การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ

Production of Compost from Shallot Waste, Bone Meal and Goat Dung

ทัศนีย์ แก้วมรกฎ

Tussanee Kaewmorrakot

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ
ผู้เขียน นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฎ
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……...…….
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……..…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

คณะกรรมการสอบ

……ประธานกรรมการ
(ดร.ขวัญตา ขาวมี)

……..……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

……..……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จาฏุพจน์)

……...…กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ...……
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ……..……
(นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ…...……

(นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ
ผู้เขียน นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ประกอบกับดินในประเทศไทยมีปัญหาขาดอินทรียวัตถุและขาดความอุดมสมบูรณ์จึงนำวัสดุเหล่านี้มาศึกษาเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารให้กับพืช โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ 1) ศึกษาองค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผ่าป่น และหินฟอสเฟต 2) ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 6 ทรีตเมนต์ คือ บ่มดินเพียงอย่างเดียว บ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง บ่มดินร่วมกับมูลแพะ บ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่น บ่มดินร่วมกับหินฟอสเฟต และบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะและกระดูกโคเผาป่น โดยใช้ดิน 10 กรัม วัสดุอย่างละ 0.5 กรัม และ 3) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มี 5 ทรีตเมนต์ คือ หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว หมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 แล้วทำการเก็บข้อมูลสมบัติของปุ๋ยแต่ละทรีตเมนต์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ธาตุอาหาร โลหะหนัก และการย่อยสลายที่สมบูรณ์

ผลการทดลองพบว่า เศษหอมแดงมีไนโตรเจน 1.28 เปอร์เซ็นต์ และมีโพแทสเซียมสูงสุด คือ 4.70 เปอร์เซ็นต์ (K_2O) มูลแพะมีไนโตรเจน (1.94 %) และแมกนีเซียม (2.54 %) สูงที่สุด และมีโพแทสเซียม 2.58 เปอร์เซ็นต์ (K_2O) อีกด้วย กระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด คือ 34.51 และ 17.53 เปอร์เซ็นต์ (P_2O_5) ตามลำดับ นอกจากนี้มีไนโตรเจน 1.29 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียม 33.69 เปอร์เซ็นต์ หินฟอสเฟตมีแคลเซียม 39.98 เปอร์เซ็นต์ ในการนำวัสดุทั้งหมดมาบ่มร่วมกับดินนั้น ไนโตรเจนจะได้รับการปลดปล่อยจากเศษหอมแดง และมูลแพะในปริมาณมาก โดยการปลดปล่อยจะลดลงในช่วง 15 วันแรก และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสจะได้รับการปลดปล่อยมากจากกระดูกโค

เผาป่นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การปลดปล่อยโพแทสเซียม และแมกนีเซียมส่วนใหญ่ได้มาจากเศษหอมแดง และมูลแพะ ส่วนแคลเซียมส่วนใหญ่ได้รับการปลดปล่อยจากกระดูกโคเผาป่น โดยทั้งโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสามารถปลดปล่อยได้ทันที นอกจากนี้ วัสดุทุกชนิดยังมีผลทำให้พีเอช และค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาผลิตปุ๋ยหมักพบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดีกว่าทรีตเมนต์อื่น คือ อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอกในช่วง 70 วัน แต่ทรีตเมนต์อื่นต้องใช้ระยะเวลามากกว่านี้ อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนของทั้ง 2 ทรีตเมนต์ ลดลงต่ำกว่า 20 : 1 หลังการหมัก 45 วัน ดังนั้น ปุ๋ยหมักใน 2 ทรีตเมนต์นี้ สามารถนำไปใช้ได้เร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ นอกจากนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ปริมาณมากกว่าทรีตเมนต์อื่น และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ผ่านมาตรฐานทั้งหมด ยกเว้นพีเอช ที่สูงกว่ามาตรฐาน รวมทั้งเมื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายเพื่อทดสอบสารพิษที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้วิธีการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้เศษหอมแดงหมักร่วมกับ มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น ทำให้การย่อยสลายและสมบัติของปุ๋ยดีเช่นเดียวกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะกระดูกโคเผาป่นและ พด1. ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นจึงทำได้โดยการนำเศษหอม 500 กิโลกรัม มูลแพะ 100 กิโลกรัม และ กระดูกโคเผาป่น 10 กิโลกรัม มาผสมกันและหมักไว้ประมาณ 45 วัน โดยควบคุมความชื้นประมาณ 50-70 % ก็ถูกย่อยจนเป็นปุ๋ย

Thesis Title Production of Compost from Shallot Waste, Bone Meal and Goat Dung

Author Miss Tussanee Kaewmorrakot

Major Program Soil Resources Management

Academic Year 2013

ABSTRACT

In Thailand, there is a lot of shallot waste, goat dung and bone meal each year while soils are low in organic matter and fertility. These waste products were used in this study to increase soil organic matter and plant nutrients. This study consisted of 3 experiments which aimed to: I) Study the nutrient compositions in shallot waste, goat dung, bone meal and rock phosphate. II) Study the nutrient release from shallot waste, goat dung, bone meal and rock phosphate. This experiment was arranged in a completely randomized design with 6 treatments: incubated soil**,** incubated soil with shallot waste, incubated soil with goat dung, incubated soil with rock phosphate, incubated soil with bone meal and incubated soil with shallot waste, goat dung and bone meal. Ten grams of soil and 0.5 g of each material were mix and incubated. And III) Study the compost obtained from shallot waste, goat dung, bone meal, rock phosphate and LDD.1. This experiment was arranged in a completely randomized design with 5 treatments: 1) fermented shallot waste, 2) fermented shallot waste with LDD.1, 3) fermented shallot waste with goat dung and rock phosphate, 4) fermented shallot waste with goat dung and bone meal and 5) fermented shallot waste with goat dung, bone meal and LDD.1. Temperature, moisture, pH, electrical conductivity, organic carbon, organic matter, nutrients, heavy metal and degree of degradation in the compost were determined.

The results showed that shallot waste contained 1.28 and 4.70 % of total nitrogen and potassium, respectively. Goat dung had the highest nitrogen (1.94 %) and magnesium (0.64 %), and 2.58 % (K_2O) of potassium. The highest total phosphorus (34.51 % P_2O_5) and available phosphorus (17.53 % P_2O_5) were found in bone meal, it also consisted 1.29 and 39.98 % of nitrogen and calcium. Rock phosphate contained 39.98 % of calcium. A large amount of nitrogen

was released by shallot waste and goat dung more than the others after being incubated with soil. The nitrogen releasing decreased during the first 15 days and later increased. Most phosphorus was released from bone meal and increased according to the time of incubation. Potassium and magnesium was released from shallow waste and goat dung more than others. Furthermore, a lot of calcium was released from bone meal. The potassium, calcium and magnesium were suddenly released after being incubated with soil. In addition, all materials made high soil pH and electrical conductivity.

After producing compost from these waste products, the qualities of compost from fermented shallot waste with goat dung and bone meal, and fermented shallot waste with goat dung, bone meal and LDD.1 were better than those of the other treatments.The temperature in the compost became similar to the outside temperature within 70 days but other treatments took longer time. Carbon and nitrogen ratios of these 2 treatments decreased below 20:1 after 45 days of composting. Moreover, they contained more macronutrients and micronutrient than other treatments and the properties were reached the compost standard set by Department Agriculture, except pH which was higher. The degree of completed decomposition of compost was more than 80 % and heavy metal less than standard. The consuming time for turning into compost and qualities of the composts derived from shallot waste with goat dung, bone meal and LDD.1 and shallot waste with goat dung and bone meal were not significant. Therefore, making compost from shallot waste could be conducted by mixing 500 kg of shallot waste, 100 kg of goat dung and 10 kg of bone meal, and allowing 45 days for decomposition under 50-70 % of moisture content.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้น ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และข้อคิดในด้านต่างๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ขวัญตา ขาวมี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ดร.วิเชียร จาฏุพจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในด้านการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และวิชาการด้านต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ขอขอบคุณนิทัศน์ สองศรี หัวหน้าสถานีวิจัยคลองหอยโข่งที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณแม่เอื้อน แก้วนิล คุณพ่อโชคไชย แก้วมรกฏ ผู้ให้ชีวิต และสนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา ขอขอบคุณนายอานัติ แก้วมรกฏ ผู้ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจน ให้กำลังใจจนเป็นแรงผลักดันให้มีความอดทน และมุมานะจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ทัศนีย์ แก้วมรกฏ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	22
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	23
วัสดุ	23
สารเคมี	23
อุปกรณ์	24
วิธีการทดลอง	25
3. ผลการทดลอง	32
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	60
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	75
ประวัติผู้เขียน	86

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	6
1.2	รายละเอียดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยกรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2551และ มาตรฐานปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน	21
2.1	อัตราส่วนของวัสดุหมักในการหมัก	29
3.1	องค์ประกอบธาตุอาหารของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต	33
3.2	การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุชนิดต่างๆ เมื่อบ่มกับดิน	43
3.3	สมบัติทางเคมีของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต	44
3.3	เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมักที่ผลิตกับมาตรฐานที่รับรองโดยกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน	59

รายการรูป

รูปที่		หน้า
3.1	การเปลี่ยนแปลงของพีเอชหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	34
3.2	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	35
3.3	การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	37
3.4	การเปลี่ยนแปลงไนเทรตหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	38
3.5	การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	39
3.6	การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	40
3.7	การเปลี่ยนแปลงแคลเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	41
3.8	การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน	42
3.9	การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในกองปุ๋ยหมัก	45
3.10	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก	46
3.11	การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในกองปุ๋ยหมัก	46
3.12	การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก	47
3.13	การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก	48
3.14	การเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมัก	49
3.15	การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	50
3.16	การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	51
3.17	การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	52
3.18	การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	53

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		**หน้า**
3.19	การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	54
3.20	การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	55
3.21	การเปลี่ยนแปลงของเหล็กทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	55
3.22	การเปลี่ยนแปลงของแมงกานีสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	56
3.23	การเปลี่ยนแปลงของสังกะสีทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	57
3.24	การเปลี่ยนแปลงของทองแดงทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก	58

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ในประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีปัญหาดินขาดอินทรียวัตถุโดยมีพื้นที่ที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก 191 ล้านไร่ หรือ 59.5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งประเทศ จากพื้นที่ทั้งหมด 320.7 ล้านไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารและปรับปรุงดิน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถทำได้เอง ผลดีของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน มีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวระยะยาวติดต่อกัน 12 ปี ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง (ประเสริฐ , 2543) ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้นมีผลให้การระบายอากาศ และการอุ้มน้ำในดินเหนียวดีขึ้น (Giusquiani*et al*., 1995)นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง รวมทั้งจุลธาตุอีกด้วย โดยเฉพาะปุ๋ยหมักที่ได้จากการนำเศษวัสดุเหลือมาใช้ในการผลิตสามารถใช้เป็นแนวทางการลดขยะได้อีกทางหนึ่ง ดังเช่นการทำปุ๋ยหมักของเศษมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ (นภารัตน์, 2544) การทำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (วธิดา, 2552) ดังนั้นเศษหอมแดงเป็นวัสดุเหลือทิ้งอีกชนิดหนึ่งที่คาดว่าจะสามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้

ในปี พ.ศ. 2555 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกหอมแดงประมาณ 105,228 ไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 228,221 ตัน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกที่ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) และก่อนการนำผลผลิตออกสู่ตลาดจะมีการตัดแต่งหอมแดง ทำให้เกิดเศษหอมแดงที่เหลือจากการตัดแต่งเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดเป็นขยะเพิ่มมากขึ้น การนำเอาเศษหอมแดงซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือจากการตัดแต่งมาทำปุ๋ยหมักโดยหมักร่วมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืช เช่น มูลแพะ ทั้งนี้มีรายงานว่า ในปี พ.ศ.2555 ในพื้นที่ภาคใต้ของไทยมีจำนวนแพะสูงถึง 264,941 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2556) เนื่องจากการเลี้ยง และการบริโภคแพะส่วนใหญ่เป็นที่นิยมในกลุ่มประชากรที่นับถืออิสลาม โดยแพะหนึ่งตัวนั้นจะให้มูลสูงถึง 520 กรัมต่อวัน (พีรวัฒน์, 2550 อ้างโดยอรัญ, 2553) ดังนั้น ในภาคใต้จะมีมูลแพะสูงถึงประมาณ

124,506 กิโลกรัม/วัน โดยในมูลแพะจะมีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3.74เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) 1.56 เปอร์เซ็นต์และโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) 5.29 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) เมื่อเทียบปริมาณธาตุอาหารกับมูลสัตว์ชนิดอื่นพบว่า ในมูลแพะมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงกว่ามูลสัตว์หลายๆ ชนิด เช่น มูลโค มูลสุกร และวัสดุสำคัญอีกอย่าง คือ กระดูกโคเผาป่น ที่ได้จากการนำกระดูกของโคมาทำให้มีขนาดเล็กเพื่อนำไปหมักปุ๋ย ในประเทศไทยมีแนวโน้มการเลี้ยงโคสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยในปี พ.ศ. 2555 มีการเลี้ยงโคเนื้อ 6,333,816 ตัว โคนม 577,841 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2556) ในกระดูกป่นจะมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด 3-4 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) 15-23 เปอร์เซ็นต์และโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) 0.68 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) เมื่อเทียบกับหินฟอสเฟต พบว่า กระดูกโคมีธาตุอาหารต่างๆ สูงกว่า ดังนั้นการนำมูลแพะกระดูกโคเผาป่นมาเพิ่มธาตุอาหารในการหมักปุ๋ย จะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพ สามารถเพิ่มอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารให้กับดิน อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาในการกำจัดวัสดุเหล่านั้นส่งผลให้ปริมาณขยะลดลง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาการนำเอาเศษหอมแดงมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก จึงนำไปสู่การศึกษาเพื่อหาวิธีการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษหอมแดงให้มีคุณภาพ

2. การตรวจเอกสาร

2.1 หอมแดง

หอมแดง *(Allium ascalonicum)* เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญพื้นที่ปลูกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกหอมแดงประมาณ 105,228 ไร่ พื้นที่ปลูกที่สำคัญ คือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดที่ปลูกเป็นจำนวนมาก คือ ศรีสะเกษ ลำพูน เชียงใหม่ อุตรดิตถ์ เชียงราย ลำปาง พะเยา และบุรีรัมย์ ผลผลิตที่ได้ประมาณ 200,000 ตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โดยหอมแดงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่จะเจริญได้ดีและให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในช่วงเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำ (กนกรัตน์และสกล, 2532 อ้างโดยสนั่นและคณะ, 2532) โดยเฉพาะในช่วงเดือน พฤศจิกายน – มีนาคม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) สำหรับดินที่เหมาะสมกับการปลูกหอมแดง และการใส่ปุ๋ยนั้น กรมส่งเสริมการเกษตร (2556) ได้กล่าวไว้ว่า หอมแดงสามารถเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในดินร่วนที่มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.0-6.5 และความชื้นในดินควรจะสูงในขณะที่เจริญเติบโต แต่เมื่อหัวเริ่มแก่ดินและอากาศต้องแห้ง ในการใส่ปุ๋ยก่อนการปลูกให้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมัก ในอัตรา 3-5 ตันต่อไร่ จากนั้นใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ รองพื้นที่ก่อนปลูก และเมื่อเริ่มแตกกอใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 25-30 กิโลกรัมต่อไร่

หรือปุ๋ยยูเรียในอัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ สนั่น และคณะ (2532) ได้ทดสอบปุ๋ยกับหอมแดงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้ทำการทดสอบในแปลงของเกษตรกรที่เป็นแหล่งปลูกหอมแดงเป็นจำนวน 5 แปลง ซึ่งประกอบด้วย ชุดดินเรณู ชุดดินร้อยเอ็ด ชุดดินสันป่าตอง แล้วปลูกหอมแดงพันธุ์ศรีสะเกษ ก่อนการปลูกมีการใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 4 ตันต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมี 4 อัตรา คือ 10-10-10, 10-20-10, 20-10-10 และ 20-20-10 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเป็นแปลงเปรียบเทียบ พบว่า ดินในแต่ละแปลงมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันเนื่องจากชุดดิน และประวัติการใช้ที่ดิน รวมทั้งการจัดการ ดังนั้น การตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยของเศษหอมแดงจึงแตกต่างกัน

ในการผลิตหอมแดงนั้นเป็นการผลิตทั้งใช้ในประเทศ และส่งออกยังต่างประเทศ โดยมีประเทศที่เป็นแหล่งรองรับการส่งออกที่สำคัญ คือ อินโดนีเซีย มาเลเซีย สิงคโปร์ซึ่งก่อนการนำผลผลิตออกสู่ตลาดจะมีการตัดแต่งหอมแดง ทำให้เกิดเศษหอมแดงที่เหลือจากการตัดแต่งเป็นจำนวนมาก

ในด้านความเป็นประโยชน์ของหอมแดงนั้นโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้เป็นอาหารโดยพบว่าหอมแดงในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 88 กรัม โปรตีน 1.5 กรัม ไขมัน 0.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 9 กรัม ใยอาหาร 0.7 กรัม เถ้า (ash) 0.6 กรัม แคลเซียม 36 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 40 มิลลิกรัม และเหล็ก 0.8 มิลลิกรัม ที่เหลือจะเป็นวิตามินชนิดต่างๆ และพลังงาน นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า หอมแดงยังเป็นสมุนไพรรักษาโรคต่างๆ เช่น ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ยับยั้งเส้นเลือดอุดตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) ในส่วนของเศษหอมแดงนั้นสาวิตรี (2536) ได้ศึกษาการใช้เปลือกหอมแดงลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้นำวัสดุเหลือทิ้งคือ เปลือกหอมใหญ่ และเปลือกหอมแดงมากำจัดโลหะหนักโดยวิธีการคน และผ่านคอลัมน์ และทำการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทั้งก่อน และหลังการกำจัดด้วยเปลือกหอม พบว่าเปลือกหอมแดงสามารถกำจัดตะกั่ว (Pb^{2+}) สังกะสี (Zn^{2+}) ทองแดง (Cu^{+}) แคดเมียม (Cd^{2+}) แมงกานีส (Mn^{2+}) ได้ 100.0, 90.33, 37.51, 2.60, 1.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.2 มูลแพะ

ในปัจจุบันประชากรแพะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีแพะประมาณ 491,779 ตัว และส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ใน 14 จังหวัดทางภาคใต้ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 264,941 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2556) เนื่องด้วยการเลี้ยง และการบริโภคแพะเป็นที่นิยมสำหรับประชากรที่นับถือศาสนาอิสลามซึ่งส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชายแดนใต้ จากแนวโน้มที่ประชากรแพะสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของมูลแพะนั้นสูงตามไปด้วย โดยแพะหนึ่งตัวนั้นจะให้มูลสูงถึง 520

กรัมต่อวัน (พีรวัฒน์, 2550 อ้างโดยอรัญ, 2553) ดังนั้น ในหนึ่งปีจะมีมูลแพะทั้งหมดสูงถึงประมาณ 93,339,661 กิโลกรัม การเติมมูลแพะลงไปในกองปุ๋ยหมักนั้นเป็นการเพิ่มอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายในระยะแรกโดยเฉพาะโพแทสเซียม ในมูลแพะจะมีปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) สูงถึง 5.29 เปอร์เซ็นต์มากกว่ามูลของสัตว์ชนิดอื่นเช่น มูลไก่ มูลวัว สุกร ที่มีประมาณ 3.07, 2.08 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ดังนั้น เมื่อเติมวัสดุที่มี โพแทสเซียมสูงก็จะส่งผลให้ ปุ๋ยหมักที่ได้จะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงด้วย อีกทั้งยังเป็นการเติมจุลินทรีย์ลงไปในกองปุ๋ยหมักทำให้การย่อยสลายเกิดได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุ ทำให้อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงด้วย

จากการศึกษาของ Zaki (2004) ถึงผลของการใช้แบคทีเรีย และปุ๋ยอินทรีย์ต่อการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita)* และการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วย มูลโค มูลแพะ มูลม้า และมูลสัตว์ปีก โดยพบว่า มูลแพะสามารถทำให้โรครากเน่าในมะเขือเทศลดลง และทำให้มะเขือเทศเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้มูลม้าและมูลโค เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์จะสร้างสารปฏิปักษ์ออกมาเพื่อทำลายศัตรูก่อโรค อีกทั้งธาตุอาหารที่ได้จากการเติมปุ๋ยอินทรีย์ลงไปนี้ยังเป็นธาตุอาหารสำหรับแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนโคโลนีด้วย

จากการศึกษาของ Awodun และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาผลของมูลแพะ และปุ๋ยเคมีต่อดิน ธาตุอาหารในใบ การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกหยวก โดยใช้มูลแพะในอัตรา 0, 2.5, 5.0, 7.5 และ10.0 ตันต่อเฮกแตร์ และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 250 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่า อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารต่างๆ ในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของมูลแพะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกหยวกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของมูลแพะ นอกจากนั้น Awodun (2007) ยังได้ศึกษาการนำมูลแพะมาใช้ร่วมกับปุ๋ยยูเรียเพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของกระเจี๊ยบ โดยได้ทำการศึกษาโดยใช้ยูเรียในอัตรา 160 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ มูลแพะในอัตรา 8 ตันต่อเฮกแตร์ มูลแพะในอัตรา 6 ตันต่อเฮกแตร์ร่วมกับยูเรียในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ มูลแพะในอัตรา 4 ตันต่อเฮกแตร์ร่วมกับยูเรียในอัตรา 80 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ และมูลแพะในอัตรา 2 ตันต่อเฮกแตร์ร่วมกับยูเรียในอัตรา 120 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่า การใช้มูลแพะในอัตรา 2 ตันต่อเฮกแตร์ร่วมกับการใช้ยูเรียในอัตรา 120 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์นั้นการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ทั้งมูลแพะ และปุ๋ยยูเรีย รวมทั้งการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับความเข้มข้นของ

ธาตุอาหารในดิน โดยส่วนใหญ่การใส่มูลแพะในอัตรา 8 ตันต่อเฮกแตร์ ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารมากที่สุด

อรัญ และคณะ (2553) ได้ศึกษาการใช้มูลแพะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตพริก โดยได้ทำการหมักปุ๋ยมูลแพะ ร่วมกับแกลบ และ พด.1 หลังจากนั้นนำมาทดลองใช้ปลูกพริกขี้หนูใหญ่ และพริกชี้ฟ้าลูกผสมในกระถาง โดยเปรียบเทียบกับการใช้มูลแพะแห้ง การใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยหมักมูลแพะร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลแพะแห้งเพียงอย่างเดียวจะให้ผลผลิตของพริกขี้หนูใหญ่สูงสุด รองลงมา คือ การใช้ปุ๋ยหมักจากมูลแพะร่วมกับมูลแพะแห้ง สำหรับพริกชี้ฟ้าลูกผสมการใช้ปุ๋ยหมักมูลแพะร่วมกับการใช้ปุ๋ยมูลแพะแห้งจะให้ผลผลิตสูงสุด

2.3 กระดูกโคเผาป่น

การเลี้ยงโคในประเทศไทยเป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งที่มีมานาน ในปัจจุบันวัตถุประสงค์หลักของการเลี้ยงโคก็เพื่อบริโภค ทำให้จำนวนโคที่เลี้ยงไว้ในแต่ละภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พบว่าในปี พ.ศ.2554 มีการเลี้ยงโคเนื้อ 6,333,816 ตัว โคนม 557,841 ตัว (กรมปศุสัตว์, 2556) นอกเหนือจากส่วนที่นำไปบริโภคแล้ว ยังมีส่วนที่เป็นซากหลงเหลืออีกด้วย โดยเฉพาะซากกระดูก โดยโคแต่ละตัวจะมีกระดูกคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว สำหรับโคพื้นเมืองนั้นน้ำหนักของโคก่อนฆ่าประมาณ 150-200 กิโลกรัม (ศรเทพ, 2539 อ้างโดยไชยวรรณ, 2551) และสำหรับโคลูกผสมน้ำหนักก่อนฆ่าประมาณ 200-250 กิโลกรัม (Dahlan, 1985 อ้างโดยไชยวรรณ, 2551) ดังนั้นกระดูกที่ได้ในแต่ละปีจะมีปริมาณสูงประมาณ 103-170 ล้านกิโลกรัม ในอำเภอหาดใหญ่กระดูกโคส่วนใหญ่หลังจากฆ่านอกเหนือจากนำไปส่งยังร้านอาหารต่างๆ ก็จะนำไปทิ้งยังบ่อขยะของเทศบาล จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ได้แสดงปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่างๆ กระดูกป่น และหินฟอสเฟต พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในกระดูกป่น คือ ไนโตรเจนทั้งหมด 3-4 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) 15-23 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) 0.68 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับหินฟอสเฟต ที่มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.15 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) 15-17 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) 0.10เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า หินฟอสเฟตในประเทศไทยมีฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 4 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เนื่องจากฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในหินฟอสเฟตนั้นละลายน้ำได้น้อย จะละลายได้ดีต้องอยู่ในสภาพที่เป็นกรด (ประพิศ และคณะ, 2532)

จากการศึกษาการใช้กระดูกโคป่น เป็นแหล่งไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สำหรับธัญพืชและข้าวไรย์ โดยในกระดูกโคป่นนี้มีไนโตรเจนเข้มข้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณของกระดูกป่นที่ใช้ คือ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่า ทั้งข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรย์จะมีผลผลิตดีที่สุดเมื่อใช้ กระดูกป่น 500 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อใส่กระดูกป่นเพิ่มขึ้น (Alhaji*et al*, 2006)

2.4 การปลดปล่อยธาตุอาหารของวัสดุเหลือทิ้ง

ในการทำการเกษตร หรือ อุตสาหกรรมต่างๆ จะมีผลพลอยได้ที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น ฟางข้าว ชานอ้อย หรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้งจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มีธาตุอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุ	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	N	P	K
ฟางข้าว	0.69	0.08	1.56
ต้นข้าวโพด	0.71	0.11	1.38
ซังข้าวโพด	1.41	0.05	0.49
ยอดอ้อย	0.49	0.10	0.25
ต้นมันสำปะหลัง	1.28	0.24	1.20
ตอซังถั่วเหลือง	1.32	0.15	1.14

ที่มา : ประเสริฐ และวิทยา (2531

ดังนั้น หากมีการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ปรับปรุงดิน ก็จะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินได้ โดยประพิศ และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ตะกอนน้ำเสีย โดยทำการเก็บตัวอย่างดินชุดดินรังสิต ชุดดินปากช่อง และกากตะกอนน้ำเสีย จากนั้นนำมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส รักษาความชื้นให้อยู่ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ความจุอุ้มน้ำ ทำการบ่มดินเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ เมื่อครบชั่วโมงที่กำหนดนำดินมาวิเคราะห์สมบัติของดินและฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ คือ ฟอสฟอรัสทั้งหมด อินทรีย์ และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ สำหรับฟอสฟอรัสที่สกัดได้นั้นจะทำการสกัดโดยวิธีเบรย์ 2 พบว่า ในชุดดินรังสิตการคลุกเคล้าดินกับกากตะกอนน้ำเสียนั้นจะมีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินที่ไม่ใส่

ตะกอนประมาณ 3-9 เท่า ในช่วงแรกฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงทุกอัตราเนื่องจากฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมาบางส่วนถูกดูดตรึงไว้ เนื่องจากชุดดินนี้สามารถดูดตรึงฟอสฟอรัสได้สูง และค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อเวลาการบ่มนานขึ้น สำหรับชุดดินปากช่องฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดตั้งแต่เริ่มใส่กากตะกอน

