3 ดินเนื้อละเอียด 3,240 กิโลกรัม

1.4 ทรายหยาบ 1,600 กิโลกรัม

1.5 ถุงมือยางและรองเท้าบู๊ต

1.6 เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับใช้วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก และวัดอุณหภูมิบรรยากาศ

1.7 บัวรดน้ำ

1.8 คราดเหล็ก

1.9 จอบ

1.10 ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

1.11 เข่ง สำหรับใส่ขยะมูลฝอย

1.12 สายวัดชนิดตลับ

1.13 ผ้าปิดจมูกกันฝุ่น

1.14 ถาดอลูมิเนียม สำหรับเก็บตัวอย่างและอบขยะเพื่อหาความชื้น

2. อุปกรณ์และสารเคมีทางห้องปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
2.2 ตู้อบ (drying oven) 75-100 ^{o}C
2.3 ตู้อบ (muffle) 600-650 ^{o}C
2.4 เครื่องบดตัวอย่างทำการวิเคราะห์
2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (analytical balance)
2.6 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ
2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ parameter ตามที่กำหนด
2.8 ถุงกระดาษสำหรับอบตัวอย่าง

วิธีการ

การทดลองที่ 1 : การหมักขยะแบบคลุกและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน

1 การเตรียมสถานที่ศึกษาวิจัย

เตรียมถังพลาสติกสีดำความจุ 53 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 44.5 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร บริเวณก้นถังมีท่อสำหรับระบายน้ำออก จำนวน 54 ใบ ใช้ทรายหยาบรองพื้นถังหนา 10 เซนติเมตร ซึ่งจัดเตรียมไว้ภายในโรงเรือนที่มุงด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนในบริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลบ้านแหลม อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

2. การเตรียมขยะที่ใช้ในการหมักทดลอง

นำขยะจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีและขยะจากตลาดสดเทศบาลบ้านลาดที่รวบรวมแล้วมาดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 แยกขยะเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้โดยใช้แรงงานคนเพื่อนำไปทำการหมักเป็นปุ๋ยหมักต่อไป

2.2 ทำการสับขยะที่แยกแล้วให้มีขนาด 0.5-1.0 นิ้ว

2.3 สุ่มตัวอย่างขยะเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี

2.4 วิเคราะห์ความหนาแน่น โดยวิธีการตวงปริมาตรและชั่งน้ำหนัก

2.5 วิเคราะห์หาความชื้นโดยการนำขยะที่สุ่มได้ไปอบแห้งแล้วนำมาคำนวณตามสูตร

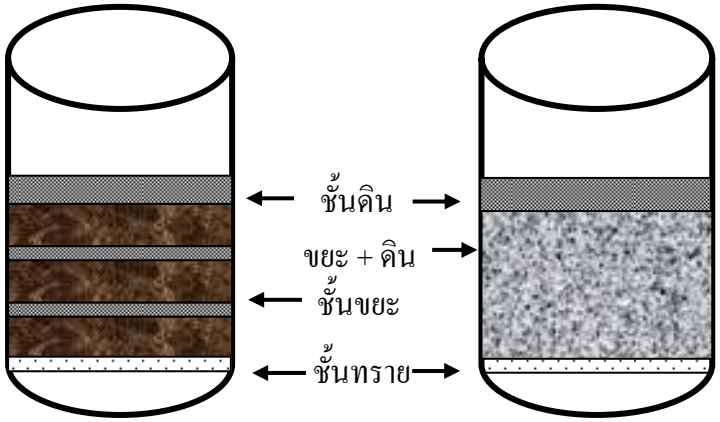
$$Wm = \frac{W1-W2}{W2} \times 100$$

เมื่อ Wm = ปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก

W1 = น้ำหนักของขยะเปียก

W2 = น้ำหนักขยะอบแห้ง

2.6 ใส่ขยะและดินตามสัดส่วนที่ได้กำหนดไว้ และผสมขยะกับดินดังแสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 การผสมขยะกับดิน

3. แผนการทดลองและรูปแบบของการหมัก

วางแผนการทดลองแบบ 2x3x3 Factorial in CRD มี 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยการทดลอง ดังนี้

3.1 ปัจจัยแรก : การผสมขยะกับดินเนื้อละเอียด (M) แบ่งเป็น

1) คลุก (การผสมขยะกับดินเนื้อละเอียด คลุกเคล้ากัน)
2) ทำเป็นชั้น (จัดวางขยะสลับเป็นชั้นกับดินเนื้อละเอียด)

3.2 ปัจจัยที่ 2 สัดส่วนระหว่างขยะ : ดินเนื้อละเอียด (R) โดยน้ำหนัก

1) ขยะ:ดิน 1:1 (ขยะ 20 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 20 กิโลกรัม)
2) ขยะ:ดิน 3:1 (ขยะ 20 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 6.7 กิโลกรัม)
3) ขยะ:ดิน 6 :1 (ขยะ 20 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 3.4 กิโลกรัม)

3.3 ปัจจัยที่ 3 ปริมาณน้ำที่ใช้รด (W) โดยน้ำหนัก

1) ไม่รดน้ำ
2) รดน้ำ 10 ลิตร (ปริมาณน้ำ:ขยะ 1:2) ทุกสัปดาห์
3) รดน้ำ 20 ลิตร (ปริมาณน้ำ:ขยะ 1:1) ทุกสัปดาห์

สามารถจัดเป็นรูปแบบได้ทั้งหมด 18 ตำรับ ดังนี้

1) ตำรับที่1 สัดส่วน 1:1 ไม่รดน้ำ คลุก
2) ตำรับที่2 สัดส่วน 1:1 รดน้ำ 10 ลิตร คลุก
3) ตำรับที่3 สัดส่วน 1:1 รดน้ำ 20 ลิตร คลุก
4) ตำรับที่4 สัดส่วน 3:1 ไม่รดน้ำ คลุก
5) ตำรับที่5 สัดส่วน 3:1 รดน้ำ 10 ลิตร คลุก
6) ตำรับที่6 สัดส่วน 3:1 รดน้ำ 20 ลิตร คลุก
7) ตำรับที่7 สัดส่วน 6 :1 ไม่รดน้ำ คลุก

8) ตำรับที่8 สัดส่วน 6 :1 รดน้ำ 10 ลิตร คลุก
9) ตำรับที่9 สัดส่วน 6 :1 รดน้ำ 20 ลิตร คลุก
10) ตำรับที่10 สัดส่วน 1:1 ไม่รดน้ำ ทำเป็นชั้น
11) ตำรับที่11 สัดส่วน 1:1 รดน้ำ 10 ลิตร ทำเป็นชั้น
12) ตำรับที่12 สัดส่วน 1:1 รดน้ำ 20 ลิตร ทำเป็นชั้น
13) ตำรับที่13 สัดส่วน 3:1 ไม่รดน้ำ ทำเป็นชั้น
14) ตำรับที่14 สัดส่วน 3:1 รดน้ำ 10 ลิตร ทำเป็นชั้น
15) ตำรับที่15 สัดส่วน 3:1 รดน้ำ 20 ลิตร ทำเป็นชั้น
16) ตำรับที่16 สัดส่วน 6 :1 ไม่รดน้ำ ทำเป็นชั้น
17) ตำรับที่17 สัดส่วน 6 :1 รดน้ำ 10 ลิตร ทำเป็นชั้น
18) ตำรับที่18 สัดส่วน 6 :1 รดน้ำ 20 ลิตร ทำเป็นชั้น

4. การวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิของบรรยากาศรอบๆ กองหมักขยะ และอุณหภูมิภายในถังหมักขยะ ทุกวัน วันละ 1 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. ตลอดระยะเวลาการหมักโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ การบันทึกอุณหภูมิจะทำการบันทึกไปจนถึงวันที่อุณหภูมิเฉลี่ยลดระดับลงมาใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศและ/หรือต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน

5. การวัดการยุบตัวของปุ๋ยหมัก

ทำการวัดความสูงกองหมักขยะ โดยการตรวจวัดทุกวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งจะทำการวัดในเวลา 07.00 น. จนสิ้นสุดการหมัก

6. การรดน้ำ

ทำการรดน้ำตามปริมาณที่กำหนดในแต่ละตำรับการทดลอง ทุกๆ 7 วัน หลังจากที่ทำการบันทึกอุณหภูมิเสร็จสิ้นแล้ว

7. การเก็บตัวอย่างวัสดุหมักและปุ๋ยหมักเพื่อวิเคราะห์

7.1 การเก็บตัวอย่างขยะก่อนนำมาหมัก

ขยะจะถูกเก็บโดยการสุ่มจากจุดต่าง ๆ มาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร นำไปทดสอบหาความหนาแน่น จากนั้นนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วแบ่งขยะออกเป็น 4 ส่วน (quartering) เลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงข้ามมารวมกันแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกหน ส่วนที่เหลือให้แยกออกไป จากนั้นทำ quartering จนกระทั่งเหลือตัวอย่างขยะ 50 ลิตร หรือ 15 กิโลกรัม (ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของตู้อบและอุปกรณ์ที่มีอยู่) จึงนำขยะจำนวนนี้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีต่อไป

7.2 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังหมัก

เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังหมัก ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บเป็นจุดทั้งกอง กองละ 8 จุด แล้วนำมารวมกัน เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ จะมีน้ำหนักประมาณ 500 -1,000 กรัม แล้วนำไปใส่ถาดอลูมิเนียม สำหรับอบในตู้อบ (hot air oven) เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมี

8. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักและปุ๋ยหมักเพื่อวิเคราะห์

อบตัวอย่างในตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 36 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ใน desicator ปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้น จากนั้นจึงนำไปบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีความถี่ขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ได้ปริมาณ 25 - 50 กรัม แล้วนำไปอบอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน desicator สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

9. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยทำการวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมี จะทำในวันแรกของการหมักและวันสุดท้ายของการหมัก โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

9.1 ความหนาแน่น

$$D = \frac{M}{V}$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น (Kg/m^3)

M = น้ำหนักขยะแห้ง (Kg)

V = ปริมาตรภาชนะตวง (m^3)

9.2 ความชื้น (moisture content) โดยใช้วิธี oven drying method ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นานไม่ต่ำกว่า 36 ชั่วโมง

9.3 ความเป็นกรด – ด่าง นำขยะที่บดผสมน้ำในสัดส่วน 1:5 แล้ววัดด้วย pH meter

9.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1958)

9. 5 ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุ (Total C และ Organic metter) โดยวิธีWalkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.6 สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) โดยวิธีคำนวณ จากปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์

9.7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate yellow color (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.8 หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic AdsorptionSpectrophotometer (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.9 หาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมโดยใช้วิธี atomic absorption spectrophotometer

9.10 วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ Cd และ Pb โดยใช้วิธี atomic absorption spectrophotometer

10. ระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินการหมักทั้งสิ้น 31 วัน เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2551

11. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ผลโดย ANOVA มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

การทดลองที่ 2 : การหมักขยะแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียด ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

1. การเตรียมสถานที่ศึกษาวิจัย

เตรียมบ่อคอนกรีตทรงกลม (ต่อกัน 2 วง) เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สูงประมาณ 100 เซนติเมตร บริเวณก้นบ่อมีท่อสำหรับระบายน้ำออก จำนวน 24 ถัง ใช้ทรายหยาบรองพื้นถังหนา 10 เซนติเมตร ซึ่งจัดเตรียมไว้ภายในโรงเรือนที่มุงด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน จำนวน 12 บ่อ และบริเวณนอกโรงเรือน จำนวน 12 บ่อ ในบริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลบ้านแหลม อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

2. การเตรียมขยะที่ใช้ในการหมักทดลอง

นำขยะจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีและขยะจากตลาดสดเทศบาลบ้านลาดที่รวบรวมแล้วมาดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 แยกขยะเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้โดยใช้แรงงานคนเพื่อนำไปทำการหมักเป็นปุ๋ยหมักต่อไป

2.2 ทำการสับขยะที่แยกแล้วให้มีขนาด 0.5-1.0 นิ้ว

2.3 สุ่มตัวอย่างขยะเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี

2.4 วิเคราะห์ความหนาแน่น โดยวิธีการตวงปริมาตรและชั่งน้ำหนัก

2.5 วิเคราะห์หาความชื้นโดยการนำขยะที่สุ่มได้ไปอบแห้งแล้วนำมาคำนวณตามสูตร

$$Wm = \frac{W1-W2}{W2} \times 100$$

เมื่อ Wm = ปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก

W1 = น้ำหนักของขยะขยะเปียก

W2 = น้ำหนักขยะอบแห้ง

3. แผนการทดลองและรูปแบบของการหมัก

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in CRD มี 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยการทดลอง ดังนี้

3.1 ปัจจัยแรก สถานที่การหมักขยะ (P)

1) ในโรงเรือน

2) นอกโรงเรือน

3.2 ปัจจัยที่ 2 สัดส่วนระหว่างขยะ : ดินเนื้อละเอียด (R) โดยปริมาตร

1) สัดส่วน 1:1 (ขยะ 68.9 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 306 กิโลกรัม)
2) สัดส่วน 3:1 (ขยะ 103.4 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 153 กิโลกรัม)
3) สัดส่วน 6 :1 (ขยะ 117 กิโลกรัม ดินเนื้อละเอียด 81 กิโลกรัม)

สามารถจัดเป็นรูปแบบได้ทั้งหมด 6 ตำรับ ดังนี้

(1) ตำรับที่ 1 สัดส่วน 1:1 ในโรงเรือน
(2) ตำรับที่ 2 สัดส่วน 3:1 ในโรงเรือน
(3) ตำรับที่ 3 สัดส่วน 6 :1 ในโรงเรือน
(4) ตำรับที่ 4 สัดส่วน 1:1 นอกโรงเรือน
(5) ตำรับที่ 5 สัดส่วน 3:1 นอกโรงเรือน
(6) ตำรับที่ 6 สัดส่วน 6 :1 นอกโรงเรือน

4. การวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิของบรรยากาศรอบๆ กองหมักขยะ และอุณหภูมิภายในถังหมักขยะ ทุกวัน วันละ 1 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. ตลอดระยะเวลาการหมักโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ การบันทึกอุณหภูมิจะทำการบันทึกไปจนถึงวันที่อุณหภูมิเฉลี่ยลดระดับลงมาใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศและ/หรือต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน

5. การวัดการยุบตัวของปุ๋ยหมัก

ทำการวัดความสูงกองหมักขยะ โดยการตรวจวัดทุกวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งจะทำการวัดในเวลา 07.00 น. จนสิ้นสุดการหมัก

6. การรดน้ำ

ทำการรดน้ำตามปริมาณที่กำหนดในแต่ละตำรับการทดลอง ทุกๆ 7 วัน หลังจากที่ทำการบันทึกอุณหภูมิเสร็จสิ้นแล้ว

7. การเก็บตัวอย่างวัสดุหมักและปุ๋ยหมักเพื่อวิเคราะห์

7.1 การเก็บตัวอย่างขยะก่อนนำมาหมัก

ขยะจะถูกเก็บโดยการสุ่มจากจุดต่าง ๆ มาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร นำไปทดสอบหาความหนาแน่น จากนั้นนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วแบ่งขยะออกเป็น 4 ส่วน (quartering) เลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงข้ามมารวมกันแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกหน ส่วนที่เหลือให้แยกออกไป จากนั้นทำ quartering จนกระทั่งเหลือตัวอย่างขยะ 50 ลิตร หรือ 15 กิโลกรัม (ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของตู้อบและอุปกรณ์ที่มีอยู่) จึงนำขยะจำนวนนี้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีต่อไป

7.2 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังหมัก

เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังหมัก ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บเป็นจุดทั้งกอง กองละ 8 จุด แล้วนำมารวมกัน เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ จะมีน้ำหนักประมาณ 500 -1,000 กรัม แล้วนำไปใส่ถาดอลูมิเนียม สำหรับอบในตู้อบ (hot air oven) เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมี

8. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักและปุ๋ยหมักเพื่อวิเคราะห์

อบตัวอย่างในตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 36 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ใน desicator ปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้น จากนั้นจึงนำไปบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีความถี่ขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ได้ปริมาณ 25 - 50 กรัม แล้วนำไปอบอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน desicator สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

9. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยทำการวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมี จะทำในวันแรกของการหมักและวันสุดท้ายของการหมัก โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

9.1 ความหนาแน่น

$$D = \frac{M}{V}$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น (Kg/m^3)

M = น้ำหนักขยะแห้ง (Kg)

V = ปริมาตรภาชนะตวง (m^3)

9.2 ความชื้น (moisture content) โดยใช้วิธี oven drying method ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นานไม่ต่ำกว่า 36 ชั่วโมง

9.3 ความเป็นกรด – ด่าง นำขยะที่บดผสมน้ำในสัดส่วน 1:5 แล้ววัดด้วย pH meter

9.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1958)

9.5 ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุ (Total C และ Organic metter) โดยวิธีWalkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.6 สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) โดยวิธีคำนวณ จากปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์

9.7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate yellow color (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.8 หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2542)

9.9 หาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมโดยใช้วิธี atomic absorption spectrophotometer

9.10 วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ Cd และ Pb โดยใช้วิธี atomic absorption spectrophotometer

10. ระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินการหมักทั้งสิ้น 51 วัน เดือนกรกฎาคม-กันยายน 2551

11. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ผลโดย ANOVA มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์

ผล

การทดลองที่ 1 : การหมักขยะแบบคลุกและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน

1. สมบัติของดินที่ใช้ในการหมักขยะ

จากการศึกษาสมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.8 ปริมาณอินทรียวัตถุ 5 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 400 12 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 80 และ 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

2. สมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมัก

จากการศึกษาสมบัติบางประการของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ขยะมีความหนาแน่น 368.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความชื้นร้อยละ 86.16 โดยน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.25 สัดส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนเท่ากับ 15.06 ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 538.1 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 310.3 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ ร้อยละ 2.06 0.94 และ 2.83 ตามลำดับ แคลเซียม และแมกนีเซียมเท่ากับ 12,400 และ 2,700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมเท่ากับ 26.07 และ 2.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินบางประการของตัวอย่างดินที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่1

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Sand (%)	39
Silt (%)	28
Clay (%)	33
Texture	Clay loam (CL)
Moisture content (%)	1.77
pH	6.8
Organic Matter (g/kg)	5
Total-N (mg/kg)	400
Available-P (mg/kg)	12
Exchangeable K (mg/kg)	100
Exchangeable Ca (mg/kg)	80
Exchangeable Mg (mg/kg)	700

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่1

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Density (kg/m^3)	368.70
Moisture (% by weight)	86.16
pH	6.25
C/N ratio	15.06
Organic matter (g/kg)	538.1
Organic carbon (g/kg)	310.3
Total-N (%)	2.06
Total-P (%)	0.94
Total-K (%)	2.83
Total-Ca (mg/kg)	12,400

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Total-Mg (mg/kg)	2,700
Total-Pb (mg/kg)	26.07
Total-Cd (mg/kg)	2.03

3. การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในถังหมัก

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในถังหมักปุ๋ยหมัก จะทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของการหมักแต่ละตำรับการทดลอง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความหนาแน่น ความชื้น อุณหภูมิ และการยุบตัวของปุ๋ยหมัก ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณธาตุอาหารรอง และโลหะหนัก ซึ่งได้ผลการศึกษา ดังนี้

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

1) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

จากตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีอัตราการลดลงของน้ำหนักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50.95-53.35 แต่สัดส่วนของขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ให้อัตราการลดลงของน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีอัตราการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด (ร้อยละ 65.41) และสัดส่วน 1:1 มีอัตราการลดลงของน้ำหนักน้อยที่สุด (ร้อยละ 38.40) สำหรับการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน ให้อัตราการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 47.75 และ 55.82 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่1

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน (M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	45.33	44.95	58.40	53.35	47.75a/1
	ทำเป็นชั้น	36.33	63.30	71.79		คลุก
รด 10 ลิตร	คลุก	37.50	44.94	58.12	50.95	
	ทำเป็นชั้น	36.50	55.30	73.36		
รด 20 ลิตร	คลุก	39.00	41.95	59.54	51.04	55.82b
	ทำเป็นชั้น	35.75	58.80	71.23		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	38.40A/2	51.54B	65.41C		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						ns
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						ns
CV (%)						8.20

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของปุ๋ยหมักที่ได้หลังจากสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 10 พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 160.07-170.73 kg/m^3 สำหรับสัดส่วนของขยะ:ดินก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 3:1 ให้ความหนาแน่นน้อยที่สุด (159.41 kg/m^3) และสัดส่วน 1:1 ให้ความหนาแน่นมากที่สุด (171.32 kg/m^3) สำหรับการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินให้ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน163.31 และ 164.40 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำสัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 10 ความหนาแน่นของปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (kg/m^3)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน (M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
		1:1	3:1	6:1		
ไม่รดน้ำ	คลุก	177.27	139.75	163.34	160.07	
	ทำเป็นชั้น	179.04	151.26	149.79		163.31
รด 10 ลิตร	คลุก	174.36	157.16	162.67	170.73	คลุก
	ทำเป็นชั้น	143.40	208.42	178.40		
รด 20 ลิตร	คลุก	174.99	156.06	164.23	160.76	164.40
	ทำเป็นชั้น	178.85	143.82	146.61		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	171.32	159.41	160.84		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						ns
F-test ปริมาณน้ำ (W)						ns
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						ns
F-test (RxWxM)						ns
CV (%)						14.91

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3) ความชื้น (Moisture Content)

จากตารางที่ 11 พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้ มีความชื้นต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำจะทำให้ปุ๋ยหมักมีความชื้นเพิ่มขึ้น สัดส่วนขยะ:ดิน ก็มีผลทำให้ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ได้ต่างกันเช่นกัน โดยสัดส่วน 1:1 จะให้ความชื้นต่ำสุด (ร้อยละ 11.11) ต่ำกว่าที่สัดส่วน 3:1 และ 6:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนการหมักแบบคลุกขยะกับดินก็มีผลให้ปุ๋ยหมักมีความชื้นสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใช้ขยะ:ดิน ในสัดส่วน 1:1 การคลุกขยะกับดินและการทำเป็นชั้นสลับกับดินจะให้ความชื้นปุ๋ยหมักไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อใช้สัดส่วนขยะ:ดินสูงขึ้น การหมักแบบคลุกขยะกับดินจะให้ความชื้นปุ๋ยหมักสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำรับที่มีการรดน้ำมากยิ่งแตกต่างมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากความชื้นเริ่มต้นในดินและขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักก็พบว่า มีปริมาณความชื้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นเริ่มต้น

ตารางที่ 11 ความชื้นของปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ(W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	9.48efg/1	12.28ghi	13.49hij	**9.74x**/2	
	ทำเป็นชั้น	10.29fg	7.81ab	5.10a		**14.70b**/3
รด 10 ลิตร	คลุก	9.47def	16.88jk	16.66j	**11.98y**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	12.00gh	8.71bcd	8.15abc		
รด 20 ลิตร	คลุก	11.08g	18.37k	24.58l	**15.01z**	**9.79a**
	ทำเป็นชั้น	14.33ij	12.47hi	9.20cde		ทำเป็นชั้น
	C-เฉลี่ย	**11.11A**/4	**12.75B**	**12.86B**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						9.50

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

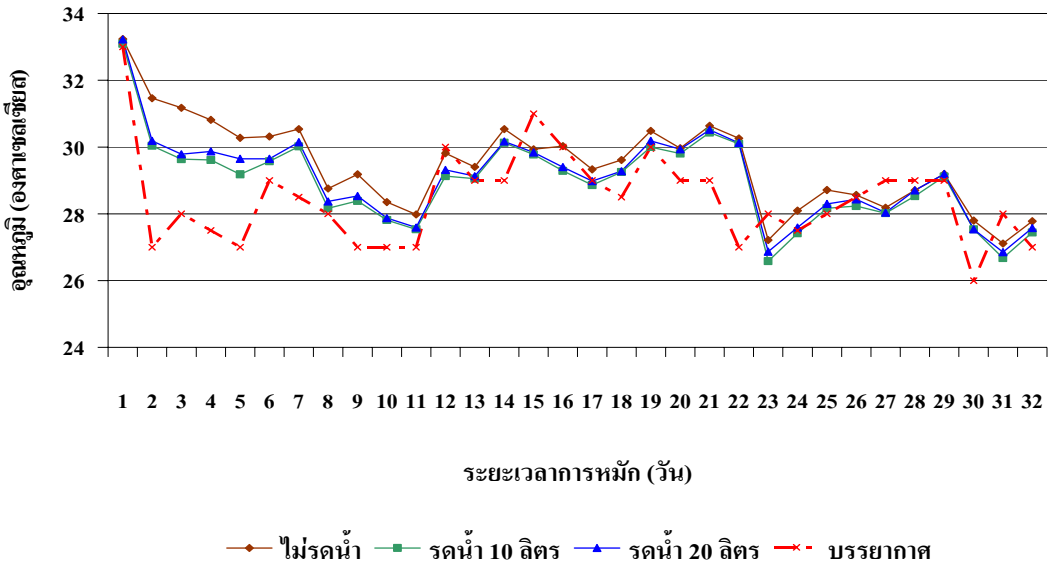
4) อุณหภูมิ (temperature)

(1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามปริมาณการรดน้ำ

อุณหภูมิเริ่มต้นในถังหมักที่ไม่มีการรดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3 เฉลี่ยอยู่ที่ 33.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของถังหมักที่ไม่มีการรดน้ำจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมัก จากนั้นวันที่ 2 – 7 อุณหภูมิเฉลี่ยจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 30.5 – 31.5 ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.5 – 33.1 องศาเซลเซียส หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมักคือวันที่ 31 ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 27.8 – 33.2 องศาเซลเซียส

ส่วนถังหมักที่มีการรดน้ำ 10 ลิตร และ 20 ลิตร อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 33.1 – 33.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ไม่มีการรดน้ำ จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 30.1- 30.2 องศา เซลเซียส หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.6 – 33.0 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักที่มีการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ พบว่า การรดน้ำทั้ง 3 อัตรา ให้ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในถังหมักไม่แตกต่างกันมาก โดยในช่วง 1- 7 วันแรกของการหมัก ถังหมักที่ไม่ได้มีการรดน้ำจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าถังหมักที่มีการรดน้ำ 10 ลิตร และ 20 ลิตร หลังจากวันที่ 7 ของการหมักระดับอุณหภูมิเฉลี่ยก็จะลดต่ำลงจนมีระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการหมัก เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลาย จุลินทรีย์จะมีปฏิกิริยาเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้สารอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล จากกระบวนการนี้ทำให้เกิดพลังงานปลดปล่อยออกมา พลังงานส่วนหนึ่งจุลินทรีย์จะนำไปใช้ พลังงานส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิในถังหมักมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Okinsky and Umbreit, 1959) แต่เมื่อสารอินทรีย์ที่มีอยู่ถูกใช้หมดไปอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลงตามด้วยจะทำให้อุณหภูมิในถังหมักลดลงอย่างต่อเนื่อง



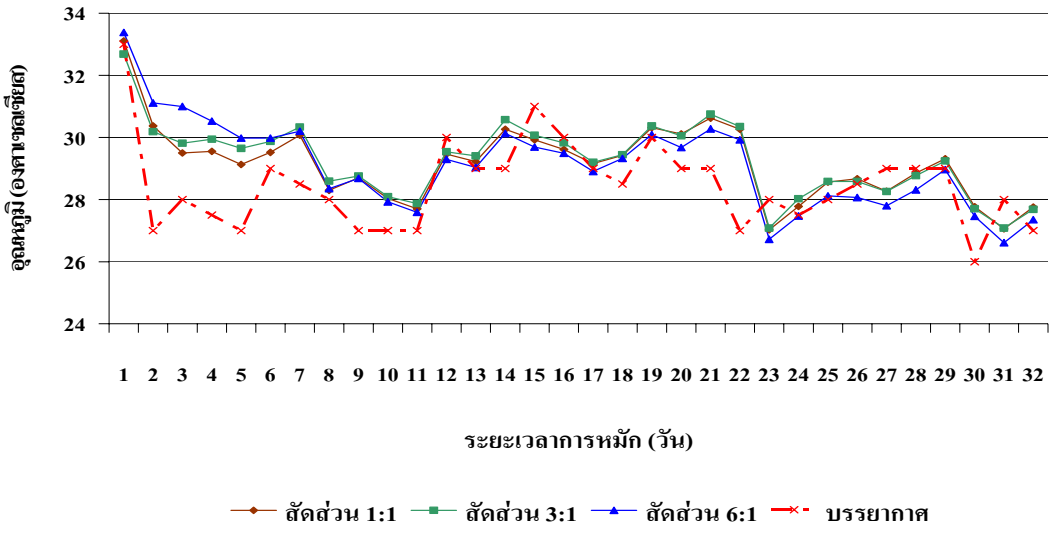
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามปริมาณการรดน้ำเป็นเวลา 31 วัน

