ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ในบ่อคอนกรีต ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน

Study on Thermophilic Activity in Composting of Organic Garbage in Concrete Tank under Different Watering Periods

นามผู้วิจัย นางสาวพีรดา พงษ์ทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิการ์ สัจจาพันธ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ ในบ่อคอนกรีต ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน

Study on Thermophilic Activity in Composting of Organic Garbage in Concrete Tank under Different Watering Periods

โดย

นางสาวพีรดา พงษ์ทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2552

พีรดา พงษ์ทอง 2552: การศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ในบ่อคอนกรีต ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด. 95 หน้า

การศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ในบ่อคอนกรีต ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรดน้ำที่ทำให้กองปุ๋ยมีความชื้นพอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และรา วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยตำรับทดลอง 4 แบบ คือ รดน้ำสัปดาห์ละครั้ง (T_1) ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดทุกสัปดาห์ (T_2) ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดสัปดาห์เว้นสัปดาห์ (T_3) และไม่รดน้ำตลอดระยะเวลาการหมัก (T_4) ทำการทดลองในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือน พ.ค.- มิ.ย. 2552 ผลการทดลองพบว่า ในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการหมักในทุกตำรับการทดลองซึ่งขยะอินทรีย์ยังมีความชื้นอยู่มาก แบคทีเรีย (*Bacillus* sp.) จะเพิ่มปริมาณแสดงกิจกรรมสูงที่สุดในช่วงนี้ หลังจากนั้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไป แอคติโนมัยซีส (*Streptomyces* sp.) และรา (*Aspergillus* sp.) จะเพิ่มปริมาณและแสดงกิจกรรมมาก ตามลำดับ โดยเฉพาะในตำรับ T_3 และ T_4 ซึ่งรดน้ำน้อย และไม่รดน้ำมีแนวโน้มที่จะมีกิจกรรมสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบลักษณะและสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้จากตำรับทดลองต่างๆ พบว่า ปุ๋ยหมักมีปริมาณอินทรียวัตถุ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอินทรียวัตถุอยู่ในช่วงร้อยละ 24.49-26.58 ค่าpHอยู่ในช่วง 7.2-8.0 และปริมาณไนโตรเจนมีค่าร้อยละอยู่ในช่วง 1.16-1.53 โดยตำรับทดลองที่ไม่มีการรดน้ำมีแนวโน้มที่จะมีค่าเหล่านี้สูงสุด สำหรับปริมาณความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความชื้นมีค่าร้อยละอยู่ในช่วง 31.64-57.60 โดยพบว่าตำรับที่ไม่มีการรดน้ำมีความชื้นต่ำสุดสำหรับค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 0.46-0.79 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าร้อยละอยู่ในช่วง 0.13-0.21 และปริมาณโพแทสเซียมมีค่าร้อยละอยู่ในช่วง 0.34-0.39 โดยพบว่าตำรับที่ไม่มีการรดน้ำเลยจะมีค่าเหล่านี้สูงสุด จากผลการทดลองจะเห็นว่าการหมักขยะอินทรีย์ซึ่งมีความชื้นสูงและทำในฤดูฝน การไม่รดน้ำน่าจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic มีกิจกรรมรวมที่ดีกว่าและได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีกว่าการรดน้ำเมื่อเทียบคุณภาพกับปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Peerada pongtong 2009: Study on Thermophilic Activity in Composting of Organic Garbage in Concrete Tank under Different Watering Periods. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Suthep Thongpae, Ph.D. 95 pages.

The study on Thermophilic activity in composting organic garbage was done in concrete tank under different watering periods in order to investigate the suitable period of watering to provide appropriate moisture condition for the activity of bacteria, actinomyces and fungi. The study was conducted in CRD with 3 replications and 4 treatments of watering as follows: watering once per week (T_1), watering every week except at the first week (T_2), watering at the first week and follow by every two weeks (T_3), and no watering (T_4). This study was carried out during rainy season from May to June 2009. The results indicated that during the first two weeks which all treatments still contained high moisture content, bacteria (*Bacillus* sp.) showed the highest amount and activity in this period. Thereafter, from the third and the fifth week of composting, the amount and activity of actinomyces (*Streptomyces* sp.) and fungi (*Aspergillus* sp.) were increased respectively. The treatments which less or no watering (T_3 and T_4) seemed to show more activity of actinomyces and fungi. As for the characteristics and properties of compost from each treatment, the results showed no significant differences on organic matter content, pH and N in which the ranges were 24.49-26.58 %, 7.2-8.0 and 1.16-1.53 % respectively. However, the treatment with no watering tended to give the highest value of these parameters. Conversely, there were significant differences for moisture content, EC, P and K. The moisture content varied between 31.64 – 57.60 % and the lowest content was found in treatment with no watering. While EC, P and K were in the ranges of 0.46-0.79 dS/m, 0.13-0.21 % and 0.34-0.39 % respectively and the treatment with no watering gave the highest value of these parameters. From these results, the experiment can be concluded that the composting of organic waste with high moisture content during rainy season, no watering seems to lead more activity of thermophilic microorganisms and higher quality of compost than watering as compare to the standard of compost given by the department of agriculture.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุเทพ ทองแพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิการ์ สัจจาพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการวิจัย รองศาสตราจารย์อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร ประธานการสอบ และศาสตราจารย์ชำนาญ ฉัตรแก้ว ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำเพิ่มเติมและแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการฯ มูลนิธิชัยพัฒนา และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานความสำเร็จของงานวิจัยนี้ เจ้าหน้าที่โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ คุณจุลบุตร จันทร์สูรย์และเจ้าหน้าที่ภาคสนามทุกท่าน ขอบคุณ พี่มณฑล สุวรรณประภา สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามและกำลังใจที่มีให้กัน ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ขอบคุณ พี่หน่อย พี่โต พี่ต้น พี่ตุ้ย พี่ต้อง พี่พืท พี่นุตา มิ้ม แป๋ม ต้า แด พี่ๆ และเพื่อน ๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 31 ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กันจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอมอบคุณความดีและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่คุณแม่มาลี ขุนพิทักษ์ มารดาผู้ล่วงลับไปแล้ว คุณพ่อสมบูรณ์ พงษ์ทอง อากง อาม่า คุณตา คุณยาย ป้าแอ๊ว โก อ้วน ตลอดจนน้าๆ สำหรับการดูแลเป็นอย่างดีตลอดชีวิตที่ผ่านมา และอ้อมน้องสาวที่รัก ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยเติมพลังใจให้กันมาตลอด

พีรดา พงษ์ทอง

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	องค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย	9
2	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก	25
3	ปริมาณมูลฝอยรายปีในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีตั้งแต่ปี 2540-2559	32
4	องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี	33
5	องค์ประกอบทางเคมีของขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี	34
6	สมบัติบางประการของตัวอย่างดินที่ใช้ในการหมักขยะ	51
7	คุณสมบัติของขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก	52
8	องค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ใช้ในการหมัก	53
9	ปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุที่ใช้หมักและในน้ำที่ใช้รดในการทดลอง	54
10	การยุบตัวของปุ๋ยหมัก (%) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการหมัก	64
11	การลดลงของน้ำหนักปุ๋ยหมัก (%)	66
12	ความชื้นของปุ๋ยหมัก (%)	67
13	ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมัก	68
14	ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก	69
15	ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก	70
16	ปริมาณไนโตรเจนรวมในปุ๋ยหมัก (%)	71
17	ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมัก	72
18	ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก	73
19	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก	74

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_1	85
2	ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_2	85
3	ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_3	86
4	ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_4	86
5	ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_1	87
6	ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_2	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
7	ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_3	88
8	ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_4	88
9	ปริมาณราของตำรับทดลอง T_1	89
10	ปริมาณราของตำรับทดลอง T_2	89
11	ปริมาณราของตำรับทดลอง T_3	90
12	ปริมาณราของตำรับทดลอง T_4	90
13	คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก	91
14	ปริมาณธาตุอาหารที่พบในดิน	92
15	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	93
16	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร	94

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การใส่วัสดุลงในบ่อหมัก	39
2	การสุ่มจัดเรียงตำรับการทดลอง	40
3	ตำรับการรดน้ำแบบต่างๆ	41
4	แผนระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์	42
5	วิธีการทำให้จุลินทรีย์เจือจาง (Dilution)	44
6	ปริมาณแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ในกองปุ๋ยหมัก	56
7	ปริมาณแอคติโนมัยซีส *Streptomyces* sp. ในกองปุ๋ยหมัก	58
8	ปริมาณรา *Aspergillus* sp. ในกองปุ๋ยหมัก	60
9	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 7.00 น. ในช่วง 42 วัน	62
10	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 15.00 น. ในช่วง 42 วัน	63
11	ร้อยละการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก	64

การศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ ในบ่อคอนกรีต ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน

Study on Thermophilic Activity in Composting of Organic Garbage in Concrete Tank under Different Watering Periods

คำนำ

ปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ ไม่เฉพาะแต่บริเวณเมืองเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อพื้นที่ติดต่อโดยรอบ เนื่องจากปัญหาขยะเป็นปัญหาที่ยากต่อการแก้ไข ชุมชนเมืองจึงพยายามที่จะผลักดันให้ปัญหาขยะนี้ออกไปจากพื้นที่ ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาเหล่านี้มาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนประชากร นำมาซึ่งการอุปโภคบริโภคที่เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ส่งผลให้ขยะมูลฝอยมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อไม่สามารถควบคุมปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นวิธีการในการจัดการขยะจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ที่จะต้องมีการเลือกใช้วิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ การจัดการขยะมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเก็บกองกับพื้น ตลอดจนการนำขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้มาใช้ในรูปแบบปุ๋ยหมัก

เทศบาลเมืองเพชรบุรีเป็นพื้นที่หนึ่งที่ประสบปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยชุมชน ขยะจากตลาดเทศบาลเมืองเพชรบุรีซึ่งมีขยะอินทรีย์เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 50 ของขยะทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะอินทรีย์จำพวกเศษอาหาร ได้แก่ เศษอาหารจากบ้านเรือน เศษผัก ผลไม้จากตลาดเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีปริมาณมากถึงร้อยละ 53.81 (เรียมสงวน, 2544) และเนื่องด้วยโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการหมักขยะในบ่อคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดระยะเวลาการหมักให้สั้นลง ประหยัดพื้นที่ในการหมักและง่ายต่อการบำรุงรักษา แต่ขยะที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องผ่านการคัดแยกวัสดุที่ย่อยยาก และวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออกก่อน

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของขยะชุมชนนั้น ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบประเภทโปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ตลอดจนสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่สลับซับซ้อน ยากต่อการย่อยสลายพันธะอย่างพวก

ลิกนินนั้น ต่างต้องอาศัยกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์พวก heterotrop ทั้งสิ้นโดยจุลินทรีย์พวก heterotroph นี้ แต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันตามข้อจำกัดทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การถ่ายเทอากาศและปริมาณอาหารที่นำไปใช้ในการดำรงชีวิต เป็นต้น โดยอุณหภูมิต่ำที่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียสนั้น จุลินทรีย์พวก mesophilic จะสามารถทำงานได้ดี แต่เมื่ออุณหภูมิในกล่องคอนกรีตเริ่มสูงขึ้นที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียสขึ้นไปจนกระทั่งถึง 70 องศาเซลเซียสแล้วจะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ (เสียง แจ่ว และ นวลจันทร์, 2540) แต่ในทางตรงกันข้าม จุลินทรีย์พวก thermophilic กลับสามารถทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้เองที่มีความสามารถในการสลายพันธะของโมเลกุลที่มีความสลับซับซ้อนได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ

ดังนั้นการควบคุมสภาพต่างๆ ที่กล่าวมาเหล่านี้ให้เหมาะสมแก่เชื้อจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นตัวการสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ นอกจากจะทำให้อินทรียวัตถุสลายตัวเร็วขึ้นแล้ว ยังทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้คุณภาพสูงขึ้น เพราะระยะเวลาในการหมักประกอบกับอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นจะทำให้การสูญเสียธาตุอาหารเกิดขึ้นในระดับต่ำ จึงไม่ส่งผลต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก (สุจิต, 2508)

การศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic ดำเนินการโดยควบคุมปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการรดน้ำซึ่งมีผลต่อการปรับอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก การจำกัดระยะเวลาในการรดน้ำโดยงดการรดน้ำสัปดาห์แรก และรดน้ำสัปดาห์เว้นสัปดาห์เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิ ปรับสภาพแวดล้อมให้จุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic ทำงานได้ดียิ่งขึ้น เพื่อเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายและคุณภาพของปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนากรรมวิธีการหมักขยะและประสิทธิภาพที่ดีของปุ๋ยหมักต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic ในการหมักขยะอินทรีย์ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน

2. ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักในด้านกายภาพและเคมีในการหมักขยะอินทรีย์ภายใต้ระยะเวลาการรดน้ำที่แตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

ในการศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic ครั้งนี้มีการตรวจเอกสาร โดยศึกษารวบรวมทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยการตรวจเอกสารแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆ ดังนี้

1. ขยะมูลฝอย
2. การกำจัดขยะมูลฝอย
3. การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการทำปุ๋ยหมัก
4. บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ที่มีต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุ
5. ลักษณะทั่วไปและปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ขยะมูลฝอย

นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถานฉบับ พ.ศ. 2525 กล่าวว่า มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเยื่อ ส่วนขยะ หมายถึง หยากเยื่อ มูลฝอย ดังนั้นคำว่าขยะและมูลฝอยจึงเป็นคำที่มีความหมายเหมือนกันสามารถใช้แทนกันได้

ขยะ หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (solid waste) มีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจเนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดมลพิษและทัศนะอุจาด (พระราชบัญญัติการสาธารณะสุข, 2535)

ขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งปฏิกูลที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมีน้ำหรือความชื้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (เกษม, 2541)

ขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งต่างๆ ที่คนไม่ต้องการและทิ้งไป ส่วนใหญ่เป็นของแข็งซึ่งอาจจะเน่าเปื่อยหรือไม่ก็ตาม รวมถึงเศษอาหาร เศษผ้า มูลสัตว์ ซากสัตว์ เถ้าถ่าน ฝุ่นละออง เศษของเหลือ

ทิ้งจากกระบวนการผลิต และการใช้สอยของมนุษย์จากบ้านเรือน ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน ถนน ตลาดสด โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนต่างๆ ยกเว้น อุจจาระ และปัสสาวะของมนุษย์ซึ่งจัดเป็นสิ่งปฏิกูล (ดาวรุ่ง, 2542)

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ได้ให้คำนิยามของขยะมูลฝอยว่า หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมถึงเศษซากที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย

ในการจัดการปัญหามูลฝอยมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงแหล่งกำเนิดมูลฝอย เพื่อจะทำให้การจัดการมูลฝอยเป็นไปได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับชนิดมูลฝอยและเกิดประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพัฒนา (2547) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดมูลฝอยตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของที่ดินไว้ดังนี้

1. มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (residential wastes)

มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย เป็นมูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีพของคนที่อาศัยอยู่ในบ้านพักอาศัยหรืออาคารชุด ได้แก่ เศษอาหาร เศษกระดาษ ถุงพลาสติก ใบไม้ ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพ เศษแก้ว เป็นต้น

2. มูลฝอยจากธุรกิจการค้า (commercial wastes)

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

3. มูลฝอยจากการพักผ่อนหย่อนใจ (recreational wastes)

มูลฝอยจากสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือสถานที่ท่องเที่ยวไม่ว่าจะเป็นแหล่งธรรมชาติ หรืออาจจะเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นแหล่งศิลปกรรม มูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็นเศษอาหาร เศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งหลาย เช่น ถุงพลาสติก กระป๋องโลหะ ถุงกระดาษ เป็นต้น

4. มูลฝอยจากโรงพยาบาล (hospital wastes)

มูลฝอยจากโรงพยาบาลมักถูกจัดไว้ในกลุ่มของมูลฝอยอันตราย เพราะอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายประการ ได้แก่ อาจเป็นการแพร่กระจายเชื้อโรคเป็นที่น่ารังเกียจ เป็นต้น จึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะแยกออกจัดการต่างหากจากมูลฝอยที่มาจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ

5. มูลฝอยจากการเกษตร (agricultural wastes)

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

6. มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastes)

มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้นหรือประเภทของอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ได้แก่ พวกเศษอาหาร มูลฝอยแห้งต่างๆ เช่น เศษกระดาษ กระดาษแข็ง ขี้เถ้า และของเสียอันตราย เป็นต้น

ลักษณะและชนิดของขยะมูลฝอย

1. ลักษณะของขยะมูลฝอย

เกษม (2541) ได้รวบรวมเอกสารด้านขยะมูลฝอยและสรุปได้ว่า ลักษณะของขยะมูลฝอย หมายถึง รูปลักษณะของมูลฝอยที่เป็นกลุ่มของความยากง่ายในการเน่าเปื่อย และมีพิษภัย ประกอบด้วย 3 ลักษณะดังนี้

1) ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยง่าย (food waste or garbage) ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ คือ เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ กระดาษ ผ้า ไม้ เศษพืชผัก ฯลฯ

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

3) ขยะมูลฝอยที่อันตรายหรือสารเคมี (hazardous waste or chemical waste) ได้แก่ กาก สารพิษ โลหะหนัก สารกำจัดแมลงและศัตรูพืช ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล และสารเคมีที่เป็นพิษ อื่นๆ ฯลฯ

2. ชนิดของขยะมูลฝอย

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

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

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

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

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

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

7) ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial refuse) ได้แก่ เศษวัสดุที่เกิดจากการผลิต หรือขั้นตอนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเศษวัสดุชนิดใดก็ได้แล้วแต่ชนิดของโรงงานนั้นๆ และจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน

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

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

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

องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

นอกจากแหล่งกำเนิดและชนิดของมูลฝอยแล้ว การจำแนกองค์ประกอบของขยะก็เป็นส่วนสำคัญยิ่งในการวางแผนการจัดการขยะให้เหมาะสมกับองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ตัวอย่างมูลฝอยที่สุ่มออกมาได้ในประเทศไทยโดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2551) นำมาแยกองค์ประกอบเป็นประเภทต่างๆ 10 ประเภท ได้แก่

ตารางที่ 1 องค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย

ที่	Combustible wastes	ที่	Non - Combustible wastes
1	ผัก ผลไม้ เศษอาหาร	6	ยางและหนัง
2	กระดาษ	7	แก้ว
3	พลาสติก	8	โลหะ
4	ผ้า	9	หิน กระเบื้อง
5	ไม้	10	อื่นๆ

ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2551)

1) ผัก ผลไม้และเศษอาหาร หมายถึง เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียม การปรุง และการบริโภค (ยกเว้น เปลือกหอย กระดูก ก้างปลา ซังข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ

2) กระดาษ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ ตัวอย่างเช่น กระดาษ หนังสือพิมพ์ แมกกาซีน หนังสือต่างๆ ใบปลิว การ์ด ถุงกระดาษ กล่องกระดาษ กระดาษอัด ฯลฯ

3) พลาสติก หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ตัวอย่างเช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ

4) ผ้า หมายถึง สิ่งทอต่างๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้าย ลินิน ผ้าไนลอน ตัวอย่างเช่น ด้าย เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ฯลฯ

5) ไม้ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้

6) ยางและหนัง หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากยางหรือหนัง ตัวอย่างเช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ฯลฯ

7) แก้ว หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น กระจก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว ฯลฯ

8) โลหะ หมายถึง วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น กระป๋องโลหะ สายไฟ foil ภาชนะต่างๆ ตะปู ฯลฯ

9) หิน กระเบื้อง กระดูกสัตว์และเปลือกหอย หมายถึง เศษหิน เศษกระดูกสัตว์ เปลือกหอย ตัวอย่างเช่น เครื่องเคลือบ เปลือกหอย กุ้ง ปู กระดูกสัตว์ ก้างปลา ฯลฯ

10) อื่น ๆ หมายถึง วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่างๆ ข้างต้น รวมถึง ฝุ่น ทราย เถ้า

ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสภาวะแวดล้อม

ปัญหาขยะมูลฝอยนั้น นับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากไม่มีการกำจัดขยะมูลฝอยให้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ปัญหาความสกปรกต่าง ๆ ที่จะตามมาจากขยะมูลฝอย จะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ถ้าพิจารณาเพียงผิวเผินแล้ว ขยะมูลฝอยนั้นไม่ได้มีผลกระทบต่อมนุษย์มากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยตรงต่อมนุษย์ ยังอยู่ในขั้นที่ไม่รุนแรงมากนั่นเอง ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงยังไม่ชัดเจน แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขยะมูลฝอยจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก และจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ด้วย ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เทศบาลเมืองทุ่งสง (2551) ได้จำแนกว่าขยะมูลฝอยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์หลายประการดังต่อไปนี้ คือ

1. เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลง และพาหะของโรค

เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับขยะมูลฝอยมีโอกาสที่จะขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้นได้ เพราะขยะมูลฝอยมีทั้งความชื้นและสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร ขยะพวกอินทรีย์สารที่ทิ้งค้างไว้ จะเกิดการเน่าเปื่อยกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวัน นอกจากนั้นพวกขยะที่ปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ จะเป็นที่อยู่อาศัยของหนู โดยหนูจะเข้ามาอาศัย ขยายพันธุ์ เพราะมีทั้งอาหารและที่หลบซ่อน ดังนั้นขยะที่ขาดการเก็บรวบรวม และการกำจัดที่เหมาะสม จึงทำให้เกิดเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ที่สำคัญของเชื้อโรค แมลงวัน หนู แมลงสาบ ซึ่งเป็นหาหะนำโรคมาสู่คน

2. เป็นบ่อเกิดของโรค

เนื่องจากการเก็บรวบรวมและการกำจัดขยะมูลฝอยไม่ดี หรือปล่อยปละละเลยทำให้มีขยะมูลฝอยเหลือทิ้งค้างไว้ในชุมชน จะเป็นบ่อเกิดของเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น เชื้อตับอักเสบ เชื้อไทฟอยด์ เชื้ออหิวาตกโรค ฯลฯ เป็นแหล่งกำเนิดและอาหารของสัตว์ต่าง ๆ ที่เป็นพาหะนำโรคมาสู่คน เช่น แมลงวัน แมลงสาบ และหนู เป็นต้น