จงรักษ์ และคณะ (2527) ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงอิทธิพลของวัสดุเหลือใช้อินทรีย์ที่มีต่อไนโตรเจน และ pH ของดินนา โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดินนาจากแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวรังสิต ซึ่งเป็นชุดดินรังสิต และตัวอย่างดินจากสถานีทดลองข้าวสุรินทร์ ซึ่งเป็นชุดดินร้อยเอ็ด และวัสดุเหลือทิ้งที่นำมาศึกษา คือ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ตะกอนของเสีย (activated sludge) จากโรงงานเบียร์ กากตะกอน (sludge) จากโรงเหล้า ขี้หม้อกรอง (filter cake) จากโรงน้ำตาล และกากละหุ่งจากโรงงานน้ำมันละหุ่ง โดยนำดิน 10 กรัม ผสมคลุกเคล้ากับวัสดุเหลือทิ้งในอัตรา 0, 0.02, 0.1 กรัม N ต่อดิน 100 กรัม แล้วบ่มไว้ในสภาพน้ำขังที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์ จากนั้นทำการสกัด NH_4^+-N โดยใช้น้ำยาสกัด 10 เปอร์เซ็นต์ KCl และการกลั่น พบว่า NH_4^+-N ในดินนาที่ผสมคลุกเคล้าวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆ สูงกว่าในดินนาที่ไม่ได้ใส่วัสดุเหลือใช้ และเมื่อใช้วัสดุเหลือใช้เพิ่มขึ้นปริมาณ NH_4^+-N เพิ่มมากขึ้นโดยดินนาที่ผสมคลุกเคล้ากับกากละหุ่งปริมาณของ NH_4^+-N สูงสุด ทั้ง 2 ชุดดิน และในชุดดินรังสิตการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวจะมีปริมาณของ NH_4^+-N ต่ำสุด แต่ชุดดินร้อยเอ็ดการใส่ขี้หม้อกรองมีปริมาณของ NH_4^+-N ต่ำสุด โดยลักษณะการปลดปล่อย NH_4^+-N ของวัสดุเหลือใช้จะรวดเร็วในช่วงแรกของการบ่ม

กิตจเมธ และคณะ (2552) ศึกษาการใช้น้ำกากส่า และเถ้ากากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดหวานในชุดดินท่าใหม่ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ในแปลงเกษตรกรในจังหวัดจันทบุรี เก็บน้ำกากส่า และเถ้ากากส่าจากโรงงานผลิตสุรา จ.ปทุมธานี โดยนำดิน 10 กรัมผสมคลุกเคล้ากับโพแทสเซียมคลอไรด์ น้ำกากส่า เถ้ากากส่า ในอัตรา 0.75 และ 150 มิลลิกรัม K_2O ต่อดิน 1 กิโลกรัม แล้วบ่มดินที่ระดับความจุความชื้นสนามเป็นเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดนำมาวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยสกัดดินด้วย 1 M NH_4OAc ที่ pH 7 พบว่า การใส่น้ำกากส่า เถ้ากากส่า และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ในชุดดินท่าใหม่ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ใกล้เคียงกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ สอดคล้องกับการศึกษาของ พิมลศิริ และคณะ (2552) ซึ่งได้ศึกษาการใช้น้ำกากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าว โดยได้นำชุดดินร้อยเอ็ด ชุดดินกำแพงแสน และชุดดินพิมาย มาผสมคลุกเคล้ากับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ และเถ้ากากส่า ในอัตรา 0 และ 150 มิลลิกรัม K_2O ต่อดิน 1 กิโลกรัม แล้วทำการบ่มในสภาพน้ำขังเป็นเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ แล้ววิเคราะห์หาโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของเถ้ากากส่า

ใกล้เคียงกับโพแทสเซียมคลอไรด์ และการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมานั้นใกล้เคียงกันทุกระยะเวลาการบ่ม นอกจากนี้ รัตติญา และคณะ (2551) ยังได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนจากการหมักมูลโคนม และมูลโคขุนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตผักกาดเขียวกวางตุ้ง โดยดินที่ใช้ทำการทดลองเป็นชุดดินน้ำพอง ประกอบด้วยชุดการทดลอง คือ ไม่ใส่มูลโค ใส่มูลโคนม ใส่มูลโคขุน โดยใช้ดิน 200 กรัมผสมคลุกเคล้ากับมูลโคในอัตรา 200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมหมักดินที่ระดับความชื้นสนามที่เวลา 0, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+-N) และไนเทรต (NO_3^--N) พบว่า ในสัปดาห์ที่ 4 การปลดปล่อยไนโตรเจนจะมีปริมาณสูงสุด และปริมาณของไนโตรเจนในชุดการทดลองที่มีการใส่มูลโคนมสูงสุด

2.5 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ โดยผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บดร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่นและวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ เมื่อใส่ลงไปในดินจะมีการสลายตัวอย่างช้าๆ ค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่อง อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพให้ดีขึ้น เช่น ในการปรับปรุงทางด้านกายภาพการใส่ปุ๋ยหมักติดต่อกันส่งผลให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน และมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ในการปรับปรุงทางด้านเคมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัสที่ตกตะกอนอยู่กับอะลูมินัมละลายออกมาเป็นประโยชน์กับพืชได้มากขึ้น เนื่องจากกรดอินทรีย์จากวัสดุอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมทำให้อะลูมินัมในสารละลายดินลดลง

2.5.1 กระบวนการหมักปุ๋ย เป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้สารอินทรีย์ที่มีความเสถียรย่อยสลายได้ยากสามารถย่อยสลายได้ โดยเฉพาะในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ส่วนใหญ่จะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์พืช และเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีมากที่สุดประมาณ 40-60เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ยังมีเฮมิเซลลูโลสประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ลิกนินประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ฯลฯ ซึ่งย่อยสลายได้ยาก (Brady and Weil, 2008) ในการย่อยสลายของเซลลูโลสที่สมบูรณ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาลกลูโคสจะต้องย่อยด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูงภายใต้อุณหภูมิที่สูงซึ่งการย่อยด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการออกมาด้วย ดังนั้น จึงต้องอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ คือ เอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ คือ แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิสเพื่อใช้ในการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ และ

ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบอีกต่อไป กระบวนการหมักปุ๋ยจะประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ

2.5.1.1 การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ (aerobic composting) เป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม การหมักแบบใช้อากาศนี้จะมีอัตราการย่อยสลายเร็ว ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของอินทรีย์คาร์บอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Metcalf*et al*., 2003 อ้างโดย Yamada and Kawase, 2005)โดยเมื่อมีการเติมอากาศแก่กองปุ๋ยจะทำให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อการย่อยสลาย การย่อยสลายก็จะสามารถดำเนินไปได้อย่างเร็ว ซึ่งจะมีผลดี คือ จะทำให้การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่ระเหยสู่อากาศลดลงได้ (ธีระพงษ์ และคณะ, 2547) ข้อดีของการหมักวิธีนี้ คือ การหมักโดยวิธีนี้จะไม่มีกลิ่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคน และผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายโดยวิธีนี้ประกอบไปด้วย กลูโคสได้จากการย่อยสลายของเซลลูโลส แอมโมเนียม ไนเทรตและซัลเฟต ได้จากการย่อยสลายของโปรตีน รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน (Brady and Weil, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับกิ่งกาญจน์ (2546) ที่กล่าวไว้ว่า คาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อนเป็นผลิตผลหลักซึ่งเกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ สามารถใช้เป็นตัววัดอัตราการย่อยสลาย และกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น ยังมีความสำคัญในการทำลายเชื้อโรคต่างๆ ในปุ๋ยหมักด้วย และเมื่ออินทรียสารส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายไปแล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างมาก ทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยค่อยๆ ลดลงจนใกล้อุณหภูมิห้องในที่สุด

2.5.1.2 การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic composting) เป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่ไม่มีอากาศ หรือเรียกอีกอย่างว่าแบบ “Cold process” ที่เรียกเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในปุ๋ยอยู่ในระดับใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก และเป็นกระบวนการที่ปล่อยพลังงานออกมาน้อยกว่าสภาพที่มีอากาศ พลังงานที่ปล่อยออกมาน้อยเนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรกกระบวนการในสภาพที่มีอากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ประการที่สองจำนวนความร้อนที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าการทำปุ๋ยหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (มุกดา , 2543) โดยปุ๋ยที่ได้จากการหมักโดยวิธีนี้คุณภาพปุ๋ยที่ได้ค่อนข้างต่ำ และการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้อากาศผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายด้วยวิธีการนี้คือ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ แก๊สมีเทน ไนเทรตและซัลเฟต รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์

ธันวดี (2547) ได้ศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักทั้งแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศพบว่า การหมักแบบใช้อากาศมีประสิทธิภาพมากกว่าการหมักแบบไม่ใช้อากาศ เพราะการหมักแบบใช้อากาศสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า ส่วนการหมักแบบไม่ใช้อากาศต้องใช้เวลาในการหมักนาน มีกลิ่นรบกวน และอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก เช่นเดียวกับวธิดา (2552) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันโดยวิธีการกลับกองทุก 7 วัน เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก และการไม่กลับกอง พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน วัสดุหมักจากชุดการทดลองที่มีการกลับกอง เริ่มมีลักษณะยุ่ย ขาดออกจากกันง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 ซึ่งบ่งชี้ว่า การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ แต่ชุดการทดลองที่ไม่มีการกลับกอง เมื่อผ่านไป 90 วัน ซึ่งสิ้นสุดการหมักพบว่า วัสดุมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน มีความแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20:1 ซึ่งบ่งชี้ว่าวัสดุยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้

2.5.2 ปัจจัยที่ที่มีผลต่อกระบวนการหมัก การย่อยสลายวัสดุกลายเป็นปุ๋ยหมักจะต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายวัสดุได้ ดังนี้

2.5.2.1 พีเอช (pH) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายของวัสดุในกระบวนการของปุ๋ยหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายนั้นจะมีความสามารถที่จะเจริญเติบโตที่ความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกันสำหรับการเปลี่ยนแปลงของ pH จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในระยะแรก pH จะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ต่อมาเมื่อมีการย่อยสลายของวัสดุ pH จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลง สำหรับการที่ pH เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากระหว่างการหมักเกิดการย่อยสลายโปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุถูกแปรสภาพโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนกลายเป็นกรดอะมิโน และกรดอะมิโนถูกย่อยสลายต่อเป็นแอมโมเนียม และเมื่อถูกไฮโดรไลซิสกลายเป็นแอมโมเนีย มีการปลดปล่อย OH^- จึงมีผลทำให้ pH เพิ่มขึ้น และการลดลงของ pH เนื่องจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตแล้วเกิดกรดอินทรีย์ออกมา รวมทั้งการแปรสภาพของแอมโมเนียมไปเป็นไนไทรต์หรือไนเทรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันมีการปลดปล่อย H^+ เมื่อ H^+ เพิ่มขึ้นจึงทำให้ pH ลดลง การเปลี่ยนแปลง pH เพียงเล็กน้อยที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในวัสดุหมัก เช่น เซลลูโลส ลดลง หรือเพิ่มขึ้นได้โดยจะไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากโมเลกุลของเอนไซม์มีการแตกตัวตรงหมู่อะมิโน และคาร์บอกซิล ดังนั้น ในสภาวะที่ pH ต่างกันจะมีผลทำให้โครงรูปของเอนไซม์เปลี่ยนไป เอนไซม์จะทำงานได้ดีช่วง pH หนึ่งเท่านั้น ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์นั้นพบว่าค่อนข้างเป็นกรด

และในการทำปุ๋ยหมักนั้นไม่ควรใช้อินทรียสารที่เป็นด่างล้วนๆ หรือเติมปูนลงไปจนเป็นด่างมากๆ เนื่องจากจะทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมาก โดยทั่วไปวัสดุหมักจะมีค่าอยู่ในช่วง 3.0-11.0 ก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ที่เหมาะสมที่สุดควรจะอยู่ในช่วง 5.5-8.0

จากการศึกษาของ Jonathan และคณะ (2000) ได้ทดลองใส่ปูนในกองปุ๋ยหมักในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อใส่ปูนในกองปุ๋ยหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นเท่ากับ pH 7.3 จนถึง pH 9 .2 จะทำให้ปริมาณของประชากรของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักลดลง โดยจะไปขัดขวางการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และทำให้กิจกรรมเอนไซม์ของจุลินทรีย์ลดลงดังนั้น เวลาที่ใช้ในการหมักให้เป็นปุ๋ยจึงเพิ่มขึ้น

Stewart และคณะ (1981) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสของจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Aspergillus fumigates* โดยทำการนำเชื้อ *Aspergillus fumigates* ที่ได้จากกองซากพืชที่ทับถมกันมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อจากนั้นคัดเลือกเชื้ออีกครั้งหนึ่งไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีระดับ pH คือ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 พบว่า ในช่วงแรกกิจกรรมเอนไซม์จะทำกิจกรรมได้ดี และเมื่อถึงที่ระดับ pH 5 กิจกรรมของเอนไซม์จะค่อยๆ ลดลง

2.5.2.2 ความชื้น จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนต้องการความชื้นที่เหมาะสมเนื่องจากจุลินทรีย์จะต้องใช้ออกซิเจนในการรับส่งอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายเข้าไปในเซลของจุลินทรีย์ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะหยุดชะงักถ้าวัตถุดิบแห้งเกินไปหรือมีความชื้นต่ำกว่า 8-12 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำจะเป็นตัวทำละลายสารอาหารต่างๆ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าเปียกโชกมากเกินไป จุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำงานเนื่องจากน้ำจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในช่องว่างต่างๆ ทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลงไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น และการหมักจะเสร็จช้า Liang และคณะ (2002) ได้กล่าวไว้ว่า ความชื้นที่จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีที่สุดจะเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับ Tom และคณะ (2002) ที่กล่าวไว้ว่า ในระหว่างการหมักจะต้องรักษาความชื้นของกองวัสดุให้ได้ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หากมีความชื้นต่ำเกินไปแม้ว่าแบคทีเรียจะมีกิจกรรมได้เมื่อความชื้นของวัสดุต่ำเพียง 12 -15 เปอร์เซ็นต์ แต่การย่อยสลายอินทรียสารในสภาพดังกล่าวจะช้ามาก ใช้เวลาหมักนานกว่าปกติหรือได้ปุ๋ยหมักไม่ดีพอ แต่ถ้าความชื้นสูงเกินไป ปริมาณอากาศอาจมีไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายชะลอลง บางครั้งยังอาจทำให้เกิดกรดอินทรีย์สะสมเป็นปริมาณมาก เป็นเหตุให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพต่ำลง เพราะกรดอินทรีย์ที่คงค้างอยู่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ หรือมีผลเสียต่อการเจริญของรากพืชได้ ดังนั้น จึงต้องควบคุมให้มีความชื้นระยะแรกและระยะต่อมาประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์แล้วปล่อยให้ลดลงทีละน้อย จนได้ปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์กระบวนการในการหมักปุ๋ยของวัสดุจะเข้า

สู่สภาวะสิ้นสุดการหมัก และพบว่า กระบวนการหมักปุ๋ยจะไม่เกิดการหมักต่อไปเมื่อความชื้นมีค่าต่ำกว่า 11.2 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

Zahangir และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้เศษของเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันเป็นสับสเตรทโดยใช้ส่วนของทะลายปาล์มและใช้จุลินทรีย์ คือ *Trichodermaharzianum* โดยเลี้ยงที่ระดับความชื้น 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปกิจกรรมเอนไซม์จะเกิดดีที่สุดที่ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากหากความชื้นสูงเกินไปทำให้ช่องว่างต่างๆ ลดลงซึ่งจะไปมีผลต่อกิจกรรมอื่นๆ เช่น ทำให้การเคลื่อนย้ายออกซิเจนต่างๆลดลง ซึ่งส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง

2.5.2.3 สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) จะบ่งบอกถึงความยากง่ายในการย่อยสลาย ในวัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง อัตราการย่อยสลายต่ำเนื่องจากความไม่สมดุลของคาร์บอน และไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนเป็นโมเลกุลเล็ก และนำเข้าเซลล์เพื่อใช้เป็นพลังงาน และสร้างส่วนประกอบเซลล์ และจะย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน เพื่อนำไนโตรเจนไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อสร้างส่วนประกอบเซลล์ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิค หากมีไนโตรเจนน้อยจึงเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ช้า แต่ถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนไปในรูปของแก๊สแอมโมเนียโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาพอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง (ภาวนา, 2544) เนื่องจากวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดมีสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันตั้งแต่ต่ำกว่า 20 ไปจนถึงสูงกว่า 200 ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยหมักควรใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม หรือหากสูงเกินไปควรมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ เช่น ยูเรีย เพื่อให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง จากการศึกษาของ Golueke (1977) และ Michel และคณะ (1996) อ้างโดย Huang และคณะ (2004) กล่าวไว้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25–30 ดีที่สุดในการผลิตปุ๋ยหมัก เช่นเดียวกับ Pace และคณะ (1995) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า หากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินกว่า 30 จะทำให้อัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมักจะลดลง ถ้าจะให้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดควรจะต่ำกว่า 25 ส่วนไนโตรเจนที่มากเกินไปจะเปลี่ยนเป็นแก๊สแอมโมเนีย และถูกปลดปล่อยออกไปสู่บรรยากาศ

นอกจากนี้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของการหมักปุ๋ยอีกด้วย ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงแสดงว่า สารประกอบต่างๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ยังย่อยสลายไม่หมด สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมาตรฐานที่ใช้กำหนดสภาพของปุ๋ยหมักว่าแปรสภาพได้ที่ดีแล้วหรือไม่จะมีค่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) แต่หากสูงกว่านี้ไปบ้างเล็กน้อยก็มิได้เกิดผลเสียหายแก่พืช

เพียงแต่สมบัติในการเป็นสารปรับปรุงดินอาจด้อยคุณภาพลงไปบ้างเท่านั้น เนื่องจากการแปรสภาพของสารอินทรีย์ไปเป็นสารฮิวมิคยังไม่ค่อยสมบูรณ์ดีนัก (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

Huang และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ต่อปุ๋ยมูลสุกรร่วมกับขี้เลื่อยที่มีเท่ากับ 15 และ 30 พบว่า C/N ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลแพะร่วมกับขี้เลื่อย เท่ากับ 30 ถึงแม้ว่าองค์ประกอบของธาตุอาหารในชุดการทดลองที่ C/N เท่ากับ 15 จะมากกว่าแต่เมื่อนำมาทดสอบการงอกของเมล็ดพืช พบว่า ปุ๋ยที่ได้จากชุดการทดลองที่ C/N เท่ากับ 30 พืชมีความสามารถในการงอกได้มากกว่า เนื่องจากชุดการทดลองที่มี C/N เท่ากับ 15 สร้างสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

วธิดา (2552) ได้ศึกษาผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันแบบกลับกองซึ่งประกอบไปด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียว ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกับมูลไก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกับมูลไก่และดินแดง ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดง โดยมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 95 : 1, 38 : 1, 40 : 1, 35 : 1 และ 39:1 พบว่า ในระยะแรกอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากช่วงแรกของการหมักจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ทำให้อินทรีย์คาร์บอนลดลง มีผลทำให้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของปุ๋ย และหลังจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และเมื่อสิ้นสุดการหมัก ปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียวมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์ แต่ชุดการทดลองที่ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียวเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 46:1 แสดงว่าปุ๋ยหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะอื่นๆ คือ วัสดุแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย

2.5.2.4 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายวัสดุของจุลินทรีย์โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะให้ความร้อนออกมา โดยในระยะแรกนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุในช่วงนี้ คือ จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophile) แต่ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไป จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงไปด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงจนถึงจุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic stage) จนสิ้นสุดการย่อยสลาย นอกจากนี้ Hogg และคณะ (2002) กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิที่สูงยังช่วย

ในการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งเป็นปฏิปักษ์กับจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายวัสดุอีกด้วย ดังนั้น ในการทำปุ๋ยหมักควรมีการควบคุมอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักไม่ให้ต่ำเกินไปซึ่งในบางประเทศได้กำหนดอุณหภูมิที่ต่ำสุดของกองปุ๋ยหมักเช่น ในประเทศเยอรมัน อุณหภูมิต่ำสุดของกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสม คือ 55 องศาเซลเซียส และควรมีระยะเวลารวมของอุณหภูมิต่ำระดับนี้ในการผลิตปุ๋ย คือ 14 วัน

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่สูงของกองปุ๋ยหมักต่อกิจกรรมเอนไซม์ และความหลากหลายของแบคทีเรียในปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ โดยได้ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 54, 60, 63, 66 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมของแบคทีเรียจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 63 องศาเซลเซียส ความหลากหลายของแบคทีเรียจะลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 66 องศาเซลเซียส ความหลากหลายของแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งโดยเฉพาะ *Thermus*spp.และ *Bacillus* spp. ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ปรับตัวได้ในอุณหภูมิที่สูง (Miyatake*et al*, 2000)

Tiquiaและคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในฤดูกาลต่างๆ ของประเทศฮ่องกง ในการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร โดยการศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ในฤดูหนาวซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 17 องศาเซลเซียส และฤดูร้อนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่ทำในฤดูร้อนเกิดกระบวนการหมักได้ดี และเข้าสู่ช่วงเสถียรได้เร็วกว่าชุดการทดลองที่ทำในช่วงฤดูหนาว ทั้งนี้เพราะช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงและเหมาะสมกว่าฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาของกระบวนการหมักของชุดการทดลองในช่วงฤดูร้อนจึงเกิดได้ดีกว่า

2.5.2.5 วัสดุหมัก วัสดุอินทรีย์ที่นำมาทำปุ๋ยหมักไม่ควรมีสารที่เป็นพิษเป็นส่วนประกอบเช่น ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในวัสดุหมักมีมากเกินไปจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงส่งผลให้กระบวนการเป็นปุ๋ยหมักช้าลง ขนาดของวัสดุหมักก็มีความสำคัญเช่นกัน ยิ่งวัสดุมีขนาดเล็กก็จะยิ่งช่วยให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นจึงง่ายต่อการที่เชื้อจุลินทรีย์จะเข้าทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบนั้นๆ ขนาดที่เป็นที่ต้องการที่สุดสำหรับการทำปุ๋ยหมัก คือ น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ในกรณีของกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักแบบมีอากาศ ขนาดของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักควรจะมีขนาดเล็กเท่าที่จะเป็นได้เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศที่พอเพียง และเพื่อง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (ภาวนา, 2544) โดยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์พืช และเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีมากที่สุดประมาณ 40–60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งย่อยสลายได้ยาก การย่อยสลายที่สมบูรณ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาลกลูโคสจะต้องย่อยด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูงภายใต้อุณหภูมิที่สูง

การย่อยด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการออกมาด้วย ดังนั้น จึงต้องอาศัยเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ คือ แบคทีเรีย เชื้อรา เพื่อใช้ในการย่อยดังนั้นวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่มากจึงย่อยสลายช้ากว่าวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบน้อย

2.5.2.6 ออกซิเจน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้รับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายในเซลล์ของจุลินทรีย์และใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม จุลินทรีย์ 90 เปอร์เซ็นต์ที่นำมาใช้ในการย่อยสลายเป็นพวกที่ต้องการอากาศ ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ดังนั้น จึงจำเป็นต้องระบายอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ถ้าจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี ก็จะสามารถสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายได้มากขึ้นตามไปด้วยแต่ถ้าหากออกซิเจนถูกจำกัด หรือมีออกซิเจนน้อยเกินไป ดังเช่นในการหมักปุ๋ยที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศจะทำให้การหมักช้าลง และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างกระบวนการหมักดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยเร่งกระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น (ปรัชญา และคณะ, 2537)

2.5.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมัก ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักการย่อยสลายของเศษวัสดุในการหมักจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกันโดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน พิทยากร และคณะ (2537) ได้กล่าวไว้ว่า จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายปุ๋ยหมักจะแบ่งออกได้ดังนี้

2.5.3.1 เชื้อรา เป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและมีสปอร์อยู่บริเวณผิวของกองปุ๋ยหมัก เชื้อราจะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน หรือวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งชนิดและปริมาณของเชื้อราที่พบนั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาหมัก และสภาพแวดล้อม โดยในระยะแรกของการหมักซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงมักจะพบเชื้อราพวก *Geotrichumcandidum และ Aspergillus fumigates* และเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 45- 55 องศาเซลเซียสมักจะพบเชื้อรา *Cladosporium* sp., *Aspergillus*sp .และ *Mucor* sp. ดังกรณีศึกษาของเกษม (2534) ซึ่งได้ศึกษาการแยกเชื้อราในดิน และทดสอบคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลสในวัสดุต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย แกลบ ฟางข้าว และกระดาษ และพลาสติก พบว่า เชื้อรา *Chaetomium* spp. เป็นเชื้อราที่สามารถย่อยสลายวัสดุที่เป็นวัสดุอินทรีย์ได้ดีที่สุด

2.5.3.2 แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีที่มีขนาดเล็กพบมากที่สุดในกองปุ๋ยหมักมีปริมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยแบคทีเรียจะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ในระยะแรกของการหมักนั้นอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงไม่มากนักแบคทีเรียที่พบได้แก่

*Psudomonas*sp., *Cellulomonas* sp., *Achromobacter s*p., *Flavobacterium s*p., *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp.ซึ่งจะเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส และแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงได้แก่ *Thermus* sp.ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 65 องศาเซลเซียส และมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูง 70 องศาเซลเซียสได้แก่ *Thermusaquaticus* นอกจากนี้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนยังพบ *Clostridium* sp. อีกด้วย

2.5.3.3 แอคติโนไมซิส มีลักษณะเป็นจุดผงสีขาวเจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำการหมักมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีนในช่วงที่อุณหภูมิสูงที่เชื้อรา และแบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ โดยแอคติโนไมซิสสามารถเจริญได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส แต่จะหยุดชะงักการเจริญเติบโตเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส แอคติโนไมซิสที่มักจะพบในกองปุ๋ยหมักได้แก่ *Thermoactinomyces*sp.และ *Thermomonospora*sp. และบางครั้งอาจพบ *Streptomyces* sp.และ *Micropolyspora*sp.

