



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย
และผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

Chemical and Physical Properties Changes of Sugarcane Filter Cake During
Decomposition and Their Effects on the Quality of Organic Fertilizer Pellets

นามผู้วิจัย นางสาวปรารถนา ปลอดดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธงชัย มาลา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยสิทธิ์ ทองจู, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย
และผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

Chemical and Physical Properties Changes of Sugarcane Filter Cake During Decomposition and
Their Effects on the Quality of Organic Fertilizer Pellets

โดย

นางสาวปรารถนา ปลอดดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2552

ปรารภณา ปลอดดี 2552: การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดยูอินทรีย์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ธงชัย มาลา, Ph.D. 76 หน้า

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดยูอินทรีย์ ประกอบด้วย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของยูอินทรีย์จากกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 6 ดำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละดำรับมีส่วนผสม ดังนี้ 1) กากตะกอนอ้อย (FC) 2) กากตะกอนอ้อย+แคลเซียมซัลเฟต (FC+CS) 3) กากตะกอนอ้อย+ยูเรีย (FC+U) 4) กากตะกอนอ้อย+แอมโมเนียมซัลเฟต (FC+AS) 5) กากตะกอนอ้อย+ยูเรีย+แอมโมเนียมซัลเฟต (FC+U+AS) และ 6) กากตะกอนอ้อย+ยูเรีย+แอมโมเนียมซัลเฟต+แคลเซียมซัลเฟต (FC+U+AS+CS) ผลการทดลองพบว่า ดำรับ FC+U+AS+CS และ FC+U+AS สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายใน 6 สัปดาห์ และทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนอ้อยดีที่สุด คือ มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ C:N ratio อยู่ในช่วงไม่เกิน 20:1 ค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของยูอินทรีย์ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยในโตรเจนในรูปของยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟตจะส่งเสริมให้การย่อยสลายกากตะกอนอ้อยให้ได้ปุ๋ยหมักเร็วขึ้น แต่ในดำรับที่มีการใส่ยูเรียจะมีการสูญเสียไนโตรเจนมากกว่าดำรับที่มีการใส่แอมโมเนียมซัลเฟต การทดลองที่ 2 ศึกษาคุณภาพของยูอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนอ้อยที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบ 5×6 factorial in CRD มี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 เป็นระยะเวลาในการหมัก (0, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์) ปัจจัยที่ 2 เป็นปุ๋ยหมักจากกากตะกอนอ้อยที่มีส่วนผสมแตกต่างกันจากการทดลองที่ 1 โดยนำวัตถุดิบที่ได้มาปั้นเม็ดผสมกับสารจับเม็ดปุ๋ยนำมาปั้นเม็ดปุ๋ยด้วยจานปั้นเม็ดแล้วผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยในโตรเจนในรูปของยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้สมบัติทางเคมีของยูอินทรีย์ชนิดเม็ดดีขึ้น และการใส่แคลเซียมซัลเฟตใช้ระยะเวลาการขึ้นเม็ดย่นลง และมีความแข็งของยูอินทรีย์ชนิดเม็ดมากขึ้น โดยวัสดุ FC+U+AS+CS มีคุณภาพของยูอินทรีย์ชนิดเม็ดดีที่สุด และใช้ระยะเวลาการหมัก 6 สัปดาห์ที่ส่งผลให้การขึ้นเม็ด การยู่ ความแข็ง และความหนาแน่นรวมของยูอินทรีย์ชนิดเม็ดดีที่สุด และมีปริมาณธาตุอาหาร C:N ratio ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยูอินทรีย์

Prattana Ploddee 2009: Chemical and Physical Properties Changes of Sugarcane Filter Cake During Decomposition and Their Effects on the Quality of Organic Fertilizer Pellets. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Mala, Ph.D. 76 pages.

Chemical and physical properties changes of sugarcane filter cake during decomposition and their effects on the quality of organic fertilizer pellets consisted 2 experiments. Experiment 1, changes of chemical and physical properties of organic fertilizer was organized as completely randomized design with 3 replications. Six treatments of various mixtures of filter cake were 1) filter cake (FC), 2) filter cake + calcium sulfate (FC+CS), 3) filter cake + urea (FC+U), 4) filter cake + ammonium sulfate (FC+AS), 5) filter cake + urea + ammonium sulfate (FC+U+AS) and 6) filter cake + urea + ammonium sulfate + calcium sulfate (FC+U+AS+CS). The result revealed that treatments FC+U+AS+CS and FC+U+AS decomposed completely within 6 weeks and the chemical and physical properties of organic fertilizer showed had the highest quality. The temperature of the compost pile of both treatments were the same as ambient atmosphere while, the C/N ratio ($< 20:1$), the pH and electrical conductivity was in the standard range of organic fertilizer. The application of urea and ammonium sulfate enhanced the decomposition of the filter cake, but, the nitrogen loss from urea treated material was higher than that of ammonium sulfate application one. For experiment 2, the study on the quality of pellet organic fertilizer production from sugarcane filter cake with various added mixtures was arranged into 5×6 factorial in completely randomized design with 3 replications. Factor 1 was decomposition intervals times (0, 2, 4, 6 and 8 weeks). Factor 2 was various mixtures of compost previously assigned in experiment one. Every treatment, with binder, was granulated in a pan-granulator. The result revealed that application of urea and ammonium sulfate enhanced chemical properties of organic fertilizer pellets. Calcium sulfate application decreased time of granulation and increased pellets strength. Material FC+U+AS+CS showed dominant chemical properties of organic fertilizer pellets than others. The sugarcane filter cake decomposed within 6 weeks while, the granulation period, pellet dissolving, strength and bulk density acquired the highest quality. The nutrient content, the C:N ratio, pH and electrical conductivity were in the standard range of organic fertilizer.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มาลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิทธิ์ ทองจู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศุภชัย อำคา ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และดร. วิสุทธิ์ วีรสาร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาปรัชญาพิทยาทาทานที่ได้อบรมสั่งสอนทั้งด้านวิชาการ และการดำเนินชีวิต ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาปรัชญาพิทยาทาทาน พี่ๆ น้องๆ บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาปรัชญาพิทยาทาทานที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดีในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนเรศ คุณแม่ลำอังก์ ปลอดดี ซึ่งเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดของข้าพเจ้าที่ทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจ และสามารถฝ่าฟันอุปสรรคนานาประการมาได้ ขอขอบคุณพี่สาว และน้องชาย ที่สนับสนุน และคอยเป็นกำลังใจให้เป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ อีกหลายคน ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ปรารธนา ปลอดดี

สิงหาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	27
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุป	55
ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	65
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณสารที่ใส่ในกากตะกอนอ้อยก่อนการกองปุ๋ยหมัก	20
2	เวลาการขึ้นเมล็ดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นาทีก)	40
3	เวลาการอยู่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นาทีก)	41
4	ความแข็งของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นิวตัน)	43
5	ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (g cm^{-3})	44
6	ค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	46
7	ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (dS m^{-1})	47
8	ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (%)	48
9	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน	50
10	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (%)	51
11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน ($\% \text{P}_2\text{O}_5$)	52
12	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน ($\% \text{K}_2\text{O}$)	53
ตารางผนวกที่		
1	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารของกากตะกอนอ้อย	66
2	อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (องศาเซลเซียส)	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
3 ปริมาณวัสดุอินทรีย์ขนาดต่างๆ ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน	68
4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (%)	69
5 ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (mg kg ⁻¹)	69
6 ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรตในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (mg kg ⁻¹)	70
7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (% P ₂ O ₅)	70
8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (% P ₂ O ₅)	71
9 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (% K ₂ O)	71
10 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (% K ₂ O)	72
11 ค่า pH ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน	72
12 ค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (dS m ⁻¹)	73
13 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (%)	73
14 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน	74
15 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551	75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อุณหภูมิของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	28
2	ปริมาณวัสดุอินทรีย์ ขนาด > 2 มม. (ก), 1-2 มม. (ข), 0.5-1 มม. (ค), < 0.5 มม. (ง) ในระหว่างการย่อยสลาย	29
3	ปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	29
4	ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	30
5	ปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อย สลาย	31
6	ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรตของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	31
7	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	32
8	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	33
9	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	34
10	ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	35
11	ค่า pH ของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	36
12	ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	36
13	ปริมาณอินทรีย์วัตถุของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	38
14	ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย	38

**การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่าง
การย่อยสลายและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์**

**Chemical and Physical Properties Changes of Sugarcane Filter Cake During
Decomposition and Their Effects on the Quality of Organic Fertilizer Pellets**

คำนำ

ในอดีตมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์กันมากเพราะสามารถหาได้ง่าย และการใช้ปุ๋ยเคมียังไม่แพร่หลายนัก ต่อมามีการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ และมีการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืช เกษตรกรจึงหันมาใช้ปุ๋ยเคมีกันมากขึ้น แต่เนื่องด้วยสถานะวิกฤติเศรษฐกิจในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบกับราคาสินค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งราคาของปุ๋ยเคมีที่เพิ่มสูงขึ้นมากในขณะที่ราคาของสินค้าทางการเกษตรกลับปรับตัวสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหา การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการลดปริมาณหรือทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้ ประกอบกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถช่วยฟื้นฟู และปรับปรุงสภาพดิน เพื่อการเพาะปลูกของประเทศไทยที่เสื่อมโทรม และขาดความอุดมสมบูรณ์เนื่องจากใช้สารเคมีเป็นเวลานานให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชมาใช้เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรให้ต่ำลง และยังเป็นการแก้ปัญหากำจัดวัสดุเหลือใช้จากโรงงานได้ รวมทั้งช่วยลดมลพิษที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

วัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้ คือ กากตะกอนอ้อย (filter cake) ที่ได้จากโรงงานน้ำตาลซึ่งจากการผลิตน้ำตาลทั่วโลกมีประมาณ 100 ล้านตัน ในปี 2002 จากต้นอ้อยกว่า 130 ประเทศ (FAO, 2003) ในประเทศไทยมีโรงงานหีบน้ำตาลประมาณ 47 โรงงาน และมีกากตะกอนอ้อย ปริมาณ 604,658 ตันต่อปี (ธงชัย, 2546) นอกจากนี้กากตะกอนอ้อยยังมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช โดยมีไนโตรเจนทั้งหมด $1.8 (\pm 0.02) \%$ ฟอสฟอรัสทั้งหมด $0.96 (\pm 0.3) \%$ โพแทสเซียมทั้งหมด $0.93 (\pm 0.2) \%$ (Meunchang *et al.*, 2004) แต่ในการนำวัสดุอินทรีย์มาใช้ประโยชน์จะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เสียก่อนจึงจะเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้กระบวนการย่อยสลายยังช่วยเพิ่มคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการพัฒนาคุณภาพและรูปแบบของปุ๋ยอินทรีย์ให้มีความสะดวกในการใช้ และมีประสิทธิภาพในการเพาะปลูก

ทัดเทียมหรือดีกว่าปุ๋ยเคมี นั่นคือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดซึ่งกำลังเป็นที่นิยม และต้องการของเกษตรกร เพราะมีราคาถูก เกษตรกรสามารถทำได้เอง โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีในท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงนำกากตะกอนอ้อยมาหมักโดยการใส่เชื้อเร่ง และปุ๋ยเคมีเพื่อช่วยเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มคุณค่าทางด้านธาตุอาหาร และคุณภาพของวัสดุอินทรีย์เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยชนิดเม็ดที่มีคุณภาพ

ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีการนำเอาวัสดุอินทรีย์หลายชนิดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เพื่อใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการปลูกพืชแต่ยังไม่มียางงานการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยชนิดเม็ดที่มีคุณภาพ ดังนั้นในการการศึกษากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยชนิดเม็ดจึงมีความจำเป็นเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่มีคุณภาพต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายเพื่อการพัฒนาเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ
2. ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป้อนจากกากตะกอนอ้อยที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

1. ศักยภาพของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการเกษตร

วัสดุอินทรีย์ (organic materials) หมายถึง สารประกอบจำพวกสารอินทรีย์จากเศษซากเหลือจากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ มีทั้งอยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง และของเหลว เมื่อวัสดุอินทรีย์สลายตัวจะได้สารต่างๆ มากมาย มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่มีศักยภาพทางการเกษตร โดยเฉพาะในด้านการปรับปรุงบำรุงดิน โดยทั่วไปวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ปรับปรุงบำรุงดินนั้น สามารถปรับปรุงดินในทุกๆ ด้าน คือ ปรับปรุงทั้งด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน (ธงชัย, 2546) ในการปลดปล่อยธาตุอาหารของวัสดุอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจะเป็นอัตราที่ช้า และสม่ำเสมออย่างมาก จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ก่อให้เกิดการเป็นพิษต่อพืช Chanchareonsook *et al.* (1985) ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ปรับปรุงดินต่าง พบว่า แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, GML1, GML2, ฮิวมัส และมูลไก่เพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินนาอย่างเด่นชัด นอกจากนี้ยังพบลักษณะการปลดปล่อยไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ 4 ชนิดที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยในโตรเจนในดินนาเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีในโตรเจน พบว่า ลักษณะการปลดปล่อยไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด มีอัตราการปลดปล่อยที่ช้ากว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยยูเรีย

นอกจากนี้วัสดุอินทรีย์ยังมีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่ต่ำ และสลายตัวให้ฮิวมัสซึ่งมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงมักปรากฏผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินในลักษณะเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น เนื่องจากในวัสดุอินทรีย์มีสารที่มีตำแหน่งของการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในปริมาณสูงมาก จึงช่วยเจือจางความเข้มข้นของไอออนที่อยู่บริเวณรอบๆ และควบคุมปฏิกิริยาเคมีในดินให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงไปอย่างฉับพลัน จึงช่วยให้พืชเจริญเติบโตสม่ำเสมอดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จากการศึกษาของ ถนัด (2533) เปรียบเทียบการใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ กากละหุ่ง กากตะกอนน้ำเสีย กากตะกอนอ้อย ฮิวมัส และปุ๋ยมูลไก่เป็นปุ๋ยสำหรับข้าวโพดที่ปลูกบนชุดดินปากช่อง พบว่าการใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้เหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ต่างกัน คือ กากตะกอนอ้อย และมูลไก่ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ฮิวมัส และกากละหุ่ง ทำให้ pH ลดลงและการใช้กากตะกอนน้ำเสียไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน นอกจากนั้นการใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้ยังมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่างกัน คือ ฮิวมัสมากกว่าปุ๋ยมูลไก่ กากละหุ่ง และกากตะกอนน้ำเสียมากกว่ากากตะกอนอ้อย และนอกจากนี้วัสดุอินทรีย์ยังช่วยส่งเสริมสมบัติทางฟิสิกส์ของดินให้ดีขึ้นอีกด้วย

จากการทดลองของ (Celik *et al.*, 2004) พบว่าการใส่ไมคอร์ไรซาร่วมกับวัสดุอินทรีย์ทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้อย่างต่อเนื่องทำให้ความหนาแน่นรวม (bulk density) และความแข็ง (hardness) ลดลงแต่การเกิดเม็ดดิน (aggregation) ความพรุน (porosity) และการถ่ายเทอากาศ (aeration) เพิ่มขึ้น และ Jung and Yang (2000) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 1600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เป็นเวลา 5 ปี ต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกทำให้ความหนาแน่นร่วนน้อยกว่าการใช้ปุ๋ย NPK โดยมีความหนาแน่นรวม 1.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนความพรุน การถ่ายเทอากาศ และการเกิดเม็ดดินเพิ่มขึ้นโดยมีค่า 54 %, 0.41 เซนติเมตรต่อวินาที และ 45.6 % ตามลำดับ

จากผลการศึกษาถึงศักยภาพของวัสดุอินทรีย์ในงานทดลองต่างๆ พบว่า วัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดมีลักษณะ องค์ประกอบ ปริมาณ และคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เฉพาะพวกที่ปรับปรุงบำรุงดินได้อย่างปลอดภัยนั้นอาจแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ 4 ประเภทคือ 1) ปุ๋ยอินทรีย์ 2) วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม 3) วัสดุเหลือทิ้งจากไร่ นา และ 4) เศษวัชพืชต่างๆ ซึ่งวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาจัดอยู่ในประเภทที่ 2 คือ กากตะกอนอ้อยจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

2. สมบัติบางประการ และผลของการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากกากตะกอนอ้อย

วัสดุอินทรีย์เหลือใช้แต่ละชนิดมีสมบัติ และองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามประเภท และขั้นตอนการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังนั้นสิ่งสำคัญในการพิจารณานำเอาเศษเหลือจากวัสดุอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร คือ สมบัติทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนัก (heavy metal) ที่มีอยู่ในวัสดุเหลือใช้นั้น ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกใช้กากตะกอนอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลในขั้นตอนการทำความสะอาด (clarification) น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยโดยใส่ปูนหรือสารช่วยตกตะกอนบางชนิดแล้วทำให้สิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำอ้อยตกตะกอน (Barnes, 1964) กากตะกอนอ้อย ประกอบด้วยสารแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุที่กระจายในน้ำอ้อยรวมอยู่กับประจุลบของอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สาร ซึ่งตกตะกอนแยกออกมา อีกทั้งมีฟอสฟอรัสประมาณ 80-90 % ในน้ำอ้อยจะทำปฏิกิริยากับปูน และตกตะกอนในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Mauric, 1969) องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนอ้อยแตกต่างกันไปตามกระบวนการทำความสะอาดของน้ำอ้อยและคุณสมบัติของอ้อยเอง ด้วย (Barnes, 1964) ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลประมาณ 47 โรงงานในแต่ละปีมีกากตะกอนน้ำตาลอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาลต่างๆ ทั่วประเทศประมาณ 604,658 ตัน (ธงชัย, 2546) ในการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากกากตะกอนอ้อยมาใช้นั้นได้

มีงานการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในหลายด้าน เช่น การนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุปรับปรุงดิน และการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ ดังนี้

สรสิทธิ์ และคณะ (2538) ศึกษาผลพลอยได้จากเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ในการเป็นปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนอ้อยมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ มีไนโตรเจน 1.9 % ฟอสฟอรัส 4.4 % และโพแทสเซียม 0.53 % โดยน้ำหนัก จากคุณสมบัติทางด้านปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนอ้อยที่มีอยู่นี้จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำกากตะกอนอ้อยมาใช้ประโยชน์เพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตให้แก่พืช