3. ก่อให้เกิดความรำคาญ

ขยะมูลฝอย การเก็บรวบรวมได้ไม่หมดก็จะเกิดเป็นกลิ่นรบกวน กระจายอยู่ทั่วไปในชุมชน นอกจากนั้นฝุ่นละอองที่เกิดจากการเก็บรวบรวมการขนถ่าย และการกำจัดขยะก็ยังคงเป็นเหตุรำคาญที่มักจะได้รับการร้องเรียนจากประชาชนในชุมชนอยู่เสมอ

4. ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ขยะมูลฝอยเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษของน้ำ มลพิษของดิน และมลพิษของอากาศ เนื่องจากขยะส่วนที่ขาดการเก็บรวบรวม หรือไม่นำมากำจัดให้ถูกวิธี ปล่อยทิ้งค้างไว้ในพื้นที่ของชุมชน เมื่อมีฝนตกลงมาจะไหลชะนำความสกปรก เชื้อโรค สารพิษจากขยะไหลลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเกิดเน่าเสียได้ และนอกจากนี้ขยะมูลฝอยยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพดิน ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของขยะมูลฝอย ถ้าขยะมีการปะปนของถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ และหลอดฟลูออเรสเซนต์เก่าๆ มากก็จะส่งผลต่อปริมาณโลหะหนักพวกปรอท แคดเมียม ตะกั่ว ในดินมาก ซึ่งจะส่งผลเสียต่อระบบนิเวศในดิน และสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยเมื่อมีการย่อยสลาย จะทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดในดิน และเมื่อฝนตกมาชะกองขยะมูลฝอยจะทำให้น้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยไหลปนเปื้อนดินบริเวณรอบ ๆ ทำให้เกิดมลพิษของดินได้ การปนเปื้อนของดิน ยังเกิดจากการนำมูลฝอยไปฝังกลบ หรือการลักลอบนำไปทิ้งทำให้ของเสียอันตรายปนเปื้อนในดิน ถ้ามีการเผาขยะมูลฝอยกลางแจ้งทำให้เกิดควันมีสารพิษทำให้คุณภาพของอากาศเสีย ส่วนมลพิษทางอากาศจากขยะมูลฝอยนั้น อาจเกิดขึ้นได้ทั้งจากมลสารที่มีอยู่ในขยะและพวกแก๊สหรือไอระเหย ที่สำคัญก็คือ กลิ่นเหม็นที่เกิดจากการเน่าเปื่อย และสลายตัวของอินทรียสารเป็นส่วนใหญ่

5. ทำให้เกิดการเสี่ยงต่อสุขภาพ

ขยะมูลฝอยที่รวบรวมและทิ้งโดยขาดประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะมูลฝอยพวกของเสียอันตราย ถ้าขาดการจัดการที่เหมาะสม ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้ง่าย เช่น โรคทางเดินอาหารที่เกิดจากแบคทีเรียที่มีแมลงวันเป็นพาหะ หรือได้รับสารพิษที่มากับของเสียอันตราย

6. เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ

ขยะมูลฝอยปริมาณมาก ๆ ย่อมต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลกระทบจากขยะมูลฝอยไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย อากาศเสีย ดินปนเปื้อน เหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ

7. ทำให้ขาดความสง่างาม

การเก็บขนและกำจัดที่ดีจะช่วยให้ชุมชนเกิดความสวยงาม มีความเป็นระเบียบเรียบร้อย อันส่อแสดงถึงความเจริญและวัฒนธรรมของชุมชน ฉะนั้นหากเก็บขนไม่ดี ไม่หมด กำจัดไม่ดี ย่อมก่อให้เกิดความไม่น่าดู ขาดความสวยงาม บ้านเมืองสกปรก และความไม่เป็นระเบียบ ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยว

การกำจัดขยะมูลฝอย

หลักการกำจัดขยะมูลฝอย

จากการที่ขยะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำมาซึ่งผลกระทบทางด้านต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ประกอบกับการกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบันยังไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการนี้ก่อให้เกิดผลกระทบ เสียหายต่อสิ่งแวดล้อม เกิดผลร้ายต่อชีวิต เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย การกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกสุขลักษณะจะต้องมีลักษณะ ดังนี้

1) ต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ เสียหายต่อการดำรงชีวิตอย่างปกติสุข และวิถีชีวิตที่ดีงามตลอดจนองค์ประกอบของสังคมด้านใด ๆ

2) ต้องไม่ก่อให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์หรือแมลงที่เป็นพาหะนำโรค เช่น แมลงวัน แมลงสาบ หนู ยุง สัตว์พิษ ที่กัดต่อยมนุษย์และสัตว์เลี้ยง เช่น ตะขาบ งู

3) ต้องไม่ก่อให้เกิดเหตุเดือดร้อน รำคาญ ขัดประโยชน์ ต่อประชาชนในอาณาบริเวณใกล้เคียงกัน อันเนื่องมาจากฝุ่นละออง เสียงดัง กลิ่นเหม็น ทัศนวิสัยที่ไม่ดี เศษขยะปลิวกระจาย เกะกะ ฯลฯ

4) ต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน มลพิษทางทัศนียภาพ

ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดขยะจึงนับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการจัดการกับปัญหาที่จะตามมาเหล่านี้ เทศบาลเมืองทุ่งสง (2551) ได้ศึกษาและรวบรวมวิธีการกำจัดขยะมูลฝอย (method of refuse disposal) ว่ามีหลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีถูกสุขลักษณะและมีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป เช่น การกองไว้บนพื้นดิน การนำไปทิ้งทะเล การฝังกลบ ใช้ในการปรับปรุงพื้นที่ เผา หมักทำปุ๋ย ใช้เลี้ยงสัตว์ ฯลฯ การจัดการและการกำจัดขยะ แต่ละวิธีต่างมีข้อดีข้อจำกัดที่ต่างกัน การพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธีใดต้องอาศัยองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ ปริมาณของขยะที่เกิดขึ้น รูปแบบการบริหารของท้องถิ่นนั้นๆ งบประมาณ ชนิดและลักษณะของขยะมูลฝอย สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่จะใช้กำจัดขยะมูลฝอย เครื่องมือที่ใช้ อาคารสถานที่ ความร่วมมือของประชาชน ประโยชน์ที่ควรจะได้รับ สมบัติของขยะ เช่น ปริมาณของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ การปนเปื้อนของสารเคมีที่มีพิษและเชื้อโรค ปริมาณของของแข็งชนิดต่าง ๆ ความหนาแน่น ความชื้น

ขยะที่เกิดขึ้นในชุมชนเมืองมีแหล่งที่มาจาก อาคาร บ้านเรือน บริษัท ห้างร้าน โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล ตลาด และสถานที่ราชการ ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันจะประกอบด้วยเศษอาหาร กระดาษ เศษแก้ว เศษไม้ พลาสติก เศษดิน เศษหิน ขี้เถ้า เศษผ้า และใบไม้ กิ่งไม้ โดยมีปริมาณของสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

การกำจัดขยะมูลฝอยในแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีข้อจำกัดแตกต่างกันไป ฉะนั้นควรเลือกวิธีที่เหมาะสม ของแต่ละพื้นที่ โดยกระทำควบคู่กันไปทั้งการลดปริมาณขยะมูลฝอย การนำกลับไปใช้ใหม่ ร่วมกับการกำจัดขยะมูลฝอย สิ่งสำคัญที่ควรได้รับการส่งเสริมให้มากขึ้นในปัจจุบัน คือ การลดปริมาณขยะนั่นเอง

การจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้กันอยู่ มีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

1. การนำขยะไปเทกองกลางแจ้ง หรือการนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติ (open dump)

เทศบาล สุขาภิบาล ในประเทศไทย มีให้เห็นกันอยู่ทั่วไป เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ วิธีนี้มีปัญหา เรื่องกลิ่นรบกวนรุนแรง เป็นการรบกวนผู้ที่อาศัยใกล้เคียงก่อปัญหาเกี่ยวกับทัศนียภาพ การแพร่กระจายของเชื้อโรค สัตว์แมลงต่าง ๆ เช่น แมลงวัน แมลงหวี่ และยังพบปัญหาน้ำชะจากกองขยะ เกิดความเน่าเสียแก่น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน การจัดการกับขยะวิธีนี้เป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานานแล้ว เป็นวิธีที่นำขยะไปกองทิ้งไว้ในพื้นที่กว้าง ๆ แล้วปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นการกำจัดขยะที่ง่ายและลงทุนน้อย แต่ในปัจจุบันที่ดินแพงมาก พื้นที่สาธารณะ หรือพื้นที่รกร้างว่างเปล่ามีอยู่น้อยมาก วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มากด้วยและชุมชนเมืองยิ่งขยายตัวมากขึ้น การนำขยะไปกองทิ้งไว้ในพื้นที่กว้างขวางเช่นนี้จึงไม่เหมาะสม เศษวัสดุบางอย่างในกองขยะใช้เวลานานกว่าจะย่อยสลาย เช่น โฟม ไม่สามารถย่อยสลายได้ กระป๋องดีบุกใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย 1,000 ปี กระป๋องอลูมิเนียม 200 – 500 ปี ถุงพลาสติก 450 ปี ก้นบุหรี่ 12 ปี ถุงเท้าขนแกะ 1 ปี กระดาษ 2 – 5 เดือนและ ผ้าฝ้าย 1 – 5 เดือน

ดังนั้นกล่าวได้ว่าข้อดีของการกำจัดขยะโดยนำไปกองไว้กลางแจ้งเกือบจะหาไม่ได้เลย วิธีนี้นับว่าเป็นวิธีที่เลวที่สุด ง่ายที่สุด ไม่ต้องลงทุนมาก ทำได้เพียงแค่มีที่ดินอยู่แล้วเท่านั้นส่วนข้อจำกัดนั้นมีอยู่หลายด้าน ได้แก่ รบกวนผู้อาศัยที่อยู่ใกล้เคียง เป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรค ก่อเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ดิน อากาศ ทัศนียภาพ และที่สำคัญคือต้องใช้พื้นที่มาก

2. การเผาด้วยความร้อนสูง หรือการกำจัดโดยใช้เตาเผา หรือการสร้างโรงงานเผาขยะ (incineration)

การเผา (incineration) หมายถึงการกำจัดขยะโดยการเผาด้วยเตาเผาขยะ (incinerator) ไม่รวมถึงการกองแล้วเผากลางแจ้ง ทั้งนี้เพราะการเผากลางแจ้งจะอยู่ในอุณหภูมิไม่พอเหมาะที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ จึงมักจะเกิดปัญหาภาวะมลพิษในอากาศ (air pollution) และก่อให้เกิดความรำคาญเนื่องจากกลิ่นควัน และละอองเขม่า การเผาด้วยเตาเผาขยะควรมีความร้อนระหว่าง 676 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส ความร้อนตั้งแต่ 676 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะช่วยทำให้ก๊าซเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าความร้อนเกินกว่า 760 องศาเซลเซียส จะช่วยทำให้ไม่มีกลิ่นรบกวนการ

เผาไหม้จะสมบูรณ์มากที่สุดเมื่อมีอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ดังนั้น ถ้ามีขยะสดหรือขยะเปียกปนอยู่มาก ขยะมีความชื้นสูงก็อาจจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของขยะกับปริมาณของขยะแห้งที่เผาไหม้ได้ปะปนอยู่ด้วยมากน้อยเพียงใด โดยปกติแล้วเตาเผาขยะที่ดีจะไม่ก่อให้เกิดสภาวะมลพิษในอากาศ

การเผาขยะด้วยเตาเผาขยะเหมาะสมมากที่จะใช้ในการกำจัดขยะพิเศษบางชนิด เช่น ขยะที่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคและขยะที่มีส่วนที่เผาไหม้ได้ปนอยู่ด้วยมาก เป็นต้น จึงสรุปได้ว่าข้อดีของการเผานั้น ได้แก่ ใช้พื้นที่น้อย เมื่อเทียบกับวิธีการฝังกลบขยะมูลฝอย กำจัดขยะมูลฝอยได้เกือบทุกชนิด และขี้เถ้าที่เหลือจากการเผามีน้อยไม่มีปัญหาในการกำจัดขั้นต่อไป หากเป็นเตาเผาขนาดใหญ่ ไม่จำเป็นต้องอาศัยเชื้อเพลิงอย่างอื่นเข้ามาช่วย สามารถก่อสร้างเตาเผาไว้บริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอยได้ ทำให้ประหยัดค่าขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำพลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนข้อจำกัดได้แก่ ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูงมาก โดยเฉพาะเตาเผาขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาค่อนข้างสูง รวมทั้งมีความร้อนสูง จึงทำให้เกิดการสึกหรอง่าย เตาเผาขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยที่มีปริมาณน้อยกว่า 1 ตันต่อวัน เตาเผาขนาดเล็กมักพบปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นและควันที่เกิดจากการเผาไหม้และการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลพิษจากการเผาขยะ จะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง

วิธีการเผา ขยะที่นำมาเผาต้องผ่านการคัดเลือก คือ ของที่ไหม้ไฟได้ ซึ่งเศษวัสดุบางอย่างเมื่อถูก ความร้อนก็ยังปล่อยก๊าซที่เป็นพิษออกมาเช่น พวกโฟม พลาสติกบางประเภท พวกนี้ต้องแยกออกต่างหาก ในเมืองใหญ่ถ้าเทศบาลต้องแยกเองก็ต้องเพิ่มต้นทุนลงไปในขบวนการสูงมาก นอกจากนี้ขยะในเมืองไทยนั้นค่อนข้างแฉะ การระบายขยะประเภทนี้อาจต้องใช้พลังงานช่วยซึ่งก็ยิ่งสิ้นเปลืองมากขึ้น แต่เมืองใหญ่ของกรุงเทพฯ นั้นดูเหมือนไม่มีทางเลือก เพราะใช้วิธีอื่นไม่ได้ผล เหตุนี้รัฐบาลจึงมีความคิดในเรื่องการตั้งโรงงานเผาขยะขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีต้นทุนราคาแพงมาก

3. การฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัยหรือถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill)

นิยมใช้วิธีนี้กันมาก เพราะค่าใช้จ่ายต่ำ บริเวณที่มีการฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัยจะมีการปูพลาสติกพิเศษเพื่อป้องกันน้ำชะจากกองขยะ เมื่อเทกองขยะแล้วก็จะกลบเสร็จในแต่ละวัน วิธีนี้จะสามารถลดกลิ่น รบกวน ลดการแพร่กระจายจากสัตว์น้ำ โรคต่าง ๆ ตลอดจนสามารถควบคุมน้ำชะจากกองขยะได้ การปรับปรุงพื้นที่ด้วยขยะเป็นวิธีกำจัดขยะที่นิยมแพร่หลายโดยเฉพาะในยุโรป

และสหรัฐอเมริกา เนื่องจากสามารถกำจัดขยะ mixed refuse ได้โดยไม่ต้องคัดแยกขยะ และสามารถปรับปรุงพื้นที่ ให้เป็นพื้นที่ที่ดีมีประโยชน์ได้

มาตรการต่าง ๆ ในการดำเนินงานเพื่อป้องกันและควบคุมมิให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

3.1 ต้องควบคุมไม่ให้มีการนำขยะอันตรายมากำจัดรวมกับขยะทั่วไปในบริเวณที่ฝังกลบขยะ นอกจากจะมีมาตรการกำจัดโดยวิธีการพิเศษตามลักษณะของเสียนั้น ๆ

3.2 ต้องควบคุมให้ขยะมูลฝอยกลบถูกกำจัดอยู่เฉพาะบริเวณภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ ทั้งบนพื้นผิวดินและใต้ดิน

3.3 การใช้ดินกลบต้องมีการบดทับขยะมูลฝอยและดินกลบให้แน่นเพียงพอ ปกติอัตราส่วนของความหนาของชั้นขยะต่อความหนาของชั้นดินที่กลบ ปริมาณ 4 : 1

3.4 ต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เช่น ตรวจสอบการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณ ใกล้เคียง

3.5 ต้องคำนึงถึงทัศนียภาพของพื้นดินและบริเวณใกล้เคียง เช่น การจัดให้มีสิ่งป้องกันการปลิวของขยะหรือปลูกต้นไม้ล้อมรอบ เป็นต้น

การกำจัดขยะแบบฝังกลบถูกหลักสุขาภิบาลมีข้อดี ได้แก่ ถ้ามีพื้นที่อยู่แล้วจะเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกถูกกว่าวิธีอื่น สามารถใช้ได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว กำจัดขยะมูลฝอยได้เกือบทุกชนิดและได้พื้นที่ดินไปทำประโยชน์อื่น เมื่อฝังกลบเสร็จแล้วและง่ายต่อการดำเนินงาน ส่วนข้อจำกัด ได้แก่ หาสถานที่ยากเพราะไม่มีชุมชนใดต้องการให้อยู่ใกล้ ต้องควบคุมการดำเนินงานฝังกลบให้ถูกต้อง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของขยะมูลฝอย และน้ำชะขยะมูลฝอยอาจทำให้เกิดอันตรายได้ และพื้นที่ฝังกลบบางแห่งต้องหาดินมาจากที่อื่น ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

ในการฝังกลบนั้น ที่ฝังกลบขยะต้องอยู่ห่างไกลชุมชนพอสมควร หลุมขนาดใหญ่ที่ขุดขึ้นต้องมีการกรุกันอย่างดี เพราะจะย่อยได้ง่าย การกำจัดขยะด้วยวิธีนี้มีปัญหาเรื่องการขนส่ง หาก

เมืองขนาดใหญ่อย่างกรุงเทพฯ จะขนขยะไปฝังกลบที่ไหนจึงจะไม่สิ้นเปลืองค่าขนส่งขยะจนเกินไป วิธีฝังกลบจึงทำได้เฉพาะเมืองขนาดเชียงใหม่ หาดใหญ่ นครราชสีมา เป็นต้น

4. การนำขยะไปทิ้งทะเล (dumping at sea)

ตามปกติ ผิวดินของพื้นน้ำแหล่งต่าง ๆ โดยเฉพาะทะเล มหาสมุทร เป็นที่ทับถมสิ่งปฏิกูลตามธรรมชาติได้อย่างกว้างขวางอยู่แล้ว แต่เมื่อในปัจจุบัน พื้นผิวโลกที่เป็นพื้นดินนับวันจะมีน้อยลงและมีค่ามากขึ้น การนำขยะไปทิ้งในทะเล มหาสมุทร จึงนิยมทำกันในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ในสหรัฐอเมริกา ขยะที่นิยมนำไปทิ้งในทะเล มหาสมุทร ได้แก่ สิ่งปฏิกูลจากโรงงานอุตสาหกรรม สารพิษต่าง ๆ กากสารกัมมันตรังสี และ วัสดุแข็งอื่น ๆ

อย่างไรก็ตาม การนำขยะและสิ่งปฏิกูลไปทิ้งในทะเลหรือมหาสมุทร ก็ปรากฏว่าได้เกิดการแพร่กระจายของสารพิษเข้าสู่องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบนิเวศน์ทางทะเล เช่น พืช และ สัตว์น้ำ สถาบันป้องกันสารพิษสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) จึงออกกฎหมายห้ามนำสารพิษหลายชนิดไปทิ้งในแหล่งน้ำ

ข้อดี ของการกำจัดขยะโดยนำไปทิ้งทะเล ได้แก่ เป็นวิธีที่ง่าย ทะเลและมหาสมุทรกว้างใหญ่สามารถรับปริมาณขยะได้มาก ข้อจำกัด ได้แก่ สารพิษเข้าสู่องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบนิเวศน์ทางทะเลและแพร่กระจายออกไปเป็นวงกว้าง

5. การนำขยะกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ (recycle and reuse)

ขยะบางประเภทสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น แก้ว กระดาษ พลาสติก โลหะต่าง ๆ วิธีนี้ช่วยลดขยะและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การนำกลับไปใช้ใหม่ (recycle and reuse) ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันจากอาคารสถานที่ต่าง ๆ มากมายนั้น ยังนับว่ามีสิ่งของบางอย่างที่แม้ไม่มีประโยชน์สำหรับสถานที่หนึ่ง แต่อาจเป็นความต้องการของผู้อื่นได้ เช่น กระดาษทุกชนิดสามารถนำกลับไปทำเป็นกระดาษกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตกระดาษลงได้ส่วนหนึ่งและเป็นการสงวนทรัพยากรธรรมชาติได้ด้วย

การนำวัสดุที่ทิ้งเป็นขยะกลับไปใช้นับว่าเป็นผลดีทั้งในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่วิธีการคัดเลือกสิ่งของที่จะนำกลับไปใช้ได้ใหม่ ได้ก่อให้เกิดความล่าช้าในการขนถ่ายขยะ เกิด

ความสกปรกในบริเวณที่มีการคัดเลือกสิ่งของจากขยะ และผู้คัดเลือกขยะก็มักได้รับเชื้อโรคจากกองขยะ

6. การนำขยะไปเป็นอาหารสัตว์ (hog feeding)

ขยะจำพวกเศษอาหาร ผัก ผลไม้ จากอาคารบ้านเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร ตลาดสด นำไปเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู วัว เป็ด ไก่ แพะ แกะ ปลา จะเป็นการลดปริมาณขยะลงได้จำนวนหนึ่ง เพราะในแต่ละวันเศษอาหารจะมีปริมาณนับร้อยตันทีเดียว การแยกขยะประเภทเศษอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์จึงนับเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดได้มากที่สุด แต่ข้อเสียในการนำขยะพวกเศษอาหารไปเลี้ยงสัตว์นี้ อาจทำให้เกิดอันตรายแก่สัตว์เลี้ยงและผู้ที่บริโภคสัตว์เลี้ยงขึ้นได้ ถ้าในเศษอาหารมีพวกเชื้อโรคปะปนอยู่ และถ้าจะนำเศษอาหารที่ได้ไปให้ความร้อนก่อนก็จะทำให้เกิดความปลอดภัยยิ่งขึ้น

7. การนำขยะไปหมักทำปุ๋ย (composting method)

ทำได้โดยการแยกขยะอันตราย ขยะติดเชื้อออกไปกำจัดเป็นพิเศษเสียก่อน ส่วนขยะพวกสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย พวกผักผลไม้ไม่ต้องการ เมื่อปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเปื่อย สามารถนำขยะที่ผ่านการย่อยสลายนั้นมาใส่ปรับปรุงคุณภาพดินได้ นำขยะไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับใช้บำรุงดิน เพื่อการเกษตรการย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ (composting) เป็นการนำขยะประเภทอินทรียวัตถุไปรวมกันไว้ แล้วปล่อยให้ขยะถูกย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติหรือโดยวิธีช่วยกระตุ้นให้ขยะถูกย่อยสลายเร็วขึ้น การกำจัดขยะโดยวิธีนี้ใช้กันทั่วไปในยุโรปและเอเชีย