(2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ:ดิน

อุณหภูมิเริ่มต้นในถังหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 6:1 ดังแสดงในรูปที่ 4 เฉลี่ยอยู่ที่ 33.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมัก จากนั้นวันที่ 2 – 7 อุณหภูมิเฉลี่ยจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 30.2 – 31.1 ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.5 – 33.1 องศาเซลเซียส หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมักคือวันที่ 31 ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 27.4 – 33.4 องศาเซลเซียส

ส่วนถังหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 1 : 1 และ 3 : 1 อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันอยู่ที่ 32.7 – 33.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ที่หมักด้วยสัดส่วน 6:1 จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักจะค่อย ๆ ลดต่ำลง หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีอยู่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.7 – 33.0 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักที่มีการหมักด้วยสัดส่วนขยะ : ดิน ในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า สัดส่วน 6:1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าถังหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 1:1 และ 3:1 หลังจากวันที่ 7 ของการหมักระดับอุณหภูมิเฉลี่ยก็จะลดต่ำลงจนมีระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการหมัก เนื่องจากสัดส่วน 6:1 มีปริมาณของขยะมาก ดินน้อย จุลินทรีย์จึงมีแหล่งอาหารเพิ่มขึ้น และขยะที่นำมาหมักจะแยกเฉพาะขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ เช่น เศษผักและผลไม้เศษอาหาร ซึ่งตามธรรมชาติแล้วจุลินทรีย์จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน ได้แก่ น้ำตาล แป้ง และ simple protein เป็นต้น หลังจากนั้นจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายรองลงมา ได้แก่ crude protein, cellulose, hemicellulose เป็นต้นสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่จะเป็นพวกที่ย่อยสลายยากได้แก่ พวก lignin, fat, wax เป็นต้น กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์จะได้รับความร้อนจากกระบวนการย่อยสลาย จึงเป็นเหตุให้อุณหภูมิในถังหมักมีการเปลี่ยนแปลง โดยช่วงแรกจุลินทรีย์มีกระบวนการย่อยสลายมาก อุณหภูมิจึงสูงในช่วง 7 วันแรกของการหมัก และเมื่อเวลาผ่านไปสารอินทรีย์ลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายลดลง จึงเป็นผลให้อุณหภูมิในถังหมักลดตามไปด้วย



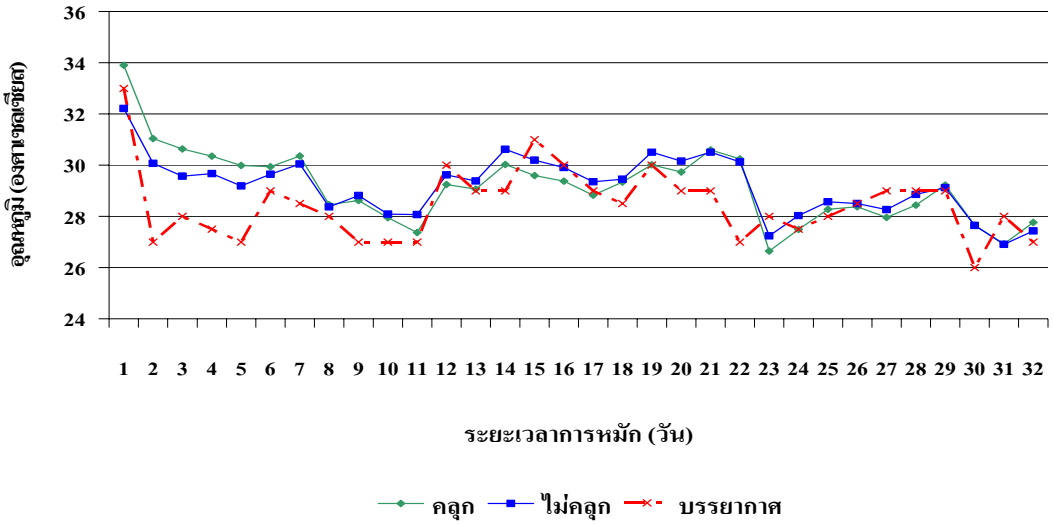
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ:ดินเป็นเวลา 31 วัน

(3) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน

อุณหภูมิเริ่มต้นในถังหมักที่หมักแบบคลุกขยะกับดิน ดังแสดงในรูปที่ 5 เฉลี่ยอยู่ที่ 33.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมัก จากนั้นวันที่ 2 – 7 อุณหภูมิเฉลี่ยจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 30.4 – 33.9 ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.5 – 33.1 องศาเซลเซียส หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมักคือวันที่ 31 ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 27.8 – 33.9 องศาเซลเซียส

ส่วนถังหมักที่หมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันอยู่ที่ 33.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่หมักด้วยการคลุกขยะกับดิน จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักจะค่อย ๆ ลดต่ำลง หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีอยู่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.4 – 32.2 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักที่หมักด้วยการคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน พบว่า แบบคลุกขยะกับดินมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าถังหมักที่หมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินในช่วง1 – 7 วันแรกของการหมัก หลังจากวันที่ 7 ของการหมักระดับอุณหภูมิเฉลี่ยของการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินจะสูงกว่าแบบการคลุกขยะกับดินเล็กน้อย 1-2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก ซึ่งแนวโน้มอุณหภูมิก็จะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ:ดิน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามปริมาณการรดน้ำ



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินเป็นเวลา 31 วัน

5) การยุบตัวของปุ๋ยหมัก

จากการศึกษาร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 12) พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีการยุบตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 72.23 – 73.03 แต่สัดส่วนของขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ มีร้อยละการยุบตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีการยุบตัวมากที่สุด (ร้อยละ 84.56) และสัดส่วน 1 : 1 มีการยุบตัวน้อยที่สุด (ร้อยละ 57.87) สำหรับการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน มีการยุบตัวร้อยละ 67.99 และ 73.88 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วน 1 : 1 และหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีการยุบตัวน้อยที่สุด (ร้อยละ 53.57) และรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วน 6:1 หมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีการยุบตัวมากที่สุด (ร้อยละ 94.32) เมื่อพิจารณาการยุบตัวก็พบว่า มีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก หลังจากนั้นการยุบตัวจะค่อย ๆ ลดลง สอดคล้องกับระดับอุณหภูมิในถังหมักซึ่งสูงในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก

ตารางที่12 ร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมักการทดลองที่1

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	56.87	72.63	75.47	73.03	67.99a/1
	ทำเป็นชั้น	54.51	85.93	92.76		
รด 10 ลิตร	คลุก	61.48	68.34	76.02	72.23	คลุก
	ทำเป็นชั้น	53.57	79.68	94.32		
รด 20 ลิตร	คลุก	63.57	61.06	76.45	72.67	77.33b
	ทำเป็นชั้น	57.23	85.36	92.34		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	57.87A/2	73.20B	84.56C		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						ns
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						ns
CV (%)						4.70

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2 ลักษณะทางเคมี

1) ปริมาณไนโตรเจน (N)

ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง แสดงในตารางที่ 13 พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการไม่รดน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (ร้อยละ 0.27) และการรดน้ำ 10 ลิตร มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด (ร้อยละ 0.21) สัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้ต่างกันเช่นกัน โดยสัดส่วน 6:1 จะให้ปริมาณไนโตรเจนสูงสุด สูงกว่าสัดส่วน 1:1 และ 3:1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในส่วนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินก็มีผลทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่า การไม่รดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด (ร้อยละ 0.11) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (ร้อยละ 0.51) เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนหลังจากการหมัก มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน เนื่องจากกระบวนการ Ammonia Volatilization (Bertoldi et al.,1983) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดได้ดีในสภาวะกระบวนการหมักโดยไม่ใช้ออกซิเจน การศึกษาครั้งนี้วัสดุที่ใช้หมักส่วนใหญ่เป็นเศษผัก ผลไม้ มีความชื้นสูง และไม่มีการพลิกลับกองปุ๋ยหมัก จึงทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน กลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน จึงทำให้ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นรูปแอมโมเนีย เกิดการสูญเสียไนโตรเจน ค่าไนโตรเจนหลังจากการหมักจึงมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของจุลบุตร (2548)

ตารางที่ 13 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน (M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	0.12ab /1	0.37j	0.45k	**0.27y** /2	**0.28b** /3
	ทำเป็นชั้น	0.15bcd	0.21fg	0.31hi		
รด 10 ลิตร	คลุก	0.11a	0.21fg	0.33i	**0.21x**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	0.11a	0.16cde	0.30hi		
รด 20 ลิตร	คลุก	0.18def	0.29h	0.51l	**0.26y**	**0.20a**
	ทำเป็นชั้น	0.13abc	0.19efg	0.22g		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**0.14A** /4	**0.24B**	**0.35C**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						8.99

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

2) ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำ 10 ลิตร มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด (ร้อยละ 0.26) และการไม่รดน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด (ร้อยละ 0.31) สำหรับสัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้แตกต่างกัน โดยสัดส่วน 6:1 จะให้ปริมาณไนโตรเจนสูงสุด สูงกว่าสัดส่วน 1:1 และ 3:1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในส่วนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินก็มีผลทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่า การรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 รวมทั้งการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน และการรดน้ำ 20 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 ทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด (ร้อยละ 0.22) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการไม่รดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด (ร้อยละ 0.42) เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมัก พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักมีปริมาณลดลง เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พบในพืช จุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตทุกชีวิต วัสดุที่ใช้ในการหมักส่วนใหญ่เป็นพืชผัก ผลไม้ เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมัก (ไพบูลย์และคณะ, 2542) ในการศึกษาครั้งนี้มีการรดน้ำ ลงในวัสดุหมักในปริมาณต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการชะล้างฟอสฟอรัส ดังนั้น เมื่อตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุหมัก หลังกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว ปริมาณฟอสฟอรัสจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจุลบุตร (2548)

ตารางที่ 14 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน (M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	0.24abc/1	0.35e	0.42f	**0.31y**/2	**0.30b**/3
	ทำเป็นชั้น	0.23ab	0.26cd	0.37e		
รด 10 ลิตร	คลุก	0.23ab	0.25bc	0.35e	**0.26x**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	0.22a	0.25bc	0.37e		
รด 20 ลิตร	คลุก	0.22a	0.28d	0.36e	**0.27x**	**0.27a**
	ทำเป็นชั้น	0.22a	0.26cd	0.26cd		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**0.23A**/4	**0.28B**	**0.36C**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						4.41

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

3) ปริมาณโพแทสเซียม (K)

ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำ 10 ลิตรมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด (ร้อยละ 1.42) และการรดน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 1.29) สัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักที่ได้ต่างกันเช่นกัน โดยสัดส่วน 1:1 มีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด (ร้อยละ 1.43) และสัดส่วน 6:1 มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 1.26) สำหรับการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินก็มีผลทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าการหมักแบบคลุกขยะกับดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ :ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่า การไม่รดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 0.68) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด (ร้อยละ 1.67) เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมัก พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักมีปริมาณลดลง อาจเนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีแรงยึดจับกับดินน้อย เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมัก (ไพบูลย์และคณะ, 2542) จึงทำให้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าลดลง

ตารางที่ 15 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน(R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	1.65j/1	1.39ghi	1.47i	**1.31x**/2	**1.51b**/3
	ทำเป็นชั้น	1.29def	1.39ghi	0.68a		
รด 10 ลิตร	คลุก	1.59j	1.43hi	1.67j	**1.42y**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	1.31efg	1.20cd	1.34fgh		
รด 20 ลิตร	คลุก	1.64j	1.34fgh	1.40ghi	**1.29x**	**1.18a**
	ทำเป็นชั้น	1.14c	1.23cde	1.01b		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**1.43C**/4	**1.33B**	**1.26A**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						3.30

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4) ปริมาณแคลเซียม (Ca)

ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำ 10 ลิตรมีปริมาณแคลเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 0.25) สัดส่วนขยะ : ดินในสัดส่วนต่าง ๆก็ให้ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 1:1 มีปริมาณแคลเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 0.15) และสัดส่วน 6:1 มีปริมาณแคลเซียมสูงสุด (ร้อยละ 0.41) ในส่วนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินให้ปริมาณแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดินเนื้อละเอียด พบว่า การรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินเนื้อมีปริมาณแคลเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 0.04) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการรดน้ำ 20 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบคลุกเคล้าขยะกับดินเนื้อละเอียดมีปริมาณแคลเซียมสูงสุด (ร้อยละ 0.92) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในวัสดุหมักก่อนการหมักกับหลังการหมักปุ๋ยหมัก พบว่า หลังการหมักปุ๋ยหมักมีปริมาณแคลเซียมลดลง เนื่องจากแคลเซียม เป็นธาตุที่มีแรงยึดจับกับดินน้อย ดินจะไม่สามารถดูดซับแคลเซียมเอาไว้ได้ จึงทำให้เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยแคลเซียมออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมักจึงทำให้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าลดลง

ตารางที่ 16 ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน(R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	0.11bc/1	0.54j	0.56j	**0.31y/2**	**0.39b/3**
	ทำเป็นชั้น	0.24fg	0.21efg	0.19ef		
รด 10 ลิตร	คลุก	0.04a	0.47i	0.51ij	**0.25x**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	0.08ab	0.22efg	0.18def		
รด 20 ลิตร	คลุก	0.08ab	0.27g	0.92k	**0.32y**	**0.20a**
	ทำเป็นชั้น	0.35h	0.17cde	0.12bcd		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**0.15A/4**	**0.31B**	**0.41C**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						17.52