จามิกร (2537) ทดลองนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ โรงงานสุรา และกากตะกอนอ้อย จากโรงงานน้ำตาล อัตรา 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไนโตรเจน เพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับข้าว พบว่า กากตะกอนน้ำเสีย และกากตะกอนอ้อย สามารถทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่าควบคุม จากการศึกษากของ กุลวดี (2533) ถึงการนำอินทรีย์วัสดุเหลือใช้มาทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในแง่ปุ๋ยกับข้าวที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งสามารถเรียงลำดับได้ คือ กากละหุ่งมากกว่าหรือเท่ากับมูลสุกร, ปุ๋ยเคมีมากกว่ากากตะกอนน้ำเสีย กากตะกอนน้ำเสียมากกว่าหรือเท่ากับฮิวมัส, กากตะกอนอ้อยมากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ย และการใส่วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ในอัตราสูงทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อใส่ในอัตราต่ำ

นอกจากกากตะกอนอ้อยจะช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโต และผลผลิตแล้วกากตะกอนอ้อยยังมีความสมบัตินี้สามารถใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสได้อีกด้วย จงรักษ์ และคณะ (2531) ศึกษาประสิทธิภาพของกากตะกอนอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาลในการใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับพืชที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด พบว่ากากตะกอนอ้อยเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้อย่างเด่นชัด โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแบบโมเนียมซัลเฟต กากตะกอนอ้อยน่าจะใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัส สำหรับพืชที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดในสภาพดินไร่ได้ วลัยย์ (2533) ศึกษาประสิทธิภาพของ Glutamic Mother Liquor (GML) กากละหุ่ง และกากตะกอนอ้อยซึ่ง เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินนาชุดดินมโนรมย์และชุดดินร้อยเอ็ด พบว่า GML และกากละหุ่งสามารถใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวที่ปลูกในดินนาชุดดินมโนรมย์และชุดดินร้อยเอ็ดได้ ส่วนกากตะกอนอ้อยสามารถใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินมโนรมย์ และชุดดินร้อยเอ็ดได้นอกจากนี้ GML และกากละหุ่งสามารถใช้ร่วมกับกากตะกอนอ้อยเป็นปุ๋ย

ไนโตรเจน และปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินนาชุดดินมโนรมย์และชุดดินร้อยเอ็ดได้ ปีทมา (2533) ศึกษาถึงการให้ GML ร่วมกับกากตะกอนอ้อย และชีวมีตร่วมกับกากตะกอนอ้อย เป็นปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด ผลการทดลองสรุปได้ว่า กากตะกอนอ้อยสามารถใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวในดินเปรี้ยวจัดได้ และจากการศึกษาของ Panichsakpatana *et al.* (1985) พบว่าผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินนาชุดดินรังสิต และชุดร้อยเอ็ดที่ ใส่กากตะกอนอ้อยต่ำกว่าที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนมากแต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูก ในดินนาชุดรังสิตที่ใส่กากตะกอนอ้อยจะสูงอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากกากตะกอนอ้อยจะมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทดแทนหรือลดปริมาณการใช้ ปุ๋ยเคมีลงได้แล้ว ในการใช้กากตะกอนอ้อยยังมีผลพลอยได้จากการใช้กากตะกอนอ้อยเป็นปุ๋ย อินทรีย์ด้วย นั่นคือ การใช้เป็นกากตะกอนอ้อยเป็นวัสดุปรับปรุงดิน Chanchareonsook *et al.* (1985) ทดลองใช้กากตะกอนอ้อยเป็นปุ๋ยไนโตรเจนในดินนาชุดรังสิต ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัด พบว่า กากตะกอนอ้อยปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาช้า และปริมาณไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาต่ำ กว่าปุ๋ยเคมีไนโตรเจนมาก แต่กากตะกอนอ้อยสามารถยกระดับ pH ของดินรังสิตอย่างเด่นชัด และ สุริยา (2531) วิเคราะห์ดินนาชุดดินรังสิต และชุดดินร้อยเอ็ด เมื่อใส่กากละหุ่ง กากตะกอนน้ำเสีย กากตะกอนอ้อย และปุ๋ยหมักฟางข้าว ติดต่อกัน 3 ฤดูปลูก พบว่าดินที่ได้รับอินทรีย์วัตถุเหลือใช้ ดังกล่าวมีค่าการนำไฟฟ้า และค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น และนอกจากนั้นปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการนำกากตะกอนอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเพื่อ ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยุพิน (2544) วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์) ในปุ๋ยหมักกากตะกอนอ้อยที่ หมักโดยการกองกลางแจ้ง เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ หลังหมัก 45 วันและ 60 วันพบว่าหลังหมัก 45 วัน ปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.37-0.51 %, 0.10-0.25 % และ 0.13-0.18 % ตามลำดับ หลังหมัก 60 วัน ปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่า อยู่ระหว่าง 0.35-0.53 %, 0.27-0.37 % และ 0.15-0.18 % ตามลำดับ และการใช้กากตะกอนอ้อย ร่วมกับวัสดุอินทรีย์อื่นยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักเพิ่มมากขึ้นด้วย จากการศึกษาของ Meunchang *et al.* (2004) ถึงผลของการหมักร่วมกันของกากตะกอนอ้อย และกากขานอ้อย พบว่า การหมักที่อัตราส่วน 2:1 ทำให้ C:N ratio ลดลงทำให้ลดการสูญเสียไนโตรเจนระหว่างการหมัก หลังจาก 15-20 วัน อุณหภูมิอยู่ในระยะ thermophilic แล้วเพิ่มสูงขึ้น และลดลงเมื่อใกล้ 80 วัน การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็วประมาณ 40 วันหลังจากนั้นจะไม่เกิดการ

เปลี่ยนแปลง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักอยู่ที่ 90 วัน ที่ทำให้ C:N ratio คงที่ ไม่มีความร้อน และมีดัชนีการงอกมากกว่า 80 % การหมักร่วมกันของกากตะกอนอ้อย และกากขานอ้อยช่วยรักษาไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก และมีความเป็นไปได้สำหรับใช้ในการผลิตพืช

3. กระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

การนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่างๆ เช่น ชากพืช ชากสัตว์ และมูลสัตว์มาหมักรวมกันให้สลายตัวผู้พังตามธรรมชาติ โดยปรับสภาพของวัสดุอินทรีย์ให้มีความชื้นเหมาะสม และการถ่ายเทอากาศดีแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนวัสดุอินทรีย์เหล่านั้นแปรสภาพเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก และมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง กระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นโดยกลุ่มของประชากรจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ทั้งแบคทีเรีย รา และ แอคติโนมัยซีต ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนหลักที่พบในพืชชั้นสูง และเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ (Alexander, 1977) เซลลูโลสเป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช มีอยู่ประมาณ 15-60 % น้ำหนักแห้งของพืช (Maier *et al.*, 2000) ดังนั้นในกระบวนการย่อยสลายจึงต้องอาศัยบทบาทของจุลินทรีย์เพื่อการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพ

3.1 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการย่อยสลาย แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลาย แบ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลายออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ (Kutzner, 2000)

1. ระยะแรก แบคทีเรีย และราที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วย่อยสลายสารที่ย่อยง่ายต่างๆ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 45 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิขนาดนี้ กิจกรรมของจุลินทรีย์พวกนี้จะหยุดลง vegetative cell ของแบคทีเรีย และเส้นใยจะตายมีเพียงพวกสปอร์ที่ทนความร้อนเหลืออยู่เท่านั้น

2. ระยะที่สอง เป็นระยะที่อุณหภูมิสูง พวกแบคทีเรีย แอคทีโนไมซีตและราบางชนิดที่ชอบอุณหภูมิสูงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์พวกนี้อยู่ระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส และกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกนี้จะสิ้นสุดลงเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 70-80 องศาเซลเซียส

3. ระยะที่สาม เป็นช่วงที่คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพราะปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์กับความร้อนที่ระบายออกสมดุลกันประชากรจุลินทรีย์ที่ยังคงอยู่ยังเป็นพวกแบคทีเรีย แอคทีโนไมซีต และราที่ชอบอุณหภูมิสูง

4. ระยะที่สี่ อุณหภูมิจะลดลงเป็นอุณหภูมิปานกลาง และลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิภายนอกเป็นระยะที่กระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ เติบโตเต็มที่ (maturation phase) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมিপานกลางที่รอดชีวิตมาจากช่วงที่อุณหภูมิสูง หรือพวกที่เจริญอยู่รอบนอกกลับเข้ามา มีบทบาทในการย่อยสลายอีกครั้ง

นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเชื้อโรคได้ ส่วนอุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส อัตราการย่อยสลายของอินทรีย์สารจะมีค่าสูงสุดขณะที่อุณหภูมิระหว่าง 35-45 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์จะมีความหลากหลายสูงสุด (Stentiford, 1996) จากการศึกษาของ Tiquia *et al.* (2002) พบว่าจำนวนของ aerobic heterotrophs แอคทีโนไมซีต และเชื้อราจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเริ่มสูงถึง 70 องศาเซลเซียส

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลาย

กระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Kutzner, 2000; Krogmann and Korner, 2000) ดังนี้

3.2.1 คาร์บอนไนโตรเจน และสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน

ในวัสดุอินทรีย์ส่วนใหญ่มีสารประกอบคาร์บอนที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งของคาร์บอนในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์มีปริมาณมากจนเกินความจำเป็น ขณะที่สารประกอบไนโตรเจนซึ่งจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์สารพวกโปรตีน และกรด

นิวคลีอิกมีค่อนข้างน้อย ในโตรเจนจึงเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อความยากหรือง่ายของการย่อยสลาย Martins and Dewes (1992) กล่าวว่า ถ้า C:N ratio ของวัตถุดิบมีค่าอยู่ในช่วง 25-35 การย่อยสลายจะมีประสิทธิภาพที่สุด แต่ถ้า C:N ratio มีค่าสูงกว่า 35 กระบวนการย่อยสลายจะช้าลงขณะที่ C:N ratio มีค่าต่ำกว่า 20 จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในระหว่างกระบวนการหมักอินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ แล้วระเหยออกจากกองปุ๋ยหมัก ขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรียสารทำให้ C:N ratio มีค่าลดลง (Vuorinen and Saharinen, 1997; Day *et al.*, 1998) ในกรณีที่วัตถุดิบมีค่า C:N ratio สูงมากๆ อาจมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยเคมีหรืออินทรียสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เช่น มูลสัตว์วัสดุเหลือใช้บางชนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะเทศบาล หรือกากตะกอนน้ำเสีย (Goluek, 1977) ดังนั้น เพื่อยกระดับปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้นหรือทำให้ค่า C:N ratio ต่ำลงกระบวนการย่อยสลายจึงเกิดได้รวดเร็วขึ้น สำหรับตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กำหนดสภาพของปุ๋ยหมักว่าแปรสภาพได้ดีแล้วมีค่า C:N ratio ต่ำกว่า 20:1 (ขงยุทธ และคณะ, 2551)

3.2.2 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และออกซิเจนจากวัสดุที่ใช้และอากาศสู่จุลินทรีย์ ตลอดจนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุที่ใช้ (Tengerdy, 1985) Haug (1980) กล่าวว่า ปริมาณน้ำในวัสดุหมักมีผลต่อช่องว่างอากาศโดยตรง ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุจะลดลงซึ่งทำให้การไหลผ่านของอากาศเป็นไปได้ยาก อาจทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเมื่อเติมอากาศจะทำให้อากาศส่วนหนึ่งถูกใช้ในการระเหยน้ำแทนการใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปก็ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของขนาดวัสดุ และระบบที่ใช้ในการหมัก ในทางปฏิบัติช่วงความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 50-70 % โดยมวล (Rabbani *et al.* 1983) จากการศึกษาของ Gaur *et al.* (1982) พบว่า การย่อยสลายในสภาพที่มีอากาศจะเกิดขึ้นได้ในช่วงความชื้น 30-100 % โดยมวล แต่ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40 % โดยมวล การย่อยจะเกิดอย่างช้าๆ โดยความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-80 % โดยมวล ส่วนการย่อยสลายวัสดุที่มีเส้นใย และความหนาแน่นต่ำ เช่น ฟางข้าว จะมีความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 75-90 % ขณะที่เศษหญ้า เศษอาหาร ความชื้นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 50-60 % เท่านั้น (Kutzner, 2000) ในระหว่างกระบวนการย่อย

สลายมีการระเหยน้ำตลอดเวลาเนื่องจากการให้อากาศแก่จุลินทรีย์ Kutzner (2000) กล่าวว่า เพื่อระบายความร้อนออกไม่ให้อุณหภูมิสูงเกิน 60-70 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวทำให้ความชื้นในกองปุ๋ยลดลงจาก 50-70 % เหลือประมาณ 30 % ซึ่งจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง จำเป็นต้องมีการเติมน้ำในกระบวนการหมักเพื่อรักษาระดับความชื้นที่เหมาะสม

3.2.3 การระบายอากาศ

การระบายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นนอกจากเพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์แล้วยังช่วยระบายความร้อนในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งอุณหภูมิอาจสูงถึง 80 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า สภาพเช่นนี้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์เกิดการตาย (Kutzner, 2000) การระบายอากาศหรือการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยอาจทำได้โดยการพลิกกลับกองปุ๋ย นอกจากจะมีผลดีในการระบายอากาศแล้วยังช่วยลดกลิ่นคาวเสียดๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอการพลิกกลับกองในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง พัทธการ และคณะ (2534) ศึกษาวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักฟาง ข้าว พบว่า การพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 10 วัน ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการหมัก Finstein and Morris (1975) ศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมัก พบว่า บริเวณผิวนอกจะมีปริมาณออกซิเจนมาก และจะลดลงเมื่อลึกเข้ากลางกองปุ๋ยหมัก จากการพลิกกลับกองช่วยให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 10.1 % เป็น 18.0 % จากการศึกษาของ De Bertoldi *et al.* (1983) พบว่ากระบวนการย่อยสลายคาร์บอนอินทรีย์ด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศจัดเป็นปฏิกิริยาประเภท biological oxidation ซึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ ก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการรับอิเล็กตรอนที่ถ่ายมาจากระบบ respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการระบายอากาศจึงจำเป็นต่อการเพิ่มออกซิเจนให้เพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ปริมาณอากาศที่ต้องการในการหมักแบบใช้ออกซิเจนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่นำมาหมัก แต่ปริมาณออกซิเจนจะต้องไม่ต่ำกว่า 18.0 % Diaz *et al.* (2002) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหมักของ vinasse และเมล็ดฝ้ายที่มีระบบการให้อากาศแบบพลิกกลับกอง และแบบเติมอากาศ พบว่า อุณหภูมิในระบบแบบพลิกกลับกองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงถึง 57 องศาเซลเซียส ใน 7 วัน ซึ่งสูงกว่าระบบแบบเติมอากาศที่มีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสใน 21 วัน

3.2.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานขึ้น ซึ่งพลังงานส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ภายในเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปความร้อน ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ และอัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้น (Miller, 1993; Polprasert, 1996) อุณหภูมิที่สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเชื้อโรคได้ ส่วนอุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส อัตราการย่อยสลายของอินทรีย์สารจะมีค่าสูงสุดขณะที่อุณหภูมิระหว่าง 35-45 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะมีความหลากหลายสูงสุด (Stentiford, 1996) จากการทดลองของ Tiquia *et al.* (2002) พบว่า จำนวนของ aerobic heterotrophs แอคติโนมัยซีต และเชื้อราจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเริ่มสูงถึง 70 องศาเซลเซียส Haug (1980) ได้อธิบายว่าการย่อยสลายของอินทรีย์สารเกิดขึ้นภายในช่วงอุณหภูมิ thermophilic มากที่สุดหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการหมักจะเหลืออินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก สามารถเก็บไว้ได้นาน และใช้ปรับปรุงสมบัติของดินได้

3.2.5 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ในกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน pH ของกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงความเป็นกลาง และไม่บ่อยครั้งนักที่พบว่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง โดยปกติเมื่อเริ่มการหมักค่า pH มักลดลงเล็กน้อยในช่วงหนึ่งถึงสองวันแรก เนื่องจากเกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะผลิตกรดไขมันออกมาหลังจากช่วงเวลานี้ค่า pH จะเพิ่มขึ้นกลับมาเป็นกลางอีกครั้งเมื่อกรดไขมันที่ผลิตถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์โดยปฏิกิริยาจาก methane-forming bacteria (Polprasert, 1996) จากการศึกษาของ Gray *et al.* (1971) พบการเปลี่ยนแปลง pH ของการหมักและสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงแรกค่า pH ลดลงเล็กน้อยในช่วง 5.0-5.5 (mesophilic stage) จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นด่างประมาณ 8.0-9.0 ในช่วง thermophilic stage ต่อมาค่า pH ลดลงมาเล็กน้อยในช่วง cooling down stage และท้ายสุด pH จะลดลงจนมีค่าประมาณ 7.0-8.0 ในช่วง maturing stage โดยทั่วไปเชื้อราสามารถทนต่อระดับ pH ได้ในช่วงกว้างมากกว่าพวกแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6.0-7.5 ส่วนช่วงที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5.5-8.0 ประกาศิต (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ในการหมักวัสดุต่างๆ พบว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสีย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตลอดระยะเวลาการหมัก ปุ๋ยหมักที่ได้มี pH อยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.7-8.1 ปุ๋ยหมัก

จากงานอ้อยมี pH ก่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 5.7-6.9 ขงยุทธ และคณะ (2551) กล่าวว่าในการทำปุ๋ยหมักไม่ควรใช้อินทรียสารที่เป็นด่างล้วนๆ หรือเติมปูนลงไปจนเป็นด่างมากๆ เนื่องจากจะทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมาก และเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็น De Bertoldi *et al.* (1983) รายงานว่าโดยทั่วไปวัสดุที่มี pH อยู่ในช่วง 3.0-11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 5.5-8.0 การใช้วัสดุที่มีค่า pH สูงอาจทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนียในช่วงแรกของการหมักเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องมาจากเกิดกระบวนการ ammonia volatilization

