ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่ พืชไร่นา

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในระหว่างการย่อยสลายของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ

The Changes of Phorbol Esters Quantity during Decomposition of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.)

นามผู้วิจัย นางสาวปาริชาติ มั่นอ้น

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์พรศิริ หลีวานิช, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ธงชัย มาลา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์วิทยา ปั้นสวรรณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สมบัติ ชิณะวงศ์, Ph. D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์สนธิชัย จันทร์เปรม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในระหว่างการย่อยสลายของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ

The Changes of Phorbol Esters Quantity during Decomposition of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.)

โดย

นางสาวปาริชาติ มั่นอ้น

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

พ.ศ. 2552

ปาริชาติ มั่นอ้น 2552: การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในระหว่างการย่อยสลายของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์พรศิริ หลีวานิช, ปร.ด. 102 หน้า

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในระหว่างการย่อยสลายของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ ณ แปลงทดลองของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ตั้งแต่เดือนกันยายน 2550 – ธันวาคม 2551 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 4 ตำรับ คือ ชนิดของวัสดุที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย กิ่งและลำต้น เปลือกผล กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ และวัสดุผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1: 1: 1 ทำ 3 ซ้ำ โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 0, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น ระยะเวลา 0 สัปดาห์ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 ชนิด คือ DHPB และ TPA โดยกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB สูงที่สุด คือ 1.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และในวัสดุผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ในปริมาณ 0.82 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังจากหมัก 12 สัปดาห์ ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในปุ๋ยหมักจากทุกตำรับมีค่าน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้น และปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA เพียงชนิดเดียว ที่ปริมาณ 0.03 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันและปุ๋ยหมักผสมจากกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เพียงชนิดเดียวที่ปริมาณ 0.04 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้น และเปลือกผลสบู่ดำ หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ ลดลงเร็วกว่าปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ และปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักจากทุกตำรับมีค่าลดลงอย่างมากในช่วง 4 สัปดาห์แรกหลังหมัก และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก โดยปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ 3.29 และ 5.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปุ๋ยหมักจากเปลือกผลมีปริมาณโพแทสเซียม และค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดคือ 10.12 เปอร์เซ็นต์ และ 16.06 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุด โดยก่อนหมักมีค่า 58.21 และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์มีค่า 19.46

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Parichart Man – on 2009: The Changes of Phorbol Esters Quantity during Decomposition of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Mrs. Ponsiri Leewanich, Ph.D. 102 pages.

The purpose of this research was to study the changes of phorbol esters quantity during decomposition of the several parts of physic nut (*Jatropha curcas* L.) that were used for production of compost. The studies were carried out at research field of Agronomy Department, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhonpathom during September 2007 to December 2008. Four treatments, stem and branch, hull, seed cake and mixed materials (stem and branch: hull: seed cake, 1: 1: 1), were arranged in completely randomized design (CRD) with 3 replications. The samples were randomly collected on 0, 4, 8 and 12 weeks after decomposing. It was found that phorbol esters content in the compost decreased with time. The phorbol esters at 0 week of seed cake compost was DHPB type at the highest content of 1.34 mg g^{-1} and mixed materials compost found TPA at the quantity of 0.82 mg g^{-1}, but after 12 weeks the phorbol esters content from all treatments in the compost were less than 0.11 mg g^{-1}. Only one type of phorbol esters, TPA, was found in the stem and branch and hull compost at 0.03 and 0.03 mg g^{-1}, respectively, while seed cake compost and mixed materials contain only DHPB type at 0.04 and 0.11 mg g^{-1}, respectively. After 12 weeks of decomposing, the temperature within stem and branch and hull compost decreased faster than that of the compost from seed cake and mixed materials. The organic matter in the compost from all treatments extremely decreased at 4 weeks after decompositing and it was stable after 8 weeks. Seed cake compost contained total nitrogen and total phosphorus at 3.29 and 5.51 %, respectively. Hull compost contained the highest total potassium and EC at 10.12 % and 16.06 dS m^{-1}, respectively. The C/N ratio of stem and branch composting decreased faster than those in the compost from other materials. It was 58.21 at 0 weeks and 19.46 at 12 weeks after decomposing.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. พรศิริ หลีวานิช ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย มาลา รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ปั้นสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ชิณะวงศ์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์มนัส กัมพุกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ และรองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล พรพรหม ประธานกรรมการสอบ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการเรียน การทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบริษัทโปรเทคเตอร์ นิวตริชัน ประเทศไทย จำกัด ที่สนับสนุนทุนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมานิตย์ และคุณแม่สำรวย มั่นอ้น พี่ น้อง เพื่อน และญาติ ๆ ที่คอยให้กำลังใจตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณสมาคมชาวเหนือแห่งรัฐอิลลินนอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาจนจบการศึกษา

ปาริชาติ มั่นอ้น

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การวิเคราะห์เปรียบเทียบอินทรียวัตถุ แร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างกากสบู่ดำ กากละหุ่ง และปุ๋ยอินทรีย์ของกรุงเทพฯ	7
2	ปริมาณธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำที่ได้จากการวิเคราะห์จากแหล่งที่มาต่าง ๆ	8
3	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักระหว่างกากสบู่ดำ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก	11
4	การวิเคราะห์ธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของต้นสบู่ดำ เปรียบเทียบกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก	12
5	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ	19
6	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	31
7	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	38
8	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของเปลือกผลสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	39
9	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	41
10	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของวัสดุผสม กิ่งและลำต้นเปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	42

ตารางผนวกที่

1	อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (องศาเซลเซียส)	84
2	ปริมาณอินทรียวัตถุของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน(เปอร์เซ็นต์)	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
3	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	89
4	ค่าความเป็นกรดด่างของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	90
5	ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($dS\ m^{-1}$)	91
6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	92
7	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	93
8	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	94
9	ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	95
10	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	96
11	ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)	97
12	ปริมาณเหล็กทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน($mg\ g^{-1}$)	98
13	ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($mg\ g^{-1}$)	99
14	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($mg\ g^{-1}$)	100
15	ปริมาณทองแดงทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($mg\ g^{-1}$)	101

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของสาร tigliane	15
2	สูตรโครงสร้างของอัลกอฮอล์ (12 – deoxy – 16 – hydroxyphorbol)	15
3	สูตรโครงสร้างของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB	16
4	สูตรโครงสร้างของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด TPA	16
5	โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในช่วงเวลา 8 – 12 นาที	19
6	โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในช่วงเวลา 18 – 20 นาที	20
7	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB จากส่วนผสมต่าง ๆ ของสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	43
8	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA จากส่วนผสมต่าง ๆ ของสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	44
9	อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	46
10	ปริมาณอินทรียวัตถุของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	48
11	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	49
12	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	51
13	ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	52
14	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	54
15	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	55
16	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	57
17	ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	60
19	ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	61
20	ปริมาณเหล็กทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	63
21	ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	64
22	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	66
23	ปริมาณทองแดงทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน	67

ภาพผนวกที่

1	โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้นสบู่ดำ จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก	80
2	โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากเปลือกผลสบู่ดำ จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก	81
3	โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
4	โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก	83

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในระหว่างการย่อยสลายของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ

The Changes of Phorbol Esters Quantity during Decomposition of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.)

คำนำ

สบู่ดำ เป็นชื่อเรียกทางภาคกลางของประเทศไทย โดยมีชื่อสามัญ คือ physic nut และชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Jatropha curcas* L. จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง และยางพารา เป็นต้น ในปัจจุบันเป็นพืชที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเมล็ดสามารถนำมาบีบได้น้ำมัน และนำมาทำเป็นไบโอดีเซล (bio - diesel) เพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ สบู่ดำเป็นพืชที่ทนแล้ง สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อย แต่ถ้ามีการดูแลที่ดี สบู่ดำก็จะสามารถให้ผลผลิตได้ทั้งปี หลังจากการตัดแต่งกิ่ง จะมีกิ่งสบู่ดำถูกตัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ (สมบัติ, 2549) จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นค่อนข้างสูง โดยไนโตรเจน (N) มีปริมาณ 1 – 6 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P) 0 – 2 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม (K) 1 – 7 เปอร์เซ็นต์ (สุขสันต์, 2544; สมบัติ, 2549; Jones and Miller 1992; Mattana *et al*., 2005; Francis *et al*., 2005; Chaudharry *et al*., 2007; Douradao *et al*., 2007; Wan *et al*., 2007) สมบัติ (2549) ได้รายงานว่า เมล็ดสบู่ดำ หลังจากหีบน้ำมัน จะได้กาก ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 75 % ของน้ำหนักเมล็ดที่นำไปหีบ อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำไปทำเป็นปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ และเชื้อเพลิง นอกจากนี้ คนโบราณปลูกสบู่ดำไว้ริมรั้วเพื่อป้องกันโค กระบือ เข้ามากินพืชผักในบ้าน นำเมล็ดมาใช้ในการให้แสงสว่าง ใช้น้ำยางในการรักษาโรคปากนกกระจอกในคน การปลูกสบู่ดำช่วยลดการพังทลายของหน้าดิน และเป็นการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาให้กับป่าอีกทางหนึ่งด้วย ถึงแม้ประโยชน์จะมีมาก แต่พืชชนิดนี้ยังมีสารพิษต่าง ๆ เช่น ไฮโดรไซยาไนด์ เคอซิน และสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ในทุกส่วนของลำต้น ซึ่งเมื่อสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะเกิดอันตรายได้ (Gübitz, 1999)

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ได้มาจากการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาผ่านกระบวนการหมักจนเสร็จสมบูรณ์ เพื่อใช้ปรับปรุงดินและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ทิพวรรณ (2549) กล่าวไว้ว่า ประเทศไทยมีเศษพืชและมูลสัตว์เหลือทิ้งมาก

ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น เศษพืช ได้แก่ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ต้นมันสำปะหลัง ใบอ้อย ต้นถั่วเขียว ต้นถั่วเหลือง เปลือกถั่ว เปลือกทุเรียน วัชพืชต่าง ๆ ที่มีขึ้นอยู่ในไร่นา วัชพืชน้ำ เช่น ผักตบชวา เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นเศษพืช ได้แก่ เปลือกสับปะรด กากอ้อย ขี้ตะกรันอ้อย แกลบ กากมันสำปะหลัง และขุยมะพร้าว ยังสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้เช่นเดียวกัน ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้นั้นจะมีคุณภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ และเคมีของวัสดุหมัก ตลอดจนเทคโนโลยีในการผลิต วัสดุที่นำมาหมักมีความสำคัญ เนื่องจากถ้าวัสดุหมักมีคุณภาพดี ก็จะทำให้ปุ๋ยหมักที่จะนำไปใช้กับพืชดีไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้การจัดการเกี่ยวกับกระบวนการผลิต และการนำปุ๋ยหมักที่ผลิตจากสบู่ดำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษากระบวนการแปรสภาพ สารพิษที่ตกค้าง คุณภาพของปุ๋ยหมัก ตลอดจนคุณสมบัติและการย่อยสลายของปุ๋ยหมักที่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ เช่น กิ่ง เปลือก และกากที่ได้จากการหีบน้ำมัน เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของพืชสบู่ดำ และเป็นการลดกากของเสีย โดยทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดความปลอดภัยต่อเกษตรกรผู้นำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

สบู่ดำ (Physic nut)

ทวีศักดิ์ (2548) กล่าวว่า สบู่ดำ (physic nut) เป็นไม้สกุลใหญ่กระจายอยู่ในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อนมีมากถึง 175 ชนิด โดยพบในประเทศพม่าและประเทศมาเลเซีย 3 ชนิด แถบอินโดจีน 4 ชนิด และพบในประเทศไทย 5 ชนิด ได้แก่ *Jatropha gossypifolia* (สบู่แดง) *J. podagrica* (หนุมานนั่งแท่น) *J. integerrima* (เข็มปัตตาเวีย) *J. multifida* (มะละกอฝรั่ง, ฝิ่นต้น) และ *J. curcas* (สบู่ดำ)

สบู่ดำมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป ดังนี้

ชาวจีน	เรียกว่า	หมาฟ่งสู้
ชาวญี่ปุ่น	เรียกว่า	บูราคีรี
ชาวพม่า	เรียกว่า	เจ้ทซู
ชาวเขมร	เรียกว่า	มาเฆาะ
อินโดนีเซีย	เรียกว่า	Jurak budge
ฟิลิปปินส์	เรียกว่า	Tube
อินเดีย	เรียกว่า	Baghevenda Nepalam

สำหรับประเทศไทย เรียกชื่อแตกต่างกันตามภูมิภาค ดังนี้

ภาคเหนือ	เรียกว่า	มะหุ่งฮั้ว
ชาวเขา	เรียกว่า	ไท้ยู หรือเกงยู
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียกว่า	หมักเยา หรือ สีหลอด
ภาคใต้	เรียกว่า	หงเทศ
ภาคกลาง	เรียกว่า	สบู่ดำ

สบู่ดำเป็นชื่อเรียกทางภาคกลางของประเทศไทย มีถิ่นดั้งเดิมอยู่ในทวีปอเมริกาเขตร้อนปลูกกันมากที่แหลม Verde ทวีปอาฟริกา (ทัศนีย์, 2550) เป็นพืชในวงศ์ยางพารา Euphorbiaceae

เช่นเดียวกับสบู่แดง มันสำปะหลัง ผักหวานบ้าน ละหุ่ง ฯลฯ สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกาใต้ซึ่งชาวโปรตุเกสนำเข้ามาช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา (สมบัติ, 2549)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ สบู่ดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 2 – 7 เมตร ลำต้นมีลักษณะเกลี้ยงเกลา ใบเรียบมี 4 แฉก คล้ายใบละหุ่ง แต่มีหยักตื้นกว่า ใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีขนาดเท่าฝ่ามือ ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด มีสารไฮโดรไซด์ยานิน (hydrocyanin) สังเกตได้เมื่อหักลำต้นส่วนยอดหรือส่วนก้านใบจะมียางสีขาวขุ่นคล้ายน้ำไหลออกมา มีกลิ่นเหม็นเขียว ต้นสบู่ดำออกดอกเป็นช่อกระจุกที่ข้อส่วนปลายของยอด ขนาดดอกเล็กสีเหลือง มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ มีดอกตัวผู้จำนวนมาก และดอกตัวเมียจำนวนน้อยอยู่บนต้นเดียวกัน เมื่อติดผลแล้วมีสีเขียวอ่อน เกลี้ยงเกลา เป็นช่อพวงมีหลายผล เวลาสุกแก่จัดมีสีเหลืองคล้ายลูกจันทร์ ตั้งแต่วันออกดอกจนผลแก่ใช้เวลา 60 – 90 วัน รูปผลมี 3 ขนาด ลักษณะแรกเป็นทรงกลม ขนาดปานกลาง เปลือกหนาปานกลาง ลักษณะที่สองเป็นทรงกลม โดยยาวกว่าลักษณะแรกเล็กน้อยแต่ขนาดผลเท่ากัน และลักษณะที่สามซึ่งมีขนาดเล็กกว่าลักษณะที่ 1 และ 2 ส่วนมากมี 3 พู เมล็ดของสบู่ดำมีขนาดเล็กกว่าเมล็ดละหุ่งลายขาวดำเล็กน้อย (สุขสันต์, 2544)

ประโยชน์ (2549) ได้กล่าวถึงประโยชน์จากสบู่ดำ ดังนี้

1. เป็นรั้วที่มีชีวิตป้องกันโค กระบือ แพะ แกะ เข้าไปทำลายพืชผลเป็นรั้วป้องกันลมร้อนในฤดูแล้งเพื่อลดการระเหยของน้ำในแปลงผักของชาวอินเดีย

2. เป็นป่าถาวรผืนใหญ่ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและป้องกันน้ำกัดเซาะดิน ลดปัญหาฝนแล้ง และน้ำท่วม

3. ปลูกเป็นเสาค้างของพืชวนิลาในประเทศมาดากัสการ์ของทวีปแอฟริกา

4. ปลูกพืชอื่นแซมในแปลงสบู่ดำ สารเคมีจากต้นสบู่ดำจะปลดปล่อยออกมาขับไล่แมลงศัตรูของพืชนั้น

ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ

เมล็ดของสบู่ดำ

1. เมื่อนำเมล็ดมาบีบจะให้น้ำมัน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงใช้ในการหุงต้ม หรือเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนเครื่องยนต์แทนน้ำมันดีเซล เช่น รถไถนา ระหัดวิดน้ำ และรถอีแต๋น รวมทั้งสามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ และไม่พบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการเผาไหม้

2. นำเมล็ดมาตำให้ละเอียด หรือนำเมล็ดมาเสียบด้วยโลหะ สามารถจุดให้แสงสว่างแทนเทียนไขได้

3. นำไปทำเป็นน้ำมันหล่อลื่น สบู่ เทียนไข และกลีเซอรีนดิบ

4. ใช้เป็นสมุนไพร ใช้รักษาโรคภายในและภายนอก เช่น ใช้เป็นยาระบาย หรือยาถ่ายอย่างแรง ใช้ทารักษาโรคผิวหนัง หรือปวดตามข้อ

5. กากสบู่ดำที่เหลือจากการบีบน้ำมันแล้วมีธาตุไนโตรเจนสูง สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

6. ใช้กากสบู่ดำรวมกับเปลือกผลสบู่ดำนำไปหมักในสภาพไร้อากาศจะได้ก๊าซมีเทนถึง 70 เปอร์เซ็นต์

7. นำกากไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษด้วยความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี

8. บางพื้นที่ของประเทศเม็กซิโก นำเมล็ดมาคั่วหรือต้มเพื่อสลายสารพิษ สามารถไปรับประทานได้

9. ใช้เป็นสารป้องกันกำจัดโรคที่เกิดจากเชื้อราหลายชนิด

10. ใช้เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลากหลาย รวมทั้งใช้เป็นสารป้องกันกำจัดหอยที่เป็นพาหะของหนอนพยาธิในตับและในกระแสโลหิตของสัตว์และคน

สมบัติ (2549) ได้รายงานว่า เมล็ดสบู่ดำ หลังจากหีบน้ำมัน จะได้กาก ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 75 % ของน้ำหนักเมล็ดที่นำไปหีบ อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ เชื้อเพลิง

สุขสันต์ (2544) ได้บรรยายในเอกสารการอบรม โดยอ้างถึงคณะนักวิทยาศาสตร์ กองเกษตรเคมี ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสบู่ดำ การวิเคราะห์เปรียบเทียบอินทรียวัตถุ แร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างกากสบู่ดำ กากละหุ่ง และปุ๋ยอินทรีย์ของกรุงเทพฯ (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุหลักระหว่างกากสบู่ดำ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 3) ซึ่งพบว่ากากสบู่ดำ มีไนโตรเจนมากกว่าปุ๋ยอื่น ๆ ทั้งหมด แต่มีฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม น้อยกว่ามูลไก่ นอกนั้นมีคุณค่ามากกว่า แสดงให้เห็นว่า กากสบู่ดำมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมมากกว่าปุ๋ยหมักทุกชนิด และมูลสัตว์อื่น ยกเว้น มูลไก่

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอินทรียวัตถุ แร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างกากสบู่ดำ กากละหุ่ง และปุ๋ยอินทรีย์ของกรุงเทพฯ

รายการ	กากละหุ่ง (ร้อยละ)	กากสบู่ดำ (ร้อยละ)	ปุ๋ม กทม. เบอร์ 901 (ร้อยละ)
อินทรียวัตถุ	82.8	80.0	-
ไนโตรเจน	5.20	4.44	1.4 – 1.9
โพแทสเซียม	1.10	2.09	1.2 – 1.4
ฟอสฟอรัส	1.10	1.68	1.9
แคลเซียม	0.62	0.72	ไม่ได้วิเคราะห์
แมกนีเซียม	0.67	1.13	ไม่ได้วิเคราะห์
เหล็ก	0.012	0.0176	ไม่ได้วิเคราะห์
แมงกานีส	0.006	0.0064	ไม่ได้วิเคราะห์
โมลิบดินัม	0.001	0	ไม่ได้วิเคราะห์
ทองแดง	0.0021	0.0023	ไม่ได้วิเคราะห์
โบรอน	0.0004	0	ไม่ได้วิเคราะห์
ซัลเฟอร์	ไม่ได้วิเคราะห์	0.02	ไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำที่ได้จากการวิเคราะห์จากแหล่งที่มาต่าง ๆ

ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ	ปริมาณธาตุอาหาร										แหล่งที่มา
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	M (%)	S (%)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	
ลำต้น	3.34	0.06	2.87	0.30	0.26	0.12	55	99	2	605	[3]
	0.50	0.25	1.74	-	-	-	-	-	-	-	[8]
ราก	2.16	0.08	2.18	0.18	0.26	0.12	36	251	2	456	[1,3]
ใบ	6.40	0.34	2.45	1.40	0.53	0.19	28	168	6	117	[6]
	4.70	0.15	3.77	0.61	0.49	0.25	25	225	17	211	[1,3]
	1.23	0.33	2.17	5.04	1.19	0.13	15	245	7	119	[6]
	1.83	0.19	0.90	3.66	2.02	0.12	9	226	5	39	[4]
	1.77	0.53	2.43	-	-	-	-	-	-	-	[8]
ผล	2.15	0.05	0.73	0.44	0.30	0.10	22	40	11	25	[3]
เปลือกผล	0.70	0.047	1.58	-	-	-	-	-	-	-	[4]
	0.86	0.14	7.10	-	-	-	-	-	-	-	[8]

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ	ปริมาณธาตุอาหาร										แหล่งที่มา
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	M (%)	S (%)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	
ผล											
เปลือกเมล็ด	0.86	0.051	4.23	-	-	-	-	-	-	-	[4]
เนื้อในเมล็ด	4.39	1.10	0.94	0.34	0.53	0.21	47	73	18	28	[1]
	2.53	0.37	1.25	-	-	-	-	-	-	-	[4]
ลำต้น	3.34	0.06	2.87	0.30	0.26	0.12	55	99	2	605	[3]
กาก	3.82	1.75	1.44	-	-	-	-	-	-	-	[2]
	4.90	0.90	1.75	0.31	0.68	0.24	55	772	22	85	[3]
	6.40	2.80	0.95	0.65	1.35	-	-	-	-	-	[5]
	4.44	1.68	2.09	0.72	1.13	0.02	-	0..02	0.00	0.01	[7]

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ	ปริมาณธาตุอาหาร										แหล่งที่มา
	N (%)	**P (%)**	**K (%)**	**Ca (%)**	**M (%)**	**S (%)**	**Zn (ppm)**	**Fe (ppm)**	**Cu (ppm)**	**Mn (ppm)**	
กาก											
screw press	2.39	0.53	1.72								[8]
hydraulic press	3.94	0.77	1.93								[8]

ที่มา: [1] Wan *et al*. (2007)

[2] Jones and Miller (1992)

[3] Mattana *et al*., 2005; Douradao *et al*. (2007)

[4] Chaudharry *et al*. (2007)

[5] Francis *et al*. (2005)

[6] Mattana *et el*. (2005)

[7] สุขสันต์ (2544)

[8] สมบัติ (2549)

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำจากแหล่งที่มาต่าง ๆ (ตารางที่ 2) พบธาตุไนโตรเจน ปริมาณ 1 – 6 % ฟอสฟอรัส 0 – 2 % และโพแทสเซียม 1 – 7 % (สุขสันต์, 2544; สมบัติ, 2549; Jones and Miller 1992; Mattana *et al*., 2005; Francis *et al*., 2005; Chaudharry *et al*., 2007; Douradao *et al*., 2007; Wan *et al*., 2007)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักระหว่างกากสบู่ดำ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปแตสเซียม (%)
กากสบู่ดำ	4.44	2.09	1.68
มูลกระบือ	0.97	0.69	1.66
มูลไก่	3.04	6.27	2.08
มูลเป็ด	2.37	2.10	1.09
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.81	0.18	0.68
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.46	0.48
ปุ๋ยหมักจากขยะ	1.25	0.25	0.65