จากการศึกษาการทำปุ๋ยหมักทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่า ในช่วงแรกของการหมักปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันนั้นแบคทีเรียจะเจริญได้ดี และย่อยสลายแหล่งอาหารเป็นโมเลกุลสายสั้น โดยตลอดระยะเวลาการหมักจะมีแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria) มากกว่าแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria) หลังจากนั้นเชื้อราจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตเพื่อย่อยสลายเซลลูโลส โดยในช่วงแรกนั้นปริมาณของเชื้อราจะลดลง เนื่องจากเชื้อราต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และมีการเจริญเติบโตช้า และหลังจากนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูงขึ้นด้วยเนื่องจากเชื้อรามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส โดยจะพบเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic fungi) มากกว่าเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic fungi) สำหรับแอคติโนไมซิสมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมัก (วธิดา, 2552)

2.5.4 หัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยเร่งการย่อยสลาย วัสดุช่วยเร่งการย่อยสลายที่เติมลงไปในกองปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายวัสดุเพื่อทำให้กระบวนการหมักเสร็จเร็วขึ้น และทำให้ปุ๋ยมีคุณภาพดีขึ้น

2.5.4.1 ซุปเปอร์ พด.1 เป็นสารเร่งที่มีกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในเวลารวดเร็วและมีคุณภาพสูง ประกอบด้วยเชื้อราและแอคติโนไมซีตที่ย่อยสลายเซลลูโลสและแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมัน จุดเด่นของซุปเปอร์ พด.1 คือ มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสที่ย่อยสลายยาก สามารถย่อยสลายไขมัน และน้ำมันในวัสดุหมักได้ ผลิตปุ๋ยหมักได้ในเวลารวดเร็ว และมีคุณภาพ เป็นจุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์จึง

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน สามารถย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ได้หลากหลาย และครอบคลุมมากขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

สมศักดิ์ และคณะ (2539) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุหมัก ซึ่งประกอบไปด้วย EM ไฮเทค พด.1 และมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยได้วิเคราะห์ ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย แอคติโนไมซิส และเชื้อราที่ย่อยสลายเซลลูโลส การลดลงของกองปุ๋ยหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่า การใช้พด.1 ได้ผลดีกว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น

ศิรินทรา (2552) ได้ศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) มาหมักปุ๋ย โดยได้มีการเปรียบเทียบการไม่เติมสารเร่ง พด.1 และมีการเติมสารเร่ง พด.1 พบว่า แม้ว่าธาตุอาหารต่างๆที่วิเคราะห์ได้ของการหมักปุ๋ยทั้ง 2 แบบ และ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ลดลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การหมักโดยการเติมสารเร่ง พด.1 มีแนวโน้มอัตราสวนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงมากกว่า และปริมาณธาตุอาหารพืชมากกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้วธิดา (2552) ได้ศึกษาผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันแบบกลับกอง และไม่กลับกอง โดยทรีตเมนต์ที่มีการกลับกองมีการใช้สารเร่งพด.1 และทรีตเมนต์ที่ไม่มีการกลับกองมีการใช้สารเร่งพด.2 พบว่า ในทรีตเมนต์ที่มีการเติมสารเร่งพด.1 นั้นในช่วงแรกของการหมักจะมีกิจกรรมเอนไซม์การย่อยสลายของเซลลูโลสสูง มีปริมาณเชื้อรารวมทั้งแอคติโนไมซิสสูงทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็ว และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจำนวนจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักก็ยังสูง แต่ทรีตเมนต์ที่มีการใส่สารเร่ง พด.2 จำนวนเชื้อราและแอคติโนไมซิสมีปริมาณน้อยกว่าการใช้สารเร่ง พด.1 และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น และกิจกรรมเอนไซม์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้สารเร่ง พด.1

2.5.4.2 ซุปเปอร์พด.2 เป็นสารเร่งที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการวัสดุทางการเกษตรในลักษณะอวบน้ำ หรือมีความชื้นสูง เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยดำเนินกิจกรรมทั้งที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ คือ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติค แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน แบคทีเรียละลาย อนินทรีย์ฟอสฟอรัส จุดเด่นของซุปเปอร์พด.2 คือ สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากวัตถุดิบได้หลากหลาย เช่น ผัก ผลไม้ ปลา หอยเชอรี่ กระดูกสัตว์ เพิ่มประสิทธิภาพการละลายธาตุอาหารในการหมักวัตถุดิบจากเปลือกไข่ ก้าง กระดูกสัตว์ เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพความเป็นกรด

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่สร้างสปอร์ทำให้ทนต่อสภาพแวดล้อม และเก็บรักษาได้นาน สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำได้ในระยะเวลาสั้น และมีคุณภาพ ช่วยให้พืชแข็งแรง และต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

2.5.5 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปุ๋ยหมักที่มีการผลิตขึ้นจะมีลักษณะ และสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด และแหล่งที่มาของวัสดุที่ใช้ในการหมัก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระดับของพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ และไม่ส่งผลกระทบต่อพืช สำหรับประเทศไทยนั้นกรมวิชาการเกษตร (2551) และกรมพัฒนาที่ดิน (2554) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยเป็นสภาพน้ำหนักปุ๋ยในสภาพชื้น ดังตารางที่ 1.2 ประกอบด้วย

ขนาดของปุ๋ย จะบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการย่อยสลาย โดยขนาดของปุ๋ยเมื่อย่อยสลายสมบูรณ์แล้วสามารถร่อนผ่านตระแกรงขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตรได้ หากมีขนาดใหญ่กว่านี้แสดงว่าวัสดุบางส่วนยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์

ปริมาณความชื้น และสิ่งที่ระเหยได้ ปุ๋ยหมักที่ดีควรจะมีความชื้นที่เหมาะสม หากปุ๋ยหมักมีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อนำไปใช้จะมีปัญหาปุ๋ยไม่เกาะกลุ่มกันทำให้สามารถไหลไปกับน้ำตามผิวดินได้ง่าย แต่หากมีความชื้นมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการเน่าบูด หรือเป็นภาระต่อการขนส่ง ความชื้นที่เหมาะสมของปุ๋ยหลังการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณอินทรียวัตถุ คือ ส่วนของซากพืช ซากวัสดุที่กำลังสลายตัว รวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่ และส่วนที่ตายแล้ว ในปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วควรจะมีอินทรียวัตถุอยู่ไม่ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

พีเอชของปุ๋ย เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย เช่น กรดอินทรีย์ หรือแอมโมเนียที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งพีเอชอ่อนๆ ของปุ๋ยหมักจะมีผลดีต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน แต่ถ้าในปุ๋ยหมักที่มีระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงเกินไนโตรเจนในปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนไปเป็นแก๊สแอมโมเนีย และระเหยไปในอากาศ แต่ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำเกินไปจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม และจุลินทรีย์บางชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคพืชต่างๆ จะทำงาน ความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ คือ 5.5-8.5

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของการย่อยสลาย และสามารถนำปุ๋ยนั้นไปใช้ได้หรือไม่โดยปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว และเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพจะต้องมีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนไม่เกิน 20 : 1 ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่านี้มากๆ จะมีการย่อยสลายต่อเมื่อใส่ลงไปในดิน และ

หากใส่ลงไปในดินที่มีการระบายอากาศไม่ดี อาจทำให้เกิดการเน่าเปื่อยในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ที่เป็นพิษได้

ค่าการนำไฟฟ้า เป็นค่าที่วัดเพื่อแสดงถึงความเค็มของเกลือที่ละลายในน้ำ ในปุ๋ยหมักค่าการนำไฟฟ้าไม่ควรเกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร เนื่องจากหากสูงเกินไปจากค่าที่กำหนดนี้จะมีผลต่อการดูดน้ำไปใช้ และการเจริญเติบโตของพืชได้

ปริมาณของธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณที่มาก โดยทั่วไปปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และปริมาณธาตุอาหารหลักของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักซึ่งจะมีทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองเกือบครบถ้วน แต่จะมีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ จึงต้องมีการกำหนดปริมาณธาตุอาหารหลักเพื่อควบคุมคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ โดยปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันต้องไม่ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) ธาตุละไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณของโลหะหนัก เนื่องจากหากมีปริมาณของโลหะหนักมากเกินไปเมื่อโลหะหนักเหล่านี้โดนชะล้างไปสู่แหล่งแม่น้ำ หรือเมื่อพืชดูดเข้าไปก็จะเข้าไปสะสมอยู่ในพืช หากมีผู้บริโภคได้รับโลหะหนักเหล่านี้เข้าไปในร่างกายก็จะก่อให้เกิดโรคต่างเช่นผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะก่อนให้เกิดโรคอิไต-อิไต

ปริมาณกรวด เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการเนื่องจากไม่มีประโยชน์ใดๆ ต่อพืช และเป็นภาระในการขนส่ง และอาจเป็นการยากในการขนส่ง หรืออาจมีผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายที่นำวัสดุเหล่านี้ใส่ในปุ๋ยเพื่อเพิ่มน้ำหนัก เพื่อเพิ่มผลประโยชน์ทางการค้า ดังนั้น จึงกำหนดปริมาณไว้ไม่ควรเกิน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดเพิ่มเติมว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคมนุษย์สัตว์ และพืชต้องผ่านการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชโดยทำการทดสอบโดยปลูกข้าวโพดหวานในดินทรายที่ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นเวลา 15 วัน แล้วศึกษาการเจริญเติบโตเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดที่ปลูกโดยใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 6 ตันต่อไร่ และที่ใส่ปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 1:1 (น้ำหนักดิน :ปุ๋ยหมักที่ความชื้นประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์) และปลูกเป็นระยะเวลา 15 วัน เท่ากัน

Hogg (2002) ได้กล่าวไว้ว่าในการกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักของแต่ละประเทศนั้นมีความแตกต่างกันเช่น ในประเทศออสเตรียได้แบ่งมาตรฐานปุ๋ยหมักออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย ระดับที่ 1 เป็นระดับที่มีคุณภาพสูงสุดเหมาะสำหรับฟาร์มเกษตรอินทรีย์ ระดับที่ 2 เป็นระดับที่มีคุณภาพรองลงมาใช้ในการเกษตรทั่วไป และระดับที่ 3 เป็นปุ๋ยที่มีข้อจำกัดในด้าน

ต่างๆ ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในด้านการเกษตร โดยวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตคือ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือจากขยะเทศบาลที่มีการกำจัดวัสดุอันตรายออกไปแล้ว ในการกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักนั้นจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ และการปนเปื้อนของโลหะหนักต่างๆ สำหรับประเทศออสเตรียนั้นได้กำหนดปริมาณของโลหะหนักในปุ๋ยหมักที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเกษตรทั่วไปดังนี้ โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ไม่เกิน 70, 60, 150, 500, 1, 0.7, 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในบางประเทศได้กำหนดปริมาณของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในปุ๋ยเช่นเดียวกับประเทศไทย เช่น ประเทศเบลเยียม ได้กำหนดปริมาณของกรวดที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตรนั้นจะต้องมีปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยกรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2551 และมาตรฐานปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน

สมบัติของปุ๋ย	เกณฑ์กำหนด โดยกรมวิชาการเกษตร	เกณฑ์กำหนด โดยกรมพัฒนาที่ดิน
ขนาดของปุ๋ย(มิลลิเมตร)	ไม่เกิน 12.5 x 12.5	ไม่เกิน12.5x12.5
ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 30
อินทรียวัตถุ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 20	25-50
pH	5.5-8.5	5.5-8.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20:1	ไม่เกิน 20:1
ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 3.5
ธาตุอาหารหลัก (% โดยน้ำหนัก)		
- ไนโตรเจน (%total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0	ไม่ต่ำกว่า 1.0
- ฟอสฟอรัส (%total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่ต่ำกว่า 0.5
- โพแทสเซียม (%total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่ต่ำกว่า 0.5
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (% โดยน้ำหนัก)	มากกว่า 80	-
เกลือ (NaCl) (% โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 1	-
กรวดขนาด 5 มิลลิเมตรขึ้นไป (% โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 2	ไม่เกิน 10
สารหนู (มก./กก.)	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50
แคดเมียม (มก./กก.)	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5
โครเมียม (มก./กก.)	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 300
ทองแดง (มก./กก.)	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500
ตะกั่ว (มก./กก.)	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500
ปรอท (มก./กก.)	ไม่เกิน 2	ไม่เกิน 2

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2551); กรมพัฒนาที่ดิน (2554)

3. วัตถุประสงค์

3.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบ และการปลดปล่อยของธาตุอาหารพืชของเศษหอมแดง และวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก

3.2 เพื่อศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 สามารถผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดงร่วมกับกระดูกโคเผาป่น และมูลแพะให้มีคุณภาพ

4.2 สามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะจากเศษหอมแดง และกระดูกโคได้

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ

1.1 เศษหอมแดง
1.2 มูลแพะ
1.3 กระดูกโคเผาป่น
1.4 หินฟอสเฟต
1.5 สารเร่งซุปเปอร์พด.1
1.6 ดินชุดคอหงส์
1.7 เมล็ดพันธ์ผักกาดกวางตุ้ง

2. สารเคมี

2.1 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid: H_2SO_4)
2.2 กรดซาลิไซไซลิก (Salicylic acid: $C_6H_4OHCOOH$)
2.3 กรดไนทริก (Nitric acid: HNO_3)
2.4 กรดบอริก (Boric acid: H_3BO_3)
2.5 กรดเพอร์คลอริก (Perchloric acid: $HClO_4$)
2.6 กรดอะซิติค (Acetic acid: CH_3COOH)
2.7 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: HCl)
2.8 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride: NaCl)
2.9 โซเดียมซาลิไซเลต (Sodium salicylate: $NaC_7H_5O_3$)
2.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH)
2.11 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต (Disodium hydrogen phosphate dehydrate: $Na_2HPO_4 \cdot 4H_2O$)
2.12 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dicromate: $K_2Cr_2O_7$)

2.13 เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate :$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)

2.14 เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator)

2.15 สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture)

2.16 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Standard cadmium: 100 µg L^{-1})

2.17 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Standard calcium: 1,000 mg L^{-1})

2.18 สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Standard chromium: 100 µg L^{-1})

2.19 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Standard lead: 10 mg L^{-1})

2.20 สารละลายมาตรฐานทองแดง(Standard copper: 100 mg L^{-1})

2.21 สารละลายมาตรฐานปรอท (Standard mercury: 10 mg L^{-1})

2.22 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Standard potassium: 1,000 mg L^{-1})

2.23 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard phosphorus: 1,000 mg L^{-1})

2.24 สารละลายมาตรฐานแมงกานีส(Standard manganese: 100 mg L^{-1})

2.25 สารละลายมาตรฐานสังกะสี(Standard zinc: 100 mg L^{-1})

2.26 สารละลายมาตรฐานสารหนู (Standard arsenic: 10 mg L^{-1})

2.27 สารละลายมาตรฐานเหล็ก (Standard iron: 100 mg L^{-1})

2.28 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

2.29 แอมโมเนียมเมทาวาเนเดต (Ammonium metavanadate: NH_4VO_3)

2.30 แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate: $(NH_4)_6MO_7O_{24} .4H_2$)

3. อุปกรณ์

3.1 เตาให้ความร้อน (Hot plate)

3.2 เครื่องเฟลมโฟโทมิเตอร์ (Flame Photometer)

3.3 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)

3.4 เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง

3.5 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)

3.6 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (EC meter)

3.7 เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (Visible Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Genesy 20

3.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทโฟโทมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น ICE 3500

3.9 เครื่องอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ (Inductivily Coupled Plasma Emission Spectrometer)

3.10 เตาไมโครเวฟ (Microwave oven)

3.11 ตู้อบ (Hot air oven)

3.12 โถดูดความชื้น (Desicator)

3.13 เครื่องเขย่า (Shaker)

3.14 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier caliper)

3.15 จอบ

3.16 อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

4. วิธีการทดลอง

ศึกษาองค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังการบ่มดินร่วมกับวัสดุ และการนำเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด1. มาผลิตปุ๋ยหมัก ดังนี้

4.1ศึกษาองค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังการบ่มดินร่วมกับวัสดุ

4.1.1 ศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารพืชเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต

4.1.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

เศษหอมแดง ทำการเก็บตัวอย่างเศษหอมแดง 10 ครั้ง ครั้งละประมาณ 200 กรัม จากบริษัทที่มาส่งยังสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ ให้เป็นตัวแทนของทั้งหมด โดยเก็บให้ทั่วกองประมาณ 10 จุด นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้น นำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุอาหาร

กระดูกโคเผาป่น ทำการเก็บตัวอย่างกระดูกโคเผาป่นประมาณ 10 ครั้ง ครั้งละประมาณ 100 กรัม โดยในการเตรียมตัวอย่างนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างกระดูกโคสดจากฟาร์มสุรศักดิ์ ตำบลคลองแห อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จากนั้นนำกระดูกโคมาวางบนภาชนะที่เจาะ

รูไว้ แล้วนำไปเผาจนกระดูกมีประกายสีแดง แล้วนำมาบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรเก็บไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหาร และอีกส่วนหนึ่งเก็บไว้เพื่อนำไปหมักปุ๋ย

มูลแพะ ทำการเก็บตัวอย่างมูลแพะบริเวณคอกแพะ สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ ให้ทั่วบริเวณ ประมาณ 10 จุด จำนวน 10 ครั้ง ครั้งละประมาณ 200 กรัม จากนั้น นำมาผึ่งในที่ร่ม แล้วนำไปบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้น และองค์ประกอบของธาตุอาหาร

หินฟอสเฟต ทำการเก็บตัวอย่างหินฟอสเฟตโดยซื้อจากตัวแทนขาย โดยส่วนหนึ่งประมาณ 100 กรัมนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำไปร่อนผ่านตระแกรงขนาด 20 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหาร

4.1.1.2 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ นำวัสดุที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์สมบัติ โดยทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P_2O_5) โพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) แคลเซียมทั้งหมด (total Ca) แมกนีเซียมทั้งหมด (total Mg) และจุลธาตุประจุบวกทั้งหมด (total Fe, Mn, Zn, Cu) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังนี้

ไนโตรเจนทั้งหมด วิเคราะห์ไนโตรเจนในวัสดุด้วยวิธี Kjeldahl โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร และสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบ นำไปเติมด่าง และกลั่นหาแอมโมเนียมโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมไอออน จากนั้น ไทเทรตหาแอมโมเนียมในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเป็น, 2547)

ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ย่อยตัวอย่างวัสดุด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3 : $HClO_4$; 3:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียมด้วยวิธี Atomic Emission Spectrophotometry วิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (จำเป็น, 2547)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ วิเคราะห์กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟต ใช้หลักการคือฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับผลรวมของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำและฟอสฟอรัสที่ละลายในแอมโมเนียมซิเทรตพีเอช 7ทำการวิเคราะห์โดยสกัดตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมซิเทรตกรอง และนำส่วนที่ไม่ละลายไปย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลอริก (1:1) และนำไปทำให้เกิดสีด้วยวิธีVanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer จะได้ฟอสฟอรัสที่ไม่

ละลายในแอมโมเนียมซิเทรต ส่วนฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำวิเคราะห์โดยสกัดตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น กรอง และเอาส่วนของสารละลายไปทำให้เกิดสี แล้ววัดด้วยวิธีเดียวกับฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายในแอมโมเนียมซิเทรต (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

จุลธาตุทั้งหมด ย่อยตัวอย่างวัสดุด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3 : $HClO_4$; 3:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลธาตุทั้งหมดด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (จำเป็น, 2547)

4.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดินหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟต

4.1.2.1 การบ่มตัวอย่างดินวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบไปด้วย 5 ทรีตเมนต์ ใช้วัสดุหมัก 4 ชนิดคือ เศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต โดยนำชุดดินคอหงส์ (Coarse-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรปริมาณ 10 กรัม ผสมคลุกเคล้ากับวัสดุแต่ละชนิด 0.5 กรัม ดังนี้

ทรีตเมนต์ 1 : ใช้ดินเพียงอย่างเดียว

ทรีตเมนต์ 2 : ใช้ดินผสมคลุกเคล้าร่วมกับเศษหอมแดง

ทรีตเมนต์ 3 : ใช้ดินผสมคลุกเคล้าร่วมกับมูลแพะ

ทรีตเมนต์ 4 : ใช้ดินผสมคลุกเคล้าร่วมกับกระดูกโคเผาป่น

ทรีตเมนต์ 5 : ใช้ดินผสมคลุกเคล้าร่วมกับหินฟอสเฟต

ทรีตเมนต์ 6 : ใช้ดินผสมคลุกเคล้าร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น

ทุกทรีตเมนต์จะประกอบไปด้วย 3 ซ้ำ โดยบรรจุดินในหลอดเหวี่ยงพลาสติก จากนั้นให้น้ำที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นสนาม ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 7 วัน เพื่อตรวจสอบความชื้นที่สูญเสียไป หากน้ำหนักของตัวอย่างลดลงเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับน้ำหนักให้คงระดับเดิมเพื่อรักษาความชื้น แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติของดินทุก 15 วัน

4.1.2.2 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

พีเอช (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) จะทำการวัดโดยใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1 : 5 สำหรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินวัดด้วย pH meter และค่าการนำไฟฟ้าวัดด้วย Electrical conductivity meter (จำเป็น, 2547)

ไนโตรเจนที่สกัดได้ (extraction N) สกัดตัวอย่างด้วยวิธี 2 M Potassium Choride Extraction จากนั้นนำไปเติมด่าง และกลั่นหาแอมโมเนียมโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับ

แก๊สแอมโมเนีย หลังจากนั้นเติมดีวาร์ดาอัลลอยเพื่อรีดิวส์ไนเทรตให้เป็นแอมโมเนียมแล้วกลั่นหาแอมโมเนียม (จำเป็น, 2547)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ทำการโดยสกัดตัวอย่างด้วยวิธี Mehlich No.3(0.2 M CH_3COOH + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.015 M NH_4F + 0.013 M HNO_3 + 0.001 MEDTA) จากนั้นนำไปทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบดินัมบลู และวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer

โพแทสเซียมที่สกัดได้ (extraction K)แคลเซียมที่สกัดได้ (extraction Ca) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (extraction Mg)ทำการวิเคราะห์โดยสกัดตัวอย่างด้วยวิธี Mehlich No.3 (0.2 M CH_3COOH + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.015 M NH_4F + 0.013 M HNO_3 + 0.001 M EDTA) โพแทสเซียมที่สกัดได้ วัดด้วยเครื่อง Flame Photometerแคลเซียมที่สกัดได้ และแมกนีเซียมที่สกัดได้ วัดด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer

4.2 การหมักปุ๋ยจากเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1

4.2.1 วิธีการหมักปุ๋ย วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)ประกอบไปด้วย 5 ทรีตเมนต์ ทำ 3 ซ้ำโดยนำวัสดุต่างๆ มากองให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 : เศษหอมแดงพืชอย่างเดียวในการหมัก

ทรีตเมนต์ที่ 2 : เศษหอมแดงหมักร่วมกับพด.1

ทรีตเมนต์ที่ 3 : เศษหอมแดงหมักร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟต

ทรีตเมนต์ที่ 4 : เศษหอมแดงหมักร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น

ทรีตเมนต์ที่ 5 : เศษหอมแดงหมักร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1

ทำการหมักปุ๋ยโดยใช้อัตราส่วนของวัสดุหมักดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยการนำวัสดุหมักแต่ละชนิดมาผสมคลุกเคล้ากันแล้วนำมากองให้มีขนาดของกองตามที่กำหนด สำหรับพด.1 นำมาผสมกับน้ำก่อนนำไปหมัก (พด.1 1ซอง/น้ำ 20 ลิตร) ในระหว่างการหมักควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วคลุมด้วยพลาสติกเพื่อรักษาความชื้น และทำการกลับกองทุก 7 วัน

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของวัสดุหมักในการหมัก

ทรีตเมนต์	อัตราส่วนวัสดุ				
	เศษหอมแดง (kg)	มูลแพะ (kg)	กระดูกโคเผาป่น (kg)	หินฟอสเฟต (kg)	พด.1 (ซอง)
1	500	-	-	-	-
2	500	-	-	-	1
3	500	100	-	10	-
4	500	100	10	-	-
5	500	100	10	-	1

4.2.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ย ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแต่ละทรีตเมนต์ โดยสมบัติทางกายภาพได้ทำการศึกษาความชื้น และอุณหภูมิ การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ย สมบัติทางเคมีทำการศึกษาค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ (organic carbon และ organic matter) ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) โพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) แคลเซียมทั้งหมด (total Ca) แมกนีเซียมทั้งหมด (total Mg) และโลหะหนักทั้งหมดประกอบไปด้วย แคดเมียม โครเมียม สารหนู ตะกั่ว และปรอท (total Cd, Cr, As, Pb, Hg)

4.2.2.1 การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากกองปุ๋ย โดยสุ่มเก็บกองละ 10 จุด ประมาณ 200 กรัมต่อกอง นำตัวอย่างแต่ละกองทั้ง 10 จุดมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและอีกส่วนนำไปผึ่งในที่ร่ม จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

4.2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

อุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เสียบลงไปในกองปุ๋ยหมักให้ลึกประมาณ 30 เซนติเมตรประมาณ 10 จุด โดยทำการวัดทุก 5 วัน ในช่วงเวลาเดียวกัน

ความชื้น โดยวิธีอบ โดยชั่งตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่บด 5 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักปุ๋ยก่อนและหลังอบและคำนวณหาความชื้น (กรมวิชาการเกษตร, 2551) โดยจะทำการศึกษาทุก 15 วัน

การย่อยสลายสมบูรณ์ โดยวิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด สกัดตัวอย่างปุ๋ยด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนปุ๋ย : น้ำ เท่ากับ 1: 10 เขย่า 180ครั้งต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง กรองสารละลายเพาะผักกาดกวางตุ้ง 10 เมล็ดกับน้ำสกัดตัวอย่าง 3 มิลลิลิตรเปรียบเทียบกับการเพาะด้วยน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียสนาน 48 ชั่วโมง วัดความยาวรากเมล็ดที่งอก และเปอร์เซ็นต์การงอก

ของเมล็ด แล้วนำไปคำนวณดัชนีการงอก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาเมื่อครบระยะเวลาการหมักปุ๋ย

4.2.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี นำตัวอย่างที่ผ่านการบดและร่อนแล้วมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีซึ่งวิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ดังนี้

พีเอช ใช้ปุ๋ยต่อน้ำในอัตราส่วน 1:10เขย่าตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้ววัดด้วย pH meter (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

ค่าการนำไฟฟ้า ใช้ปุ๋ยต่อน้ำในอัตราส่วน 1:10เขย่าตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้ววัดด้วย Electrical conductivity meter (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

อินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ วิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วย $K_2Cr_2O_7$ ในกรดกำมะถันเข้มข้น ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ได้ 77 เปอร์เซ็นต์ แล้ววิเคราะห์ไดโครเมตที่เหลือด้วยการไทเทรตกับสารละลาย Fe^{2+} โดยใช้ 1-10 phenanthroline เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณปริมาณอินทรียวัตถุ โดยหลักการที่ว่า ในอินทรียวัตถุประกอบด้วยคาร์บอน 58 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

ไนโตรเจนทั้งหมด ใช้วิธีวิเคราะห์ของ Kjeldahl ย่อยตัวอย่างโดยการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบ จากนั้น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้เป็นด่าง นำไปกลั่นดักจับแก๊สแอมโมเนียมด้วยกรดบอริก ทำการไทเทรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยสารละลายกรดเกลือแล้วนำปริมาณกรดเกลือที่ใช้ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คำนวณจาก C:N ratio = OC (%) / total N (%) (กรมวิชาการเกษตร, 2551)ทำการศึกษาทุก 15 วัน

ฟอสฟอรัสทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3 : $HClO_4$; 1:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551)ทำการศึกษาทุก 15 วัน

โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3 : $HClO_4$; 1:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยวิธี Atomic Emission Spectrophotometry วิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (กรมวิชาการเกษตร, 2551 ; จำเป็น, 2547) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริค (HNO_3 : $HClO_4$; 1:1) วิเคราะห์เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (กรมวิชาการเกษตร, 2551 ; จำเป็น, 2547) ทำการศึกษาทุก 15 วัน

แคดเมียม โครเมียม ปรอท และสารหนูทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดเข้มข้นด้วย Microwave oven และวัดด้วย Inductivily Coupled Plasma Emission Spectrometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ทำการศึกษาเมื่อครบระยะเวลาการหมัก

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของข้อมูล ค่าความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี One way ANOVA

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ทำการทดลองโดยการนำเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต มาวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ แล้วบ่มร่วมกับดินเพื่อใช้วัสดุเป็นแหล่งธาตุอาหารต่างๆ จากนั้นนำวัสดุแต่ละชนิดไปผลิตปุ๋ยหมักได้ผล ดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต และ การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังการบ่มวัสดุร่วมกับดิน