3.2.6 ชนิดของวัสดุอินทรีย์

ส่วนใหญ่มักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มาจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน และวัชพืช เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นองค์ประกอบเหมาะสมที่สุดสำหรับเป็นแหล่งคาร์บอน และพลังงานของจุลินทรีย์ วัสดุที่มีส่วนของลิกนิน และเซลลูโลสอยู่มาก และมีปริมาณไนโตรเจนน้อย จึงทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

3.2.7 ขนาดของชิ้นวัสดุ

ขนาดของปุ๋ยหมักมีอิทธิพลต่ออัตรา mineralization ของไนโตรเจนอย่างมาก จากการศึกษาของ Sikora and Szmidt (2001) พบว่าปุ๋ยที่ผ่านตะแกรง 1 มม. มีอัตรา mineralization ของไนโตรเจนเท่ากับ 10.7 % ของไนโตรเจนทั้งหมด และปุ๋ยส่วนที่ผ่านตะแกรง 10 มม. มีอัตรา mineralization ของไนโตรเจน 3.4 % ของไนโตรเจนทั้งหมดซึ่งมีอัตรา mineralization ของไนโตรเจนสูงกว่าถึง 3 เท่า ความแตกต่างนี้มีสาเหตุมาจากไนโตรเจนทั้งหมด และ C:N ratio ที่แตกต่างกันของปุ๋ยหมักแต่ละขนาด (Castellanos and Pratt, 1981) ขนาดของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้นมีความสำคัญมาก โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่มีขนาดเล็กจะย่อยสลายได้เร็วกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้นแต่ถ้าวัสดุมีขนาดละเอียดมากเกินไปก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ยในช่วง thermophilic เพราะว่าเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนมากที่สุดแต่ถ้าขนาดเริ่มต้นมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้กองปุ๋ยหมักแห้งได้ง่าย และทำให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการหมักในระยะต่อมา (อนุภาพ, 2541; Gray *et al.* 1971) วัสดุที่มีขนาดเล็กมากเกินไปอาจเพิ่มความพรุนของวัสดุโดยการนำมาผสมกับวัสดุเพิ่มความโปร่ง

ของกองปุ๋ยหมัก เช่น ใบไม้แห้ง ชังข้าวโพด ชันไม้ และขานอ้อยก่อนนำไปหมัก ขนาดของวัสดุที่เหมาะสมควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1.3-7.6 เซนติเมตร (US.EPA, 1995) JICA (1982) แนะนำว่าขนาดของวัสดุหมักที่เหมาะสมคือ 1.27-3.81 เซนติเมตร

4. ผลของการย่อยสลายต่อคุณภาพเม็ดยุอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเม็ด แล้วผ่านกระบวนการทำให้แห้ง มีความชื้นที่เหมาะสม และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดของเม็ดปุ๋ยตามเกณฑ์ที่เหมาะสม (ธงชัย และคณะ, 2551) โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตนั้นจะต้องใช้วัตถุดิบที่มีทั้งคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพที่เหมาะสมจึงจะได้เม็ดยุอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ดังนั้น ในการนำวัสดุอินทรีย์มาใช้ในกระบวนการปั้นเม็ดยุอินทรีย์นั้นจึงต้องมีการยกระดับคุณภาพของวัสดุอินทรีย์เสียก่อน และวิธีการย่อยสลายเป็นวิธีการที่ดีในการเพิ่มคุณภาพของวัสดุอินทรีย์นั้นๆ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายช่วยในการลดขนาดวัสดุอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลง เพราะในวัสดุอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกแปรสภาพมาจากชิ้นส่วนของพืชที่มีส่วนประกอบจำพวก เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลาย กล่าวคือ วัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นองค์ประกอบเหมาะสมที่สุดสำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ วัสดุอินทรีย์ที่มีส่วนของ ลิกโนเซลลูโลสอยู่มากและมีปริมาณไนโตรเจนน้อยจะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากกากตะกอนอ้อยเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตน้ำตาลจากลำต้นอ้อยและผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่งแล้ว จึงมีองค์ประกอบจำพวก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนอยู่มาก ดังนั้น ในกระบวนการย่อยสลายสารประกอบเหล่านี้จึงเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในวัสดุอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์ ประกอบกับเมื่อได้รับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายแล้วจะช่วยลดขนาดของวัสดุอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลงได้โดยขนาดที่เล็กลงนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยเม็ดยุอินทรีย์ เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตนั้นจะต้องมีการลดขนาดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ด้วยเครื่องลดขนาดก่อนการผลิตเพื่อการผลิตปุ๋ยเม็ดยุอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ดังนั้นการย่อยสลายเป็นขั้นตอนหนึ่งในการช่วยลดขนาดของวัสดุอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลงได้ และนอกจากนี้กระบวนการย่อยสลายยังช่วยเพิ่มคุณภาพทางด้านสมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ได้อีกด้วย

จากการศึกษาของ ประภาสิต (2549) การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย จี๊เลื่อย เปลือกกุยาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียที่หมักเป็นเวลา 120 วัน พบว่า ปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และ แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักทุกกองเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแล้วมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงหลัง ดังนั้น ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยป้อนเมล็ดที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องอาศัยกระบวนการย่อยสลายเป็นสำคัญ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพในระหว่างการย่อยสลายที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดปุ๋ยอินทรีย์

5. ประโยชน์และผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

การนำวัสดุอินทรีย์มาใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินก่อให้เกิดผลดีเป็นส่วนใหญ่โดยสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช ธาตุอาหาร และคณะ (2533) ทดลองการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก พบว่า ในฤดูนาปี 2531 การใส่มูลไก่ใน อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ คือ 633 และ 672 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งให้ผลผลิตข้าว 474 กิโลกรัมต่อไร่ และในปีเดียวกันทำการทดลองที่สถานีทดลองข้าวของชัยนาท ผลการทดลอง พบว่า การใส่มูลวัวอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ คือ 573 และ 676 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งได้ผลผลิตเพียง 469 กิโลกรัมต่อไร่

อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อจำกัดอยู่บ้าง คือ สิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายในการขนส่งเนื่องจากธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณน้อยจึงต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณสูงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งและแรงงานในการใส่ส่งผลให้ไม่สะดวกในการนำมาใช้กับพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ จากการศึกษาของ อนุสรณ์ (2544) ถึงอิทธิพลของการอัดเม็ด วิธีการใส่ และเวลาในการใส่ปุ๋ยมูลไก่ต่อผลผลิตและการดึงดูดธาตุอาหารของข้าวโพด และต่อสมบัติของดิน พบว่า เมื่ออัตราการใส่สูงปุ๋ยป้อนเมล็ดให้ผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยไม่ป้อนเมล็ด วิธีและเวลาใส่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปุ๋ยป้อนเมล็ดกรณีนี้ คือ การใส่แบบก่อนปลูกสำหรับฟอสฟอรัส และการใส่แบบคลุกตอนปลูกสำหรับโพแทสเซียม นอกจากข้อจำกัดดังกล่าวแล้วปุ๋ยอินทรีย์ยังมีกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ปัญหาความชื้นสูง คุณภาพขององค์ประกอบและปริมาณธาตุอาหารไม่คงที่ และมีการสูญเสียธาตุอาหารในระหว่างการเก็บรักษาก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น ควรมีเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ย

อินทรีย์เพื่อนำเอาไปใช้ประโยชน์ กองปฐพีวิทยา (2545) รายงานว่าปุ๋ยมูลไก่ซึ่งมีธาตุอาหารสูง เสี่ยงต่อการสูญเสียในรูปของแก๊สเมื่อหมักทิ้งไว้เดี๋ยวกว่า แต่เมื่อผสม และอัดเม็ดกับแกลบหรือขี้เลื่อย ในอัตรา 3:1-3:2 สามารถที่จะยับยั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ถึง 60 % ในช่วง 1-3 เดือน เมื่อสภาวะเหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ตากหรืออบแห้งให้เหลือความชื้น ประมาณ 10 % ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มขึ้น และไม่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์หลงเหลือ อยู่สามารถเก็บได้นาน ไม่มีกลิ่นเหม็นน่ารังเกียจ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้

จากการทดลองใช้ปุ๋ยอินทรีย์ จากวัสดุเหลือใช้ที่มีศักยภาพสูง คือ กากที่เหลือจากการหมัก ได้แก่ activated sludge cake จากโรงงานผงชูรส กากตะกอนอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และ slop ash จากโรงงานสุรา ปรากฏว่าปุ๋ยอัดเม็ดจะมีส่วนช่วยให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี อย่างเดียว และสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีได้ครึ่งหนึ่ง สมบูรณ์ และคณะ (2539) เก็บตัวอย่าง activated sludge cake (5 % N) จากโรงงานผงชูรส, กากตะกอนอ้อย (6 % P_2O_5) จากโรงงานน้ำตาล และ slop ash (43 % K_2O) จากโรงงานสุรามาทำเป็นปุ๋ยโดยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีในสภาพอัดเม็ด และบดผงโดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ พบว่า ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง ของต้นข้าวโพดจากการใช้ วัสดุเหลือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในสภาพอัดเม็ดมีแนวโน้มมากกว่าปุ๋ยเคมีร่วมกับวัสดุเหลือใช้บดผง มากกว่าปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมากกว่าวัสดุเหลือใช้อัดเม็ดมากกว่าวัสดุเหลือใช้อัดเม็ดมากกว่าวัสดุเหลือ ใช้บดผงมากกว่าไม่ใช้ปุ๋ยเลย จากการศึกษาของ ภูานุกา (2548) ถึงอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยมูลไก่ อัดเม็ดและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของละหุ่งพันธุ์อายุสั้น พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่ อัดเม็ดอัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งมากที่สุด แต่ในส่วนของปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดอัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตมากที่สุด โดยให้ผลผลิตสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 670.60 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดอัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ยังมีส่วนช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบ ของละหุ่งเพิ่มมากขึ้นด้วย และจากการศึกษาถึงมูลไก่อัดเม็ดเช่นเดียวกันของ Kogram (2002) โดย ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยมูลไก่อรูปแบบต่างๆ (ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดขนาดเล็ก ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดขนาดใหญ่ และปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด) ต่อผลผลิตของมันสำปะหลังและคุณสมบัติของดิน ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืช ไร่อุบลราชธานีในดินทรายปนร่วน พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดขนาดเล็กอัตรา 2,500 กิโลกรัมต่อ เฮกตาร์ และปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดอัตรา 6,250 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังไม่แตกต่าง จากการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 46.9-46.9-46.9 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ $N-P_2O_5-K_2O$ แต่จากการทดลองพบว่า ปริมาณมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 51-70 % เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ย และพบว่าการใช้ปุ๋ย

มูลไก่ โดยเฉพาะมูลไก่สดจะช่วยปรับ pH รวมทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินให้สูงขึ้น

จากการศึกษาทดลองต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น พบว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมเนื่องจากการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ และนอกจากนี้ ยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของปุ๋ยอินทรีย์ให้สูงด้วยการสร้างคุณค่าทางด้านการตลาดของปุ๋ยให้สูงขึ้น (Masayuki, 2001) โดยวิธีการผลิตปุ๋ยชนิดเม็ดซึ่งมีการผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรสามารถผลิตได้เองโดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยากเกินไป

สุริยา (2549) กล่าวว่า การผลิตปุ๋ยอัดเม็ดด้วยวิธีการผสมปุ๋ยแบบผสม (mixed fertilizer) โดยนำมาปุ๋ยเคมีมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นจึงนำแม่ปุ๋ยที่บดแล้วมาผสมกับดินเหนียว บดละเอียดและปุ๋ยอินทรีย์ผสมคลุกเคล้ากันด้วยเครื่องผสมปุ๋ย แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย เป็นวิธีที่ดีที่ปุ๋ยแต่ละชนิดจะผสมอยู่ในปุ๋ยเม็ดเดียวกัน ในการศึกษาของ เฉลิมชาติ (2546) ถึงการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานผลิตผงชูรสผสมกับหินฟอสเฟตแล้วนำไปหมักเพื่อทำเป็นปุ๋ยหมักอัดเม็ดนั้น การผสมวัสดุอินทรีย์เหลือใช้กับหินฟอสเฟตในอัตราส่วน 1:5 นั้นสามารถยกระดับค่า pH ของ ปุ๋ยหมักอัดเม็ดได้สูงกว่าการผสมวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ในอัตราส่วน 1:3 เพียงเล็กน้อย โดยที่ปุ๋ยหมักอัดเม็ดจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ผสมกับหินฟอสเฟตในอัตราส่วน 1:5 มีค่า pH เท่ากับ 6.65 ส่วนปุ๋ย หมักอัดเม็ดจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ผสมกับหินฟอสเฟตในอัตราส่วน 1:3 มีค่า pH เท่ากับ 6.62

จากการศึกษาของ พรฤดี (2549) ในการใช้ของเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอัดเม็ดสำหรับดาวเรืองพันธุ์กาลอร์ เบลโลว์ ผลการทดลองพบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเสริมด้วยการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตหลังเด็ดยอดประมาณ 5-10 วัน มีปริมาณธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในต้นพืช และน้ำหนักสดสูงที่สุด ซึ่งให้ผลแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตการใช้กากตะกอนที่เป็นของเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในส่วนของการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ นอกจากนี้คุณลักษณะและสมบัติของปุ๋ยผสมชนิดเม็ดเป็นการเอื้อประโยชน์ให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเป็นรูปแบบที่สร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช่มากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์รูปแบบเดิมในอดีต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กากตะกอนอ้อย (filter cake) จากโรงงานน้ำตาล
2. ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)
3. ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0)
4. แคลเซียมซัลเฟต ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
5. เชื้อเร่งปุ๋ยหมัก ซูเปอร์ พด.-1 จากกรมพัฒนาที่ดิน
6. อุปกรณ์สำหรับการกองปุ๋ยหมัก
7. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ ได้แก่

7.1 pH meter (420A model)

7.2 Electrical conductivity meter (4010 model)

7.3 Micro-Kjeldahl distillation apparatus (Gerhard: VAP20 model)

7.4 Digestion apparatus (Gerhard: Ger 704000 model)

7.5 Atomic absorption spectrophotometer (SpectrAA 229FS)

7.6 เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

7.7 ตู้อบ (WTB Binder: EED 240 model)

8. อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพในห้องปฏิบัติการ

9. อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับปัสเม็คปุ๋ย ได้แก่

9.1 เครื่องลดขนาดวัสดุ

9.2 ตะแกรงร่อน

10. เครื่องปัสเม็คปุ๋ย (จานปัสเม็คปุ๋ย)

วิธีการ

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอน
อ้อยในระหว่างการย่อยสลาย

1.1 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 6
คำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ มีการกองปุ๋ยหมักโดยเติม แคลเซียมซัลเฟต, ยูเรีย (46-0-0),
แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ให้ได้ส่วนผสมดังตารางที่ 1

1.1.1 การตั้งกองปุ๋ยหมัก

นำกากตะกอนอ้อยมากองในโรงเรือนที่พื้นปูด้วยแผ่นพลาสติก ก่อนกองจะผสม
คลุกเคล้าระหว่างกากตะกอนอ้อย ปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลเฟต ให้ส่วนผสม
เข้ากันตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 โดยอัตราการใส่ปุ๋ยในโตรเจนได้มาจากการปรับ C:N ratio ของ
กากตะกอนอ้อยให้เท่ากับ 30:1 ส่วนปริมาตรน้ำจะปรับให้มีระดับความชื้นที่ประมาณ 60 % ใส่เชื้อ
เร่งสำหรับทำปุ๋ยหมัก (ซูเปอร์ พด.-1) ในทุกคำรับการทดลอง จากนั้นตั้งกองปุ๋ยให้มีขนาด
1×1.5×1 เมตร ในทุกกอง

ตารางที่ 1 ปริมาณสารที่ใส่ในกากตะกอนอ้อยก่อนการกองปุ๋ยหมัก ใช้กากตะกอนอ้อย (FC) กองละ 500 กก. สารที่ใช้ คือ แคลเซียมซัลเฟต (CS), ยูเรีย (U) และแอมโมเนียมซัลเฟต (AS)

ตำรับการทดลอง	ปริมาณสารที่ใส่ (กิโลกรัม)			
	FC	CS	U	AS
1. FC	500	-	-	-
2. FC+CS	500	10	-	-
3. FC+U	500	-	6.55	-
4. FC+AS	500	-	-	14.25
5. FC+U+AS	500	-	3.27	7.12
6. FC+U+AS+CS	500	10	3.27	7.12

1.1.2 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก

รดน้ำกองปุ๋ยหมักเมื่อกองปุ๋ยหมักเริ่มแห้ง พลิกกลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน การกลับกองจะเอาเศษวัสดุที่อยู่ด้านนอกของกองกลับเข้าไปอยู่ด้านในกอง โดยกองให้มีขนาดความสูงและความกว้างเท่าเดิม ส่วนความยาวลดลงตามการย่อยสลายของกากตะกอนอ้อยในแต่ละตำรับการทดลอง และกองให้อยู่ในรูปทรงเดิมตลอดระยะเวลาการหมัก

1.2 การเก็บข้อมูล

1.2.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนอ้อยก่อนการกองปุ๋ยหมัก (ตารางผนวกที่ 1) ได้แก่

1.2.1.1 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของกากตะกอนอ้อย โดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างกากตะกอนอ้อยต่อน้ำ 3:50 ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างกากตะกอนอ้อยและน้ำให้เข้ากันเป็นระยะเป็นเวลา 30 นาทีแล้วทิ้งไว้ 30 นาทีให้ตกตะกอนแล้ววัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างบริเวณสารละลายใส ด้วยเครื่อง pH meter (Horwitz, 2000)

1.2.1.2 วัดค่าความเค็มของกากตะกอนอ้อย โดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างกากตะกอนอ้อยต่อน้ำ 1:10 คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

1.2.1.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ของกากตะกอนอ้อย ใช้วิธี gravimetric loss on ignition โดยอบตัวอย่างกากตะกอนอ้อยใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จากนั้นเผาตัวอย่างกากตะกอนอ้อยอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง (Horwitz, 2000)

1.2.1.4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ของกากตะกอนอ้อย สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้ (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

$$\text{คาร์บอนอินทรีย์ (\%)} = \frac{\text{อินทรีย์วัตถุ (\%)}}{2}$$

1.2.1.5 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ของกากตะกอนอ้อยคำนวณจากสัดส่วนระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนอ้อย

1.2.1.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของกากตะกอนอ้อย ย่อยตัวอย่างกากตะกอนอ้อยด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.2.1.7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ของกากตะกอนอ้อย ย่อยตัวอย่างกากตะกอนอ้อยด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ammonium metavanadate ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองใส วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.2.1.8 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ของกากตะกอนอ้อย ย่อยตัวอย่างกากตะกอนอ้อยด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ใน

อัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.2.1.9 ความชื้นโดยวิธีการอบแห้ง (oven-dried method) ของกากตะกอนอ้อย ชั่งตัวอย่างกากตะกอนอ้อยประมาณ 10 กรัม นำตัวอย่างกากตะกอนอ้อยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถแก้วป้องกันความชื้น (desiccator) นำมาชั่งอีกครั้ง คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป และ คำนวณหาความชื้น (%) ดังต่อไปนี้ (Horwitz, 2000)

$$\text{ความชื้น (\%)} = \left[\frac{\text{น้ำหนักกากตะกอนอ้อยก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกากตะกอนอ้อยหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \right] \times 100$$

1.2.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1.2.2.1 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก วัดอุณหภูมิทุก 2 วัน ตลอดระยะเวลาการหมัก โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ วัดที่ระยะความลึกจากผิวกอง 20 เซนติเมตร กองละ 3 ตำแหน่ง ประมาณ 15 นาที

1.2.2.2 ขนาดของวัสดุอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก เก็บตัวอย่างจากกองปุ๋ยหมักกองละ 6 จุดๆ ละประมาณ 2.5 กก. ในระหว่างการกลับกองปุ๋ยหมัก นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำไปผึ่งให้แห้งความชื้นประมาณ 10 % จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงซึ่งมีขนาด 2.0, 1.0 และ 0.5 มม. เพื่อให้ได้วัสดุ 4 ขนาด คือ > 2.0, < 2.0 ถึง > 1.0, < 1.0 ถึง > 0.5 และ < 0.5 มม.