แขนงกิ่งก้านของต้นสบู่ดำ

1. ใช้กิ่งก้านเป็นปุ๋ยพืชสด ส่วนต้นและแขนงกิ่งก้านเป็นฟืนสำหรับให้ความร้อน หรือหุงต้ม

2. ใช้แขนงหรือกิ่งก้านทำเป็นแปรงสีฟัน รักษาผู้ป่วยโรคฟัน โดยเฉพาะที่เหงือกเป็นแผลหรือเลือดออกที่เหงือก

3. เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้กิ่งก้านหรือลำต้นใช้เป็นผงยาสีฟัน แต่ถ้าหากผสมกับพืชสมุนไพรชนิดอื่นด้วยจะเพิ่มประสิทธิผลยิ่งขึ้น

4. กรณีที่มีเลือดออกจากริดสีดวงทวารหนัก หมอแผนโบราณของอินเดียแนะนำให้ใช้เถ้าของสบู่ดำผสมกับเถ้าจาก blumea ทาเพื่อบรรเทาความเจ็บปวด

5. กรณีของโรคผิวหนัง ให้ใช้เถ้าของสบู่ดำและเถ้าจาก blumea ผสมกับน้ำมันมาสตาดแล้วทาผิวหนัง ใช้ได้ทั้งคน โค และกระบือ หรือใช้ทาตรงที่เป็น rheumatism (โรคปวดตามข้อและตามกล้ามเนื้อ)

6. ก้านที่สกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิวิทยาของเซลล์ (cytopathic effect) ของเชื้อ HIV ได้ โดยมีพิษต่ำ

หลังจากการตัดแต่งกิ่ง จะมีกิ่งสบู่ดำถูกตัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ขยายพันธุ์ด้วยกิ่งปักชำ ทำเชื้อเพลิง อุตสาหกรรมกระดาษ และไม้อัด เป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของต้นสบู่ดำเปรียบเทียบกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก (สมบัติ, 2549) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ธาตุอาหารของส่วนต่าง ๆ จากต้นสบู่ดำ เปรียบเทียบกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปรแตสเซียม (%)
ลำต้นสบู่ดำ	0.50	0.25	1.74
ใบสบู่ดำ	1.77	0.53	2.43
เปลือกผลสบู่ดำ	0.86	0.14	7.10
กากสบู่ดำจากเครื่อง screw press	2.39	0.53	1.72
กากสบู่ดำจากเครื่อง hydraulic press	3.94	0.77	1.93
มูลกระบือ	0.97	0.68	1.66
มูลไก่	3.04	6.27	2.08
มูลเป็ด	2.37	2.10	1.09
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.81	0.18	0.68
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.46	0.48
ปุ๋ยหมักจากขยะ	1.25	0.25	0.65

เปลือกของต้นสบู่ดำ

1. ให้สารเทนนินประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์
2. ใช้เป็นยาถ่าย ยาขับหนอนพยาธิ แก้ปวดท้อง

3. น้ำสกัดจากเปลือก สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราบางชนิดเทียบเท่ากับสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อรา

4. เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้โดยให้สีน้ำเงินเข้ม

หลังจากกะเทาะเปลือก เพื่อนำเมล็ดไปหีบน้ำมันของเหลืออีก 75 เปอร์เซ็นต์ คือเปลือก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ และเชื้อเพลิงเขียว เป็นต้น (สมบัติ, 2549)

ใบของต้นสบู่ดำ

1. ใบอ่อนหรือยอดอ่อน นำไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อน เพื่อทำลายกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งเป็นสารพิษจึงนำมารับประทานได้อย่างปลอดภัย

2. ใช้เป็นสีย้อมหรือเคลือบหนังให้เป็นสีน้ำตาล
3. ใช้เป็นยาถอนพิษ แก้ตัวร้อน แก้พิษตานซาง แก้ลิ้นเป็นฝ้า แก้ปากและลิ้นเปื่อยผุพอง
4. น้ำสกัดจากใบสามารถใช้ควบคุมโรคพืชของ Azolla ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Sclerotium* sp.

5. มีฤทธิ์เป็นยาฆ่าเชื้อ (disinfectant) สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม *Staphylococcus, Bacillus* และ Micrococus ได้ และมีฤทธิ์คงอยู่ได้เกือบ 6 ชั่วโมง

รากของต้นสบู่ดำ

1. ใช้เป็นยารักษาโรค (ethnomedicine)
2. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้ โดยให้สีเหลือง

น้ำยางของสบู่ดำ

1. มีสมบัติคล้ายชะแลค (shellac) ใช้เคลือบเงาทำน้ำมันทาสี
2. ใช้ทำหมึกพิมพ์

3. น้ำยางที่มีความเข้มข้น 50 % สามารถฆ่าพยาธิปากขอ และ 100 % ฆ่าไข่หนอนพยาธิไส้เดือนได้ที่อุณหภูมิห้อง

4. สามารถยับยั้งการเจริญของลูกน้ำยุง

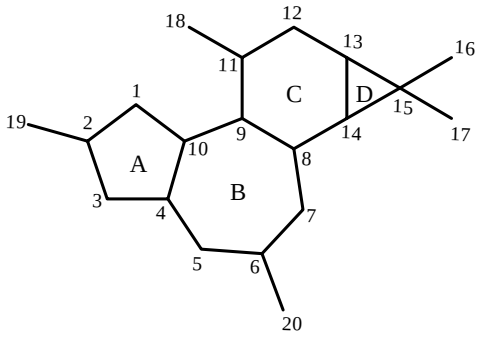
สบู่ดำนอกจากจะมีประโยชน์มากมายแล้ว พืชชนิดนี้ยังเป็นพืชที่มีพิษทั้งต้น โดยเฉพาะผลและเมล็ดของสบู่ดำ เป็นส่วนที่มีสารพิษมากที่สุด รองลงมาคือ กิ่ง และใบ สารพิษที่พบ ยกตัวอย่าง เช่น ไฮโดรไซยานิค เคอซิน และสารฟอร์บอลเอสทอร์ (อภิชาติ, 2549)

สารฟอร์บอลเอสเทอร์

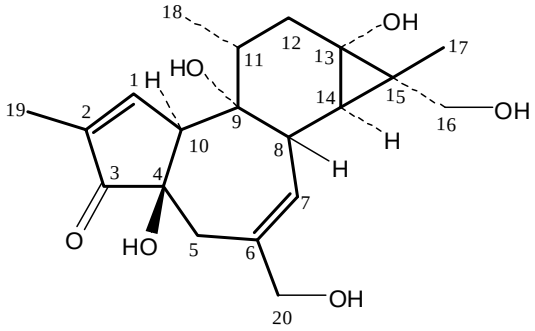
สารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยมากมักจะพบในวงศ์ Euphorbiaceae และ Thymelaeceae สารฟอร์บอลเอสเทอร์นี้เป็น ester ของ tigliane diterpenes (วิทยา และคณะ, 2550)

Gübitz (1999) กล่าวถึงสาร phorbol esters ดังนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยา hydroxylation จะมีหมู่ hydroxyl (OH) เข้าจับกับสาร tigliane ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เกิดเป็นสารประเภท phorbol esters จะมีผลที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในแง่ของการส่งเสริมให้เกิดเนื้องอก (tumor promotion) การอักเสบ การบวมของผิวหนัง เป็นต้น

วิทยาและคณะ (2551) ได้ให้ความหมายของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ไว้ดังนี้ สารพิษชนิดนี้ทำให้เกิดอันตรายเกิดขึ้นในระยะเวลาการสัมผัสอันสั้น อันตรายของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ คือ ทำให้เกิดการอักเสบ การบวมของผิวหนัง รวมทั้งเป็นสารเร่งให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง (cocarcinogen) สารฟอร์บอลเอสเทอร์นี้เป็นเอสเทอร์ของสาร tigliane (ภาพที่ 1) สาร tigliane เมื่อเกิดปฏิกิริยา hydroxylation จะมีหมู่ hydroxyl (OH) เข้าจับกับสาร tigliane ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เกิดเป็นสารประเภทอัลกอฮอล์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสาร tigliane

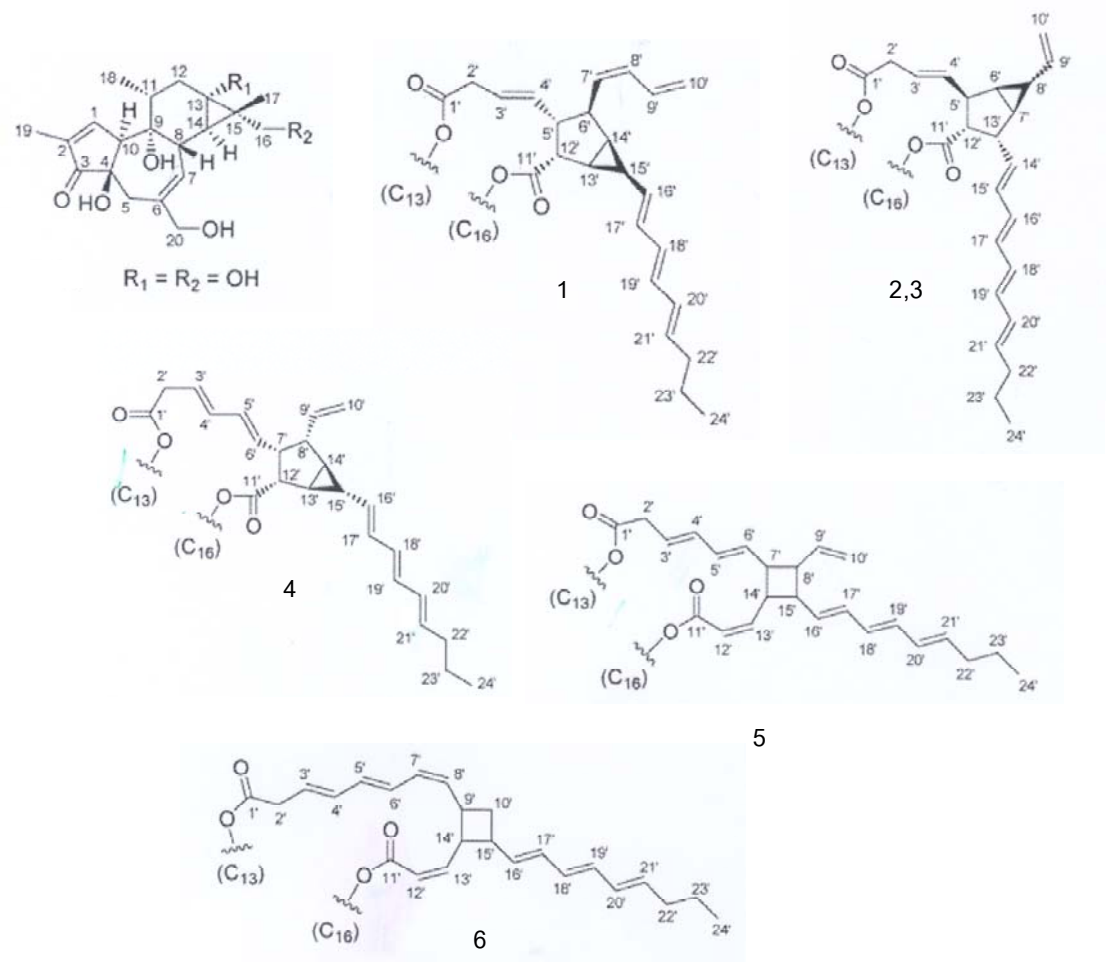


ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของอัลกอฮอล์ (12 – deoxy – 16 – hydroxyphorbol)

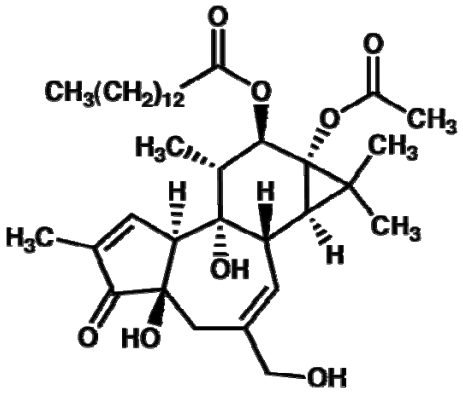
เมื่อสารประเภทอัลกอฮอล์ทำปฏิกิริยา esterification กับกรดไขมันในน้ำมันจะทำให้เกิดสารประเภทเอสเทอร์ที่เรียกว่าสารฟอร์บอลเอสเทอร์ สารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในน้ำมันและกากสบู่ดำจะเรียกว่า 12 – deoxy – 16 – hydroxyphorbol – 4 – [$12^{|}$, $14^{|}$ – butadienyl] – $6^{|}$ – [$16^{|}$, $18^{|}$, 20] – nonatrienyl] – bicyclo [3.1.0] hexane – (13 – *O*) – $2^{|}$ [carboxylate] – (16 –*O*) – $3^{|}$– [$8^{|}$– butenoic –$10^{|}$]ate หรือ DHPB สารฟอร์บอลเอสเทอร์ประเภท DHPB ที่พบมีทั้งหมด 6 ชนิด (Hass *et al*., 2002) (ภาพที่ 3)

สารฟอร์บอลเอสเทอร์ อีกประเภทหนึ่งที่พบในเปลือกผล เปลือกไม้ และเนื้อไม้ คือ สารฟอร์บอลเอสเทอร์ ที่เรียกว่า phorbol – 12 – myristate – 13 – acetate หรือ TPA (ภาพที่ 4)

สารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA นี้มีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเกิดมะเร็ง เช่นเดียวกับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB แต่จะมีความรุนแรงกว่าในระดับความเข้มข้นที่เท่ากัน (วิทยา และคณะ, 2549)



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB



ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA

ในการคำนวณหาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำในผลิตภัณฑ์ จะใช้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA เป็นสารมาตรฐาน ในการเทียบหาความเข้มข้น เมื่อเทียบความเข้มข้นของสารฟอร์บอลเอสเทอร์กับสารมาตรฐาน TPA แล้วพบว่าสบู่ดำพันธุ์มีพิษจะมีความเข้มข้นมากกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 0.011 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (วิทยา และคณะ, 2549)

วิทยา และคณะ (2549) ได้วิเคราะห์หาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำแล้วพบว่าฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นสารพิษที่ใช้บ่งบอกถึงสายพันธุ์ของสบู่ดำว่าเป็นพันธุ์ที่มีพิษหรือไม่มีพิษ โดยพันธุ์ที่ไม่มีพิษจะมีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์น้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน TPA

Ahmed and Adam (1979) นำเมล็ดสบู่ดำมาเป็นอาหารให้กับลูกวัวโดยให้ในปริมาณ 0.25 1.0 และ 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่าพิษของสบู่ดำทำให้ลูกวัวที่ได้รับตายภายใน 19 ชั่วโมง ซึ่งลูกวัวเมื่อได้รับอาหารเข้าไปจะแสดงอาการท้องร่วง ดื่มน้ำได้น้อยลง ความอยากอาหารมีน้อย และเกิดอาการตาโบ๋ (sunken eyes)

Makkar *et al*. (1997) พบว่าเนื้อในเมล็ดของสบู่ดำ จาก Papantla ประเทศเม็กซิโก มีระดับของสารฟอร์บอลเอสเทอร์อยู่ที่ 3.22 มิลลิกรัมต่อกรัม

Makkar *et al*. (1998) พบว่า สบู่ดำพันธุ์ไม่มีพิษของประเทศ Mexico มีสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ในเนื้อเมล็ดปริมาณ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่พันธุ์มีพิษจะพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ปริมาณมากกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม

Abud – Aguye *et al*. (1986) ทดลองให้อาหารที่มาจากากเมล็ดสบู่ดำน้ำหนัก 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าหนูตาย

Haas *et al*. (2002) ทดลองกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ตามขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิตน้ำมันพืชเพื่อใช้อุปโภค พบว่าขั้นตอนการลดความเป็นกรด และขั้นตอนการฟอกสี สามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์

Aregheore *et al*. (2003) ได้ผสมเนื้อในเมล็ดของสบู่ดำกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้เป็นก้อนเหนียว แล้วนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น พบว่าสามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้

Martinez *et al*. (2006) ได้แช่เนื้อในเมล็ดของสบู่ดำในเอทานอล 2 ชั่วโมง แล้วนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ 98 เปอร์เซ็นต์

Hanna *et al*. (2007) ได้กล่าวว่า อนุพันธ์ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ซึ่งได้แก่ protocatechuic acid, chlorogenic acid และ tannic acid จะไปกระตุ้นสาร TPA ให้ลดบทบาทของ protein kinase C จึงทำให้เกิดการกระตุ้นเนื้องอกภายใต้ผิวหนังของหนูที่ทำการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรด tannic ซึ่งจะมีผลโดยตรง และเกิดผลข้างเคียงต่อผิวหนังหนู

Rakshit *et al*. (2008) ศึกษาความเป็นพิษของสบู่ดำที่นำมาทำเป็นอาหารให้หนู พบว่า หนูที่กินมีอาการท้องร่วง ขาไม่มีแรง และทำให้อัตราการเจริญเติบโตของหนูลดลง

นันทวรรณ (2549) ศึกษาพิษของสารฟอร์บอลเอสเทอร์กับปลาคาร์ฟ พบว่า พิษของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทำให้ปลาเจริญเติบโตช้าลง มีมูลในอุจจาระและไม่กินอาหาร แต่ถ้าหยุดให้สารฟอร์บอลเอสเทอร์ ปลาคาร์ฟจะกลับมาเจริญเติบโตเป็นปกติ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาโดยทดสอบสารฟอร์บอลเอสเทอร์กับตัวอ่อนในครรภ์ของหนู พบว่าผลสบู่ดำทำให้หนูแท้งได้

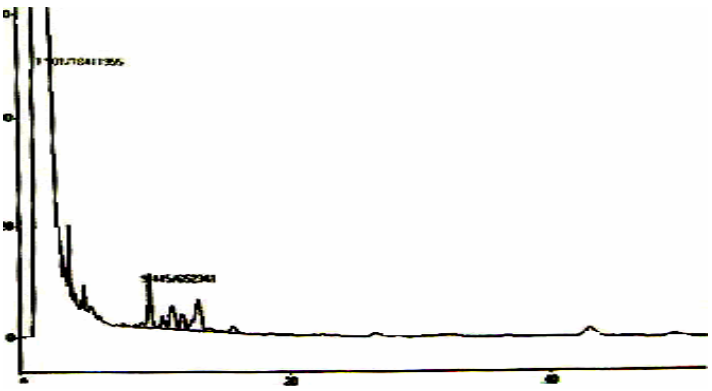
รยากร และคณะ (2550) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำด้วยเบนโทไนท์ 200 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้ระยะเวลาดูดซับ 15 นาที ความเข้มข้นของเบนโทไนท์ 3.2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ ปริมาตร) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกวน 100 รอบ/ นาที สามารถกำจัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ 96 – 98 เปอร์เซ็นต์

จำเริญ (2551) ศึกษาการใช้รังสีเพื่อลดพิษของกากสบู่ดำ ผลการฉายรังสีแกมมากากสบู่ดำก่อนนำไปผสมในสูตรอาหารสัตว์ ในระดับ 10 – 100 กิโลเกรย์ พบว่า ปริมาณสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลง 23.7 – 90.5 เปอร์เซ็นต์

วิทยาและคณะ (2550) ได้วิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์จากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำพบว่าสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในน้ำมันจะมีปริมาณสูงสุดคือมีความเข้มข้น 0.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ประเภทเดียวกันที่ประกอบอยู่ในเปลือกเมล็ด เนื้อเมล็ด และกาก ส่วนสารฟอร์บอลเอสเทอร์ประเภทเดียวกันที่ประกอบอยู่ในลำต้น เปลือกผล เปลือกไม้ เนื้อไม้ พบว่าในเนื้อไม้จะมีความเข้มข้นสูงสุดคือ 0.24 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ

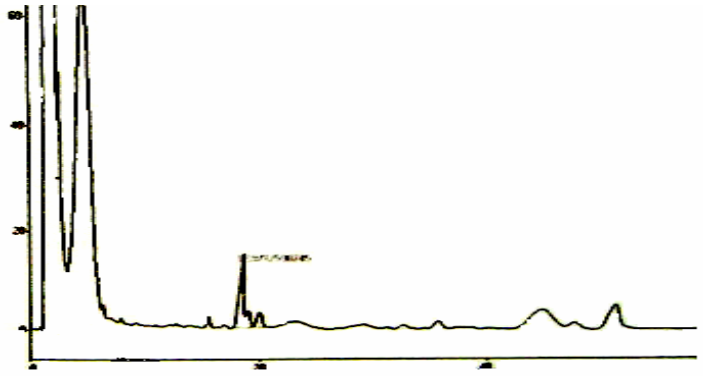
ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์					
	ช่วงเวลา 8 – 12 นาที		ช่วงเวลา 18 – 20 นาที		ปริมาณรวม	
	หน่วย $mg\ g^{-1}$	หน่วย % $(w\ w^{-1})$	หน่วย $mg\ g^{-1}$	หน่วย % $(w\ w^{-1})$	หน่วย $mg\ g^{-1}$	หน่วย % $(w\ w^{-1})$
เปลือกเมล็ด	0.3573	0.04	0.0000	0.00	0.3573	0.04
เนื้อเมล็ด	3.6524	0.37	0.0000	0.00	3.6524	0.37
น้ำมัน	4.5084	0.45	0.0000	0.00	4.5084	0.45
กาก	1.0326	0.10	0.0000	0.00	1.0326	0.10
ลำต้น	0.0000	0.00	1.7667	0.18	1.7667	0.18
เปลือกผล	0.0000	0.00	0.7688	0.08	0.7688	0.08
เปลือกไม้	0.0000	0.00	2.4449	0.24	2.4449	0.24
เนื้อไม้	0.0000	0.00	2.9730	0.23	0.9730	0.23
ใบ	0.8785	0.09	0.0000	0.00	0.8785	0.09



ภาพที่ 5 โครมาโตรแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในช่วงเวลา 8 – 12 นาที

โครงสร้างหลักของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในเปลือกเมล็ด เนื้อเมล็ด น้ำมัน และกากภายหลังการบีบเอาน้ำมันออกจะมีลักษณะพีคที่ขึ้นอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือช่วงเวลา 8 - 12 นาที (ภาพที่ 5)

โครงสร้างหลักของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างลำต้น เปลือกผล เปลือกไม้ และเนื้อไม้ จะมีลักษณะพีคที่ขึ้นอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือช่วงเวลา 18 - 20 นาที (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 โครมาโตรแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์ในช่วงเวลา 18 – 20 นาที

ปุ๋ย

ความหมายของปุ๋ย

ราชกิจจานุเบกษา (2551) ให้ความหมายของปุ๋ยดังนี้ ปุ๋ย หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรียสังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตให้แก่พืช

ประเภทของปุ๋ย

เมื่อพิจารณาถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ภายในปุ๋ยแล้ว อาจแบ่งปุ๋ยออกได้หลายประเภท คือ

1. ปุ๋ยอนินทรีย์ (inorganic fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของปุ๋ยเป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยที่ผลิตโดยผ่านกรรมวิธีทางเคมีสังเคราะห์อาจเป็นปุ๋ยเดี่ยว หรือปุ๋ยผสมที่มีปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยแตกต่างกันออกไป บางชนิดเป็นปุ๋ยที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยหินฟอสเฟตบด โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น

2. ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทางเคมี มีปริมาณธาตุอาหารพืชชั้นสูง ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นสารอนินทรีย์ ยกเว้น ปุ๋ยยูเรีย (NH_2CONH_2) ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์

3. ปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นส่วนผสมอยู่ปริมาณมาก เมื่อเติมลงดินแล้วสามารถดำเนินกิจกรรมได้ทันทีโดยทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น หรืออาจทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหารในดินมากขึ้นอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์นั้น

4. ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งได้มาจาก ซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ เศษเหลือของสารอินทรีย์ต่าง ๆ เซลล์จุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังมีเศษเหลือจากโรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เศษใบไม้ และเศษวัชพืชต่าง ๆ เป็นต้น (ธงชัย, 2550)

มุกดา (2546) รายงานว่าปุ๋ยหมัก (composts fertilizer) คือปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัวผุพังตามธรรมชาติ โดยนำสิ่งเหล่านั้นมากองรวมกันรดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายตัวโดยกิจกรรมจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ปรับปรุงดิน

ดังนั้น ราชกิจจานุเบกษา (2551) ให้ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์ว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์

1. ส่วนที่เป็นอินทรียสาร ซึ่งเป็นส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดในปุ๋ยหมัก สามารถทำให้ดินเหนียว หรือดินทรายเป็นดินร่วนได้ เพราะอินทรียสารทำให้อนุภาคดินเหนียวหรือเม็ดทรายจับตัวกันเป็นก้อนดิน และเมื่อมีก้อนดินเป็นจำนวนมากจะทำให้มีลักษณะร่วนซุยดี

2. ส่วนที่เป็นอินทรียสารเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดินได้โดยเฉพาะถ้าจุลินทรีย์นั้นเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน ก็จะทำให้ดินนั้นเพิ่มความอุดมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3. ส่วนของอินทรียสารมีลักษณะคล้าย ๆ ฟองน้ำ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดี ทำให้พืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอ

4. ในระยะแรก ๆ ปุ๋ยอินทรีย์อาจทำให้พืชมีผลผลิตไม่สูงมากนัก แต่ถ้าพิจารณาในระยะยาวแล้วผลผลิตของพืชจะสูงขึ้นมาก เนื่องจากคุณสมบัติของดินดีขึ้นเรื่อย ๆ

5. ส่วนของอินทรียสารมีลักษณะโปร่งทำให้อากาศแทรกซึมลงไปในดินได้ดี มีประโยชน์ต่อการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ในดิน ขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดแก๊สที่เป็นพิษเคลื่อนย้ายออกจากดินได้ง่าย

6. ส่วนของอินทรียสารสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชไว้ไม่ให้สูญเสีย โดยการชะล้างได้ ทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหารหรือปุ๋ย ที่ใส่ลงไปได้เต็มที่ ทั้งนี้เพราะอินทรียสารมีประจุลบสามารถดูดซับอนุมูลหรือประจุบวกซึ่งเป็นธาตุอาหารไว้ได้

7. ส่วนของอินทรียสารสามารถรักษาความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เพราะอินทรียสารมีประจุลบดูดซับไฮโดรเจนไอออนจากน้ำในดิน ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออนในน้ำในดินค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าจะได้รับเพิ่มเติมมาจากแหล่งอื่นก็ตาม

8. ส่วนของอินทรียสาร ช่วยลดการตรึงธาตุอาหารบางชนิดโดยอนุภาพดินเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสเฟตทั้งนี้เพราะอินทรียสารเข้าไปแย่งที่ฟอสเฟตในระหว่างผลึกของอนุภาคดินเหนียว

9. ปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมน้อย แต่จะมีธาตุอาหารรองและจุลธาตุพอเพียงหรือเกือบพอเพียงตามความต้องการของพืช

10. สามารถหาปุ๋ยอินทรีย์ได้ตามท้องถิ่นหรือตามฟาร์มทั่วไป บางกรณีอาจไม่ต้องซื้อหรือซื้อในราคาถูก

11. วิธีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ยุ่งยาก ใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมี

12. การใส่ปุ๋ยปุ๋ยอินทรีย์แต่เพียงอย่างเดียวก็มีข้อเสียอยู่มากพอสมควร เป็นต้นว่าปุ๋ยอินทรีย์จะมีปริมาณธาตุอาหารหลักในปริมาณที่น้อย จึงต้องใช้เป็นปริมาณมาก ผลตามมาก็คือเสียค่าโสหุ้ยในการขนย้ายมาก ใช้แรงงานมาก ค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งจึงอาจมากขึ้นไปด้วย (มุกดา, 2547; ธงชัย, 2550)

กรรมวิธีในการผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพแบบแห้ง

วิธีการทำปุ๋ยหมักสามารถทำได้ทั้งวิธีกองบนพื้น ในหลุม หรือให้วัสดุใช้เวลาในการย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ตลอดจนการใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการหมัก ซึ่งช่วยให้การย่อยสลายของอินทรียวัตถุใช้ระยะเวลาสั้นลงกว่าธรรมชาติ เทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการหมัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2536) มีหลายระบบด้วยกัน มุกดา (2547) รายงานว่า โดยทั่ว ๆ ไปการทำปุ๋ยหมักนั้นอาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับว่าจะต้องการปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติอยู่ในระดับไหน โดยเริ่มจาก

1. การเลือกสถานที่ทำปุ๋ยหมัก สถานที่ที่เหมาะสำหรับการทำปุ๋ยหมัก ควรเป็นสถานที่ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแปลงเพาะปลูกที่จะใส่ปุ๋ยหมัก เพื่อความสะดวกและลดค่าใช้จ่ายในเรื่องแรงงานและค่าขนส่งในการนำปุ๋ยนั้นไปใช้ สถานที่ที่จะใช้ทำปุ๋ยหมักควรจะเป็นที่สูงน้ำท่วมไม่ถึงโดยเฉพาะในช่วงระยะ 3 – 4 เดือน และควรต้องทำร่องน้ำรอบ ๆ แปลงที่จะทำปุ๋ยเพื่อเป็นทางระบายน้ำเมื่อมีฝนตก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารไปจากกองปุ๋ย แปลงทำปุ๋ยควรทำที่กำบังแดดและฝน

2. การเตรียมวัสดุสำหรับทำปุ๋ยหมัก เช่น ประเภทซากพืช ได้แก่ ซากพืชชนิดต่าง ๆ ที่เหลือทิ้งไว้ในไร่นาหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้ว สามารถนำมากองทำเป็นปุ๋ยหมักได้ ประเภทของปุ๋ยคอกหรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ใช้เป็นธาตุอาหารของจุลินทรีย์ในระยะเริ่มแรกของการ

หมักนอกจากนี้สารเร่ง เป็นแหล่งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูง จะเป็นตัวเร่งการเกิดการย่อยสลายให้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยร่นระยะการทำปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักนั้นมีหลายชนิด เช่น เชื้อรา แอคติโนมัยซีส และแบคทีเรีย เป็นต้น

3. วิธีการทำปุ๋ยหมักมีหลายวิธี ดังนี้

การนำซากพืชหรือเศษวัสดุต่าง ๆ มากองเพื่อผลิตปุ๋ยหมักนั้น ทำได้หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่และความสะดวกในการขนย้ายนำไปใช้

3.1 Windrow system เป็นการนำเอาวัสดุมากองตามยาวบนพื้นราบให้ได้ความสูงที่พอเหมาะ และการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยเกิดขึ้นได้ดี เพื่อที่จะให้การย่อยสลายเกิดได้ดี และในระหว่างการย่อยสลายอินทรียวัตถุต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ย เพื่อให้อากาศเข้าสู่ภายในกองปุ๋ยได้ทั่วถึงมากขึ้น และวัสดุแห้งมีการผสมคลุกเคล้ากันดีขึ้น เป็นการเร่งกระบวนการหมักและป้องกันการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

3.2 Static composting system เป็นวิธีการหมักคล้ายกับ windrow system แต่ฐานของกองปุ๋ยหมักจะทำในลักษณะที่ให้อากาศภายนอกเข้าสู่กองได้ทั่วถึงขึ้น เช่น การใช้ไม่ไผ่เจาะช่องระบายอากาศเรียงเป็นฐาน หรือใช้เครื่องเป่าอากาศเข้าสู่ภายในกองปุ๋ยหมัก

3.3 Round trip paddling fermentator การหมักระบบนี้ วัสดุหมักจะถูกปล่อยจากเครื่องโปรยวัสดุลงสู่ชั้นหมักแบบลักษณะเคลื่อนไปมา วัสดุเหล่านี้จะย่อยสลายในชั้นหมัก โดยรับอากาศตลอดเวลาการหมัก ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 8 วัน นำออกมาหมักบ่มอีกครั้งที่ลานตาก เพื่อให้การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์มากขึ้น

3.4 Dynamic composting system การหมักระบบนี้วัสดุหมักจะถูกย่อยสลาย โดยการทำให้เคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ภายในถังหมักที่หมุนตลอดระยะแรกของการหมัก 1 – 2 วัน จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจะถูกทำลายจากความร้อน จากนั้นนำวัสดุหมักที่ย่อยสลายแล้วนำมาหมักบ่มที่ลานตาก เพื่อให้ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์มากขึ้น

3.5 Invessle composting system การหมักระบบนี้จะคล้ายกับระบบ windrow และ static composting แต่เป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยเครื่องจักร จนกระทั่งสิ้นสุดการย่อยสลาย ระบบนี้ดีกว่าระบบ windrow และ static composting เนื่องจาก สามารถควบคุมกลิ่นได้ ใช้สถานที่น้อย และควบคุมการหมักได้ง่าย ตลอดจนใช้แรงงานน้อยกว่า

3.6 Tunnel reactor composting system เป็นการหมักวัสดุในท่อหมัก โดยใช้เครื่องจักรต่าง ๆ อยู่ภายนอกท่อหมัก ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซม การระบายอากาศเข้าและออก ซึ่งทำให้การหมักของวัสดุได้ผลดี

3.7 Brikollare composting process เป็นการหมักวัสดุที่มีการผสมการตะกอนน้ำทิ้งที่อัดเป็นก้อน ภายในก้อนเกิดช่องระบายอากาศ อากาศที่สามารถผ่านเข้าออกได้ช่วยให้การย่อยสลายของวัสดุเร็วขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

ประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นต้น วิธีการประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักทำได้หลายวิธี ทั้งทางด้านกายภาพ ชีวภาพ และทางด้านเคมี

1. ทางด้านกายภาพ

1.1 ความอ่อนนุ่มของวัสดุหมัก เมื่อใช้นิ้วบี้ดู เศษพืชจะอ่อนนุ่ม ยุ่ยขาดออกจากกันได้โดยง่าย ไม่แข็งกระด้างหรือเป็นก้อนเหมือนเริ่มต้นของการหมัก

1.2 สี (color) ของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์จะมีสีเข้ม กล่าวคือมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ (Sugahara *et al.*, 1984) โดยปกติเศษพืชในการทำปุ๋ยหมักจะเห็นความแตกต่างของสีอย่างชัดเจน

1.3 อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 – 3 วันแรกของการหมัก และรักษาอุณหภูมิอยู่ในระดับ 40 – 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายวัน จากนั้นจะเริ่มลดลงจนกระทั่งจนกระทั่งใกล้เคียงกับบรรยากาศ และรักษาระดับเช่นนี้ต่อไป (Goluek,

1977; Harada *et al*., 1981) การผสมและพลิกกลับกองของปุ๋ยหมักอีกครั้ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำให้อุณหภูมิสูงอีกครั้ง ถ้าปุ๋ยหมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์ แต่ปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อพลิกกลับกอง (Jimenez and Garcia, 1989; Mathur *et al*., 1993) Stickelberger (1975) ได้กำหนดว่าปุ๋ยที่หมักได้เสร็จสมบูรณ์ อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะคงที่และไม่แสดงปฏิกิริยาต่อการพลิกกลับกอง Polprasert (1989) รายงานว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการหมัก และมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

1.3.1 Latent phase เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ในระยะแรกของการหมัก อุณหภูมิในกองจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมัก

1.3.2 Mesophilic phase จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และผลจากการย่อยสลายอินทรียสารชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยอุณหภูมินี้อยู่ในช่วง 25 – 40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรียสารในช่วงนี้คือ mesophelic microorganism

1.3.3 Thermophilic phase การย่อยสลายอินทรียสารโดยจุลินทรีย์ทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ mesophilic microorganism ตายหรือหยุดทำงานชั่วคราว แต่การย่อยสลายยังคงดำเนินต่อไปโดยจุลินทรีย์พวก thermophilic microorganism ที่สามารถดำเนินกิจกรรมได้ในช่วงอุณหภูมิ 50 – 65 องศาเซลเซียส เมื่ออินทรียสารถูกย่อยสลายมากขึ้น พลังงานความร้อนจากกระบวนการหมักจะสูญเสียความร้อนในกองปุ๋ยหมักออกสู่บรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง

1.3.4 Maturation phase เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงจนอยู่ในช่วง mesophelic phase จุลินทรีย์จำพวก mesophilic microorganic จะเข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียสารอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนอินทรียสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงทนที่เรียกว่าสารฮิวมิค จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะลดลงจนใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบ แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์

1.4 กลิ่น (odor) Haug (1980) รายงานว่า กลิ่นของปุ๋ยหมักจะค่อย ๆ ลดลงในระหว่างการหมักและเกิดกลิ่นอีกครั้งเมื่อพลิกกลับกองและผสมปุ๋ย เมื่อหมักเสร็จสมบูรณ์กลิ่นเหม็นจะหายไปและไม่มีกลิ่นเหม็นอีกเมื่อพลิกกลับกอง ธงชัย (2550) กล่าวว่า ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะไม่มีกลิ่นเหม็น ในกรณีที่มีกลิ่นเหม็นหรือฉุนแสดงว่ากระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยยังไม่สมบูรณ์

2. ทางด้านชีวภาพ

2.1 การทดสอบความงอกของเมล็ด (seed germination test) ปุ๋ยหมักที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช เช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอล เอทิลีน แอมโมเนียม เกลือ และกรดอินทรีย์ (Tiquia *et al*.,1996) สารเหล่านี้มีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตลดลง การงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีที่ง่ายสะดวก และรวดเร็วในการตรวจสอบการเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยการนำเอาเมล็ดมาเพาะและนับจำนวนเมล็ดที่เจริญเติบโตและวัดความยาวของรากที่งอก ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาดัชนีการงอก (germination index, GI) (Wong *et al*., 2001) ถ้าได้ค่าดัชนีการงอก เท่ากับ 50 % แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นปลอดสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช Tiquia *et al*. (1996) ได้ตรวจสอบความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมขี้เลื่อย โดยใช้ seed germination พบว่าผักกาดขาวและผักโขมจีนเป็นเมล็ดที่มีความไวต่อการทดสอบ และค่า GI ของเมล็ดพืชมีมากกว่า 80 % ที่ 60 วันของการบ่มปุ๋ยหมัก แสดงว่าปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ในวันที่ 60 ของการหมัก

2.2 การใช้แหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้รูปแบบการใช้แหล่งคาร์บอนของประชากรจุลินทรีย์ ทำให้สามารถนำมาประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของการหมักได้ (นันทวัน, 2547) Insam (1997) รายงานการใช้ biolog microplate ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักพบว่า เมื่ออายุของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น การใช้แหล่งคาร์บอนจำพวกคาร์โบไฮเดรต และสารประกอบฟอสโฟรีเลตจะลดลง ขณะที่ความสามารถในการใช้แหล่งคาร์บอนจำพวกพอลิเมอร์ คาร์บอซิลิก และกรดอะมิโนจะเพิ่มขึ้น

2.3 เชื้อโรคในปุ๋ยหมัก Polprasert (1989) รายงานว่า การนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์นั้นต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคในปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ท้องร่วง โรคพยาธิ การติดเชื้อที่ปอด เป็นต้น แม้ว่าในกระบวน การหมัก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะสูงเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อโรค แต่อาจมีเชื้อโรคบางส่วนสามารถมีชีวิตอยู่ได้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะที่ผิวนอก

ของกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองปุ๋ย ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง นอกจากนี้ โรคบางชนิด เช่น สปอร์ของแบคทีเรีย ซีสต์ และไข่พยาธิ สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ และเจริญเติบโตได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเหมาะสม ซึ่ง Pereira – Neto *et al*. (1987) ได้รายงานว่า เชื้อโรคในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือเชื้อที่มาจากวัสดุหมักหรือเชื้อปฐมภูมิ (primary pathogen) และเชื้อที่มาจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนปุ๋ยหมักหรือเชื้อโรคทุติยภูมิ (secondary pathogen) เชื้อโรคที่มาจากวัสดุ ได้แก่ แบคทีเรีย โปรตัวซัว ไวรัส และพยาธิต่าง ๆ โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่ม *Salmonella* sp., Fecal Sterptococcus และ Fecal Coleform ซึ่งพบว่ามีการแพร่ กระจายมากที่สุด

3. ทางด้านเคมี

3.1 ความเค็มของปุ๋ย มุกดา (2548) รายงานว่า การวัดความเค็มมาตรฐานของ U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954 เมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้า ได้ไม่เกิน 2 dS m^{-1} จะไม่มีอันตรายต่อพืช แต่เมื่อความเค็มของดินวัดได้ประมาณ 2 – 4 dS m^{-1} จะมีเกลืออยู่ประมาณ 0.1 – 0.2 % ซึ่งจะมีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม เมื่อความเค็มสูงกว่านี้ (> 4) จะเริ่มเป็นอันตรายต่อพืช จึงมีความไม่เหมาะสมในการที่จะนำไปใช้ปรับปรุงดิน

3.2 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรจะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20: 1 (ปรัชญา และคณะ, 2540) ปุ๋ยหมักที่มี C/ N ratio สูงกว่านี้มาก ๆ จะเริ่มมีการย่อยสลายต่อไปใหม่เมื่อใส่ลงในดิน จึงควรจะต้องใส่ปุ๋ยหมักก่อนปลูกพืชหรือหว่านเมล็ดประมาณ 2 – 3 อาทิตย์ และจำต้องไม่ใช้ในดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี เนื่องจากอาจทำให้เกิดการเน่าเปื่อยในสภาพที่ไม่มีอากาศ ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ที่เป็นพิษ หรือก๊าซบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยหมักที่มี C/ N ratio สูงจึงไม่ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน

3.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 35 – 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าปุ๋ยหมักที่มีปริมาณของอินทรียวัตถุสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ก็จะแสดงว่าอินทรียวัตถุนั้นจะยังไม่มีการย่อยสลายต่อไป ทำให้เกิดความร้อนและการตรึงธาตุอาหารบางชนิด (immobilization) เป็นการชั่วคราว ทำให้เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช และหากปริมาณของอินทรียวัตถุต่ำลงกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ก็แสดงว่ามีสิ่งเจือปนมาก หรือถูกย่อยสลายหมดไป จึงไม่ควรนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก หรือเป็นปุ๋ยหมักด้อยคุณภาพ (มุกดา, 2548)

3.4 ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดด่างในกองปุ๋ยหมักมีดังนี้ คือ ในระยะเวลาประมาณ 3 วันแรกของการกองปุ๋ยหมัก pH ในกองปุ๋ยหมักจะลดลง โดยจะมีค่าเฉลี่ยของ pH อยู่ระหว่าง 5.3 – 5.7 (Stuzenberger *et al*., 1970) นอกจากนี้ Jeminez and Gacia (1989) และ Gray *et al*. (1971) รายงานว่า ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมัก ค่า pH จะลดลงเล็กน้อยจนมีค่าประมาณ 5 ต่อมาจะมีค่าเพิ่มเมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายและเริ่มเสถียรภาพ จนในที่สุดค่า pH จะรักษาระดับอยู่ในช่วง 7 – 8 จนสิ้นสุดกระบวนการหมัก หากค่า pH ของกองปุ๋ยหมักเป็นกรด แสดงว่าการหมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์เนื่องจากใช้เวลาหมักน้อยเกินไป หรืออาจเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดของวัสดุ และสภาพแวดล้อม เป็นต้น มุกดา (2548) รายงานอีกว่า เมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับ H^+ ไว้ได้มากขึ้น และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น NH_4^+ เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายความเป็นด่างอ่อน ๆ ของปุ๋ยหมักจึงมีผลดีต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน แต่ถ้าในปุ๋ยหมักที่มีระดับ pH สูงเกินไป ไนโตรเจนในปุ๋ยจะเริ่มกลายเป็นแก๊ส NH_3 และระเหยไปในอากาศ แต่ถ้า pH ต่ำเกินไป จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม และจุลินทรีย์บางชนิด เช่น เชื้อโรคพืชต่าง ๆ จะทำงานได้ดี

3.5 สิ่งเจือปน สิ่งเจือปนที่ปรากฏในการผลิตปุ๋ยหมัก อาจมีวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นพิษ หรืออันตรายต่อดิน พืช สัตว์ สภาพแวดล้อม หรือผู้ใช้เจือปน เช่น ดิน หิน กรวด ทราย และพลาสติก เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากไม่มีประโยชน์ใด ๆ ต่อพืช

3.6 ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับชนิด แหล่งที่มา และปริมาณธาตุอาหารหลักของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารพืช ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเกือบครบถ้วน แต่จะมีในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ

3.7 ระดับความชื้นของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีความชื้นพอสมควร และควรรีบนำไปใช้ก่อนที่จะแห้งสนิท และไม่ควรเก็บปุ๋ยหมักไว้ในสภาพที่แห้งสนิทนานเกินไป เพราะเมื่อนำไปใช้ปุ๋ยหมักจะไม่เปียกน้ำ และอาจไหลไปกับน้ำไปตามผิวดินได้โดยง่ายในกรณีที่ไม่ได้คลุกเคล้า ซึ่งโดยทั่วไปควรมีระดับความชื้นที่กำหนดไว้ที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ การประเมินความชื้นในกองปุ๋ยหมักอาจทำได้โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก ชั่งหาน้ำหนักสดได้โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 10 – 20 กรัม จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักแห้ง น้ำหนักที่หายไปคือปริมาณความชื้นใน

กองปุ๋ยหมัก ซึ่งอาจคำนวณได้โดยการกำหนดมาตรฐานความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

มาตรฐานปุ๋ยหมักชีวภาพแบบแห้ง

เพื่อให้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ตรงตามมาตรฐาน ดังนั้นกรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20: 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: electrical conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ขั้นตอนการเตรียมปุ๋ยหมัก

วัสดุอุปกรณ์

1.1 ส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ ได้แก่ กิ่งและลำต้น เปลือกผลแห้ง และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน

1.2 มูลสัตว์
1.3 พด. 1
1.4 พลาสติก
1.5 บัวรดน้ำ
1.6 ยูเรีย
1.7 เทอร์โมมิเตอร์
1.8 จอบหรือพลั่ว

การเตรียมปุ๋ยหมัก

นำวัสดุที่ต้องการหมัก ย่อยให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับ ผสมคลุกเคล้าวัสดุที่ใช้เป็นส่วน ประกอบทั้งหมดให้เข้ากัน รดน้ำให้ทั่วกอง กองปุ๋ยหมักแบบ windrow system ในโรงเรือนที่พื้นปูด้วยแผ่นพลาสติก กองปุ๋ยลักษณะระฆังคว่ำ ขนาด 1 x 1 x 1.25 เมตร โดยใช้วัสดุหมัก 60 กิโลกรัม โรยด้วยปุ๋ยคอก10 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุหมัก และ พด. 1

วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 4 ตำรับ ทำ 3 ซ้ำ ได้แก่

ตำรับที่ 1 ปุ๋ยหมักจากลำต้นและกิ่งสบู่ดำ
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยหมักจากเปลือกผลที่ได้จากการกะเทาะเมล็ด

ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน

ตำรับที่ 4 ปุ๋ยหมักจาก ลำต้นและกิ่ง เปลือกที่ได้จากการกะเทาะเมล็ด กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ในอัตราส่วน 1: 1: 1

พลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน วัดอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักทุกวันตลอดระยะเวลาการหมัก โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ วัดที่ตำแหน่ง 30, 60 และ 90 องศา ลึกจากกองปุ๋ยหมักประมาณ 15 เซนติเมตร จากด้านบนของกอง นานประมาณ 15 นาที จึงอ่านค่า

สุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักทุก 4, 8 และ 12 สัปดาห์ จากนั้นนำตัวอย่างปุ๋ยหมักมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง บรรจุใส่ถุงกระดาษและปิดปากถุงให้สนิท เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ต่อไป

2. การสกัดสารเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์

วัสดุอุปกรณ์

2.1 เครื่องสกัด Soxhlet Extractor

2.2 methanol (HPLC grade, Merck)

2.3 Thimble

2.4 Rotary Evaporator

2.5 อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์

วิธีการสกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์

สกัดสารฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยดัดแปลงตามวิธีของ Haas and Mittelbach (2000) สกัดด้วยเครื่องสกัดสาร soxhlet extractor ใช้ตัวอย่าง 6 กรัม ใช้ methanol ชนิด HPLC grade เป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัดประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นมาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่อง rotary evaporator

3. การตรวจวิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง HPLC

วัสดุอุปกรณ์

3.1 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) รุ่น 600E ของบริษัท Waters

3.2 สาร Standard TPA จากบริษัท Sigma

3.3 Acetonitrile (HPLC grade, Merck)

3.4 H_2O (HPLC grade, Merck)

3.5 methanol (HPLC grade, Merck)

3.6 อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์สารด้วย HPLC

วิธีการตรวจวิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์

การตรวจสอบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ดัดแปลงตามวิธีของ Haas and Mittelbach (2000) การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างใช้เครื่องวิเคราะห์และแยกสารชนิด High Performance Liquid Chromatography รุ่น 600E ของบริษัท Waters ปริมาตรของสารที่ใช้วิเคราะห์คือ 20 ไมโครลิตร ใช้ photodiode array เป็น detector ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ใช้ reversed phase column ขนาด 3.9 x 150 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 25°C เฟสเคลื่อนที่เป็น acetonitrile และน้ำ ผสมในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยปริมาตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที

4. การวิเคราะห์ธาตุอาหาร

วัสดุอุปกรณ์

4.1 ถุงกระดาษ

4.2 ตู้อบ

4.3 เครื่องบดตัวอย่างพืช

4.4 เครื่องย่อยสลาย

4.5 หลอดทดสอบ

4.6 เครื่องกลั่นไนโตรเจน

4.7 Spectrophotometer

4.8 Atomic absorption spectrophotometer

4.9 EC meter

4.10 pH meter

4.11 อุปกรณ์และสารเคมีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

1. การศึกษาคุณสมบัติของกองปุ๋ยหมัก

1.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อน้ำ เท่ากับ 1: 10 วัดค่า pH ของ suspension ด้วย pH meter (Cáceres *et al*., 2006)

1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อน้ำ เท่ากับ 1: 10 วัดค่าการนำไฟฟ้าของ suspension ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Tiquia and Tam, 2002)

1.3 อินทรียวัตถุ (organic matter) ใช้วิธี Walkley and Black (Faithfull, 2002)

1.4 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) นำคาร์บอนอินทรีย์กับไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มาเข้าสูตร C/N ratio

1.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4: Na_2SO_4: Se ในอัตราส่วน 100: 10: 1 นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

1.6 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4: Na_2SO_4: Se ในอัตราส่วน 100: 10: 1 นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ammonium metavanadate ได้สารละลายประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองใส วัดความเข้มข้นสีของสารละลายด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

1.7 โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4: Na_2SO_4: Se ในอัตราส่วน 100: 10: 1 นำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

1.8 ซัลเฟอร์ทั้งหมด (total sulfur) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย HNO_3: $HClO_4$ ในอัตราส่วน 2: 1 นำสารละลายตัวอย่างไปเติมสารละลาย ammonium acetate, ผง $BaCl_2$ และน้ำยา gum acacia เพื่อให้ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารละลายสีขาวขุ่น แล้ววัดความขุ่นของสารละลายด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (อรพินท์, 2544)

1.9 แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย HNO_3: H_2SO_4: $HClO_4$ ในอัตราส่วน 5: 1: 2 นำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของธาตุชนิดต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม R- Statistic และตรวจสอบความแตกต่างโดยหาค่า analysis of variance และค่า F-value แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 หรือ 99 เปอร์เซ็นต์ และนำไปตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และ 0.01

สถานที่และระยะเวลาในการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

1. พื้นที่แปลงทดลอง ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการงานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

4. ห้องปฏิบัติการ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์ และผลิตภัณฑ์สัตว์ (สวพป.) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้เริ่มตั้งแต่ เดือนกันยายน พ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 7 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการหมัก (สัปดาห์)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg g^{-1})	
	DHPB	TPA
0	-	0.11
4	-	0.07
8	-	0.04
12	-	0.03
F- test	-	**
C. V. (%)	-	9.02
$LSD_{.05}$	-	0.32
$LSD_{.01}$	-	0.58

หมายเหตุ - = ไม่พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

พบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในกลุ่ม TPA เพียงชนิดเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานของ วิทยาและคณะ (2549) โดยระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์มีปริมาณลดลง และในสัปดาห์ที่ 12 หลังการหมัก พบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 7) ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ในปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 12 พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน TPA ซึ่งแสดงว่า

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในตัวอย่างปุ๋ยหมักจากงานวิจัยนี้ มีค่าเทียบเคียงกับปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในสบู่ดำพันธุ์ไม่มีพิษ (วิทยาและคณะ, 2549; Makkar *et al*., 1998)

สำหรับค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ได้ พบว่าก่อนการหมักมีค่าเวลาการคงอยู่ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ในช่วงระยะเวลา 18 – 20 นาที ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของวิทยา และคณะ (2549) โดย retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA หลังหมักแล้ว 4, 8 และ12 สัปดาห์ ค่า retention time ประมาณ18 นาที (ภาพผนวกที่ 1)

1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของเปลือกผลสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 8 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของเปลือกผลสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการหมัก (สัปดาห์)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg g^{-1})	
	DHPB	**TPA**
0	0.44	0.52
4	0.41	0.06
8	0.00	0.03
12	0.00	0.03
F- test	**	**
C. V. (%)	14.63	9.18
$LSD_{.05}$	1.02	0.80
$LSD_{.01}$	1.87	1.46

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในส่วนผสมของเปลือกผลสบู่ดำ เป็นสารในกลุ่ม TPA (วิทยา และคณะ, 2549) แต่จากงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 กลุ่ม คือ DHPB และ TPA ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจาก

เปลือกผลสบู่ดำที่ได้ มาจากการกะเทาะด้วยเครื่องจักรจึงทำให้มีส่วนของเมล็ดที่มีสารกลุ่ม DHPB ปะปนอยู่ด้วย ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB และ TPA ที่วิเคราะห์ได้จากเปลือกผลสบู่ดำก่อนหมัก มีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB และ TPA สูงที่สุด คือ 0.44 และ 0.52 มิลลิกรัมต่อกรัม ในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 หลังหมัก พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB น้อยมากหรือไม่พบ ส่วน TPA มีค่าเท่ากับ 0.03 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 8) โดยสารมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด TPA เพียงชนิดเดียว ในปริมาณ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ในปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 12 พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน TPA (วิทยาและคณะ, 2549; Makkar *et al*., 1998)

สำหรับ retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่า ก่อนการหมัก ค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด TPA ในช่วงระยะเวลา 18 – 20 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิทยาและคณะ (2549) และชนิด DHPB ในช่วงระยะเวลา 8 – 12 นาที (Hass and Mittelbach, 2000) หลังจากหมักแล้ว 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ยังพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA แต่ปริมาณจะลดลงตามระยะเวลาการหมักและ retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เมื่อหมักแล้ว 4 สัปดาห์ อยู่ที่ระยะเวลา 9 นาที และหลังจากหมักแล้ว 8 และ 12 สัปดาห์ ไม่พบ retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (ภาพผนวกที่ 2)

1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำเป็นสารในกลุ่ม DHPB (วิทยา และคณะ, 2549; Hass *et al*., 2002) ผลการวิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์ในการทดลองนี้ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 กลุ่ม คือ DHPB และ TPA ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องจากเมล็ดที่ได้จากการกะเทาะด้วยเครื่องจักรมีส่วนของเปลือกที่มีสารกลุ่ม TPA ปะปนมาด้วย ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB และ TPA ที่วิเคราะห์ได้จากกากเมล็ดสบู่ดำก่อนหมัก มีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB และ TPA สูงที่สุด คือ 1.34 และ 0.28 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสัปดาห์ที่ 4 และ 8 หลังหมักพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB 0.81 และ 0.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วน TPA มีค่าเท่ากับ 0.14 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสารมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก พบสาร

ฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เพียงชนิดเดียวในปริมาณ 0.04 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 9) เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ในปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 12 พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน TPA (วิทยาและคณะ, 2549; Makkar *et al*., 1998)

สำหรับค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ พบว่าก่อนการหมักค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB ในช่วงระยะเวลา 6 – 12 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hass and Mittelbach (2000) ส่วนสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด TPA ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา 18 – 20 นาที คล้ายกับงานวิจัยของ วิทยา และคณะ (2549) โดยค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เมื่อหมักแล้ว 4 8 และ 12 สัปดาห์ อยู่ที่ระยะเวลา 9 นาที และสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ซึ่งมีค่า retention time ที่ 18 – 20 นาที จะพบน้อยมากหรือไม่พบเลยหลังการหมัก 8 และ 12 สัปดาห์ (ภาพผนวกที่ 3)

ตารางที่ 9 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการหมัก	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg g^{-1})	
(สัปดาห์)	DHPB	TPA
0	1.34	0.28
4	0.81	0.14
8	0.13	0.02
12	0.04	0.00
F- test	**	**
C. V. (%)	16.36	26.37
$LSD_{.05}$	1.34	0.64
$LSD_{.01}$	2.45	1.17

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

1.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากเมล็ดสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของวัสดุผสม กิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

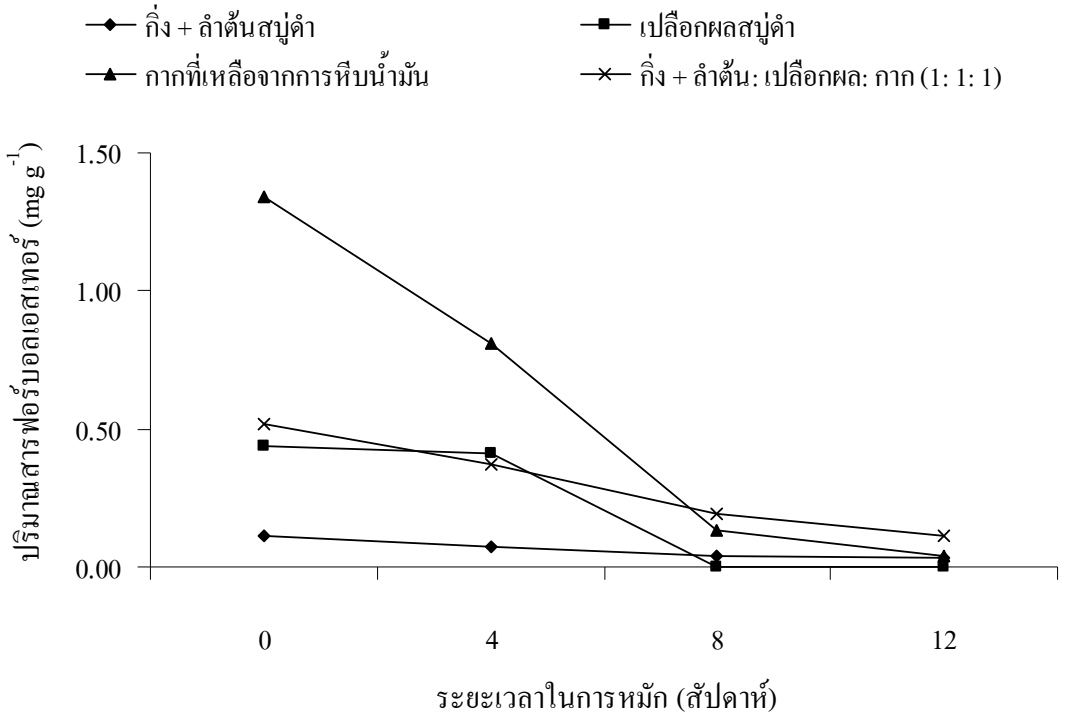
ระยะเวลาในการหมัก (สัปดาห์)	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg g^{-1})	
	DHPB	**TPA**
0	0.52	0.82
4	0.37	0.36
8	0.19	0.00
12	0.11	0.00
F- test	**	**
C. V. (%)	11.41	10.72
$LSD_{.05}$	7.80	1.24
$LSD_{.01}$	14.31	2.28

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่พบในกิ่งและลำต้น และเปลือกผล เป็นสารในกลุ่ม TPA สำหรับกากเมล็ดสบู่ดำเป็นสารในกลุ่ม DHPB (วิทยา และคณะ, 2549; Hass *et al*., 2002) ผลการวิเคราะห์ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 กลุ่ม คือ DHPB และ TPA ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB และ TPA ที่วิเคราะห์ได้จากวัสดุผสมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB และ TPA สูงที่สุด คือ 0.52 และ 0.82 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสัปดาห์ที่ 4 และ 8 หลังหมักพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB 0.37 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วน TPA ในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 หลังหมักมีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์เท่ากับ 0.19 และ 0 มิลลิกรัมต่อกรัม ในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เพียงชนิดเดียวในปริมาณ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 10)ปริมาณของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ลดลงตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ในปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 12 พบว่ามี

ปริมาณ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน TPA (วิทยาและคณะ, 2549; Makkar *et al*., 1998)

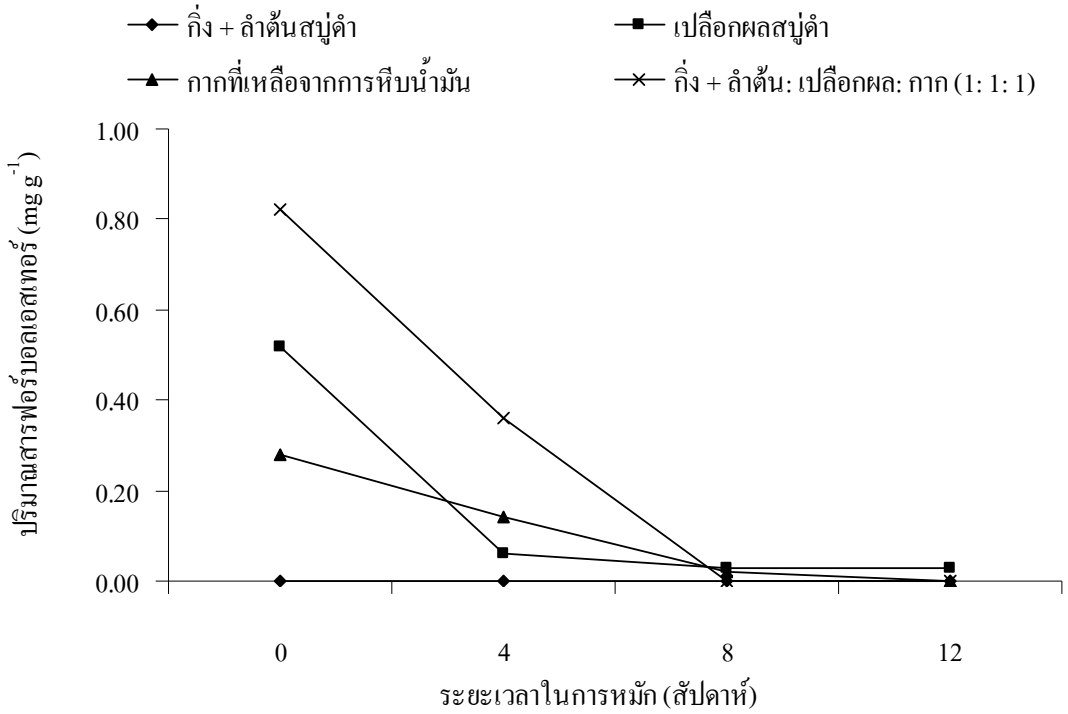
สำหรับค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ พบว่าก่อนการหมักมีค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB ในช่วงระยะเวลา 6 – 12 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hass and Mittelbach (2000) ส่วนสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด TPA ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา 18 – 20 นาที คล้ายกับงานวิจัยของ วิทยา และคณะ (2549) โดยค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB เมื่อหมักแล้ว 4 8 และ 12 สัปดาห์อยู่ที่ระยะเวลา 9 นาที และสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ซึ่งมีค่า retention time ที่ 18 – 20 นาที จะพบน้อยมากหรือไม่พบเลยหลังการหมัก 8 และ 12 สัปดาห์ (ภาพผนวกที่ 4)



ภาพที่ 7 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB ของส่วนผสมต่าง ๆ จากสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น (ภาพที่ 7) เช่นเดียวกับสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA (ภาพที่ 8) ที่ระยะเวลาในการหมัก 0 สัปดาห์ พบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 ชนิด ยกเว้นส่วนผสมของกิ่งและ

ลำต้นสบู่ดำ โดยส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ชนิด DHPB สูงที่สุด คือ 1.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้น จะพบฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA อย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานของวิทยา และคณะ (2549) โดยส่วนผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA สูงที่สุด คือ 0.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 ชนิด ลดลงตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่ในปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 12 ทุกตำรับ พบว่าปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB และ TPA มีปริมาณน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน TPA (วิทยาและคณะ, 2549; Makkar *et al*., 1998)



ภาพที่ 8 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ของส่วนผสมต่าง ๆ จากสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

2. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 57.4 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 4 วัน และมีอุณหภูมิสูงถึง 58.7 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 23 วัน จากนั้นจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 – 57 องศาเซลเซียส จนถึง 54 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 80 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 9)

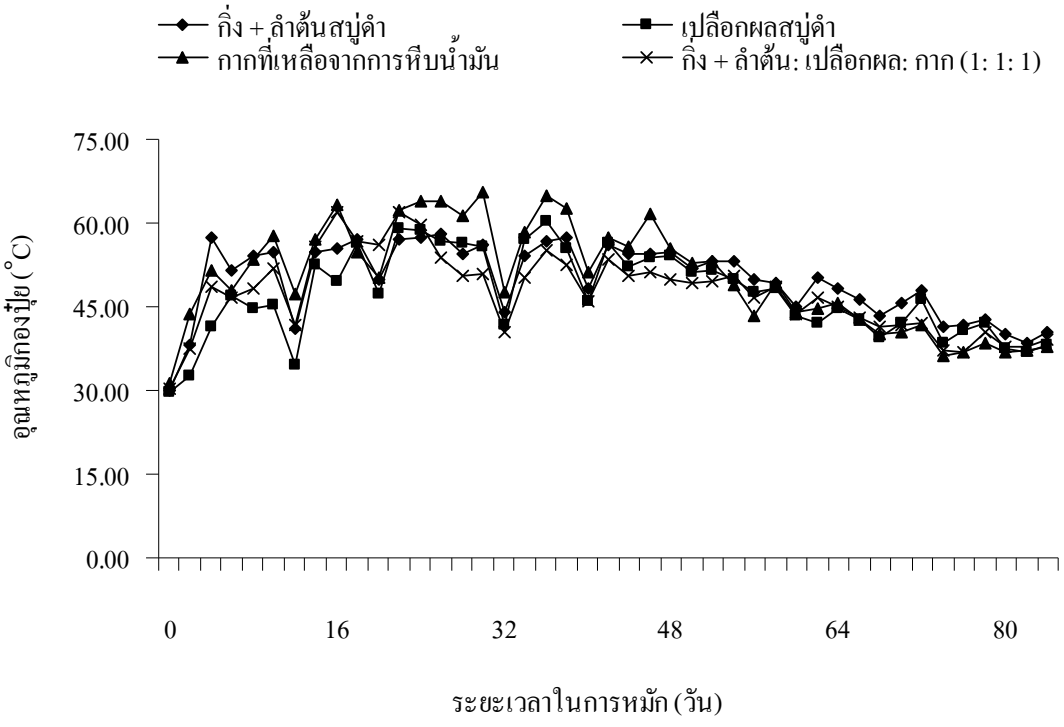
อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักผสมเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 52.4 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 14 วัน และมีอุณหภูมิสูงถึง 61.8 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 25 วัน จากนั้นจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 – 55 องศาเซลเซียส จนถึง 54 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 73 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 9)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักผสมกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 51.6 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 4 วัน และมีอุณหภูมิสูงถึง 67.6 องศาเซียลเซียส เมื่อหมักไปได้ 29 วัน จากนั้นจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 – 60 องศาเซียลเซียส จนถึง 54 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 9)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักของส่วนผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันในอัตราส่วน 1: 1: 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 51.9 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 10 วัน และมีอุณหภูมิสูงถึง 64.7 องศาเซียลเซียส เมื่อหมักไปได้ 17 วัน จากนั้นจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 – 50 องศาเซียลเซียส จนถึง 54 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 72 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 9)

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้น เปลือกผล กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ และในส่วนผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันในอัตราส่วน 1: 1: 1 เพิ่มขึ้น หลังจากตั้งกองแล้ว 4 วัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าหรือใกล้เคียง 55 องศาเซียลเซียส เมื่อหมักไปได้ 14 17 10 และ 14 วัน ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเมื่อพลิกกลับกองและปรับความชื้น แล้วอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อทำการตั้งกองใหม่ไปได้ 1 – 2 วัน

ซึ่งจะเป็นลักษณะเช่นนี้ตลอดระยะเวลาการหมัก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากในช่วง ระยะแรกมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอุณหภูมิเริ่มลดลงเมื่อเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก โดยอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำ กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน และปุ๋ยหมักผสมจากกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันในอัตราส่วน 1: 1: 1 ลดลงค่อนข้างรวดเร็วและจะคงที่หรือใกล้เคียงกับบรรยากาศในช่วง 70 – 73 วัน ของการหมัก แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว (Polprasert, 1996) ส่วนปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้นของสบู่ดำใช้เวลา 80 วันในการย่อยสลายและกระบวนการหมักได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดใช้ระยะเวลาการย่อยสลายจนเสร็จสมบูรณ์แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากง่ายแตกต่างกัน โดยกิ่งและลำต้นสบู่ดำ อาจมีองค์ประกอบอินทรีย์จำพวกลิกนินมากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการหมักครั้งนี้ ซึ่งลิกนินจะถูกทำลายหรือย่อยสลายได้ค่อนข้างยากโดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายของลิกนินจะเกิดขึ้นช้ากว่าเซลลูโลสประมาณ 4 – 10 เท่า (Crawford *et al*., 1977)



ภาพที่ 9 อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุในส่วนผสมกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 85.44 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์ ปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเหลืออยู่ 59.04 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 10)