1.1 สมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุ

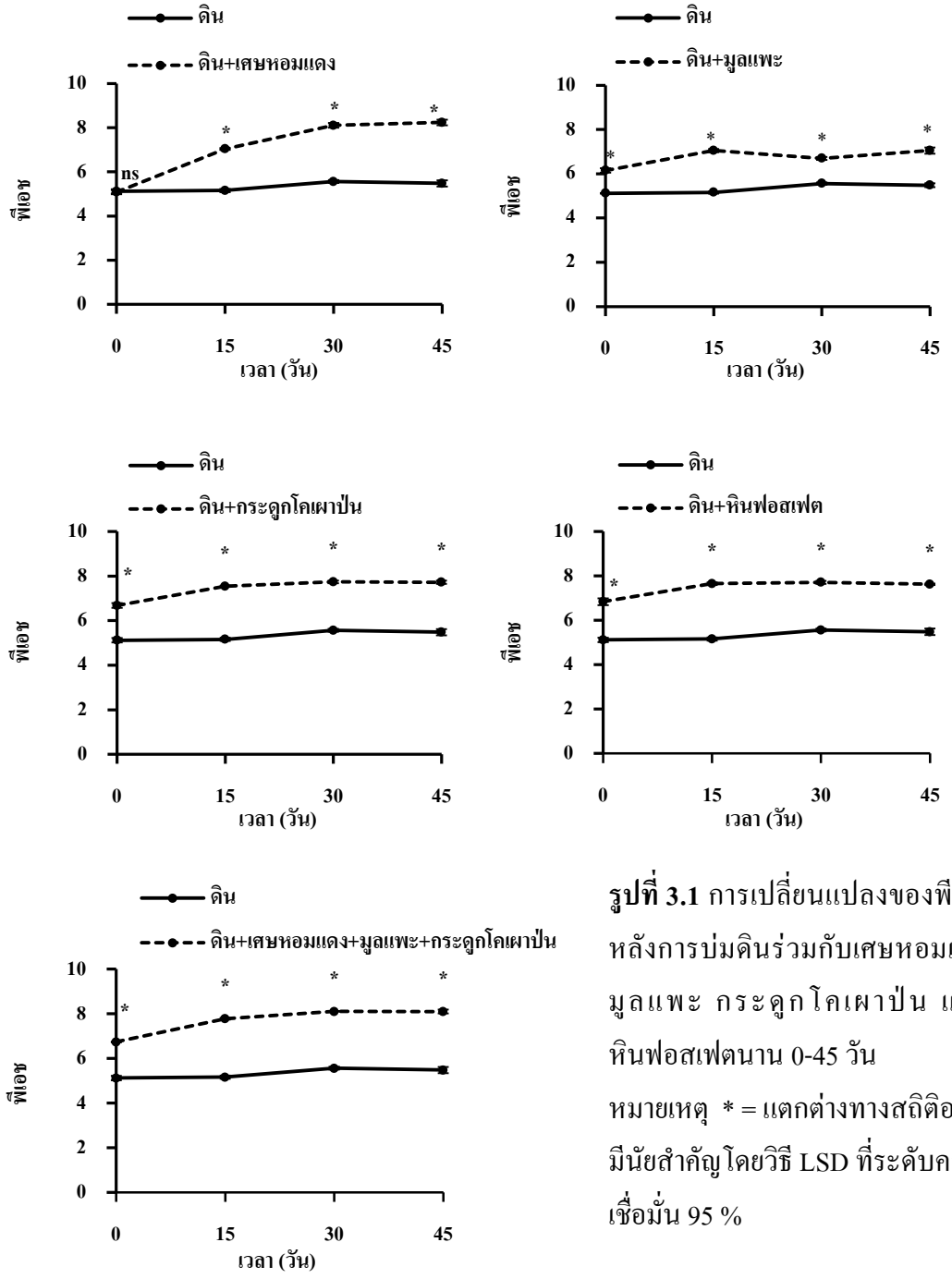
เศษหอมแดงมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) เป็นองค์ประกอบสูงสุด คือ 4.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ มูลแพะ (2.58 %) กระดูกโคเผาป่น (0.39 %) และหินฟอสเฟต (0.32 %) สำหรับมูลแพะมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 1.94 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต มี 1.28, 1.29 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ในมูลแพะยังมีแมกนีเซียมทั้งหมดสูงที่สุดอีกด้วย คือ 0.64 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กระดูกโคเผาป่น (0.55 %) เศษหอมแดง (0.49 %) และหินฟอสเฟต (0.11 %) กระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) สูงมาก คือ 34.51 เปอร์เซ็นต์ และในกระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) สูงถึง 17.53 เปอร์เซ็นต์ หินฟอสเฟตมีแคลเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 39.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากระดูกโคเผาป่น (33.69 %) เศษหอมแดง (3.28 %) และมูลแพะ (1.77 %) ส่วนปริมาณจุลธาตุพบว่า เศษหอมแดงมีปริมาณของเหล็กและแมงกานีสทั้งหมด 951 และ 76.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มูลแพะมีเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสทั้งหมด 506, 92 และ 105.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และกระดูกโคเผาป่นมีสังกะสีทั้งหมด 124 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หินฟอสเฟตมีเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานิสเท่ากับ 10,375, 98, 554 และ 279 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบธาตุอาหารของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต

องค์ประกอบธาตุอาหาร		วัสดุ			
		เศษหอมแดง	มูลแพะ	กระดูกโคเผาป่น	หินฟอสเฟต
Total N	ต่ำสุด-สูงสุด	0.86-1.95	1.58-2.37	0.84-1.70	0.03-0.05
(%)	เฉลี่ย (S.D.)	1.28 (3.10)	1.94 (2.46)	1.29 (2.65)	0.04 (0.78)
Total P	ต่ำสุด-สูงสุด	0.15-0.46	0.74-1.32	32.57-38.25	4.03-4.41
(% P_2O_5)	เฉลี่ย (S.D.)	0.26 (0.10)	1.00 (0.19)	34.51 (1.88)	4.29 (0.11)
Avail.P	ต่ำสุด-สูงสุด	-	-	15.09-18.98	0.67-1.12
(% P_2O_5)	เฉลี่ย (S.D.)	-	-	17.53 (1.87)	0.87 (0.16)
Total K	ต่ำสุด-สูงสุด	3.66-6.33	1.32-3.41	0.18-0.57	0.31-0.34
(% K_2O)	เฉลี่ย (S.D.)	4.70 (0.90)	2.58 (0.71)	0.39 (0.12)	0.32 (0.01)
Total Ca	ต่ำสุด-สูงสุด	2.91-3.78	1.41-2.21	27.71-39.88	38.14-41.89
(%)	เฉลี่ย (S.D.)	3.28 (0.45)	1.76 (0.28)	33.69 (3.94)	39.98 (1.39)
Total Mg	ต่ำสุด-สูงสุด	0.19-0.75	0.26-0.78	0.51-0.60	0.10-0.12
(%)	เฉลี่ย (S.D.)	0.49 (0.20)	0.64 (0.18)	0.55 (0.03)	0.11 (0.01)
Total Fe	ต่ำสุด-สูงสุด	732-1,269	408-631	119-194	10,185-10,491
(mg/kg)	เฉลี่ย (S.D.)	951 (230)	506 (89)	149 (27)	10,375 (116)
Total Cu	ต่ำสุด-สูงสุด	3-12	12-82	3-5	95-102
(mg/kg)	เฉลี่ย (S.D.)	7 (3)	28 (20)	4 (1)	98(3)
Total Zn	ต่ำสุด-สูงสุด	14-96	81-111	106-139	478-599
(mg/kg)	เฉลี่ย (S.D.)	35 (28)	92 (8)	124 (12)	554 (34)
Total Mn	ต่ำสุด-สูงสุด	36.6-111.3	89.2-142.3	0.5-1.0	264-294
(mg/kg)	เฉลี่ย (S.D.)	76.1 (26.48)	105.2 (14.98)	0.6 (0.41)	279 (9)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและการปลดปล่อยธาตุอาหารของวัสดุ

1.2.1 พีเอช เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น การบ่มดินกับวัสดุทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการบ่มพบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับเศษหอมแดงมีค่าพีเอชสูงสุด (pH 8.24) รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด (pH 8.10) บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (pH 7.72) บ่มร่วมกับหินฟอสเฟต (pH 7.61) และบ่มร่วมกับมูลแพะ (pH 7.05) ในขณะที่การบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีพีเอชเท่ากับ 5.48 (รูปที่ 3.1)

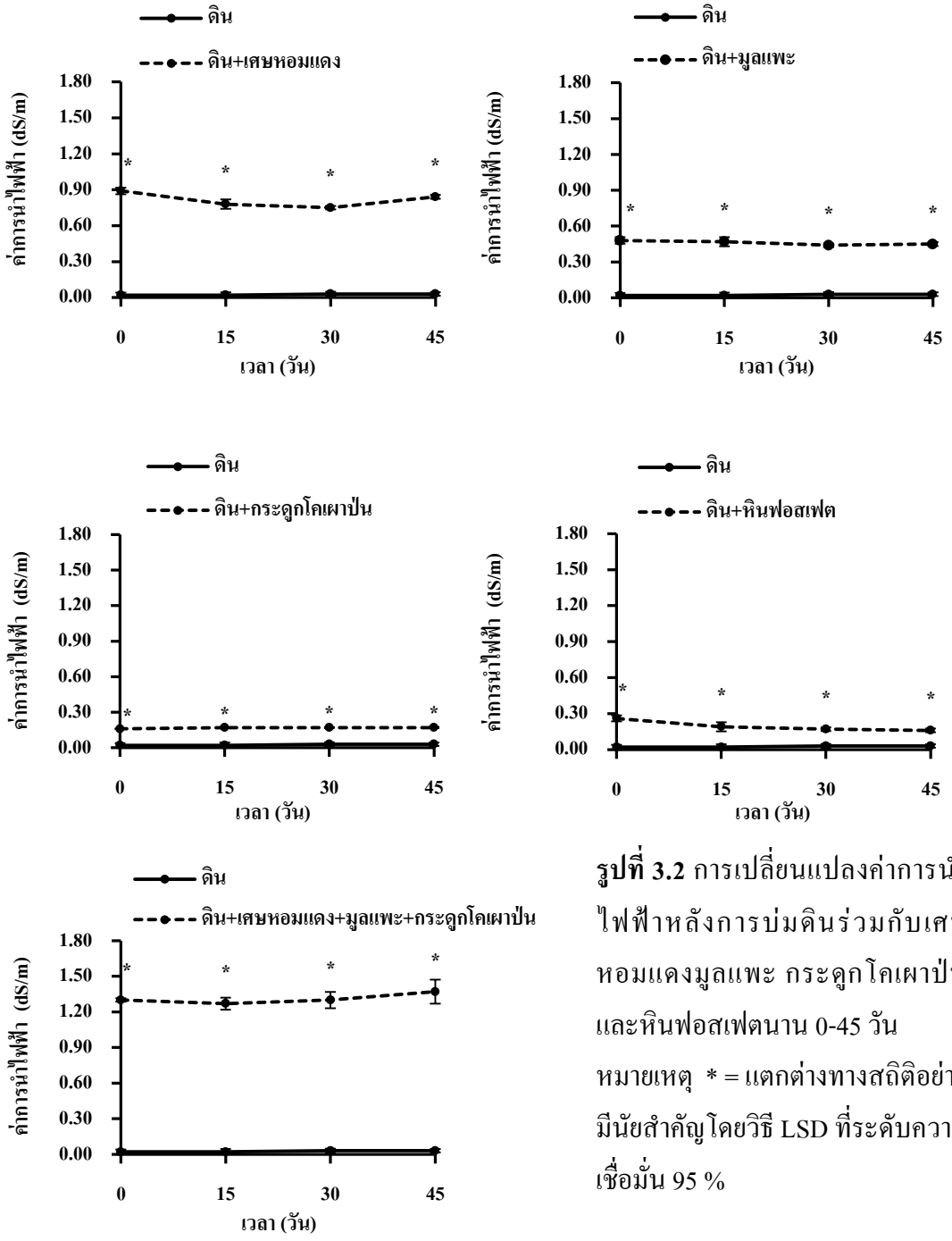


รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น การบ่มดินร่วมกับวัสดุทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการบ่มพบว่า ดินที่บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด คือ 1.37 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร รองลงมา คือ บ่มร่วมกับเศษหอมแดง (0.84 dS/m) บ่มร่วมกับมูลแพะ (0.45 dS/m) บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (0.19 dS/m)

บ่มร่วมกับหินฟอสเฟต (0.16 dS/m) แต่ทรีตเมนต์ที่บ่มดินเพียงอย่างเดียว มีค่าการนำไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการบ่มคือ 0.03 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรูปที่ 3.2

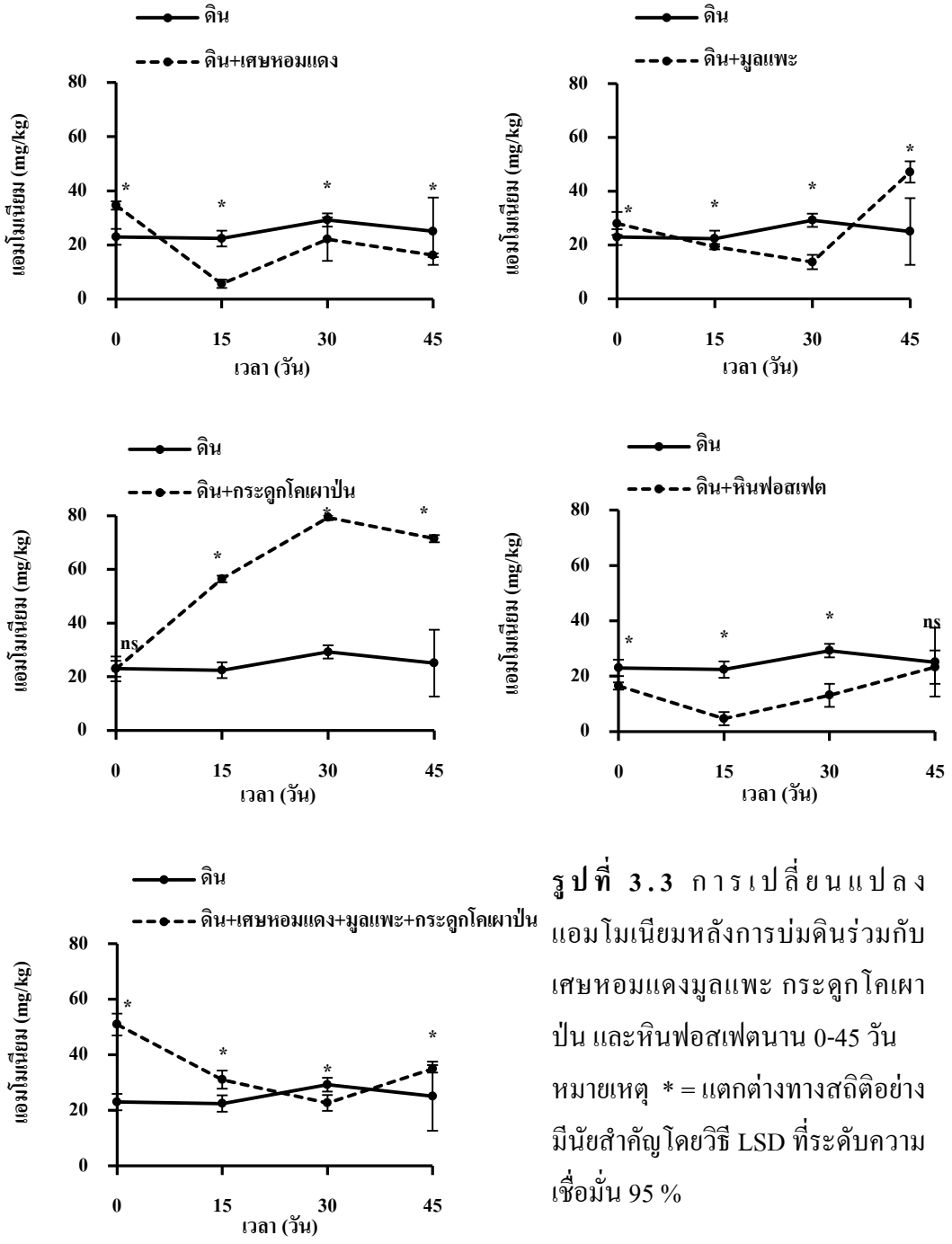


รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

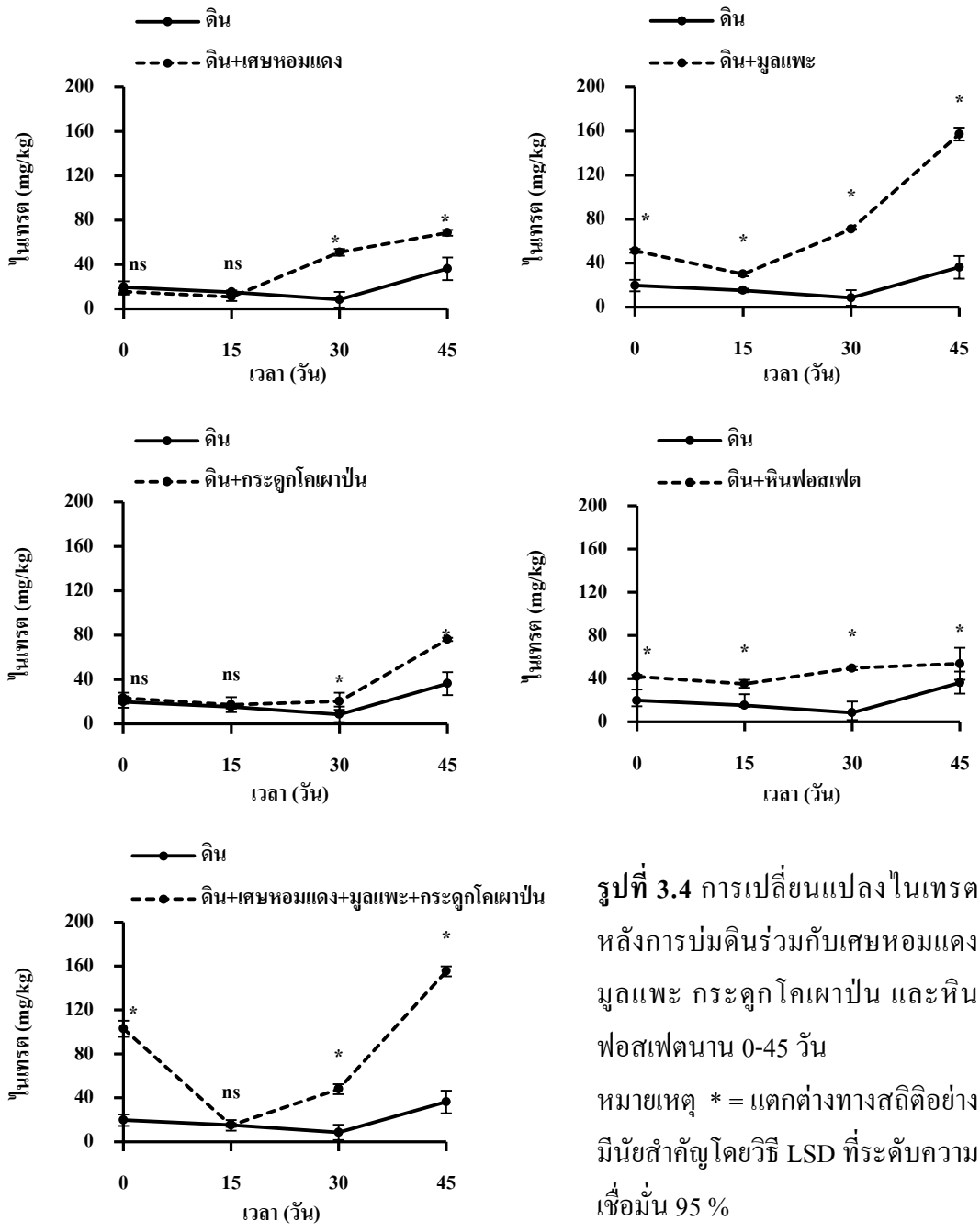
1.2.3 ไนโตรเจน ในช่วงแรกทุกทรีตเมนต์ ยกเว้นทรีตเมนต์ที่บ่มดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่นมีไนโตรเจนที่สกัดได้ทั้งในรูปของแอมโมเนียม และไนเทรตลดลงในช่วง 15 วันแรก และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้น เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการบ่มเมื่อพิจารณาผลรวมของไนโตรเจนทั้งในรูปแอมโมเนียม และไนเทรต พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับมูลแพะ มีปริมาณของไนโตรเจนที่สกัดได้สูงสุด คือ 207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอยู่ในรูปแอมโมเนียม 48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในรูปไนเทรต 159 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด (เศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น) คือ 188 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอยู่ในรูปแอมโมเนียม 33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไนเทรต 155 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มากกว่าการบ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (148 มก./กก.) ซึ่งอยู่ในรูปแอมโมเนียม 69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไนเทรต 79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มากกว่าบ่มร่วมกับเศษหอมแดง (79 มก./กก.) ที่อยู่ในรูปแอมโมเนียมและไนเทรต เท่ากับ 18 และ 61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมากกว่าบ่มร่วมกับหินฟอสเฟต มี 65.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอยู่ในรูปแอมโมเนียม 23.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอยู่ในรูปไนเทรต 42.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีไนโตรเจนทั้งหมด 61.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในรูปแอมโมเนียม และไนเทรต เท่ากับ 25.07 และ 36.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยทุกทรีตเมนต์เมื่อสิ้นสุดจะอยู่ในรูปของไนเทรตมากกว่าแอมโมเนียมดังรูปที่ 3.3-3.4

1.2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ หลังจากบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง 15 วันแรก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะลดลง และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 30 วันขึ้นไป เช่นเดียวกับทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับมูลแพะ บ่มดินร่วมกับหินฟอสเฟต และบ่มดินเพียงอย่างเดียว แต่ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่น และทรีตเมนต์ที่มีการบ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่บ่ม โดยเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการบ่ม ดินที่บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุดคือ คือ 2,390 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มากกว่าการบ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด (1,520 มก./กก.) บ่มร่วมกับมูลแพะ (25 มก./กก.) และบ่มร่วมกับเศษหอมแดง (12 มก./กก.) ส่วนบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 3.5)



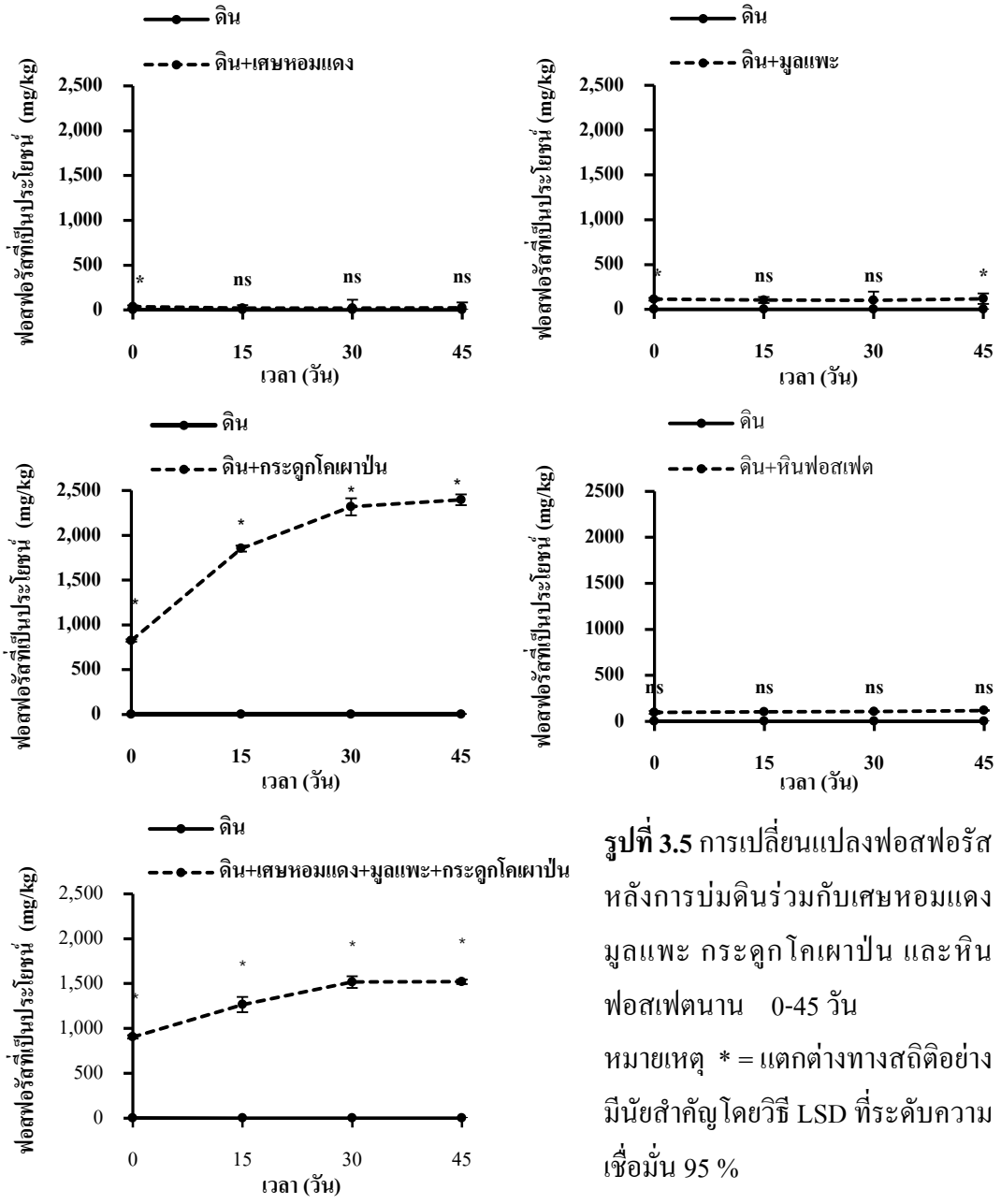
รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