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมัก พบว่า การรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมจากการรดน้ำ 10 ลิตร มีปริมาณต่ำสุด (ร้อยละ 0.29) ส่วนการไม่รดน้ำมีปริมาณแมกนีเซียมสูงสุด (ร้อยละ 0.32) สำหรับสัดส่วนขยะ:ดิน ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 และ 6:1 มีปริมาณแมกนีเซียมต่ำสุด (ร้อยละ 0.30) และสัดส่วน 3:1 มีปริมาณแมกนีเซียมสูงสุด (ร้อยละ 0.31) ส่วนการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมักเท่ากัน (ร้อยละ 0.30) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมในวัสดุหมักก่อนการหมักกับหลังการหมักปุ๋ยหมัก พบว่า หลังการหมักปุ๋ยหมักมีปริมาณแมกนีเซียมลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของจุลบุตร (2548) ซึ่งมีค่าปริมาณแมกนีเซียมเฉลี่ยร้อยละ 0.17, 0.18, 0.17 และ 0.18 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมในวัสดุหมักก่อนการหมักกับหลังการหมักปุ๋ยหมัก พบว่า หลังการหมักปุ๋ยหมักมีปริมาณแมกนีเซียมลดลง เนื่องจากแมกนีเซียม เป็นธาตุที่มีแรงยึดจับกับดินน้อย ดินจะไม่สามารถดูดซับแมกนีเซียมเอาไว้ได้ จึงทำให้เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมักจึงทำให้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าลดลง

ตารางที่ 17 ปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	0.31	0.28	0.36	**0.32**	
	ทำเป็นชั้น	0.36	0.34	0.25		**0.30**
รด 10 ลิตร	คลุก	0.27	0.28	0.26	**0.29**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	0.30	0.30	0.30		
รด 20 ลิตร	คลุก	0.28	0.30	0.36	**0.30**	**0.30**
	ทำเป็นชั้น	0.29	0.33	0.26		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**0.30**	**0.31**	**0.30**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						ns
F-test ปริมาณน้ำ (W)						ns
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						Ns
F-test (RxWxM)						ns
CV (%)						13.18

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6) ปริมาณตะกั่ว (Pb)

จากตารางที่ 18 พบว่า การรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักต่ำสุด (31.11 mg/kg) และการรดน้ำ 10 ลิตร มีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักสูงสุด (32.17 mg/kg) สำหรับสัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักที่ได้แตกต่างกัน โดยสัดส่วน 6:1 มีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักต่ำสุด (24.85 mg/kg) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสัดส่วน 1:1 มีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักสูงสุด (37.59 mg/kg) ส่วนการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินก็ทำให้ปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน โดยการหมักแบคลุกขยะกับดินมีปริมาณตะกั่วสูงสุด (32.73 mg/kg) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน พบว่า การไม่รดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 และการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีปริมาณตะกั่วต่ำสุด (16.85 mg/kg) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการรดน้ำ 10 ลิตร สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 และการหมักแบบทำเป็นชั้นมีปริมาณตะกั่วสูงสุด (39.71 mg/kg) เมื่อพิจารณาปริมาณตะกั่วในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า มีปริมาณตะกั่ว 26.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณตะกั่วหลังการหมักพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของทวีสิทธิ์ (2536) พบว่าปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักที่ผ่านการหมักตลอดระยะเวลา 3 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ที่ได้กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 18 ปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (mg/kg)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	36.84l/1	32.77h	26.36e	**31.28y**/2	**32.73b**/3
	ทำเป็นชั้น	39.37o	35.52k	16.85a		
รด 10 ลิตร	คลุก	34.68i	36.86l	33.84i	**32.17z**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	39.71p	26.37e	21.56b		
รด 20 ลิตร	คลุก	37.86n	30.06f	25.35d	**31.11x**	**30.30a**
	ทำเป็นชั้น	37.09m	31.16g	25.15c		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**37.59C**/4	**32.12B**	**24.85A**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						0.18

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

7) ปริมาณแคดเมียม (Cd)

จากตารางที่ 19 พบว่า การรดน้ำในอัตราต่าง ๆ สัดส่วนขยะ:ดินเนื้อ รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานการปนเปื้อนในปุ๋ยหมักที่กำหนดให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า ปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักหลังการหมักมีปริมาณลดลง และมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 19 ปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (mg/kg)

ปริมาณน้ำ (W)	การคลุกขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)		
		1:1	3:1	6:1
ไม่รดน้ำ	คลุก	<0.1	<0.1	<0.1
	ทำเป็นชั้น	<0.1	<0.1	<0.1
รด 10 ลิตร	คลุก	<0.1	<0.1	<0.1
	ทำเป็นชั้น	<0.1	<0.1	<0.1
รด 20 ลิตร	คลุก	<0.1	<0.1	<0.1
	ทำเป็นชั้น	<0.1	<0.1	<0.1

8) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยหมักดังแสดงในตารางที่20 พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการรดน้ำ 20 ลิตร ให้ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด (6.48) และการไม่รดน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด (6.89) สำหรับสัดส่วนขยะ:ดิน พบว่า สัดส่วน 1:1 ให้ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด (6.57) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสัดส่วน 6:1 ให้ปุ๋ยหมักมีค่าเป็นกรด-ด่างสูงสุด (6.83) ในส่วนของการหมักแบบคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียดและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินก็ทำให้ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน โดยการหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าการหมักแบบคลุกขยะกับดิน สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน รวมทั้งการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในวัสดุหมักก่อนการหมัก เปรียบเทียบกับหลังการหมัก พบว่า หลังจาการหมักมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะ Buffer ที่ดีมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับเอา H^+ ไว้ได้มากขึ้น และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นเบส เช่น NH_4 เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย จึงมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุหมักหมักปุ๋ยหมักมีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Bertoldi et al. (1983) ที่พบว่าในช่วงแรกของการย่อยสลาย จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยกิจกรรมของ Acid Forming Bacteria ซึ่งจะย่อยสารประกอบคาร์บอน ทำให้เกิดกรดอินทรีย์มีผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างเป็นกรด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในระหว่างการหมักจะมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น

ตารางที่ 20 ความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยหมักการทดลองที่1

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	6.55	6.72	7.11	**6.89z** /1	
	ทำเป็นชั้น	6.62	7.02	7.32		**6.65a** /2
รด 10 ลิตร	คลุก	6.85	6.73	6.63	**6.75y**	คลุก
	ทำเป็นชั้น	6.54	6.94	6.79		
รด 20 ลิตร	คลุก	6.37	6.28	6.59	**6.48x**	**6.76b**
	ทำเป็นชั้น	6.49	6.62	6.53		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	**6.57A** /3	**6.72B**	**6.83C**		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						Ns
CV (%)						1.88

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

9) ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก แสดงในตารางที่ 21 พบว่า การไม่รดน้ำ มีปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 6.01) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการรดน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (ร้อยละ 6.86) สัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน โดยสัดส่วน 1:1 มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำสุด (ร้อยละ 4.50) และสัดส่วน 6:1 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (ร้อยละ 9.34) ในส่วนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินก็มีผลทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณอินทรียวัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน โดยการคลุกขยะกับดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการไม่รดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 และหมักแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำสุด (ร้อยละ 3.65) และการรดน้ำ 20 ลิตร สัดส่วน 6:1 และการหมักแบบคลุกขยะกับดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (ร้อยละ 12.50) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้หลังการหมักมีการลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุเมื่อเทียบกับปริมาณอินทรียวัตถุในวัสดุเริ่มต้นหมัก การลดลงของปริมาณคาร์บอนเกิดมาจากการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในรูปต่าง ๆ ให้กลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารอื่น ๆ ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี(สมศักดิ์, 2528)

ตารางที่ 21 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักการทดลองที่1 (%)

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	4.63b/1	6.35d	9.62h	6.01x/2	7.53/3
	ทำเป็นชั้น	3.65a	4.65b	7.14e		
รด 10 ลิตร	คลุก	5.18c	7.12e	10.70i	6.71y	คลุก
	ทำเป็นชั้น	4.27b	5.37c	7.62f		
รด 20 ลิตร	คลุก	5.43c	6.29d	12.50j	6.86y	5.52
	ทำเป็นชั้น	3.84a	4.62b	8.47g		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	4.50A/4	5.73B	9.34C		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						**
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						**
F-test (RxWxM)						**
CV (%)						3.23

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/4 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

10) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 22 พบว่า การรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการไม่รดน้ำมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำสุด (15.53) และการรดน้ำ 10 ลิตร มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงสุด (19.35) สัดส่วนขยะ:ดินก็มีผลทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้ต่างกัน โดยสัดส่วน 1:1 มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงสุด (19.83) สูงกว่าสัดส่วน 3:1 และ 6:1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในส่วนของการคลุกขยะกับดินมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของปริมาณการรดน้ำ สัดส่วนขยะ:ดิน และการผสมขยะกับดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า มีค่าไม่แตกต่างจากสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้หลังจากการหมัก

ตารางที่ 22 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักการทดลองที่1

ปริมาณน้ำ (W)	การผสมขยะกับดิน(M)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R) 1:1	3:1	6:1	W-เฉลี่ย	M-เฉลี่ย
ไม่รดน้ำ	คลุก	22.68	11.55	13.33	15.53x/1	
	ทำเป็นชั้น	14.70	12.48	18.42		17.53
รด 10 ลิตร	คลุก	24.01	18.10	16.24	19.35y	คลุก
	ทำเป็นชั้น	18.49	21.10	18.15		
รด 20 ลิตร	คลุก	22.37	12.82	16.63	16.88xy	16.98
	ทำเป็นชั้น	16.72	14.13	18.59		ทำเป็นชั้น
	R-เฉลี่ย	19.83B/2	15.03A	16.89A		
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)						**
F-test ปริมาณน้ำ (W)						*
F-test การผสมขยะกับดิน (M)						ns
F-test (RxWxM)						ns
CV (%)						21.23

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 2 : การหมักขยะแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียด ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

1. สมบัติของดินที่ใช้ในการหมักขยะ

จากการศึกษาสมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.4 ปริมาณอินทรียวัตถุ 4.83 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนเท่ากับได้ 412 15 และ 113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 75 และ 689 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 23

2. สมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมัก

จากการศึกษาสมบัติบางประการของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ขยะมีความหนาแน่น 39.97 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความชื้นร้อยละ 89.66 โดยน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.98 สัดส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนเท่ากับ 13.75 ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 557.80 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 321.70 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ ร้อยละ 2.34 0.54 และ 2.13 ตามลำดับ แคลเซียม และแมกนีเซียมเท่ากับ 12,314 และ 2,245 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมเท่ากับ 23.34 และ 1.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 23 คุณสมบัติของดินบางประการของตัวอย่างดินที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่2

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Sand (%)	36
Silt (%)	24
Clay (%)	30
Texture	Clay loam (CL)
Moisture content (%)	1.82
pH	6.4
Organic Matter (g/kg)	7
Total-N (mg/kg)	385
Available-P (mg/kg)	13
Exchangeable K (mg/kg)	103
Exchangeable Ca (mg/kg)	85
Exchangeable Mg (mg/kg)	692

ตารางที่ 24 คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักขยะการทดลองที่2

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Density (kg/m^3)	385.70
Moisture (% by weight)	89.66
pH	6.98
C/N ratio	13.75
Organic matter (g/kg)	557.80
Organic carbon (g/kg)	321.70
Total-N (%)	2.34
Total-P (%)	0.54
Total-K (%)	2.13
Total-Ca (mg/kg)	12,314

ตารางที่ 24 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Total-Mg (mg/kg)	2,245
Total-Pb (mg/kg)	23.34
Total-Cd (mg/kg)	1.98

3. การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในบ่อหมัก

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในบ่อหมัก จะทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของการหมักแต่ละตำรับการทดลอง ได้แก่ น้ำหนักและความหนาแน่น ความชื้น อุณหภูมิ และการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณธาตุอาหารรอง และโลหะหนัก ซึ่งได้ผลการศึกษา ดังนี้

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

1) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

จากตารางที่ 25 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีอัตราการลดลงของน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 มีอัตราการลดลงของน้ำหนักต่ำสุด (ร้อยละ 17.73) และสัดส่วน 6:1 มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสูงสุด (ร้อยละ 51.77) ส่วนสถานที่การหมักขยะก็ทำให้อัตราการลดลงของน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะในโรงเรือนมีอัตราการลดลงของน้ำหนักที่สูงกว่าการหมักในโรงเรือน (ร้อยละ 37.93) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 25 อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่2

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	19.01	40.95	53.81	**37.93b**/1
นอกโรงเรือน	16.45	34.49	49.73	**33.56a**
R-เฉลี่ย	**17.73A**/2	**37.72B**	**51.77C**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				*
F-test (RxP)				ns
CV (%)				5.39

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของปุ๋ยหมักที่ได้หลังจากสิ้นสุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 26 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 ให้ความหนาแน่นน้อยที่สุด (108.73 kg/m^3) และสัดส่วน 1:1 ให้ความหนาแน่นมากที่สุด (145.79 kg/m^3) ส่วนสถานที่การหมักขยะทำให้ปุ๋ยหมักมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 26 ความหนาแน่นปกติของปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (kg/m^3)

สถานที่หมักขยะ (P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน (R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	146.00	120.71	88.92	**118.54**
นอกโรงเรือน	145.57	128.15	128.55	**134.09**
R-เฉลี่ย	**145.79B**/1	**124.43AB**	**108.73A**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				*
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				12.38

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3) ความชื้น (Moisture Content)

จากตารางที่ 27 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 1:1 จะให้ความชื้นในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 18.34) และสัดส่วน 6:1 ให้ความชื้นในปุ๋ยหมักสูงสุด (ร้อยละ 30.84) ส่วนสถานที่การหมักขยะให้ความชื้นในปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากความชื้นเริ่มต้นในดินและขยะมูลฝอยที่ใช้ในการหมักก็พบว่า มีปริมาณความชื้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นเริ่มต้น