การกำจัดขยะโดยวิธีนี้ จะมีปัญหาอยู่ที่การแยกขยะประเภทอินทรียวัตถุออกมาจากขยะประเภทอื่น ๆ บริเวณที่รวมขยะอาจอยู่ไม่ห่างไกลจากชุมชนและขยะที่นำมากองรวมไว้ในปริมาณมากจะส่งกลิ่นเหม็น ทำให้แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียงเน่าเสีย เกิดทัศนียภาพที่ไม่น่าดู และจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะเป็นบริเวณกว้าง ขยะประเภทอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายได้ที่นำไปรวมกันไว้ จะอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุที่ค่อนข้างคงรูปที่เรียกว่า “ปุ๋ย” มีสีเทา หรือน้ำตาลเข้มเกือบดำ ไม่มีกลิ่น กากที่เหลือจากการย่อยสลายจะมีลักษณะคล้ายดินร่วม มีความร่วนซุยสูง มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำได้ดี ดูดซึมน้ำได้ดี แลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้ากับผิวดินได้ดีเท่ากับดินเหนียว จึงเหมาะที่จะนำปุ๋ยนี้ไปใช้ในการปรับสภาพดิน แม้ดินทรายเมื่อนำปุ๋ยนี้ไปใส่ จะทำให้อุ้มน้ำได้ดีขึ้น หรือใช้กับดินเหนียวจะทำให้ดินร่วนซุยขึ้น และยัง

สามารถนำไปเป็นอาหารของพืชเพื่อบำรุงต้นไม้ได้ดี มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ไม่ทำให้ดินเป็นกรดหรือด่าง

ข้อดี ของการกำจัดขยะมูลฝอยแบบหมักทำปุ๋ย คือ ได้ปุ๋ยไว้ใช้ ตั้งโรงงานกำจัดในเขตชุมชนได้ ถ้าหากมีมาตรการป้องกันความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม และเหตุรำคาญ ประหยัดค่าขนส่ง การแยกขยะมูลฝอย ก่อนหมักทำปุ๋ย จะมีการแยกขยะจึงได้เศษโลหะแก้ว กลับไปทำประโยชน์ได้อีก ส่วนข้อจำกัด คือ ถ้าดำเนินการไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะเกิดปัญหากลิ่นเหม็น เนื่องจากการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการแยกขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายไม่ได้ เพื่อนำไปกำจัดโดยวิธีอื่น

การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการทำปุ๋ยหมัก

หลักการทำปุ๋ยหมัก

การหมักขยะอินทรีย์ หรือการทำปุ๋ยหมักอาศัยกระบวนการทางชีวภาพของ จุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน (aerobic or anaerobic digestion) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ รวมทั้งสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C:N ratio) ผลผลิตที่ได้จากการหมักจะเป็นวัสดุที่มีสีน้ำตาลดำ มีเนื้อร่วนซุยเรียกว่าปุ๋ยหมัก (compost or humus-like material) ซึ่งมีสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) สามารถนำไปปรับปรุงดินและเป็นอาหารของพืชได้ กระบวนการหมักนั้นแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ (Metcaff and Eddy, 1974 อ้างในกรมควบคุมมลพิษ, 2545) ดังนี้

1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic decomposition)

เป็นการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้โดยใช้จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic microorganisms) และจะให้ผลผลิตสุดท้ายที่เสถียร (final-stabilized products) ตามปฏิกิริยาดังนี้

$$\text{อินทรียสาร (CHONS)} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic microorganisms}} CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^{2-} + \text{heat}$$

ในการที่จะเกิดกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนได้นั้น จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ ความชื้นพอเหมาะ กระบวนการหมักวิธีนี้จะเป็นไปได้เร็ว และนิยมใช้กันมากในการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งใช้เวลาในกระบวนการนี้ไม่มากนัก (ประมาณ 5-30 วัน) และไม่ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง

การหมักแบบใช้ออกซิเจนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 การหมักโดยอาศัยออกซิเจนธรรมชาติ (windrow composting) เป็นการนำขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้กองบนพื้นเป็นกองเล็กๆ เพื่อให้ขยะมูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศให้มากที่สุด ถ้ากองขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ขยะมูลฝอยภายในได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนขึ้นได้ วิธีนี้จะใช้เวลาประมาณ 30 วัน

1.2 การหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกล (high rate composting) เป็นการใช้เครื่องจักรช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับขยะมูลฝอยได้มากที่สุด อาจจะใช้พัดลมหรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียน หรืออาจออกแบบภาชนะใส่ให้สามารถมีการพลิกกลับได้ในระหว่างการหมัก เป็นต้น นอกจากการใช้เครื่องจักรช่วยแล้ว จะต้องทำให้ขยะมูลฝอยเป็นชิ้นเล็กและแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออก จะช่วยทำให้ขยะมูลฝอยนั้นสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น การย่อยจะเกิดเร็วขึ้นใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน

อภิญญา (2546) ได้ศึกษาการผลิตปุ๋ยน้ำหมักจากขยะอินทรีย์โดยมีการทดลองเติมอากาศ เติมแบคทีเรีย และเติมกากถั่วเหลืองหรือกากปลาป่นเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน ว่ามีผลต่อชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงpH การสลายของเศษผัก และความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชอย่างไร ผลการทดลองพบว่า การหมักแบบเติมอากาศทำให้เศษผักย่อยสลายร้อยละ 88.04 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศที่มีการย่อยสลายเพียงร้อยละ 53.34 ของน้ำหนักแห้ง ในการหมักแบบเติมเชื้อแบคทีเรีย เศษผักเกิดการย่อยสลายร้อยละ 40.34 ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมแบคทีเรียที่ย่อยสลายได้ร้อยละ 36.39 การเติมปลาป่น 16.40 กรัม (0.65 กรัม N) เป็นปริมาณที่เหมาะสมกับการหมักแบบเติมอากาศทำให้เกิดการย่อยสลายของเศษผักสูงสุดเท่ากับ 87.93

2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition)

เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุโดยใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic microorganisms) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ ตามปฏิกิริยาดังนี้

$$\text{อินทรียสาร (CHONS)} + \text{ตัวรับอิเล็กตรอน} \xrightarrow{\text{anaerobic microorganisms}} CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \text{heat}$$

กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมากประมาณ 2-6 เดือน หรือ 1 ปี ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไปและส่งกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนรบกวนชุมชน การทำปุ๋ยหมักในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะมีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของภูมิอากาศภายนอก และเป็นกระบวนการที่ปล่อยพลังงานออกมาน้อยกว่าสภาพที่มีออกซิเจน

ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยหมักนั้น เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายวัสดุเศษพืชนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักหลายประการ ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายนั้น อาจส่งเสริมหรือลดอัตราการย่อยสลายของวัสดุได้ (สมศักดิ์, 2528) แต่โดยจุดมุ่งหมายหลักได้เน้นถึงคุณสมบัติของเศษวัสดุและหลักการปฏิบัติที่ถูกต้องเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายในระหว่างการผลิตปุ๋ยหมัก ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่างๆในกองปุ๋ยหมัก จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่อไปถึงอัตราการย่อยสลายด้วย สำหรับปัจจัยของสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายวัสดุในกองปุ๋ยในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุ โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุนั้นๆ เพราะโครงสร้างของเศษพืชส่วนมากไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่ส่วนสำคัญอยู่ที่องค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอัตราการย่อยสลายสำหรับเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักแบ่งได้เป็น 2 พวก คือพวกที่ย่อยได้ง่ายกับพวกที่ย่อยได้ยาก สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่ง

ของพลังงานและสร้างองค์ประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเช่นกันและเซลล์จุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อสร้างองค์ประกอบของเซลล์เช่นสาร สารโปรตีนและกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) เป็นต้น โดยปกติเซลล์จุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10-15 ซึ่งหมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารไนโตรเจนเข้าไป 1 หน่วย จึงจะทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้งสองภายในเซลล์และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (Alexander, 1977) นอกจากนี้ค่า C/N ratio สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักที่ทำนั้นจะนำไปใช้ได้หรือไม่ โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio ลดลงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ถือว่าสามารถนำไปใช้ใส่ในดินได้โดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตรายและเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี

นอกจากนั้นเศษพืชบางชนิดมีค่า C/N ratio สูงมากเนื่องจากมีองค์ประกอบของลิกนินค่อนข้างสูง ซึ่งย่อยสลายได้ยาก เช่น กากอ้อย ขี้เลื่อย และขุยมะพร้าว เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักอาจจะใช้วัสดุหลายชนิดทำปุ๋ยหมักร่วมกันจะใช้เวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าใช้วัสดุที่ย่อยยากเพียงอย่างเดียว (Briones and Ineson, 1996)

2. ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่ใช้หมัก JICA (1982) ได้แนะนำว่าขนาดของขยะมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ยหมัก คือ 2.3 – 5.0 ซม. หรือ 0.5 - 1.5 นิ้ว ซึ่งอัตราความเร็วในการเกิดการออกซิเดชันทางชีววิทยา เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของพื้นที่ผิวที่ให้จุลินทรีย์เข้ายึดเกาะ ถ้าพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากจะทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์เข้ายึดเกาะได้ดีและทำให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้น ดังนั้นวัสดุในการหมักควรจะมีขนาดเล็ก และต้องมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Bertoldi *et al*., 1983)

3. ความชื้น เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจน จากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณของก๊าซออกซิเจนในวัสดุหมัก ถ้าความชื้นมากปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลง อาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศได้ ซึ่ง JICA (1982) ได้ศึกษาพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักขยะมูลฝอยจะมีค่าอยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายวัสดุที่มีเส้นใย (fiber) และมีความหนาแน่นต่ำ ควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 80-85 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่มีการระบายอากาศ

จากรายงานของ Richard *et al*. (2002) พบว่า ความชื้นเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อกระบวนการหมัก ความชื้นจะมีผลต่อการส่งผ่านออกซิเจนในกองปุ๋ยหมัก และอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับการลดขนาดลงของวัสดุหมัก และระดับความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายวัสดุหมักมีช่วงที่กว้างประมาณ 50 ถึงมากว่า 700 โดยน้ำหนัก โดยขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้หมักปุ๋ยหมักและระยะเวลาในกระบวนการหมัก ดังนั้นการจัดการให้ปริมาณความชื้นเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ หากมีปริมาณความชื้นน้อยเกินไปจะไปมีผลต่อการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย ซึ่งพบว่าถ้าหากมีการเคลื่อนไหวทั้งทางด้านชีวภาพ และกายภาพ จะทำให้ประสิทธิภาพของการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น

4. การระบายอากาศจะต้องทำให้มีอากาศที่เพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ปริมาณอากาศที่ต้องการในการหมักขยะมูลฝอยแบบใช้ออกซิเจนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของขยะมูลฝอยหรือวัสดุที่จะนำมาหมักโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ต้องการออกซิเจนนั้น จัดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีววิทยา ซึ่งปัจจัยที่สำคัญก็คือก๊าซออกซิเจน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เป็นปัจจัยจำกัดต่อการดำเนินกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณก๊าซออกซิเจนต้องไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ (Bertoldi *et al*., 1983)

5. อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์ โดยมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาและควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหมักขยะมูลฝอยควรอยู่ในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย ควรอยู่ในช่วง 45 – 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการคัดเลือกกลุ่มของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่ม mesophilic จะมีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายในช่วงเริ่มแรก (เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส) จากนั้นเมื่ออุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic (เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส) เข้ามามีบทบาทแทนกลุ่ม mesophilic จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นตัวชี้วัดปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก (Bertoldi *et al*., 1983)

Goluck (1972) รายงานว่า อุณหภูมิภายในกองขยะจะสูงขึ้นถึง 60-70 องศาเซลเซียสและอาจสูงขึ้นไปถึง 75 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนอกจากจะทำให้กระบวนการย่อยสลายเป็นไปได้ดีแล้วยังสามารถทำลายเชื้อโรคต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งพบว่า *Samonella* sp. ตายภายใน 1

ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส และตายภายใน 15-20 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส *Shigella* sp. ตายภายใน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และ *E.coli* ตายที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส

6. ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยทั่วไปค่าที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียจะมีค่าระหว่าง 6.0 -7.5 และสำหรับเชื้อราจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5 – 8.0 โดยปกติแล้วpHในช่วงเริ่มต้นของการหมักค่อนข้างจะเป็นกรดเล็กน้อย ค่าpHจะเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในกระบวนการหมัก จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมัก ในช่วงเริ่มต้น 3 วันแรกในกระบวนการหมัก pHจะอยู่ระหว่าง 5-7 จากนั้นจะลดลงเหลือ 5 หรืออาจจะน้อยกว่า และจะเริ่มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 8.5 ในช่วงวันหลังๆ ของการหมัก ซึ่งเป็นการหมักในสภาวะที่มีออกซิเจน หากเป็นการหมักในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน pHจะลดลงเหลือ 4.5 (วรรณลดาและคณะ, 2534)

มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ธาตุอาหารในปุ๋ยหมักจะแปรผันไปตามการหมักและความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ในการหมักแต่ละครั้ง กรมวิชาการเกษตร (2551) ได้ให้คำแนะนำมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 20 ต่อ 1

3) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ต้องไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์/เมตร (dS/m)

4) ระดับความเป็นกรด – ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

5) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ

6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ต้องไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

7) ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อน ช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12.5x12.5 มิลลิเมตร ได้หมด

8) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ได้แก่ หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

9) ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนัก และสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม โดยปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก

โลหะหนัก/สารพิษ	**ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)**
สารหนู (arsenic)	50
แคดเมียม (cadmium)	5
โครเมียม (chromium)	300
ทองแดง (copper)	500
ตะกั่ว (lead)	500
ปรอท (mercury)	2

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2551)

บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุ

ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก

จุลินทรีย์ (microorganisms) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนชนิดหรือสปีชีส์มากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น จุลินทรีย์มีความหลากหลายทางชีวภาพ (biological diversity) ในเชิงความหลากหลายของชนิด (species diversity) ความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) และความหลากหลายของแหล่งที่อยู่อาศัย (ecological diversity) สูงมากเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่น เชื่อกันว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นักจุลชีววิทยาพบและศึกษาในห้องปฏิบัติการจนถึงปัจจุบันคิดเป็นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดบนโลก เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติในการเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์สามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ จุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเซลล์ เช่น แบคทีเรีย (bacteria) เชื้อรา (fungi) สาหร่าย (alga) และโปรโทซัว (protozoa) และจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาค (particles) เช่น ไวรัส (viruses) แต่จุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่สำคัญมี 3 กลุ่ม (พิไลพรรณ, 2522) ดังนี้

1. รา (fungi)

ราในกองปุ๋ยหมักมีหลายชนิดต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก เชื้อราที่พบในช่วงแรกๆ ที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ *Aspergillus fumigatus* นอกจากนี้ยังมีเชื้อราชนิดอื่นๆ อีก เช่น *Richoderma viride, Mucor* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น

Sen *et al.* (1982) รายงานว่า ในกองปุ๋ยหมักมักพบเชื้อราเสมอ แต่เป็นชนิดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมชนิดและปริมาณของเชื้อรา จากการศึกษาในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ก็สามารถพบเชื้อราได้ แต่จะไม่พบเชื้อราในกองปุ๋ยหมักเลยในสภาพที่ชื้นมาก ส่วนในสภาพที่แห้ง ถึงแม้อุณหภูมิ 62–63 องศาเซลเซียส ก็ยังพบเชื้อราได้ ชนิดของเชื้อราที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ มีอยู่มากมายหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่พบมากส่วนใหญ่จะเป็นพวก thermophilic fungi เช่น *Myceliophthora thermopile*, *Aspergillus* sp. เป็นต้น

อัจฉรา (2528) ได้ศึกษาเชื้อราที่เจริญในอุณหภูมิสูงในประเทศไทย โดยศึกษาเชื้อราที่เจริญบนดินป่า เศษไม้ และใบไม้ในป่าที่กำลังสลายตัว ใช้ชานอ้อย ซังข้าวโพด มันเส้นแห้ง เศษ

เหลือต่างๆของเมล็ดปาล์มหลังจากที่บีบน้ำมัน ผสมกับปุ๋ยมูลม้า มูลไก่ มูลวัวและสารเร่งหมักปุ๋ย ดัดแปลงบรรยากาศในโกดังเก็บข้าว บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่าเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำมาแยกเชื้อ พบว่า รา *Myceliothora thermophila* และ *Pseudeurotium* sp. สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ดี ส่วน *Malbranchea pulchella* var. sulfurea, *Talaromysis dupontii* และ *Thermomysis launginosus* สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ดี

2. แอคติโนมัยซีส (actinomycetes)

แอคติโนมัยซีสเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างยาวเรียว ส่วนมากเส้นใยแตกแขนงเป็นกิ่งก้าน ไมซีเลียมมีเส้นใยแตกต่างกันไปแต่ละชนิด จึงนำมาใช้เป็นลักษณะสำคัญในการจำแนกหมวดหมู่ได้ แอคติโนมัยซีสแพร่กระจายเป็นจำนวนมาก ในแหล่งที่มีการเน่าเปื่อยของอินทรียวัตถุ ตลอดจนในสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ พบมากบริเวณผิวหน้าดินเพราะต้องการออกซิเจนในการเจริญ โดยทั่วไปพบแอคติโนมัยซีสประมาณ 100,000 – 1,000,000 เซลล์ต่อดินหนึ่งกรัม เจริญได้ดีในดินที่เป็นด่าง การดำรงชีวิตส่วนมากเป็นแซโพรไฟท์ แต่บางชนิดเป็นปรสิต ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ พืชและสัตว์อื่น ๆ เจริญได้ในอาหารที่มีอินทรียสารอยู่ด้วย เช่น เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไคตินได้ดีกว่าแบคทีเรียและฟังไจ ส่วนช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญหรือช่วงอายุนั้นยาวนานกว่าแบคทีเรียมาก จึงเจริญได้อย่างช้า ๆ อันเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งของแอคติโนมัยซีส สำหรับสมาชิกที่พบในดินได้แก่ สเตรพโตมัยซีส (*Streptomyces* sp.) โนคาร์เดีย (*Nocardia* sp.) สเตรปโตสปอแรนเจียม (*Streptosporangium* sp.) ฯลฯ แอคติโนมัยซีส มีการดำรงชีวิตแบบสร้างอาหารได้เอง (autotroph) จึงเจริญได้ดีในดินที่มีอินทรียสารเป็นจำนวนมาก สามารถใช้สารประกอบเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อนของกรดอินทรีย์ไขมัน โปรตีน น้ำตาล และโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ แต่อัตราการย่อยสลายช้ามาก ส่วนมากย่อยโปรตีน ไขมัน แป้ง และไคตินได้ดี ซึ่งการย่อยไคตินนี้เป็นคุณลักษณะที่เฉพาะของสเตรพโตมัยซีส (*Streptomyces* sp.) อย่างไรก็ตามแอคติโนมัยซีสเจริญได้ดีในอาหารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ จึงเรียกจุลินทรีย์พวกนี้ว่าโอลิโกคาร์โบฟิลิค (oligocarbophilic microorganisms)

แอคติโนมัยซีสที่พบในกองปุ๋ย ได้แก่ *Cactinomycetes* sp., *Thermomonospora* sp. ซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ในขณะที่ *Streptomyces* sp. และ *Micromonospora* sp. เป็นแอคติโนมัยซีสที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูง (กรรณิการ์, 2543)

พิทยากร (2531) ศึกษาอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสต่อการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยแยกเชื้อราและแอคติโนมัยซิสที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากตัวอย่างดิน เศษพืช ปุ๋ยหมัก และมูลสัตว์ พบว่า มูลสัตว์และยูเรียมีผลต่อการย่อยสลายฟางข้าวในห้องปฏิบัติการที่ 50 องศาเซลเซียส โดยมูลสัตว์เป็นตัวเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์และยูเรียเป็นตัวเพิ่มแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ มูลสัตว์เป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ส่วนยูเรียเป็นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และจากการคัดเลือกพบว่ามีเชื้อรา 4 สายพันธุ์ และแอคติโนมัยซิส อีก 3 สายพันธุ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายที่ดี โดยเชื้อราสายพันธุ์ MCT 794 และแอคติโนมัยซิสสายพันธุ์ ABK 372 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกระดาษกรอง CMC และ avicel ได้ดีที่สุดทำให้โครงสร้างภายนอกของฟางข้าวเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์จะเจริญคลุมที่ผิวนอกของฟางข้าวและทำให้เกิดการฉีกขาด

3. แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย (bacteria) ปริมาณแบคทีเรียจะแปรผันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียที่พบในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี ได้แก่ *Bacillus* sp., *Achromobacter* sp. *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Cytophaga* sp. เป็นต้น ส่วนในสภาพที่ไม่มีอากาศจะพบแบคทีเรียพวก *Clostridium* sp.แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุด เพราะมีการขยายพันธุ์เร็วและมีปริมาณมาก เพราะฉะนั้นถ้าแบคทีเรียเจริญในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแล้วการเพิ่มปริมาณจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว เพราะการแบ่งเซลล์แต่ละครั้งอาจกินเวลาเพียง 20-30 นาทีเท่านั้น และมักจะพบทุกช่วงของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก โดยมีปริมาณทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักประมาณ 2.3×10^8 เซลล์ ต่อน้ำหนัก 1 กรัม (ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่จะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก) แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเศษซากพืช ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และโปลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) อื่นๆ แบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

1) Aerobic mesophilic bacteria ได้แก่ พวกที่ต้องการออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิ 15-45 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีในอุณหภูมิสูงประมาณ 25-35องศาเซลเซียส ได้แก่ *Cytophaga* sp., *Sporocytophaga* sp., *Angiococcus* sp., *Polyangium* sp., A*chromobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Vibrio* sp., *Bacillus* sp., *Cellulomonas* sp., *Cellovibrio* sp., *Cellfalcicula* sp. ซึ่งแบคทีเรียที่กล่าวมาถือว่ามีความสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี (Went and Jong, 1966 ; Han

and Srinivasan, 1968) ส่วนพวก *Clostridium cellobioparus, Clostridium dissolvens, Bacteroides succinogene, Ruminococceus flavefaciens* ย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดี

2) Anaerobic mesophilic bacteria คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในขอบเขตของช่วงอุณหภูมิเช่นเดียวกันกับพวกแรก ซึ่งพบว่าแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตในสภาพนี้ได้ดีกว่าราและแอคติโนมัยซิส ได้แก่ *Clostridium* sp. ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยสลายได้ดีทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ก็มีพวก *Bacteroides succinogenes* และ *Ruminococcus flavefaciens*

3) Thermophilic bacteria คือแบคทีเรียที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส ได้แก่ แบคทีเรียพวก *Clostridium thermoecllum* และ *Clostridium thermocellulaseum* ซึ่งย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ส่วนพวก *Clostridium thermophiles* สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดีในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน Brock (1967) พบว่า แบคทีเรียกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูงๆที่พบในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *Bacillus stearothermophilus* เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส สำหรับพวก *Bacillus subtilis* สามารถสร้างสปอร์ได้ในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 55 องศาเซลเซียส ขึ้นไป Van *et al*. (2002) รายงานว่า จุลินทรีย์ที่เด่นในกระบวนการหมักปุ๋ยในช่วง Thermophilic Stage ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus licheniformis, B. macerans* และ *B. starotrmophilus* รองลงมาได้แก่ กลุ่มรา ยกตัวอย่างเช่น *Absidia corymbifera, Aspergillus fumigatus, Emericella nidulans, Penicillium diversum, Paecilomyces variotii, Rhizomucor pusillus, Talaromyces thermophilus* และ *Thermomyces lanuginosus* และพบว่า กลุ่มแบคทีเรียที่พบในปุ๋ยหมักในขั้นตอนที่กระบวนการหมักสิ้นสุดลงแล้วได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus licheniformis, B. macerrans, Proteus vulgaris, Pseudomonas aeroginosa, P. fluorescens, P. luteola* และ *Serratia marcscens* และกลุ่มของเชื้อราที่พบมากในขั้นตอนนี้ได้แก่ *Aspergilluspuniceus, A. ustus, E. nidulans, Paecilomyces lilacinus, T. lanuginosus* นอกจากนี้ยังพบ กลุ่มของยีสต์ และ *Basidiomycetous* sp.

กระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง จึงได้มีผู้พยายามศึกษากิจกรรมและชนิดของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมัก จากการแยกเชื้อ *Thermomonospora durvata* ในกองปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาลของ Stuetzenberger (1971) พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว สามารถเจริญได้ดีในกองปุ๋ยหมักขณะที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายและความสามารถในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสแต่

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน จึงเป็นการยากที่จะศึกษาบทบาทของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด Updegraff (1972) รายงานว่าภายในกองปุ๋ยหมักแต่ละบริเวณจะมีปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ต่างกัน และสามารถตรวจพบเชื้อราที่ทนอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถมีกิจกรรมได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 45 องศาเซลเซียสได้ และมีแบคทีเรียบางชนิดสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงว่าในขณะที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงเกิน 45 องศาเซลเซียส การย่อยสลายยังสามารถดำเนินต่อได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดที่เจริญได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง Stuetzenberger *et al.* (1970) ได้ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาล และตรวจพบเชื้อราพวก *Aspergillus fumigatus* ซึ่งสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เชื้อราพวกนี้ตรวจพบได้เสมอ ในช่วงของกระบวนการย่อยสลายสำหรับเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสปอร์จะตรวจพบในช่วงแรกของการย่อยสลายและลดจำนวนลง หลังจาก 1-2 สัปดาห์ เชื้อแบคทีเรียดังกล่าว ได้แก่ *Bacillus* sp. สำหรับเชื้อแอคติโนมัยซิส มักตรวจพบเสมอในกองปุ๋ยหมักและหลายชนิดสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส ได้แก่กลุ่ม Actinobifida แสดงว่า จุลินทรีย์ ทั้ง 3 ประเภท เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก

ทัศนีย์ (2508) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของปุ๋ยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูง โดยเลี้ยงเชื้อในขยะอินทรีย์จากเทศบาลในตู้ incubator ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและ 65 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อครบระยะการหมัก 30 วันแล้ว อุณหภูมิในขวดหมักที่อุณหภูมิห้องสูงขึ้นกว่าปกติ ส่วนที่อุณหภูมิ 45 และ 65 องศาเซลเซียสนั้น อุณหภูมิในขวดหมักจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรก แล้วค่อยลดลงจนค่อนข้างคงที่ ในการเขย่าขวดนั้นทำให้สารอินทรีย์ย่อยสลายเร็วขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 45 และ 65 องศาเซลเซียสนั้นเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าไม่สามารถแยกได้ชัดเจนว่าขวดไหนย่อยสลายได้ดีกว่ากัน แต่สามารถบอกได้ว่าทั้งสองอุณหภูมิย่อยสลายได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง

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

เกินไปส่งผลให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์หยุดชะงักลง ขณะเดียวกันจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมาก

Chang and Hudson (1967) รายงานว่า ปริมาณของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และเป็นขั้นตอนโดยอธิบายถึงแบบฉบับของการเปลี่ยนแปลง คือในช่วงแรกที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก สามารถตรวจพบเชื้อราและแบคทีเรียที่ผลิตกรด เมื่ออุณหภูมิเกิน 40 องศาเซลเซียส จะพบจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงเจริญ และแสดงกิจกรรมในช่วงนี้ และจะพบแบคทีเรียที่สร้างสปอร์มีบทบาทมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส และในช่วงสุดท้ายซึ่งอุณหภูมิลดลงจะพบเชื้อรา และแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางกลับมาเจริญอีก

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

จุลบุตร (2548) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความร้อนในกล่องคอนกรีตที่ใช้หมักขยะชุนชนภายใต้การรดน้ำปริมาณต่างกัน โดยอาศัยเทคโนโลยีการหมักขยะแบบฝังกลบประยุกต์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในบ่อหมักเมื่อมีการรดน้ำปริมาณที่แตกต่างกัน รวมถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมของการทำปุ๋ยหมัก และคุณภาพของปุ๋ยนั้น โดยกำหนดรูปแบบการรดน้ำ 4 แบบคือ ชุดการทดลองที่ไม่รดน้ำ ชุดการทดลองที่ 60 120 และ 180 ลิตร ตามลำดับ พบว่า การรดน้ำตั้งแต่ 60 ลิตร ขึ้นไปทำให้เกิดความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในบ่อหมัก และอุณหภูมิจะลดลงใน 4-5 ชั่วโมงแรกเมื่อได้รับน้ำ หลังจากนั้นจะมีการปรับตัวสูงขึ้น และลดลงตามกระบวนการของจุลินทรีย์ ส่วนคุณภาพโดยเฉลี่ยทุกรูปแบบมีธาตุอาหารหลักไนโตรเจนร้อยละ 0.23-0.37 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.04-0.06 โพแทสเซียมร้อยละ 1.29-1.46 มีค่า C/N ratio ระหว่าง 10.86-14.86 ความชื้นของปุ๋ยอยู่ระหว่างร้อยละ 54.75-59.64 ถึงแม้ว่าสมบัติส่วนใหญ่จะต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมักที่ทางกรมพัฒนาที่ดินกำหมดไว้แต่โดยรวมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพดินเพื่อความร่วนซุยและใช้เป็นวัสดุร่วมปลูกได้

ลักษณะทั่วไปและปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเทศบาลเมืองเพชรบุรี

1. ลักษณะทั่วไปและปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เทศบาลเมืองเพชรบุรีมีพื้นที่ 3,370 ไร่ หรือประมาณ 5.4 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ปกครองของอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี แบ่งเป็น 2 ตำบลคือ ตำบลท่าราบ และตำบลคลองกระแซง โดยมีแม่น้ำเพชรบุรีเป็นเส้นแบ่งเขตสองตำบลนี้ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้าง แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่สำคัญได้แก่ บ้านเรือนและสถานประกอบการต่างๆ อัตราการเกิดมูลฝอยของชุมชนเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปี 2540 เท่ากับ 0.51 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ดังนั้นในปี 2540 ซึ่งมีประชากรจริง 37,618 คนและประชากรจร 53,511 คน จึงมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 46.48 ตันต่อวัน จากการสำรวจในอดีตแล้วได้มีการคาดคะเนปริมาณมูลฝอยในอนาคต (ปี 2540-2559) ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 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)

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 4

ตารางที่ 4 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	0.31
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 5

ตารางที่ 5 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

1. อุปกรณ์ภาคสนาม

1.1 บ่อหมักเป็นบ่อคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร สูง 1.0 เมตร จำนวน 12 บ่อ ใช้ทรายหยาบรองพื้นบ่อหนา 10 เซนติเมตร เป็นบ่อเปิดตั้งอยู่ในโรงเรือนซึ่งมีหลังคาเป็นพลาสติกใส

1.2 ขยะชุมชน เป็นขยะที่ได้ทำการแยกเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้

1.3 ดินแดงหรือดินนา

1.4 ทรายหยาบ

1.5 เทอร์โมมิเตอร์

1.6 ตลับเมตร

1.7 ไม้บรรทัดเหล็กยาว 1 เมตร และ 1.50 เมตร

1.8 ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

1.9 ถังใส่น้ำขนาด 2,000 ลิตร 2 ใบ

1.10 คราดเหล็ก 1 อัน

1.11 จอบ 2 ด้าม

1.12 เข่ง

1.13 ถุงมือยาง และรองเท้าบู๊ต

1.14 ผ้าปิดจมูกกันฝุ่น

1.15 น้ำยาทำความสะอาดเดทตอล 1 ขวด

1.16 แอลกอฮอล์ 70 %

1.17 สำลีและกระดาษชำระ

1.18 ถุงพลาสติกและยางรัด

1.19 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

1.20 ถาดอลูมิเนียม

2. อุปกรณ์และสารเคมีทางห้องปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)

2.2 ตู้อบ (drying oven) 75 - 100° C

2.3 ตู้อบ (muffle) 600 - 650° C

2.4 ตู้ดูดความชื้น (desiccator)

2.5 เครื่องบดตัวอย่างทำการวิเคราะห์ (grinder)

2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (analytical balance)

2.7 ถ้วยกระเบื้องทนไฟ (porcelain crucible)

2.8 ตู้ควัน (hood)

2.9 แผ่นความร้อน (hot plate)

2.10 ชุดเครื่องมือในการย่อย (digest apparatus)

2.11 Spectrophotometer ของ Shimadzu รุ่น UV – 2401 PC

2.12 Atomic Adsorption Spectrophotometer ของ GBC Avanta รุ่น FS 3000 auto sampling

1.13 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ

1.14 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ parameter ตามที่กำหนด

1.15 อาหารเลี้ยงเชื้อสูตรต่างๆ

1.16 ตู้บ่มเชื้อ

1.17 หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave)

1.18 กระดาษกรองที่มีความละเอียดขนาด 0.45 ไมครอน

วิธีการ

1. การเตรียมสถานที่ศึกษาวิจัย

เตรียมบ่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร สูง 1.0 เมตร บริเวณก้นถังมีท่อสำหรับระบายน้ำออก จำนวน 12 ใบ ใช้ทรายหยาบรองพื้นถังหนา 10 เซนติเมตร ซึ่งจัดเตรียม

ไว้ภายในโรงเรือนที่มุงด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนในบริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริตำบลบ้านแหลม 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

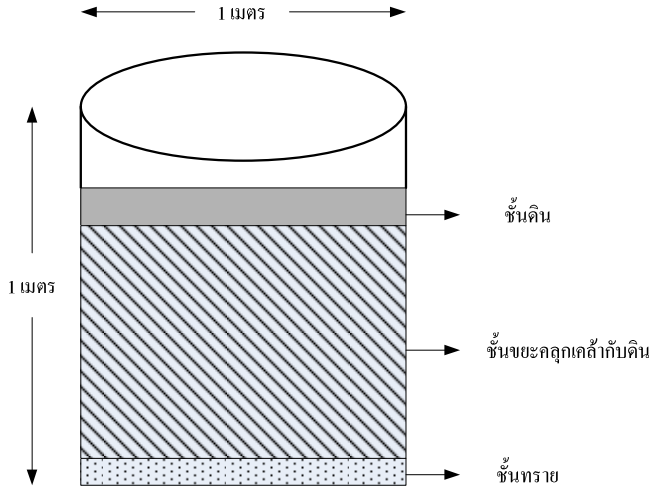
$$Wm = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ Wm = ปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก

W_1 = น้ำหนักของขยะเปียก

W_2 = น้ำหนักขยะอบแห้ง

2.6 ใส่ขยะและดินตามสัดส่วนที่ได้กำหนดไว้ และผสมขยะกับดินดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การใส่วัสดุลงในบ่อหมัก

3. แผนการทดลองและรูปแบบของการหมัก

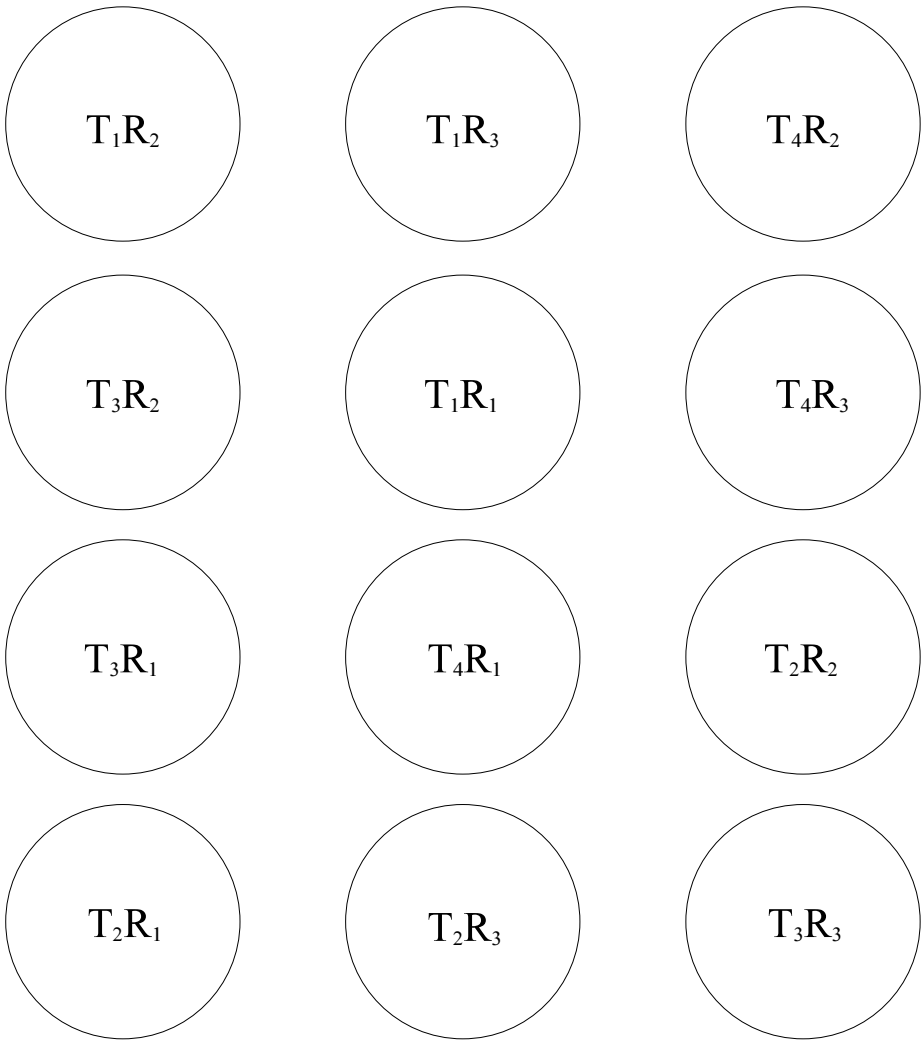
วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยการทดลอง คือ ระยะเวลาในการรดน้ำที่แตกต่างกัน สามารถจัดเป็นรูปแบบได้ทั้งหมด 4 ตำรับ (ภาพที่ 2) ดังนี้

1) รดน้ำสัปดาห์ละครั้ง (T_1)

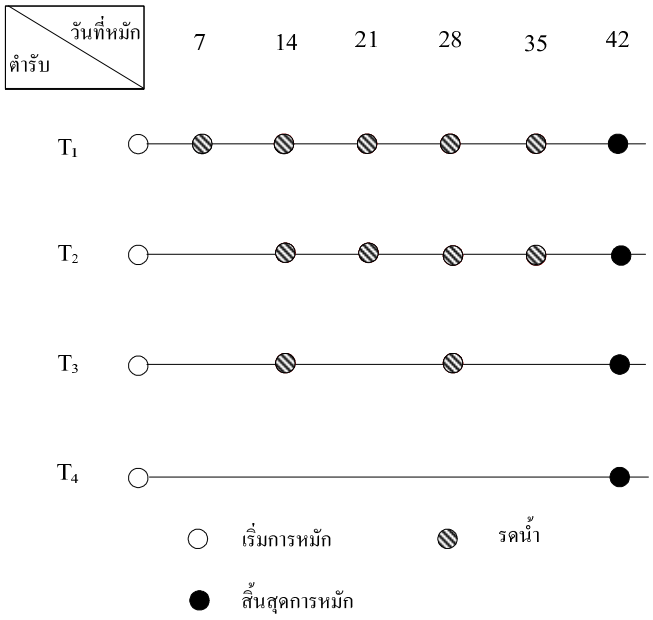
2) ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดทุกสัปดาห์ (T_2)

3) ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดสัปดาห์เว้นสัปดาห์ (T_3)

4) ไม่รดน้ำ (T_4)



ภาพที่ 2 การสุ่มจัดเรียงตำรับการทดลอง



ภาพที่ 3 ตำรับการรดน้ำแบบต่างๆ

4. การวัดอุณหภูมิ

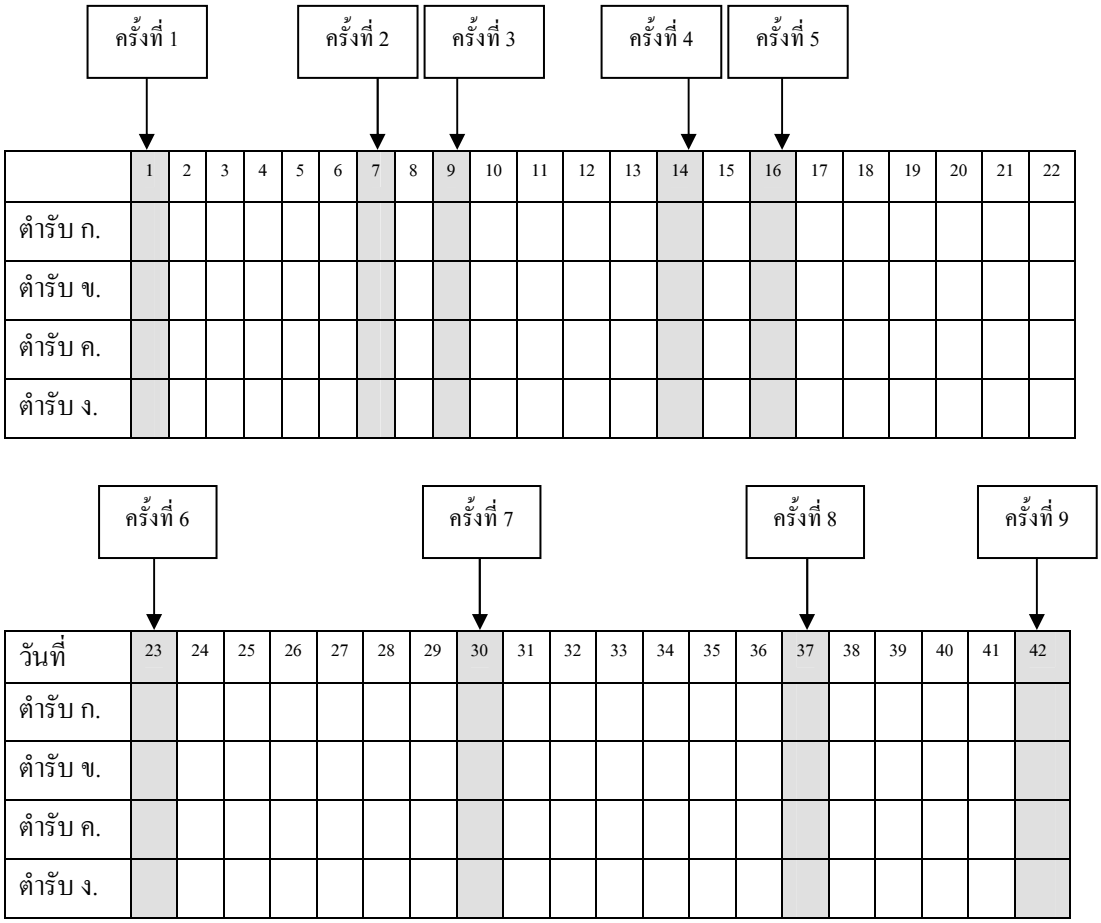
การตรวจวัดอุณหภูมิ ตลอดระยะเวลาการทดลอง คือ 42 วัน โดยวัดอุณหภูมิของบรรยากาศทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน และอุณหภูมิภายในบ่อหมักขยะอย่างละ 3 จุด ทุกวันๆ ละ 2 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. และ 15.00 น. โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และทำการบันทึกผล

5. การวัดการยุบตัวของปุ๋ยหมัก

การวัดความสูง ทำการตรวจวัดตลอดการทดลองทุกวันโดยทำการตรวจวัดเวลา 7.00น. โดยใช้ไม้บรรทัดเหล็กวัดความสูงกองหมักบริเวณขอบบ่อ 3 จุด นำมาหาค่าเฉลี่ยทุกวัน โดยวัดจากขอบบนของบ่อถึงขยะ แล้วหักลบด้วยความสูงของบ่อ

6. การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic

ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละตำรับการทดลองบ่อละ 3 จุด รวม 100 กรัม โดยเลือกเก็บบริเวณจุดกึ่งกลางกองปุ๋ยหมัก แล้วหยุดกิจกรรมของจุลินทรีย์ทันทีโดยนำตัวอย่างที่เก็บมาแช่น้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาตรวจหาจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic 3 ชนิดได้แก่ *Aspergillus* sp. *Streptomycetes* sp. และ *Bacillus* sp. กำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างโดย 2 สัปดาห์แรกเก็บสัปดาห์ละ 2 ครั้งก่อนรดน้ำและหลังจากรดน้ำแล้ว 1 วัน และ 4 สัปดาห์หลังเก็บสัปดาห์ละครั้งหลังจากรดน้ำแล้ว 1 วันรวมทั้งสิ้น 9 ครั้ง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 4 แผนระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์

การตรวจนับจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีใช้วิธีการตรวจนับจำนวนที่เพาะบนจานอาหาร (plate count) ซึ่งเป็นอาหารผสมวุ้น (agar media) และจะนับเฉพาะจานอาหารที่มีพบจำนวนจุลินทรีย์ระหว่าง 25-250 โคโลนีเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหารอยู่ในช่วงดังกล่าวควรทำการเจือจางเชื้อเริ่มต้นหลายๆ ครั้ง โดยทำเป็นลำดับๆละ 10 เท่า (serial dilution) แล้วทำการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่แต่ละระดับการเจือจางลงบนจานอาหาร เมื่อจุลินทรีย์เจริญบนจานอาหารแล้ว

จึงนับจำนวน ทำการคำนวณหาจุลินทรีย์ต่อกรัมของตัวอย่างและรายงานเป็น colony forming unit (CFU)

6.1 การตรวจนับเชื้อ *Bacillus* sp.