1.2.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยระหว่างการย่อยสลาย ได้แก่

1.2.3.1 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.1

1.2.3.2 วัดค่าความเค็มของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.2

1.2.3.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ

1.2.1.3

1.2.3.4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ของปุ๋ยหมัก สามารถคำนวณได้จากสูตร ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.4

1.2.3.5 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.5

1.2.3.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.6

1.2.3.7 ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจน (nitrogen loss) ของกากตะกอนย่อยคำนวณได้ดังนี้

$$N \text{ loss (\%)} = \left[\frac{N_1 - N_2}{N_1} \right] \times 100$$

N_1 = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก่อนการกองปุ๋ยหมัก

N_2 = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระหว่างการกองปุ๋ยหมัก

1.2.3.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยน้ำยา Bray II นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ascorbic acid ได้ สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินสี วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.2.3.9 โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (soluble potassium) สกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.2.3.10 ความชื้นโดยวิธีการอบแห้ง (oven-dried method) ของปุ๋ยหมัก ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.9

1.2.3.11 ปริมาณขนาดวัสดุ ร่อนปุ๋ยหมักหลังจากผึ่งปุ๋ยหมักจนแห้งสนิท โดยสุ่มตัวอย่าง 1 กิโลกรัม ร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้วัสดุขนาด > 2.0 , < 2.0 ถึง > 1.0 , < 1.0 ถึง > 0.5 และ < 0.5 มม. ชั่งน้ำหนักวัสดุที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆแล้วนำไปคำนวณเพื่อหาปริมาณขนาดของวัสดุ (%) ที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.5

การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนย่อยที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

2.1 วางแผนการทดลองแบบ 5×6 factorial CRD ปัจจัยที่ 1 เป็นระยะเวลาในการหมัก (0, 2, 4, 6, 8 สัปดาห์) ปัจจัยที่ 2 เป็นส่วนผสมในการกองปุ๋ยหมัก [(FC, FC+CS, FC+U, FC+AS, FC+U+AS, FC+U+AS+CS) จากการทดลองที่ 1] โดยนำวัตถุดิบที่ได้มาปั้นเม็ด โดยผสมกับสารจับเม็ดปุ๋ย คือ clay mineral 10 % หมักทิ้งไว้ข้ามวัน ปั้นเม็ดปุ๋ยด้วยจานปั้นเม็ดแล้วนำเม็ดปุ๋ยไปผึ่งในร่มแห้งสนิท เก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์ของปุ๋ยปั้นเม็ด

2.2.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่

2.2.1.1 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.1

2.2.1.2 วัดค่าความเค็มของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.2

2.2.1.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.3

2.2.1.4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด สามารถคำนวณได้จากสูตร ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.4

2.2.1.5 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.5

2.2.1.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.6

2.2.1.7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphours) ของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.7

2.2.1.8 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด ตามวิธีการในข้อ 1.2.1.8

2.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด ได้แก่

2.2.2.1 ความแข็งแรงของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด

ความแข็งแรงของเม็ดปุ๋ย (granule strength) โดยวิธีการหาน้ำหนัก (กิโลกรัม) ที่กดจนเม็ดปุ๋ยแตก คำนวณน้ำหนัก คือ crushing strength ของเม็ดปุ๋ยนั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นำค่าน้ำหนักที่ได้คำนวณเป็นแรงกดที่ทำให้เม็ดปุ๋ยแตก ดังนี้

$$\text{แรงกดที่ทำให้เม็ดปุ๋ยแตก (นิวตัน)} = \text{ค่าน้ำหนัก (กิโลกรัม)} \times 9.8$$

2.2.2.2 การย่อยของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด

พืกระดากชำระเป็น 2 ชั้น ตัดให้มีขนาดใกล้เคียงกับจานแก้วแล้วเติมน้ำลงไป 5 มิลลิลิตร วางตัวอย่างเม็ดปุ๋ยลงในจานแก้วที่เตรียมไว้ และเริ่มจับเวลา สังเกตการณ์ย่อยของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ดโดยดูจากวัสดุที่หลุดออกจากเม็ดปุ๋ยบนกระดากชำระ แล้วบันทึกเวลาในการย่อยของเม็ดปุ๋ย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.2.2.3 ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ป็นเม็ด

นำปุ๋ยมาเทลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอนจนพูนยกภาชนะขึ้น แล้วปล่อยลงพื้น และปาดผิวหน้าให้เรียบจากนั้นชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นรวม (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{มวลของปุ๋ย (g)}}{\text{ปริมาตรของภาชนะ (cm}^3\text{)}}$$

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.5

3. สถานที่และระยะเวลาทดลอง

3.1 สถานที่ทดลอง

3.1.1 โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3.1.2 ห้องปฏิบัติการเคมีและความสมบูรณ์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

3.2 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

งานทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนอ้อย ในระหว่างการย่อยสลาย

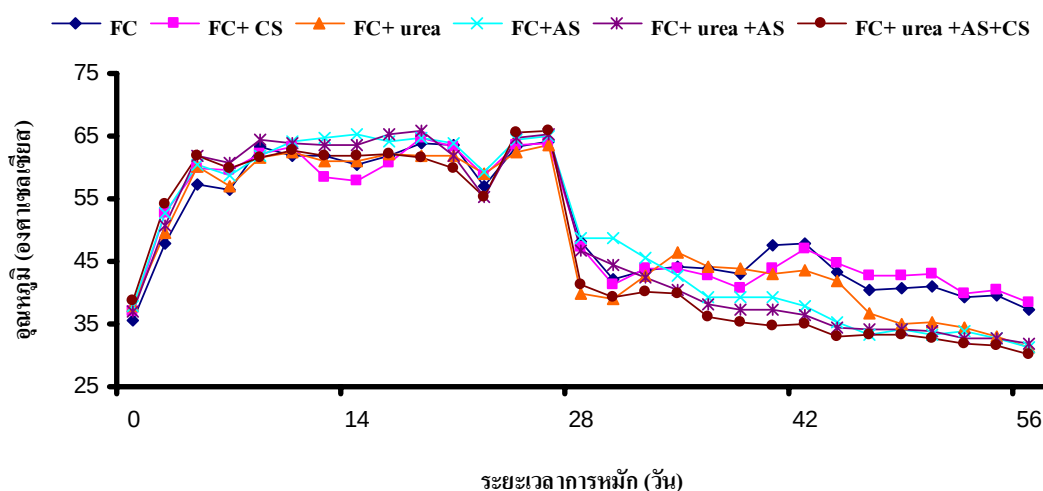
1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักในทุกครั้งการทดลองเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการตั้งกองปุ๋ยไปได้ 1-2 วัน กระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับ 60 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันทางสถิติภายหลังการหมักประมาณ 2 สัปดาห์ กล่าวคือ ดำรับ FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 65.2, 63.5 และ 62.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นนี้ อาจเกิดเนื่องจากในช่วงแรกภายในกองปุ๋ยหมักมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักพบว่าในทุกๆ 7 วัน อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะลดลงเล็กน้อยแล้วหลังจากนั้นประมาณ 1-2 วัน อุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดิมการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็นผลมาจากการพลิกกลับกองของกองปุ๋ยหมัก และหลังจากการหมักประมาณ 4 สัปดาห์อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลง โดยดำรับ FC+U และ FC+U+AS+CS มีอุณหภูมิต่ำที่สุด เท่ากับ 40.0 และ 41.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภายในกองปุ๋ยหมักเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก และหลังจากการหมักประมาณ 5 สัปดาห์ อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักในดำรับ FC+U, FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว (Polprasert, 1996) ส่วนดำรับ FC และ FC+CS ยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงอยู่แสดงถึงกระบวนการหมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์

1.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก พบว่าปริมาณวัสดุขนาดใหญ่กว่า 2.0 มม.มีแนวโน้มลดลงในทุกครั้งการทดลองเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้น โดยดำรับ FC มีปริมาณวัสดุขนาดใหญ่กว่า 2.0 มม.มากที่สุดเมื่อเริ่มกองปุ๋ยหมัก (66.11 %) และดำรับ FC+U+AS+CS ในสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณวัสดุขนาดใหญ่กว่า 2.0 มม.น้อยที่สุด (38.89 %) ในทางกลับกัน ปริมาณวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นในทุกครั้งการ

ทดลอง โดยได้รับ FC เมื่อเริ่มตั้งกองปุ๋ยหมักมีปริมาณวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.น้อยที่สุด (7.78 %) และได้รับ FC+U+AS มีปริมาณวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.มากที่สุด (25.00 %) (ตารางภาคผนวกที่ 3 และภาพที่ 2 (ก), (ง)) เมื่อสิ้นสุดการหมักวัสดุอินทรีย์ขนาด 1-2 มม. มีค่าอยู่ในช่วง 12.22-17.56 % และ วัสดุอินทรีย์ขนาด 0.5-1 มม. อยู่ในช่วง 16.56-22.78 % (ตารางภาคผนวกที่ 3 และภาพที่ 2 (ข), (ค))

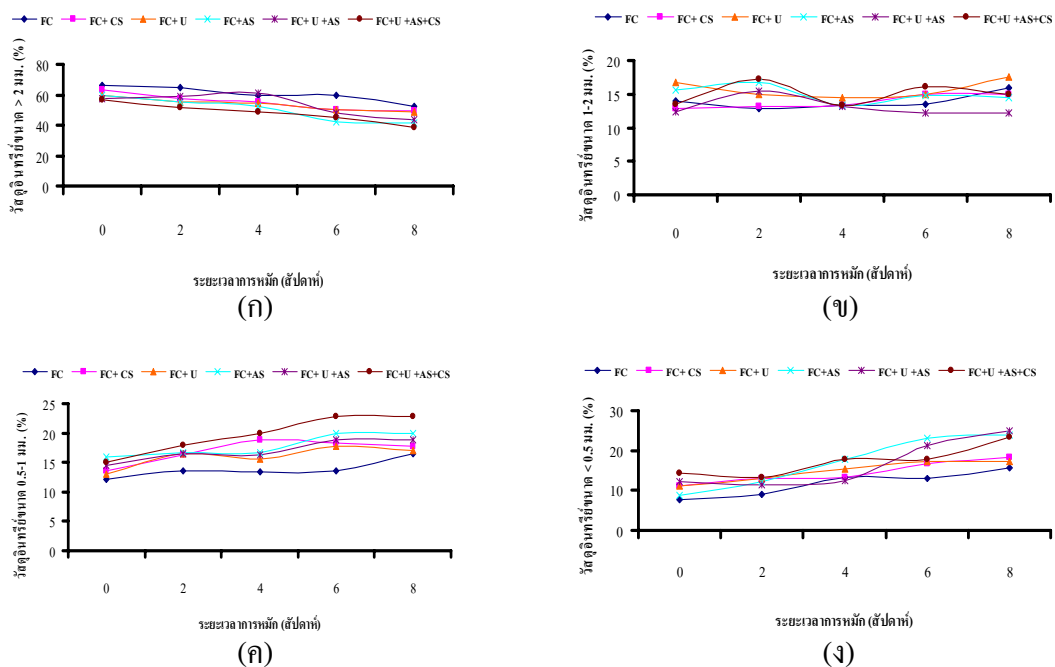


ภาพที่ 1 อุณหภูมิของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย

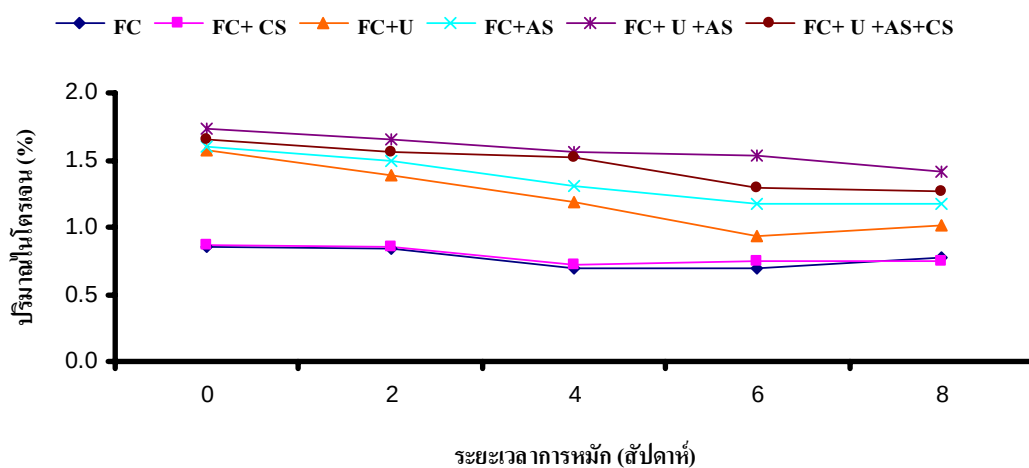
1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ การทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีปริมาณไนโตรเจนลดลง ส่วนได้รับ FC และได้รับ FC+CS มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างคงที่ ซึ่งการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอาจมาจากการสูญเสียของไนโตรเจนจากการรดน้ำกองปุ๋ยหมัก และการระเหยกลายเป็นแก๊สก็อาจเป็นไปได้ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 6 ของได้รับ FC+U (0.93 %) จะมีไนโตรเจนต่ำกว่าได้รับ FC+AS (1.18 %), FC+U+AS (1.54 %) และ FC+U+AS+CS (1.29 %) ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 3) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการสูญเสียไนโตรเจนในแต่ละครั้ง แสดงให้เห็นว่าได้รับที่มีการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตมีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าได้รับที่ใส่ยูเรีย กล่าวคือ ได้รับ FC+U มีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าได้รับ FC+AS ในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 31.55 % และเมื่อเปรียบเทียบได้รับที่มีการใส่ยูเรียร่วมกับ

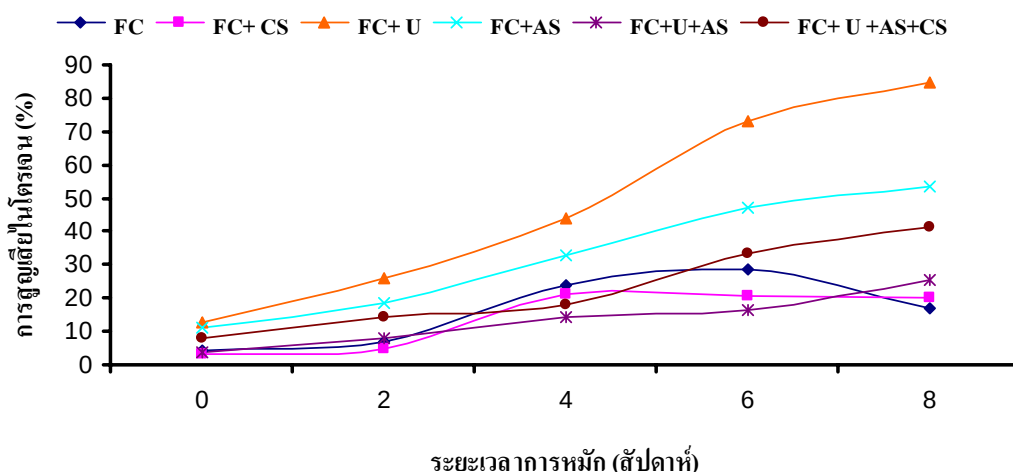
แอมโมเนียมซัลเฟตกับตำรับที่มีการใส่ยูเรียเพียงอย่างเดียว พบว่า ตำรับที่มีการใส่ร่วมกันมีการสูญเสียไนโตรเจนน้อยกว่าตำรับที่มีการใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 2 ปริมาณวัสดุอินทรีย์ ขนาด > 2 มม. (ก), 1-2 มม. (ข), 0.5-1 มม. (ค), < 0.5 มม. (ง) ในระหว่างการย่อยสลาย