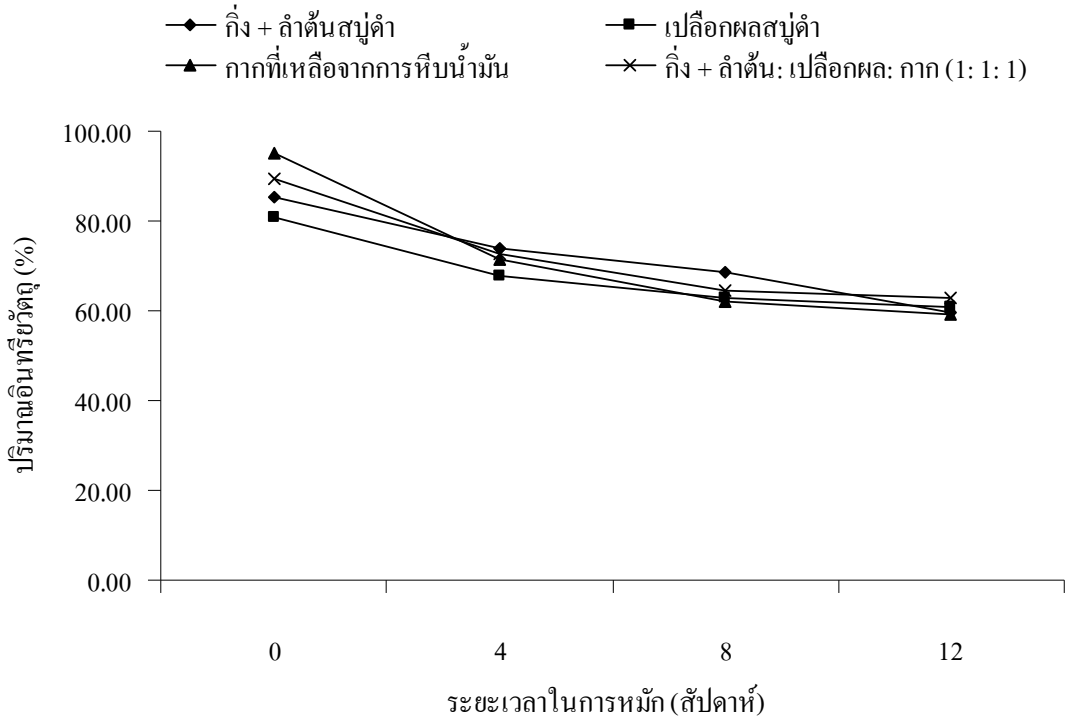
ปริมาณอินทรียวัตถุในส่วนผสมเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 80.98 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์ ปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเหลืออยู่ 61 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 10)

ปริมาณอินทรียวัตถุในส่วนผสมกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าลดลงตามระยะ เวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 95.09 เปอร์เซ็นต์ และระยะการหมักที่ 12 สัปดาห์ ปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเหลืออยู่ 59.04 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวก ที่ 2 และภาพที่ 10)

ปริมาณอินทรียวัตถุในส่วนผสมของวัสดุผสมระหว่างกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1: 1: 1 มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 89.22 เปอร์เซ็นต์ และระยะการหมักที่ 12 สัปดาห์ ปริมาณอินทรียวัตถุมีปริมาณเหลืออยู่ 62.84 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 10)

จากผลการทดลองพบว่าอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสับ เปลือกผล กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน และปุ๋ยหมักผสมจากกิ่งและลำต้นสับ เปลือผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ในอัตราส่วน 1: 1: 1 มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยลดลงอย่างมากในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการการหมัก และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก สาเหตุที่อินทรียวัตถุลดลง อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนของเซลล์จุลินทรีย์ ส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอื่น ๆ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ลดลงตามระยะเวลาการหมัก เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมัก ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เหลือจะเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งบางส่วนจะแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิก (Crawford, 1983) โดยในช่วงก่อนการหมักปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือ

จากการหีบน้ำมันมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าปุ๋ยหมักอื่น ๆ และหลังจากหมักเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะพบว่ากากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีการย่อยสลายได้เร็ว และมีปริมาณอินทรียวัตถุเหลืออยู่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 10 ปริมาณอินทรียวัตถุของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

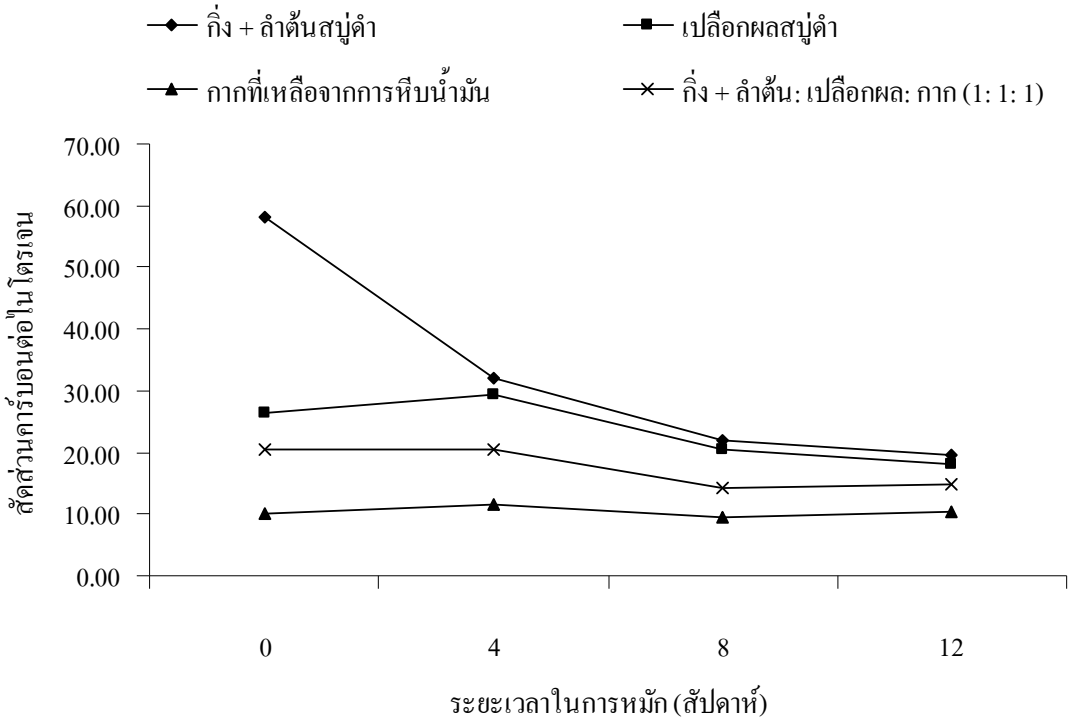
2.3 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดามีค่าลดลงตามระยะ เวลาการหมัก โดยก่อนหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า C/N ratio เท่ากับ 58.21 และระยะการหมักที่ 12 สัปดาห์ ค่า C/N ratio ลดลงเหลือ 19.46 (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 11)

ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดา ก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า C/N ratio เท่ากับ 26.29 และเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 หลังหมัก จากนั้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดย 12 สัปดาห์หลังหมัก ค่า C/N ratio ลดลงเหลือ 18.12 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 11)

ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน สบู่ดำ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า C/N ratio เท่ากับ 10.01 และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ ก่อนจะมีค่าลดลงอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย โดยในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก ค่า C/N ratio เท่ากับ 10.45 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 11)

ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้นเปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า C/N ratio เท่ากับ 20.47 และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 4 หลังหมัก จากนั้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก ค่า C/N ratio เท่ากับ 14.77 (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการหมักพบว่าปุ๋ยหมักจากเปลือกผล กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน และปุ๋ยผสมของกิ่งและลำต้นสับ เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีค่า C/N ratio เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น มีการสูญเสียไนโตรเจนทั้งในรูป

แอมโมเนียหรือเกิดกระบวนการ denitrification หรือถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำ จากนั้นปุ๋ยหมักดังกล่าวมีค่าลดลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ยกเว้นปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า C/N ratio ลดลง อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งลดลง ขณะที่ไนโตรเจนมีการสูญเสียในสัดส่วนที่น้อยกว่า จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่งปุ๋ยหมักทุกตำรับมีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 ซึ่งใช้เป็นดัชนีวัดความสมบูรณ์ของการหมักได้ (Mathur *et al*., 1993) โดยปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำใช้ระยะเวลาการหมักจนเสร็จสมบูรณ์ในสัปดาห์ที่ 12 สาเหตุที่ใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่าปุ๋ยหมักจากตำรับอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้า

2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

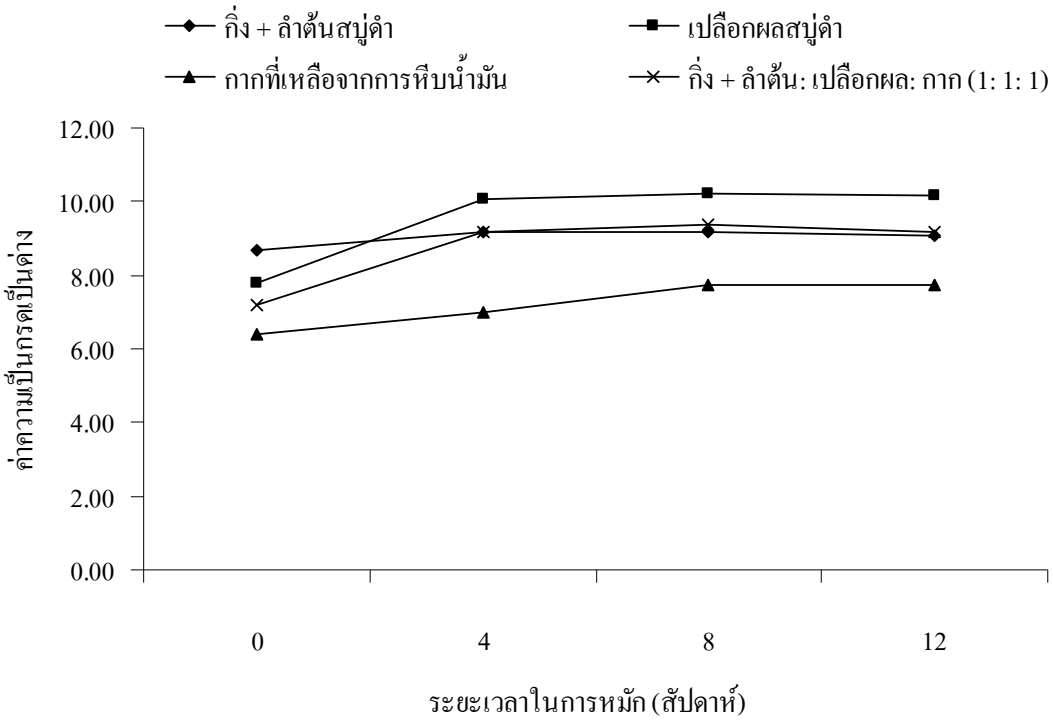
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 4 สัปดาห์หลังหมัก ก่อนที่ค่อย ๆ ลดลง โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า pH เท่ากับ 8.70 และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก มีค่า pH เท่ากับ 9.08 ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึงสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก ก่อนที่จะลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12 โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า pH เท่ากับ 7.80 และในสัปดาห์สุดท้ายของการหมักมีค่า pH เท่ากับ 10.16 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีค่าเพิ่มขึ้น โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่า pH เท่ากับ 6.41 และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก มีค่า pH เท่ากับ 7.76 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12)

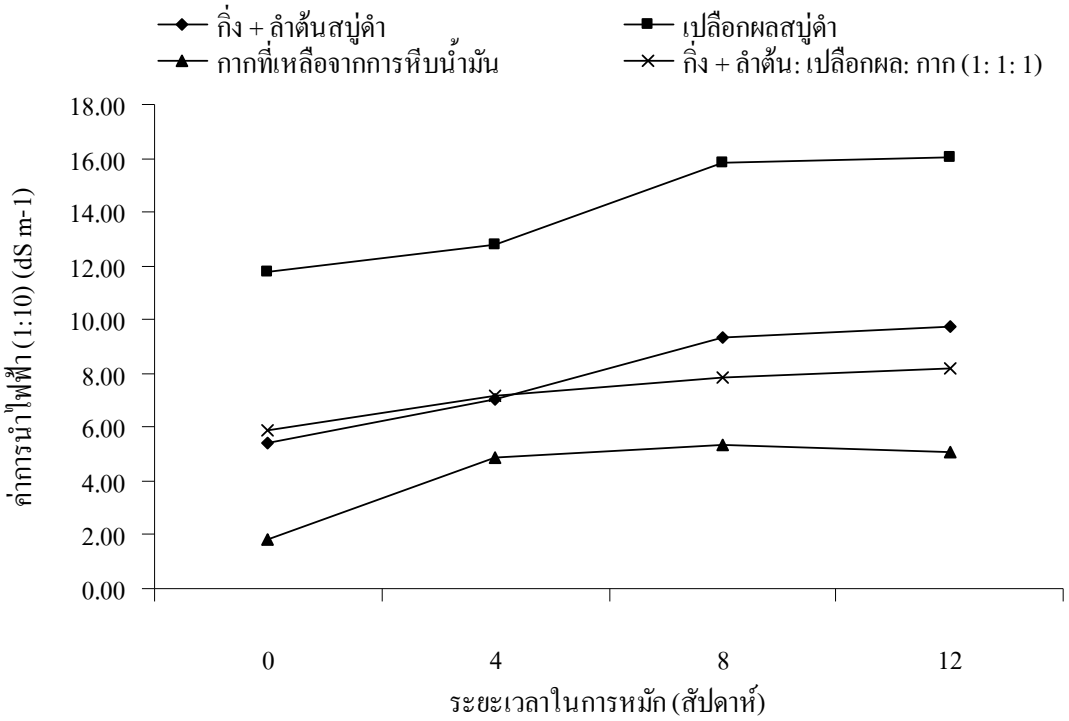
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผลและกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึงสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก ก่อนที่จะลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12 โดยสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก มีค่า pH เท่ากับ 9.36 และหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ ค่า pH เท่ากับ 9.17 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12)

จากผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของปุ๋ยหมักของกิ่งและลำต้น เปลือกผลสบู่ดำ และปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้นสับ เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำสบู่ดำ ตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึง 8 สัปดาห์หลังหมัก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ก่อนที่จะเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 12 โดยมีค่าค่อนข้างเป็นด่าง ยกเว้นปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันที่พบว่าเป็นกรดอ่อน ๆ และเริ่มเป็นกลางจนตลอดการหมักเสร็จสิ้น เมื่อพิจารณาค่า pH ของปุ๋ยหมักแต่ละตำรับ พบว่าปุ๋ยหมักจากเปลือกผลสบู่ดำมีค่าสูงที่สุด คือ 10.16 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ สุพิศ (2546) ที่กล่าวว่า ฟอสฟอรัสที่สูงจะส่งผลให้เกิดค่าความเป็นด่างสูงขึ้นตาม เช่นเดียวกับน้ำเสียที่ฟอสฟอรัสสูงและเกิดค่าความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับงานของ Sharma and Pandey (2009) พบว่ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเปลือกผลที่ใกล้เคียงกัน คือ 10.20



ภาพที่ 12 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า



ภาพที่ 13 ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ค่าการนำไฟฟ้าในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 5.39 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หลังจากหมักแล้ว12 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 9.75 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13)

ค่าการนำไฟฟ้าในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 11.77 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 16.06 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13)

ค่าการนำไฟฟ้าในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึงระยะเวลาการหมักที่ 8 สัปดาห์ จากนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12

หลังการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.81 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หลังจากหมักแล้ว 8 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.37 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร และในสัปดาห์ที่ 12 ปุ๋ยหมักตำรับนี้มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.06 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13)

ค่าการนำไฟฟ้าในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.89 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 8.16 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13)

จากผลการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักทุกตำรับมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระบวนการหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกผล และปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้นสับ เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีค่าเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน สาเหตุที่ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากมวลโดยรวมลดลงจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ นอกจากนี้การย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการ mineralization ปลดปล่อยแร่ธาตุที่เป็นส่วน ประกอบของอินทรียวัตถุออกมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น เช่นโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต แอมโมเนีย และคาร์บอเนตเป็นต้น สำหรับปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันเริ่มมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก เนื่องมาจากมีการตกตะกอนของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ หรือแร่ธาตุบางส่วนถูกชะล้างในระหว่างรดน้ำ เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าสูงที่สุด คือ 16.06 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

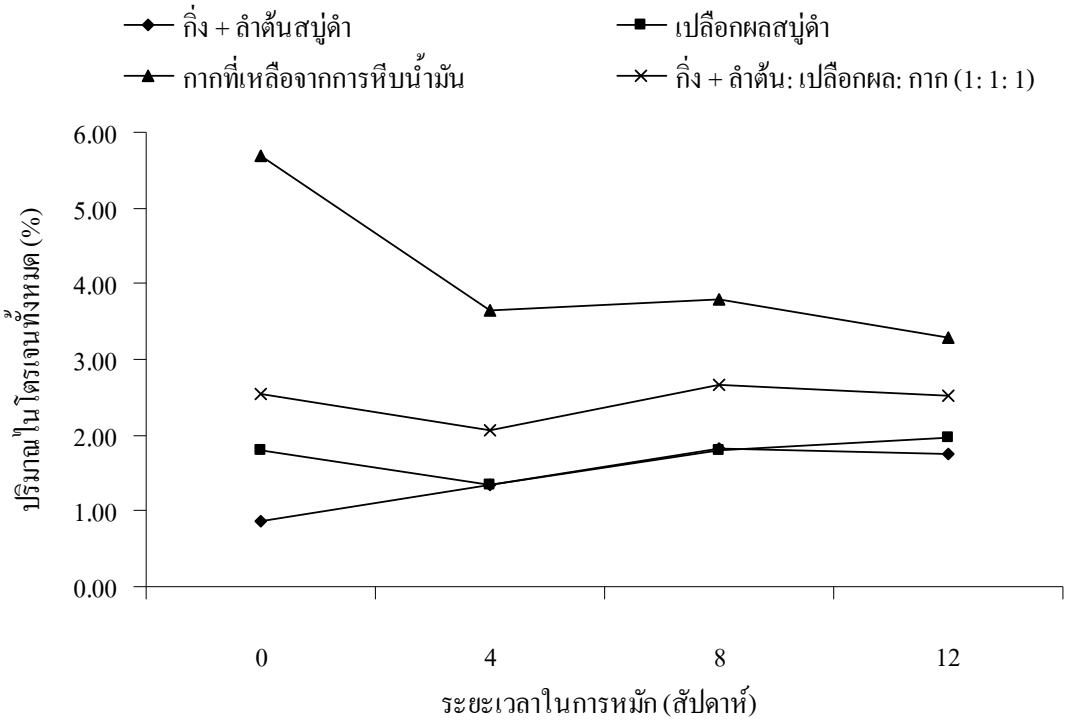
2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึงสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก จากนั้นเริ่มลดลงเล็กน้อย หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ และก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.88 เปอร์เซ็นต์ และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.75 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 14)

ปริมาณไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าลดลงในช่วง 4 สัปดาห์หลังจากหมัก มีปริมาณท่ากับ 1.34 ก่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก หลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.97 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 14)

ปริมาณไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 5.67 เปอร์เซ็นต์ หลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ ปริมาณไนโตรเจนเหลือเพียง 3.29 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 14)

ปริมาณไนโตรเจนในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยตั้งแต่ก่อนการหมักจนถึงหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์ โดยก่อนการหมักมีปริมาณเท่ากับ 2.54 เปอร์เซ็นต์ หลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 2.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 14)

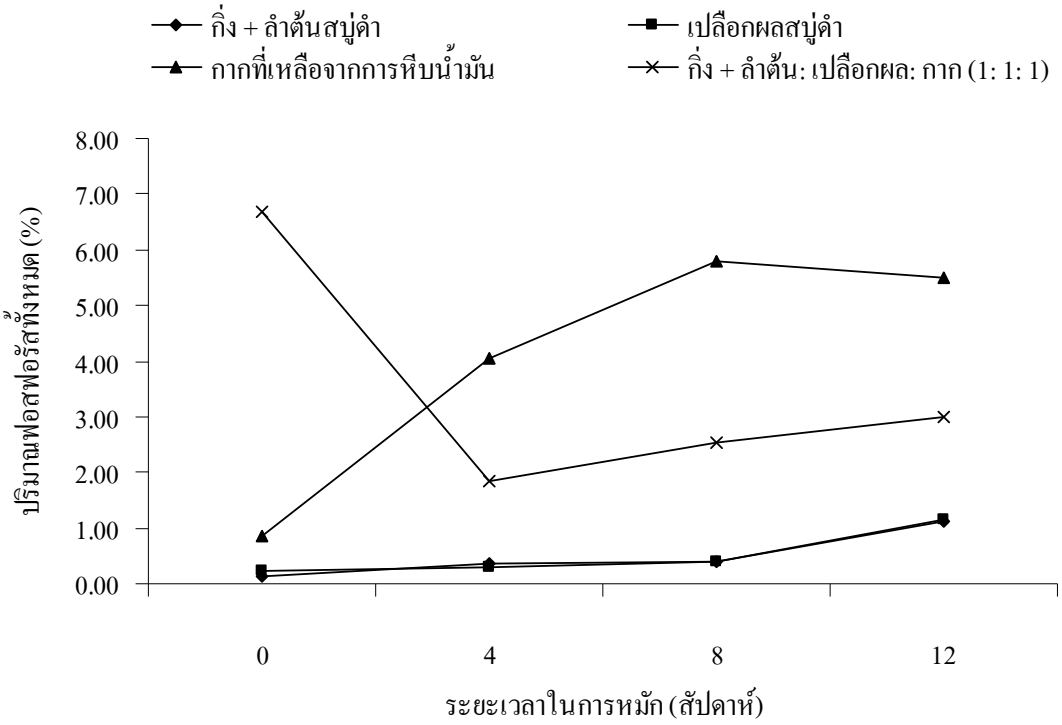


ภาพที่ 14 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้น กับเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก สาเหตุที่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและสูญเสียคาร์บอนไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งคาร์บอนจะมีการสูญเสียในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น หรืออาจจะเกิดจากการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในกองปุ๋ยหมัก (Zorpas *et al*., 2003) สำหรับปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันมีปริมาณไนโตรเจนลดลง สาเหตุอาจเนื่องจาก ไนโตรเจน

เกิดการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งทำให้ถูกเปลี่ยนไปในการสร้างเซลล์และเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย (สุพิศ, 2546) และปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันพบว่ามีปริมาณแตกต่างกันน้อยมาก สาเหตุอาจเนื่องมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก (ประกาศิต, 2549)

2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส



ภาพที่ 15 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสับสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะ เวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.13 เปอร์เซ็นต์ หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 15)

ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.22 เปอร์เซ็นต์ หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 15)

ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และมีค่าลดลงหลังจากหมักแล้ว 8 สัปดาห์ โดยพบว่าหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 5.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 15)

ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ พบว่ามีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมักจนถึงสัปดาห์ที่ 8 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.99 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 15)

จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้น เปลือกผลสบู่ดำ และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก สาเหตุที่ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่ฟอสฟอรัสไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่สูญเสียโดยการชะล้างเล็กน้อย เนื่องจากฟอสเฟตจะตกตะกอนเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น และจากการที่ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายยังไม่เสร็จสิ้น (ประกาศิต, 2549)