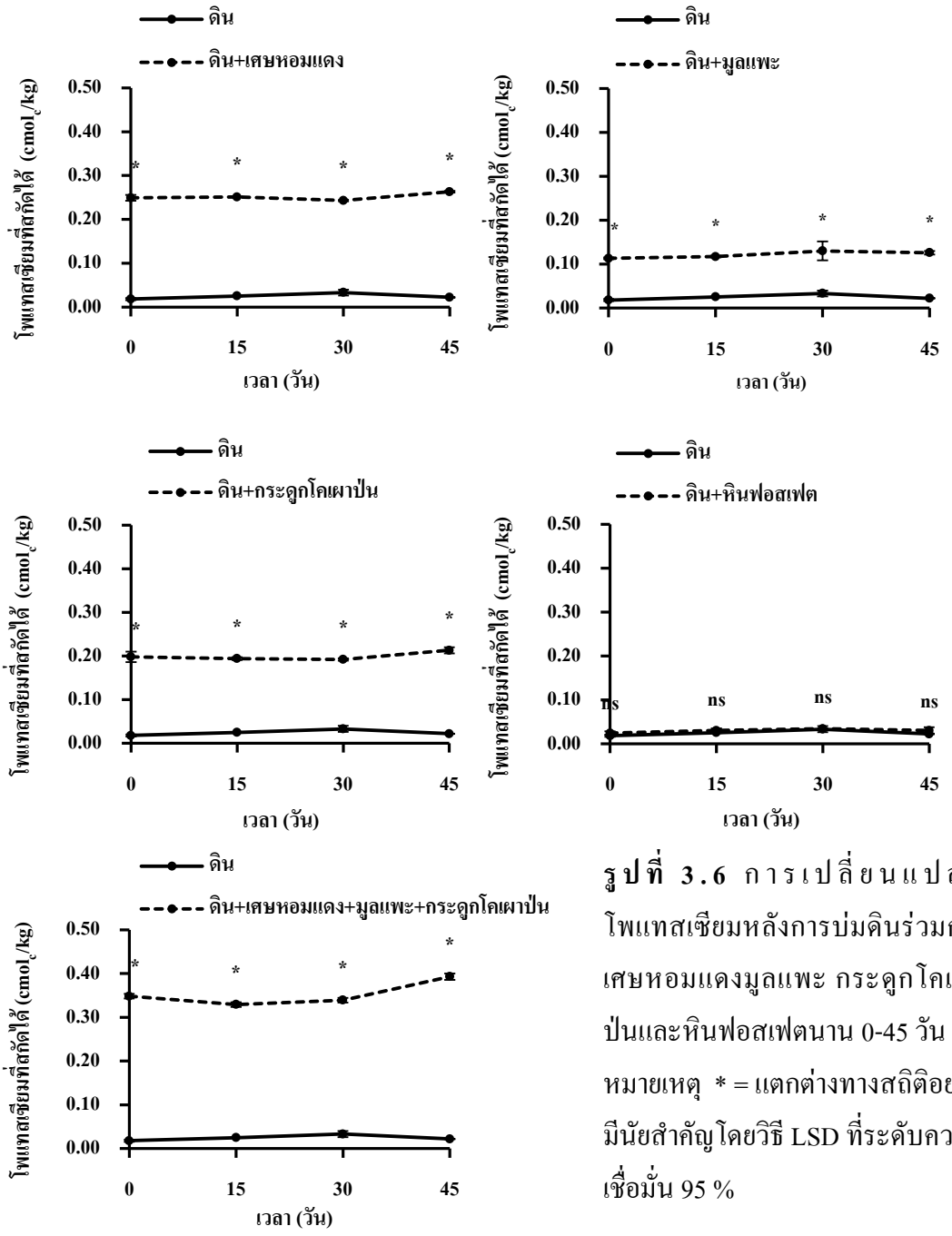
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงไนเทรตหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน
หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.2.5 โพแทสเซียมที่สกัดได้ เมื่อบ่มดินกับวัสดุแต่ละชนิดพบว่า ระยะเวลาเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อโพแทสเซียม เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการบ่ม ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณมากที่สุด คือ 0.39 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่มีการบ่มร่วมกับเศษหอมแดง (0.26 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (0.21 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับมูลแพะ (0.13 $cmol_c/kg$) และบ่มร่วมกับหินฟอสเฟต (0.03 $cmol_c/kg$) ส่วนการบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีโพแทสเซียมที่สกัดได้ 0.02 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับบ่มร่วมกับวัสดุแต่ละชนิด (รูปที่ 3.6)

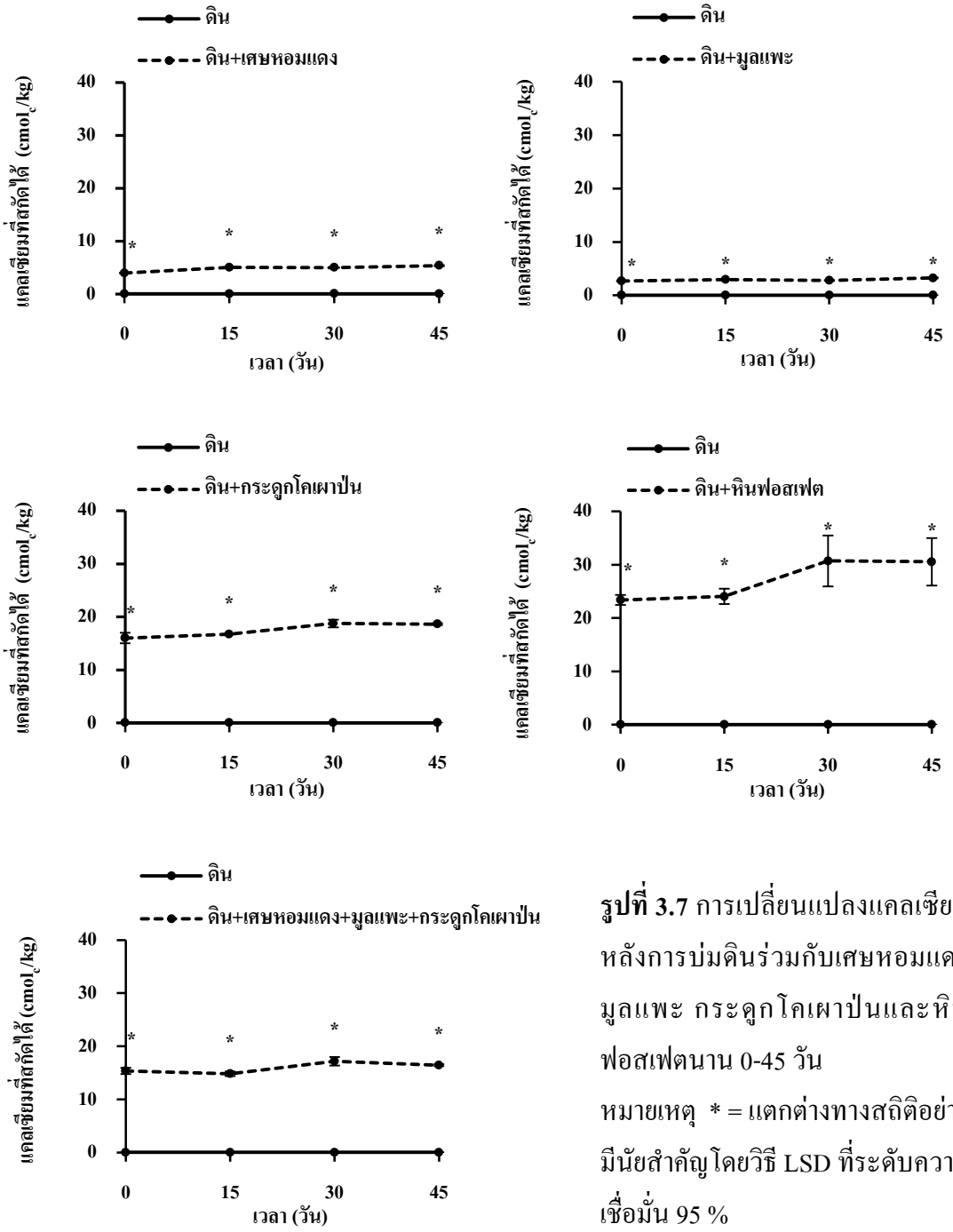


รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดงมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.2.6 แคลเซียมที่สกัดได้ เมื่อบ่มดินกับวัสดุแต่ละชนิดพบว่า ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลต่อแคลเซียมที่สกัดได้เล็กน้อย โดยทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับหินฟอสเฟตมีปริมาณมากที่สุดตลอดระยะเวลาการบ่ม เมื่อสิ้นสุดการบ่มมีแคลเซียมที่สกัดได้ 30.55 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ บ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (18.63 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด (16.44 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับเศษหอมแดง (5.38 $cmol_c/kg$) และบ่มร่วมกับมูลแพะ (3.26 $cmol_c/kg$)

การบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีเพียง 0.03 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการบ่มร่วมกับวัสดุแต่ละชนิด (รูปที่ 3.7)

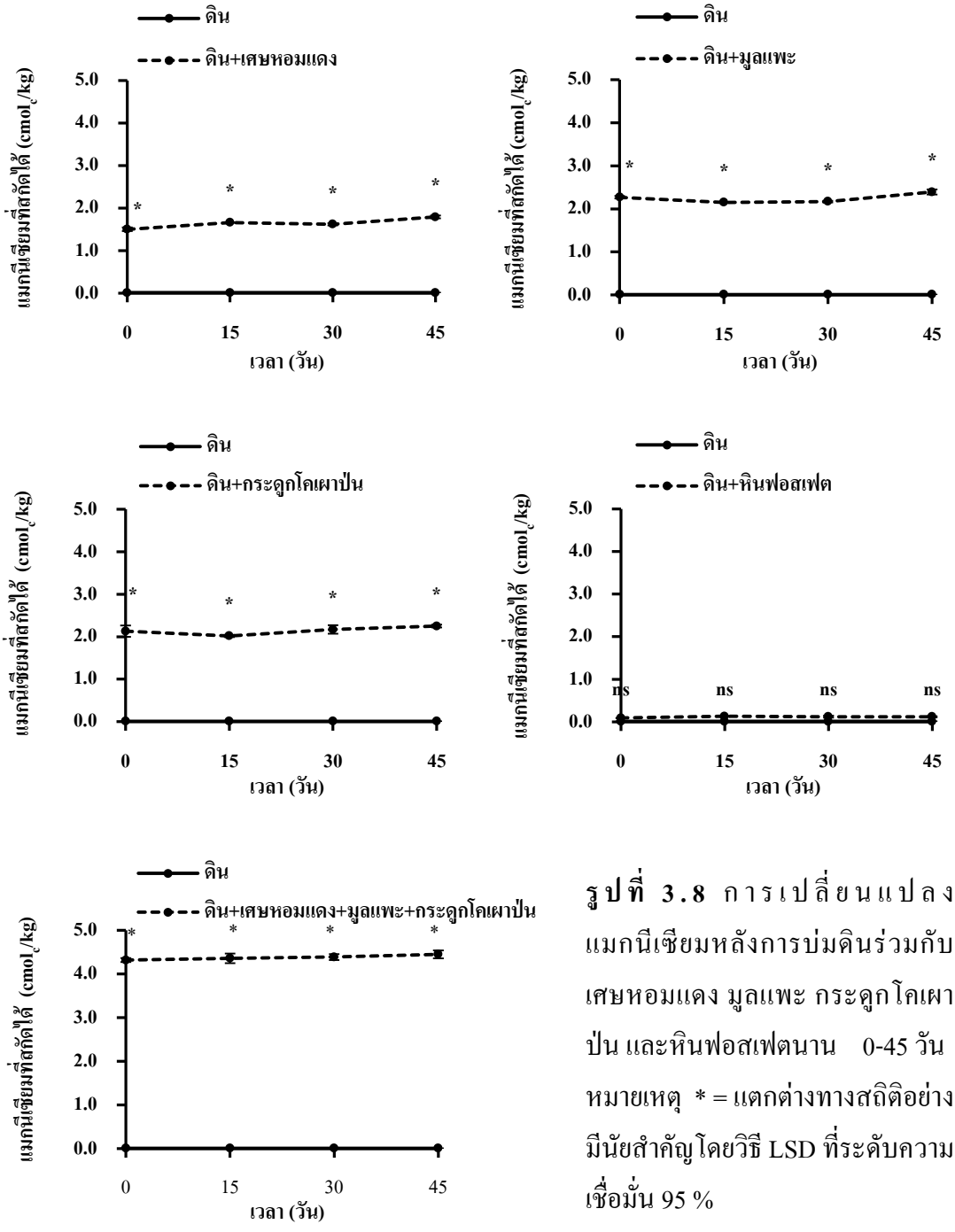


รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงแคลเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.2.7 แมกนีเซียมที่สกัดได้ เมื่อบ่มดินกับวัสดุแต่ละชนิดพบว่า ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลต่อแมกนีเซียมที่สกัดได้เล็กน้อย โดยทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณมากที่สุด

ตลอดระยะเวลาการบ่ม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีแมกนีเซียมที่สกัดได้ 4.65 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับมูลแพะ (2.49 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น (2.35 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับเศษหอมแดง (1.89 $cmol_c/kg$) บ่มร่วมกับหินฟอสเฟต (0.12 $cmol_c/kg$) ในขณะที่การบ่มดินเพียงอย่างเดียวมีเพียง 0.01 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการบ่มร่วมกับวัสดุแต่ละชนิด (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียมหลังการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟตนาน 0-45 วัน หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุต่างๆ เมื่อบ่มกับดิน

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุเมื่อเทียบกับปริมาณที่เติมลงไปดินพบว่า ไนโตรเจนในหินฟอสเฟตปลดปล่อยมากที่สุด คือ 34.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ มูลแพะ (16.12 %) กระดูกโคเผาป่น (14.77 %) และเศษหอมแดง (3.31 %) ฟอสฟอรัสในกระดูกโคเผาป่นปลดปล่อยมากที่สุด คือ 14.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เศษหอมแดง (8.89 %) มูลแพะ (5.06 %) และหินฟอสเฟต (0.01 %) ตามลำดับ โพแทสเซียมจากกระดูกโคเผาป่นปลดปล่อยมากที่สุดคือ 40.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เศษหอมแดง (4.15 %) มูลแพะ (3.51 %) และหินฟอสเฟต (2.50 %) ตามลำดับ แคลเซียมจากมูลแพะปลดปล่อยมากที่สุดคือ 70.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เศษหอมแดง (68.46 %) หินฟอสเฟต (29.83 %) และกระดูกโคเผาป่น (23.18 %) ตามลำดับ และแมกนีเซียมจากกระดูกโคเผาป่นปลดปล่อยได้มากที่สุด คือ 99.18 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มูลแพะ (99.05 %) เศษหอมแดง (97.69 %) และหินฟอสเฟต (23.79 %) ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุชนิดต่างๆ เมื่อบ่มกับดิน (%)

วัสดุ	ธาตุอาหาร				
	N	P	K	Ca	Mg
เศษหอมแดง	3.31	8.89	4.15	68.46	97.69
มูลแพะ	16.12	5.06	3.51	70.70	99.05
กระดูกโคเผาป่น	14.77	14.50	40.05	23.18	99.18
หินฟอสเฟต	34.63	0.01	2.50	29.83	23.79

2 การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1

2.1 สมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาการหมักปุ๋ย

จากการวิเคราะห์วัสดุ คือ เศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผา และหินฟอสเฟต พบว่าเศษหอมแดงมีอินทรียคาร์บอนเท่ากับ 35.59 เปอร์เซ็นต์ มูลแพะมี 33.17 เปอร์เซ็นต์ กระดูกโคเผาป่นมี 2.34 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหินฟอสเฟตมี 1.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไนโตรเจน มูลแพะมีปริมาณมากที่สุดคือ 2.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กระดูกโคเผาป่น (1.17 %) เศษหอมแดง (1.15 %) และหินฟอสเฟต (0.05%) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่าเศษหอมแดงมีค่าเท่ากับ 30.95 ส่วนมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต เท่ากับ 15.80, 2.00 และ 21.60 ตามลำดับ

กระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือ 35.44 เปอร์เซ็นต์ (P_2O_5) รองลงมา คือ หินฟอสเฟต มูลแพะ และเศษหอมแดง มีฟอสเฟตทั้งหมด 5.10, 1.21 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ (P_2O_5) ตามลำดับ ส่วนหินฟอสเฟตมีปริมาณของแคลเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 38.10 เปอร์เซ็นต์ มากกว่ากระดูกโคเผาป่น เศษหอมแดง และมูลแพะ (36.85, 2.63 และ 1.70 % ตามลำดับ) นอกจากนี้ ในหินฟอสเฟตยังมีจุลธาตุ คือ เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีสทั้งหมดมากที่สุด คือ 13,240, 93.96, 517.3 และ 287.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เศษหอมแดงมีเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เท่ากับ 1,968, 16.1, 35.5 และ 135.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มูลแพะมี 1,61 2, 30.8, 51.8 และ 227.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนกระดูกโคเผาป่นมี 146, 2.9, 66.6 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.3

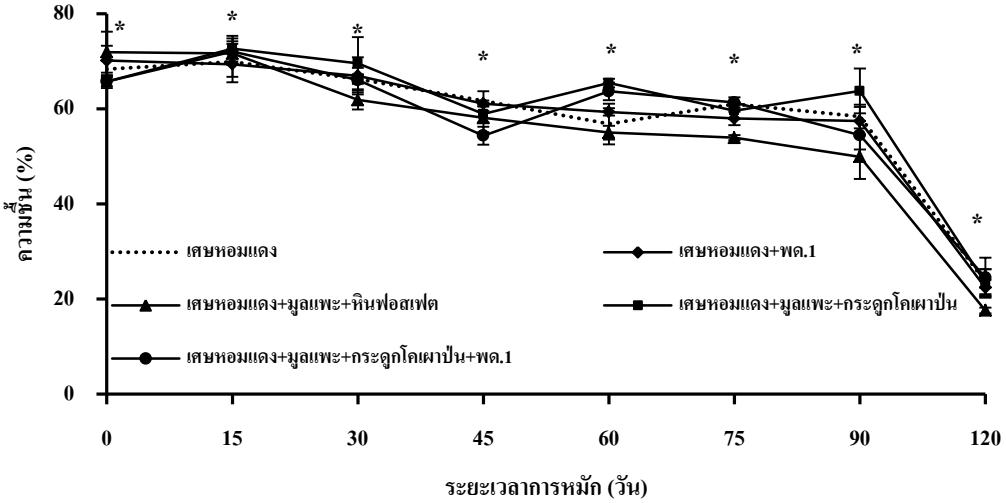
ตารางที่ 3.3 สมบัติทางเคมีของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต (ค่าเฉลี่ย ± S.D.)

องค์ประกอบธาตุอาหาร	วัสดุ			
	เศษหอมแดง	มูลแพะ	กระดูกโคเผาป่น	หินฟอสเฟต
Organic C (%)	35.59 (5.6)	33.17 (7)	2.34 (1.5)	1.08 (0.8)
Total N (%)	1.15 (2.1)	2.10 (1.5)	1.17 (2.5)	0.05 (0.5)
C/N ratio	30.95 (8)	15.80 (3)	2 (1.2)	21.6 (5.4)
Total P (% P_2O_5)	0.37 (0.1)	1.21 (0.1)	35.44 (2.2)	5.10 (0.25)
Total K (% K_2O)	4.12 (0.8)	2.33 (0.6)	0.1 (0.1)	0.08 (0.01)
Total Ca (%)	2.63 (0.5)	1.70 (0.2)	36.85 (5.3)	38.10 (3.39
Total Mg (%)	0.20 (5.2)	0.96 (0.2)	0.58 (0.04)	0.11 (0.01)
Total Fe (mg/kg)	1,968 (250)	1,612 (90)	146 (25)	13,240 (156)
Total Cu (mg/kg)	16.1 (2)	30.8 (18)	2.9 (0.7)	93.96 (5)
Total Zn (mg/kg)	35.5 (11)	51.8 (8)	66.6 (14)	517.3 (45)
Total Mn (mg/kg)	1,35.2 (20.5)	227.3 (54.3)	0.5 (0.24)	287.2 (9)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของกองปุ๋ยหมัก

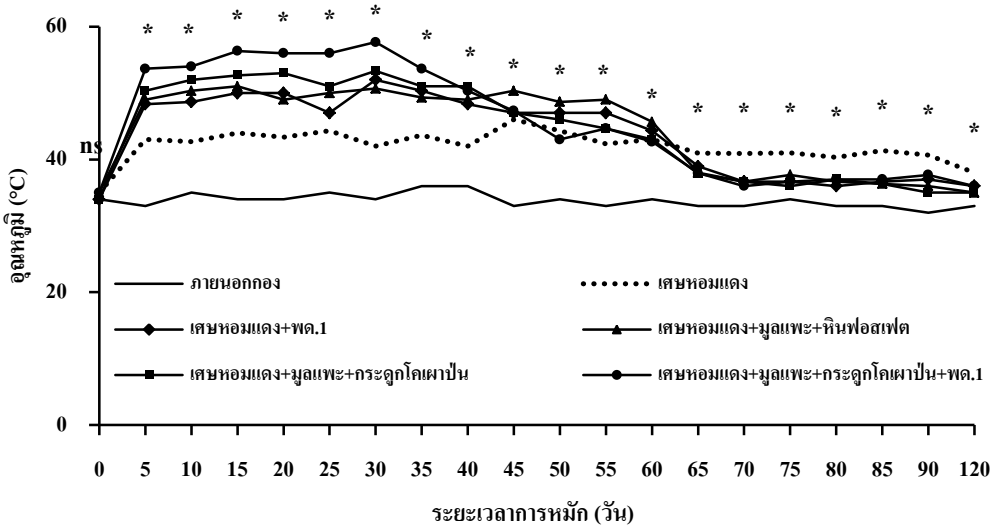
2.2.1 ความชื้น เมื่อเริ่มต้นการหมักมีความชื้น เท่ากับ 61-70 เปอร์เซ็นต์ การทดลองนี้ได้ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 60-70 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่ามีความชื้นอยู่ในช่วง 50-64 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยหมักที่ได้ทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีความชื้นมากกว่าค่ามาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ยที่กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงได้มีการทิ้งปุ๋ยไว้ 30 วัน

เพื่อลดความชื้นพบว่า ความชื้นจะลดลงเหลือดังนี้ เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 23.63 เปอร์เซ็นต์ เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 เท่ากับ 23.40 เปอร์เซ็นต์ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต เท่ากับ 17.60 เปอร์เซ็นต์ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น เท่ากับ 22.37 เปอร์เซ็นต์ และเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 เท่ากับ 24.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 3.9)



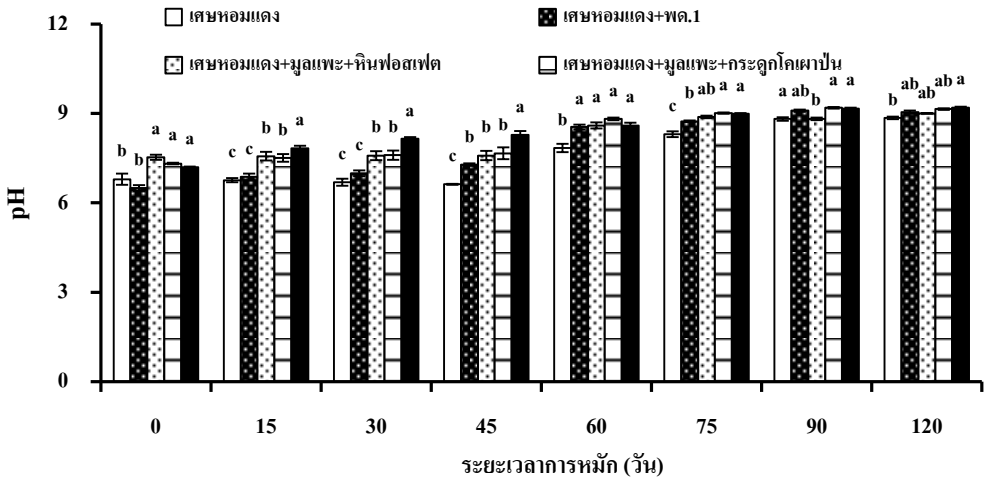
รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในกองปุ๋ยหมัก

2.2.2 อุณหภูมิ ในระยะเริ่มต้นอุณหภูมิของทุกทรีตเมนต์จะอยู่ในช่วง 34-35 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกอง คือ 34 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 5 วันแรก โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 ซึ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงที่สุด และสูงที่สุดจนถึง 30 วัน และหลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึง 70 วัน อุณหภูมิลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกอง แต่ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น อุณหภูมิใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลอง ในขณะที่หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 35-43 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงการหมัก และเมื่อครบ 120 วัน พบว่า อุณหภูมิเท่ากับ 40.7 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิภายนอกกองอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 3.10)



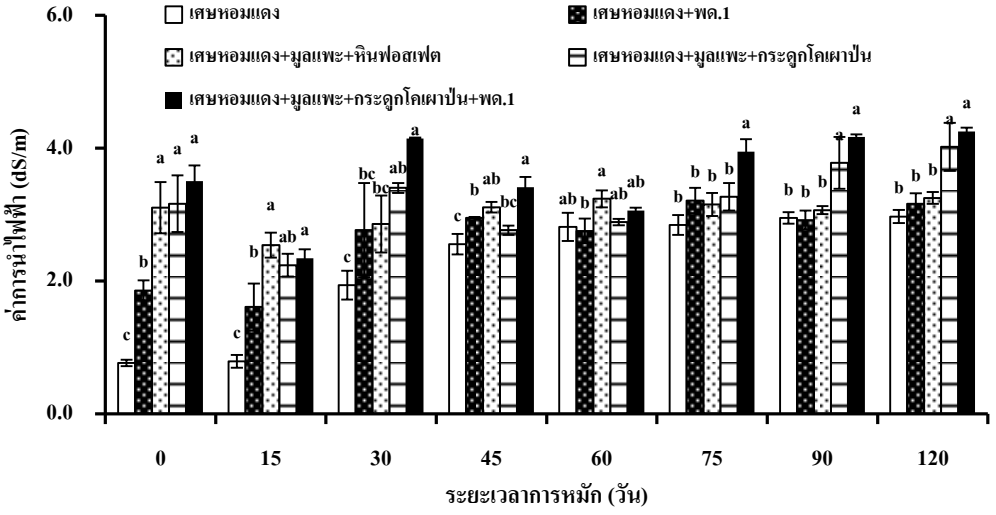
รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

2.2.3 พีเอช เริ่มต้นการหมักพีเอชของทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตสูงสุด คือ 7.53 รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (pH 7.32) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (pH 7.20) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (pH 6.79) และเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (pH 6.50) และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีพีเอชสูงสุด คือ 9.20 รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (pH 9.15) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (pH 9.05) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (pH 9.00) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (pH 8.85) ตามลำดับ (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในกองปุ๋ยหมัก

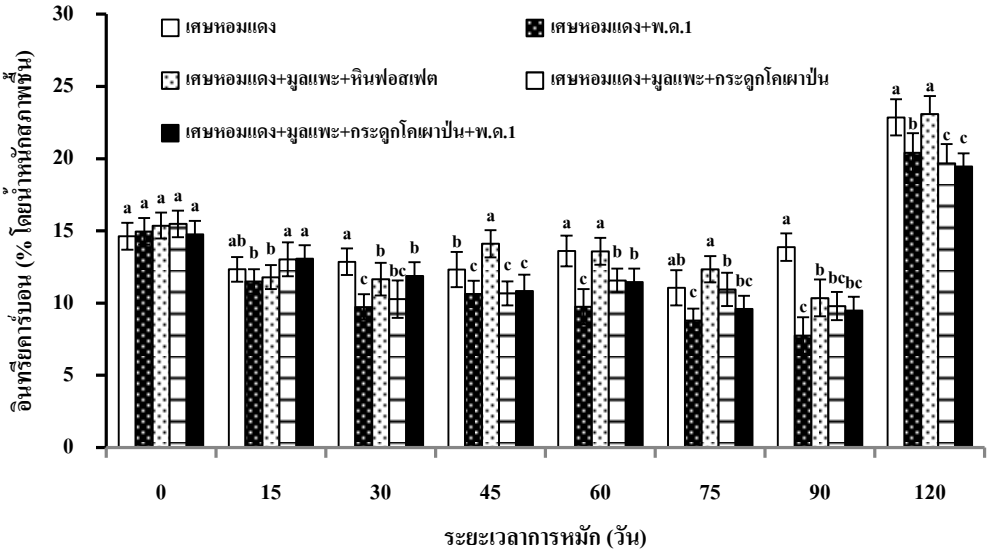
2.2.4 ค่าการนำไฟฟ้า เริ่มต้นการหมักทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีค่ามากที่สุด คือ 3.50 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (3.16 dS/m) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (3.10 dS/m) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (1.86 dS/m) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (0.76 dS/m) ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีค่าสูงสุด คือ 4.25 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (4.02 dS/m) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (3.25 dS/m) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (3.16 dS/m) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (2.97 dS/m) ตามลำดับ (รูปที่ 3.12)