ตารางที่ 27 ความชื้นของปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน (R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	20.15	23.38	29.69	**24.41**
นอกโรงเรือน	16.53	23.67	32.00	**24.06**
R-เฉลี่ย	**18.34A**[/1]	**23.53B**	**30.84C**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				8.74

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

\

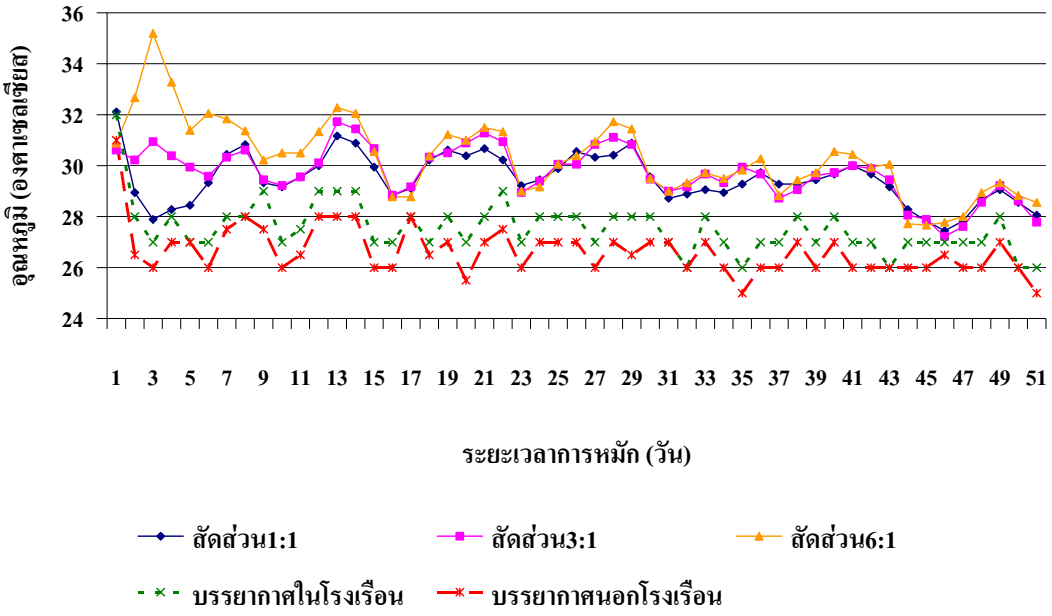
4) อุณหภูมิ (temperature)

(1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ:ดิน

อุณหภูมิเริ่มต้นในบ่อหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 6:1 ดังแสดงในรูปที่ 6 เฉลี่ยอยู่ที่ 31.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในวันที่ 3 ของการหมัก จากนั้นวันที่ 4 – 7 อุณหภูมิเฉลี่ยจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 31.7 – 33.3 ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28 - 32 องศาเซลเซียส หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในบ่อหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมักคือวันที่ 51 ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 28.6 – 35.2 องศาเซลเซียส

ส่วนบ่อหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 3:1 อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 30.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมักเช่นเดียวกับบ่อหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 6:1 ส่วนบ่อหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 1:1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ที่ 32.0 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักจะค่อย ๆ ลดต่ำลง หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิใน บ่อหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีอยู่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.8 – 32.0 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อหมักที่มีการหมักด้วยสัดส่วนขยะ:ดิน ในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า สัดส่วน 6:1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าบ่อหมักที่หมักด้วยสัดส่วน 1:1 และ 3:1 หลังจากวันที่ 7 ของการหมักระดับอุณหภูมิเฉลี่ยก็จะลดต่ำลงจนมีระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการหมัก นอกจากนี้สัดส่วน 6:1 มีปริมาณของขยะมาก ดินน้อย จุลินทรีย์จึงมีแหล่งอาหารเพิ่มขึ้น และขยะที่นำมาหมักจะแยกเฉพาะขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์จะได้รับความร้อนจากกระบวนการย่อยสลาย จึงเป็นเหตุให้อุณหภูมิในบ่อหมักมีการเปลี่ยนแปลง โดยช่วงแรกจุลินทรีย์มีกระบวนการย่อยสลายมาก อุณหภูมิจึงสูงในช่วง 7 วันแรกของการหมัก และเมื่อเวลาผ่านไปสารอินทรีย์ลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายลดลง จึงเป็นผลให้อุณหภูมิในบ่อหมักลดตามไปด้วย



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามสัดส่วนขยะ:ดินเป็นเวลา 51 วัน

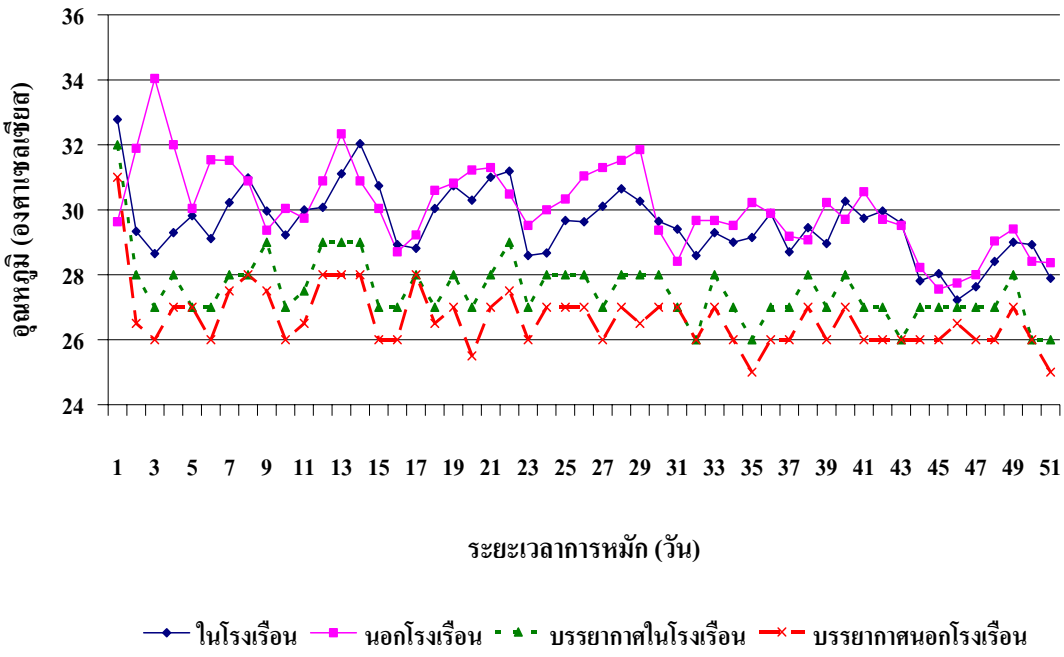
(2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการหมักในและนอกโรงเรือน

อุณหภูมิเริ่มต้นในบ่อหมักที่หมักนอกโรงเรือน ดังแสดงในรูปที่ 7 เฉลี่ยอยู่ที่ 29.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันที่ 3 ของการหมัก จากนั้นวันที่ 4 – 7 อุณหภูมิเฉลี่ยจะค่อย ๆ ลดต่ำลงอยู่ที่ 31.5 – 32.0 หลังจากวันที่ 7 ของการหมักอุณหภูมิในบ่อหมักก็ลดต่ำลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 12 – 13 และวันที่ 29 ของการหมัก ซึ่งระดับอุณหภูมิจะขึ้นลงจนสิ้นสุดการหมักคือวันที่ 51 ตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 28.4 – 34.0 องศาเซลเซียส

ส่วนบ่อหมักที่หมักในโรงเรือน อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 33.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงวันแรกของการหมัก จากนั้นอุณหภูมิในบ่อหมักจะค่อย ๆ ลดต่ำลง และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 8 และวันที่ 14 ของการหมัก หลังจากนั้นระดับอุณหภูมิในบ่อหมักก็มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีอยู่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.9 – 33.8 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อหมักที่หมักในและนอกโรงเรือน พบว่า การหมักนอกโรงเรือน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าบ่อหมักที่หมักในโรงเรือน ระดับอุณหภูมิใน

บ่อหมักก็มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงจนมีระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศจนสิ้นสุดการหมัก โดยตลอดระยะเวลาการหมัก



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบตามการหมักในและนอกโรงเรือนเป็นเวลา 51 วัน

5) การยุบตัวของปุ๋ยหมัก

จากการศึกษาร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 28) พบว่า สัดส่วนขยะ:ดิน ในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีการยุบตัวแตกต่างกันโดยสัดส่วน 6:1 มีการยุบตัวมากที่สุด (ร้อยละ 73.66) สูงกว่าที่สัดส่วน 1:1และ 3:1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนสถานที่การหมักขยะก็ให้การยุบตัวของปุ๋ยหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการหมักนอกโรงเรือนมีการยุบตัวของปุ๋ยหมักมากกว่าการหมักในโรงเรือน (ร้อยละ 95.62) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการหมักขยะด้วยสัดส่วน 1:1 ในโรงเรือนมีการยุบตัวของปุ๋ยหมักน้อยที่สุด (ร้อยละ 47.78) และการหมักขยะด้วยสัดส่วน 6:1 นอกโรงเรือนมีการยุบตัวของปุ๋ยหมักมากที่สุด (ร้อยละ 80.67) เมื่อพิจารณาการยุบตัวก็พบว่า มีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว

ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก หลังจากนั้นการยุบตัวจะค่อย ๆ ลดลง สอดคล้องกับระดับอุณหภูมิในบ่อหมักซึ่งสูงในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 28 ร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมักการทดลองที่2

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	47.78a/1	54.22a	66.87b	**56.29a**/2
นอกโรงเรือน	48.44a	68.66b	80.67c	**65.92b**
R-เฉลี่ย	**48.11A**/3	**61.44B**	**73.66C**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				**
F-test (RxP)				**
CV (%)				5.39

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

3.2 ลักษณะทางเคมี

1) ปริมาณไนโตรเจน (N)

ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง แสดงในตารางที่ 29 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (ร้อยละ 0.42) และสัดส่วน 1:1 มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด (ร้อยละ 0.17) แต่สถานที่การหมักขยะทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนหลังจากการหมัก มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน เนื่องจากกระบวนการ Ammonia Volatilization ทำให้ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นรูปแอมโมเนีย เกิดการสูญเสียไนโตรเจน ค่าไนโตรเจนหลังจากการหมักจึงมีค่าลดลง

ตารางที่ 29 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	0.15	0.20	0.35	**0.23**
นอกโรงเรือน	0.18	0.16	0.49	**0.28**
R-เฉลี่ย	**0.17A**/1	**0.18A**	**0.42B**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				28.44

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2) ปริมาณฟอสฟอรัส (P)

ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง แสดงในตารางที่ 30 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด (ร้อยละ 0.23) และสัดส่วน 1:1 มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด (ร้อยละ 0.12) ส่วนสถานที่การหมักขยะทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมารฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน วัสดุที่ใช้ในการหมักส่วนใหญ่เป็นพืชผัก ผลไม้ เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมัก (ไพบูลย์และคณะ, 2542) ในการศึกษาครั้งนี้มีการรดน้ำ จึงทำให้เกิดการชะล้างฟอสฟอรัส ดังนั้น เมื่อตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุหมัก หลังกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว ปริมาณฟอสฟอรัสจึงลดลง

ตารางที่ 30 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ(P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน(R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	0.12	0.16	0.23	**0.17**
นอกโรงเรือน	0.12	0.17	0.24	**0.18**
R-เฉลี่ย	**0.12A**[/1]	**0.17B**	**0.23C**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				8.84

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3) ปริมาณโพแทสเซียม (K)

จากตารางที่ 31 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักสูงสุด (ร้อยละ 0.71) และสัดส่วน 1:1 มีปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 0.53) ส่วนสถานที่การหมักขยะก็มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้แตกต่างกัน โดยการหมักขยะในโรงเรือนมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าการหมักขยะนอกโรงเรือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะ พบว่า การหมักขยะด้วยสัดส่วน 1:1 บริเวณนอกโรงเรือนมีปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 0.12) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการหมักขยะด้วยสัดส่วน 3:1 บริเวณในโรงเรือนมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด (ร้อยละ 1.23) เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมัก พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักมีปริมาณลดลงโพแทสเซียมออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย จึงทำให้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าลดลง

ตารางที่ 31 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	0.94c /1	1.23d	1.18d	**1.11b** /2
นอกโรงเรือน	0.12a	0.17a	0.24b	**0.18a**
R-เฉลี่ย	**0.53A** /3	**0.70B**	**0.71B**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				**
F-test (RxP)				**
CV (%)				5.41

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4) ปริมาณแคลเซียม (Ca)

ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง แสดงในตารางที่ 32 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 มีปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักสูงสุด (ร้อยละ 0.10) และสัดส่วน 1:1 มีปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 0.06) ส่วนสถานที่การหมักขยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในวัสดุหมักก่อนการหมักกับหลังการหมักปุ๋ยหมัก พบว่า หลังการหมักปุ๋ยหมักมีปริมาณแคลเซียมลดลง เนื่องจากแคลเซียม เป็นธาตุที่มีแรงยึดจับกับดินน้อย ดินจะไม่สามารถดูดซับแคลเซียมเอาไว้ได้ จึงทำให้เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยแคลเซียมออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมักจึงทำให้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าลดลง

ตารางที่ 32 ปริมาณแคลเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน (R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	0.06	0.06	0.09	**0.07**
นอกโรงเรือน	0.05	0.11	0.11	**0.09**
R-เฉลี่ย	**0.06A**[/1]	**0.09AB**	**0.10B**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				*
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				28.11

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6) ปริมาณแมกนีเซียม (Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมัก แสดงในตารางที่ 33 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.42 – 0.43 และสถานที่การหมักขยะก็มีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะนอกโรงเรือนมีปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 0.40) และการหมักในโรงเรือนมีปริมาณแมกนีเซียมสูงสุด (ร้อยละ 0.44) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ : ดินและสถานที่การหมักขยะก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

ตารางที่ 33 ปริมาณแมกนีเซียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน (R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	0.45	0.44	0.44	**0.44**
นอกโรงเรือน	0.41	0.39	0.39	**0.40**
R-เฉลี่ย	**0.43**	**0.42**	**0.42**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				ns
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				17.73