2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม

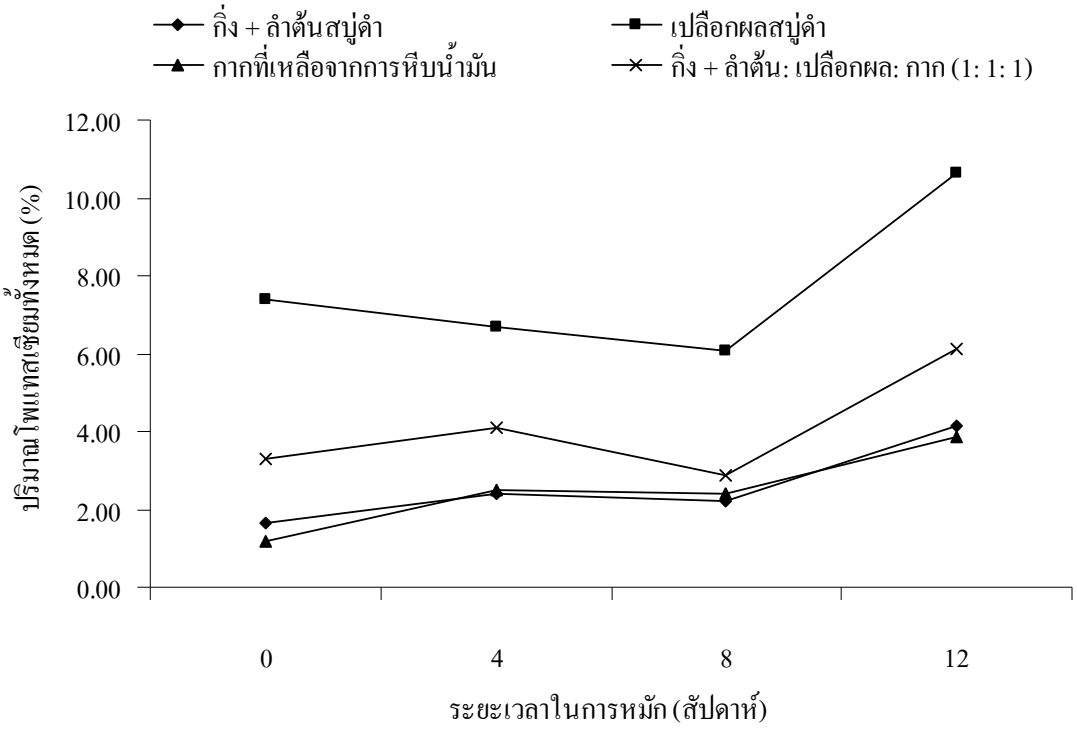
ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ โดยก่อนการหมัก 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ และลดลงอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 8 ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 4.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 16)

ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก ก่อนจะเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 7.41 เปอร์เซ็นต์ หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 10.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 16)

ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 1.19

เปอร์เซ็นต์ หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 3.84 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 16)

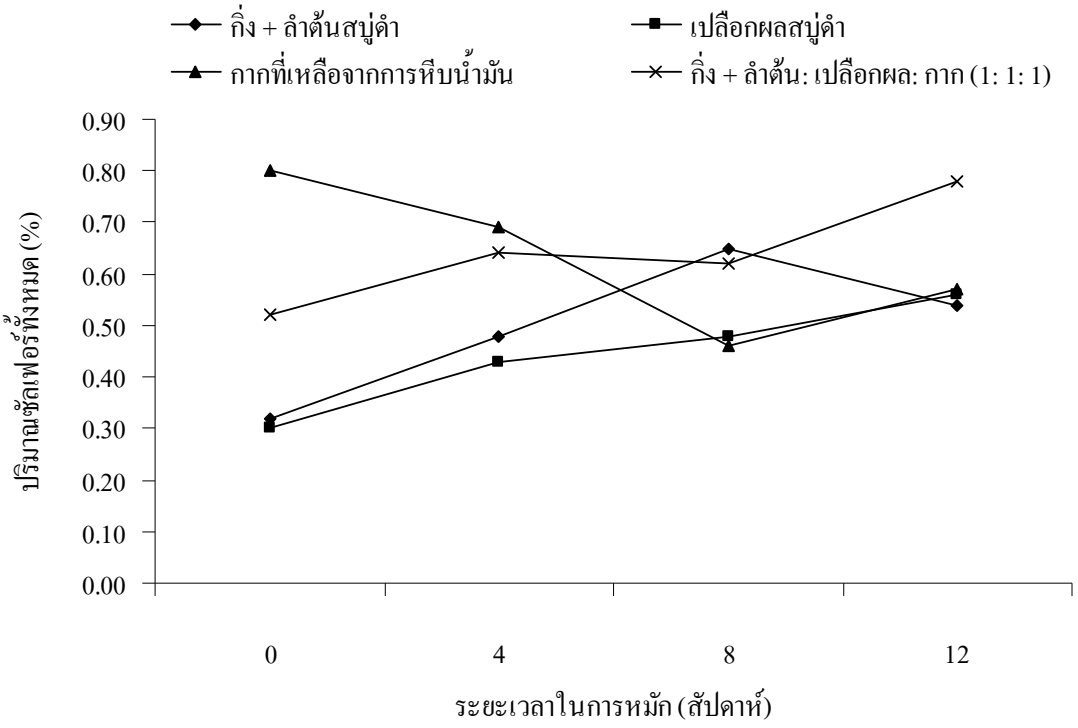
ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ และมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 8 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 12 มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 6.14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทุกตำรับมีค่าเพิ่มขึ้นหลังสัปดาห์ที่ 8 โดยระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีปริมาณของโพแทสเซียมมากที่สุด คือ 7.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับงานของ Sharma and Pandey (2008) ที่พบว่ามีปริมาณของโพแทสเซียม เท่ากับ 7.15 เปอร์เซ็นต์

2.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์



ภาพที่ 17 ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณซัลเฟอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักไปแล้วที่ 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.32 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 17)

ปริมาณซัลเฟอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์มีปริมาณเท่ากับ 0.30 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์ มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.56 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 17)

ปริมาณซัลเฟอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากหมักไปแล้วในสัปดาห์ที่ 12 โดยค่าที่เพิ่มขึ้นนี้ยังมีค่าน้อยกว่าปุ๋ยหมักที่ 0 สัปดาห์ ที่มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.80 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์มีปริมาณเท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 17)

ปริมาณซัลเฟอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และการหมักที่ 0 สัปดาห์มีปริมาณเท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลาการหมักที่ 12 สัปดาห์ มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.78 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 17)

จากผลการทดลองพบว่าซัลเฟอร์ของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น และเปลือกผล มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 12 หลังการหมัก สาเหตุที่ซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแหล่งซัลเฟอร์ของปุ๋ยหมักส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดอะมิโน ได้แก่ cysteine และ methionine ในโปรตีน (Day and Shaw, 2001) ปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ในช่วงแรกมีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก และปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังหมักไปได้ 12 สัปดาห์ แต่เมื่อเทียบกับก่อนหมักที่ 0 สัปดาห์ ก็ยังพบว่ามีปริมาณซัลเฟอร์น้อยกว่า สาเหตุอาจเนื่องมาจากมีการระเหยของซัลไฟด์ และไฮโดนเจนซัลไฟด์ ในสภาพอับอากาศ (Day and Shaw, 2001) โดยปุ๋ยหมักทุกตำรับมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อหมักไปได้ 12 สัปดาห์

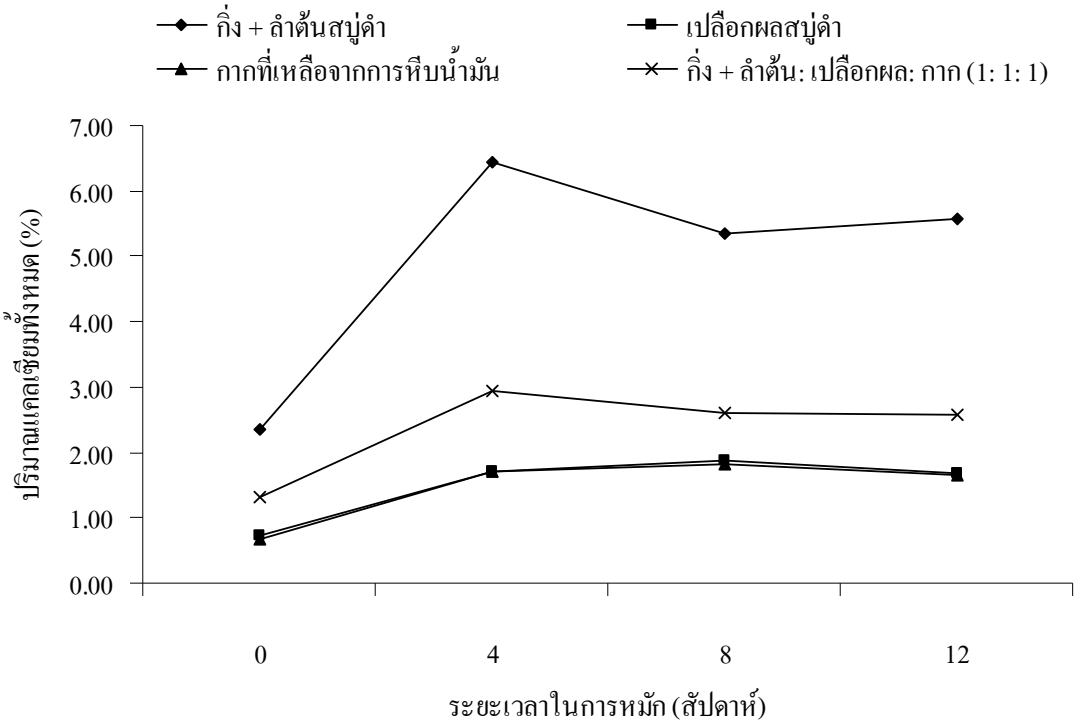
2.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 4 สัปดาห์หลังหมัก มีปริมาณเท่ากับ 6.43 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 5.36 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมักที่ 5.56 เปอร์เซ็นต์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 2.36 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 18)

ปริมาณแคลเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักก่อนที่จะลดลงเล็กน้อย โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์มีปริมาณเท่ากับ 0.74 เปอร์เซ็นต์ และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 1.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 18)

ปริมาณแคลเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักก่อนที่จะลดลงในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.67 เปอร์เซ็นต์ และในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 1.66 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 18)

ปริมาณแคลเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 หลังหมัก มีปริมาณเท่ากับ 2.94 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมักมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 2.59 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 18)

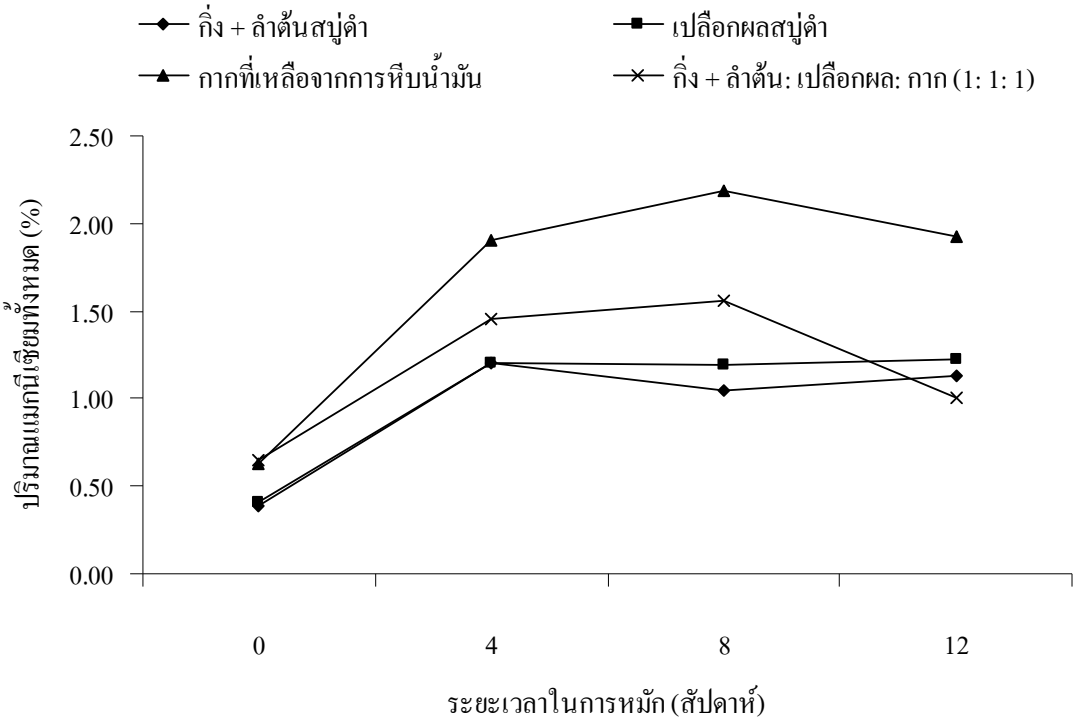


ภาพที่ 18 ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าแคลเซียมของปุ๋ยหมักทุกตำรับมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 หลังหมัก โดยปุ๋ยหมักจากเปลือกผลและกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากและมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่แคลเซียมเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูป

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้แคลเซียมต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (ประกาศิต, 2549)

2.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม



ภาพที่ 19 ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก มีปริมาณเท่ากับ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก มีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 19)

ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนผสมของเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.41 เปอร์เซ็นต์ และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 19)

ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนผสมของกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์ และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 1.92 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 19)

ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนผสมของปุ๋ยผสมกิ่งและลำต้นสับ เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 19)

จากผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียมของปุ๋ยหมักทุกตำรับ ยกเว้นปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าคงที่ หรือลดลงเล็กน้อย สาเหตุที่แมกนีเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ประกาศิต, 2549)

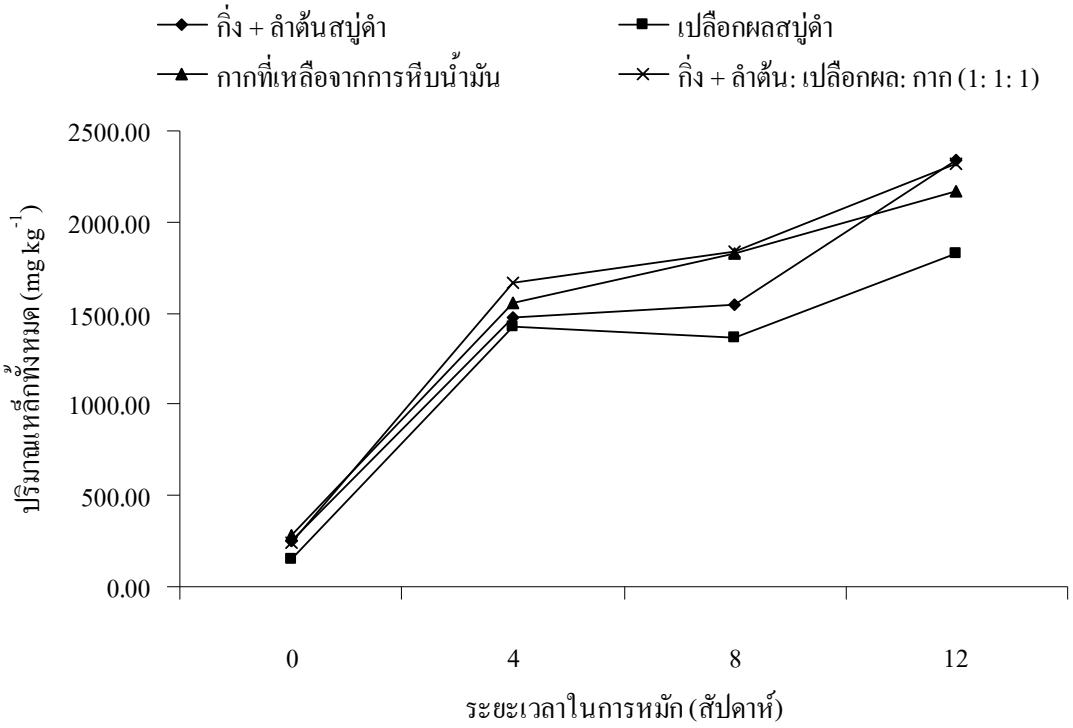
2.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็ก

ปริมาณเหล็กในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 254.39 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 2335.19 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 20)

ปริมาณเหล็กในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 หลังหมัก มีปริมาณเท่ากับ 1422.70 มิลลิกรัมต่อกรัม และลดลงเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 8 หลังหมัก มีปริมาณเท่ากับ 1367.55 มิลลิกรัม ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 1827.69 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 20)

ปริมาณเหล็กในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 281.45 มิลลิกรัม หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 2171.19 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 20)

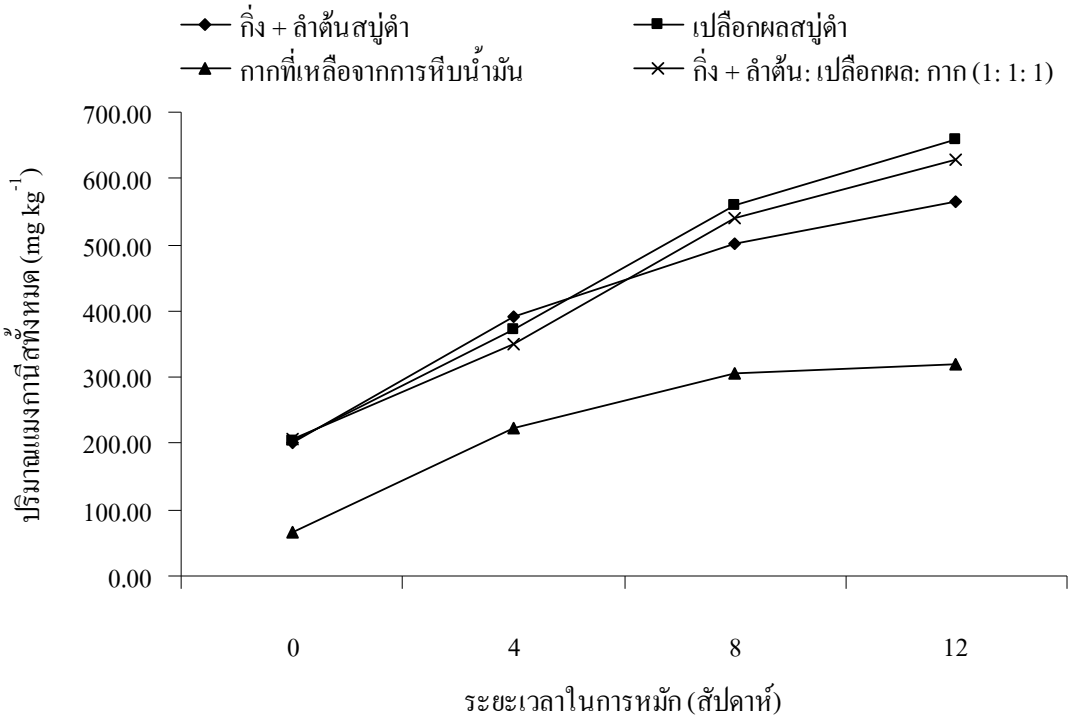
ปริมาณเหล็กในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 239.60 มิลลิกรัมต่อกรัม หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กเท่ากับ 2320.28 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 ปริมาณเหล็กทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สาเหตุอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเหล็กทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (ประกาศิต, 2549)

2.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมงกานีส



ภาพที่ 21 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณแมงกานีสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 201.05 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 565.08 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 21)

ปริมาณแมงกานีสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 203.12 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 659.40 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 21)

ปริมาณแมงกานีสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 65.74 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 318.60 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 21)

ปริมาณแมงกานีสในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 206.90 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 627.12 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 21)

จากผลการทดลองพบว่าแมงกานีสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อนที่จะเริ่มคงที่ในช่วงสัปดาห์ที่ 12 หลังหมัก สาเหตุอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น แมงกานีสต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เป็นต้น (ประกาศิต, 2549) เมื่อพิจารณาแมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำมีค่าสูงที่สุด คือ 659.40 มิลลิกรัมต่อกรัม และปุ๋ยหมักที่มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด คือ กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีปริมาณ 318.60 มิลลิกรัมต่อกรัม

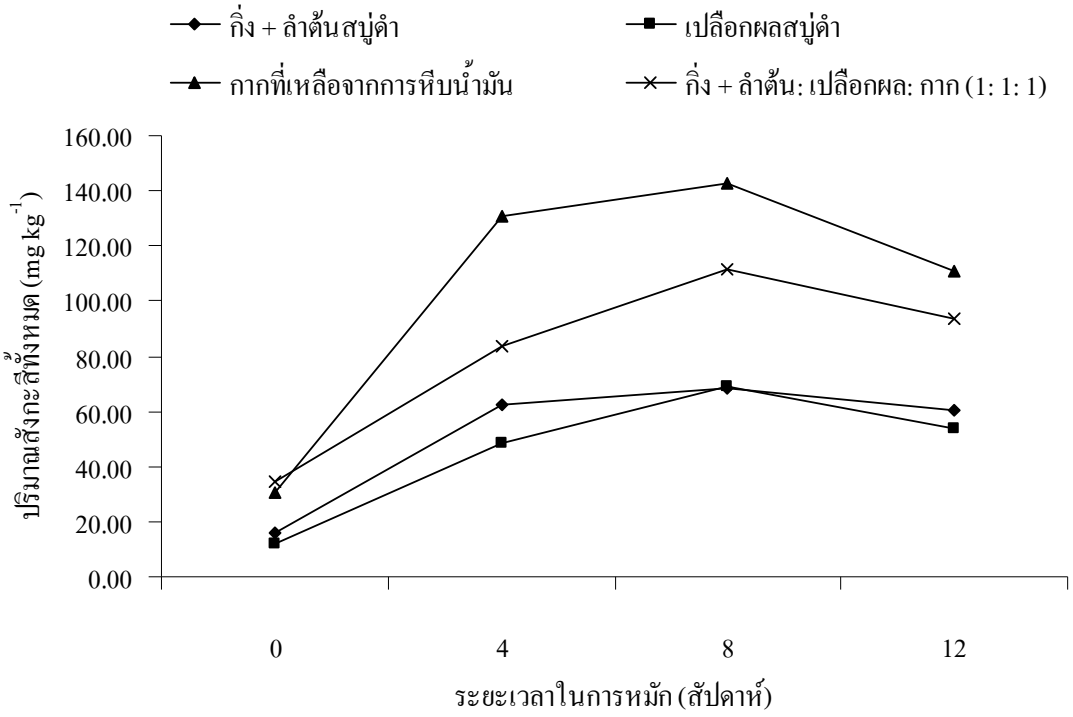
2.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสี

ปริมาณสังกะสีในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 60.53 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 22)

ปริมาณสังกะสีในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกผลสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 53.79 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 22)

ปริมาณสังกะสีในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 30.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 111.13 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 22)

ปริมาณสังกะสีในส่วนผสมของปุ๋ยหมักผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 34.22 มิลลิกรัมต่อกรัม และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 93.61 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 22)