ใช้วิธีการ spread plate โดยใช้สูตรอาหาร Luria-Bertani Agar (LB agar)

สูตรอาหารสำหรับ *Bacillus* sp.

Tryptone	10.0	gm.
Yeastextract	5.0	gm.
NaCl	5.0	gm.
Agar	20.0	gm.
Tributyrin oil	10.0	ml.
Ampicilin		
Distilled Water	1.0	lit.

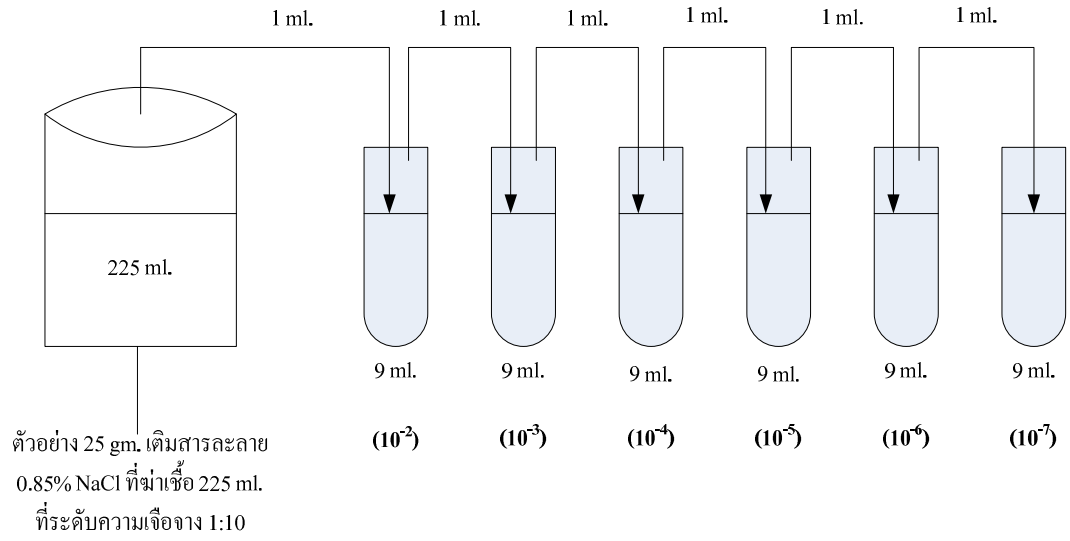
ผสมส่วนประกอบต่างๆ ลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร จากนั้นค่อยเติมผงวุ้นลงไป นำไปต้มให้ความร้อนจนผงวุ้นหลอมละลาย เติม tributyrin oil 10 ml. นำไปปั่นขณะร้อนด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที สำหรับการเติมยาแอมพิซิลลิน เตรียมโดยผสมสารละลายแอมพิซิลลินลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงจนอุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียสให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 25.0 กรัม

2. ใส่ลงในถุง stomacher เติมสารละลาย 0.85 % NaCl ที่ฆ่าเชื้อแล้วลงไป 225 ml. นำไปตีปั่นโดยใช้เครื่อง stomacher เพื่อให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้ระดับความเจือจาง 1:10 (10^{-1})

3. นำปิเปต 1 ml. ที่ฆ่าเชื้อแล้วดูดตัวอย่าง 1 ml. จากตัวอย่างเจือจาง 1:10 ลงในสารละลาย 0.85 % NaCl ที่ฆ่าเชื้อ 9 ml. จะได้ระดับความเจือจาง 1:100 (10^{-2}) ทำการเจือจางในสารละลาย 0.85 % NaCl ที่ฆ่าเชื้อ 9 ml. ต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ระดับความเจือจางที่ 10^{-7} (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 วิธีการเจือจาง (dilution) ตัวอย่างจุลินทรีย์

4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ LB agar ลงใน plate ฆ่าเชื้อแล้ว ในตู้ laminar flow เปิด UV ไว้ ขณะทำการตาก plate รอจนอาหารแข็ง

5. เมื่ออาหารแข็งแล้ว นำตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจางมา spead plate ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ (2 plate)

6. นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่ 50°C (เพราะต้องการเชื้อพวก thermophile) บ่มไว้เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

7. นับจำนวนโคโลนีและทำการคำนวณกับ dilution factor ออกมาเป็นจำนวน *Bacillus* sp. ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/gm.)

6.2 การตรวจนับเชื้อรา *Aspergillus* sp.

ใช้วิธีการ spread plate โดยใช้สูตรอาหาร Matin's medium

สูตรอาหารสำหรับ *Aspergillus* sp.

Dextrose	10.0	gm.
Peptone	5.0	gm.
K_2HPO_4	1.0	gm.
$MgSO_4$	0.5	gm.
Rose Bangol	0.013	gm.
Agar	15.0	gm.
Distilled Water	1.0	lit.

ก่อนเท plate ให้เติม streptomycin 1 % ที่ปราศจากเชื้อโดยการกรองผ่านเมมเบรน 0.45 ไมครอน เติม 0.3 ml. ต่ออาหาร 100 ml. จึงเท plate ได้

การตรวจนับเชื้อรา *Aspergillus* sp. ใช้วิธีที่เรียกว่า spread plate

1. ต้องเทอาหาร Matin's ใน plate และรอให้วุ้นแข็งก่อน

2. ใช้ระดับความเจือจางของตัวอย่างที่เตรียมไว้จากวิธีการแรก (การตรวจนับเชื้อ *Bacillus* sp.) ที่ระดับความเจือจางที่ 10^{-2}, 10^{-3} และ10^{-4}

3. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 ml. หยดลงบนผิวหน้าอาหาร Matin's medium (ทำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ)

4. ใช้แท่งแก้วงอรูปตัว L จุ่มแอลกอฮอล์ ลนไฟ แล้วรอให้เย็น 10 วินาที เกลี่ยตัวอย่างบนผิวหน้าอาหารจนทั่ว

5. บ่มในตู้เลี้ยงเชื้อที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 45°C เป็นเวลา 2-3 วัน

6. ตรวจนับโคโลนีของเชื้อรา *Aspergillus* sp. ในระดับความเจือจางที่นับได้ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี(ลักษณะของโคโลนีเชื้อ *Aspergillus* sp. บนอาหารจะเป็นจุดมีสปอร์สีดำเป็นกลุ่มๆ)

7. คำนวณหาปริมาณเชื้อรา *Aspergillus* sp. ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

6.3 การตรวจนับ *Streptomyces* sp.

ใช้วิธีเดียวกันกับการตรวจนับเชื้อรา *Aspergillus* sp. คือใช้วิธี spread plate และใช้ระดับความเจือจางของตัวอย่างที่ระดับเดียวกัน แต่อาหารเลี้ยงเป็นเฉพาะของ *Streptomyces* sp. เท่านั้น คือ Casein agar (Sodium Caseinate agar)

สูตรอาหารสำหรับ *Streptomyces* sp.

Sodium Caseinate	2.0	gm.
Glucose	1.0	gm.
K_2HPO_4	0.2	gm.
$MgSO_4$	0.2	gm.
$FeSO_4$	0.01	gm.
Agar	15.0	gm.
Distilled Water	1.0	lit.

วิธีการ

1. นำอาหารไปฆ่าเชื้อโดยใช้ autoclave (หม้อนึ่งความดันไอ) โดยใช้ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที

2. เมื่อความดันลดลงถึงศูนย์แล้วรอให้อุณหภูมิของอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ที่ 45-50°C จึงเติม Streptomycin 1 % เช่นเดียวกับเชื้อรา

3. นำไปเท plate รอจนวุ้นแข็ง จึงทำการ spread plate โดยใช้ระดับความเจือจางเดียวกันกับเชื้อรา คือที่ 10^{-2}, 10^{-3} และ 10^{-4}

4. นำไปบ่มที่อุณหภูมิที่ 45°C เป็นเวลา 2-3 วันเช่นกัน

5. จากนั้นนำมาตรวจนับ โคโลนีของ *Streptomyces* sp. มีลักษณะเป็นสีขาว ขุ่น ด้าน หรือสีน้ำตาลเข้ม

6. คำนวณหาปริมาณเชื้อ *Streptomyces* sp. ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

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) จึงนำขยะส่วนนี้ประมาณ 1 กิโลกรัมไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีต่อไป

7.2 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังการหมัก

เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักหลังการหมัก ดำเนินการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บเป็นจุดทั้งกอง กองละ 8 จุด แล้วนำมารวมกัน เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ จะมีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำไปใส่ถาดอลูมิเนียม สำหรับอบในตู้อบ (hot air oven) เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพและเคมี

8. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักและปุ๋ยหมักเพื่อวิเคราะห์

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

10. ระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินการหมักทั้งสิ้น 42 วัน เดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2552

11. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

ผลและวิจารณ์

การทดลองมี 4 ตำรับทดลอง คือ T_1 (ตำรับทดลองรดน้ำสัปดาห์ละครั้ง) T_2 (ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดทุกสัปดาห์) T_3 (ไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดสัปดาห์เว้นสัปดาห์) และ T_4 (ไม่รดน้ำ) ได้ทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบและสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่นำมาหมัก

2. ปริมาณจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ แบคทีเรีย ได้แก่ *Bacillus* sp. แอคติโนมัยซีส ได้แก่ *Streptomyces* sp. และรา ได้แก่ *Aspergillus* sp.

3. อุณหภูมิของกองปุ๋ยในบ่อหมักโดยเก็บข้อมูลทุกวันเป็นเวลา 42 วัน

4. การยุบตัวของกองปุ๋ยในบ่อหมักโดยเก็บข้อมูลทุกวันเป็นเวลา 42 วัน

5. การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการหมัก

6. องค์ประกอบและสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมักที่ได้หลังเสร็จสิ้นการทดลอง

1. องค์ประกอบและสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่นำมาใช้ในการหมักขยะ

1.1 ดิน

ดินที่ใช้ผสมในการหมักขยะเป็นดินที่นำมาจากอำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ดินมีเนื้อเป็นดินร่วนเหนียว (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 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบและสมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการหมักขยะ

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

1.2 สมบัติของขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก

จากการศึกษาสมบัติบางประการของขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ขยะมีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 385.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความชื้นร้อยละ 84.97 โดยน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.80 มีค่าการนำไฟฟ้า 21.00 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 58.47 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 33.99 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับ ร้อยละ 2.73 0.87 และ 3.35 ตามลำดับ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 12.45 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบและคุณสมบัติของขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก

สมบัติของขยะอินทรีย์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Bulk Density (kg/m^3)	385.54
Moisture (% by weight)	84.97
pH	5.80
EC (dS/m)	21.00
Organic matter (%)	58.47
Organic carbon (%)	33.99
Total-N (%)	2.73
Total P_2O_5 (%)	0.87
Total K_2O (%)	3.35
C/N ratio	12.45

1.3 วัสดุผสม (ดิน+ขยะอินทรีย์) ก่อนการหมัก

หลังจากนำดินและขยะมาคลุกเคล้ากันก่อนที่จะบรรจุลงในบ่อหมักได้ทำการตรวจวัดสมบัติต่างๆของวัสดุผสมเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเริ่มต้นก่อนการหมักดังตารางที่ 8 แต่ละบ่อหมักใช้น้ำหนักวัสดุผสม 81.67 กิโลกรัม ตรวจวัดความชื้นของวัสดุผสมเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 77.70 มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.38 มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 13.59 เดซิซีเมนส์/เมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับร้อยละ 43.73 โดยน้ำหนัก ปริมาณไนโตรเจนมีเท่ากับร้อยละ 1.06 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณไนโตรเจนที่พบในมูลฝอยชุมชนทั่วไป ที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 (เกรียงศักดิ์, 2539) มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.33 ปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 1.50 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับร้อยละ 25.42 ทุกตำรับทดลองซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการหมักปุ๋ย กำหนดไว้โดย Alexander (1961) รายงานว่าวัสดุที่จะนำมาหมักทำปุ๋ยควรมีค่าคาร์บอนไม่เกินร้อยละ 40 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าเท่ากับ 32.07 ซึ่งค่า C/N ratio ที่เหมาะสมของวัสดุที่นำมาหมักทำปุ๋ยนั้นมีผู้นำเสนอไว้ว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 25-35 (อดิศักดิ์และคณะ, 2541, Bertoldi *et al*., 1983, และ Gotass, 1956) ดังนั้นค่า C/N ratio ของวัสดุผสมที่ใช้ในการทดลองนี้น่าจะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 8 องค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ใช้ในการหมัก

สมบัติของวัสดุผสม	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Weight (kg)	81.67
Moisture (% by weight)	77.70
pH	5.38
EC (dS/m)	13.59
Organic matter (%)	43.73
Organic carbon. (%)	25.42
Total N (%)	1.06
Total P_2O_5 (%)	0.33
Total K_2O (%)	1.50
C/N ratio	23.98

2. ปริมาณจุลินทรีย์

จากการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic ในวัสดุที่ใช้ในการทดลองและในกองปุ๋ยในช่วงระหว่างการหมัก รวมทั้งสิ้น 9 ครั้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุที่ใช้หมักและในน้ำที่ใช้รดในการทดลอง

ก่อนทำการหมักตรวจวัดจุลินทรีย์ในวัสดุหมัก พบว่า ในดินมีปริมาณ *Bacillus* sp. *Streptomyces* sp. และ *Aspergillus* sp. เท่ากับ $2.3x10^8$ 10 และ $3.9x10^2$ CFU/g ตามลำดับ ส่วนในขยะอินทรีย์จากเทศบาลเพชรบุรีนั้น มีปริมาณ *Bacillus* sp. เท่ากับ $1.2x10^6$ CFU/g ซึ่งน้อยกว่าในดิน แต่มี *Streptomyces* sp. และ *Aspergillus* sp. มากกว่าในดินโดยมีปริมาณเท่ากับ 12 และ $6x10^2$ CFU/g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำชลประทานที่ใช้รดในการทดลองมี *Bacillus* sp. เท่ากับ $1.1x10^6$ CFU/g สำหรับ *Streptomyces* sp. และ *Aspergillus* sp. ตรวจไม่พบ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุที่ใช้หมักและในน้ำที่ใช้รดในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g)		
	Bacillus sp.	*Streptomyces* sp.	*Aspergillus* sp.
ดิน	$2.3x10^8$	1x10	$3.9x10^2$
ขยะอินทรีย์	$1.2x10^6$	1.2x10	$6x10^2$
น้ำที่ใช้รด	$1.1x10^6$	ND	ND

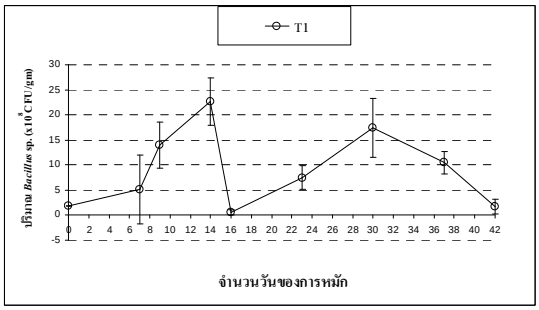
หมายเหตุ ND หมายถึง Non-Detected

2.2 ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงระหว่างการหมัก

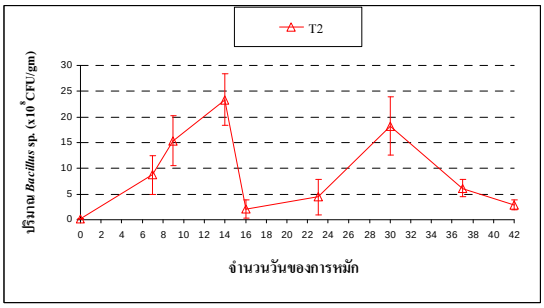
2.2.1 ปริมาณแบคทีเรีย (*Bacillus* sp.)

ตลอดระยะเวลาในการหมัก พบว่า ปริมาณ *Bacillus* sp. เพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ โดยทุกตำรับการทดลองมีปริมาณ *Bacillus* sp. เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 14 วันแรกของการหมักในลักษณะเดียวกันและมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 14 โดยพบปริมาณ *Bacillus* sp. อยู่ในช่วง $1.7x10^9$-$2.3x10^9$ CFU/g การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมักนี้อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการ คือ 1) จุลินทรีย์พวกนี้ถึงแม้มีขนาดค่อนข้างเล็กแต่มีปริมาณมากที่สุดในกองปุ๋ยหมักโดยพบว่ามีมากถึงร้อยละ 80-90 ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกองปุ๋ยโดยเฉพาะในช่วงแรกของกระบวนการหมัก (พิทยากรและเสียงแจ๋ว, 2540) 2) ในช่วงแรกๆ ของการหมักขยะอินทรีย์ยังมีสารจำพวกน้ำตาล แป้ง และโปรตีนซึ่งเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายง่ายประกอบกับ *Bacillus* sp. จะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมที่มีอาหารจำพวกนี้อยู่มาก ซึ่งแบคทีเรียสามารถทำการย่อยสลายสารเหล่านี้ได้ดีและใช้ประโยชน์เพื่อสร้างการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว (มัณฑนีย์, 2546) และ 3) ในช่วงแรกของการหมักทุกตำรับการทดลองมีความชื้นสูงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Bacillus* sp. ช่วงต่อมาในวันที่ 14-16 ของการหมัก ปริมาณ *Bacillus* sp. ลดต่ำลงใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นซึ่งน่าจะเนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายหมดไปรวมทั้งออกซิเจนอาจมีไม่เพียงพอเนื่องจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตและใช้ออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ประกอบกับวัสดุหมักน่าจะมีออกซิเจนน้อยเพราะมีความชื้นสูง ทำให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Bacillus* sp. ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการดำรงชีวิตให้อยู่รอดในสภาพที่เหมาะสมได้โดยการสร้างเอนโดสปอร์และในการตรวจวัดปริมาณ

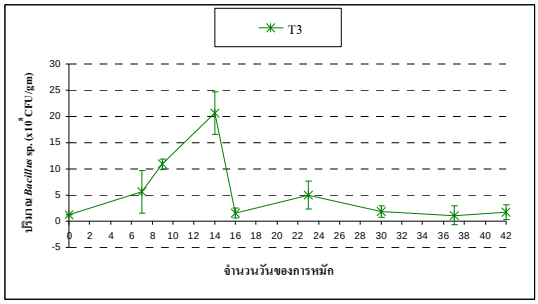
เอนโดสปอร์นั้นต้องมีวิธีการเฉพาะและทำได้ยากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต ดังนั้นในระยะที่สร้างสปอร์นี้จึงตรวจพบปริมาณ *Bacillus* sp. ได้น้อย แต่หลังจากนั้นปริมาณ *Bacillus* sp. ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกซึ่งน่าจะเนื่องมาจากในช่วงหลังของการหมักนี้จุลินทรีย์กลุ่มแอคติโนมัยซีส และราเริ่มมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยากในลำดับถัดมา และเมื่อสารโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยให้เล็กลงแล้วจึงทำให้ *Bacillus* sp. สามารถนำอาหารเหล่านี้มาใช้ได้บางส่วนจึงสามารถเพิ่มจำนวนและเจริญเติบโตได้อีกครั้งแต่ก็ไม่มากเท่ากับช่วงแรก อย่างไรก็ตามเมื่อสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายค่อยๆหมดไปอีกครั้ง รวมทั้งมีปริมาณจุลินทรีย์ชนิดอื่นเพิ่มมากขึ้น เกิดการแข่งขันทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์พวกนี้ค่อยๆ ลดลงเหลือปริมาณใกล้เคียงกับสภาพตอนเริ่มต้นเหมือนเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณของ *Bacillus* sp. ในช่วงหลังของตำรับ T_1 และ T_2 ที่มีความชื้นมากกว่าจะมีปริมาณมากกว่าตำรับ T_3 และ T_4 ที่มีสภาพแห้งกว่า ดังภาพที่ 6



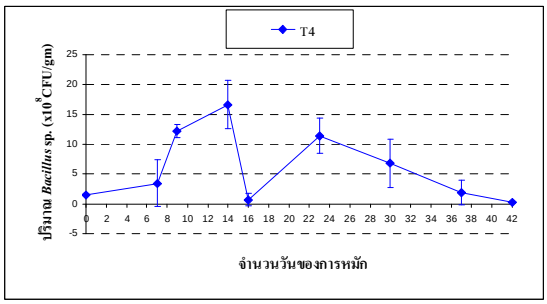
ก.



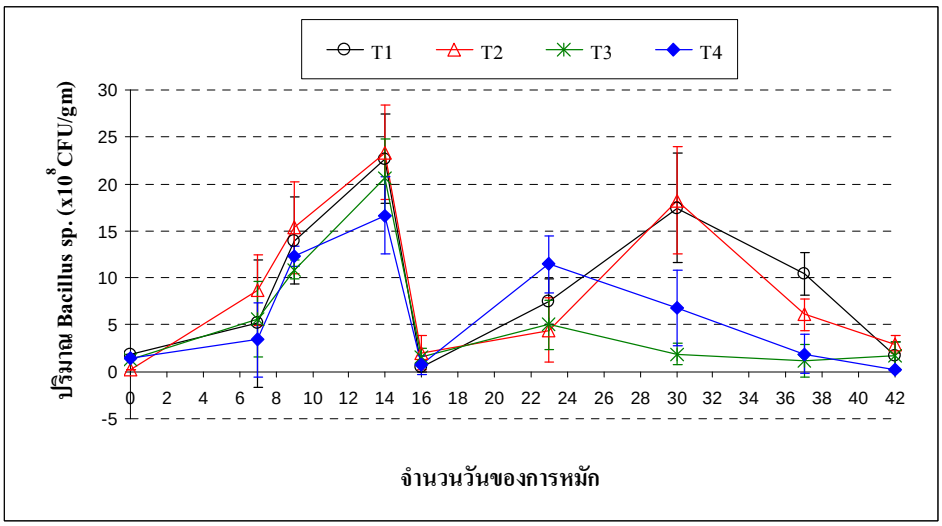
ข.