ภาพที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย

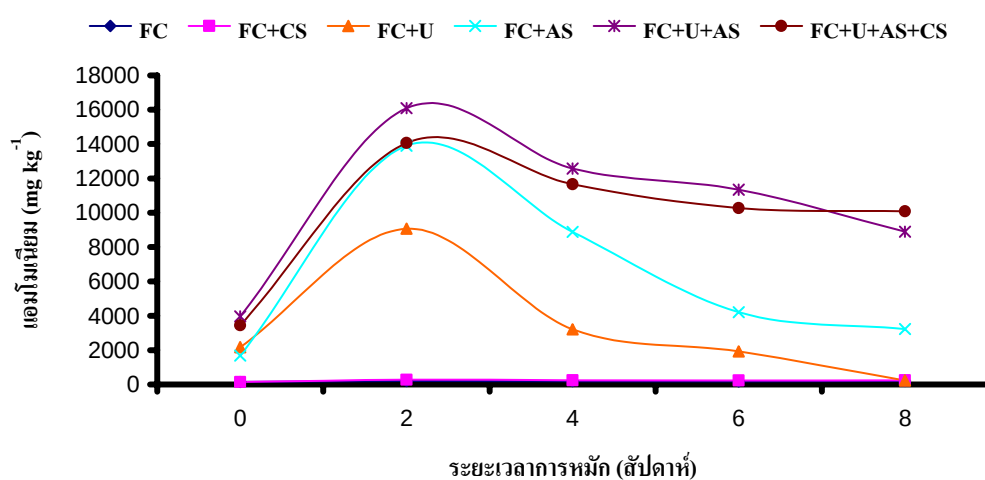


ภาพที่ 4 ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย

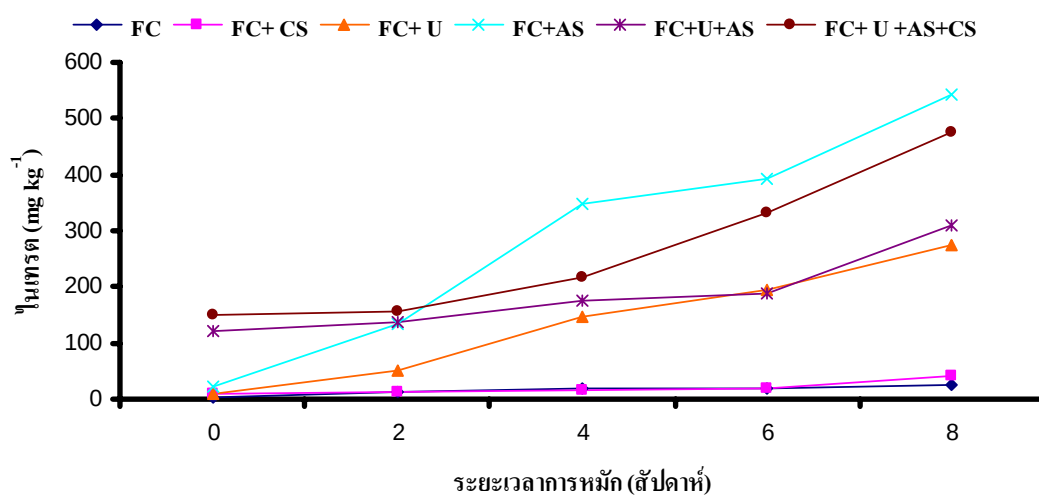
1.4 ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรดในกองปุ๋ยหมัก

ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรดในกองปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ค่ารับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งคงที่ในสัปดาห์ที่ 4 โดยค่ารับ FC+U+AS ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมสูงที่สุดเท่ากับ $16091.75 \text{ mg kg}^{-1}$ ส่วนค่ารับ FC และ FC+CS ค่อนข้างคงที่ (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5) สาเหตุที่มีปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นในช่วงแรก อาจเนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายและปลดปล่อยแอมโมเนียมออกมาในสัดส่วนที่สูงกว่าการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียภายใต้อุณหภูมิที่สูง (ประกาศิต, 2549) เมื่อหมักไปได้ประมาณ 4 สัปดาห์ ปริมาณแอมโมเนียมของทุกค่ารับมีค่าลดลง อาจมีสาเหตุมาจากการสูญเสียแอมโมเนียมไปในรูปของแก๊สแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำกองปุ๋ยหมัก และอาจเกิดจากแอมโมเนียมถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรด โดยกระบวนการ nitrification อย่างไรก็ตาม สาเหตุสำคัญ คือ เกิดกระบวนการ immobilization ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณไนเตรดมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียมที่ลดลง (ตารางผนวกที่ 5,6 และภาพที่ 5,6) จากนั้นปริมาณแอมโมเนียมจะค่อนข้างคงที่ แสดงว่ากระบวนการ ammonification เกิดขึ้นต่ำ ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักได้ (Mathur *et al.* 1993) ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่ารับ FC+AS ในสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรดสูงที่สุด เท่ากับ $544.03 \text{ mg kg}^{-1}$ (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6) กล่าวคือ ในช่วงแรกของการหมักปริมาณ

ไนโตรเจนในรูปไนเตรตของทุกคำรับ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จึงยับยั้งกิจกรรมและการเจริญเติบโตของ nitrifying bacteria เมื่ออุณหภูมิลดลงไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการหมัก สาเหตุที่ปริมาณไนเตรตเพิ่มสูงขึ้น สันนิษฐานว่ามาจากแอมโมเนียมที่ได้จากการสลายของอินทรียสารถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรตโดยพิจารณาจากปริมาณแอมโมเนียมที่ลดลงสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้น Forster *et al.* (1993) กล่าวว่า เมื่อผ่านกระบวนการหมักไปได้ระยะหนึ่งปริมาณไนเตรตที่เริ่มสูงกว่า 300 mg kg^{-1} สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของการหมักได้



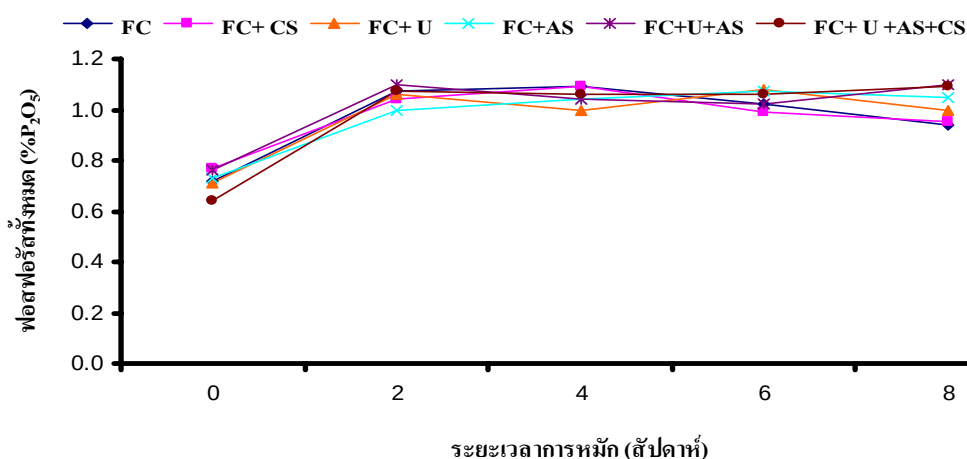
ภาพที่ 5 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย



ภาพที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรตของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย

1.5 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกองปุ๋ยหมักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกคำรับ การทดลองตลอดระยะเวลาการหมัก กล่าวคือในสัปดาห์ที่ 2 ของการหมักปริมาณฟอสฟอรัส เพิ่มขึ้น โดยพบว่าคำรับ FC+U+AS+CS มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 1.10 % P_2O_5 (ตาราง แผนกที่ 7 และภาพที่ 7) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสนี้ อาจเป็นสาเหตุมาจากอินทรีย์สาร ถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่ฟอสฟอรัสไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่มีการสูญเสียโดยการชะล้างเล็กน้อย เนื่องจากฟอสเฟตจะตกตะกอน เป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น (ประกาศิต, 2549) เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่งปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องมาจากการ สลายตัวของวัสดุอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไม่มากนักสังเกตได้จากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ค่อนข้างคงที่ (ตารางแผนกที่ 13 และภาพที่ 13)

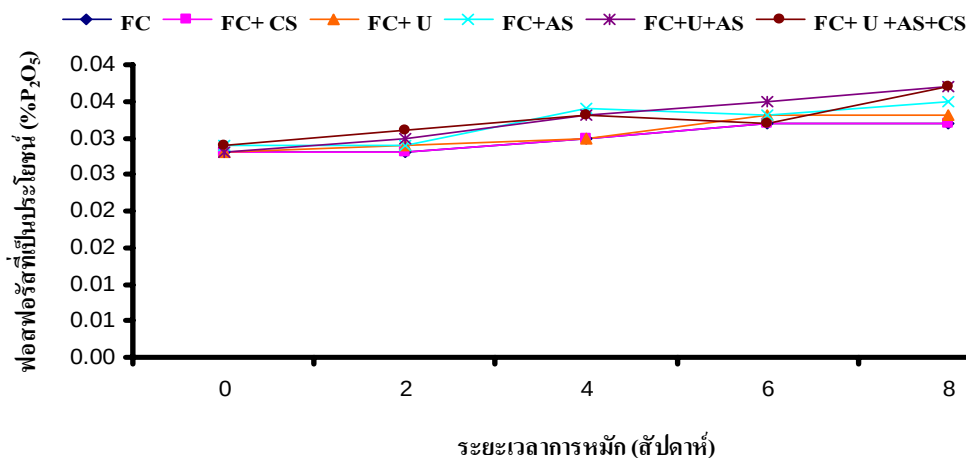


ภาพที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย

1.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์ทุกคำรับ การทดลอง โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ ระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น อาจ เนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ทำให้น้ำหนักของกองปุ๋ยลดลงจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยตำรับ FC+U+AS+CS มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 0.037 % P_2O_5 (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)



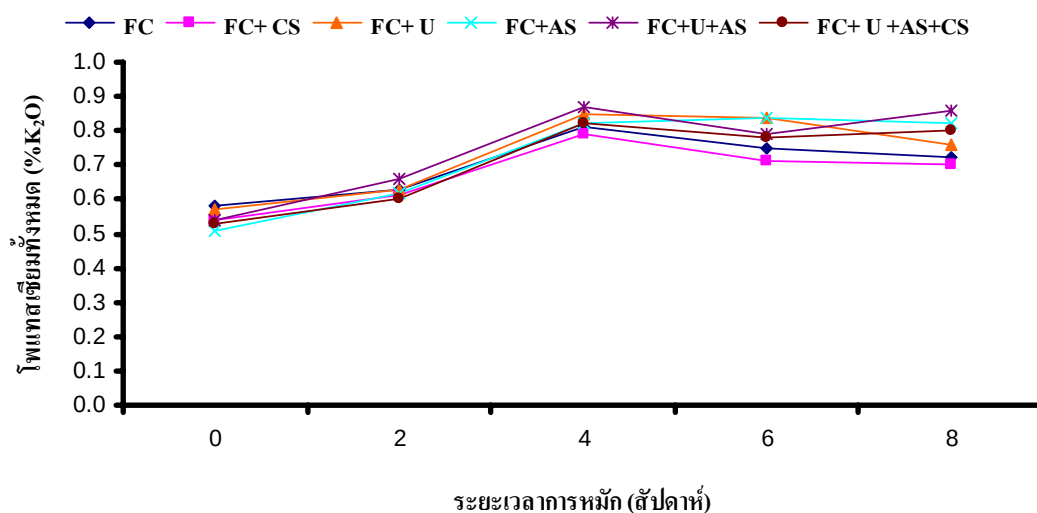
ภาพที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลาย

1.7 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

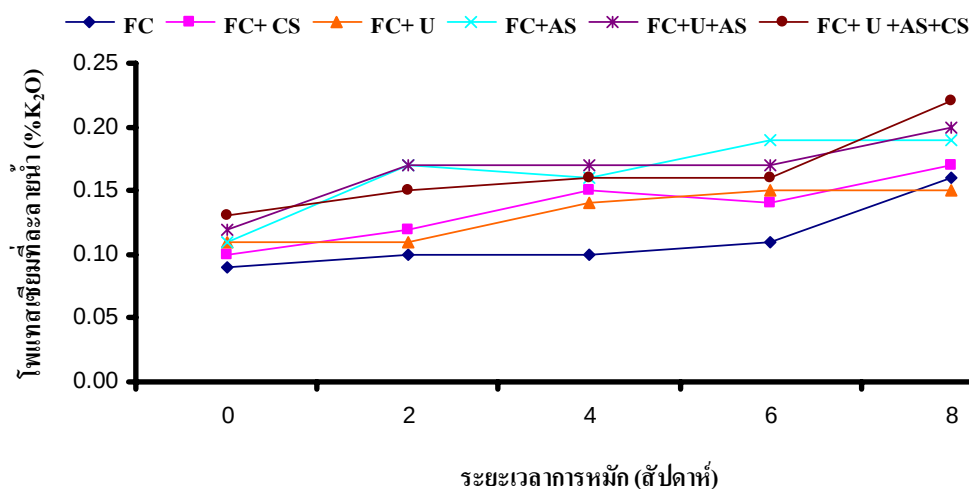
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของกองปุ๋ยหมักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ทุกตำรับการทดลอง กล่าวคือปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการหมัก โดยพบว่าตำรับ FC+U+AS+CS มีปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 0.87 % K_2O (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9) สาเหตุที่โพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและถั่วเพิ่มขึ้น ขณะที่โพแทสเซียมไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะมีการสูญเสียโดยการชะล้างทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้น (ประกาศิต, 2549) และหลังจากการหมักประมาณ 4 สัปดาห์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่

1.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้

ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ทุกการทดลอง โดยพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุที่โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่โพแทสเซียมไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะมีการสูญเสียโดยการชะล้างทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด โดยพบว่าค่ารับ FC+U+AS+CS มีปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้สูงที่สุดเท่ากับ 0.22 % K_2O (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)



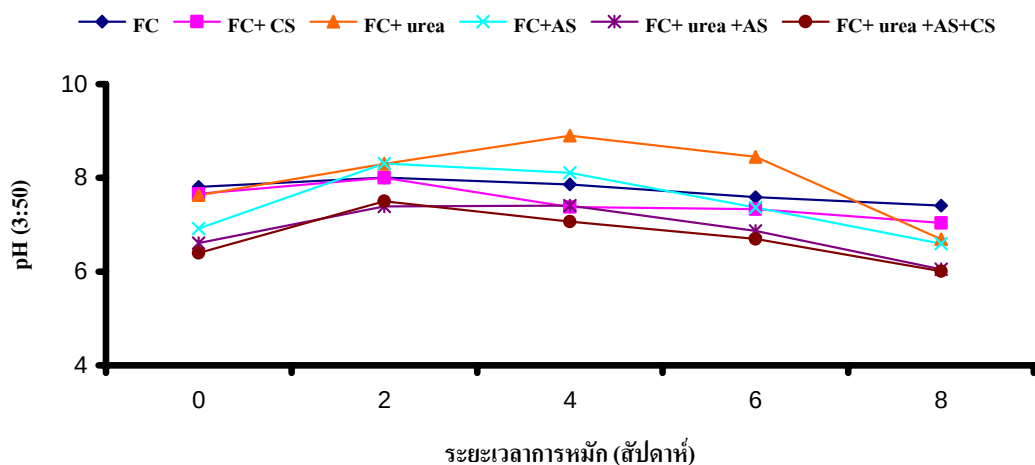
ภาพที่ 9 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย



ภาพที่ 10 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำของกากตะกอนย่อยสลายในระหว่างการย่อยสลาย

1.9 ค่า pH ในระหว่างการกองปุ๋ยหมัก

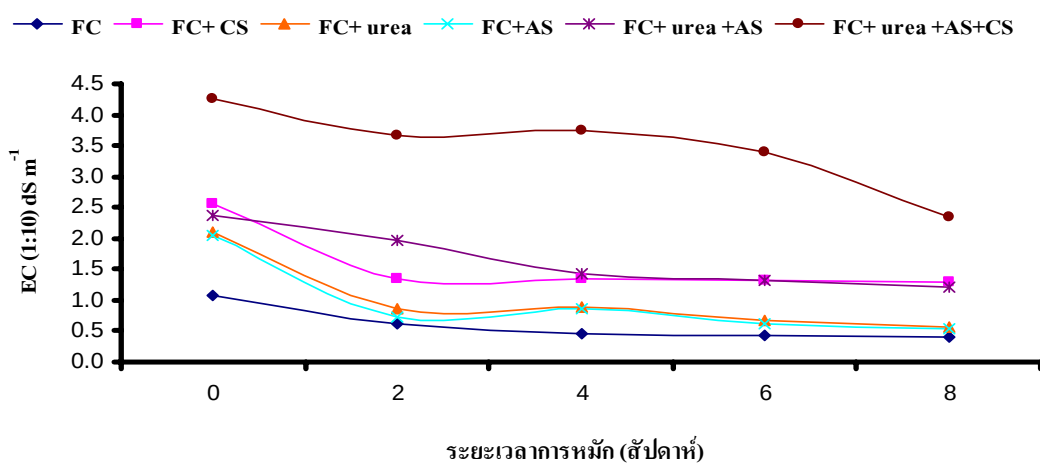
ค่า pH ของกองปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ค่า pH ของกองปุ๋ยหมักในทุกตำรับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกโดยตำรับ FC+U มีค่า pH สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 (8.90) หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง ซึ่งพบว่าตำรับ FC+U+AS+CS มีค่า pH ต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 (6.01) (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11) การลดลงของ pH อาจเกิดเนื่องมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์มักจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ และอนินทรีย์บางชนิดออกมาในทำนองเดียวกันอาจมีการระเหยของแอมโมเนียหรือมีการปลดปล่อย H^+ จากกระบวนการ nitrification นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมซัลเฟตมีผลทำให้ค่า pH ต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียหรือตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตมีผลต่อการเพิ่มสภาพความเป็นกรดได้ แม้ว่าปกติจะไม่เด่นชัดจากการใส่ปุ๋ยชนิดนี้เพียงครั้งเดียวก็ตาม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)



ภาพที่ 11 ค่า pH ของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย

1.10 ค่าการนำไฟฟ้าของกองปุ๋ยหมัก

ค่าการนำไฟฟ้าของกองปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ค่าการนำไฟฟ้าของทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มลดลงโดยตำรับ FC+U+AS+CS มีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูงในช่วงแรกของการกองปุ๋ยหมัก เท่ากับ 4.26 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าในทุกตำรับอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช สาเหตุที่ค่าการนำไฟฟ้าลดลงเนื่องมาจากมีการตกตะกอนของแร่ธาตุชนิดต่างๆหรือแร่ธาตุบางส่วนถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำ (ประภาสิต, 2549)