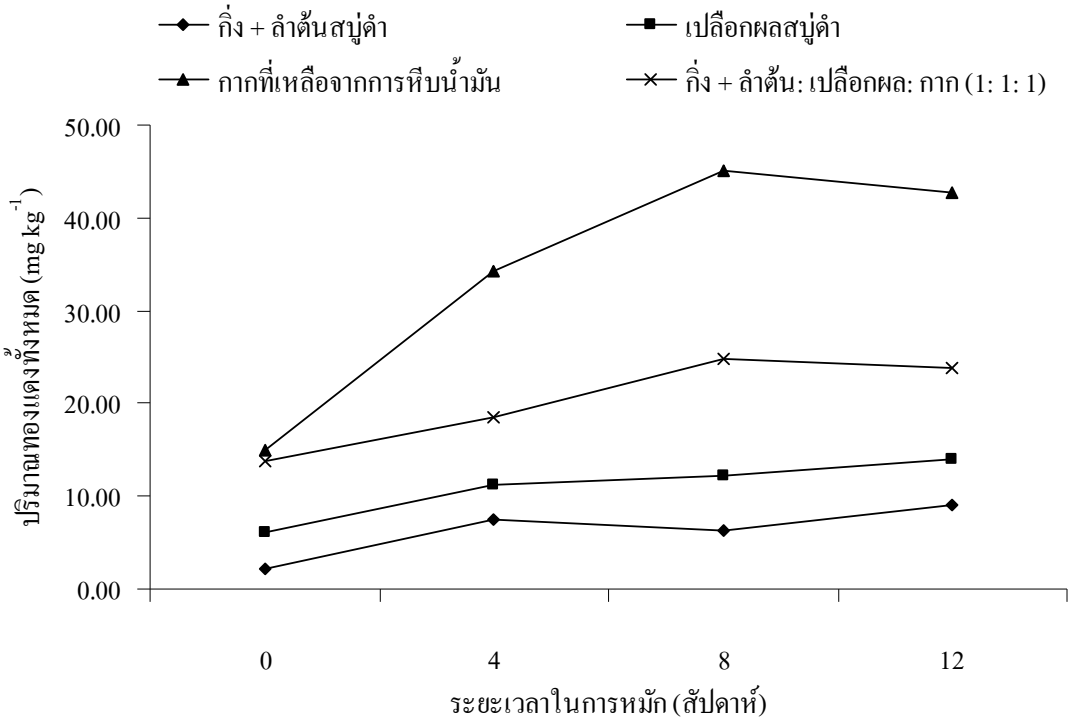


ภาพที่ 22 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าสังกะสีของปุ๋ยหมักทุกตำรับ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก และจะลดลงหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยที่ปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณสังกะสีมากที่สุด รองลงมาปุ๋ยผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ และปุ๋ยจากเปลือกผลสบู่ดำมีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากอินทรียสาร

ถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพิจารณาสังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีค่าสูงที่สุด คือ 111.13 มิลลิกรัมต่อกรัม และปุ๋ยหมักที่มีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด คือ เปลือกผลสบู่ดำมีปริมาณเท่ากับ 318.60 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดง



ภาพที่ 23 ปริมาณทองแดงทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณทองแดงในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากหมักแล้ว 4 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 6.67 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าลดลงหลังจากหมักแล้วที่ 8 สัปดาห์ มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 6.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ก่อนที่ปริมาณทองแดงจะเพิ่มอีกครั้งหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์เท่ากับ 9.10 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 23)

ปริมาณทองแดงในส่วนผสมของปุ๋ยหมักเปลือกต้นสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 6.16 มิลลิกรัมต่อกรัม หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 14.03 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 23)

ปริมาณทองแดงในส่วนผสมของปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 14.89 มิลลิกรัมต่อกรัม หลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 42.73 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 23)

ปริมาณทองแดงปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ก่อนที่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ โดยก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 13.87 มิลลิกรัมต่อกรัม หลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์ มีปริมาณเท่ากับ 23.90 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 23)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณทองแดงของปุ๋ยหมักทุกตำรับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก่อนที่จะเริ่มคงที่หลังจากหมักแล้ว 8 สัปดาห์ และมีค่าลดลงเล็กน้อยที่ 12 สัปดาห์หลังหมัก ซึ่งปุ๋ยหมักกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณทองแดงมากที่สุด รองลงมาปุ๋ยหมักผสมกิ่งและลำต้นสบู่ดำ เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ และปุ๋ยหมักกิ่งและลำต้นสบู่ดำ พบปริมาณทองแดงน้อยที่สุด สาเหตุอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอน ไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การทำปุ๋ยหมักจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำจะช่วยในการเพิ่มมูลค่าของสบู่ดำ ถ้าหากมีการปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน อาจส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะช่วยลดปัญหาโลกร้อน การทำปุ๋ยหมักในส่วนการทดลองนี้ควรเพิ่มระยะเวลาในการหมัก หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบและวิธีการหมักให้มีการย่อยสลายได้เร็วขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ การศึกษาสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในสบู่ดำนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปทำปุ๋ยหมักแล้ว ถ้ามีการศึกษาต่อยอดถึงการสลายตัวของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำก็จะเป็นประโยชน์ต่อการนำพืชชนิดนี้ไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของส่วนต่าง ๆ จากสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น ระยะเวลา 0 สัปดาห์ พบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทั้ง 2 ชนิด คือ DHPB และ TPA โดยกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำพบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB สูงที่สุด คือ 1.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และในวัสดุผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ พบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA สูงที่สุดในปริมาณ 0.82 มิลลิกรัมต่อกรัม และการหมักที่ 12 สัปดาห์ ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ทุกตำรับ มีค่าน้อยกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม

ก่อนการหมักที่ 0 สัปดาห์ ค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด TPA ในกิ่งและลำต้น เปลือกผล กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน และวัสดุผสมของกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ มีค่าเท่ากับ 18 – 20 นาที และชนิด DHPB มีค่า retention time เท่ากับ 6 – 12 นาที เมื่อหมักแล้ว 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ค่า retention time ของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ชนิด DHPB มีค่าเท่ากับ 9 นาที ส่วนค่า retention time ของสาร TPA ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้จากกองปุ๋ยหมัก หลังจากหมักแล้ว 12 สัปดาห์ ปุ๋ยหมักจากกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ 3.29 และ 5.51 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยหมักจากเปลือกผลสบู่ดำมีปริมาณโพแทสเซียม และค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดคือ 10.12 เปอร์เซ็นต์ และ 16.06 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่าปุ๋ยหมักจากกิ่งและลำต้นสบู่ดำมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุด ก่อนหมักมีค่า 58.21 และหลังหมักแล้ว 12 สัปดาห์มีค่าเหลือ 19.46

ข้อเสนอแนะ

1. การนำส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำไปใช้เป็นปุ๋ย เกษตรกรควรมีการป้องกัน ไม่ควรสัมผัสกับวัสดุหมักโดยตรง เพื่อความปลอดภัย

2. การนำวัสดุมาหมักควรสับย่อยให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

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

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับผู้บริหาร)**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด, กรุงเทพฯ.

จำเริญ เที่ยงธรรม. 2551. การใช้กากสบู่ดำเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง *ใน* **เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการศึกษาและกำหนดรูปแบบการจัดการสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงอย่างครบวงจร** 19 กุมภาพันธ์ 2551 ณ โรงแรม Miracle Grand Convention, กรุงเทพฯ.

ทวีศักดิ์ อุ่นจิตติกุล. 2548**. สบู่ดำ พืชพลังงานสารพัดประโยชน์**. พิมพ์ครั้งแรก. บริษัท วศิรา จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์. 2550. **การหาภาวะที่เหมาะสมทางสถิติของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2549. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ: เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันทวัน ฤทธิ์เดช. 2547. การตรวจวัดความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก. **วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 32(2): 80 – 85.

นันทวรรณ สโรบล. 2549. **พิษวิทยาของสบู่ดำ**. แหล่งที่มา: http:// www. doa. go. th/ fieldcrops/ phinut/ oth/ tox. HTM.

ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. **การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประโยชน์ ตันติเจริญยศ. 2549. ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ของต้นสบู่ดำ *ใน* ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะ: **พืชพลังงาน**. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี่ พับบลิชชิ่ง.

ปรัชญา ธัญญาดี พิทยากร ลิ่มทอง และรวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์. 2540. การผลิตปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรม *ใน* **คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ**, 29 – 45 น.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2546. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ

_____. 2547. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ

_____. 2548. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ

รยากร นกแก้ว วิทยา ปั้นสุวรรณ พิลาณี ไวถนอมสัตย์ และนิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2550. การกำจัดฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำโดยการดูดซับ. *ใน* **โครงการสัมมนาวิชาการ เรื่อง การประชุมวิชาการสบู่ดำแห่งชาติ ครั้งที่ 1**, 29 – 30 พฤษภาคม 2550, 245 – 251 น.

ราชกิจจานุเบกษา. 2551. เล่มที่ 125 ตอนที่ 7, 2.

วิทยา ปั้นสุวรรณ รยากร นกแก้ว พิลาณี ไวยถนอมสัตย์ และกมลชัย ตรงวานิชนาม. 2550. การศึกษาฟอร์บอล เอสเทอร์ในส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำและการหาตัวดูดซับฟอร์บอลเอสเทอร์ในน้ำมันสบู่ดำ. *ใน* **โครงการสัมมนาวิชาการ เรื่อง การประชุมวิชาการสบู่ดำแห่งชาติ ครั้งที่ 1**, 29 – 30 พฤษภาคม 2550, 252 – 257 น.

_____ และ พิลาณี ไวยถนอมสัตย์. 2551. การกำจัดสารพิษฟอร์โบลเอสเทอร์ในน้ำมันและและกากสบู่ดำ. เอกสารเผยแพร่ *ใน* **นิทรรศการนวัตกรรมงานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2551**, 30 – 4 เมษายน 2551, ณ อาคารจักรพันธ์เพ็ญศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ชิณะวงศ์. 2549. **สบู่ดำ การปลูกและการสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลพลอยได้**. เอกสารทางการของโรงเรียนสบู่ดำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน: นครปฐม

สุพิศ ไกรมาก. 2546. **การศึกษาการสลายทางชีวภาพของส่วนผสมขยะและสลัดจ์น้ำเสียในการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. 2544. สบู่ดำ: พืชพลังงานทดแทน. *ใน* **เอกสารคำบรรยายการอบรมโครงการนำร่องการใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซล**, 27 – 28 กุมภาพันธ์ 2544.

อภิชาติ ศรีสอาด. 2549. **สบู่ดำ ปั๊มน้ำมันในชุมชน พลังงานใหม่ช่วยชาติ**. บริษัท พาดา อินเตอร์มีเดีย จำกัด, กรุงเทพฯ

อรพินท์ สุริยพันธุ์. 2544. การวิเคราะห์กำมะถัน. *ใน* **คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช**. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ, 124 – 126 น.

Abud – Aguye, I., Sannusi, A., Alafiyo – Tyo, Ra., Bhusnurmath, S. R. 1986. Acute toxicity studies with *Jatropha curcas* L.. **Human Toxicol**. 5 (4): 269 – 274.

Ahmed, O. M., Adam, S. F. 1979. Effects of *Jatropha curcas* on calves. **Vet. Patho**. 16 (4): 476 – 482.

Aregheore, E.M., Becker, K., Makkar, H. P. S. 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. S. Pac. **J. Nat. Sci**. 21: 50 – 56.

Cáceres, R., X. Flotats and O. Marfá. 2006. **Compost Maturity Index**. CCQC, California. 25 p.

Chaudharry, D. R., J. S. Patolia, J. Chikara, G. N. Boricha and A. Zala. 2007. **Changes in soil characteristics and foliage nutrient content in *Jatropha curcas* plantations in relation to stand dnsity in Indian wasteland**. Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agro. And genetics. 26 – 28 March 2007, Wageningen, the Netherlands, Published by FACT Foundation.

Crawford, D. L., R. L. Crawford and A. L. Pometto. 1977. Preparation of specifically Labelled ^{14}C – Lignin) and ^{14}C – (Cellulose) – Lignocelluloses and their decomposition by the microflora of soil. **Appl. Environ. Microbiol**. 33: 1247 – 1251.

Crawford, J. H. 1983. Composting of agricultural wastes – a review. **Process Biochem**. 18: 14 – 18.

Day, M. and K. Shaw. 2001. Biological, Chemical, and Physical Processes of Composting, pp. 17 – 50. *In* P. J. Stoffella and B. A. Kahn (eds.). **Compost Utilization in Horticulture Cropping Systems**. Lewis Publishers, New York, USA.

Douradao Pacheco, D., H. Mattana Saturino, D. Alfonso Santos, R. Patricia Dias de Souza, A. Braz de Almeida Junior, D. Pereira Ribeiro and P. Diogo Antunes. 2007. **Avaliaçáo nutritional de pinháo – manso em funçáo de calico e magnéiso usados como corretivos de acidez desolo**. EPAMIG. CTNM, Powerpoint Presentation, 16 pp.

Faithfull, N.T. 2002. **Methods in Agricultural Chemical Analysis**. CAB International, Wallingford. UK. 206 p.

Francis, G., R. Edinger and K. Becker. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production and socio - economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of Jatropha plantations. **Nat. Resour. Forum** 29: 186 – 192.

Goluek, C. G. 1977. The biological approach of solid waste management. **Compost Sci**. 8: 4 – 9.

Gübitz, G.M., M. Mittelbach and M. trabi. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L**. Bioresour. Technol**. 67: 73 – 82.

Gray, K. R., K. Sherman and A. J. Biddlestone. 1971. A review of composting, part I. **Process Biochem.** 6: 22 – 36.

Haas, W. and M. Mittelbach. 2000. Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas* L**. Indust. Crops and Products** 12: 111 – 118.

_____ and H. Sterk., H. 2002. Novel 12 – Deoxy – 16 – hydroxy phorbol Diesters isolaters from the seed oil of Jatropha curcas. **J. Nat. Product**. 65: 1434 – 1440.

Hanna S., Jolanta K., Maria R. and Wanda B. 2007. The effect of plant phenols on the expression and activity of phorbol ester – induced PKC in mouse epidermis. **J. Toxicol**. 230: 1 – 10.

Harada, T., A. Inoko., M. Tadaki and T. Izawa. 1981. Maturing process of city refuse compost during picking: application of compost to agricultural land. **Soil Sci. Plant Nutr.** 27: 357 – 364.

Haug, R. T. 1980. **Composting Engineering: Principle and Practice**. Technomic Publ. Co. Inc., Lancaster, Pennsylvania. 655 p.

Insam, H. 1997. A new set of substrates proposed for community characterization in environmental samples, pp. 260 – 261. *In* H. Insam, A. Rangger (eds.). Microbial Communities. **Functional versus structural approaches**. Springer.

Jimenez, E. T. and V. P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuses compost maturity: A review. **Bio. Wastes**. 27: 115 – 142.

Jones, N. and J.H. Miller. 1992. *Jatropha curcas*: a multipurpose species for problematic sites. World Bank, Washington Dc. USA. **ASTAG Tech. papers – Land resour.** 1, 12 pp.

Makker, H. P. S., Aderibigbe, A. O., Becker, K., 1998. Comparative evaluation of non – toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition digestibility, protein degradability and factors. **Food Chem**. 62 (2): 207 – 215.

Makker, H. P. S., Becker, K., Sporer, F. Sporer, wink, M., 1997. Studies on Nutritive Potential and toxic constituents of Different provenances of *Jatropha curcas*. **J. Agric. Food Chem**. 45: 3152 – 3152.

Mathur, S. P. , G. Owen, H. Dinel and M. Schnitzer. 1993. Determination of compost biomaturity. **Biol. Agr. Hort**. 10: 65 – 85.

Mattana Saturnino, H., D. Dourado Pacheco, J. Kakida, N. Tominaga and N. Poubel Goncalves. 2005. Cultura do pinhao - manso (*Jatropha curcas* L.). In: EPAMIG-CTNM (Eds.). Informe Agropecuario: Producao de loeaginosas para biodiesel. **Belo Horizonte**, Brazil, 44 – 78 pp. .

Martínez – Herrera, J., Siddhuraju, Pl, Francis, G., Dávila – Ortíz, G., Becker, K., 2006. Chemical composition, toxic/ antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chem**. 96: 80 – 89.

Mathur, S. P., G. Owen, H. Dinel and M. Schnitzer. 1993. Determination of compost biomaturity. **Biolo. Agr. Hort**. 10: 65 – 85.

Pereira – Neto, J. T., E. I. Steintiford and D. D. Mara. 1987. Comparative survival of pathogenic indicators in window and static pile, pp. 276 – 295. *In* **Compost: Production, Quality and Use: Proceedings of a CEC Symposium**, Udine, April 1986, New York: Elsevier.

Polprasert, C. 1989. **Organic Waste Recycling**. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom.

Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling and Manaement**. John Wiley & Sons, England.

Rakshit, K. D., Madhvi, D., Bhagya, S. 2008. Biochemical and nutritional evaluation of Jatropha protein isolate prepared by steam injection heating for reduction of toxic and antinutritional factors. **J. Sci. Food Agri**. 88: 911 – 919.

Sharma D. K., A. K., Pandey, Lata. 2009. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. **J. Biomass and Bioener**. 33: 159 – 162.

Stickelberber, D. 1975. **Survey of City Refuse Composting, Organic Matter as Fertilizers**. Swedish International Development Authority, FAO, Soil Bulletin 27, Rome. 185 – 209 pp. .

Stuetzenderger, F. J., A. J. Kaufman and R. D. Lossin. 1970. Cellulolytic activity in municipal solid waste composting. **Canadian J. Microbiol**. 16: 553 – 560.

Suganara, K., S. Koga and A. Inko. 1984. Color change of straw during compost. **Soil Sci. Plant Nutr**. 30: 163 – 173.

Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam and I. J. Hodgkiss. 1996. Effect of composting on phytotoxicity of spent pig manure sawdust litter. **Environ. Pollut**. 93: 249 – 256.

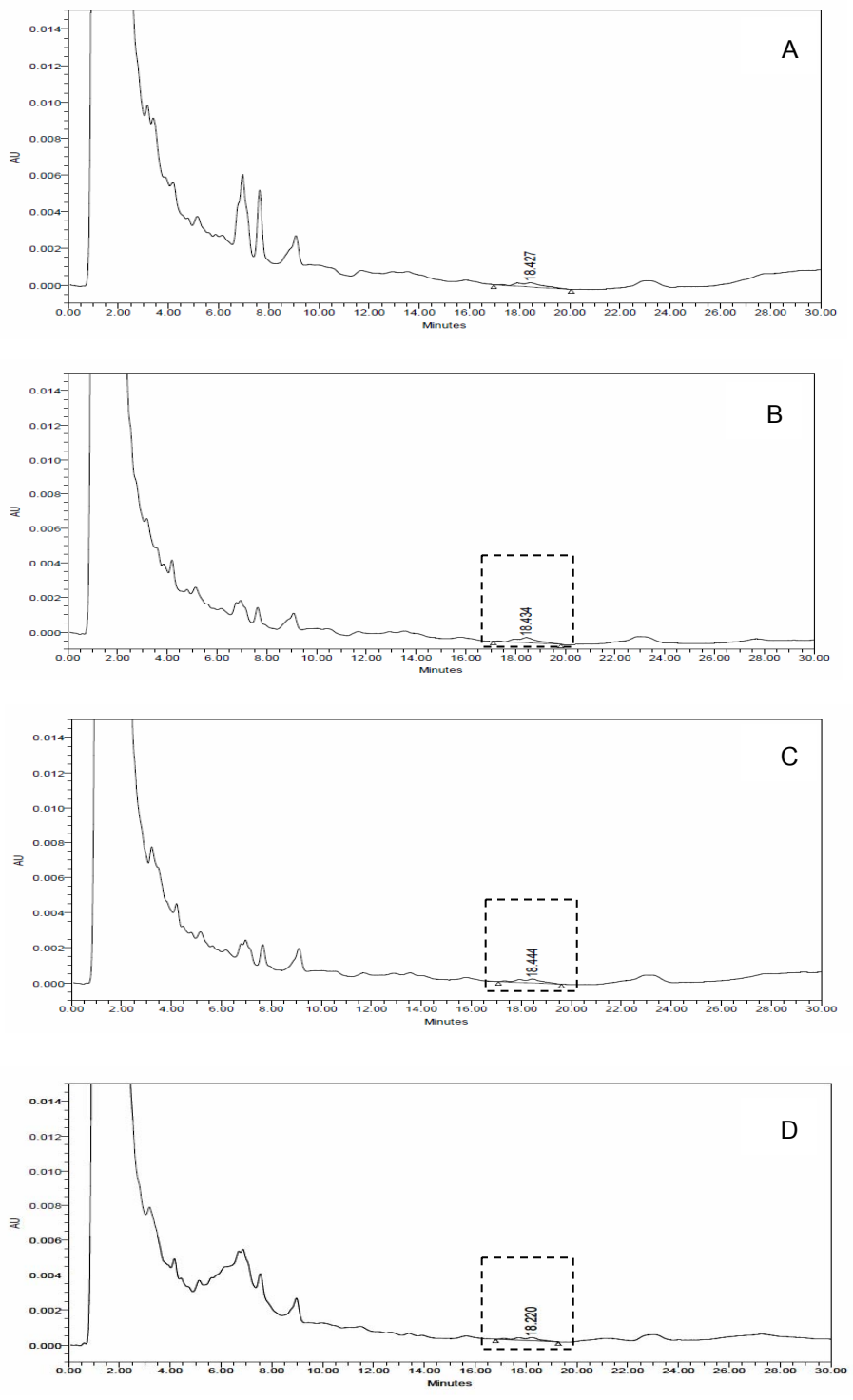
Tiquia, S. M. and N. F. Tam. 2002. Characterization and compositng of poultry litter in force – aeratin piles. **Process Biochem**. 37: 869 – 880.

Wan, S. P., T. K. Sreedevi, A. V. R. Kesava Rao and Y. Dixin. 2007. **Biofuels: a strategy for enhanced water use efficiency, improved livelihoods and protecting environment in the semi – arid tropics**. Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries 29 – 31 January 2007, Patancheru, India, Published by ICRISAT, IWMI, FAO, IWREC.