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6) ปริมาณตะกั่ว (Pb)

จากตารางที่ 34 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง28.15 – 33.70 mg/kg และสถานที่การหมักขยะก็มีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะนอกโรงเรือนมีปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักต่ำสุด (29.33 mg/kg) และการหมักในโรงเรือนมีปริมาณตะกั่วสูงสุด (30.87 mg/kg) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดินและสถานที่การหมักขยะก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน เมื่อพิจารณาปริมาณตะกั่วในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า มีปริมาณตะกั่ว 26.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณตะกั่วหลังการหมักพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของทวีสิทธิ์ (2536) พบว่า ปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักที่ผ่านการหมักตลอดระยะเวลา 3 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ที่ได้กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 34 ปริมาณตะกั่วของปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (mg/kg)

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	28.90	34.80	28.90	**30.87**
นอกโรงเรือน	38.50	22.10	27.40	**29.33**
R-เฉลี่ย	**33.70**	**28.45**	**28.15**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				ns
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				12.86

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

7) ปริมาณแคดเมียม (Cd)

จากตารางที่ 35 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ และสถานที่การหมักขยะมีปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักไม่เกินมาตรฐานการปนเปื้อนในปุ๋ยหมักที่กำหนดให้ความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า ปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักหลังการหมักมีปริมาณลดลง และมีค่าน้อยกว่าก่อนการหมัก

ตารางที่ 35 ปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (mg/kg)

สถานที่หมักขยะ (P)	**สัดส่วนขยะ:ดิน (R)**			**P-เฉลี่ย**
	1:1	**3:1**	**6:1**	
ในโรงเรือน	<0.1	<0.1	<0.1	**<0.1**
นอกโรงเรือน	0.50	2.20	2.20	**1.63**
R-เฉลี่ย	**-**	**-**	**-**	

8) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยหมัก ดังแสดงในตารางที่ 36 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสัดส่วน 6:1 ให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยหมักต่ำสุด (6.75) และสัดส่วน 1:1 ให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นกรด-ด่างสูงสุด (7.48) ส่วนสถานที่การหมักขยะ ทำให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะนอกโรงเรือนมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด (7.12) และการหมักขยะในโรงเรือนมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด (7.18) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในวัสดุหมักก่อนการหมัก เปรียบเทียบกับหลังการหมัก พบว่า หลังจากการหมักมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะ Buffer ที่ดีมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถ ดูดซับเอา H^+ ไว้ได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุหมักหมักปุ๋ยหมักมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 36 ความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยหมักการทดลองที่2

สถานที่หมักขยะ(P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	7.57	7.20	6.76	**7.18**
นอกโรงเรือน	7.40	7.23	6.73	**7.12**
R-เฉลี่ย	**7.48C**[/1]	**7.22B**	**6.75A**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				1.52

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

9) ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก แสดงในตารางที่ 37 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดิน 1:1 มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำสุด (ร้อยละ 1.43) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสัดส่วน 6:1 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (ร้อยละ 4.65) ส่วนสถานที่การหมักขยะทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะในโรงเรือนมีปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักต่ำสุด (ร้อยละ 2.55) และการหมักขยะนอกโรงเรือนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (ร้อยละ 3.01) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดิน และสถานที่การหมักขยะ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้หลังการหมักมีการลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุเมื่อเทียบกับปริมาณอินทรียวัตถุในวัสดุเริ่มต้นหมัก การลดลงของปริมาณคาร์บอนเกิดมาจากการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในรูปต่าง ๆ ให้กลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารอื่น ๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 37 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักการทดลองที่2 (%)

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	1.33	1.65	4.67	**2.55**
นอกโรงเรือน	1.52	2.87	4.63	**3.01**
R-เฉลี่ย	**1.43A**/1	**2.26A**	**4.65B**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				**
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				ns
F-test (RxP)				ns
CV (%)				26.35

หมายเหตุ /1 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

10) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 38 พบว่า สัดส่วนขยะ:ดินในสัดส่วนต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.11-6.58 และสถานที่การหมักขยะก็มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการหมักขยะนอกมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำสุด (5.72) และการหมักในโรงเรือนมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงสุด (5.97) สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนขยะ:ดินและสถานที่การหมักขยะก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัสดุก่อนการหมัก พบว่า มีค่าแตกต่างจากสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้หลังจากการหมัก

ตารางที่ 38 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักการทดลองที่2

สถานที่หมักขยะ (P)	สัดส่วนขยะ:ดิน (R)			P-เฉลี่ย
	1:1	3:1	6:1	
ในโรงเรือน	5.51	4.78	7.61	**5.97**
นอกโรงเรือน	4.70	6.92	5.55	**5.72**
R-เฉลี่ย	**5.11**	**5.85**	**6.58**	
F-test สัดส่วนขยะ : ดิน (R)				Ns
F-test สถานที่หมักขยะ (P)				Ns
F-test (RxP)				Ns
CV (%)				15.64

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

วิจารณ์

การทดลองที่ 1 : การหมักขยะแบบคลุกและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน

1. ปริมาณธาตุอาหารหลัก

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักที่อยู่ในรูปของ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักในแต่ละตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งของ กรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส่วนค่าโพแทสเซียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ซึ่งจากการศึกษาของเมธี (2542) พบว่า ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดแหล่งที่มาและปริมาณธาตุอาหารในวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก และเมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมักก็พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักมีปริมาณที่ไม่ได้สูงมากนัก และในดินมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำมาก จึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20 : 1 ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้ส่วนใหญ่มีค่า C/N ratio อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงบางตำรับการทดลองเท่านั้นที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย คือ 22.68 , 24.01 , 22.37 และ 21.10 ในตำรับการทดลองที่ 1 , 4 , 7 และ 14 ตามลำดับ ซึ่งเมธี (2542) กล่าวว่า ถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio อยู่ระหว่าง 21 และ 25 เป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีนำมาใช้ปรับปรุงดินได้แต่ต้องมีความระมัดระวังพอสมควร เช่น ควรใช้ใส่คลุมดิน หรือใส่ทิ้งระยะหนึ่งก่อนปลูกพืช แต่ถ้าค่า C/N ratio มากกว่า 25 ไม่ควรนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน เมื่อพิจารณาจากค่า C/N ratio จะเห็นได้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้ส่วนใหญ่จะมีค่า C/N ratio สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งอัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (De Bertoldi et al., 1983) และการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ สอดคล้องกับระดับอุณหภูมิในถังหมักที่มีระดับอุณหภูมิ

ไม่สูงมากนัก แต่ก็สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินได้ มีเพียงบางตำรับเท่านั้นที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ปรับปรุงดิน

3. ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 3.65 – 12.50 ซึ่งไม่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ที่กำหนดค่าปริมาณอินทรียวัตถุไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สาเหตุที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ เนื่องจากในกระบวนการทดลองมีการผสมดินในสัดส่วนที่สูงในการหมัก

4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมธี (2542) กล่าวว่า โดยลักษณะทั่วไปของดินส่วนใหญ่จะมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ระดับ pH ของปุ๋ยหมักในช่วง 8.1 – 8.5 และ 6.5 – 6.9 ถือว่าเหมาะสมและเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดิน โดยเฉพาะช่วง 7.0 – 8.0 จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้ สำหรับค่า pH ของการทดลองนี้ทุกตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาจากคำกล่าวของเมธีพบว่า ค่า pH ของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองเกือบทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ มีเพียง 3 ตำรับเท่านั้นที่ค่า pH ของปุ๋ยหมักเท่ากับ 6.28 , 6.37 และ6.49 ซึ่งไม่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ตามคำกล่าวของเมธี

5. ความชื้น

ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักจากการทดลองนี้ อยู่ระหว่างร้อยละ 5.10 – 24.58 เมื่อพิจารณาจากความชื้นของวัสดุเริ่มต้นหมักซึ่งมีความชื้นร้อยละ 89.66 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gaur et al. (1982) ที่กล่าวว่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-80% โดยมวล ปริมาณน้ำที่ใช้รดไม่ได้ใช้ในปริมาณมากและอุณหภูมิในโรงเรือนสูงกว่าบรรยากาศ ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักจึงได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2551) และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) ที่กำหนดไว้ไม่ควรเกินร้อยละ 30 และร้อยละ 35 ตามลำดับ

6. โลหะหนัก

ปริมาณโลหะในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมักก็พบว่า มีปริมาณตะกั่ว เท่ากับ 16.85 – 39.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณแคดเมียม น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2551) และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) ที่กำหนดไว้ว่าตะกั่วมีค่าไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมักก็พบว่า มีปริมาณตะกั่วและแคดเมียมอยู่เกณฑ์มาตรฐาน

การทดลองที่ 2 : การหมักขยะแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียด ในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

1. ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักในแต่ละตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส่วนค่าโพแทสเซียมตำรับที่ 1 – 3 ทำการหมักในโรงเรือน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.94 – 1.23 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส่วนตำรับที่ 4 – 6 ทำการหมักนอกโรงเรือน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.12 – 0.24 ไม่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดไว้ไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมักก็พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักมีปริมาณที่ไม่ได้สูงมากนัก และในดินมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำมาก จึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้ส่วนใหญ่มีค่า C/N ratio เท่ากับ 4.70 - 7.61 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ซึ่งได้กำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไว้ไม่ควรเกิน 20 เมื่อพิจารณาจากค่า C/N

ratio มีค่าไม่สูงมากเหมือนการทดลองแรก การย่อยสลายจะสมบูรณ์มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับระดับอุณหภูมิในบ่อหมักที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่าการทดลองแรก

3. ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 1.33 – 4.67 ซึ่งไม่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ที่กำหนดค่าปริมาณอินทรียวัตถุไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สาเหตุที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ เนื่องจากในกระบวนการทดลองมีการผสมดินในสัดส่วนที่สูงในการหมัก

4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ระดับ pH ของปุ๋ยหมักในช่วง 8.1 – 8.5 และ 6.5 – 6.9 ถือว่าเหมาะสมและเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดิน โดยเฉพาะช่วง 7.0 – 8.0 จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้ สำหรับค่า pH ของการทดลองนี้ทุกตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 3.67 – 7.57 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาจากคำกล่าวของเมธี (2542)พบว่า ค่า pH ของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองเกือบทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ มีเพียง 2 ตำรับเท่านั้นที่ค่า pH ของปุ๋ยหมักเท่ากับ 6.73 และ6.76 ซึ่งไม่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ตามคำกล่าวของเมธี

5. ความชื้น

ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักจากการทดลองนี้ อยู่ระหว่างร้อยละ 16.53 – 32.00 ซึ่งได้มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) ที่กำหนดไว้ไม่ควรเกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก แต่มีเพียงตำรับการทดลองเดียวเท่านั้นที่ไม่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

6. โลหะหนัก

ปริมาณโลหะในปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณตะกั่ว เท่ากับ 22.10 – 38.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณแคดเมียม เท่ากับ 1.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2551) และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) ที่กำหนดไว้ว่าตะกั่วมีค่าไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้นหมักก็พบว่า มีปริมาณตะกั่วและแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกับการทดลองแรก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการหมักขยะด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียด ภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน รวมทั้งการหมักในสภาพในโรงเรือนและนอกโรงเรือน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้แต่ละตำรับการทดลอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร(2551)และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) พบว่า ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส ($P_2 O_5$) ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส่วนโพแทสเซียม (K_2O) มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงบางตำรับการทดลองเท่านั้นที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองทุกตำรับ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดไว้

2. เปรียบเทียบการหมักแบบคลุกขยะกับดิน และการทำเป็นชั้นสลับกับดินมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า C/N ratio 17.53 และ 16.98 ตามลำดับ การคลุกขยะกับดินให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.28, 0.30 และ 1.51 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการทำเป็นชั้นสลับกับดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดิน และแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	แบบคลุกขยะกับดิน	แบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน
อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอย	47.75	55.82
ความหนาแน่น (kg/m^3)	163.31	164.40
ความชื้น (%)	14.70	9.79
การยุบตัว (%)	67.99	77.33
ไนโตรเจน (%)	0.28	0.20
ฟอสฟอรัส (%)	0.30	0.27
โพแทสเซียม (%)	1.51	1.18
แคลเซียม (%)	0.39	0.20
แมกนีเซียม (%)	0.30	0.30
ตะกั่ว (mg/kg)	32.73	30.30
แคดเมียม (mg/kg)	<0.1	<0.1
กรด-ด่าง	6.65	6.76
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	7.53	5.52
C/N ratio	17.53	16.98

3. เปรียบเทียบการหมักในโรงเรือนและนอกโรงเรือนมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า C/N ratio 5.97 และ 5.72 ตามลำดับ การหมักนอกโรงเรือนให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.28 และ 0.18 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการหมักในโรงเรือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.18 ต่ำกว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักในโรงเรือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินเนื้อละเอียดในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	การหมักในโรงเรือน	การหมักนอกโรงเรือน
อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอย	37.93	33.56
ความหนาแน่น (kg/m^3)	118.54	134.09
ความชื้น (%)	24.41	24.06
การยุบตัว (%)	56.29	65.92
ไนโตรเจน (%)	0.23	0.28
ฟอสฟอรัส (%)	0.17	0.18
โพแทสเซียม (%)	1.11	0.18
แคลเซียม (%)	0.07	0.09
แมกนีเซียม (%)	0.44	0.40
ตะกั่ว (mg/kg)	30.87	29.33
แคดเมียม (mg/kg)	<0.1	1.63
กรด-ด่าง	7.18	7.12
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	2.55	3.01
C/N ratio	5.79	5.72