ภาพที่ 12 ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย

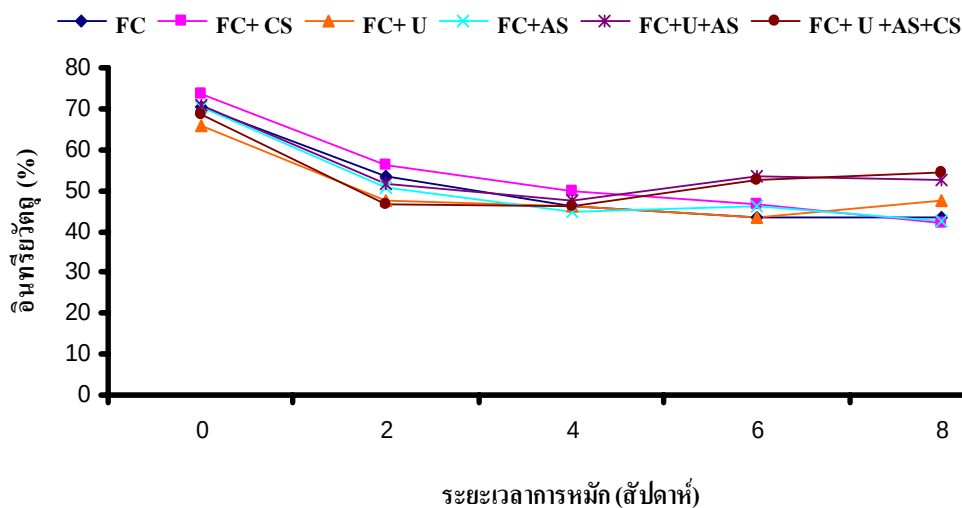
1.11 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในกองปุ๋ยหมัก

ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลงในช่วงแรกของการหมักจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะค่อนข้างคงที่ในทุกด้ารับการทดลอง โดยพบว่า ด้ารับ FC เมื่อเริ่มกองปุ๋ยหมักมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 83.59 % และด้ารับ FC ในสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด เท่ากับ 43.27 % (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13) สภาพการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุเช่นนี้เกิดจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค้าร์บอนอินทรีย์ส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นค้าร์บอนของเซลล์จุลินทรีย์ส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นแก๊สค้าร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอื่นๆ ทำให้ค้าร์บอนอินทรีย์ลดลงตามระยะเวลาการหมัก เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมักปริมาณค้าร์บอนอินทรีย์ที่เหลือจะเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์พวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งบางส่วนแปรสภาพเป็นสารฮิวมิก (Crawford, 1983)

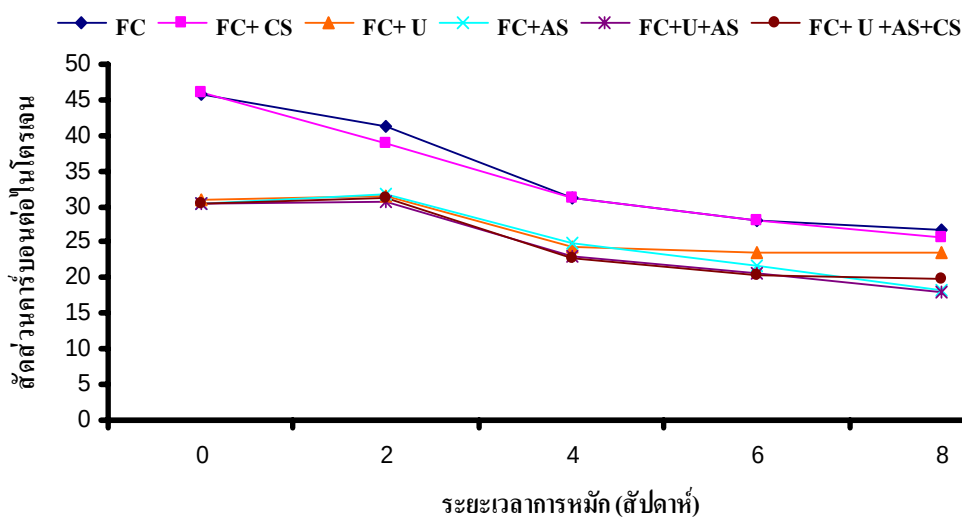
1.12 สัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ของกองปุ๋ยหมัก

สัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ด้ารับ FC และ FC+CS มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยโดยด้ารับ FC+CS มีสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด (46.15) และหลังจากการหมัก 4 สัปดาห์สัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนจะเริ่มคงที่ ส่วนด้ารับที่เหลือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงสัปดาห์ที่ 2 ของการหมัก การเพิ่มขึ้นของค่าสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนอาจมีสาเหตุมาจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียหรือเกิดกระบวนการ denitrification ในระหว่างกระบวนการหมักสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแก๊สค้าร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วระเหยออกจากกองปุ๋ยหมักหรือถูกชะล้างในระหว่างการผลิตน้ำ (Vuorinen and Saharinen, 1997; Day *et al.* 1998) และหลังจากนั้นสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนจะลดลง โดยพบว่าด้ารับ FC+U+AS มีสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุด เท่ากับ 18.11 (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 15) การลดลงของค่าสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนอาจมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น อาจเนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายและปลดปล่อยค้าร์บอนไปในรูปของแก๊สค้าร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ค้าร์บอนอินทรีย์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งลดลง ขณะที่ไนโตรเจนมีการสูญเสียในสัดส่วนที่น้อยกว่า จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (ประกาศิต, 2549) อย่างไรก็ตาม ค่าสัดส่วนค้าร์บอนต่อไนโตรเจนของด้ารับ FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS อยู่ในช่วงไม่เกิน 20:1 ซึ่งสอดคล้องกับขงยุทธ และคณะ (2551) ที่

กล่าวว่าตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กำหนดสภาพของปุ๋ยหมักกว่าแปรรูปได้ดีแล้วมีค่า C:N ratio ต่ำกว่า 20:1



ภาพที่ 13 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย



ภาพที่ 14 ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนย่อยในระหว่างการย่อยสลาย

2. การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนอ้อยที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

2.1 เวลาการขึ้นเม็ดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการขึ้นเม็ดของปุ๋ยอินทรีย์มีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ วัสดุ FC+U+AS+CS ใช้เวลาในการขึ้นเม็ดเร็วที่สุดเท่ากับ 10.80 นาที วัสดุ FC+CS, FC+U, FC+AS, FC+U+AS ไม่มีผลทำให้เวลาการขึ้นเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่แคลเซียมซัลเฟตใช้เวลาในการขึ้นเม็ดเร็วกว่า กล่าวคือ วัสดุ FC+CS, FC+U+AS, FC+U, FC+AS ใช้เวลาในการขึ้นเม็ดเท่ากับ 12.00, 12.60, 13.00, 13.00 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เนื่องจากแคลเซียมซัลเฟตมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี และอาจเป็นตัวเชื่อมทำให้ปุ๋ยเป็นเม็ดเร็วขึ้น รวมทั้งแคลเซียมซัลเฟตยังมีลักษณะละเอียดคล้ายกับแร่ดินเหนียวที่นิยมใช้เป็นสารจับเม็ดปุ๋ยในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดอีกด้วย

ระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการขึ้นเม็ดของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้การขึ้นเม็ดของปุ๋ยปั้นเม็ดเกิดได้เร็วขึ้น โดยพบว่า การหมักเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ใช้เวลาการขึ้นเม็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 8 นาที ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้วัสดุที่ผ่านการย่อยสลายมีปริมาณวัสดุขนาดเล็กมากขึ้น (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 2) ซึ่งเมื่อวัสดุมีความละเอียดมากทำให้การขึ้นเม็ดของเม็ดปุ๋ยเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้เวลาการขึ้นเม็ดของปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยพบว่าค่ารับ FC+U+AS+CS ในสัปดาห์ที่ 8 ใช้เวลาการขึ้นเม็ดของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดเร็วที่สุดเท่ากับ 6 นาที (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เวลาการขึ้นเมล็ดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นาทิจ)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	18.00 aA	15.00 aB	15.00 aB	15.00 aB	10.00 aC	14.60 a
FC+CS	15.00 cA	13.00 bB	13.00 abB	10.00 bBC	9.00 abC	12.00 b
FC+U	17.00 bA	15.00 aB	15.00 aB	10.00 bBC	8.00 bC	13.00 b
FC+AS	17.00 bA	15.00 aB	15.00 aB	10.00 bBC	8.00 bC	13.00 b
FC+U+AS	17.00 bA	15.00 aB	15.00 aB	10.00 bBC	7.00 bcC	12.60 b
FC+U+AS+CS	15.00 cA	13.00 bB	12.00 bB	10.00 bC	6.00 cD	10.80 c
T-เฉลี่ย	16.50 A	14.33 A	14.17 AB	10.33 B	8.00 C	
F-test วัสดุ (M)			*			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			*			
CV (%)			26.47			

หมายเหตุ *, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.2 เวลาการย่อยของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยเวลาการย่อยของเม็ดปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ วัสดุ FC+AS มีการย่อยของเม็ดปุ๋ยชนิดเม็ดเร็วกว่า วัสดุ FC+U เท่ากับ 2.47 และ 3.33 นาที ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในวัสดุที่มีส่วนผสมยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟต มีผลทำให้เวลาการย่อยของเม็ดปุ๋ยย่อยเร็วขึ้น คือ วัสดุ FC+U+AS+CS และ FC+U+AS ใช้เวลาการย่อยเท่ากับ 1.26 และ 1.67 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการย่อยของเม็ดปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้การย่อยของเม็ดปุ๋ยมีการย่อยเร็วขึ้น

กล่าวคือ ในสัปดาห์ที่ 6 มีการย่อยของเมล็ดป๊อปเร็วที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 2.61 และ 1.45 นาติ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้เวลาการย่อยของเมล็ดป๊อปมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุ FC+U+AS+CS ย่อยเร็วที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.60 นาติ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้วัสดุที่ผ่านการย่อยสลายมีปริมาณวัสดุขนาดเล็กมากขึ้น (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 2) ซึ่งเมื่อวัสดุมีความละเอียดมากจับตัวกันเป็นเม็ดทำให้เมล็ดป๊อปมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเมื่อนำเข้าไปในเม็ดป๊อปจึงทำให้เมล็ดป๊อปย่อยได้เร็วขึ้น

ตารางที่ 3 เวลาการย่อยป๊อปอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป่นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นาติ)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	4.67 aA	4.67 aA	4.67 aA	4.67 aA	2.67 aB	4.27 a
FC+CS	4.67 aA	4.67 aAB	4.67 aAB	3.67 aAB	1.13 aB	4.27 a
FC+U	4.67 aA	3.67 aA	3.67 aA	3.33 aB	2.67 aB	3.33 b
FC+AS	4.67 aA	2.67 bB	2.67 abB	1.67 abBC	0.67 bC	2.47 bc
FC+U+AS	3.67 bA	1.67 bB	1.67 bB	1.67 abB	0.67 bB	1.67 c
FC+U+AS+CS	3.67 bA	1.67 bAB	0.67 bB	0.60 bB	0.67 bB	1.46 c
T-เฉลี่ย	4.34 A	3.17 A	3.00 A	2.61 B	1.45 B	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			*			
F-test M×T			**			
CV (%)			36.65			

หมายเหตุ *, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

การย่อยของเมล็ดป๊อปอินทรีย์เกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต โดยถ้าวัสดุมีความละเอียดมากจับตัวกันเม็ดป๊อปทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสในเม็ดป๊อปมีมากเมื่อนำเข้าไปทำ

ปฏิกิริยาเม็ดยุจึงเกิดการยุได้เร็วขึ้น ซึ่งการยุอาจส่งผลดีกับการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชสามารถนำไปใช้ได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ส่วนมากมักจะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้า

2.3 ความแข็งของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งของเม็ดปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุที่มีการใส่แคลเซียมซัลเฟตมีความแข็งของเม็ดปุ๋ยมากกว่าการไม่ใส่แคลเซียมซัลเฟต กล่าวคือ วัสดุ FC+CS มีความแข็งเท่ากับ 5.68 นิวตัน ส่วนวัสดุ FC มีความแข็งเท่ากับ 4.59 นิวตัน วัสดุ FC+U และ FC+AS มีความแข็งของเม็ดปุ๋ยมากกว่าวัสดุ FC กล่าวคือ วัสดุ FC+U และ FC+AS มีความแข็งของเม็ดปุ๋ยเท่ากับ 4.94 นิวตัน และ 5.53 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนวัสดุ FC+U+AS ทำให้ความแข็งของเม็ดปุ๋ยมากกว่าวัสดุ FC+U และ FC+AS โดยมีความแข็งเท่ากับ 5.80 นิวตัน แต่ไม่แตกต่างกับวัสดุ FC+CS ส่วนวัสดุ FC+U+AS+CS มีความแข็งของปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดมากที่สุดเท่ากับ 6.37 นิวตัน (ตารางที่ 4) ทั้งนี้การใส่แคลเซียมมีผลทำให้เม็ดปุ๋ยมีความแข็งมากขึ้นนั้นเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแคลเซียมซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ง่าย และเมื่อแห้งแล้วจะทำให้มีลักษณะแข็งเป็นปูนปลาสเตอร์ (ปริดา, 2539) ดังนั้นเมื่อมีแคลเซียมซัลเฟตเป็นสารเชื่อมในเม็ดปุ๋ยจึงทำให้เม็ดปุ๋ยมีความแข็งเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความแข็งของเม็ดปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งของเม็ดปุ๋ยเพิ่มขึ้นด้วย กล่าวคือ ในสัปดาห์ที่ 8 มีความแข็งของเม็ดปุ๋ยมากที่สุดเท่ากับ 7.28 นิวตัน แต่ให้ผลไม่แตกต่างกับสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.34 นิวตัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ความแข็งของเม็ดปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุ FC+U+AS+CS มีความแข็งของเม็ดปุ๋ยมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 8.82 นิวตัน (ตารางที่ 4) ความแข็งของเม็ดปุ๋ยมีความสำคัญต่อคุณภาพของปุ๋ย เนื่องจากเม็ดปุ๋ยที่เปราะยอมทนต่อแรงกดได้น้อย จึงแตกออกได้ง่ายคายเมื่อถูกกดทับในกองปุ๋ย หรือเมื่อบรรจุลงในกระสอบต่าง ๆ ของกอง ดังนั้นเมื่อปุ๋ยมีความแข็งมากเม็ดปุ๋ยที่มีเนื้อเกาะกันแน่นย่อมมีการกร่อนน้อยทำให้เม็ดปุ๋ยสามารถคงคุณภาพเดิมอยู่ได้

ตารางที่ 4 ความแข็งแรงของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (นิวตัน)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	3.04 bD	4.02 cD	4.41 cD	5.39 cC	6.08 bB	4.59 c
FC+CS	4.02 aD	5.39 abC	5.88 aB	6.08 bB	7.06 aA	5.68 ab
FC+U	3.04 bD	4.02 cD	4.90 bC	5.88 bB	6.86 aA	4.94 b
FC+AS	3.04 bD	4.90 bC	5.88 aB	6.76 aA	7.06 aA	5.53 b
FC+U+AS	3.04 bD	5.39 abC	5.88 aB	6.86 aA	7.84 aA	5.80 ab
FC+U+AS+CS	4.02 aC	5.88 aB	6.08 aB	7.06 aA	8.82 aA	6.37 a
T-เฉลี่ย	3.36 D	4.93 C	5.50 B	6.34 A	7.28 A	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			**			
CV (%)			22.88			

หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.4 ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่แคลเซียมซัลเฟตไม่มีผลทำให้ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยพบว่าวัสดุ FC+U+AS+CS มีค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมากที่สุดเท่ากับ 0.43 g cm^{-3} และวัสดุที่มีการใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวทำให้ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตร่วมกัน กล่าวคือ วัสดุ FC+U+AS, FC+U และ FC+AS มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.40, 0.40 และ g cm^{-3} ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นกล่าวคือ ในสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมากที่สุดเท่ากับ 0.49 g cm^{-3} นอกจากนี้ยังพบว่า วัสดุมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหมักที่ทำให้ความหนาแน่นของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ วัสดุ FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 0.54 g cm^{-3} (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป้อนจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (g cm^{-3})

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	0.36 aD	0.35 bD	0.37 dC	0.40 dB	0.47 bA	0.39 d
FC+CS	0.35 bE	0.32 cD	0.40 aC	0.42 cB	0.46 bA	0.39 d
FC+U	0.33 dE	0.39 aD	0.40 aC	0.43 cB	0.44 cA	0.40 c
FC+AS	0.33 dD	0.35 bC	0.39 bB	0.46 cA	0.46 bA	0.40 c
FC+U+AS	0.34 cD	0.35 bC	0.39 bB	0.49 bB	0.54 aA	0.42 b
FC+U+AS+CS	0.33 dD	0.35 bC	0.38 cB	0.53 aB	0.54 aA	0.43 a
T-เฉลี่ย	0.34 E	0.35 D	0.39 C	0.46 B	0.49 A	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			**			
CV (%)			22.32			

หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.5 ค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุ FC มีค่าเฉลี่ยของค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดสูงที่สุดเท่ากับ 7.59 วัสดุ FC+CS, FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีค่าเฉลี่ยของค่า pH เท่ากับ 7.17, 6.86, 6.16 และ 6.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 6) นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุที่มีการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตมีผลต่อการเพิ่มสภาพความเป็นกรดให้กับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้มีเกลือแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่ เมื่อใส่ลงไปในกลุ่มปุ๋ยหมักอาจมีผลตกค้างของความเป็นกรดเกิดขึ้นได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ชัยสิทธิ์, 2538)

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 ของการหมักมีค่าเฉลี่ยของค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดสูงที่สุดเท่ากับ 6.95 และไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาในการหมักที่ทำให้ค่า pH มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่า วัสดุ FC มีค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 7.75 (ตารางที่ 6) อย่างไรก็ตามค่า pH ในทุกวัสดุอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืชเมื่อเทียบกับมาตรฐาน (ตารางผนวกที่ 15)

2.6 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุที่ใส่แคลเซียมซัลเฟตทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าการไม่ใส่แคลเซียมซัลเฟตกล่าวคือ วัสดุ FC+CS มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.14 dS m^{-1} ส่วนวัสดุ FC มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.78 dS m^{-1} และวัสดุที่มีการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าวัสดุที่ไม่ใส่แคลเซียมซัลเฟต และยูเรีย กล่าวคือวัสดุ FC+AS, FC+U, FC+CS มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.22, 1.25, และ 2.14 dS m^{-1} ตามลำดับ และพบว่าวัสดุ FC+U+AS+CS มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 3.28 (ตารางที่ 7) ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงอาจเป็นผลมาจากเกลือแคลเซียมที่อยู่ในแคลเซียมซัลเฟต