ค.



ง.



จ.

ภาพที่ 6 ปริมาณแบคทีเรีย (*Bacillus* sp.) ในกองปุ๋ยหมัก

ก. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Bacillus* sp. ในตำรับทดลอง T_1

ข. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Bacillus* sp. ในตำรับทดลอง T_2

ค. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Bacillus* sp. ในตำรับทดลอง T_3

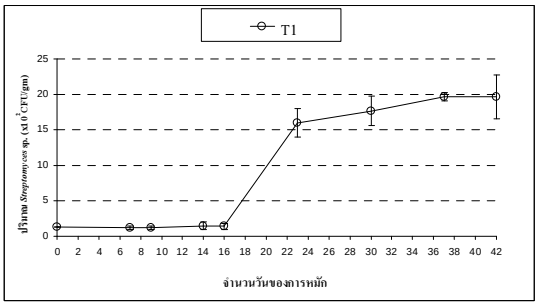
ง. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Bacillus* sp. ในตำรับทดลอง T_4

จ. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Bacillus* sp. ในทุกตำรับทดลองเปรียบเทียบกัน

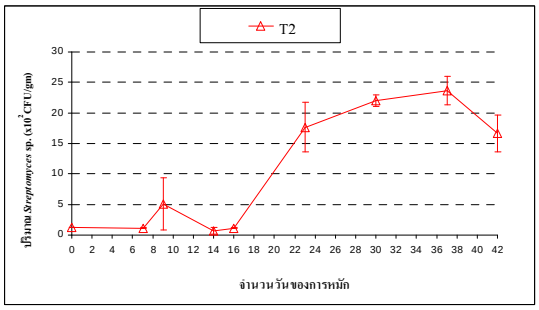
2.2.2 ปริมาณแอคติโนมัยซีส (*Streptomyces* sp.)

ผลการทดลองพบว่า ในช่วงประมาณ 16 วันของการหมักทุกตำรับการทดลองมีปริมาณ *Streptomyces* sp. น้อยโดยพบว่าอยู่ในช่วง 0.1-6.6 $x10^2$ CFU/g สาเหตุที่ในช่วงแรกของการหมักมีจุลินทรีย์พวกนี้น้อยไม่แตกต่างจากตอนเริ่มต้นเนื่องจาก ในช่วงแรกๆสารประกอบพวกแป้งและน้ำตาลในขยะอินทรีย์จะถูกย่อยสลายก่อนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วประกอบกับในช่วงแรกนี้ขยะอินทรีย์ยังมีความชื้นสูงมาก อาจทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนได้ในบางขณะ จากการย่อยสลายน้ำตาลและแป้งในสภาพที่ขาดอากาศจะเกิด intermediate product พวกกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Metcaff and Eddy (1974) ที่พบว่าช่วงแรกของการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักจะเกิดกรด และทำให้ค่าpHของกองปุ๋ยหมักลดลง สภาพที่เป็นกรดนี้จะยับยั้งการเจริญเติบโตและกิจกรรมของ *Streptomyces* sp.

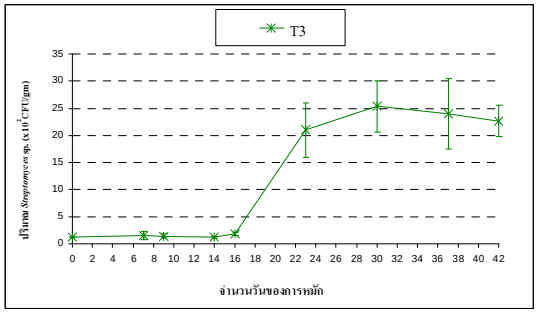
หลังจากที่น้ำตาลและแป้งถูกย่อยสลายหมดแล้วในระยะต่อมาสารประกอบโปรตีนจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียและปลดปล่อย NH_3 ซึ่ง NH_3 สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในกองขยะได้ NH_4^+ และ OH^- ส่งผลให้กองปุ๋ยหมักมีสภาพ pH สูงขึ้นจนกระทั่งมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนฤมล (2552) ที่พบว่า หลังจากการหมักจะมีค่า pH ที่สูงขึ้น สภาพที่มีค่า pH สูงขึ้นจะทำให้ *Streptomyces* sp. มีการเจริญเติบโตและกิจกรรมดีขึ้น จากการทดลอง พบว่า *Streptomyces* sp. เพิ่มปริมาณมากขึ้นหลังจากการหมักประมาณ 16 วันดังภาพ ที่ 7 *Streptomyces* sp. มีความสามารถในการย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน ได้แก่สารพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและไคตินได้ดี (มัณฑนีย์, 2546) การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ *Streptomyces* sp. ในช่วงนี้จะเห็นเชื้อเจริญเป็นกลุ่มลักษณะเป็นจุดขาวๆ คล้ายผงปูนพบได้ทั่วไปในบริเวณกองปุ๋ย ตำรับการทดลอง T_3 น่าจะมีความชื้นพอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของ *Streptomyces* sp. มากกว่า T_1 T_2 และ T_4 จึงมีแนวโน้มที่ทำให้ *Streptomyces* sp. มีการเจริญเติบโตและกิจกรรมดีกว่าตำรับ T_1 และ T_2 เนื่องจากน่าจะมีสภาพที่ pH สูงกว่าเพราะในช่วงแรกตำรับ T_3 น่าจะเกิดกรดน้อยกว่าจากการที่รดน้ำถี่น้อยทำให้การขาดออกซิเจนในช่วงแรกน่าจะไม่รุนแรงเท่า T_1 T_2 และ T_4 แต่หลังจากสารอินทรีย์ที่ย่อยได้ในกองปุ๋ยน้อยลงปริมาณ *Streptomyces* sp. ก็ลดลงด้วย โดยตำรับ T_3 และ T_4 มีปริมาณเชื้อสูงสุดในวันที่ 30 ของการหมัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6 $x10^3$ และ 2.4 $x10^3$ CFU/g ตามลำดับ และตำรับ T_1 และ T_2 ซึ่งช่วงแรกน่าจะมีกรดเกิดขึ้นมากกว่าทำให้มีปริมาณสูงสุดเกิดขึ้นทีหลังโดยพบในวันที่ 37 ของการหมัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 $x10^3$ และ 2.4 $x10^3$ CFU/g ตามลำดับ



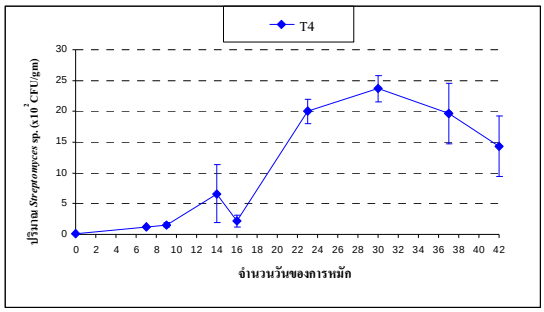
ก.



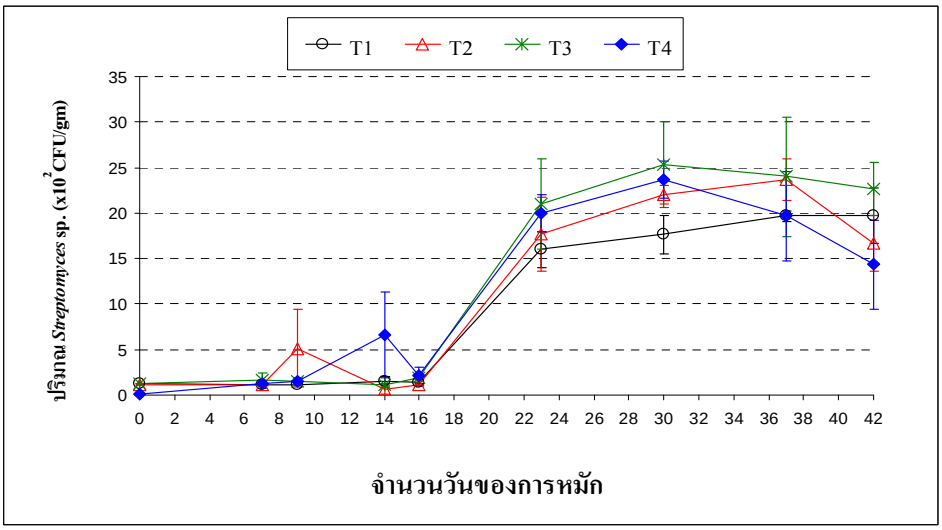
ข.



ค.



ง.



จ.

ภาพที่ 7 ปริมาณแอคติโนมัยซีส (*Streptomyces* sp.) ในกองปุ๋ยหมัก

ก. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Streptomyces* sp. ในตำรับทดลอง T_1

ข. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Streptomyces* sp. ในตำรับทดลอง T_2

ค. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Streptomyces* sp. ในตำรับทดลอง T_3

ง. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Streptomyces* sp.. ในตำรับทดลอง T_4

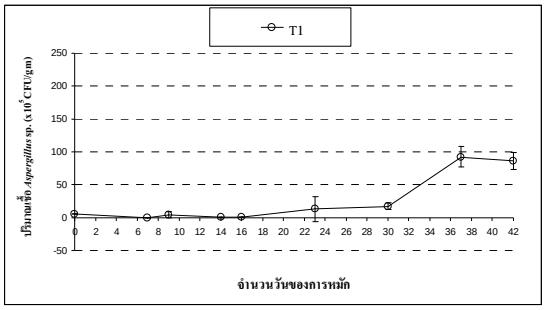
จ. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Streptomyces* sp. ในทุกตำรับทดลองเปรียบเทียบกัน

2.3.3 ปริมาณรา (*Aspergillus* sp.)

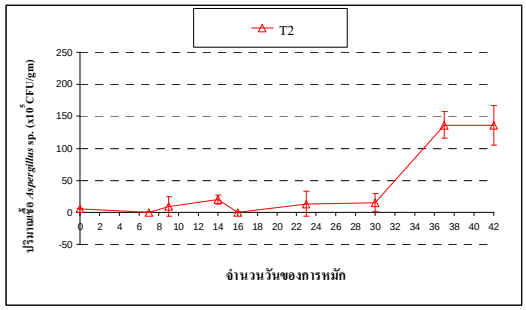
จากการทดลอง พบว่า *Aspergillus* sp. มีการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณในลักษณะเดียวกับแอคติโนมัยซีส คือ ช่วงแรกของการหมักจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ซึ่งมีค่าน้อยมาก อยู่ในช่วง $1.0x10^3 – 5.4. x10^6$ CFU/g น่าจะมีสาเหตุมาจาก 1) ในช่วงแรกของการหมักนั้นกองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิและความชื้นสูงมาก ซึ่งมัณฑนีย์ (2552) ได้กล่าวไว้ว่าราจะเจริญได้ดีในที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ถ้ากองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นและความชื้นสูงจะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากกว่าราและ 2) จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ในระยะแรกของการหมักแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่มีบทบาทในการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และโปรตีน ได้ดีและเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเชื้อราจึงไม่สามารถแข่งขันและเจริญได้ทันต้องใช้เวลาในช่วงแรกค่อนข้างยาวนานเพื่อรอให้มีสภาพที่เหมาะสมจึงจะสามารถเจริญเติบโตได้

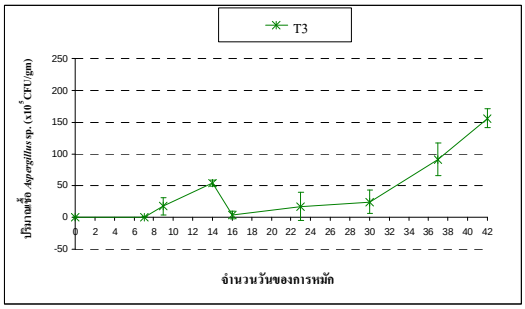
ต่อมาหลังจากวันที่ 30 ของการหมัก ปริมาณ *Aspergillus* sp. เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณสูงมากตำรับทดลอง T_3 และ T_4 มีปริมาณ *Aspergillus* sp. มากกว่า T_1 และ T_2 โดยค่าสูงสุดอยู่ในวันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 42) มีปริมาณเท่ากับ $1.6 \ x10^7$ และ $2.1 \ x10^7$ CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4) ส่วน T_1 และ T_2 โดยปริมาณสูงสุดในวันที่ 37 ของการหมัก มีปริมาณเท่ากับ $9.2 \ x10^6$ และ $1.5 \ x10^7$ CFU/g ตามลำดับ จะเห็นว่า *Aspergillus* sp. เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุดในช่วงท้ายของการหมัก เนื่องจากช่วงหลังนี้อุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยเริ่มลดลงดังนั้นจึงตรวจพบ *Aspergillus* sp. ปริมาณมาก ซึ่งเส้นใยราสามารถเติบโตและขยายไปได้มาก ประกอบกับอาหารที่ย่อยง่ายเริ่มหมดไป เหลือแต่พวกโครงสร้างสลับซับซ้อนและย่อยยาก ซึ่งรานั้นมีคุณสมบัติคล้ายๆ แอคติโนมัยซีส คือ ย่อยสลายสารที่ย่อยได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลสและเพคติน ซึ่งรา *Aspergillus* sp. มีคุณสมบัติในการสร้างเอ็นไซม์ hemicellulase และ pectinase ในการย่อยสลายสารเหล่านี้ได้ดี (กรรณิการ์, 2543) เพียงแต่ราจะชอบสภาพที่แห้งกว่าแอคติโนมัยซีส จึงทำให้ พบเชื้อราในช่วงท้ายๆ ของการหมักโดยเฉพาะใน T_4 ที่ไม่มีการรดน้ำเลยนั้นมีปริมาณ *Aspergillus* sp. มากที่สุด



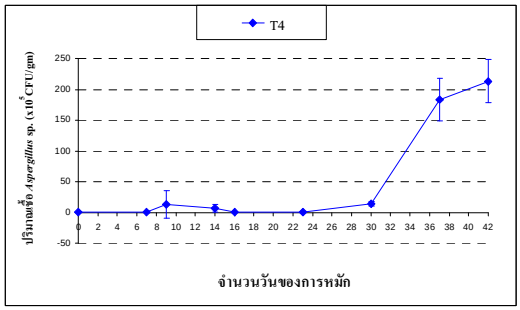
ก.



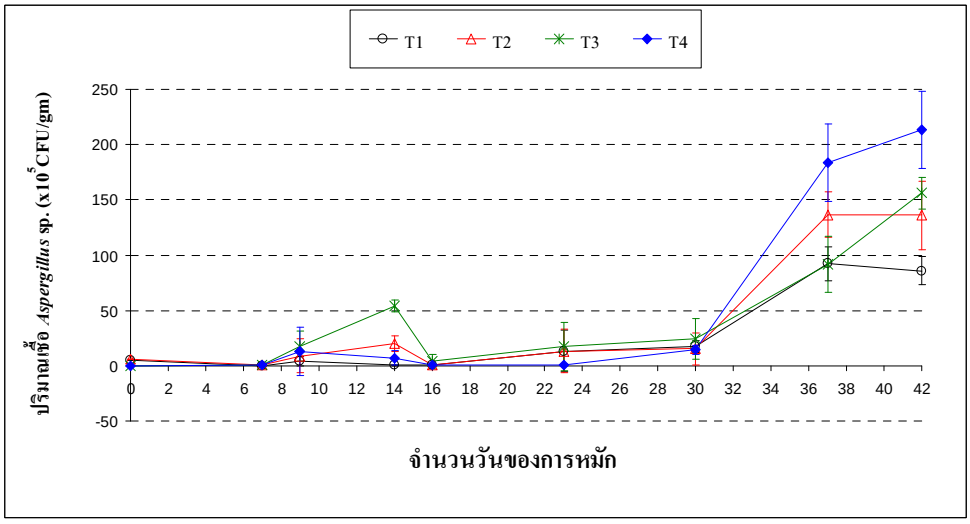
ข.



ค.



ง.



จ.

ภาพที่ 8 ปริมาณรา (*Aspergillus* sp.) ในกองปุ๋ยหมัก

ก. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Aspergillus* sp. ในตำรับทดลอง T_1

ข. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Aspergillus* sp. ในตำรับทดลอง T_2

ค. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Aspergillus* sp. ในตำรับทดลอง T_3

ง. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Aspergillus* sp. ในตำรับทดลอง T_4

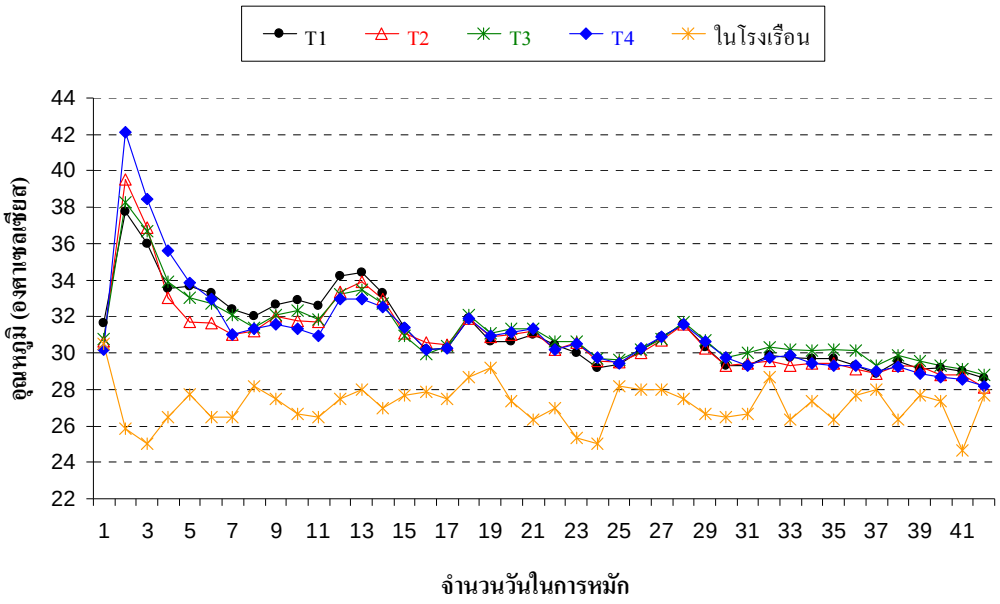
จ. ปริมาณและค่าความคลาดเคลื่อนของ *Aspergillus* sp. ในทุกตำรับทดลองเปรียบเทียบกัน

3. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อหมัก

อุณหภูมินอกจากจะเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายและเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาแล้ว ยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงชนิด ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ด้วย ซึ่งผลการศึกษามีดังนี้

3.1 อุณหภูมิที่วัดในเวลา 7.00 น.

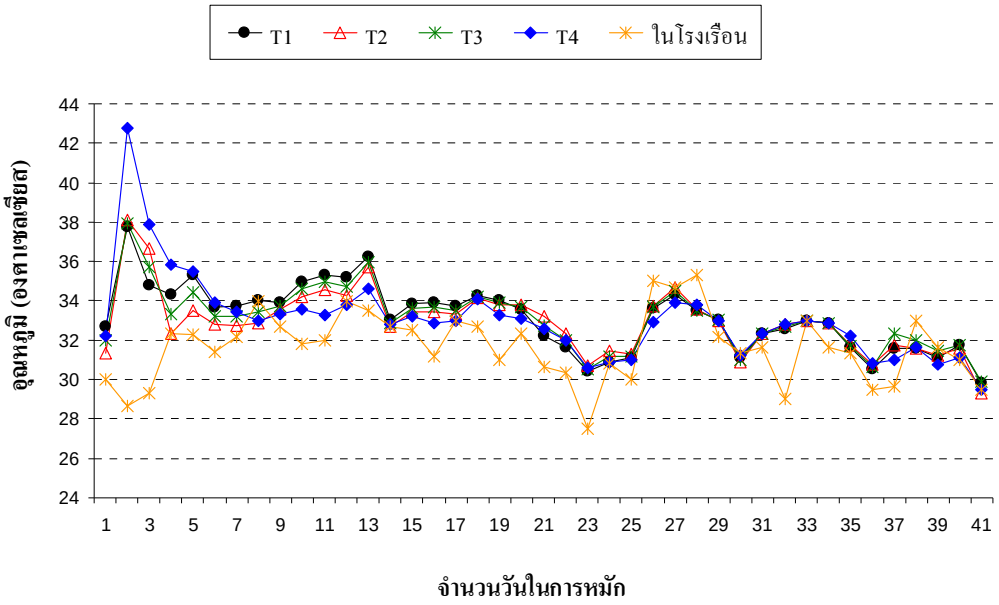
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเวลา 7.00 น. พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในบ่อหมักของตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 ใกล้เคียงกันมาก คือ 28.61 28.11 28.11 และ 28.17 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 9) ทุกตำรับทดลองมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิในทิศทางเดียวกันและมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งทุกตำรับจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นใน 2 วัน หรือ 48 ชั่วโมงแรกของการหมัก โดยตำรับทดลอง T_4 ซึ่งไม่มีการรดน้ำเลยตลอดระยะเวลาในการหมักนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าตำรับอื่นโดยมีค่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 42.11 องศาเซลเซียส ตำรับทดลองอื่นๆ มีช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย T_1 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 37.78 องศาเซลเซียส T_2 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 39.56 องศาเซลเซียส และ T_3 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 38.28 องศาเซลเซียสจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงวันที่ 3-5 และเพิ่มสูงขึ้นอีกเล็กน้อยในช่วงวันที่ 12-14 แล้วจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งในที่สุดอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก จากภาพที่ 9 อุณหภูมิของบรรยากาศในโรงเรือนที่เวลา 7.00 น. ของทุกวันต่ำกว่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก มีค่าอยู่ระหว่าง 24.67-30.50 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อหมักนั้นเกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของบรรยากาศในตอนเช้านี้ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเลยสอดคล้องกับการศึกษาของ อรอนงค์ (2541) ที่กล่าวว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในระหว่างการหมักที่เวลา 7.00 น. เป็นดัชนีบ่งชี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงทำให้ช่วงแรกของการหมักซึ่งมีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงอุณหภูมิกองปุ๋ยจึงสูงแต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการของจุลินทรีย์แล้วอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะใกล้เคียงกับบรรยากาศนั่นเอง



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 7.00 น. ในช่วง 42 วัน

3.2 อุณหภูมิที่วัดในเวลา 15.00 น.