4. เปรียบเทียบสัดส่วนขยะ:ดิน พบว่า การทดลองที่ 1 สัดส่วน 1:1 มีประสิทธิภาพของการย่อยสลายต่ำกว่าสัดส่วน 3:1 และ 6:1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่า C/N ratio เท่ากับ 19.83, 15.03 และ 16.89 ตามลำดับ สัดส่วนขยะ:ดิน 6:1 ให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.35 และ 0.36 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสัดส่วนอื่น ๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่มีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 1.26 ซึ่งมีค่าต่ำสุด ต่ำกว่าสัดส่วนอื่น ๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการทดลองที่ 2 สัดส่วน 6:1 มีประสิทธิภาพของการย่อยสลายต่ำกว่าสัดส่วน 1:1 และ 3:1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า C/N ratio เท่ากับ 6.58, 5.11 และ 5.85 ตามลำดับ แต่ให้ปริมาณปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมร้อยละ 0.42, 0.23 และ0.71 ตามลำดับ สูงกว่าสัดส่วนอื่น ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 41 และ 42

ตารางที่ 41 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินด้วยสัดส่วนขยะ:ดินต่าง ๆ

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	1:1	3:1	6:1
อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอย	38.40	51.54	65.41
ความหนาแน่น (kg/m^3)	171.32	159.41	160.84
ความชื้น (%)	11.11	12.75	12.86
การยุบตัว (%)	57.87	73.20	84.56
ไนโตรเจน (%)	0.14	0.24	0.35
ฟอสฟอรัส (%)	0.23	0.28	0.36
โพแทสเซียม (%)	1.43	1.33	1.26
แคลเซียม (%)	0.15	0.31	0.41
แมกนีเซียม (%)	0.30	0.31	0.30
ตะกั่ว (mg/kg)	37.59	32.12	24.85
แคดเมียม (mg/kg)	<0.1	<0.1	<0.1
กรด-ด่าง	6.57	6.72	6.83
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	4.50	5.73	9.34
C/N ratio	19.83	15.03	16.89

ตารางที่ 42 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน ด้วยสัดส่วนขยะ : ดินต่าง ๆ

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	1:1	3:1	6:1
อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอย	17.73	37.72	51.77
ความหนาแน่น (kg/m^3)	145.79	124.43	108.73
ความชื้น (%)	18.34	23.53	30.84
การยุบตัว (%)	48.11	61.44	73.66
ไนโตรเจน (%)	0.17	0.18	0.42
ฟอสฟอรัส (%)	0.12	0.17	0.23
โพแทสเซียม (%)	0.53	0.70	0.71
แคลเซียม (%)	0.06	0.09	0.10
แมกนีเซียม (%)	0.43	0.42	0.42
ตะกั่ว (mg/kg)	33.70	28.45	28.15
กรด-ด่าง	7.48	7.22	6.75
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	1.43	2.26	4.65
C/N ratio	5.11	5.85	6.58

5. เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการใช้รดกองปุ๋ยหมักขยะชุมชน พบว่า การไม่รดน้ำมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลาย ปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและเคมีของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดินด้วยอัตราการรดน้ำต่าง ๆ

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	ไม่รดน้ำ	รดน้ำ 10 ลิตร	รดน้ำ 20 ลิตร
อัตราการลดลงของน้ำหนักมูลฝอย	65.10	65.74	65.39
ความหนาแน่น (kg/m^3)	156.57	170.54	155.42
ความชื้น (%)	9.30	12.41	16.89
การยุบตัว (%)	84.12	85.17	84.40
ไนโตรเจน (%)	0.38	0.32	0.37
ฟอสฟอรัส (%)	0.40	0.36	0.31
โพแทสเซียม (%)	1.07	1.50	1.20
แคลเซียม (%)	0.38	0.35	0.52
แมกนีเซียม (%)	0.30	0.28	0.31
ตะกั่ว (mg/kg)	21.61	27.70	25.25
แคดเมียม (mg/kg)	<0.1	<0.1	<0.1
กรด-ด่าง	7.22	6.71	6.56
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	8.38	9.16	10.49
C/N ratio	15.87	17.19	17.61

6. จากการศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายขยะชุมชนโดยใช้สัดส่วนขยะ:ดิน ในสัดส่วนต่าง ๆ หมักแบบคลุกขยะกับดินหรือแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน สถานที่การหมักในและนอกโรงเรือน การรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ในช่วงฤดูฝน พบว่า การใช้สัดส่วน 6:1 หมักแบบคลุกขยะกับดิน และไม่รดน้ำ มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายของขยะดีที่สุด รวมทั้งจะทำให้ได้คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ดีกว่าตำรับอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาหาความเหมาะสมของวัสดุที่จะนำมาทำเป็นหลังคาหรือหามาตรการควบคุมไม่ให้น้ำฝนลงไปในถังหมัก

2. ควรศึกษาถึงความแตกต่างของฤดูกาลในการหมักขยะ เพื่อเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้รูปแบบการหมักต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2536. **การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการกำจัดมูลฝอย.** กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2544. **คำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **ประกาศกรมวิชาการเกษตร ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 108ง.** กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม. 2541. **การจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทย**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2541**. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2540. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุลบุตร จันทร์สูรย์. 2548. **การเปลี่ยนแปลงความร้อนในกล่องคอนกรีตที่ใช้หมักขยะชุมชนภายใต้การรดน้ำในปราณต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทศบาลเมืองเพชรบุรี. 2540. **เอกสารรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมูลฝอย**. เทศบาลเมืองเพชรบุรี, เพชรบุรี. (อัดสำเนา)

ธงชัย มาลา. 2535. **ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนิศร์ ปัทมพิฑูร. 2548. **การศึกษาแบคทีเรียรอบรากพุทธรักษา ธรรมรักษาและขิงแดงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นิรันดร์ สิงหบุตรา. 2543. การทดลองนำร่องเพื่อหาเทคโนโลยีในการกำจัดขยะที่เหมาะสม, น. 3-1 – 3-15. *ใน* **เอกสารการสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ**. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. การสัมมนาวิชาการวิจัยนวัตกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ.ม.ป.ท., กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2534. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒนา อนุรักษ์พงศธร. 2547. **การจัดการขยะ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และ วีรชน พลรบ. 2542. คุณภาพของปุ๋ยหมักและการใช้ประโยชน์เพื่อฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนและทางการเกษตร, น 16 *ใน* **เอกสารสัมมนาวิชาการเรื่องเทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัดและการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช ณ ห้องสุธรรมอารีกุล อาคารสารนิเทศ 50 ปี ระหว่างวันที่ 25-28 สิงหาคม 2542.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

เมธี มณีวรรณ. 2542 . มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก). **วารสารพัฒนาที่ดิน** 36 (374): 12-22.

เรียมสงวน วรรณะยะลา. 2544. **ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน.** สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2541. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุจิต วิทย์คงทน. **2508. การศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์โดยเชื้อจุลินทรีย์ ตอนที่ 1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2546. **จุลชีววิทยาทางดิน.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2548. **มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศิริพรรณ สารินทร์. 2550. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา, กรุงเทพฯ.

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์, สุณี ปิยะพันธุ์พงศ์, นภวัส บัวสรวง และ อิมราน หะยีบากา. 2541. **การจัดการมูลฝอยและสิ่งแวดล้อม**. ศูนย์วิจัยและฝึกอบอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

Bertoldi, M.D., G. Valline, A. tera and F. Zucdconi. 1982. Comparison of Three Windrow Compost Systems. **Bio Cycle.** 23: 45-50.

Bertoldi, M.D., G. Vallini and A. Pera. 1983. The Biology of Composting: A Review Waste Manage. **Res.** 1: 157-176.

Chang, Y. and H.J. Hudson. 1967. The fungi of wheat strow compost: I. Ecological studies. **Trans. Br. Mycol. Soc**. 11: 649-666.

Day, M. and K. Shaw. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting, pp. 17-50. *In*. P.J Stoffella and B.A. Kahn, eds. **Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems.** Lewis Publishers, New York, USA.

Gray K.R., K. Sherman and A.J. Biddlestone. 1971. A review of composting Part 1. **Procress Biochemistry**. 6: 32-36.

Gotass, H.B. 1976. **Composting**. Dept. of Engineering, Univ. of California, Berkeley.

Gaur, A.C., K.V. Sadasivam, R.S. Mathur and S.P. Magu. 1982. Role of Mesophilic Fungi in Composting. **Agric. Wastes.** 4: 453-468.

Hang , R.T. 1979 Engineering Principles of Sludge Composting. **J. Water Pollution Control Fed.** 51:2189-2195

Haug, R.T. 1993. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Lewis Publishers, Boca Ratan, Florida.

Jackson, M.L. 1958. **Soil chemical analysis**. Practice-Hall Inc, Englewood Cliffs.

JICA. 1982. **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand Final Report** . Bangkok , Thailand.

Martins, O. and T. Dewes. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. **Bioresour. Technol.** 42: 103-111.

Okinsky, E.L. and W.W. Umbreit. 1959. **An Introduction to Bacterial Physiology.** 2nd ed., Toppan Company Ltd., Japan.

Paul, E.A. and F.E. Clark. 1996. **Soil microbiology and biochemistry.** Academic Press, San Diago.

Robert, R. 2001. Getting Moisture into the Compost Pile. **J. Bio Cycle.** 42: 51-56.

Tiquia, S.M., F.Y. Tam and I.J. Hodgkiss. 1996. Microbial Activities During Composting of Spent Pig-mature Sawdust Litter at Different Moisture Contents. **Biore. Technolo.** 55: 201-206.

Updegraff, D.M. 1972. Microbiological aspects of solid-waste composting. **Develop. Ind. Microbiol**. 13: 16-23.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก
การหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน

ตารางผนวกที่ ก1 ไนโตรเจนของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	0.10	0.16	0.14	0.16	0.12	0.14
	10 ลิตร	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12
	20 ลิตร	0.12	0.12	0.23	0.14	0.18	0.12
ค่าเฉลี่ย		**0.11**	**0.13**	**0.16**	**0.14**	**0.14**	**0.13**
3:1	ไม่รดน้ำ	0.35	0.19	0.37	0.23	0.38	0.21
	10 ลิตร	0.23	0.14	0.21	0.16	0.19	0.17
	20 ลิตร	0.28	0.19	0.30	0.21	0.28	0.18
ค่าเฉลี่ย		**0.29**	**0.17**	**0.29**	**0.20**	**0.28**	**0.19**
6:1	ไม่รดน้ำ	0.47	0.29	0.42	0.33	0.45	0.31
	10 ลิตร	0.33	0.29	0.35	0.31	0.31	0.31
	20 ลิตร	0.54	0.23	0.49	0.23	0.51	0.21
ค่าเฉลี่ย		**0.45**	**0.27**	**0.42**	**0.29**	**0.42**	**0.28**

ตารางผนวกที่ ก2 ฟอสฟอรัสของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	0.24	0.22	0.24	0.23	0.24	0.23
	10 ลิตร	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.22
	20 ลิตร	0.22	0.21	0.23	0.22	0.21	0.23
ค่าเฉลี่ย		**0.23**	**0.22**	**0.23**	**0.23**	**0.23**	**0.23**
3:1	ไม่รดน้ำ	0.33	0.27	0.36	0.25	0.35	0.27
	10 ลิตร	0.26	0.25	0.26	0.24	0.24	0.26
	20 ลิตร	0.28	0.25	0.29	0.26	0.27	0.27
ค่าเฉลี่ย		**0.29**	**0.26**	**0.30**	**0.25**	**0.29**	**0.27**
6:1	ไม่รดน้ำ	0.40	0.35	0.42	0.38	0.45	0.37
	10 ลิตร	0.33	0.37	0.35	0.38	0.36	0.35
	20 ลิตร	0.40	0.29	0.36	0.24	0.33	0.26
ค่าเฉลี่ย		**0.38**	**0.34**	**0.38**	**0.33**	**0.38**	**0.33**

ตารางผนวกที่ ก3 โพแทสเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน(%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	1.66	1.29	1.65	1.33	1.63	1.24
	10 ลิตร	1.60	1.26	1.54	1.35	1.62	1.31
	20 ลิตร	1.64	1.14	1.66	1.22	1.62	1.06
ค่าเฉลี่ย		**1.63**	**1.23**	**1.62**	**1.30**	**1.62**	**1.20**
3:1	ไม่รดน้ำ	1.47	1.39	1.39	1.40	1.31	1.37
	10 ลิตร	1.46	1.20	1.43	1.19	1.41	1.21
	20 ลิตร	1.34	1.23	1.37	1.28	1.31	1.19
ค่าเฉลี่ย		**1.42**	**1.27**	**1.40**	**1.29**	**1.34**	**1.26**
6:1	ไม่รดน้ำ	1.47	0.68	1.44	0.69	1.50	0.66
	10 ลิตร	1.49	1.38	1.64	1.31	1.86	1.34
	20 ลิตร	1.32	1.01	1.48	0.99	1.40	1.02
ค่าเฉลี่ย		**1.43**	**1.02**	**1.52**	**1.00**	**1.59**	**1.01**

ตารางผนวกที่ ก4 แคลเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	0.09	0.24	0.14	0.27	0.11	0.25
	10 ลิตร	0.06	0.18	0.07	0.15	0.10	0.17
	20 ลิตร	0.04	0.35	0.06	0.44	0.09	0.26
ค่าเฉลี่ย		**0.06**	**0.26**	**0.09**	**0.29**	**0.10**	**0.23**
3:1	ไม่รดน้ำ	0.54	0.19	0.56	0.21	0.53	0.22
	10 ลิตร	0.45	0.20	0.48	0.22	0.47	0.23
	20 ลิตร	0.24	0.19	0.30	0.16	0.27	0.17
ค่าเฉลี่ย		**0.41**	**0.19**	**0.45**	**0.20**	**0.42**	**0.21**
6:1	ไม่รดน้ำ	0.53	0.19	0.59	0.16	0.55	0.23
	10 ลิตร	0.47	0.25	0.51	0.18	0.56	0.29
	20 ลิตร	0.97	0.15	0.92	0.12	0.87	0.13
ค่าเฉลี่ย		**0.66**	**0.20**	**0.67**	**0.15**	**0.66**	**0.22**