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่อเริ่มการกองปุ๋ยหมักมีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดค่อนข้างสูงในช่วงแรกของการหมัก แต่เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้นค่าการนำ

ไฟฟ้าลดลงและอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช(ตารางภาคผนวกที่ 15) นอกจากนี้ยังพบว่า วัสดุการทดลองมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหมักที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุ FC+U+AS+CS มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเริ่มตั้ง กองปุ๋ยหมักเท่ากับ 4.02 dS m^{-1} (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป้อนจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	7.51	7.75	7.45	7.69	7.54	7.59 a
FC+CS	7.12	7.37	6.97	7.22	7.15	7.17 b
FC+U	7.20	6.72	7.55	7.39	7.21	7.21 b
FC+AS	6.52	7.35	6.76	6.86	6.79	6.86 c
FC+U+AS	6.27	6.24	6.14	6.11	6.04	6.16 d
FC+U+AS+CS	6.24	6.23	6.26	6.07	6.01	6.16 d
T-เฉลี่ย	6.81 D	6.95 A	6.86 C	6.89 B	6.79 D	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			*			
F-test M×T			ns			
CV (%)			8.37			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 7 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (dS m^{-1})

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	1.17 cA	1.05 cA	0.86 cB	0.88 cB	0.60 cB	0.78 c
FC+CS	2.99 bA	2.31 bcA	2.21 bB	2.14 bB	2.08 bB	2.14 b
FC+U	1.48 cA	1.44 cA	1.42 cA	1.27 cB	1.07 cB	1.25 c
FC+AS	3.94 aA	3.36 bA	3.27 aA	3.14 aA	3.09 aB	3.22 a
FC+U+AS	3.41 bA	3.27 bA	3.19 aA	3.03 bB	3.00 aB	3.12 a
FC+U+AS+CS	4.02 aA	3.74 aA	3.25 aA	3.11 aA	3.02 aB	3.28 a
T-เฉลี่ย	2.84 A	2.53 A	2.37 A	2.26 B	2.14 B	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			*			
F-test M×T			**			
CV (%)			34.79			

หมายเหตุ *, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.7 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจน มีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าวัสดุที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน กล่าวคือ วัสดุ FC+U (48.86 %), FC+AS (49.46 %) และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าวัสดุ FC+U+AS (53.15 %) และ FC+U+AS+CS (51.09 %) (ตารางที่ 8)

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลง

โดยเมื่อเริ่มกองปุ๋ยหมักมีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 64.77 % นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุ FC+AS มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเมื่อเริ่มกองปุ๋ยหมัก เท่ากับ 73.09 % (ตารางที่ 8) อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรีย์วัตถุในทุกวัสดุยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ตารางผนวกที่ 15)

ตารางที่ 8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (%)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	61.81 bA	52.88 aA	45.28 bB	41.20 cC	42.84 bcC	48.80 ab
FC+CS	68.13 aA	53.03 aAB	48.95 aB	42.17 cC	40.95 cD	50.65 ab
FC+U	64.71 abA	46.04 cB	45.11 bB	43.96 bC	44.46 bC	48.86 b
FC+AS	63.09 bA	53.46 aB	43.80 cC	45.35 bC	41.60 bcD	49.46 b
FC+U+AS	68.07 aA	47.84 bB	46.94 bB	52.10 aB	50.78 aB	53.15 a
FC+U+AS+CS	62.83 bA	45.49 cB	43.21 cB	51.45 aAB	52.47 aAB	51.09 a
T-เฉลี่ย	64.77 A	49.79 B	45.55 C	46.04 C	45.52 C	
F-test วัสดุ (M)			*			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			*			
CV (%)			14.62			

หมายเหตุ *, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.8 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้สัดส่วน

คาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีค่าต่ำกว่าวัสดุที่ไม่ใส่ปุ๋ย และวัสดุที่ใส่ยูเรียร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าวัสดุที่มีการใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ วัสดุ FC+U และ FC+AS มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 26.83 และ 25.98 ตามลำดับ ส่วนวัสดุ FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 24.55 และ 24.45 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้นสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุ FC+U+AS มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุดเท่ากับ 18.11 (ตารางที่ 9) อย่างไรก็ตามวัสดุ FC+U+AS และ FC+U+AS+CS ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 มี C:N ratio อยู่ในช่วงประมาณ 20:1

2.9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุที่มีการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าวัสดุที่ใส่ยูเรีย และวัสดุที่ใส่ยูเรียร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าวัสดุที่ใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ วัสดุ FC+U, FC+AS และ FC+U+AS มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.15, 1.21 และ 1.35 % ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ระยะเวลาในการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงโดยในสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.95 % นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวัสดุ FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเมื่อเริ่มกองปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1.53 และ 1.55 % ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 9 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป่นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	45.70 aA	41.34 aA	31.11 aA	27.97 aB	26.84 aB	34.59 a
FC+CS	46.15 aA	38.87 aA	31.11 aA	27.97 aB	25.59 aB	33.94 a
FC+U	30.99 bA	31.11 bA	24.95 bB	23.56 abB	23.53 abB	26.83 b
FC+AS	30.33 bA	31.83 abA	24.95 bB	21.69 bB	21.12 bB	25.98 b
FC+U+AS	30.36 bA	31.11 bA	22.84 bB	20.34 bB	18.11 bB	24.55 c
FC+U+AS+CS	30.35 bA	30.02 cA	22.84 bB	20.34 bB	18.72 bB	24.45 c
T-เฉลี่ย	35.65 A	34.16 A	26.30 B	23.65 B	22.49 B	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			**			
CV (%)			30.41			

หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.10 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าวัสดุที่ไม่มีการใส่ กล่าวคือ วัสดุ FC+U, FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.02, 1.04, 1.04 และ 1.03 % P_2O_5 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) เนื่องจากในขั้นตอนของการหมักนั้นวัสดุที่มีการเติมปุ๋ยในโตรเจนจะมีการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่มากกว่าวัสดุที่ไม่เติมปุ๋ยในโตรเจนจึงทำให้อินทรีย์วัตถุมีสัดส่วนที่ลดลงและเข้าไปในสัดส่วนที่สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณ

ฟอสฟอรัสต่อหน่วยน้ำหนักแห้งของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดจึงมีค่าสูงกว่าวัสดุที่ไม่เติมปุ๋ยในโตรเจนที่มีการย่อยสลายที่ช้ากว่า

ตารางที่ 10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (%)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	0.83 cAB	0.84 cA	0.79 cB	0.83 cAB	0.83 cAB	0.82 d
FC+CS	0.82 cB	0.83 cAB	0.84 cA	0.84 cA	0.83 cAB	0.83 d
FC+U	1.52 bA	1.31 bA	1.12 bAB	0.96 bB	0.86 bcC	1.15 c
FC+AS	1.54 bA	1.36 bAB	1.16 bB	1.02 bB	0.96 bB	1.21 b
FC+U+AS	1.53 aA	1.50 aA	1.36 aAB	1.24 aB	1.10 aB	1.35 a
FC+U+AS+CS	1.55 aA	1.42 aA	1.21 bAB	1.16 aB	1.12 aB	1.29 a
T-เฉลี่ย	1.30 A	1.21 B	1.08 BC	1.01 C	0.95 C	
F-test วัสดุ (M)			**			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			**			
CV (%)			39.04			

หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ ในสัปดาห์ที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 1.11 % P_2O_5 แต่ไม่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.10 และ 1.09 % P_2O_5 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) และไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาในการหมักที่ทำให้ปริมาณ

ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป่นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (% P₂O₅)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	0.71	1.01	1.09	1.12	0.94	0.97 b
FC+CS	0.75	1.00	1.09	1.01	0.95	0.96 b
FC+U	0.71	1.12	1.13	1.11	1.04	1.02 a
FC+AS	0.73	1.13	1.14	1.14	1.05	1.04 a
FC+U+AS	0.74	1.19	1.04	1.12	1.13	1.04 a
FC+U+AS+CS	0.64	1.17	1.02	1.13	1.19	1.03 a
T-เฉลี่ย	0.71 B	1.10 A	1.09 A	1.11 A	1.05 AB	
F-test วัสดุ (M)			*			
F-test เวลา (T)			*			
F-test M×T			ns			
CV (%)			11.08			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.11 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ป่นเม็ด

วัสดุมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า วัสดุที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่า วัสดุที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน กล่าวคือ วัสดุ FC+U, FC+AS, FC+U+AS และ FC+U+AS+CS มีปริมาณ

โพแทสเซียมเท่ากับ 0.66, 0.66, 0.68 และ 0.68 % K_2O ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เนื่องจากในขั้นตอนของการหมักนั้นวัสดุที่มีการเติมปุ๋ยในโตรเจนนั้นจะมีการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่มากกว่าวัสดุที่ไม่เติมปุ๋ยในโตรเจนจึงทำให้อินทรีย์วัตถุมีสัดส่วนที่ลดลงและเข้าไปในสัดส่วนที่สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมต่อหน่วยน้ำหนักแห้งของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดจึงมีค่าสูงกว่าวัสดุที่ไม่เติมปุ๋ยในโตรเจนเช่นเดียวกันกับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 12 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ปั้นจากวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (% K_2O)

วัสดุ	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)					M-เฉลี่ย
	0	2	4	6	8	
FC	0.52	0.57	0.58	0.67	0.67	0.60 b
FC+CS	0.54	0.58	0.59	0.67	0.68	0.61 b
FC+U	0.57	0.67	0.67	0.69	0.71	0.66 ab
FC+AS	0.59	0.65	0.67	0.67	0.71	0.66 ab
FC+U+AS	0.57	0.63	0.69	0.73	0.76	0.68 a
FC+U+AS+CS	0.56	0.64	0.68	0.72	0.78	0.68 a
T-เฉลี่ย	0.56 C	0.62 B	0.65 AB	0.69 A	0.72 A	
F-test วัสดุ (M)			*			
F-test เวลา (T)			**			
F-test M×T			ns			
CV (%)			11.57			

หมายเหตุ

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*, ** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ 99 %
ในคอลัมน์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่า

ไม่แตกต่างทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทาง
สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ระยะเวลาการหมักมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุที่

ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรียสารมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สัดส่วนของอินทรียสารของโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้น และไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ และระยะเวลาการหมักที่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการย่อยสลายของกากตะกอนอ้อย พบว่า การย่อยสลายในทุกตำรับมีผลทำให้สมบัติทางเคมี และกายภาพของกากตะกอนอ้อยดีขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้น แต่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายแต่ละตำรับไม่เท่ากัน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตส่งเสริมให้กากตะกอนอ้อยมีการย่อยสลายได้เร็วขึ้น และพบว่าตำรับ FC+U+AS+CS มีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของปุ๋ยหมักดีที่สุด คือมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ กากตะกอนอ้อยมีขนาดเล็กลง ส่วนตำรับ FC+U+AS ทำให้สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับ FC+U+AS+CS คือ มีปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้เวลาประมาณ 6 สัปดาห์

การศึกษาคูณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ป้อนจากกากตะกอนอ้อยที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน พบว่า วัสดุ FC+U+AS+CS มีคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดดีที่สุดโดยใช้ระยะเวลาการหมักอย่างน้อย 6 สัปดาห์ คือ ทำให้ใช้เวลาการขึ้นเม็ดสั้น การย่อยของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เกิดได้เร็วขึ้น มีความแข็งแรงและความหนาแน่นรวมของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ดีกว่าวัสดุอื่น รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหาร สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และการใส่แคลเซียมซัลเฟตทำให้ใช้ระยะเวลาในการขึ้นเม็ดยาวลง และความแข็งแรงของเม็ดปุ๋ยเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การใส่ยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้สมบัติทางเคมีของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์ดีขึ้น โดยพบว่าการใส่ยูเรียร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้ปริมาณธาตุอาหารมากกว่าการใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดที่ดีนั้นควรนำวัสดุมากองเป็นปุ๋ยหมักก่อนการปั้นเม็ด โดยการกองปุ๋ยหมักจากกากตะกอนอ้อยในการทดลองนี้ทำให้วัสดุมีขนาดเล็กลง มีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง แต่ถ้าจะทำให้การย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ควรมีการเติมปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเร่งการย่อยสลาย และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารได้อีกด้วย ซึ่งในการทดลองนี้การย่อยสลายของกากตะกอนอ้อยที่มีเติมปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เกิดการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ภายใน 6 สัปดาห์ โดยการใส่ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟตมีการสูญเสียไนโตรเจนน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย และพบว่าการใส่ยูเรียร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดี และมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าการใส่ยูเรียหรือแอมโมเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว และในขั้นตอนของการปั้นเม็ดปุ๋ยที่มีการเติมแคลเซียมซัลเฟตทำให้ใช้เวลาในการปั้นเม็ดปุ๋ยน้อยลง อาจมีผลทำให้ลดการใช้แร่ดินเหนียวที่ใช้เป็นสารจับเม็ดปุ๋ยที่นิยมใช้กันทั่วไปลงได้ และยังเป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้อีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2551. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกไปสำคัญ การขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518. 27 มิถุนายน 2551.

กองปลูพืชวิทยา. 2545. ปุ๋ยอินทรีย์. จดหมายข่าวกองปลูพืชวิทยา. 11(2-3): 4-5.

กุลวดี คันธวิวัฒน์. 2533. ประสิทธิภาพของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดในแง่ปุ๋ยพืชไร่ที่ปลูกใน ชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปลูพืชวิทยา. 2544. คู่มือ ปลูพืชวิทยาเบื้องต้น และวิทยาศาสตร์ทางดิน: ระบบ โสตทัศนูปกรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. ปลูพืชวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรงค์ จันทน์เจริญสุข, ปัทมา แสงบริสุทธิ์ และศุภมาส พานิชศักดิ์พัฒนา. 2531. การศึกษาการใช้ วัสดุเหลือใช้อินทรีย์เพื่อเป็นปุ๋ยและปรับปรุงดิน. ใน รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2531. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จามีกร ศรีสุเมธ. 2537. การใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยในโตรเจนสำหรับข้าวโพด หวานที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม. 2546. การใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรสและปุ๋ย หมักมูลเป็ดอัดเม็ดเป็นปุ๋ยสำหรับข้าวที่ปลูกในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ชัยสิทธิ์ ทองจู. 2538. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยในโตรเจนสำหรับกวางตุ้งและ
ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ฐานุภา อยู่อุ่นพะเนา. 2548. อิทธิพลของการใช้มูลไก่อัดเม็ดและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและ
ผลผลิตของมะม่วงพันธุ์อายุสั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ถนัด เกิดงาม. 2533. ผลของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดในแง่ปุ๋ยข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปาก
ช่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัด และคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน
และพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____, อรรถศิษฐ์ วงมณีโรจน์, วลี สงสูงศ์, ชูดี ม่วงประเสริฐ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จิรวัฒน์ พุ่ม
เพชร และจตุรธรรม จันทลา. 2551. การพัฒนาคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีการปั้นเม็ดเพื่อ
เพิ่มคุณค่าในการปรับปรุงบำรุงดิน และเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์, ใน รายงานผลการวิจัย
ฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาคุณภาพและการบรรจุภัณฑ์ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่ง
ผลิตภัณฑ์ทั่วประเทศ ประจำปี 2550. สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย
จีเลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. 2539. เชรามิกส์. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปัทมา แสงบริสุทธิ์. 2533. การใช้วัสดุเหลือใช้อินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปุ๋ยสำหรับข้าว
ในดินเปรี้ยวจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรฤดี สงวนสุข. 2549. การใช้ของเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยอัดเม็ดสำหรับ
ดาวเรือง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

พิทยากร ลิ้มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพจน์ต์, ประโสด ธรรมเขต,
ชูศรี ยสินทร และ ปรัชญา รัชญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของ
จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว, น. 35-43. ใน รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุง
ดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงมณีโรจน์, ชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.
สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุพิน บุระคำ. 2544. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักผักตบชวาและปุ๋ยหมัก
กากตะกอนอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันราชภัฏมหาสารคาม.

วัลลีย์ ปัญญารินทร์. 2533. การใช้วัสดุเหลือใช้อินทรีย์เป็นปุ๋ยในโตรเจนและฟอสฟอรัส สำหรับ
ข้าวในดินนาชุดดินมโนรมย์และชุดดินร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบูรณ์ ประภาพรรณพงศ์, จันทิรา อริรัช และลัดดาวัลย์ มีสุข. 2539. อิทธิพลของการใช้
Activated Sludge Cake, Filter Cake และ Slop Ash ในรูปของปุ๋ยอัดเม็ดต่อการ
เจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพดในชุดดินมาบบอน, น. 11-17. ในการประชุม
วิชาการประจำปี 2539. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, วิสุทธิ์ วีรสาร, อธิติสุนทร นันทกิจ, นิภา พณาพิทักษ์กุล, สมชาย กริฑาภิรมย์ และสุริยา ศาสนรักกิจ. 2538. การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ในการเป็นปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน. เอกสารงานวิจัย ฉบับที่ 4 โครงการวิจัยและแนะนำทางเทคโนโลยีของดินและปุ๋ย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุริยา ศาสนรักกิจ. 2531. การประเมินประสิทธิภาพของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางอย่างในแง่การใช้ปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, รัตนา คชโกศัย, ปรีชา รุ่งแกร, ประสิทธิ์ บำรุงสุข, กนกอร อัมพรายน และณัฐหทัย ศาสตะเน. 2549. คู่มือ เทคโนโลยีการผลิตและโรงงานต้นแบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง. ศูนย์เทคโนโลยีปุ๋ย, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 75-2548

อนนท์ สุขสวัสดิ์,พนัส สุวรรณธาดา และ ดิเรก อินตาพรหม. 2533. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. วารสารการเกษตร, ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม. 94-101 น.