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 15.00 น. พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นในบ่อหมักของตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 มีความแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยสูงกว่าตอน 7.00 น. เพียงเล็กน้อย คือ 29.83 29.33 29.99 และ 29.50 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 10) โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 15.00 น.นี้ มีลักษณะคล้ายกับที่เวลา 7.00 น. กล่าวคือ ช่วง 2 วันแรกมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิ และเป็นวันที่มีค่าสูงที่สุด โดยตำรับทดลอง T_4 อุณหภูมิสูงกว่าตำรับอื่นๆ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 42.11 องศาเซลเซียส ตำรับทดลอง T_1 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 37.78 องศาเซลเซียส T_2 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 39.56 องศาเซลเซียส และ T_3 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 38.28 องศาเซลเซียส จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมาวันที่ 3-5 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 12-14 แต่ไม่มากเท่าช่วง 2 วันแรก ที่กิจกรรมของจุลินทรีย์มีความเข้มข้นสูงในช่วงนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยจึงขึ้นอยู่กับอิทธิพลของกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ แต่หลังจากวันที่ 14 เป็นต้นไปการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยเริ่มมีแนวโน้มมาจากอิทธิพลของการเพิ่มและลดของอุณหภูมิในบรรยากาศมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์มีความเข้มข้นลดลง ความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์จึงลดลงด้วย

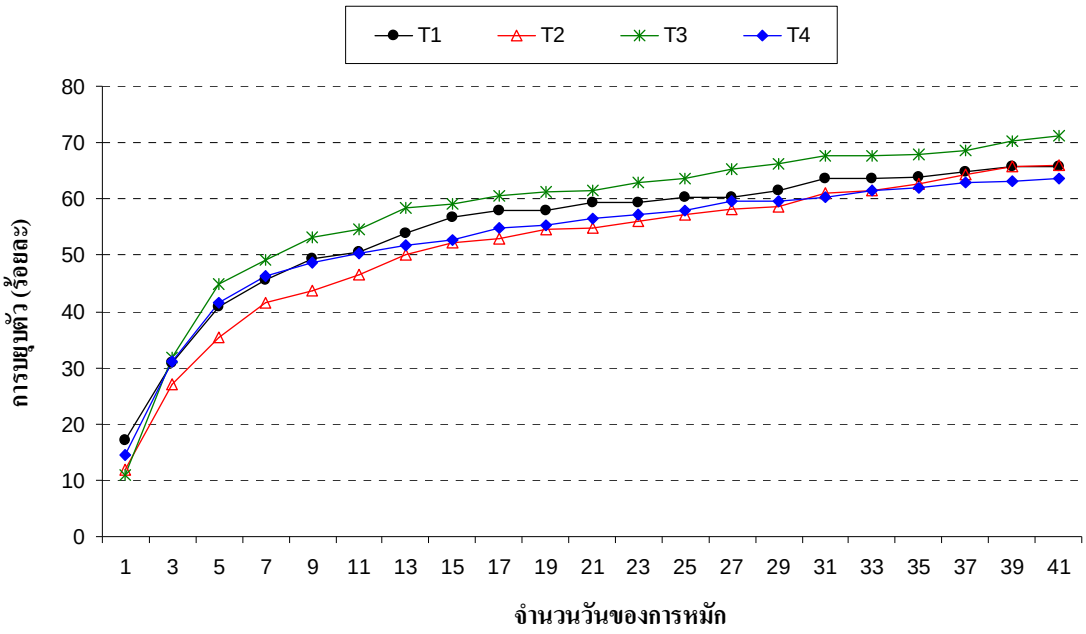


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 15.00 น. ในช่วง 42 วัน

4. การยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก

จากการศึกษาร้อยละการยุบตัวของปุ๋ยหมัก พบว่า อัตราการยุบตัวของวัสดุหมักในบ่อหมักทุกตำรับทดลองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 11 ในช่วง 7 วันแรกของการหมักแต่ละตำรับมีการยุบตัวมากที่สุดประมาณร้อยละ 29.66 -38.17 ระยะต่อมาวันที่ 7-15 กองปุ๋ยจะยุบตัวลงอีกประมาณร้อยละ 10 ในทุกตำรับทดลอง และต่อจากวันที่ 15 เป็นต้นไปกองปุ๋ยจะค่อยๆ ยุบลงทีละน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยเมื่อสิ้นสุดการหมักแล้วตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 มีการยุบตัวทั้งสิ้นประมาณร้อยละ 65.83 66.03 71.30 และ 63.66 ตามลำดับ เพราะการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักสัมพันธ์กับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก เนื่องจากในช่วงประมาณ 7 วันแรกของกระบวนการหมักนั้นอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ขนาดของวัสดุหมักถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็วด้วย หลังจากนั้นการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้าลงๆ ตามลำดับ จากตารางที่ 10 พบว่า ในการรดน้ำแบบต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีการยุบตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการศึกษานี้เป็นไปในทิศเดียวกับการศึกษาของจุลบุตร (2548) ที่พบว่าอัตราการยุบตัวของวัสดุหมักในบ่อหมักทุกบ่อเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นร้อยละการยุบตัว จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ การยุบตัวของกองปุ๋ยหมักสัมพันธ์กับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรก

ของการหมักทุกบ่อหมักและนฤมล (2552) ที่พบว่า ปริมาณการรดน้ำในอัตราต่าง ๆ ทำให้ปุ๋ยหมักมีการยุบตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 11 แสดงร้อยละการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 10 การยุบตัวของปุ๋ยหมัก (%) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	64.67	65.41	67.42	65.83
T2	64.00	66.67	67.42	66.03
T3	60.99	80.18	72.73	71.30
T4	60.67	63.64	66.67	63.66
F-Test				ns
C.V. (%)				7.8

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5. การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการหมัก

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในกองปุ๋ยหมัก พบว่า จากที่ใช้วัสดุหมักเริ่มต้น 81.67 กิโลกรัมต่อบ่อหมัก เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักครบ 42 วัน จะเห็นว่ากองปุ๋ยยุบลงไปมากจากตอนเริ่มต้น ทุกตำรับการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักไปใกล้เคียงกัน โดยพบว่าตำรับทดลอง T_4 มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 76.74 เหลือปริมาณปุ๋ยหมักเฉลี่ยเพียง 19 กิโลกรัม ตำรับทดลอง T_2 T_3 และ T_1 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักรองลงมาคิดเป็นร้อยละ 75.80 75.61 และ 74.39 ตามลำดับ ทำให้เหลือปริมาณปุ๋ยหมักเฉลี่ยบ่อละ 19.77 20.47 และ 20.93 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักนั้นเกิดขึ้นจากอัตราของกระบวนการในการย่อยสลายเป็นสำคัญ ซึ่งยงยุทธ (2542) กล่าวว่าอัตราการย่อยสลายก็มีปัจจัยหลายด้านประกอบกัน อาทิ องค์ประกอบและสมบัติบางประการของวัสดุหมัก อัตราส่วนของวัสดุหมัก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักและอุณหภูมิบรรยากาศเป็นสำคัญ จากการศึกษาของนฤมล (2552) พบว่า ในการย่อยสลายของกองปุ๋ยหมักนั้น สารประกอบอินทรีย์บางส่วนจะเปลี่ยนเป็นแก๊สและน้ำสูญเสียออกไป นอกจากนั้นสารที่ได้จากการย่อยสลายรวมทั้งธาตุอาหารต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาสามารถถูกชะละลายสูญเสียออกไปได้ เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงจึงพบว่าทุกตำรับทดลองมีน้ำหนักลดลงมากและเนื่องจากองค์ประกอบของขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่มีความชื้นเริ่มต้นสูง ดังนั้นจึงพบว่าการรดน้ำหรือไม่รดน้ำเลยในระหว่างการหมักไม่มีผลทำให้การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่11)

ตารางที่ 11 การลดลงของน้ำหนักปุ๋ยหมัก (%)

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	71.59	75.09	76.49	74.39
T2	70.37	80.04	76.98	75.80
T3	83.39	70.61	72.82	75.61
T4	77.72	77.72	74.78	76.74
F-Test				ns
C.V. (%)				5.9

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6. ลักษณะและสมบัติของปุ๋ยหมัก

ในการศึกษาประสิทธิภาพการหมักขยะ นอกจากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์และการวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์จากอุณหภูมิและการยุบตัวของกองปุ๋ยแล้ว ยังทำการวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติที่สำคัญ เช่น ความชื้น ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ผลการวิเคราะห์ มีดังนี้

6.1 ความชื้น (Moisture content)

จากการทดลอง พบว่า ความชื้นของกองปุ๋ยหมักนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการรดน้ำ กล่าวคือ ถ้ารดน้ำถี่มากความชื้นจะสูงกว่าตำรับทดลองที่รดน้ำช่วงห่างหรือไม่รดน้ำเลย ซึ่งจากตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 ปุ๋ยหมักที่ได้จากตำรับทดลองเหล่านี้ มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 57.6 50.89 48.18 และ 31.64 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 12) ค่าความชื้นนี้จัดเป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักเพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักนั้นๆ ถ้าปุ๋ยชื้นแฉะเกินไปจะมีผลต่อน้ำหนักของปุ๋ยหมัก นำมาซึ่งข้อจำกัดในการขนส่งและ

การนำไปใช้ มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร ปี 2551 กำหนดค่าความชื้นของปุ๋ยต้องไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเป็น จะเห็นว่าการทดลองนี้ไม่มีตำรับทดลองใดเลยที่จะให้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพทางด้านความชื้นตรงตามมาตรฐานที่ได้กำหนด สาเหตุที่ทุกตำรับทดลองให้ปุ๋ยหมักที่มีความชื้นสูงเกินกว่ามาตรฐานนั้นเนื่องจากการทดลองทำในช่วงฤดูฝน สภาพอากาศมีความชื้นค่อนข้างสูงมากจึงทำให้ความชื้นในกองปุ๋ยหมักระเหยออกไปได้ช้า ปุ๋ยหมักที่ได้จึงมีความชื้นสูง โดยเฉพาะตำรับทดลองที่มีการรดน้ำเพิ่มเติม ยิ่งจะทำให้มีความชื้นของกองปุ๋ยหมักที่ได้มากขึ้น

ตารางที่ 12 ความชื้นของปุ๋ยหมัก (%)

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	63.93	55.03	53.84	57.60b
T2	56.25	51.51	44.92	50.89b
T3	50.37	44.92	49.25	48.18ab
T4	38.88	44.92	11.11	31.64a
F-Test				*
C.V. (%)				21.1

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95% โดยวิธี DMRT

6.2 ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

หลังจากสิ้นสุดการหมักลงพบว่า pH ของปุ๋ยหมักที่ได้ทุกตำรับทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13) โดยตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 ให้ปุ๋ยหมักที่มีค่า pH เท่ากับ 7.3 7.2 7.4 และ 8.0 ตามลำดับ ซึ่งทุกตำรับจัดว่ามีค่า pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามกำหนดของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) และกรมวิชาการเกษตร (2551) ที่ได้กำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักเหมือนกันว่าควรอยู่ในช่วง 5.5 - 8.5 อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าตำรับการทดลองที่มีการรดน้ำมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่า pH ต่ำกว่า

ตำรับการทดลองที่มีการรดน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากในตำรับที่มีการรดน้ำทำให้ความชื้นในกองปุ๋ยหมักสูงมากและน่าจะเกิดจากขาดออกซิเจนได้มากกว่าทำให้เกิดกรดอินทรีย์มากกว่าในช่วงแรกๆของการหมัก

ตารางที่ 13 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	7.3	7.3	7.2	7.3
T2	7.2	7.3	7.1	7.2
T3	7.1	7.6	7.4	7.4
T4	7.5	7.2	9.2	8.0
F-Test				ns
C.V. (%)				7.5

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ผลการทดลอง พบว่า ค่า EC ของทุกตำรับทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยกรมวิชาการเกษตร (2551) ซึ่งกำหนดว่าต้องมีค่าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์/เมตร อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า EC ของแต่ละตำรับทดลอง พบว่า ตำรับทดลอง T_4 มีค่าสูงที่สุดคือ 7.9 เดซิซีเมนส์/เมตร และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าในตำรับ T_1 T_2 และ T_3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.7 4.6 และ 5.3 เดซิซีเมนส์/เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 สาเหตุที่ตำรับ T_4 มีค่า EC สูงสุดน่าจะเนื่องมาจากในตำรับ T_1 T_2 และ T_3 มีการรดน้ำมากกว่าทำให้มีการสูญเสียสารพวกอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในระหว่างการหมักมากกว่า ทำให้ค่า EC ต่ำลง ในทำนองเดียวกันตำรับ T_3 ซึ่งมีการรดน้ำถี่น้อยกว่าตำรับ T_1 และ T_2 ก็มีแนวโน้มมีค่า EC สูงกว่าตำรับ T_1 และ T_2 เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า EC ของปุ๋ยหมักที่ได้จากทุกตำรับทดลองยังมีค่าต่ำกว่าวัสดุเริ่มต้นที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารนั้นจะมีน้ำเกิดขึ้นด้วยทำให้เกิดการชะล้างสูญเสียสารพวกพวกอิเล็กโทรไลต์มากขึ้นอีก

ตารางที่ 14 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	5.2	5.0	3.8	4.7a
T2	4.8	5.0	4.0	4.6a
T3	6.4	4.9	4.7	5.3a
T4	8.0	8.5	7.2	7.9b
F-Test				**
C.V. (%)				13.0

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95% โดยวิธี DMRT

6.4 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter content)

หลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้จากตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับร้อยละ 25.38 24.49 24.62 และ 26.58 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าทุกตำรับการทดลองมีการย่อยสลายในอัตราที่ไม่แตกต่างกัน ตำรับการทดลองมีการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเริ่มต้นจะเห็นว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากทุกตำรับทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงจากเดิมมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในขยะอินทรีย์น่าจะมีวัสดุอินทรีย์พวกแป้ง น้ำตาล และโปรตีนมากซึ่งสารพวกนี้ย่อยสลายง่ายและมักจะสูญเสียออกไป

ตารางที่ 15 ปริมาณร้อยละของอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	25.37	26.17	24.61	25.38
T2	23.99	24.19	25.29	24.49
T3	24.79	23.42	25.65	24.62
T4	24.46	27.46	27.83	26.58
F-Test				ns
C.V. (%)				4.8

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6.5 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุผสมในบ่อหมักเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1.06 เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการหมักพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเพราะมีการสูญเสียน้ำหนักของกองปุ๋ย ทำให้กองหมักมีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากขึ้น โดยค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้จากตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 มีค่าร้อยละ 1.27 1.16 1.49 และ 1.53 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ เรียมสงวน (2544) และ สุวรรณา (2528) อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนรวมในแต่ละตำรับทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ตำรับทดลอง T_4 มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณไนโตรเจนรวมมากกว่าตำรับทดลองอื่น ซึ่งอาจเนื่องมาจากในตำรับทดลองนี้ไม่มีการรดน้ำ การชะล้างมีน้อยกว่าตำรับอื่นๆ ทำให้มีไนโตรเจนเหลืออยู่ในปริมาณเข้มข้นกว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนรวมกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักพบว่าทุกตำรับทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตร (2551)

ตารางที่ 16 ปริมาณร้อยละของไนโตรเจนรวมในปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	1.04	1.46	1.32	1.27
T2	1.23	1.15	1.11	1.16
T3	1.55	1.37	1.55	1.49
T4	1.05	1.83	1.71	1.53
F-Test				ns
C.V. (%)				17.8

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6.6 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus)

จากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสเริ่มต้นในวัสดุผสมก่อนการหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.33 เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักจากตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยร้อยละ 0.20 0.13 0.17 และ 0.21 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 17) ปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักที่ได้ลดน้อยลงกว่าวัสดุเริ่มต้นน่าจะเนื่องมาจากสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสเมื่อถูกย่อยสลายฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปฟอสเฟตไอออนซึ่งมีประจุเป็นลบทำให้ไม่ถูกดูดยึดโดยดินและฮิวมัส ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ซึ่งในการทดลองนี้วัสดุหมักมีความชื้นสูง นอกจากนี้ในตำรับ T_1 T_2 และ T_3 ยังมีการรดน้ำเพิ่มเติมอีก ทำให้มีการมีการปลดปล่อยน้ำออกมาในระหว่างการหมัก นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตำรับการทดลองก็พบว่าตำรับที่มีการรดน้ำมากมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสน้อยกว่า ตำรับที่ไม่มีการรดน้ำหรือรดน้ำน้อยกว่า สอดคล้องกับไพบูลย์และคณะ (2542) ที่พบว่าเมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาปนกับน้ำชะมูลฝอย ไหลลงสู่ก้นบ่อหมัก อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นในปุ๋ยหมักอาจจะมีค่าสูงกว่าในวัสดุเริ่มต้นก็ได้ซึ่งเรียมสงวน (2544) พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักจะมีค่าฟอสฟอรัสสูงขึ้นมากกว่าในระยะเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียฟอสฟอรัสออกจากระบบการหมักน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ

การสูญเสียน้ำหนักของวัสดุหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักที่ได้จากแต่ละตำรับมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (2551) ที่กำหนดให้มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 สาเหตุที่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่าเกณฑ์น่าจะเนื่องมาจากวัสดุเริ่มต้นที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำรวมทั้งฟอสฟอรัสเกิดการสูญเสียโดยการชะล้างในระหว่างการหมัก

ตารางที่ 17 ปริมาณร้อยละของฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	0.21	0.14	0.25	0.20ab
T2	0.16	0.09	0.13	0.13a
T3	0.13	0.16	0.21	0.17ab
T4	0.21	0.20	0.21	0.21b
F-Test				*
C.V. (%)				22.1

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95% โดยวิธี DMRT

6.7 ปริมาณโพแทสเซียม (Total Potassium)

ปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นในวัสดุผสมมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.50 หลังการหมักมีปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักลดลง โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักตำรับทดลอง T_4 มีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.39 ซึ่งมีค่าแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ตารางที่ 18) ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากตำรับทดลอง T_4 ไม่มีการรดน้ำเลยตลอดระยะเวลาในการหมักจึงมีการสูญเสียโพแทสเซียมไปกับน้ำชะขยะในปริมาณน้อยที่สุด ส่วนตำรับทดลอง T_1 T_2 และ T_3 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.25 0.24 และ 0.27 ตามลำดับ การที่โพแทสเซียมสูญเสียโดยการชะล้างได้ง่ายเนื่องจากโพแทสเซียมซึ่งเป็นธาตุที่พบในของเหลวของพืชผัก เมื่อพืชผักย่อยสลายก็จะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาปนกับน้ำชะขยะไหลลงสู่ก้นบ่อหมัก เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส (ไพบูลย์ และคณะ, 2542) จึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในวัสดุหมักมีค่าลดลง เมื่อ

สิ้นสุดกระบวนการหมักโดยเฉพาะตำรับที่มีการรดน้ำมากและถึงแม้ว่าโพแทสเซียมจะมีประจุบวกซึ่งน่าจะถูกดินและฮิวมัสดูดยึดไว้ แต่การที่ไม่สามารถดูดยึดไว้ได้มากเพราะน่าจะถูกแทนที่ด้วยไอออนอื่นๆ ที่มีแรงดูดยึดสูงกว่า เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นต้น

ตารางที่ 18 ปริมาณร้อยละของโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	0.26	0.25	0.24	0.25a
T2	0.22	0.29	0.21	0.24a
T3	0.34	0.27	0.2	0.27a
T4	0.41	0.41	0.36	0.39b
F-Test				**
C.V. (%)				15.2

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95% โดยวิธี DMRT

6.8 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก พบว่าค่า C/N Raito ของปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.79 12.25 9.60 และ 10.55 ในตำรับทดลอง T_1 T_2 T_3 และ T_4 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 19) มีค่าลดลงจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัสดุหมักก่อนการหมัก และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร (2551) ซึ่งซึ่งกำหนดว่าค่า C/N Ratio ต้องมีค่าไม่เกิน 20 ต่อ 1 พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้จากทุกตำรับทดลองมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 19 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก

ตำรับทดลอง	ซ้ำ			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
T1	14.15	10.4	10.81	11.79
T2	11.32	12.2	13.22	12.25
T3	9.28	9.91	9.6	9.60
T4	13.51	8.7	9.44	10.55
F-Test				ns
C.V. (%)				15.6

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพการหมักขยะอินทรีย์ในบ่อคอนกรีต โดยการทำงานของจุลินทรีย์พวก Thermophilic ภายใต้ระยะเวลาในการรดน้ำที่แตกต่างกัน การทดลองนี้แบ่งเป็น 4 ตำรับทดลอง คือ ตำรับทดลองรดน้ำสัปดาห์ละครั้ง (T_1) ตำรับทดลองไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดทุกสัปดาห์ (T_2) ตำรับทดลองไม่รดน้ำสัปดาห์แรกจากนั้นรดสัปดาห์เว้นสัปดาห์ (T_3) และตำรับทดลองที่ไม่รดน้ำ (T_4) แต่ละตำรับทดลองมีการทำซ้ำ 3 บ่อหมัก รวมทั้งสิ้น 12 บ่อ การรดน้ำจะรดตามแผนที่วางไว้ ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า ในช่วง2 สัปดาห์แรกของการหมักแบคทีเรีย (*Bacillus* sp.) จะเป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่เติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่หลังจากนั้นก็ลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เนื่องจากในช่วงแรกนี้ขยะอินทรีย์มีสารประกอบพวกแป้ง น้ำตาลและโปรตีน ซึ่งสารพวกนี้แบคทีเรียจะเข้ามาย่อยสลายได้ง่ายและหมดไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามปริมาณแบคทีเรียจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการหมัก เนื่องจากมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยง่ายจากเซลล์แบคทีเรียบางส่วนที่ตายลง และจากการย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยยากโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มอื่น แต่หลังจากนั้นปริมาณแบคทีเรียก็ลดลงอีก เนื่องจากเริ่มมีจุลินทรีย์ในกลุ่มอื่นเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการแข่งขันกัน สำหรับจุลินทรีย์ในกลุ่มแอคติโนมัยซีส (*Streptomyces* sp.) และรา (*Aspergillus* sp.) นั้นในช่วงแรกของการหมักจะยังไม่เพิ่มปริมาณ จนกระทั่งสัปดาห์ที่ 3 และ 5 ของการหมักจึงมีการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งสอง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงนี้ขยะอินทรีย์จะเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและลิกนิน เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้สามารถย่อยสลายได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพแวดล้อมของกองปุ๋ยหมักเริ่มมีความเหมาะสมต่อจุลินทรีย์พวกนี้มากขึ้น เช่น มีความชื้นและความเป็นกรดน้อยลง รวมทั้งการแข่งขันในการใช้ออกซิเจนลดลงเนื่องจากแบคทีเรียมีปริมาณน้อยลง เป็นต้น