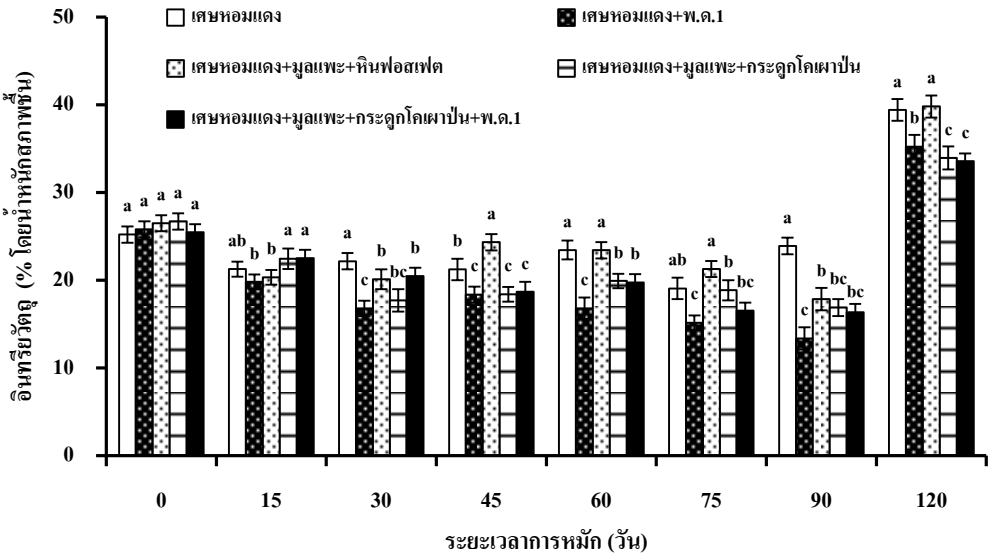
รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก

2.2.5 อินทรีย์คาร์บอน ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักอินทรีย์คาร์บอนของทุกทรีตเมนต์มีปริมาณใกล้เคียงกันดังนี้ หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 เท่ากับ 14.63, 14.97, 15.37, 15.49 และ 14.77 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ และจะค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาการหมักและครบเมื่อ 90 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนน้อยที่สุด คือ 7.76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับกระดูกโคเผาป่น มูลแพะ และพด.1 (9.48 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (9.80%) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (10.36 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (13.87 %) ตามลำดับ แต่เนื่องจากความชื้นของกองปุ๋ยเกินมาตรฐานที่กำหนดจึงวางทิ้งไว้ครบ 120 วัน พบว่า

ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนน้อยที่สุด คือ 19.47 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (19.69 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (20.42 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (22.86 %) เศษหอมแดงร่วมกับหินฟอสเฟตและมูลแพะ (23.09 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.13) ส่วนอินทรียวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับอินทรีย์คาร์บอน เมื่อครบ 120 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีปริมาณอินทรีวัตถุน้อยที่สุด รองลงมา คือ 33.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (33.94 %) เศษหอมแดงร่วมกับ พด.1 (35.21 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (39.41 %) เศษหอมแดงร่วมกับหินฟอสเฟตและมูลแพะ (39.81 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.14)

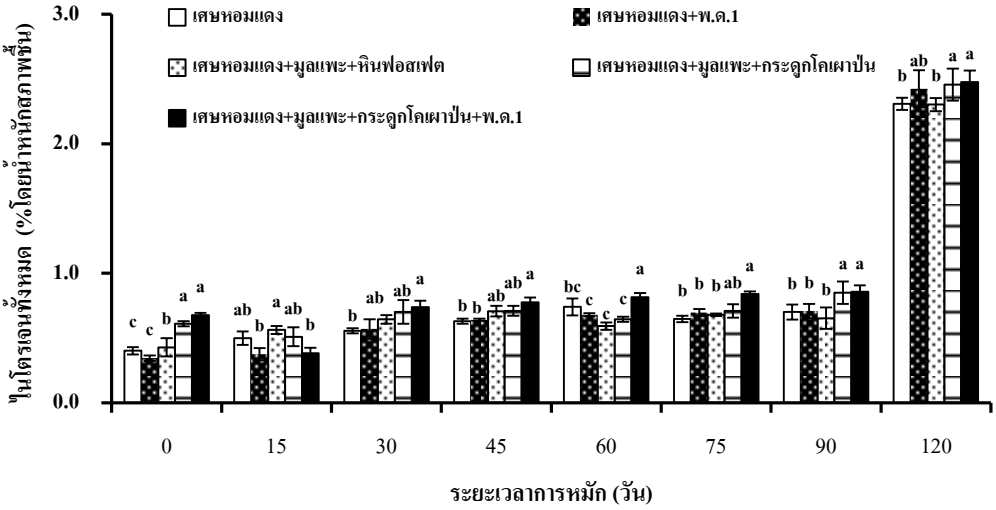


รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก



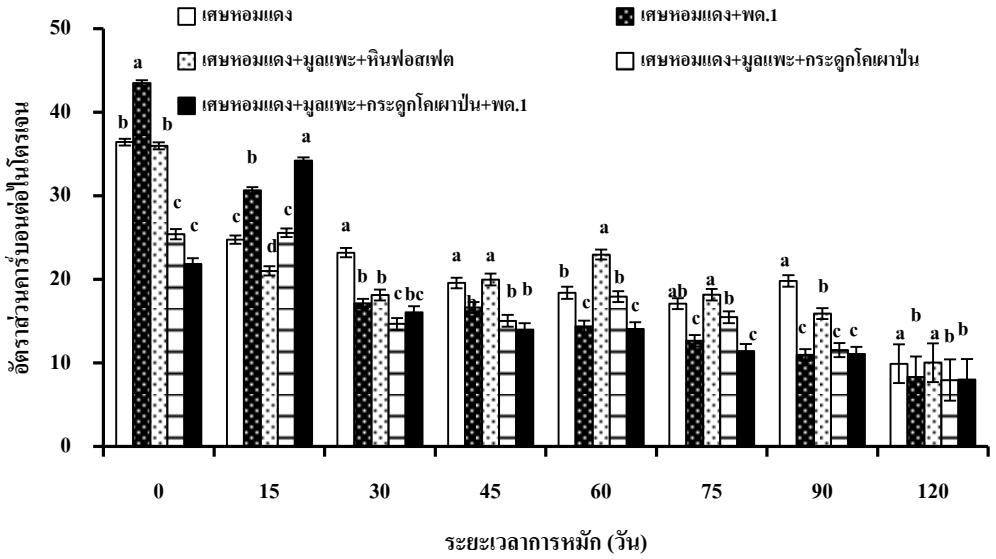
รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมัก

2.2.6 ไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักพบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด คือ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (0.61 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (0.43 %) เศษหอมแดงอย่างเดียว (0.40 %) และเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (0.34 %) ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 15 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 และ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น มีความเข้มข้นของไนโตรเจนลดลง แต่หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับทรีตเมนต์อื่นๆ จนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก 120 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 2.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (2.45 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (2.42 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (2.31 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (2.30 %) (รูปที่ 3.15)



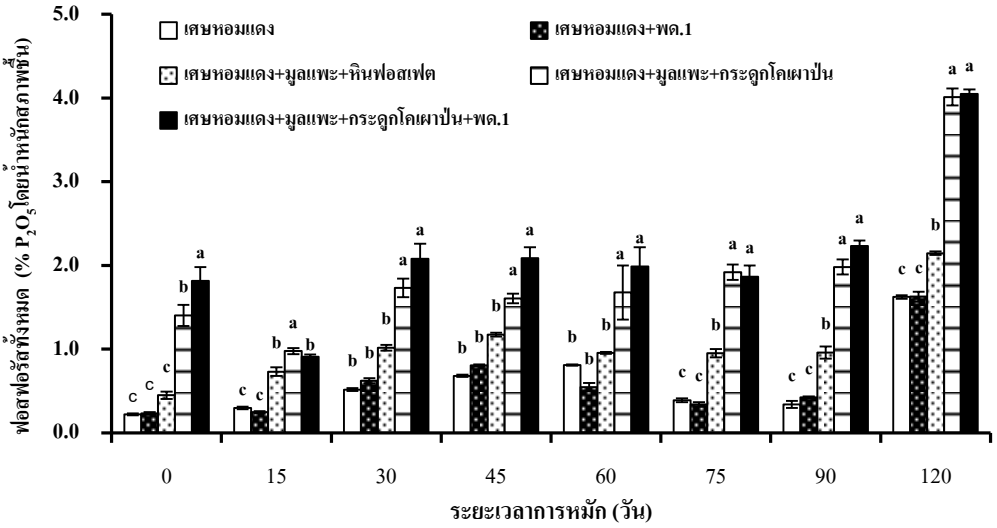
รูปที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เมื่อเริ่มต้นการหมักเศษหอมแดงร่วมกับ พด.1 มีมากที่สุด คือ 43.49 รองลงมา คือ เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (36.44) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (35.98) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (25.41) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (21.85) ในทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 ในช่วง 15 วันแรกนั้นจะเห็นว่า อัตราราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นแต่หลังจากนั้นจะลดลงตามระยะเวลาการหมัก เมื่อครบ 120 วัน พบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 น้อยที่สุด คือ 7.95 รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (8.00) เศษหอมแดงร่วมกับ พด.1 (8.31) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (9.90) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (10.03) (รูปที่ 3.16)



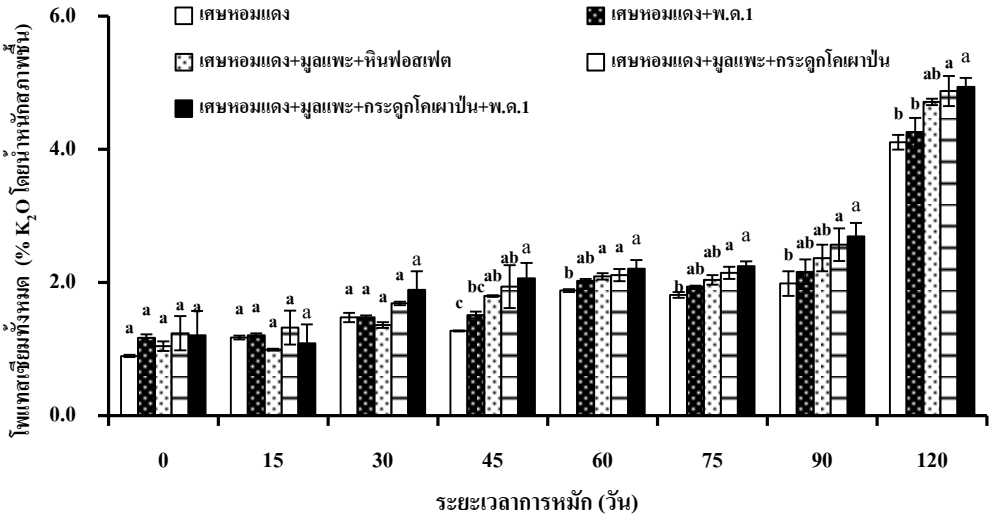
รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.8 ฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อเริ่มต้นการหมักพบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 1.81 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (1.40 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (0.45 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (0.23 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (0.22 %) ในช่วง 15 วันแรกทุกทรีตเมนต์จะลดลงและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจาก 30 วัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือ 4.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (4.01 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (2.15 %) เศษหอมแดงกับพด.1 (1.63 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (1.62 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.17)



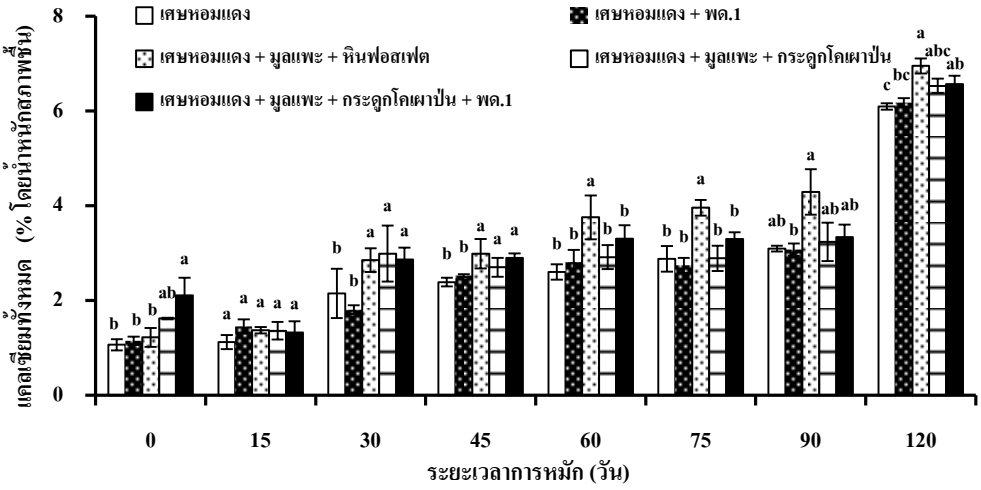
รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.9 โพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อเริ่มทำการหมักปุ๋ย ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่นมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 1.24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและ พด.1 (1.21 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (1.17 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (1.04 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (0.89 %) ตามลำดับ และจะเพิ่มขึ้นทุกทรีตเมนต์เมื่อเวลาหมักนานขึ้น เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 4.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (4.87 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (4.71%) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (4.26 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (4.10 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.18)



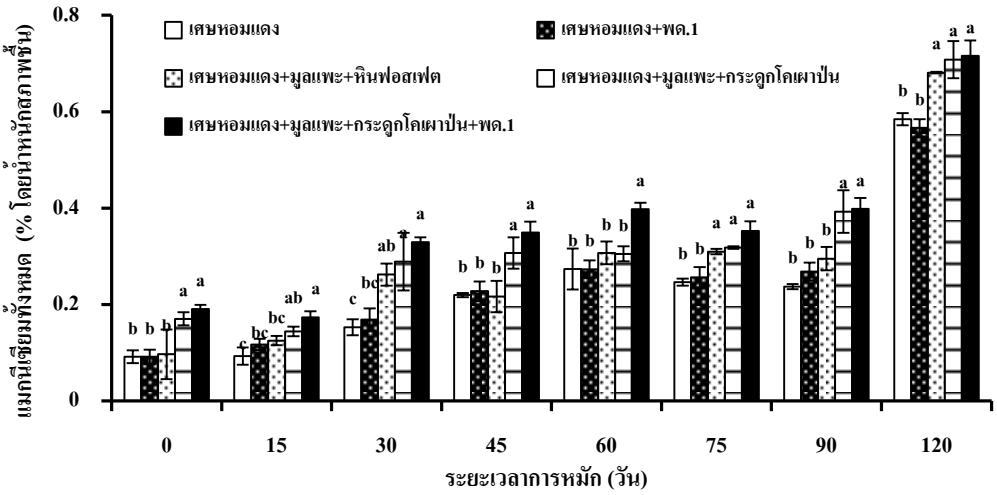
รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.10 แคลเซียมทั้งหมด เริ่มต้นการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 2.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (1.62 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (1.22 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (1.15 %) และ เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (1.07 %) ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 6.95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (6.57 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (6.53 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (6.17 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (6.10 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.19)



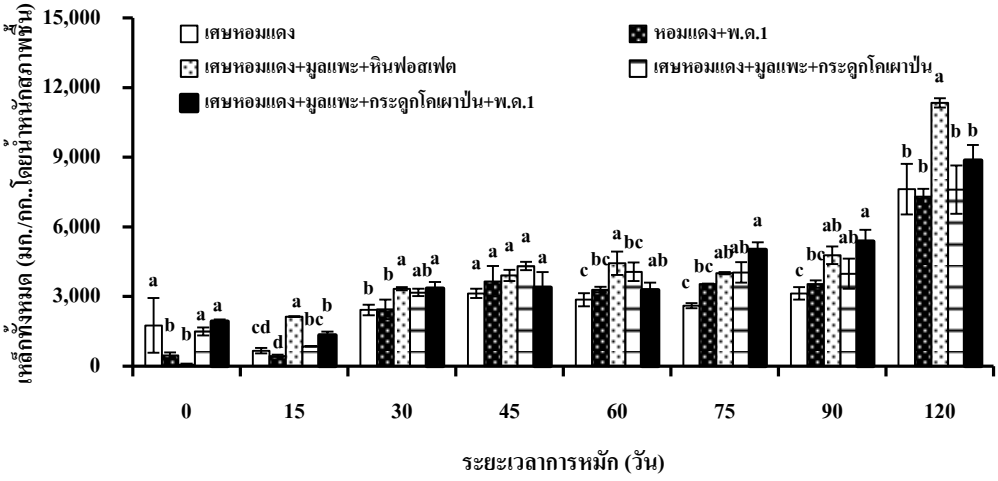
รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.11 แมกนีเซียมทั้งหมด เริ่มต้นการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งหมดมากที่สุด คือ 0.19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (0.17 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (0.10 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (0.09 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (0.09 %) ตามลำดับ โดยจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 0.72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (0.71 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (0.68 %) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (0.58 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (0.57 %) ตามลำดับ (รูปที่ 3.20)



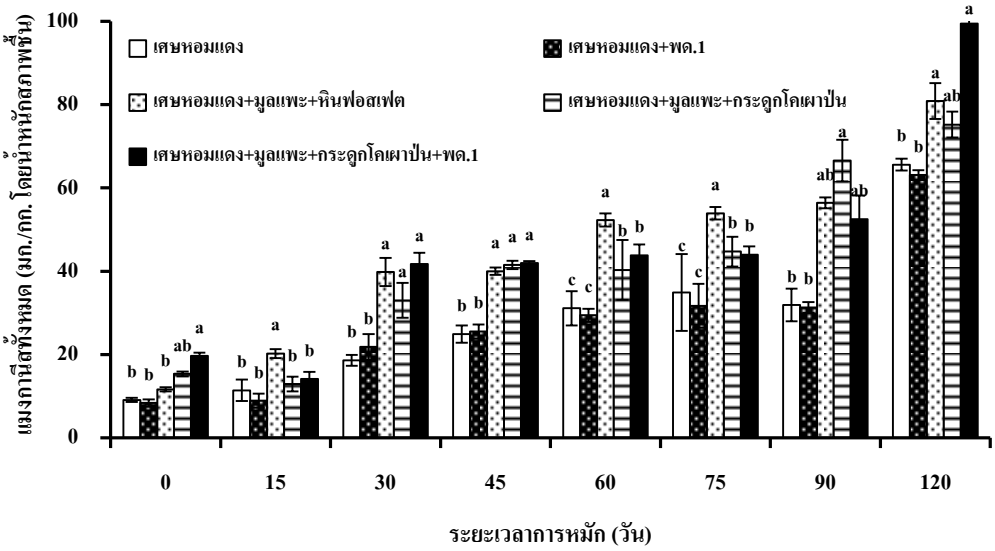
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.12 เหล็กทั้งหมด เริ่มต้นของการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 1,935 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (1,753 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (1,501 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (724 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (463 มก./กก.) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 11,344 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (8,864 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (7,606 มก./กก.) เศษหอมแดงกับพด.1 (7,626มก./กก.) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (7,307 มก./กก.) ตามลำดับ (รูปที่ 3.21)



รูปที่ 3.21 การเปลี่ยนแปลงของเหล็กทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

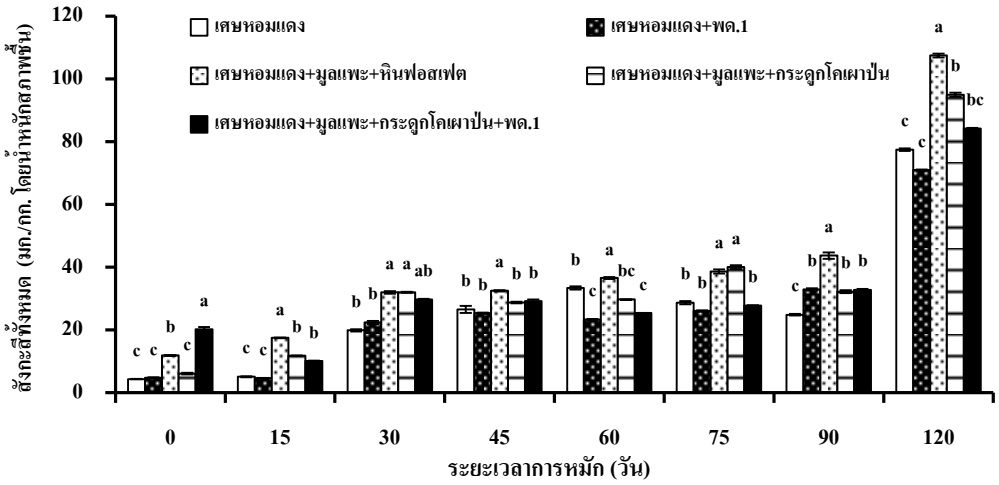
2.2.13 แมงกานีสทั้งหมด เริ่มต้นของการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 19.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (15.33 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (11.6 มก./กก.) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (9.09 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (8.33 มก./กก.) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะกระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 99.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (80.9 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (75.2 มก./กก.) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (65.6 มก./กก.) และเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (63.1มก./กก.) ตามลำดับ (รูปที่ 3.22)



รูปที่ 3.22 การเปลี่ยนแปลงของแมงกานีสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

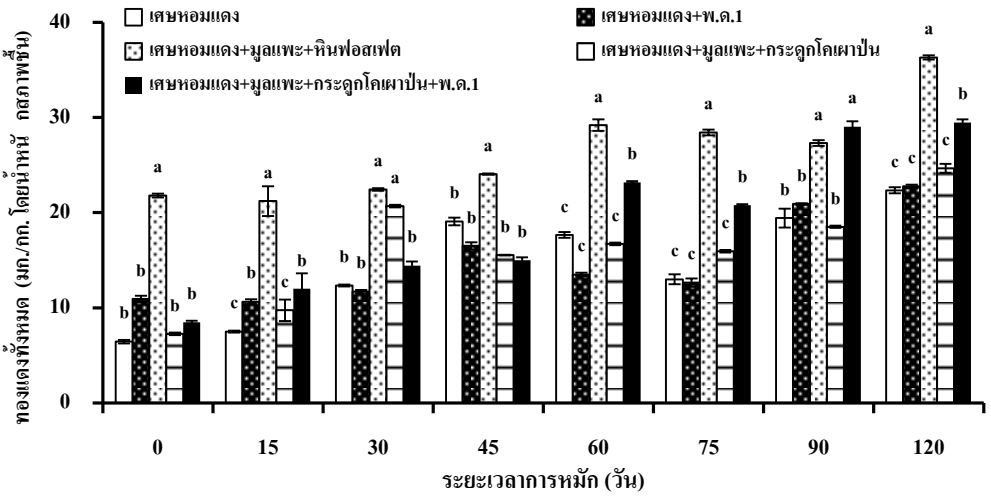
2.2.14 สังกะสีทั้งหมด เริ่มต้นของการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 20.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (11.87 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (6.07 มก./กก) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (4.66 มก./กก.) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (4.33 มก./กก.) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 107.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (94.90 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (84.22 มก./กก.)

เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (74.44 มก./กก.) และเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (70.89 มก./กก.) ตามลำดับ (รูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.23 การเปลี่ยนแปลงของสังกะสีทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.15 ทองแดงทั้งหมด เริ่มต้นของการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 21.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (7.48 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (7.27 มก./กก) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (7.27 มก./กก.) เศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (6.44 มก./กก.) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากที่สุด คือ 36.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 (29.48 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (24.66 มก./กก.) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (22.76 มก./กก.) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว(22.35 มก./กก.) ตามลำดับ (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 การเปลี่ยนแปลงของทองแดงทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

2.2.17 โลหะหนักทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการหมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวมีความเข้มข้นของสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 5.04, 0.21, 23.25 และ 12.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ เศษหอมแดงร่วมกับ พด.1 พบว่ามีความเข้มข้นของสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 5.64, 0.23, 23.29 และ 12.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟตมีความเข้มข้นของสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 5.78, 0.47, 22.55 และ 17.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่นมีความเข้มข้นของสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 6.29, 0.17, 32.96 และ 15.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ และเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีความเข้มข้นสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 5.39, 0.18, 23.07 และ 13.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสภาพชื้น ตามลำดับ ส่วนปรอททุกทรีตเมนต์ไม่พบในความเข้มข้นที่สามารถวิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 3.3)

2.2.18 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ยพบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีการย่อยสลายสมบูรณ์มากที่สุด คือ 99.88 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น (96.43 %) เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต (89.88 %) เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 (85.87 %) และเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว (61.72 %)

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆของปุ๋ยหมักที่ผลิตกับมาตรฐานที่รับรองโดยกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน

สมบัติของปุ๋ย	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์		ปุ๋ยหมัก				
	กรมวิชาการเกษตร	กรมพัฒนาที่ดิน	T1	T2	T3	T4	T5
ความชื้น (% โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 35	23.3	23.4	17.6	23.4	24.5
ปริมาณอินทรียวัตถุ (% โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่ต่ำกว่า 20	25-50	39.41	35.21	39.81	33.94	33.56
พีเอช	5.5-8.5	5.5-8.5	9.05	8.85	9.00	9.15	9.20
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 3.5	2.97	3.16	3.25	4.02	4.25
ไนโตรเจนทั้งหมด (%โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่น้อยกว่า 1.0	ไม่ต่ำกว่า 1.0	2.30	2.42	2.31	2.45	2.47
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20:1	ไม่เกิน 20:1	9.90	8.31	10.03	8.00	7.95
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%โดยน้ำหนักสภาพชื้น P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่ต่ำกว่า 0.5	1.62	1.62	2.14	4.01	4.05
โพแทสเซียมทั้งหมด (%โดยน้ำหนักสภาพชื้น K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่ต่ำกว่า 0.5	4.10	4.26	4.71	4.87	4.94
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (%)	มากกว่า 80	-	61.72	85.87	89.88	96.43	99.88
สารหนู (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	5.04	5.64	5.78	6.29	5.39
แคดเมียม (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	0.21	0.23	0.47	0.17	0.18
โครเมียม (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 300	23.25	23.29	22.55	32.96	23.07
ทองแดง (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500	22.35	22.76	36.30	24.66	29.48
ตะกั่ว (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500	12.65	12.99	17.33	15.31	13.37
ปรอท (mg/kg โดยน้ำหนักสภาพชื้น)	ไม่เกิน 2	ไม่เกิน 2	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ : T1 = เศษหอมแดง T2 = เศษหอมแดงร่วมกับพด.1 T3 = เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต T4 = เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น T5 = เศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 ND = ไม่สามารถตรวจพบได้

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจารณ์ผลการทดลองนี้ประกอบไปด้วย 1) องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินเมื่อบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต 2) การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของกองปุ๋ยหมัก 3) คุณภาพของปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1

1. องค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและหินฟอสเฟต และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินเมื่อบ่มดินร่วมกับวัสดุ

พีเอชในทุกทรีตเมนต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ที่บ่มดินอย่างเดียว โดยทรีตเมนต์ที่บ่มด้วยกระดูกโคเผาป่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากในกระดูกโคเผาป่นมีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ประมาณ 7-9 เปอร์เซ็นต์ (Danny *et al*., 2004) เมื่อใส่กระดูกป่นลงไปจะทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น (Hodson *et al.*, 2001) ส่วนในทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับเศษหอมแดงพีเอชสูงเนื่องจากเกษตรกรใช้วัสดุปูนรองก้นหลุมในการปลูกหอมแดง (ชูชาติ, 2544) ทำให้ปูนปนเปื้อนมากับเศษหอมแดงได้ สอดคล้องกับปริมาณของแคลเซียมที่มีอยู่ในเศษหอมแดง (ตารางที่ 3.1) อีกทั้งระหว่างการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมนั้นมีการปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออนออกมาทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น (Haynes and Mokolobate, 2001) ส่วนหินฟอสเฟตก็มีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากในหินฟอสเฟตนั้นมี carbonateapatite ($Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$) เป็นองค์ประกอบ สอดคล้องกับ Chien และคณะ (1987) พบว่า เมื่อมีการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงจะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะดินที่เป็นกรด ดังนั้น การนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในดินกรดก็จะสามารถปรับปรุงดินกรดได้ แต่การนำไปผลิตปุ๋ยหมักอาจจะทำให้ปุ๋ยที่ได้มีพีเอชเกินมาตรฐาน (4.5-8.5) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากวัสดุทุกชนิดมีสารที่ละลายได้ เมื่อใส่ลงไปทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในการบ่มร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากมีการปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุดังกล่าว