อนุภาพ แก้วทอง. 2541. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้งและกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีการแบบมีการระบายอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2544. การศึกษาอิทธิพลของการอัดเม็ดวิธีการใส่และเวลาในการใส่ปุ๋ยมูลไก่ต่อการผลิตและการดูดตั้งธาตุอาหารของข้าวโพด และต่อสมบัติของดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Alexander, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology**. 2nd ed. New York : John Wiley & Son.

Barnes, A.C. 1964. **The Sugarcane**. Leonard Hill Limited, London.

- Castellanos, J.Z. and P.F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen 1. Correlation with laboratory indexes. **J. SSSA.** 45: 354-357.
- Celik, I., I. Ortas, and S. Kilic. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil & Tillage Res.** 78: 59-67.
- Chanchareonsook, J., H. Wada, S.Mankarmde and S. Vacharotayan. 1985. **Effects of organic waste materials on paddy soil dynamics**, pp. 8–120. In S.Vacharotayan and T.Yoshida (eds.). *Utilization of Organic Waste Materials in Agriculture*. Tokyo, Japan.
- Crawford, J.H. 1983. Composting of agricultural wastes-a review. **Process Biochem.** 18: 14-18.
- Day, M., M. Krzysiecin, K. Shaw, L. Zeremba, W.R. Wilson, C. Botden and B.Thomus. 1998. An investigation of the chemical and physical changes occurring during commercial composting. **Compost Sci. Util.** 6: 44-66.
- De Bertoldi, M., G. Vallini and A. Pera. 1983. The biology of composting: A review. **Waste Manage. Res.** 1: 157-176.
- Diaz, M.J., E. Madejon, R. Lopez, R. Lopez and F. Cabrera. 2002. Composting of vinasse and cotton gin waste using two different systems. **Resour. Conserv. Recyc.** 34(4): 235-248.
- Finstein, M.S. and M.L. Morris. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. **Adv. Appl. Microbiol.** 19: 113-151.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. 2003. **Important commodities in agricultural trade.** sugar. Available Source: [http:// www.fao.org](http://www.fao.org) :August 15, 2008.

- Forster, J.C., W. Zech and E. Wurdinger. 1993. Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. **Biol. Fertil. Soils** 16: 93-99.
- Gaur, A.C., K.V. Sadasivam, R.S. Mathur and S.P. Magu. 1982. Role of mesophilic fungi in composting. **Agr. Wastes** 4(6): 453-468.
- Goluek, C.G. 1977. The biological approach of solid waste management. **Compost Sci.** 8: 4-9.
- Gray, K.R., K. Sherman and A.J. Biddlestone. 1971. A review of composting, part 1. **Process Biochem.** 6(6): 22-36.
- Haug, R.T. 1980. **Composting Engineering: Principle and Practice.** Technomic Publ. Co. Inc., Lancaster, Pennsylvania. 655 p.
- Horwitz, W. 2000. **The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence: Official Methods of Analysis of AOAC International.** USA.
- JICA. 1982. **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand Interim Report.** Bangkok, Thailand. 145 p.
- Jung, K.Y. and Jany. 2000. Recycling technology of livestock wastes. *In* International Seminar on Issues in Management of Agricultural Resources In commemoration of **FFTC 30th** Anniversary, September 6-8, 2000. National Taiwan University. Taipei, Taiwan, ROC.
- Krogmann, U., and Korner, I. 2000. Technology and strategies of composting, pp. 128-147. *In* J. Klien and J. Winter (eds.), **Biotechnology**, vol. 11c Environmental process III solid waste and waste gas treatment, preparation of drinking water Weinheim : Wiley-VCH.

- Kogram, C. 2002. Influence of chicken manure on cassava yield and soil properties. **World Congress of Soil Science**, 17th Thailand 723: 1-7.
- Kutzner, H. J. 2000. Microbiology of composting, pp. 128-147. *In* J. Winter (eds.), **Biotechnology**, vol. 11c Environmental process III solid waste and waste gas treatment, preparation of drinking water Weinheim : Wiley-VCH.
- Maier, R. M., Paper, I. L., and Gerba, C.P. 2000. **Environmental Microbiology**, pp. 323-324. San Diego: Academic press.
- Martins, O. and T. Dewes. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. **Bioresour. Technol.** 42: 103-111.
- Masayuki, H. 2001. **Fertilizer pellets made from composted livestock manure**. Food and Fertilizer Technology Center, Japan.
- Mathur, S.P., G. Owen, H. Dinel and M. Schnitzer. 1993. Determination of compost biomaturity. **Biol. Agr. Hort.** 10: 65-85.
- Mauric, P.J. 1969. By-products of the Cane Sugar Industry. **New York: Elsevier Publishing Company.** 124 p.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, and R.W. Weaver. 2004. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugra mill. **Bioresour. Technol.** 96, 437-442.
- Miller, F.C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors, pp. 515–544. *In* F. B. Metting, Jr. (ed.). **Soil Microbial Ecology**. Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc., New York.

- Panichsakpatana, S., S. Sassanarakkit and T. Yoshida. 1985. **Effects of organic waste materials on the growth and yield of rice**, pp. 121 – 198. *In* S. Vacharotayan and T. Yoshida (eds.). *Utilization of Organic Waste Materials in Agriculture*. Tokyo, Japan.
- Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling and Management**. John Wiley & Sons, England.
- Rabbani, K.R., R. Jindal, H. Kubota and L. Obeng. 1983. Composting of domestic refuse: A review. **Environ. Sanitation** 10(11): 9-78.
- Sikora, L.J. and R.A.K. Szmidt. 2001. Nitrogen sources, mineralization rates, nitrogen nutrition benefits to plant from composts, pp. 287-305. *In* P.J. Stoffella and B.A. Kahn (eds.). **Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems**. Lewis Publishers, New York, USA.
- Stentiford, E.T. 1996. Composting control: principles and practice, pp. 49-59. *In* M.De Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes, T. Papi (eds.). **The Science of Composting**. CEC, Blackie Academic and Processional, London.
- Tengerdy, R.P. 1985. Solid substrate fermentation. **Trends in Biotech.** 3(4): 96-99.
- Tiquia, S.M., J.H.C. Wan and N.F.Y. Tam. 2002. Dynamic of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. **Process Biochem.** 37(10): 1057-1065.
- U.S. Environment Protection Agency. 1995. **Composting: Yard and Municipal Solid Waste**. Lancaster, Technomic Publishing.
- Vuorinen, A.H. and M.H. Saharinen. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. **Agr. Ecosyst. Environ.** 66: 19-29.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารของกากตะกอนย่อย

สมบัติทางเคมีและธาตุอาหาร	ค่าวิเคราะห์
pH 3:50	7.70
C:N ratio	45.00
EC 1:10 (dS m ⁻¹)	0.56
OM (%)	83.00
total N (%)	1.20
total P (%)	0.96
total K (%)	0.59
Cu (mg kg ⁻¹)	1.91
Zn (mg kg ⁻¹)	51.74
Mn (mg kg ⁻¹)	257.47
Fe (mg kg ⁻¹)	803.48
moisture (%)	73.85

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (องศาเซลเซียส)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	FC	FC+ CS	FC+ U	FC+AS	FC+ U+AS	FC+ U+AS+CS
0	35.50	37.00	38.00	37.75	37.00	38.67
2	48.00	52.75	49.50	52.75	50.75	54.25
4	57.25	60.00	60.25	60.50	62.00	62.00
6	56.50	59.50	57.00	58.75	60.75	59.75
8	63.25	62.25	61.50	62.00	64.50	61.50
10	61.75	63.25	62.50	64.25	63.75	62.75
12	61.75 ab	58.50 b	61.00 ab	64.75 a	63.50 a	62.00 ab
14	60.50 b	58.00 c	61.00 ab	65.25 a	63.50 a	62.00 a
16	61.75 bc	60.75 c	62.25 b	64.25 a	65.25 a	62.25 b
18	63.83 b	64.75 a	61.75 c	64.83 a	65.83 a	61.58 c
20	63.67 b	63.33 b	61.75 bc	64.00 a	62.00 b	59.92 c
22	56.92 b	58.83 ab	59.00 a	59.33 a	55.42 c	55.25 c

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ระยะเวลาการ หมัก (วัน)	FC	FC+ CS	FC+ U	FC+AS	FC+ U+AS	FC+ U +AS+CS
24	63.42	63.58	62.50	64.42	64.75	65.58
26	64.25	64.00	63.67	64.92	65.25	65.83
28	48.25 a	47.33 a	40.00 c	48.67 a	46.58 b	41.42 c
30	42.17 b	41.25 b	39.00 c	48.58 a	44.33 b	39.25 c
32	43.58	43.83	42.75	45.67	42.42	40.08
34	44.08 ab	43.92 b	46.33 a	42.75 b	40.50 c	40.00 c
36	43.75 a	42.75 a	44.08 a	39.42 b	38.08 b	36.25 b
38	43.00 a	40.83 ab	43.75 a	39.25 b	37.25 c	35.42 c
40	47.50 a	43.92 ab	43.00 ab	39.33 c	37.25 c	34.83 c
42	47.92 a	46.92 a	43.67 b	38.00 c	36.42 c	34.92 c
44	43.25 a	44.58 a	41.92 ab	35.25 c	34.42 c	33.08 c
46	40.42 a	42.67 a	36.75 b	33.25 c	34.08 c	33.42 c
48	40.75 a	42.75 a	34.92 b	34.08 b	34.08 b	33.17 b
50	41.08 a	43.08 a	35.25 b	33.33 b	33.75 b	32.83 b
52	39.33 a	39.92 a	34.33 b	33.75 b	32.75 b	32.00 b
54	39.67 a	40.42 a	32.92 b	32.58 b	32.75 b	31.58 b
56	37.17 a	38.50 a	31.42 b	31.17 b	31.75 b	30.25 b
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	23.67	21.74	17.77	21.73	18.57	19.65

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณวัสดุอินทรีย์ขนาดต่างๆ ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

สัปดาห์	ขนาดวัสดุ (มม.)	FC	FC+ CS	FC+ U	FC+AS	FC+ U +AS	FC+ U +AS+CS
0	> 2	66.11	63.30	59.30	59.70	61.10	57.00
	1-2	14.00	12.78	16.67	15.56	12.33	13.48
	0.5-1	12.11	13.56	13.00	16.00	14.56	15.10
	< 0.5	7.78	11.11	11.11	8.89	12.22	14.44
2	> 2	64.56	57.71	55.56	55.56	57.71	51.60
	1-2	12.78	13.11	14.89	16.67	15.44	17.18
	0.5-1	13.67	16.36	16.45	16.67	16.44	17.97
	< 0.5	9.00	12.89	13.11	12.33	11.40	13.33
4	> 2	60.00	55.56	54.33	52.22	58.89	48.89
	1-2	13.33	13.33	14.44	13.33	13.11	13.33
	0.5-1	13.33	18.89	15.56	16.67	16.33	20
	< 0.5	13.33	13.31	15.32	17.78	12.56	17.78
6	> 2	60.00	50.00	50.00	42.48	47.78	45.00
	1-2	13.56	15.00	15.00	14.78	12.22	16.11
	0.5-1	13.67	18.33	17.78	19.87	18.89	22.78
	< 0.5	13.00	16.67	17.22	23.00	21.11	17.78
8	> 2	52.22	49.40	48.50	41.67	43.89	38.89
	1-2	15.89	14.89	17.56	14.44	12.22	15.00
	0.5-1	16.56	17.78	17.00	20.00	18.89	22.78
	< 0.5	15.56	18.33	17.22	23.89	25.00	23.33

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (%)

ตำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก(สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	0.86 c	0.84 c	0.70 c	0.70 d	0.78 d
FC + CS	0.87 c	0.86 c	0.72 c	0.75 d	0.75 d
FC+U	1.57 b	1.39 b	1.19 b	0.93 c	1.01 c
FC+AS	1.60 b	1.50 b	1.31 b	1.18 b	1.17 bc
FC+ U +AS	1.73 a	1.66 a	1.56 a	1.54 a	1.41 a
FC+ U+AS+ CS	1.66 a	1.56 b	1.52 a	1.29 b	1.27 ab
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	30.15	42.76	33.97	63.9	18.61

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (mg kg⁻¹)

ตำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	148.17 e	200.48 e	181.05 c	179.94 d	195.76 c
FC + CS	139.47 e	273.90 e	252.54 c	229.47 d	243.71 c
FC+ U	2175.38 d	9074.97 d	3209.01 c	1924.94 c	228.15 c
FC+AS	1673.36 c	13901.37 c	8891.40 b	4213.63 c	3233.79 b
FC+ U +AS	3958.42 a	16091.75 a	12572.75 a	11344.74 a	8900.00 a
FC+ U+AS+ CS	3436.69 b	14061.58 b	11668.86 a	10276.37 b	10088.32 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	0.57	14.15	27.24	20.00	12.10

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรดในปุยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน
(mg kg⁻¹)

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	2.82 d	13.10 d	19.57 d	19.83 d	26.16 d
FC + CS	8.44 d	13.05 d	16.18 d	18.28 d	40.52 d
FC+ U	9.89 d	50.19 c	148.01 c	196.04 c	275.84 c
FC+AS	21.18 c	134.78 b	346.51 a	393.10 a	544.03 a
FC+ U +AS	122.28 a	135.70 b	175.06 b	187.35 c	310.04 c
FC+ U+AS+ CS	148.48 b	157.29 a	216.45 b	332.97 b	475.09 b
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	9.00	8.74	16.23	8.10	14.80

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (% P₂O₅)

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	0.72	1.07	1.09	1.02	0.94
FC + CS	0.77	1.04	1.09	0.99	0.95
FC+ U	0.71	1.06	1.00	1.08	1.00
FC+AS	0.73	1.00	1.04	1.07	1.05
FC+ U +AS	0.76	1.10	1.04	1.02	1.10
FC+ U+AS+ CS	0.64	1.07	1.06	1.06	1.09
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.54	14.14	8.42	15.76	13.9

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน
(% P_2O_5)

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	0.028	0.028	0.030	0.032	0.032
FC + CS	0.028	0.028	0.030	0.032	0.032
FC+ U	0.028	0.029	0.030	0.033	0.033
FC+AS	0.029	0.029	0.034	0.033	0.035
FC+ U +AS	0.028	0.030	0.033	0.035	0.037
FC+ U+AS+ CS	0.029	0.031	0.033	0.032	0.037
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.01	5.35	8.61	5.93	9.88

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน
(% K_2O)

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	0.58	0.63	0.81	0.75	0.72
FC + CS	0.54	0.61	0.79	0.71	0.70
FC+ U	0.57	0.63	0.85	0.84	0.76
FC+AS	0.51	0.62	0.82	0.84	0.82
FC+ U +AS	0.54	0.66	0.87	0.79	0.86
FC+ U+AS+ CS	0.53	0.60	0.82	0.78	0.80
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.74	11.82	7.00	11.90	10.15

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน
(% K₂O)

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	0.09 b	0.10 c	0.10 d	0.11 c	0.16 c
FC + CS	0.10 ab	0.12 bc	0.15 bc	0.14 b	0.17 c
FC+ U	0.11 ab	0.11 c	0.14 c	0.15 ab	0.15 c
FC+AS	0.11 ab	0.17 a	0.16 ab	0.19 a	0.19 b
FC+ U +AS	0.12 a	0.17 a	0.17 a	0.17 a	0.20 ab
FC+ U+AS+ CS	0.13 a	0.15 ab	0.16 ab	0.16 ab	0.22 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	14.96	24.65	20.67	17.41	15.86

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 11 ค่า pH ในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

ดำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	7.81 a	8.01 ab	7.86 cd	7.59 b	7.41 a
FC + CS	7.66 a	8.00 ab	7.38 d	7.33 bc	7.04 ab
FC+ U	7.63 a	8.30 a	8.90 a	8.45 a	6.69 bc
FC+AS	6.92 b	8.31 a	8.11 b	7.37 c	6.60 c
FC+ U +AS	6.61 c	7.39 c	7.41 d	6.87 d	6.05 d
FC+ U+AS+ CS	6.40 d	7.50 bc	7.07 e	6.70 d	6.01 d
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	8.02	5.55	7.94	7.94	7.73

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 12 ค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (dS m^{-1})

คำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	1.07 d	0.62 c	0.45 d	0.43 d	0.41 d
FC + CS	2.55 b	1.36 b	1.34 b	1.32 b	1.29 b
FC+ U	2.09 c	0.87 c	0.90 c	0.67 c	0.57 c
FC+AS	2.06 c	0.74 c	0.85 c	0.61 c	0.55 c
FC+ U +AS	2.37 b	1.97 b	1.42 b	1.33 b	1.21 b
FC+ U+AS+ CS	4.26 a	3.67 a	3.74 a	3.39 a	2.34 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	27.86	29.25	23.19	21.35	26.46

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน (%)

คำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	70.25	53.59 ab	46.27 ab	43.58 c	43.27 b
FC + CS	73.45	56.11 a	49.62 a	46.76 b	41.91 b
FC+ U	65.95	47.61 cd	46.16 b	43.39 c	47.43 ab
FC+AS	70.52	50.52 bcd	44.64 b	46.27 b	42.51 b
FC+ U +AS	71.07	51.74 abc	47.71 ab	53.70 a	52.74 a
FC+ U+AS+ CS	68.37	46.71 d	46.39 ab	52.60 a	54.36 a
F-test	ns	*	*	*	*
CV (%)	5.23	7.69	4.64	9.13	14.04

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 14 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่มีระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

ตำรับการทดลอง	ระยะเวลาการหมัก (สัปดาห์)				
	0	2	4	6	8
FC	45.70 a	41.34 a	31.22 a	27.94 a	26.84 a
FC + CS	46.15 a	38.87 a	31.11 a	27.97 a	25.59 a
FC+ U	30.99 b	31.52 b	24.45 b	23.56 b	23.53 b
FC+AS	30.46 b	31.83 b	24.95 b	21.69 bc	18.14 c
FC+ U +AS	30.46 b	30.72 b	22.92 b	20.52 c	18.11 c
FC+ U+AS+ CS	30.33 b	31.11 b	22.84 b	20.34 c	19.72 c
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	30.15	42.76	33.97	63.9	18.61

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 15 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดปุยหมัก	ไม่เกิน 12.5×12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้น	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุเคมี และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 % โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 10 dS m ⁻¹
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	-ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 % โดยน้ำหนัก -ฟอสฟอรัส (total P ₂ O ₅) ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก -โพแทสเซียม (total K ₂ O) ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 %
11	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	นางสาวปรารณา ปลอดดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 13 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตปริญญาโท
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-