ตารางผนวกที่ ก5 แมกนีเซียมของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	0.30	0.28	0.32	0.30	0.30	0.30
	10 ลิตร	0.26	0.29	0.28	0.33	0.31	0.31
	20 ลิตร	0.26	0.31	0.31	0.35	0.28	0.33
ค่าเฉลี่ย		**0.30**	**0.29**	**0.32**	**0.30**	**0.30**	**0.31**
3:1	ไม่รดน้ำ	0.26	0.31	0.28	0.29	0.31	0.32
	10 ลิตร	0.26	0.29	0.31	0.26	0.28	0.24
	20 ลิตร	0.30	0.37	0.31	0.36	0.29	0.39
ค่าเฉลี่ย		**0.30**	**0.32**	**0.31**	**0.30**	**0.31**	**0.32**
6:1	ไม่รดน้ำ	0.36	0.26	0.35	0.28	0.36	0.28
	10 ลิตร	0.23	0.35	0.29	0.37	0.25	0.32
	20 ลิตร	0.34	0.27	0.37	0.25	0.36	0.29
ค่าเฉลี่ย		**0.31**	**0.29**	**0.34**	**0.30**	**0.32**	**0.30**

ตารางผนวกที่ ก6 ตะกั่วของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (mg/kg)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	36.90	39.50	36.77	39.35	36.84	39.25
	10 ลิตร	34.70	39.90	34.69	39.75	34.65	39.48
	20 ลิตร	37.90	37.05	37.81	37.12	37.87	37.10
ค่าเฉลี่ย		**36.50**	**38.82**	**36.42**	**38.74**	**36.45**	**38.61**
3:1	ไม่รดน้ำ	32.80	35.44	32.74	35.60	32.76	35.52
	10 ลิตร	36.90	26.40	36.87	26.38	36.81	26.33
	20 ลิตร	30.10	31.20	30.05	31.12	30.03	31.17
ค่าเฉลี่ย		**30.06**	**31.01**	**33.22**	**31.03**	**33.20**	**31.01**
6:1	ไม่รดน้ำ	26.40	16.90	26.32	16.85	26.35	16.81
	10 ลิตร	33.90	21.60	33.77	21.57	33.84	21.52
	20 ลิตร	25.40	25.20	25.31	25.11	25.34	25.14
ค่าเฉลี่ย		**28.57**	**21.23**	**28.47**	**21.18**	**28.51**	**21.16**

ตารางผนวกที่ ก7 กรด-เบสของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	6.48	6.63	6.63	6.73	6.55	6.51
	10 ลิตร	6.83	6.55	6.88	6.52	6.85	6.55
	20 ลิตร	6.50	6.52	6.40	6.44	6.20	6.50
ค่าเฉลี่ย		**6.60**	**6.57**	**6.64**	**6.56**	**6.53**	**6.52**
3:1	ไม่รดน้ำ	6.76	7.34	6.72	7.11	6.67	7.22
	10 ลิตร	6.74	6.78	6.75	6.76	6.70	6.74
	20 ลิตร	6.30	6.54	6.26	6.51	6.28	6.53
ค่าเฉลี่ย		**6.60**	**6.89**	**6.58**	**6.79**	**6.55**	**6.83**
6:1	ไม่รดน้ำ	7.11	7.37	7.25	7.54	6.97	7.44
	10 ลิตร	6.47	6.84	6.63	6.89	6.78	6.95
	20 ลิตร	6.59	6.71	6.64	6.50	6.53	6.39
ค่าเฉลี่ย		**6.72**	**6.97**	**6.84**	**6.98**	**6.76**	**6.93**

ตารางผนวกที่ ก8 อินทรียวัตถุของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (%)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	4.74	3.75	4.69	3.82	4.63	3.86
	10 ลิตร	5.18	4.01	5.24	4.15	5.12	4.20
	20 ลิตร	5.23	3.96	5.44	3.72	5.34	3.85
ค่าเฉลี่ย		**5.05**	**3.91**	**5.12**	**3.90**	**5.03**	**3.97**
3:1	ไม่รดน้ำ	6.38	4.68	6.35	4.26	6.32	4.49
	10 ลิตร	7.17	5.22	7.06	5.15	7.12	5.04
	20 ลิตร	6.32	4.72	6.25	4.52	6.29	4.61
ค่าเฉลี่ย		**6.62**	**4.87**	**6.55**	**4.64**	**6.58**	**4.71**
6:1	ไม่รดน้ำ	9.75	7.17	9.48	7.28	9.63	7.25
	10 ลิตร	10.98	7.79	10.85	7.25	10.26	7.81
	20 ลิตร	12.45	8.73	12.58	8.52	12.47	8.89
ค่าเฉลี่ย		**11.06**	**7.90**	**10.97**	**7.68**	**10.79**	**7.98**

ตารางผนวกที่ ก9 C/N ratioของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณ น้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	13.00	13.52	17.50	13.77	22.25	15.90
	10 ลิตร	22.29	23.13	25.17	19.94	24.58	20.18
	20 ลิตร	25.17	19.03	13.65	15.32	57.50	18.50
ค่าเฉลี่ย		**20.15**	**18.56**	**18.77**	**16.34**	**34.78**	**18.19**
3:1	ไม่รดน้ำ	15.33	14.21	9.73	10.68	9.58	12.33
	10 ลิตร	17.96	21.50	19.38	18.56	16.96	17.10
	20 ลิตร	13.00	14.33	12.00	12.41	13.46	14.77
ค่าเฉลี่ย		**15.43**	**16.68**	**13.70**	**13.88**	**13.33**	**14.73**
6:1	ไม่รดน้ำ	11.96	14.26	13.02	12.72	15.00	13.49
	10 ลิตร	11.72	15.49	17.89	13.49	19.10	14.53
	20 ลิตร	13.30	21.89	14.80	21.36	21.79	24.41
ค่าเฉลี่ย		**12.33**	**17.21**	**15.24**	**15.86**	**18.63**	**17.48**

ตารางผนวกที่ ก10 ความหนาแน่นของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน (kg/m^3)

สัดส่วน ขยะ : ดิน	ปริมาณ น้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	**ทำเป็นชั้น**	**คลุก**	**ทำเป็นชั้น**	**คลุก**	**ทำเป็นชั้น**
1:1	**ไม่รดน้ำ**	200	220	220	220	220	200
	10 ลิตร	180	220	200	220	220	240
	20 ลิตร	200	240	200	220	200	220
ค่าเฉลี่ย		**193.33**	**226.67**	**206.67**	**220**	**213.33**	**220**
3:1	**ไม่รดน้ำ**	180	180	160	180	160	180
	10 ลิตร	160	240	180	220	160	200
	20 ลิตร	140	180	160	160	130	180
ค่าเฉลี่ย		**160**	**200**	**166.67**	**186.67**	**150**	**186.67**
6:1	**ไม่รดน้ำ**	120	200	160	200	130	200
	10 ลิตร	120	180	100	180	120	180
	20 ลิตร	130	180	150	220	170	180
ค่าเฉลี่ย		**123.33**	**186.67**	**136.37**	**200**	**140**	**186.67**

ตารางผนวกที่ ก11 ความชื้นของการหมักแบบคลุกขยะกับดินและแบบทำเป็นชั้นสลับกับดิน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
		คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น	คลุก	ทำเป็นชั้น
1:1	ไม่รดน้ำ	9.51	9.86	9.45	9.59	9.48	9.75
	10 ลิตร	10.19	12.54	9.11	12.75	9.11	12.92
	20 ลิตร	9.65	13.54	11.34	12.34	12.25	12.96
ค่าเฉลี่ย		**10.04**	**11.98**	**9.97**	**11.56**	**10.46**	**11.88**
3:1	ไม่รดน้ำ	12.44	9.10	12.11	8.95	12.28	9.23
	10 ลิตร	16.88	7.95	16.90	8.12	16.86	7.74
	20 ลิตร	18.37	12.54	18.34	11.80	18.40	11.02
ค่าเฉลี่ย		**15.90**	**9.86**	**15.78**	**9.62**	**15.85**	**9.33**
6:1	ไม่รดน้ำ	13.42	4.18	13.53	4.68	13.53	4.45
	10 ลิตร	16.67	7.84	15.23	6.88	18.08	7.38
	20 ลิตร	24.58	8.90	24.86	8.81	24.30	8.94
ค่าเฉลี่ย		**18.22**	**6.97**	**17.87**	**6.79**	**18.67**	**6.92**

ภาคผนวก ข

ผลลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก
การหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

ตารางผนวกที่ ข1 ไนโตรเจนของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	**ตัวอย่างที่**					
	1		**2**		**3**	
	ใน	**นอก**	**ใน**	**นอก**	**ใน**	**นอก**
1:1	0.16	0.17	0.14	0.15	0.14	0.14
3:1	0.17	0.28	0.19	0.24	0.19	0.27
6:1	0.38	0.51	0.35	0.43	0.37	0.45
ค่าเฉลี่ย	**0.24**	**0.32**	**0.24**	**0.27**	**0.24**	**0.29**

ตารางผนวกที่ ข2 ฟอสฟอรัสของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	**ตัวอย่างที่**					
	1		**2**		**3**	
	ใน	**นอก**	**ใน**	**นอก**	**ใน**	**นอก**
1:1	0.12	0.12	0.11	0.12	0.14	0.11
3:1	0.15	0.17	0.16	0.18	0.17	0.16
6:1	0.25	0.27	0.20	0.27	0.23	0.24
ค่าเฉลี่ย	**0.17**	**0.19**	**0.16**	**0.19**	**0.18**	**0.17**

ตารางผนวกที่ ข3 โพแทสเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	0.97	0.12	0.91	0.12	0.95	0.11
3:1	1.21	0.17	1.25	0.18	1.23	0.16
6:1	1.17	0.27	1.23	0.21	1.13	0.24
ค่าเฉลี่ย	**1.12**	**0.19**	**1.13**	**0.17**	**1.10**	**0.17**

ตารางผนวกที่ ข4 แคลเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.04
3:1	0.07	0.17	0.06	0.10	0.06	0.13
6:1	0.10	0.13	0.09	0.11	0.11	0.14
ค่าเฉลี่ย	**0.08**	**0.12**	**0.07**	**0.09**	**0.07**	**0.10**

ตารางผนวกที่ ข5 แมกนีเซียมของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	0.46	0.37	0.50	0.39	0.48	0.40
3:1	0.50	0.41	0.51	0.43	0.48	0.45
6:1	0.45	0.45	0.47	0.42	0.47	0.47
ค่าเฉลี่ย	**0.47**	**0.41**	**0.49**	**0.41**	**0.48**	**0.44**

ตารางผนวกที่ ข6 ตะกั่วของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(mg/kg)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	48.90	38.50	47.90	39.50	49.90	37.50
3:1	34.80	22.10	33.80	23.10	35.80	21.10
6:1	28.90	27.40	27.90	28.40	29.90	26.40
ค่าเฉลี่ย	**37.53**	**29.33**	**36.53**	**30.33**	**38.53**	**28.33**

ตารางผนวกที่ ข7 อินทรียวัตถุของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	1.48	1.36	1.45	1.16	1.42	1.25
3:1	1.60	2.97	1.58	2.83	1.56	2.79
6:1	5.82	3.63	5.85	3.58	5.87	3.77
ค่าเฉลี่ย	**2.97**	**2.65**	**2.96**	**2.52**	**2.95**	**2.60**

ตารางผนวกที่ ข8 C/N ratioของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	5.33	4.61	5.97	6.08	5.85	5.15
3:1	5.43	6.12	4.80	6.80	4.74	5.96
6:1	8.83	4.10	9.64	4.80	9.15	4.83
ค่าเฉลี่ย	**6.53**	**4.94**	**6.80**	**5.89**	**6.58**	**5.31**

ตารางผนวกที่ ข9 กรด-เบสของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝนและนอกโรงเรือน

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	7.60	7.40	7.60	7.40	7.65	7.50
3:1	7.17	7.10	7.12	7.30	7.20	7.30
6:1	6.90	6.60	6.80	6.80	6.86	6.80
ค่าเฉลี่ย	**7.22**	**7.03**	**7.17**	**7.17**	**7.24**	**7.20**

ตารางผนวกที่ ข10 ความหนาแน่นของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(kg/m^3)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก
1:1	900	900	900	800	800	800
3:1	800	800	700	800	700	700
6:1	600	1000	500	800	600	900
ค่าเฉลี่ย	**766.67**	**900**	**700**	**800**	**700**	**800**

ตารางผนวกที่ ข11 ความชื้นของการหมักขยะในโรงเรือนที่มีหลังคากันน้ำฝน และนอกโรงเรือน(%)

สัดส่วนขยะ : ดิน	ตัวอย่างที่ 1		2		3	
	ใน	**นอก**	**ใน**	**นอก**	**ใน**	**นอก**
1:1	21.08	16.79	21.36	16.34	21.24	16.46
3:1	21.86	23.25	21.55	23.42	21.46	24.33
6:1	36.31	31.98	36.35	31.99	36.25	32.02
ค่าเฉลี่ย	**26.42**	**24.01**	**26.42**	**23.92**	**26.32**	**24.27**

ภาคผนวก ค

มาตรฐานต่างๆ

ตารางผนวกที่ ค1 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในดิน

ชนิดธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง)
มหาธาตุ :	
ไนโตรเจน (N)	0.03-0.3
ฟอสฟอรัส (P)	0.01-0.1
โพแทสเซียม (K)	0.2-3.0
แคลเซียม (Ca)	0.2-1.5
แมกนีเซียม (Mg)	0.1-1.0
กำมะถัน (S)	0.01-0.1
จุลธาตุ :	
เหล็ก (Fe)	0.5-4.0
แมงกานีส (Mn)	0.02-0.4
สังกะสี (Zn)	0.01-0.03
ทองแดง (Cu)	0.0005-0.01
โบรอน (B)	0.005-0.01
โมลิบดินัม (Mo)	0.00005-0.0005
คลอรีน (Cl)	0.005-0.1

ที่มา: ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ (2536)

ตารางผนวกที่ ค2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 1

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร
	ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20 : 1
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมนส์/เมตร
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
ไนโตรเจน (Total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
โพแทสเซียม (Total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
สารหนู	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียม	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดง	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548)

ตารางผนวกที่ ค3 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 2 ของน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ไม่พบ
ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20 : 1
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์/เมตร
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
ไนโตรเจน (Total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
โพแทสเซียม (Total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 mg kg-1
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 mg kg-1
โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 mg kg-1
ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 mg kg-1
ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 mg kg-1
ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 mg kg-1

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2551)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนฤมล วงษ์สวรรค์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	15 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	นครปฐม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