ไนโตรเจนในช่วง 15 วันแรกจะลดลงในทุกทรีตเมนต์ของการทดลอง ยกเว้นการบ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากในระยะแรกไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ (Azeez and Avebeke, 2010) ซึ่งสังเกตจากการมีเส้นใยของเชื้อราบริเวณผิวของดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับมูลแพะ บ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด (หลังการบ่ม 7 วัน) และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเทรตเมื่อบ่มดินร่วมกับหญ้าแฝก (ประไพ และวนิดา, 2544) และการบ่มดินกับถั่วหรั่งและถั่วพร้า (อุษา, 2546) และจากผลการทดลองนี้พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับมูลแพะ และทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่นมีปริมาณของไนโตรเจนที่สกัดได้มากกว่าทรีตเมนต์ที่บ่มกับเศษหอมแดงถึงแม้ว่าค่าวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุจะใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.1) และสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุ (ตารางที่ 3.2) เนื่องจากการปลดปล่อยไนโตรเจนนั้นขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการย่อยสลายของวัสดุ (รัตติญา และคณะ, 2551) โดยเฉพาะในเศษหอมแดง ซึ่งเป็นเศษพืชจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่มากทำให้ย่อยสลายยากกว่ามูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น ดังนั้น ไนโตรเจนที่ได้จากเศษหอมแดงจึงปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ได้ช้ากว่ามูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น ส่วนกระดูกโคเผาป่นจะมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มซึ่งไนโตรเจนที่ได้จากกระดูกโคเผาป่นมาจากโปรตีน คือ คอลาเจน และเมื่อสิ้นสุดการบ่มไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไนเทรต (รูปที่ 3.3-3.4) เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมเป็นไนเทรต (nitrification) เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นกับเส้นใยของกากปาล์ม และแกลบ (Pengnoo *et al*., 2003) ดังนั้น วัสดุทั้ง 3 ชนิดจะเป็นแหล่งไนโตรเจนได้โดยเฉพาะมูลแพะ ดังเช่นการศึกษาโดยการปลูกกระเจี๊ยบในดินที่ใส่มูลแพะ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น (Awodun *et al*., 2007)

ฟอสฟอรัสในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับกระดูกโคเผาป่นมีปริมาณของฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุด (รูปที่ 3.5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสมบัติเบื้องต้น (ตารางที่ 3.1) และสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุ (ตารางที่ 3.2) โดยในกระดูกโคเผาป่นมีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด 33.68 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 17.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมด เนื่องจากในกระดูกของสัตว์โดยเฉพาะในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังจะมีแคลเซียมในรูปสารประกอบฟอสฟอรัส คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) (Irvine *et al*., 1997) ทำให้ในกระดูกโคเผานั้นมีปริมาณของฟอสฟอรัสจำนวนมาก การใช้กระดูกโคมาเผาก่อนนำไปใช้นั้นทำให้เสียน้ำไปในโครงสร้างของผลึกทำให้มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามากขึ้น เมื่อบ่มดินทำให้ฟอสฟอรัสสามารถปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลา

ในประเทศไทยมีดินกรดเขตร้อนที่มีฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ถูกตรึงด้วยเหล็กและอะลูมินัมทำให้มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อย การใช้กระดูกโคเผาป่นจะทำให้เพิ่มฟอสฟอรัส นอกจากนี้ ยังพบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่นนั้นฟอสฟอรัสที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่ในทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับเศษหอมแดง และมูลแพะนั้นในช่วงแรกจะมีปริมาณลดลง และจะเพิ่มขึ้นหลังการบ่ม 15 วัน (รูปที่ 3.5) อาจเกิดจากในช่วงแรกนั้นจุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการแย่งธาตุอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้ฟอสฟอรัสลดลง และในระยะต่อมามีการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากวัสดุ คือ เศษหอมแดงและมูลแพะ เป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสทำให้ฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมามีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับวัสดุจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์เมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ (Gagnon and Simard, 1999) ส่วนทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับหินฟอสเฟตนั้นจะพบว่า มีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยมาก และไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง ถึงแม้ว่าผลจากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นพบว่า หินฟอสเฟตจะมีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดมากกว่าเศษหอมแดงก็ตาม เนื่องจากหินฟอสเฟตมีฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปอะพาไทต์ เช่น ฟูโรอะพาไทต์ ซึ่งจะละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้ยาก (อดุลย์, 2547) จะสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้เมื่อดินเป็นดินกรด และจะเป็นประโยชน์ได้น้อย หรือไม่เป็นประโยชน์เลยเมื่อดินเป็นด่าง ซึ่งจากการวัด pH จะเห็นได้ว่าดินอยู่ในสภาพเป็นด่างมี pH 7-8 (รูปที่ 3.1) สอดคล้องกับ Abarchi และคณะ (2009) พบว่า การใส่หินฟอสเฟตเพื่อบ่มดินร่วมกับพืชตระกูลถั่ว ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกับการไม่ใส่หินฟอสเฟต ดังนั้น การนำกระดูกโคเผาป่นมาใช้สามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัสแทนการใช้หินฟอสเฟตซึ่งมีฟอสฟอรัสทั้งหมด 20-40 เปอร์เซ็นต์ แต่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังเช่นการใช้กระดูกป่นเป็นแหล่งฟอสฟอรัสในการปลูกธัญพืชและข้าวไรย์ ซึ่งพบว่า ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Kari *et al*., 2008)

โพแทสเซียมเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการบ่มพบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการใช้เศษหอมแดงเป็นวัสดุบ่ม จะมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงที่สุด รองลงมา คือ การใช้มูลแพะ (รูปที่ 3.6) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่เศษหอมแดงมีปริมาณของโพแทสเซียมสูงสุด (ตารางที่ 3.1) เนื่องจากมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยสูตรที่มีโพแทสเซียมสูง (สุริยา และยุพิน, 2541) ทำให้เศษหอมแดงมีปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดสูง แต่ในมูลแพะพบว่า ปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่ารายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) (5.29 %) แต่มีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ Awodun (2007) (1.9%) เนื่องจากการให้อาหารสัตว์ที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในมูลแตกต่างกัน (Moral *et al*., 2005) แต่เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยธาตุ

อาหารโพแทสเซียมในกระดูกโคเผาป่นมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยมากที่สุด เนื่องจากทั้งเศษหอมแดง และมูลแพะย่อยสลายได้ยากกว่ากระดูกโคเผาป่น ส่วนแคลเซียมที่สกัดได้สูงสุด คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับหินฟอสเฟต รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากทั้งในหินฟอสเฟต และกระดูกโคเผาป่นนั้นมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก โดยในหินฟอสเฟตนั้นจะมีแร่อะพาไทต์ชนิดต่างๆซึ่งมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับกระดูกโคเผาป่นที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ทั้งในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทต์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต (Irvine and Knowles, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นซึ่งพบว่าวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณแคลเซียมสูง (ตารางที่ 3.1) สอดคล้องกับ Zipkin (1975) อ้างโดย กฤชภัทร (2541) รายงานว่า ในกระดูกโคมีแคลเซียม 26.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแมกนีเซียมนั้น ในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงสุด เนื่องจากได้รับแมกนีเซียมจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด ซึ่งวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้มีปริมาณของแมกนีเซียมใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.1) และพบว่า ระยะเวลาในการบ่มดินไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้น ในการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในการเพิ่มโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ก็จะสามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ได้ทันที ทำให้เหมาะที่จะใช้กับดินกรดเนื่องจากมีรายงานว่า ในดินกรดมีปริมาณธาตุอาหารนี้ต่ำ (ชัยรัตน์, 2538)

2. การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของกองปุ๋ยหมัก

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการหมักปุ๋ยในการทดลองนี้ได้รักษาความชื้นให้อยู่ในช่วงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักนั้นควรอยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ (Tom *et al*., 2002) แต่จากผลการทดลองพบว่า มีการลดลงของความชื้นบางช่วงระยะเวลา (รูปที่ 3.9) เนื่องจากในการย่อยสลายของวัสดุนั้นจะเกิดความร้อนเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำ รวมทั้งจุลินทรีย์ใช้น้ำในการเคลื่อนย้ายสารอาหารเข้าสู่เซลล์ความชื้นของกองปุ๋ยหมักลดลง (Kulcu and Yaldiz, 2004) สอดคล้องกับการทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะโดยวิธีหมักแบบใช้อากาศ (ลดาวัลย์, 2549) และสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิดังรูป 3.10 ในการหมักปุ๋ยในครั้งนี้จึงมีการเติมน้ำทุกๆ 7 วันหลังการกลับกองเพื่อรักษาความชื้น ดังนั้น ความชื้นจึงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมอยู่เสมอ และหลังการหมัก 60 วัน พบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับ มูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ปริมาณความชื้นสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น อาจเนื่องมาจากใน 2 ทรีตเมนต์นี้การย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ทำให้การย่อยสลาย

เกิดขึ้นได้น้อยส่งผลให้ความร้อนที่เกิดขึ้นบนกองปุ๋ยมีน้อย การระเหยของน้ำลดลงความชื้นจึงสูง แต่ทรีตเมนต์อื่นๆ ซึ่งมีการย่อยสลายของวัสดุบางส่วนอยู่ ความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายยังเกิดขึ้นทำให้ความชื้นลดลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (รูปที่ 3.10)

กองปุ๋ยหมักทุกทรีตเมนต์จะมีอุณหภูมิสูงในช่วงแรก สูงจนถึงระยะ Thermophilic (45.0-65.0 ^{o}C) สอดคล้องกับการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ธันวดี, 2547) เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเพราะในช่วงเริ่มต้นการหมักมีสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระยะ Thermophilic นั้นจะมีส่วนช่วยในการทำลายเชื้อโรคและไข่พยาธิบางชนิดที่เป็นอันตรายในปุ๋ยหมักได้ด้วย (Day and Shaw, 2001) และมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังกลับกอง 1 วัน (กลับกองทุก 7 วัน) เนื่องจากในการกลับกองนั้นเป็นการเพิ่มออกซิเจนไปในกองปุ๋ยหมัก เพราะออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต และสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายวัสดุ (Diaz *et al*., 2002) และในทรีตเมนต์ที่มีการเติมสารเร่งพด. 1 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาการทำปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับพด.1 (สมศักดิ์ และคณะ, 2539) และการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (วธิดา, 2552) เนื่องจากในสารเร่งพด.1 มีจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายวัสดุอยู่ ดังนั้น นอกจากจะมีจุลินทรีย์จากวัสดุแล้ว ยังมีจุลินทรีย์เพิ่มมาจากสารเร่งพด.1 ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีความร้อนที่เกิดขึ้นบนกองปุ๋ยจึงสูง และหลังจาก 45 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และ หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะกระดูกโคเผาป่นและพด.1 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆ ลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก เนื่องจากสารอาหารต่างๆ ในวัสดุถูกย่อยสลายจนเกือบสมบูรณ์ทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ลดลง ส่วนทรีตเมนต์ที่มีเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวซึ่งมีปริมาณของคาร์บอนทั้งหมดสูง แต่ไนโตรเจนมีอย่างจำกัดทำให้จุลินทรีย์นำไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อไนโตรเจนที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้าลง ความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจึงน้อยลง (Sharma *et al*., 1997) เมื่อสิ้นสุดการหมักทุกทรีตเมนต์มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.10 แสดงว่า กระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง โดยวัสดุหมักจะค่อนข้างมีความเสถียรต่อการนำไปใช้งาน (Polprasert, 1996)

เมื่อเริ่มการหมักพบว่า พีเอชของทุกทรีตเมนต์อยู่ในช่วง 6.5-7.5 และค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 45 วันแรกซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 1 การเพิ่มขึ้นของพีเอชเนื่องมาจากแบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนในวัสดุ กลายเป็นกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนถูกย่อยสลายต่อเป็นกรดไขมันและแอมโมเนีย โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Mahimaraja, 1995) โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักโดย

การเติมหินฟอสเฟต และกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากหินฟอสเฟตมี carbornateapatite เป็นองค์ประกอบ และกระดูกโคเผาป่นมีแคลเซียมคาร์บอเนต (Danny *et al*., 2004) ประกอบกับวัสดุหลักในการหมักคือเศษหอมแดงมีการปนเปื้อนของวัสดุปูนจากการรองก้นหลุมในการปลูกของเกษตรกร (ชูชาติ, 2544) ทำให้มีพีเอชสูง เมื่อนำมาใช้ทำปุ๋ยหมักทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีพีเอชสูง สอดคล้องกับรูปที่ 3.1 ที่พบว่า เมื่อบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง หินฟอสเฟต และกระดูกโคเผาป่นมีผลทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นพีเอชทั้ง 5 ทรีตเมนต์จะค่อนข้างคงที่เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมให้อยู่ในรูปของไนเทรต ทำให้มีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา (Eklind and Kirchmann, 2000) และเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าทั้ง 5 ทรีตเมนต์ มีพีเอชมากกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (4.5-8.5) ดังนั้น ก่อนนำไปใช้ หรือระหว่างกระบวนการหมักควรมีการเติมวัสดุที่ช่วยลดพีเอช เช่น ผงกำมะถัน ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากในวัสดุทุกชนิดที่นำมาผลิตปุ๋ยหมักมีสารที่ละลายได้ เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายมีการปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมามีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ซึ่งเป็นทรีตเมนต์ที่ย่อยสลายดีที่สุด ธาตุอาหารต่างๆ ปลดปล่อยออกมามากทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น แต่มีบางช่วงเวลาบางทรีตเมนต์มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงอาจเนื่องมาจากการชะล้างโดยน้ำ (Keener *et al*., 2005)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกเช่นเดียวกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ลดลงในช่วงแรก (วธิดา, 2552) หลังจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ สาเหตุที่อินทรีย์คาร์บอนลดลงเนื่องจากอินทรียสารถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กลงโดยจุลินทรีย์ และนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบเซลล์ (ธันวดี, 2547) นอกจากนั้น อินทรีย์คาร์บอนส่วนหนึ่งถูกแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอื่นๆ ทำให้อินทรีย์คาร์บอนลดลงตามระยะเวลาการหมัก (Negro *et al*., 1999) เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่เหลือจะเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินซึ่งบางส่วนจะแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิค (Crawford, 1983) และพบว่า ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนทุกทรีตเมนต์จะมีปริมาณน้อย เนื่องจากวัสดุหลักในการหมัก คือ เศษหอมแดงซึ่งมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบน้อย ดังนั้น เมื่อเกิดการย่อยสลายทำให้อินทรีย์คาร์บอนเหลือน้อย โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 เป็นทรีตเมนต์ที่เกิดการย่อยสลายได้ดี อีกทั้งในการเติมมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต เป็นการเจือจางปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมักทำให้

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง เมื่ออินทรีย์คาร์บอนลดลงอินทรียวัตถุจะลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุ สอดคล้องกับการทดลองของการใช้กากตะกอนที่ได้จากการบดผลมะกอกร่วมกับใบมะกอกปริมาณของอินทรียวัตถุลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง (Garcia *et al*., 2002)

ในช่วงแรกทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 และทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดลดลง เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไปจึงทำให้สูญเสียไนโตรเจนในระหว่างกระบวนการหมัก โดยสูญเสียในรูปของแอมโมเนียในกระบวนการ ammonia volatilization อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่อเวลาหมักนานขึ้นปริมาณของไนโตรเจนทุกทรีตเมนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายทำให้อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมามากกว่าการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ และการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนเป็นผลมาจากกิจกรรมการย่อยสลายทำให้สูญเสียมวลของวัสดุไป (Yamada and Kawase, 2005) โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ซึ่งเป็นทรีตเมนต์ที่ย่อยสลายดีที่สุดทำให้ปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดตลอดช่วงการหมัก สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุพบว่า มีค่าเหมาะสมต่อการนำไปผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งไม่เกิน 30 : 1 ซึ่งจะทำให้กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกิดได้เร็ว ยกเว้นเศษหอมแดงที่มีค่ามากกว่า 30 : 1 และพบว่า เมื่อนำไปหมักทุกทรีตเมนต์จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากกิจกรรมของการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับความร้อนที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก (รูปที่ 3.10) การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนนี้จะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจน ประกอบกับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนของวัสดุหมักจากการย่อยสลาย เช่นเดียวกับการหมักปุ๋ยขี้เลื่อยผสมกับมูลสุกร (Huang *et al.,* 2004) การหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (วธิดา, 2552) การย่อยสลายปุ๋ยหมักจากขี้หม้อกรอง (filter cake) (Meunchang *et al*., 2004) แต่ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 พบว่า 15 วันแรกอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากในทรีตเมนต์นี้มีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วทำให้ไนโตรเจนสูญเสียไปในรูปของแอมโมเนีย (Goyal *et al*., 2005) สอดคล้องกับรูปที่ 3.3-3.4 ที่พบว่า ปริมาณของไนโตรเจนที่สกัดได้ลดลง และเมื่อสิ้นสุดการหมักทุกทรีตเมนต์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่า 20:1 แสดงให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของการย่อยสลาย

เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นทุกทรีตเมนต์ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอินทรียสารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่

ฟอสฟอรัสไม่มีการสูญเสีย โดยการระเหยแต่สูญเสียโดยการชะละลายเล็กน้อย เนื่องจากฟอสฟอรัสจะตกตะกอนเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยากทำให้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น หรืออาจเนื่องมาจากการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ต่อมวลน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า ทุกทรีตเมนต์ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2551) และกรมพัฒนาที่ดิน (2554) โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีการใช้กระดูกป่นเป็นวัสดุในการหมัก เนื่องจากในกระดูกป่นนั้นมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) (Irvine and Knowles, 1997) สอดคล้องกับรูปที่ 3.5 ที่พบว่า เมื่อมีการเติมกระดูกโคเผาป่นทำให้ฟอสฟอรัสที่สกัดได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งการผลิตปุ๋ยหมักนั้นกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของวัสดุมีผลทำให้ฟอสฟอรัสจากกระดูกโคเผาป่นเป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการนำมาผลิตปุ๋ยหมักกรดอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายเปลี่ยนแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) เป็นรูปโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Alexander, 1961)

โพแทสเซียมทั้งหมดของทุกทรีตเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เนื่องจากอินทรียสารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) ต่อมวลน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า ทุกทรีตเมนต์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2551) คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสสภาพชื้น และกรมพัฒนาที่ดิน (2554) คือ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีการเติมมูลแพะจะมีปริมาณของโพแทสเซียมสูงเนื่องจากในมูลแพะนั้นจะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (ตารางที่ 3.3)

แคลเซียมทั้งหมดของทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก สาเหตุที่ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดต่อมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับการเติมหินฟอสเฟต และกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากทั้งหินฟอสเฟต และกระดูกโคเผาป่นมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่มาก โดยในหินฟอสเฟตนั้นจะมี แร่อะพาไทต์ชนิดต่างๆซึ่งมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับกระดูกโคเผาป่นที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ทั้งในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทต์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต (Irvine and Knowles, 1997) สอดคล้องกับตารางที่ 3.3

ปริมาณของจุลธาตุคือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่นานขึ้นเนื่องมาจาก อินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณจุลธาตุต่อมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) และเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่า ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟตมีปริมาณของเหล็ก สังกะสี และทองแดงมากที่สุด เนื่องจากในหินฟอสเฟตในประเทศไทยมีเหล็ก สังกะสี และ ทองแดง เป็นองค์ประกอบอยู่สูงมาก (ลัดดาวัลย์และคณะ, 2529) สอดคล้องกับตารางที่ 3.3 แต่แมงกานีสนั้นพบว่า ในทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีปริมาณของแมงกานีสสูงสุด เนื่องจากในเศษหอมแดง และมูลแพะมีปริมาณแมงกานีสอยู่มากกว่าวัสดุอื่นๆดังตารางที่ 3.3 และทรีตเมนต์นี้มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังนั้น ทำให้ปริมาณแมงกานีสต่อมวลของน้ำหนักมากที่สุด

3. คุณภาพของปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น หินฟอสเฟต และพด.1

วัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิดมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้น การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า เมื่อครบ 120 วัน ทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานซึ่งต้องไม่เกิน 35-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) โดยทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีความชื้นมากที่สุด แต่ใกล้เคียงกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีการย่อยสลายได้น้อยหลัง 70 วัน สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (รูปที่ 3.10) แสดงว่า กระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง โดยวัสดุหมักจะค่อนข้างมีความเสถียรต่อการนำไปใช้งาน (Polprasert, 1996) ดังนั้น ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และ หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 จึงนำไปใช้ได้เร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆเนื่องจากการย่อยสลายสมบูรณ์เร็วกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ส่วนพีเอชพบว่าทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีพีเอชสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจาก ทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีเศษหอมแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเศษหอมแดงมีการการปนเปื้อนของวัสดุปูนจากการรองก้นหลุมในการปลูก (ชูชาติ, 2544) อีกทั้งเมื่อไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากการย่อยสลายเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดด่าง ส่งผลให้มีพีเอชสูงสอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง และในทรีตเมนต์ที่มีการเติมหินฟอสเฟตและกระดูกโคเผาป่นก็มีผลให้พีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากหินฟอสเฟตและกระดูกโคเผาป่นมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงดินกรดได้ดัง

เช่นเดียวกับการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงเพื่อเพิ่มผลผลิตแก้วมังกรที่ปลูกในดินกรดกำมะถัน ซึ่งทำให้พีเอชของดินเพิ่มจาก 3.6 เป็น 4.3 (สุภา และคณะ, 2555) สำหรับค่าการนำไฟฟ้าพบว่า ทั้ง 5 ทรีตเมนต์ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่รับรองโดยกรมวิชาการเกษตรคือ ไม่เกิน 10 เดซิ-ซีเมนต์ต่อเมตร โดยทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นเนื่องจากทั้ง 2 ทรีตเมนต์นี้มีการย่อยสลายได้ดี ประกอบกับมีการหมักโดยใช้วัสดุหลายชนิด ทำให้มีสารที่ละลายได้มาก ค่าการนำไฟฟ้าจึงสูง ส่วนอินทรียวัตถุพบว่า ในทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก เนื่องจากทรีตเมนต์นี้มีเศษหอมแดงเป็นวัสดุในการหมักเพียงอย่างเดียว ทำให้มีการย่อยสลายได้ช้า อินทรีย์คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุจึงยังมีปริมาณอยู่มาก ส่งผลให้อินทรียวัตถุมีปริมาณมาก ส่วนการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟต มีอินทรียวัตถุมากเนื่องจากในทรีตเมนต์นี้มีมูลแพะเป็นวัสดุในการหมักร่วม มูลแพะจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เป็นแหล่งในการเพิ่มอินทรียวัตถุได้ (อรัญ และคณะ, 2551) ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 มีอินทรียวัตถุ น้อยรองลงมา เนื่องจากทรีตเมนต์นี้ มีการเติมสารเร่งพด.1 เป็นการเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) ทำให้การย่อยสลายของวัสดุดีกว่าการหมักโดยไม่ใส่พด.1 อินทรีย์คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในเศษหอมแดงจึงเหลือน้อยส่งผลให้อินทรียวัตถุมีปริมาณน้อย ส่วนทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น และ ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันและมีปริมาณน้อยกว่าทรีตเมนต์ทั้ง 3 ทรีตเมนต์ที่กล่าวข้างต้น เนื่องจากทั้ง 2 ทรีตเมนต์นี้มีการใช้วัสดุหลายชนิดที่เป็นแหล่งธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตอย่างเพียงพอดังแสดงในตาราง 3.3 หากธาตุอาหารเพียงพอกิจกรรมการสร้างและทำงานเอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ดี (Pardo และคณะ, 1999) อินทรีย์คาร์บอนเหลือน้อยส่งผลให้อินทรียวัตถุน้อยด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 5 ทรีตเมนต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น ปุ๋ยหมักทั้ง 5 ทรีตเมนต์จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุได้ ดังเช่น การนำปุ๋ยหมักฟางข้าวไปปรับปรุงดินพบว่า มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปุ๋ยหมักที่ใช้ (อนนท์, 2543)

ปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง 5 ทรีตเมนต์ คือ ไนโตรเจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 5 ทรีตเมนต์ คือ มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสภาพชื้น ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้ทุกทรีตเมนต์สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มไนโตรเจนได้ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ที่มีไนโตรเจนมาก เนื่องจาก

ทรีตเมนต์นี้มีการย่อยสลายดีที่สุดเป็นผลมาจากการเติมสารเร่งพด.1 ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายวัสดุมีมาก ทำให้การย่อยสลายของวัสดุเกิดขึ้นได้ดี และการตายของเซลล์จุลินทรีย์ทำให้ปริมาณของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (Thambirajah, 1995) อีกทั้งมีการหมักโดยใช้วัสดุหลายชนิด คือ มูลแพะ ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก (2.1 %) นอกจากนี้ในเศษหอมแดง และกระดูกโคเผาป่นยังมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอีกด้วยดังแสดงในตาราง 3.3 เมื่อมีการย่อยสลายดี มวลของวัสดุลดลง ประกอบกับวัสดุมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่มากทำให้ไนโตรเจนมีปริมาณมาก แต่ไม่แตกต่างกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น ซึ่งมีวัสดุหมักที่เป็นแหล่งธาตุอาหารเช่นเดียวกันแต่ไม่มีการเติมสารเร่งพด.1 ส่วนทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวมีแหล่งไนโตรเจนจากเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวอีกทั้งไม่มีการเติมวัสดุที่มีจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายส่งผลให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า มวลของวัสดุมีมากทำให้ปริมาณไนโตรเจนต่อมวลของวัสดุมีน้อย ทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับสารเร่งพด.1 ถึงแม้ว่าจะได้รับไนโตรเจนจากเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกับการหมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว แต่ทรีตเมนต์นี้มีการเติมพด.1 ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดี มวลของวัสดุในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณไนโตรเจนต่อมวลของวัสดุมากกว่าการหมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว ส่วนการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟตมีไนโตรเจนจากเศษหอมแดง และมูลแพะเท่านั้นปริมาณไนโตรเจนจึงน้อยกว่าทรีตเมนต์ที่มีการเติมกระดูกโคเผาป่นที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปโปรตีน สอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับวัสดุ หากบ่มดินร่วมกับวัสดุที่เป็นแหล่งไนโตรเจนหลายวัสดุทำให้ปริมาณของไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นจากการบ่มดินร่วมกับวัสดุเพียงชนิดเดียว (รูปที่ 3.1 และ 3.2) สำหรับฟอสฟอรัสพบว่า ทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีฟอสฟอรัสทั้งหมดผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กล่าวคือ มีมากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 โดยน้ำหนักสภาพชื้น โดยทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีปริมาณของฟอสฟอรัสมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากทั้ง 2 ทรีตเมนต์นี้มีกระดูกโคเผาป่นเป็นวัสดุในการหมัก ซึ่งกระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก (Irvine and Knowles, 1997) สอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับวัสดุต่างๆ พบว่า การบ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสปลดปล่อยออกมามากที่สุด ส่วนทรีตเมนต์ที่มีการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟต มีแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญคือหินฟอสเฟต แต่มีปริมาณน้อยกว่าฟอสฟอรัสจากกระดูกโคเผาป่น และแม้ว่า ในหินฟอสเฟตจะมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบแต่ฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาเป็นประโยชน์น้อยดังแสดงในรูป 3.5 ทำให้ฟอสฟอรัสมีอยู่อย่างจำกัดจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและสร้างเอนไซม์ได้

ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการเติมกระดูกโคเผาป่น ปริมาณของฟอสฟอรัสต่อมวลของวัสดุจึงน้อยกว่า ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้จึงเหมาะกับการนำไปใช้เพื่อเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินเขตร้อนที่พบว่า ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินัม ดังเช่น การใช้กระดูกโคเผาป่นเป็นแหล่ง ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม กับมันฝรั่ง ข้าวฟ่าง และหอมใหญ่ พบว่า การใช้เถ้ากระดูกนั้นมีผลทำให้ผลผลิตของพืชทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น (Siebers *et al*, 2012) ส่วนโพแทสเซียมทั้งหมดพบว่า การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีปริมาณของโพแทสเซียมมากที่สุดเช่นเดียวกันแต่ไม่แตกต่างกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น เนื่องจากใน 2 ทรีตเมนต์นี้นอกจากมีเศษหอมแดงเป็นวัสดุหมักที่เป็นแหล่งโพแทสเซียมแล้ว ยังมีมูลแพะเป็นวัสดุหมัก ซึ่งมีโพแทสเซียมในปริมาณที่มากเป็นอันดับ 2 รองจากเศษหอมแดง (ตารางที่ 3.3) สอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับวัสดุ พบว่า การบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง บ่มร่วมกับมูลแพะ และบ่มร่วมกับกระดูกโคเผาป่น มีผลทำให้โพแทสเซียมปลดปล่อยออกมาได้มาก อีกทั้งในทรีตเมนต์นี้มีการย่อยสลายได้ดีทำให้มวลของวัสดุลดลงโพแทสเซียมจึงมีปริมาณมากที่สุด ส่วนในทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และหินฟอสเฟตมีปริมาณโพแทสเซียมรองลงมา แม้ว่าทรีตเมนต์นี้จะมีเศษหอมแดง และมูลแพะ เป็นแหล่งโพแทสเซียม แต่การย่อยสลายของทรีตเมนต์นี้เกิดขึ้นได้น้อยกว่าสอดคล้องกับปริมาณของอินทรีย์คาร์บอน อีกทั้งในหินฟอสเฟตมีปริมาณโพแทสเซียมน้อย ส่งผลให้ทรีตเมนต์นี้มีโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยกว่าส่วนทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียว และหมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยเนื่องจากทั้ง 2 ทรีเมนต์นี้มีเศษหอมแดงเป็นแหล่งโพแทสเซียมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีโพแทสเซียมทั้งหมดผ่านมาตรฐาน คือ มีปริมาณมากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ K_2O โดยน้ำหนักสภาพชื้น (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังนั้น สามารถนำไปใช้ในเพิ่มโพแทสเซียมในดินกรดเนื่องจากมีรายงานว่า มีธาตุโพแทสเซียมต่ำ (ชัยรัตน์ และคณะ, 2538)

เมื่อพิจารณาการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่า 20 : 1 พบว่า ทั้ง 5 ทรีตเมนต์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และทุกทรีตเมนต์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อย อาจเนื่องมาจากวัสดุหลักในการหมัก คือ เศษหอมแดงมีไนโตรเจนทั้งหมดสูง และอินทรีย์คาร์บอนน้อย (ตารางที่ 3.3) ดังนั้น จึงย่อยสลายได้ง่าย และเมื่อมีการเติมแหล่งไนโตรเจนคือ มูลแพะและกระดูกโคเผาป่นลงไปทำให้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำ สอดคล้องกับหมักปุ๋ยที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันพบว่า การเติมแหล่งไนโตรเจนทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่ำกว่าการไม่เติมแหล่งไนโตรเจน (Thambirajah *et al*., 1995) ดังนั้น ปุ๋ยที่ได้ทุกทรีตเมนต์สามารถนำไปใช้ปรับปรุงดินได้ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษ

หอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 เมื่อหมักปุ๋ยได้ 45 วัน ดังนั้น สามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้ก่อนทรีตเมนต์อื่นๆ

นอกจากนี้ การใช้วัสดุเหลือทิ้งในการผลิตปุ๋ยนั้นอาจจะมีผลทำให้โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในวัสดุเหล่านั้นปนเปื้อนในปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ ดังเช่น ตะกั่ว สารหนู จะปนเปื้อนมาในปุ๋ยที่ใช้ทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต แต่จากการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ทั้ง 5 ทรีตเมนต์ มีปริมาณโลหะหนักทั้งหมด คือ โครเมียม แคดเมียม สารหนู และปรอท ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปทดสอบการงอกของเมล็ดผักกาดกวางตุ้ง ซึ่งมีรายงานว่า ดัชนีการงอกของเมล็ดนั้นต้องมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเป็นข้อบ่งชี้ว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ไม่มีความเป็นพิษต่อพืช (Tiquia *et al.,* 1996) เนื่องจากปุ๋ยหมักอาจมีสารอินทรีย์จากวัสดุที่ไปยับยั้งการงอกของเมล็ดและการพัฒนารากของเมล็ดพืช (Raj and Antil, 2011) หากปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายอย่างไม่สมบูรณ์จะมีผลไปยับยั้งการงอกของรากพืชทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดี (Fernandez *et al*., 2008) หากนำปุ๋ยไปใช้กับพืชจะส่งผลต่อการเจริญของรากพืชเช่นเดียวกัน แต่ปุ๋ยหมักที่ได้หากมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์เมื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดินจะมีผลทำให้สมบัติต่างๆ ของดินดีขึ้นดังเช่น การนำปุ๋ยหมักฟางข้าวไปปรับปรุงดินพบว่า มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปุ๋ยหมักที่ใช้ ทำให้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเพิ่มขึ้น (อนนท์, 2543) จากการทดสอบพบว่า ทุกทรีตเมนต์ยกเว้นการหมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวมีอัตราการย่อยสลายที่สมบูรณ์ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังนั้น ปุ๋ยหมักทั้ง 4 ทรีตเมนต์สามารถนำไปใช้ปรับปรุงดินได้ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 ที่มีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยทั้ง 5 ทรีตเมนต์กับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ถึงแม้ว่าการหมักเศษหอมแดงร่วมกับพด.1 หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและหินฟอสเฟต หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แต่การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่นและพด.1 มีปริมาณธาตุอาหารโดยส่วนใหญ่มากที่สุด และการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น ดังนั้น การหมักปุ๋ยด้วยเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถนำปุ๋ยที่ได้ไปใช้ได้เร็วที่สุดและไม่ต้องยุ่งยากในการเตรียมสารเร่งพด.1

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาองค์ประกอบของเศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต และการเปลี่ยนแปลงของดินหลังการบ่มร่วมกับดิน และนำวัสดุต่างๆ ไปผลิตปุ๋ยหมักร่วมกับการใช้สารเร่งพด.1 ได้ผลสรุป ดังนี้

1. เศษหอมแดงมีธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบ คือ โพแทสเซียมทั้งหมดมากกว่าวัสดุชนิดอื่น นอกจากนี้ ยังมีไนโตรเจนมากเป็นอันดับสองรองจากมูลแพะ โดยที่มูลแพะมีไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด และมีโพแทสเซียมรองจากเศษหอมแดง ในขณะที่กระดูกโคเผาป่นมีฟอสฟอรัสมากที่สุดและมากกว่าหินฟอสเฟตประมาณ 5 เท่า เป็นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมด นอกจากนั้น หินฟอสเฟตมีแคลเซียมและจุลธาตุเป็นมากที่สุด

2. การนำเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่นมาบ่มร่วมกับดินนั้น จะได้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากเศษหอมแดง มูลแพะและกระดูกโคเผาป่น โดยจะลดลงในระยะแรกและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปไนเทรต ส่วนโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมวัสดุทุกชนิดสามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ได้ทันทีเมื่อเติมลงไปในดิน นอกจากนี้วัสดุทุกชนิดยังมีผลทำให้พีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น วัสดุทั้งหมดนี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงดินกรดเพื่อให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นได้ แต่หากนำไปทำปุ๋ยหมักอาจทำให้ พีเอชเกินมาตรฐานที่กำหนดได้

3. อุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยหมักมีการเปลี่ยนแปลงแบบผกผันกัน เมื่อความชื้นในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะลดลง โดยอุณหภูมิของทุกทรีตเมนต์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 5 วันแรก และทรีตเมนต์ที่หมักด้วยเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยสูงที่สุดและลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอกในช่วง 70 วัน แต่ทรีตเมนต์อื่นต้องใช้ระยะเวลามากกว่านี้ ดังนั้นทั้ง 2 ทรีตเมนต์นี้สามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้ก่อนทรีตเมนต์อื่นๆ

4. พีเอชของทุกทรีตเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยในช่วงแรก และจะค่อนข้างคงที่หลังการหมัก 70 วัน แต่ทั้ง 5 ทรีตเมนต์ มีค่าพีเอชเกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (5.5-8.5) ดังนั้น ก่อนนำไปใช้หรือระหว่างการหมักควรมีการปรับพีเอชของปุ๋ยให้ลดลง อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ได้นำไปใช้ปรับปรุงดินที่มีสภาพเป็นดินกรดได้ส่วนค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก

5. อินทรียคาร์บอนและอินทรียวัตถุของทุกทรีตเมนต์ลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โดยทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น และ หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนลดลงมาก แสดงถึงการย่อยสลายได้ดีสามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้เร็วขึ้น

6. ธาตุอาหาร ยกเว้นไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ในขณะที่ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสในช่วง 15 วันแรกลดลงและจะเพิ่มขึ้นหลังจากนั้น โดยทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีการย่อยสลายของเศษวัสดุได้ดีทำให้ปริมาณของธาตุทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุสูงใกล้เคียงกันตลอดช่วงการหมัก และการเติมมูลแพะจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าการไม่เติมมูลแพะ

7. ปุ๋ยหมักทั้ง 5 ทรีตเมนต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมดยกเว้นพีเอช ดังนั้น ก่อนนำไปใช้ หรือในระหว่างการหมักควรปรับพีเอชของกองปุ๋ยให้พีเอชลดลง และทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงเพียงอย่างเดียวมีการย่อยสลายสมบูรณ์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ แต่ทรีตเมนต์อื่นมีค่าเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้จึงมีคุณภาพที่จะสามารถนำไปปรับปรุงดินได้ โดยเฉพาะทรีตเมนต์ที่หมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น และหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะ กระดูกโคเผาป่น และพด.1 มีปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่มากที่สุด และการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีที่สุด

8. การใช้สารเร่งซุปเปอร์พด.1 มีผลทำให้การย่อยสลายของวัสดุเกิดขึ้นได้ดีกว่าการไม่ใส่สารเร่งแต่ทรีตเมนต์ที่มีการใส่มูลแพะพบว่า การใส่สารเร่งซุปเปอร์พด.1 ไม่มีความแตกต่างจากการไม่ใส่ ดังนั้น หากมีการหมักปุ๋ยโดยการเติมมูลแพะก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งซุปเปอร์พด.1 ในการเพิ่มจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายวัสดุ

ดังนั้น เศษหอมแดง มูลแพะ กระดูกโคเผาป่น เป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารทั้งธาตุหลัก ธาตุรองรวมทั้งจุลธาตุ สามารถเป็นแหล่งของธาตุอาหารในการนำไปปรับปรุงดินได้ และเมื่อต้องการผลิตปุ๋ยหมัก การหมักเศษหอมแดงร่วมกับมูลแพะและกระดูกโคเผาป่น เป็นทรีตเมนต์ที่เหมาะสมในการหมักมากที่สุด เพราะทำให้ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยได้เร็วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เมื่อหมักไว้ประมาณ 45 วัน เช่นใช้กับพืชผักสวนครัว รวมทั้งปุ๋ยที่ได้มีคุณภาพคือ อินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่แตกต่างกับการหมักโดยการเติมสารเร่งพด.1 อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปลูกพืชในแปลงเพื่อยืนยันคุณภาพของปุ๋ยหมักแต่ละ ทรีตเมนต์

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2556. สรุปข้อมูลและสถิติจำนวนแพะและเกษตรกรผู้เลี้ยงประจำปี 2555. [Online] Available from http://www.dld.go.th/datacenter/. [Accessed March 10, 2013]

กรมปศุสัตว์. 2556. ข้อมูลเกษตรกร/สถิติเกษตรกร-ปศุสัตว์ : สรุปข้อมูลและสถิติจำนวนโคเนื้อและเกษตรกรผู้เลี้ยง ประจำปี 2554. [Online] Available from http://www.dld.go.th/datacenter/. [Accessed March 10, 2013]

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง. ว.อนุรักษ์ดินและน้ำ 24 : 40-47.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2554. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง [Online] Available from http:// www.ldd.go.th/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf. [Accessed August 10, 2013]

กรมพัฒนาที่ดิน. 2556. ผลกระทบจากปัญหาทรัพยากรดิน. [Online] Available from http:// www. ldd.go.th/ofsweb/thaisoil/p11.htm. [Accessed August 10, 2013]

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. หอมแดง. [Online] Available from http:// www.ndoae.com/ Data_ plant/ Data_plant/shallot2010.htm. [Accessed August 22, 2013].

กฤชภัทร ยินหิรัญ. 2541. ประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการลดปริมาณฟลูออไรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิ่งกาญจน์ เทียมเวช. 2546. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีต่อสมรรถนะของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา และใบไม้แห้ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กิตจเมธ แจ้งศิริกุล, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และสุเทพ ทองแพ. 2552. การใช้ประโยชน์น้ำกากส่าและเถ้ากากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินทาใหม่. ว.ดินและปุ๋ย 30 : 180-191.

เกษม สร้อยทอง. 2534. การแยกเชื้อราในดินและการทดสอบคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลส. ว. แก่นเกษตร 19 : 218-225.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, สรสิทธิ์ วัชโรทยาน และ Hidenori, W. 2527. การศึกษาเบื้องต้นถึงอิทธิพลของวัสดุเหลือใช้อินทรีย์ที่มีต่อไนโตรเจน และ pH ของดินนา. ว.ดินและปุ๋ย 6 : 205-215.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์, วิเชียร จาฏุพจน์, วรรณา เลี้ยววาริณ และสุภาณี ยงค์. 2538. สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกมังคุดบางชนิดในภาคใต้ของประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์ 17 : 381-393.

ชูชาติ วัฒนวรรณ. 2544. ผลของแคลเซียมต่ออายุการเก็บรักษาหอมแดง. ผลงานฉบับเต็ม. ศรีสะเกษ : ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ กรมวิชาการเกษตร.

ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ และเถลิงศักดิ์ อังกุรเศรณี. 2551. สมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากโคพื้นเมืองภาคใต้ภายใต้ระบบการเลี้ยงแบบปล่อยในจังหวัดสงขลา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ปี 2551. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, เสมอขวัญ ตันติกุล และชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร. 2547. การหมักปุ๋ยจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ. [Online] Available from http://www.compost.mju.ac.th/aerated/help/pic/%A1%D2%C3%CB%C1%D1%A1%BB%D8%EB%C2.pdf. [Accessed August 22, 2013].

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประพิศ แสงทอง, ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2544. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. ว. ดินและปุ๋ย 23 : 148-159.

ประไพ ชัยโรจน์ และวนิดา โนบรรเทา. 2544. การย่อยสลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากหญ้าแฝกรัม. ว. ดินและปุ๋ย 23 : 1-10.

ประเสริฐ สองเมือง, วิทยา ศรีทานันท์, กรีพล ลิ้มสมวงศ์, อนนท์ สุขสวัสดิ์, ดิเรก อินตาพรม, กรรณิกา นากลาง และสว่าง โรจนกุลกุศล. 2542. การใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. *ใน* รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2536-2539. หน้า 1-11. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2537. การผลิตปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรม. *ใน* คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. หน้า 31-48 กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์. 2537. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและประโยชน์บางประการในการกองปุ๋ยหมัก. *ใน* คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ.หน้า 63-74.กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

พิมลสิริ ศุภเสถียรไชย, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และเอ็จ สโรบล. 2552. การใช้เถ้ากากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าว. ว. ดินและปุ๋ย 30 : 192-201.

ภาวนา ลิกขนานนท์. 2544. ปุ๋ยหมักและกระบวนการเป็นปุ๋ยหมัก. *ใน* เอกสารวิชาการปุ๋ยชีวภาพ. หน้า 358-388. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตติญา พรมแสง, อรุณศิริ กำลัง และจันทร์จรัส วีรสาร. 2551. ผลของการปลดปล่อยไนโตรเจนจากการหมักมูลโคนม และมูลโคขุนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง. ว. ดินและปุ๋ย 31 : 118-126.

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ และครรชิต เงินคำคง. 2549. การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและเศษผักโดยวิธีการหมักแบบกองแถว. รายงานการวิจัย. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ.

ลัดดาวัลย์ มีสุข, เพ็ญศรี ชูวรเวช, ยุพิน สรวิสูตร, จันทิรา อริยธัช และภาวนาฏ เสมรสุต. 2529. การเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตโดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ. ว.วิชาการเกษตร 4 : 17-24

วธิดา คะนะแนม. 2552. ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิรินทา วันดี. 2552. การศึกษาการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) มาหมักปุ๋ย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สนั่น รัตนานุกูล, ประเสริฐ หนูจีน, ศักดิ์ชาย วรามิตร และวรางคนา โพธิ์สุข. 2532. การทดสอบปุ๋ยกับหอมแดงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ว. วิชาการเกษตร 7 : 16-21.

สมศักดิ์ วังใน, ภาวนา ลิกขนานนท์ และเย็นใจ วสุวัติ. 2539. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ EM และการใช้จุลินทรีย์ชนิดอื่นผลิตปุ๋ยหมัก. ว. เกษตรศาสตร์ 30 : 110-120.

สาวิตรี รุจิธนพาณิช. 2536. การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยการใช้เปลือกหอมแดง. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร : หอมแดง. Available from http://www.oae.go.th. [Accessed March 19, 2013]

สุภา บริกัปปกุล, เกษมสุข ศรีแย้ม และอภันตรี พฤกษพงศ์. 2555. การใชปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของแก้วมังกรในจังหวัดจันทบุรี. Available from http://www.ldd.go.th/flddwebsite/web_ord/ORDGroup2010/ORD_G8/Data/Data Project/%BA%B7%A4%D1%B4%C2%E8%CD%E1%A1%E9%C7%C1%D1%A7%A1%C3.pdf. [Accessed March 19, 2013].

สุริยา รัตนะ และยุพิน เพ็ญภินันท์. 2541. การใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตหอมแดงพื้นที่จังหวัดเชียงราย. ว. เกษตรก้าวหน้า 13 : 60-67.

อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2543. การจัดการฟางข้าวเพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. ว. วิชาการเกษตร. 18 : 280-286.

อดุลย์ สุทธิวงศ์. 2547. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ และหินฟอสเฟตต่อการเติบโตผลผลิต และคุณภาพของข้าวพันธ์ กข 10. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรัญ งามผ่องใส, เสาวนิต คูประเสริฐ, อภิชาต หล่อเพชร, อุษา ศรีใส และสุชน คชาทอง. 2553. การใช้มูลแพะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตพริก. รายงานวิจัย. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อุษา ศรีใส. 2546. สภาพกรดด่างของดินที่เหมาะสมต่อมวลชีวภาพและการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของถั่วหรั่งและถั่วพร้าที่ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Abarchi, I., Zhon-yu, Z., Vanlauwe, B., Xiang-Ping, G., Wei-Mu, W.B. and Timbely, D. 2009. Effects of plant age and rock phosphate on quality and nutrient release of legume residue. Pedosphere 19 : 78-85

Alexander, M. 1997. Introduction to soil microbology. New York : J. Wiley and Sons, Inc.

Alhaji, S. J., Trond, K. H., Arne, G. and Per, A. P. 2006. Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus fertilizer to cereals and rye grass. Nutr. Cycl. Aaroecosys. 76 : 183-191.

Awodun, M. A. 2007. Effect of goat manure ad urea fertilizer on soil, growth and yield of okra (*Abelmoschusesculentus* L.) Moench. J. Agric. Res. 2 : 632-636.

Awodun, M. A., Omonijo, L. I. and Ojeniyi, S. O. 2007. Effect of goat dung and NPK fertilizer on soil and leaf nutrient content, growth and yield of pepper. J. Soil. Sci. 2 : 142-147.

Azeez, J. O. and Averbeke W. V. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. Bioresource. Technol. 101 : 5645–5651.

Brady, N. C. and Weil, R. R. 2008.The Nature and Properties of Soils. New Jersey : Pearso Education.

Chien, S. H., Hammond, L. L. and Leon, L.A. 1987. Long-Term reaction of phosphate rock with and oxisol in Columbia. J. Soil. Sci. 144 : 257-265.

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

Danny, C. K. K., Chun, W. C., Keith, K. H. C., Jonh, F. P., and Gordon, M. 2004. Sorption equilibiria of metal ions on bone char. Chemosphere. 54 : 273-281.

Day, M. and Shaw, K. 2001. Biological chemical and physical process of composting. *In* Compost Utilization In Horticultural Cropping Systems, pp. 17-50 : CRC Press.

Diaz, M. J., Madejon, E., Lopez, R., Lopez, R. and Cabrera, F. 2002. Composting of vinasse and cotton gin waste using two different systems. Resour. Conserv. Recyc. 34 : 235-248.

Eklind, Y. and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. Bioresource. Technol. 74 : 125-133.

Gagnon, B. and Simard, R. R. 1999. Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial composts. J. Soil. Sci. 79 : 481-489.

Garcia-Gomez, A., Bernal, M. P. and Roig, A., 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. Bioresource. Technol. 83 : 81-87

Giusquiani, P. L., Gigliotti, G., Businelli. D., Benetti, A. 1995. Urban waste compost: Effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. J. Environ. Qual. 24 : 175-182.

Goyal, s., Dhull, s. k. and Kapoor, K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technol. 96 : 1584-1591

Haynes, R. J. and Mokolobate, M. S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. Nutr. Cycl. Agroecosys. 59 : 47-63.

Hodson, M. E., Valsami-Jones, E., Cotter-Howells, J. D., Dubbin, W. E., Kemp, A. J., Thorton, I. and Warren, A. 2001. Effect of bone meal (calcium phosphorus) amendments on metal release from contaminated soil-a leaching colum study. Environ. Pollut. 112 : 233-243.

Hogg, D., Barth, J., Favoino, E., Centemero, M., Caimi, V., Amlinger, F., Devliegher, W., Brinton, W. and Antler, S. 2002.Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia. [Online] Available from http://www. Composting vermont. org/pdf/WRAP_Comparison_of_Compost_Standards_2002.pdf. [Accessed February 22, 2013]

Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T. and Nagar, B. B. 2004.Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. Waste. Manag. 24: 805-813.

Irvine, G. D. and Knowles, M. J. 1997. Bone charcoal : a new concept in the treatment of planting effluents. Finishing 50 : 12-13.

Jonathan, W. C. W. and Min, F. 2000. Effects of lime addition on sewagesludge composting procrss. Water. Res. 15 : 3691-3698.

Kari, Y., Risto, U. and Eila, T. 2008. Meat bone meal and fox manure as P sources for ryegrass (Lolium multiflorum) grown on a limed soil. Nutr. Cycl. Agroecosys. 81 : 267-278

Keener, H. M., Ekinci, K. and Michel, Jr. F. C. 2005. Composting Process Optimization--Using On/Off Controls. Compost Science & Utilization. 13 : 288-299

Kulcu, R., Yaldiz, O. 2008. Effects of air flow directions on composting process temperature profile. Waste Manag. 28 : 1766-1772

Larney , F. J. and Hao, X. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. Bioresource. Technol. 98 : 3221-3227.

Liang, C., Das,K. C. and McClendon, R. W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresource. Technol. 84 : 131-137.

Mahimairaja, S., Bolan, N. S., Hedley, M. J. 1995. Denitrification losses of N from fresh and composted manures. Soil Biol Biochem. 27 : 1223-1225

Meunchang, S., Panichsakpatana, S. and R.W. Weaver. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. Bioresource. Technol. 96 : 437-442

Miyatake, F. and Iwabuchi, K. 2000. Effect of hight compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost. Bioresource. Technol. 96 : 1821-1825

Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M. D., Perez-Espinosa, A., Rufete, B. and Paredes, C . 2005. Characterisation of the organic matter pool in manures. Bioresource. Technol. 96 : 153–158.

Negro, M. J., Solano, M. L., Ciria, P. and Carrasco, J. 1999 Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. Bioresource Technol. 67 : 89-92

Pace, M. G., Mille, B. E. and Farrel-Poe, K. L. 1995. The composting process October 1995. Extension, Utah state University. AG-WM 01

Pardo, A. G. and Forchiassin F. 1999. Factors influencing β-glucosidase production, activity and stability in Nectria catalinensis. Folia Microbiol. 44 : 71-76.

Pengnoo, A., Leowarin, W., Koedsub, N. and Kanjanamaneesathian, M. 2003. Nitrogen mineralization in soil amended with mesocarp fiber of palm and other wastes : A greenhouse study. Songklanakarin J. Sci.Technol. 24 : 1-8.

Polprasert, C. 1996. Organic waste recycling. 2nd edition. pp. 115 – 165. U.S.A : John Wiley & Sons, Inc.,

Raj, D and Antil, R. S. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. Bioresource. Technol. 102 : 2868-2873

Sharma, V. K., Canditalli, M., Fortuna, F. and Cornacchia, G. 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review.Energy Conserv. Manag. 38 : 453-478.

Stewart, J. C., and Jocelyn, B. P. 1981. Factors influencing the production of cellulase by *Aspergillusferigatus*(Fresenius). J. Gen Microbiol 125 : 33-39.

Siebers, N., Godlinski, F. and Leinweber, P. 2012. The phosphorus fertilizer value of bone char for potatoes, wheat and onions: first results. Agricul. Forest. 62 : 59-64

Thambirajah, J. J., Zulkifli, M. D. and Hashim, M. A. 1995. Microbilogical and biochemical changes during the composting of oil palm empty fruit bunches ; effect of substrate. Bioresource. Technol. 95 : 223-227.

Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, J. J. 1998. Change in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. Ecosyst. Environ. 67 : 79-89.

Tom, L. R., Hamelers, H. V. M.(Bert)., Adrie, V. and Tiago, S. 2002. Moisture relationship in composting processes. Compost. Sci. Util. 10 : 286-302.

Yamada, Y. and Kawase, Y. 2005. Aerobic composting of waste activated sludge: kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. Waste. Manag. 26 : 49-61.

Zahangir, A., Nurdina, M. and Mohd, E. M. 2005. Production of cellulase from oil palm biomass as substrate by solid state bioconversion. Am. J. Applied Sci. 2 : 569-572.

Zaki, A.S. 2004.Effect of plant growth promoting bacteria and composed organic fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and tomatogrowth. Bioresource. Technol. 95 : 223-227.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210620003

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

ทุนการศึกษา

โครงการทุนเรียนดีสำหรับนักศึกษาปริญญาโท คณะทรัพยากรธรรมชาติ

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักวิชาการเกษตร สถานีพัฒนาที่ดินระนอง จังหวัดระนอง

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ทัศนีย์ แก้วมรกฏ, จำเป็น อ่อนทอง และอัจฉรา เพ็งหนู. 2556. องค์ประกอบและการปลดปล่อยธาตุอาหารของเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น. ว.มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 8 : 130 -145