2. การรดน้ำปุ๋ยหมักในระยะเวลาต่างๆ และการไม่รดน้ำกองปุ๋ยหมักเลยไม่ทำให้ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์แตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากในตำรับการรดน้ำแบบต่างๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมักไม่แตกต่างกัน รวมทั้งการลดลงของน้ำหนักกองปุ๋ย การยุบตัวของกองปุ๋ย ปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก็ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากขยะอินทรีย์มีความชื้นสูงและการทดลองนี้ทำในช่วงฤดูฝนมีการ

สูญเสียความชื้นของกองปุ๋ยหมักช้า ทำให้กองปุ๋ยหมักมีสภาพความชื้นเหมาะต่อการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มทั้งในช่วงแรกและช่วงหลังๆของการหมัก

3. การรดน้ำกองปุ๋ยหมักโดยเฉพาะเมื่อมีการรดน้ำบ่อยมากขึ้นจะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพลดลง กล่าวคือ ปุ๋ยหมักจะมีความชื้นมากเกินไปและมีปริมาณธาตุอาหารต่ำลงโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งมีปริมาณลดต่ำลงแตกต่างจากตำรับที่ไม่มีการรดน้ำเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการที่มีปริมารธาตุอาหารต่ำลงนั้น เนื่องมาจากเกิดการชะล้างธาตุอาหารออกจากกองปุ๋ยในขณะทำการหมักและมีผลทำให้ค่าความเค็ม (EC) ของกองปุ๋ยลดลงต่างจากตำรับที่ไม่มีการรดน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของปุ๋ยหมักนั้นตำรับที่ไม่มีการรดน้ำเลยมีแนวโน้มที่จะมีค่า pH สูงกว่าตำรับที่มีการรดน้ำแต่ก็ไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก

4. จากผลการศึกษาปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์รวมทั้งสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะอินทรีย์นั้นสามารถกล่าวได้ว่าการหมักขยะอินทรีย์ในฤดูฝนไม่จำเป็นต้องมีการรดน้ำ เพราะการรดน้ำจะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้ชื้นมากเกินไปและมีคุณภาพโดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารต่ำลง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความชื้นของกองปุ๋ยหมักเพิ่มเติม เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น ประกอบการพิจารณาว่าควรจะรดน้ำกองปุ๋ยหมักหรือไม่ เพื่อให้กองปุ๋ยมีความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์

2. ควรศึกษาความชื้นของบรรยากาศควบคู่ไปด้วยเพื่อประยุกต์ข้อมูลไปใช้ในการกำหนดรูปแบบการรดน้ำในการหมักต่อไป

3. ถ้าสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะอินทรีย์ว่าประกอบด้วยสารประกอบชนิดใดบ้าง แต่ละชนิดมีสัดส่วนเท่าไร จะทำให้การประเมินกิจกรรมของจุลินทรีย์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการกำจัดมูลฝอย**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **โครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศ**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

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

กรมพัฒนาที่ดิน. 2544. **ปุ๋ยหมัก.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

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

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2541. **การจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทย.** กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2551. **การจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทย**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม.** โคราชออฟเซ็ทการพิมพ์, นครราชสีมา.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.** มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

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

ดาวรุ่ง สังข์ทอง. 2542. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการมูลฝอย**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

ถวิล ครุฑกุล. 2540. **เกษตรยั่งยืน การใช้ดิน-ปุ๋ย.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ กอประดิษฐ์กุล. 2508. **การศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ โดยเชื้อจุลินทรีย์ ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีระที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2549. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 80 น.

เทศบาลเมืองทุ่งสง. 2551. **การกำจัดขยะ**. การดำเนินงานเรื่องปัญหาขยะ. แหล่งที่มา: http://www.tungsong.com/Environment/Garbage_n/default.asp, 2 พฤศจิกายน 2551.

นฤมล วงษ์สวรรค์. 2552. **ประสิทธิภาพของการหมักขยะชุมชนด้วยการคลุกเคล้ากับดินเนื้อละเอียดภายใต้การรดน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.**

พระราชบัญญัติสาธารณสุข. 2535. **พระราชบัญญัติสาธารณะสุขควบคุมการใช้อุจจาระเป็นปุ๋ย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2497 มาตรา 4**. แหล่งที่มา: http://www.bmacpd.go.th/load_ Doc/updcp3/lownew, 16.pdf, 20 สิงหาคม 2551.

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

พิทยากร ลิ่มทอง. 2531. **อิทธิพลของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสต่อการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิไลพรรณ พงษ์พูล. 2522. **จุลชีววิทยา**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม . 2528. **เคมีดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และ อรอนงค์ ผิวนิล. 2542. **การพัฒนาเทคโนโลยีกล่องคอนกรีตเปิดและปิดฝาทำปุ๋ยหมักขยะด้วยวัสดุเสริม และการใช้ดิน เป็นตัวรับอิเล็กตรอนช่วยการย่อยสลาย, น. 10-1-10-21. *ใน* เทคโนโลยีการกำจัดขยะ แบบประหยัด และการบำบัดด้วยพืช.** โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, เพชรบุรี**.**

มัณฑนีย์ เศรษฐภักดี. 2546. **การเตรียมปุ๋ยหมักและปุ๋ยอินทรีย์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2542. **ปุ๋ยหมักและน้ำสกัดชีวภาพ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2539. **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525** . อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ.

เรียมสงวน วรรณยะลา. 2544. **ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ พิทยากร ทองลิ่ม เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2534. อัตราการย่อยสลายใบยูคาลิปตัสในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : 53-58.

วีรานุช หลาง. 2551. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

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

สุวรรณา ภูวนวิทยาคม. 2523. **แบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยเศษพืช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุจิต วิทย์คงทน. 2508. **การศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์โดยเชื้อจุลินทรีย์ตอนที่ 1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพจน์ ใช้เทียมวงศ์. 2542. **จุลชีววิทยา**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง , กรุงเทพฯ.

เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และ นวลจันทร์ ภาสดา. 2540. **ปัจจัยควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก, น. 46-58. ในการปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ**. โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

องอาจ เอี่ยมสำอางค์. 2542. **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ ผิวนิล. 2541. **การศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะชุมชนเทศบาลเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิญญา แสงสุวรรณ. 2546**. การผลิตปุ๋ยน้ำหมักจากขยะอินทรีย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรา เครือศรีสวัสดิ์ . 2528. **การศึกษาเชื้อราที่เจริญในอุณหภูมิสูงในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. **ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพ. 156 น.

เอกรินทร์ อนุกูลยุทธธน. 2543. **เทคโนโลยีการกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย**. *ใน* เอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการ เทคโนโลยีการกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ วันที่ 24-25 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ณ ห้องประชุมชั้น 7 อาคารวิทยพัฒนา มหาวิทยาลับเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

Alexander, M. 1961. **Introduction to Soil Microbiology, pp. 534-538.** ***In*** **L. Obeng (ed). Environment Sanitation Reviews.** Asian Institute of Technology, Bangkok.

_____. 1977. **Introduction to Soil Microbiology.** 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, London.

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

Briones, M.J. I. and P. Ineson. 1996. Decomposition of birch leaf litters with varying C-to-N-ratios. Soil Biol. Biochem. 27 (9) :1219-1221.

Brock, T.D. 1967. Life at High Temperature. **Science**. 158: 1012-1019.

Chang, Y. and H.K. Hudson. 1967. **The fungi of Wheat Straw Compost.** I. Ecological Studies. Trans. Brit. Mycol. Soc. 50(4): 649-666.

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

Goluck, Clarence G. 1972. **Composting ; A Study of the Process and its Principles. Emmaus.** P. 18049. Rodale Press Inc. Book Division.

Han, Y.W. and V.R. Srinivasan. 1968. **Isolation and Characterization of a Celluloseutilizing Bacteria.** Applied Microbiol. 16: 1140-1145.

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.

Metcaff and Edd, 1974. **Wastewater Engineering : Collection, Treatment, Disposal**. Tata Mc. Graw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.

Richard, T.L. and L.P. Walker. 2002. **Temperature Kinetics of Aerobic Solid-state Biodegradation.** Proceedings of the Institute of Biological Engineering, 1: A10 - A30.

Sen, S., T.K. Abraham and S.L Chakabarty. 1982. **Characteristics of the Cellulose Produced by Micellopthora Thermophila D-14.** Can J. Microbiol. 28: 271-277.

Stuetzenberger, F.J., A.J. Kaufman and R.D. Kossin. 1970. **Cellulolytic Activity in Municipal Solid Waste Composting.** Can J. Microbiol. 16: 533-560.

Stuetzenberger, F.J. 1971. **Cellulase Production by *Thermomonospora cuevata* Isolated from Municipal Solid Waste Compost.** Appl. Microbiol. 22(2): 147-152.

Updegraff, D.M. 1972. **Microbiological Aspects of Solid-waste Composting.** Develop. Ind. Microbiol. 13: 16-23.

Van, H. I., C. C. Swart and J.M. Kotze. 2002. **Microbial Chemical and Physical Aspects Citrus Waste Composting**. Biore. Technol. 81(1): 71-76.

Went, J.C. and F. Jong. 1966. **Decomposition of Cellulose in Soils**. Antonic Van. Leewenhock 32: 39-56.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_1

วันที่หมัก	ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.8×10^8	1.8×10^8	1.8×10^8	1.8×10^8	0.0
7	1.3×10^9	1.1×10^8	1.3×10^8	5.1×10^8	6.8
9	1.8×10^9	1.5×10^9	9.0×10^8	1.4×10^9	4.6
14	2.8×10^9	1.9×10^9	2.1×10^9	2.3×10^9	4.7
16	1.2×10^8	0.2×10^8	0.3×10^8	0.6×10^8	0.6
23	7.1×10^8	1.0×10^9	5.3×10^8	7.5×10^8	2.4
30	2.3×10^9	1.8×10^8	1.1×10^8	1.7×10^9	5.9
37	8.6×10^8	9.8×10^8	1.3×10^9	1.1×10^9	2.3
42	0.2×10^8	3.2×10^8	1.8×10^8	1.7×10^8	1.5

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_2

วันที่หมัก	ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	2.0×10^7	2.0×10^7	2.0×10^7	2.0×10^7	0.0
7	6.9×10^8	6.2×10^8	1.3×10^9	8.7×10^8	3.7
9	2.1×10^9	1.2×10^9	1.3×10^9	1.5×10^9	4.9
14	2.8×10^9	1.8×10^9	2.4×10^9	2.3×10^9	5.0
16	2.9×10^8	3.2×10^8	1.0×10^8	2.0×10^8	1.0
23	8.3×10^8	1.8×10^8	3.2×10^8	4.4×10^8	3.4
30	2.1×10^9	1.2×10^9	2.2×10^9	1.8×10^9	5.7
37	8.0×10^8	5.1×10^8	5.1×10^8	6.1×10^8	1.7
42	3.7×10^8	3.1×10^8	1.9×10^8	2.9×10^8	0.9

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_3

วันที่หมัก	ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.3×10^8	1.3×10^8	1.3×10^8	1.3×10^8	0.0
7	1.0×10^9	4.8×10^8	2.0×10^8	5.6×10^8	4.1
9	1.2×10^9	1.0×10^9	1.0×10^9	1.1×10^9	1.0
14	2.3×10^9	1.6×10^9	2.3×10^9	2.1×10^9	4.0
16	1.8×10^8	2.3×10^8	5.0×10^7	1.5×10^8	0.9
23	5.6×10^8	7.3×10^8	2.1×10^8	5.0×10^8	2.7
30	1.1×10^8	1.3×10^8	3.2×10^8	1.9×10^8	1.2
37	1.0×10^7	3.2×10^8	1.0×10^7	1.1×10^8	1.8
42	1.0×10^7	2.8×10^8	2.3×10^8	1.7×10^8	1.4

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียของตำรับทดลอง T_4

วันที่หมัก	ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.5×10^8	1.5×10^8	1.5×10^8	1.5×10^8	0.0
7	8.0×10^8	1.3×10^8	1.0×10^8	3.4×10^8	4.0
9	1.1×10^9	1.3×10^9	1.3×10^9	1.2×10^8	1.1
14	2.1×10^9	1.6×10^9	1.3×10^9	1.7×10^9	4.1
16	1.0×10^7	1.0×10^7	1.9×10^8	7.0×10^7	1.0
23	8.0×10^8	1.3×10^9	1.3×10^9	1.1×10^9	3.0
30	8.0×10^8	2.3×10^8	1.0×10^9	6.8×10^8	4.0
37	4.2×10^8	1.3×10^8	2.0×10^7	1.9×10^8	2.1
42	1.0×10^7	1.0×10^7	3.0×10^7	2.0×10^7	0.1

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_1

วันที่หมัก	ปริมาณแอคติโนมัยซีส(CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.3×10^2	1.3×10^2	1.3×10^2	1.3×10^2	0.0
7	1.0×10^2	1.4×10^2	1.1×10^2	1.2×10^2	0.2
9	1.0×10^2	1.1×10^2	1.4×10^2	1.2×10^2	0.2
14	1.1×10^2	1.2×10^2	2.1×10^2	1.5×10^2	0.6
16	1.0×10^2	1.8×10^2	1.3×10^2	1.4×10^2	0.4
23	1.6×10^3	1.8×10^3	1.4×10^3	1.6×10^3	2.0
30	2.0×10^3	1.6×10^3	1.7×10^3	1.8×10^3	2.1
37	2.0×10^3	2.0×10^3	1.9×10^3	2.0×10^3	0.6
42	2.3×10^3	1.7×10^3	1.9×10^3	2.0×10^3	3.1

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_2

วันที่หมัก	ปริมาณแอคติโนมัยซีส (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.20×10^2	1.2×10^2	1.2×10^2	1.2×10^2	0.0
7	1.1×10^2	1.2×10^2	1.2×10^2	1.2×10^2	0.1
9	3.0×10^2	1.0×10^3	2.3×10^2	5.1×10^2	4.3
14	1.0×10^2	0	1.0×10^2	6.7×10^1	0.6
16	1.2×10^2	1.1×10^2	1.1×10^2	1.1×10^2	0.1
23	1.4×10^3	2.2×10^3	1.7×10^3	1.8×10^3	4.0
30	2.1×10^3	2.2×10^3	2.3×10^3	2.2×10^3	1.0
37	2.1×10^3	2.5×10^3	2.5×10^3	2.4×10^3	2.3
42	2.0×10^3	1.4×10^3	1.6×10^3	1.7×10^3	3.1

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_3

วันที่หมัก	ปริมาณแอคติโนมัยซีส (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.3×10^2	1.3×10^2	1.3×10^2	1.3×10^2	0.0
7	1.1×10^2	2.5×10^2	1.2×10^2	1.6×10^2	0.8
9	1.2×10^2	1.9×10^2	1.3×10^2	1.5×10^2	0.4
14	1.2×10^2	1.0×10^2	1.3×10^2	1.2×10^2	0.2
16	1.6×10^2	1.9×10^2	2.1×10^2	1.9×10^2	0.3
23	2.6×10^3	2.1×10^3	1.6×10^3	2.1×10^3	5.0
30	2.7×10^3	2.9×10^3	2.0×10^3	2.5×10^3	4.7
37	$30. \times 10^3$	2.5×10^3	1.7×10^3	2.4×10^3	6.6
42	2.6×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	2.3×10^3	2.9

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณแอคติโนมัยซีสของตำรับทดลอง T_4

วันที่หมัก	ปริมาณแอคติโนมัยซีส (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.4×10^1	1.4×10^1	1.4×10^1	1.4×10^1	0.0
7	1.2×10^2	1.2×10^2	1.3×10^2	1.2×10^2	0.1
9	1.4×10^2	1.3×10^2	1.9×10^2	1.5×10^2	0.3
14	8.6×10^2	1.0×10^3	1.2×10^2	6.6×10^2	4.7
16	3.1×10^2	2.2×10^2	1.2×10^2	2.2×10^2	1.0
23	2.0×10^3	1.8×10^3	2.2×10^3	2.0×10^3	2.0
30	2.3	2.2×10^3	2.6×10^3	2.4×10^3	2.1
37	2.3×10^3	1.4×10^3	2.2×10^3	2.0×10^3	4.9
42	2.0×10^3	1.1×10^3	1.2×10^3	1.4×10^3	4.9

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณราของตำรับทดลอง T_1

วันที่หมัก	ปริมาณรา (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	5.5×10^5	5.5×10^5	5.5×10^5	5.5×10^5	0.0
7	8.0×10^3	1.8×10^4	1.5×10^4	1.4×10^4	0.1
9	9.0×10^5	1.2×10^4	3.0×10^5	4.0×10^5	4.5
14	8.0×10^4	1.2×10^4	4.9×10^4	4.7×10^4	0.3
16	4.0×10^4	3.4×10^4	7.0×10^4	4.8×10^4	0.2
23	1.4×10^5	3.5×10^6	3.4×10^5	1.3×10^6	18.8
30	1.7×10^6	2.3×10^6	1.2×10^6	1.7×10^6	5.5
37	8.1×10^6	1.1×10^7	8.6×10^6	9.2×10^6	15.5
42	8.2×10^6	1.0×10^7	7.6×10^6	8.6×10^6	12.5

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณราของตำรับทดลอง T_2

วันที่หมัก	ปริมาณรา (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	6.3×10^5	6.3×10^5	6.3×10^5	6.3×10^5	0.0
7	9.8×10^4	3.0×10^3	7.0×10^3	3.6×10^4	0.5
9	2.7×10^6	1.2×10^3	2.0×10^3	9.0×10^5	15.6
14	1.2×10^6	2.1×10^6	2.6×10^6	2.0×10^6	7.1
16	7.0×10^4	2.3×10^3	3.0×10^4	3.4×10^4	0.3
23	2.3×10^5	3.6×10^6	1.6×10^5	1.3×10^6	19.7
30	3.1×10^6	2.1×10^5	1.3×10^6	1.5×10^6	14.6
37	1.6×10^7	1.2×10^7	1.3×10^7	1.4×10^7	20.8
42	1.2×10^7	1.7×10^7	1.2×10^7	1.4×10^7	31.2

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณราของตำรับทดลอง T_3

วันที่หมัก	ปริมาณรา (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.8×10^3	1.8×10^3	1.8×10^3	2.0×10^3	0.0
7	3.0×10^3	9.0×10^3	1.0×10^3	3.1×10^4	0.5
9	2.8×10^6	2.3×10^6	2.3×10^5	1.8×10^6	13.6
14	6.0×10^6	5.0×10^6	5.2×10^6	5.4×10^6	5.2
16	1.1×10^6	1.3×10^4	4.0×10^4	3.8×10^5	6.2
23	4.3×10^6	4.6×10^5	4.5×10^5	1.7×10^6	22.2
30	3.3×10^6	3.7×10^6	3.2×10^5	2.4×10^6	18.5
37	1.2×10^7	7.2×10^6	8.3×10^6	9.2×10^6	25.2
42	1.7×10^7	1.6×10^7	1.4×10^7	1.6×10^7	14.5

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณราของตำรับทดลอง T_4

วันที่หมัก	ปริมาณรา (CFU/g)			เฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
	1	2	3		
0	1.2×10^3	1.2×10^3	1.2×10^3	1.2×10^3	0.0
7	5.0×10^3	8.0×10^3	1.8×10^3	6.4×10^4	1.0
9	3.6×10^4	1.7×10^4	3.8×10^6	1.3×10^6	21.8
14	1.1×10^4	8.0×10^5	1.3×10^6	7.0×10^5	6.5
16	7.0×10^4	9.0×10^3	8.0×10^4	5.3×10^4	0.4
23	1.8×10^5	1.7×10^4	1.4×10^5	1.1×10^5	0.8
30	1.9×10^6	1.3×10^6	1.1×10^6	1.4×10^6	4.2
37	2.2×10^7	1.5×10^7	1.8×10^7	1.8×10^7	35.1
42	2.1×10^7	2.5×10^7	1.8×10^7	2.1×10^7	35.1

ตารางผนวกที่ 13 คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก

ตำรับ	ซ้ำ	pH	E.C.	O.M.	O.C.	N	P	K	% ความชื้น	C/N ratio
T1	1	7.3	0.52	25.37	14.75	1.04	0.21	0.26	63.93	14.15
T1	2	7.3	0.5	26.17	15.22	1.46	0.14	0.25	55.03	10.40
T1	3	7.2	0.38	24.61	14.31	1.32	0.25	0.24	53.84	10.81
T2	1	7.2	0.48	23.99	13.95	1.23	0.16	0.22	56.25	11.32
T2	2	7.3	0.5	24.19	14.06	1.15	0.09	0.29	51.51	12.20
T2	3	7.1	0.4	25.29	14.70	1.11	0.13	0.21	44.92	13.22
T3	1	7.1	0.64	24.79	14.41	1.55	0.13	0.34	50.37	9.28
T3	2	7.6	0.49	23.42	13.62	1.37	0.16	0.27	44.92	9.91
T3	3	7.4	0.47	25.65	14.91	1.55	0.21	0.2	49.25	9.60
T4	1	7.5	0.8	24.46	14.22	1.05	0.21	0.41	38.88	13.51
T4	2	7.2	0.85	27.46	15.97	1.83	0.2	0.41	44.92	8.70
T4	3	9.2	0.72	27.83	16.18	1.71	0.21	0.36	11.11	9.44

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในดิน

ชนิดธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง)
มหธาตุ :	
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 (2536)

ตารางผนวกที่ 15 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

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 16 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร

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
ปริมาณ NaCl	ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
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	นางสาวพีรดา พงษ์ทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 มิถุนายน 2527
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