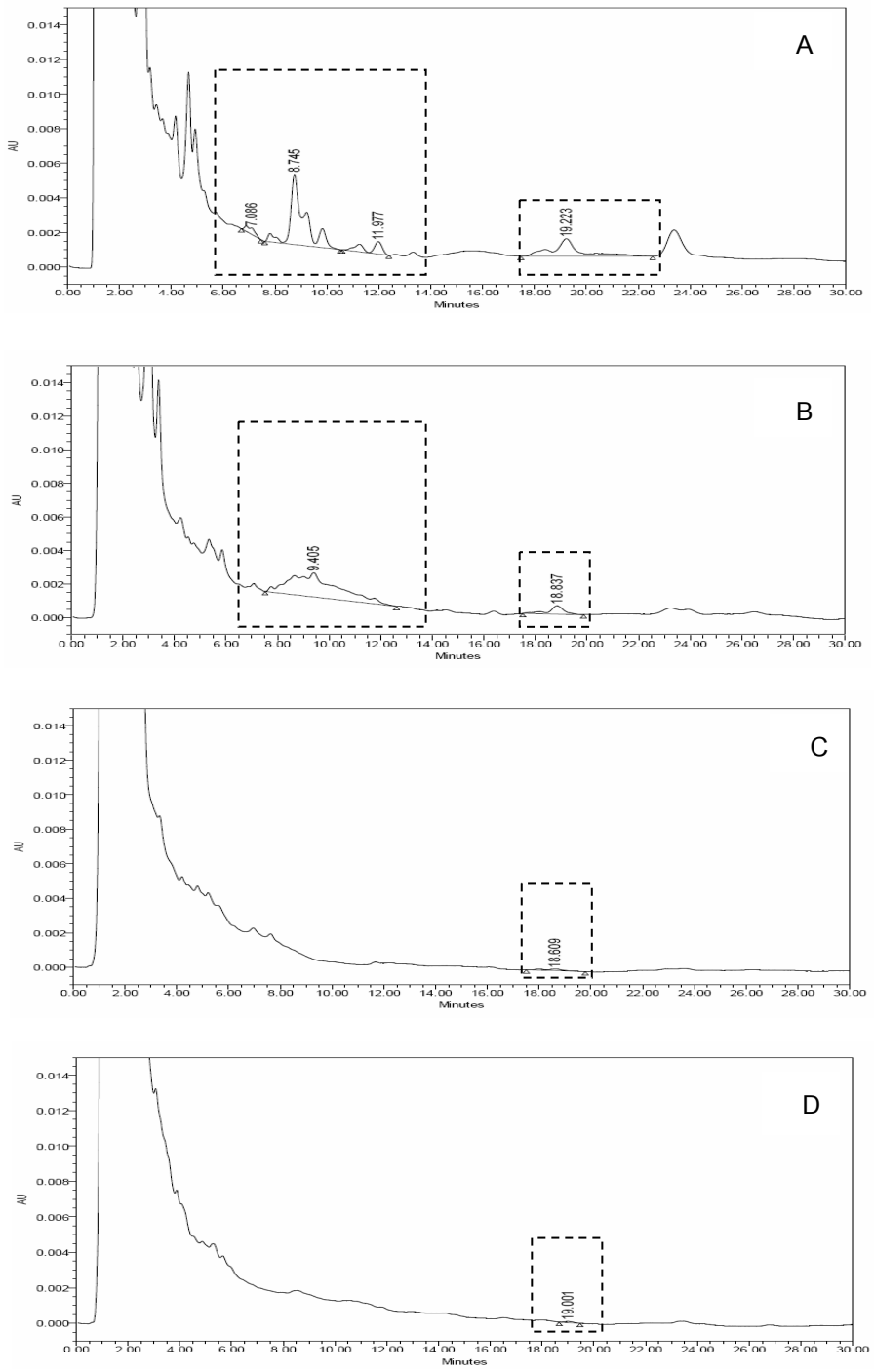
Wong, J. W. C., K. F. Mak, N. W. Chan, A. Lam, M. Fang, L. K Zhou, O. T. Wu and X. D. Liao. 2001. Co – compost of soybean residues and leaves in Hong Kong. **Bioresour. Technol**. 76: 99 – 106.

Zorpas, A. A., D. Arapoglou and K. Panagiotis. 2003. Wastes paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. **Waste Manage**. 23: 27 – 35.

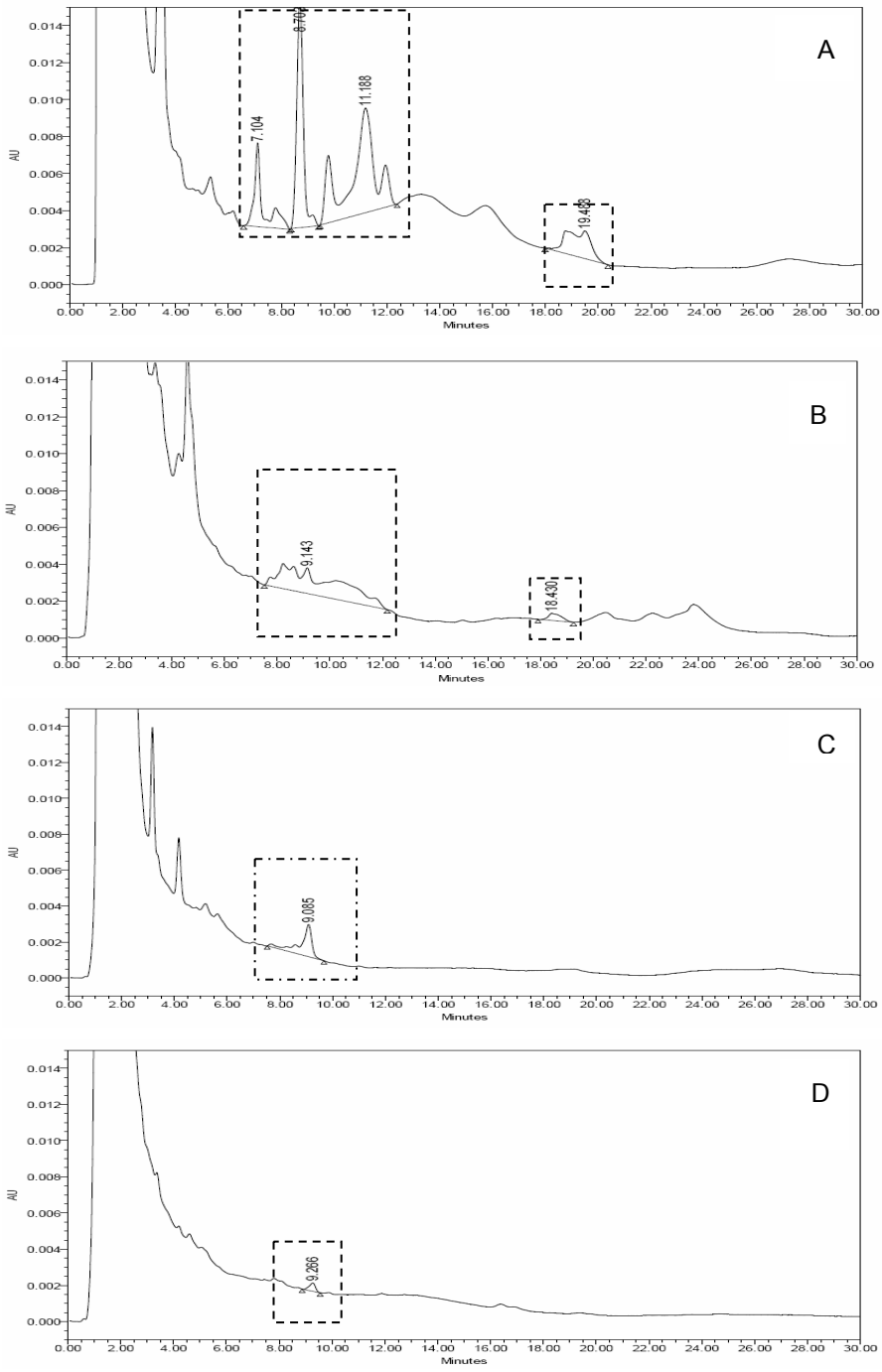
ภาคผนวก



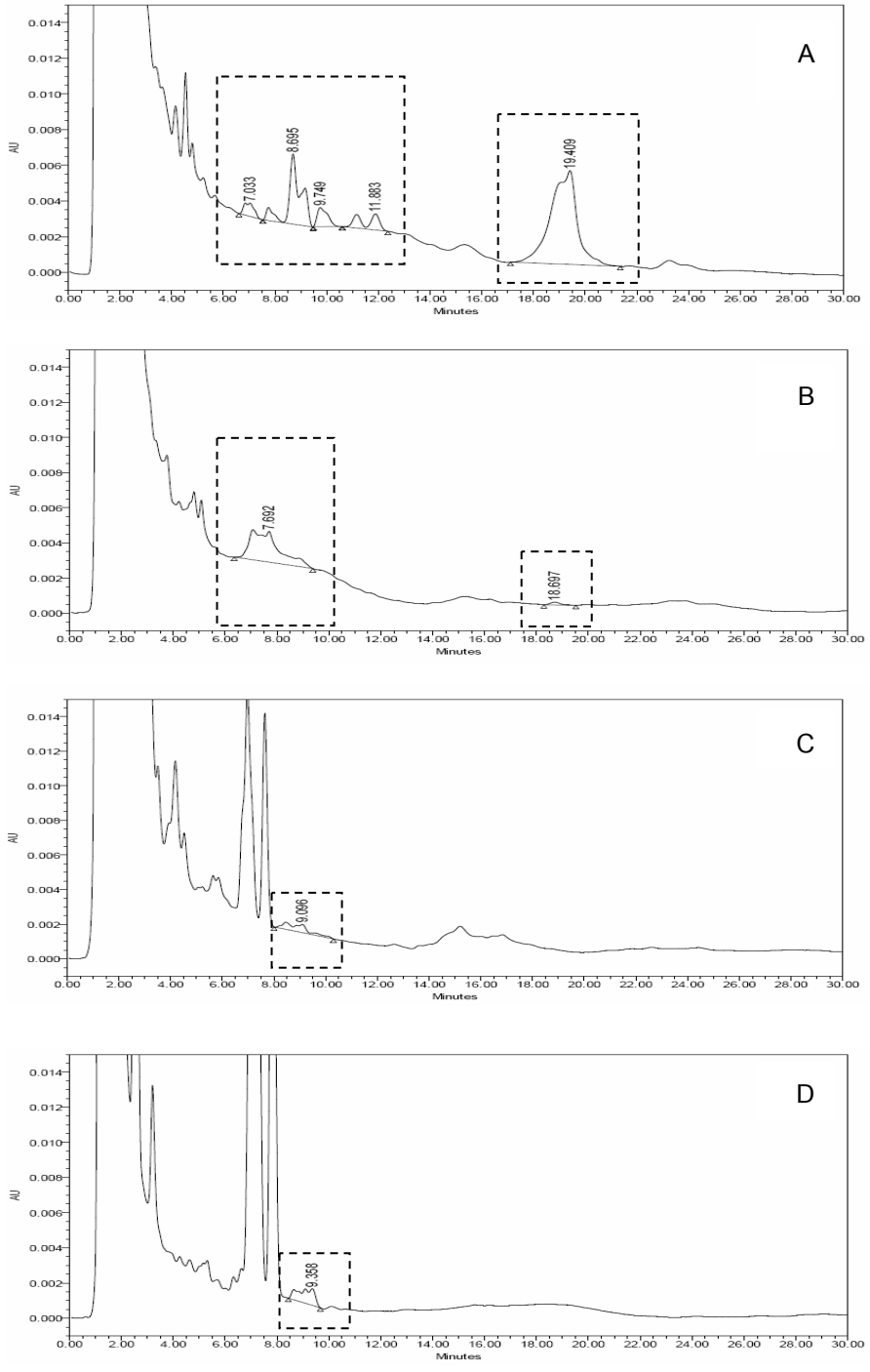
ภาพผนวกที่ 1 โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกิ่งและลำต้นสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก, (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก



ภาพผนวกที่ 2 โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของปุ๋ยหมักจากเปลือกผลสบู่ดำ จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก, (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก



ภาพผนวกที่ 3 โครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก, (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก



ภาพผนวกที่ 4 เปรียบเทียบโครมาโตแกรมของสารฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนผสมของวัสดุผสมกิ่งและลำต้น เปลือกผล และกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC (A) ก่อนหมัก, (B) 4 สัปดาห์หลังหมัก (C) 8 สัปดาห์หลังหมัก และ (D) 12 สัปดาห์หลังหมัก

ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (องศาเซลเซียส)

ระยะเวลา (วัน)	ชนิดวัสดุที่ใช้กองปุ๋ยหมัก			
	กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	เปลือกผลสบู่ดำ	กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)
0	30.0	29.6	31.2	30.3
1	36.0	32.3	46.7	38.5
2	38.0	32.5	43.8	37.5
3	36.2	31.2	46.3	36.5
4	57.4	41.5	51.6	48.5
5	48.6	43.7	52.2	45.9
6	51.5	46.9	48.0	46.5
7	40.7	34.4	39.9	38.7
8	54.1	44.6	53.4	48.3
9	40.8	35.5	42.6	37.4
10	54.7	45.4	57.6	51.9
11	53.6	42.8	62.8	53.2
12	41.2	34.6	47.4	41.9
13	50.9	41.5	46.9	52.9
14	54.8	52.4	57.2	55.9
15	53.6	49.9	66.3	58.9
16	55.3	49.7	63.2	61.8
17	56.9	60.5	55.7	64.7
18	57.0	56.4	54.9	56.9
19	50.8	47.3	50.9	55.5
20	50.0	47.3	50.2	56.1
21	52.1	54.7	52.8	55.3
22	57.1	59.1	62.2	62.1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ชนิดวัสดุที่ใช้กองปุ๋ยหมัก			
	กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	เปลือกผลสบู่ดำ	กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)
23	58.7	60.3	63.7	62.2
24	57.3	58.7	63.8	59.6
25	57.8	61.8	65.1	57.0
26	58.1	56.8	63.8	53.8
27	56.4	44.7	61.9	53.1
28	54.4	56.3	61.3	50.6
29	55.2	58.1	67.6	53.5
30	56.2	55.6	65.5	51.0
31	55.5	60.8	59.5	51.9
32	44.1	41.6	47.7	40.3
33	50.1	52.2	59.1	45.9
34	54.2	57.1	58.4	50.3
35	56.4	56.6	57.5	52.6
36	56.8	60.2	64.9	55.1
37	57.8	54.7	65.4	53.8
38	57.4	55.5	62.5	52.5
39	56.1	57.2	58.3	52.0
40	48.2	46.1	51.1	46.1
41	47.6	51.0	52.9	47.7
42	56.2	56.4	57.4	53.4
43	58.6	58.7	65.3	57.8
44	54.5	52.1	55.6	50.6
45	53.7	52.5	55.9	49.8
46	54.6	53.8	61.6	51.1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ชนิดวัสดุที่ใช้กองปุ๋ยหมัก			
	กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	เปลือกผลสปู่ดำ	กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)
47	54.7	54.6	55.6	51.6
48	54.8	54.1	55.3	49.9
49	52.9	52.0	51.0	49.7
50	52.0	51.1	52.7	49.2
51	51.9	51.3	52.2	49.2
52	53.2	51.5	53.2	49.6
53	54.7	51.9	51.8	50.8
54	53.3	50.0	49.0	50.6
55	51.4	48.1	45.6	47.7
56	50.0	47.7	43.5	46.7
57	45.7	44.3	46.0	45.0
58	49.4	48.1	49.2	48.6
59	47.2	43.3	44.5	44.3
60	45.0	43.4	44.1	43.6
61	50.3	45.2	45.6	47.1
62	50.1	42.1	44.6	46.5
63	51.1	47.7	43.7	45.7
64	48.4	44.7	45.5	45.1
65	47.0	44.1	44.5	43.9
66	46.2	42.8	42.8	43.1
67	44.7	41.1	41.2	42.3
68	43.4	39.3	40.2	41.5
69	43.4	40.6	38.9	40.3
70	45.5	42.2	40.3	41.7
71	45.2	38.1	40.0	41.2
72	47.8	46.3	41.6	42.2
73	42.9	41.2	37.6	39.0
74	41.5	38.4	36.2	37.1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ชนิดวัสดุที่ใช้กองปุ๋ยหมัก			
	กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	เปลือกผลสปู่ดำ	กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)
75	40.8	37.2	36.5	37.5
76	41.9	40.6	37.0	37.0
77	43.4	43.2	37.6	40.2
78	42.8	42.2	38.6	40.4
79	42.1	40.8	37.6	38.6
80	40.0	37.6	36.8	37.8
81	39.0	37.3	36.5	37.4
82	38.4	36.8	37.3	37.7
83	38.9	36.6	38.1	38.4
84	40.5	38.0	37.7	39.2

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณอินทรียวัตถุของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	85.44	73.75	68.70	59.73	**	2.42	5.12	9.40
เปลือกผลสบู่ดำ	80.98	67.58	62.83	61.00	**	5.00	5.25	9.64
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	95.09	71.46	62.01	59.04	**	0.93	7.03	12.91
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	89.22	72.46	64.67	62.84	**	2.84	5.98	10.98
F - test	**	**	*	ns				
C. V. (%)	3.19	1.78	3.47	4.29				
$LSD_{.05}$	4.74	3.02	3.09	-				
$LSD_{.01}$	8.70	5.55	-	-				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 3 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	58.21	32.10	22.07	19.46	**	16.80	7.22	13.26
เปลือกผลสปู่ดำ	26.29	29.41	20.57	18.12	ns	8.94	-	-
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	10.01	11.42	9.52	10.45	**	10.68	1.72	3.15
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	20.47	20.61	14.15	14.77	**	10.08	2.99	5.49
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	19.44	8.05	8.97	9.47				
$LSD_{.05}$	8.27	6.11	4.68	3.95				
$LSD_{.01}$	15.19	11.21	8.59	7.24				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความเป็นกรดด่างของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	8.70	9.19	9.17	9.08	ns	3.52	-	-
เปลือกผลสปู่ดำ	7.80	10.06	10.21	10.16	**	2.49	1.81	3.33
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	6.41	7.01	7.72	7.76	**	2.58	1.56	2.86
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	7.19	9.16	9.36	9.17	**	3.63	1.56	3.04
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	2.52	3.20	3.54	2.97				
$LSD_{.05}$	1.91	1.97	1.85	1.78				
$LSD_{.01}$	3.50	0.36	3.39	3.27				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 5 ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($dS\ m^{-1}$)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	5.39	7.07	9.37	9.75	**	4.12	2.77	5.08
เปลือกผลสบู่ดำ	11.77	12.78	15.81	16.06	ns	22.53	-	-
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	1.81	4.84	5.37	5.06	**	5.17	2.20	4.03
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	5.89	7.15	7.83	8.16	ns	17.93	-	-
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	4.43	18.80	19.19	25.61				
$LSD_{.05}$	3.66	3.18	3.88	4.01				
$LSD_{.01}$	6.72	5.84	7.13	7.36				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	0.88	1.34	1.82	1.75	**	7.63	1.30	2.40
เปลือกผลสบู่ดำ	1.79	1.34	1.79	1.97	**	7.84	1.18	2.16
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	5.67	3.65	3.79	3.29	**	13.82	1.78	3.27
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	2.54	2.06	2.66	2.51	*	8.81	0.89	-
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	20.46	8.84	4.38	8.60				
$LSD_{.05}$	2.65	1.97	1.62	1.50				
$LSD_{.01}$	4.85	3.62	2.98	2.75				

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	0.13	0.35	0.38	1.13	**	23.45	1.15	2.10
เปลือกผลสบู่ดำ	0.22	0.31	0.40	1.14	**	15.68	1.53	2.80
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	0.84	4.05	5.80	5.51	**	8.43	2.86	5.26
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	6.68	1.85	2.53	2.99	**	6.76	2.58	5.32
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	3.49	10.94	13.87	8.85				
$LSD_{.05}$	2.86	2.20	2.61	2.35				
$LSD_{.01}$	5.26	4.03	4.79	4.32				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	1.63	2.39	2.19	4.12	**	9.73	1.85	3.39
เปลือกผลสบู่ดำ	7.41	6.70	6.08	10.12	**	6.58	2.39	4.38
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	1.19	2.50	2.38	3.84	**	4.14	1.88	3.45
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	3.28	4.09	2.89	6.14	**	5.39	2.13	3.91
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	4.73	10.20	11.27	3.57				
$LSD_{.05}$	2.89	2.35	2.26	2.90				
$LSD_{.01}$	5.32	4.32	4.15	5.32				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	0.32	0.47	0.64	0.54	**	13.50	0.70	1.29
เปลือกผลสบู่ดำ	0.30	0.43	0.48	0.56	**	15.41	0.64	1.17
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	0.80	0.69	0.46	0.57	**	13.82	0.73	1.34
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	0.52	0.64	0.62	0.78	*	15.05	0.60	-
F - test	**	*	**	ns				
C. V. (%)	10.39	14.67	4.94	20.47				
$LSD_{.05}$	0.80	0.64	0.51	-				
$LSD_{.01}$	1.46	1.17	0.93	-				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	2.36	6.43	5.36	5.56	**	9.81	2.32	4.26
เปลือกผลสบู่ดำ	0.74	1.71	1.87	1.67	**	4.49	1.21	2.22
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	0.67	1.65	1.83	1.66	**	4.91	1.21	2.22
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	1.32	2.94	2.61	2.59	**	10.46	1.43	2.63
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	27.42	11.68	3.02	6.65				
$LSD_{.05}$	1.43	2.48	2.13	2.23				
$LSD_{.01}$	2.63	4.56	3.91	4.09				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	0.38	1.21	1.05	1.13	**	5.97	1.08	1.99
เปลือกผลสบู่ดำ	0.41	1.20	1.19	1.22	**	6.03	1.43	2.63
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	0.63	1.90	2.19	1.92	**	7.76	1.43	2.63
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	0.65	1.45	1.56	1.51	**	6.96	1.11	2.04
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	6.54	9.75	6.12	3.11				
$LSD_{.05}$	0.64	0.95	1.27	1.05				
$LSD_{.01}$	1.17	1.75	2.34	1.93				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณเหล็กทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($mg\ kg^{-1}$)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	254.39	1479.80	1551.11	2335.19	**	18.83	52.18	95.79
เปลือกผลสปู่ดำ	151.76	1422.70	1367.55	1827.69	**	15.87	46.81	85.92
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	281.45	1557.34	1824.93	2171.19	**	13.89	52.25	10.58
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	239.60	1661.94	1840.27	2320.28	**	14.64	66.60	122.25
F - test	**	ns	*	ns				
C. V. (%)	10.11	15.76	9.34	15.59				
$LSD_{.05}$	13.52	-	28.83	-				
$LSD_{.01}$	24.82	-	-	-				

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน ($mg\ kg^{-1}$)

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	201.05	390.86	501.86	565.08	**	9.20	24.53	45.03
เปลือกผลสปู่ดำ	203.12	372.30	559.24	659.40	**	4.33	28.13	51.63
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	65.74	222.28	306.69	318.60	**	3.10	20.65	37.91
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	206.90	350.51	539.55	627.12	**	5.73	26.73	49.06
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	18.59	6.97	5.81	2.54				
$LSD_{.05}$	13.46	15.53	19.16	22.59				
$LSD_{.01}$	24.71	28.50	35.16	41.47				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (mg kg^{-1})

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสบู่ดำ	16.00	62.40	68.66	60.53	**	14.50	8.31	15.25
เปลือกผลสบู่ดำ	11.82	48.64	69.35	53.79	**	14.37	8.91	16.35
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสบู่ดำ	30.37	131.09	142.85	111.13	**	10.34	12.95	23.77
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	34.22	83.86	111.49	93.61	**	6.44	10.05	19.28
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	3.12	16.26	6.04	7.01				
$LSD_{.05}$								
$LSD_{.01}$								

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณทองแดงทั้งหมดของวัสดุหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน (mg kg^{-1})

ชนิดของวัสดุหมัก	ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (สัปดาห์)				F - test	C. V. (%)	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
	0	4	8	12				
กิ่ง + ลำต้นสปู่ดำ	2.20	6.67	6.26	9.10	**	18.25	3.05	5.61
เปลือกผลสปู่ดำ	6.16	11.18	12.22	14.03	**	7.04	3.37	6.19
กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันสปู่ดำ	14.89	34.23	45.10	42.73	**	7.77	4.96	9.11
กิ่ง + ลำต้น: เปลือกผล: กาก (1: 1: 1)	13.87	18.46	24.88	23.90	**	11.06	4.55	8.35
F - test	**	**	**	**				
C. V. (%)	8.80	12.70	8.56	9.60				
$LSD_{.05}$	3.31	6.43	8.08	7.00				
$LSD_{.01}$	6.07	11.80	14.84	12.85				

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวปาริชาติ มั่นอ้น
วัน เดือน ปี ที่เกิด	17 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	45/ 1 หมู่ 1 ต. บ้านโคน อ. พิชัย จ. อุตรดิตถ์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. พืชศาสตร์ (พืชไร่) มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิจัยโครงการวิจัยและพัฒนาศักยภาพของหวาย เพื่อใช้เป็นสมุนไพรและผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. สมาคมชาวเหนือแห่งรัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (พ. ศ. 2549 – 2551) 2. บริษัทโปรเทคเตอร์ นิวตริชัน ประเทศไทย จำกัด (พ. ศ. 2550 – 2551)