การใช้ประโยชน์จากหอยเชอรี่สำหรับการทำปุ๋ยหมัก

Application of Golden Apple Snails for Making Compost

สุชินันท์ เกียรติภักดี

Suchinun Kietphakdee

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

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์จากหอยเชอรี่สำหรับการทำปุ๋ยหมัก
ผู้เขียน นางสาวสุชินันท์ เกียรติภักดี
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ โตวัฒนะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิยา เกาศล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุรชาติ เพชรแก้ว)

.....กรรมการ
(ดร.ไพบูลย์ ประโมจนีย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ โตวัฒนะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิยา เกาศล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์จากหอยเชอรี่สำหรับการทำปุ๋ยหมัก
ผู้เขียน นางสาวสุชินันท์ เกียรติภักดี
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

หอยเชอรี่เป็นศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้กับข้าวเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสัตว์ที่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี จึงได้มีการหาวิธีในการป้องกันและกำจัดเพื่อไม่ให้สร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว โดยทำการทดลองนำหอยเชอรี่มาเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักร่วมกับฟางข้าว มูลวัว และยูเรีย ซึ่งดำเนินการทดลองโดยใช้ถังหมักแบบใช้อากาศ เพื่อหาระยะเวลาและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมัก จากนั้นนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด มาทดลองปลูกพืช โดยใช้ข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ ในชุดดินบ้านทอนซึ่งเป็นดินทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และได้มีการนำปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดมาใช้ทดลองด้วย ซึ่งการทดลองประกอบด้วย 7 ตำรับการทดลองดังนี้ 1) ตำรับการทดลองควบคุม (T1) 2) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3% (T2) 3) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6% (T3) 4) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9% (T4) 5) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว 3% (T5) 6) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 3% (T6) และ7) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 3% (T7) โดยทำการเก็บผลผลิตที่ได้เมื่อต้นข้าวโพดมีอายุครบ 42 วัน

ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักคือ 60 วัน และอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ถังหมักตำรับที่ 2 โดยมีอัตราส่วนหอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน ซึ่งปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ผลิตได้นี้ผ่านมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ยกเว้นความชื้นที่ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักเพียงเล็กน้อย จึงมีความจำเป็นที่ต้องนำมาผึ่งลมเพื่อลดความชื้นลง ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ และเมื่อนำมาใช้กับชุดดินบ้านทอนพบว่า ทำให้ดินบ้านทอนมีสมบัติดีขึ้น โดยตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 ข้าวโพดหวานมีการเจริญเติบโตดีที่สุดมีน้ำหนักแห้งสูงถึง 18.37 กรัม รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9% 17.76 กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม 14.94 กรัม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในดินของตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 กับปุ๋ยหมักหอยเชอรี่พบว่ามีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นปุ๋ยหมักหอยเชอรี่จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง

ของเกษตรกรไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดินและเพิ่มผลผลิตของพืชได้

Thesis Title	Application of Golden Apple Snails for Making Compost
Author	Miss Suchinun Kietphakdee
Major Program	Soil Resources Management
Academic Year	2011

ABSTRACT

Golden apple snails are pest causing severe rice field damage due to their rapid widespread. The experiments for eliminating the snails by making compost were conducted by mixing snails with rice straw, cow manure and urea in aerobic composting reactors for testing the detention time period and the appropriate mixing ratios in compost production. Then, the selected suitable treatments were employed to test the qualities of the compost by observing the growth of the tested plant (sweet corn) on Ban Thon soil series. The comparison experiments of plant growth of the selected ones with compost and with 2 brands of commercial compost were carried out. This included 7 treatments as follows: 1) control (T1); 2) application of golden apple snail compost at the rate of 3% (v/v) (T2); 3) application of golden apple snail compost at the rate of 6% (v/v) (T3); 4) application of golden apple snail compost at the rate of 9% (v/v) (T4); 5) application of cow manure compost at the rate of 3% (v/v) (T5); 6) application of commercial compost (Brand 1) at the rate of 3% (v/v) (T6) and 7) application of commercial compost (Brand 2) at the rate of 3% (v/v) (T7). The product was harvested when it was 42 days old.

The experiment results showed that the 60 day detention time and the ratio at snails: rice straws: urea = 1:3:0.007 was suitable for compost production and satisfied the compost standard of Fertilizer Act (NO.2) B.E.2550 except the moisture. This will be reduced by air dry. The application of snail compost in Ban Thon soil series improves soil fertilities. Application of commercial compost (Brand 1) improved corn growth with the maximum dry weight (18.37 g), whereas the application of snail compost at the rate of 9%, giving 17.76 g dry weight which was significantly ($P \leq 0.05$) higher than that of the control treatment (14.94 g). The comparison of soil plant nutrient of the treatments with the Brand 1 compost and the ones with snail compost showed no significant difference. Therefore, the snail compost could be another alternative method to improve soil fertilities and increased the plant growth.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางภาคผนวก	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการภาพประกอบภาคผนวก	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
บททรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	24
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	25
วัสดุและอุปกรณ์	25
วิธีการทดลอง	26
3. ผลการทดลอง	36
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	69
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	100
ประวัติผู้เขียน	117

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหอยเชอรี่ชนิดต่างๆ	7
2. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุหมัก	27
3. อัตราส่วนวัสดุที่ใช้หมักในถังหมัก (โดยน้ำหนัก)	29
4. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมัก	30-31
5. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด	31
6. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดิน	32
7. ตำรับการทดลอง	33
8. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังปลูก	34
9. พารามิเตอร์ที่ใช้การวิเคราะห์พืช (ข้าวโพด)	34
10. ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก	36
11. ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นสำหรับการทำปุ๋ยหมักที่ 0 วัน	38
12. ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก.	49
13. ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักในระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง	51
14. การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างปุ๋ยหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง (60วัน) และเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550	52
15. สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษา	53
16. สมบัติบางประการของชุดดินบ้านทอน	54
17. ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อความสูง (cm) ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน	55
18. ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือ (g) ดินของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน	56
19. ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในต้นข้าวโพดอายุ 42 วัน	58

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

20. ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในต้นข้าวโพดอายุ 42 วัน 60
21. pH ดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน 63
22. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน 65
23. ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน 68

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก 104-106
2. การเปลี่ยนแปลงความชื้นในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก 107
3. การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 108
4. การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 109
5. การการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 110
6. การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง ตามระยะเวลาของการหมัก 111
7. การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 112
8. การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 112
9. การเปลี่ยนแปลงแคลเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 113
10. การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 113
11. การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 114
12. การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก 114

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1. ลักษณะตัวเต็มวัยของหอยเชอรี่	4
2. ลักษณะเพศของหอยเชอรี่	5
3. ถังที่ใช้ในการหมักปุ๋ย	28
4. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตำรับการทดลอง	39
5. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในตำรับการทดลอง	40
6. การเปลี่ยนแปลงความชื้นในตำรับการทดลอง	41
7. การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในตำรับการทดลอง	42
8. การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในตำรับการทดลอง	43
9. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในตำรับการทดลอง	44
10. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตำรับการทดลอง	45
11. การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับการทดลอง	46
12. การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในตำรับการทดลอง	46
13. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมในตำรับการทดลอง	47
14. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมในตำรับการทดลอง	48
15. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักในตำรับการทดลอง	49
16. ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดในดินกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช	76
17. ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช	77
18. ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช	78
19. ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในพืช	79
20. ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช	80
21. ความเป็นกรด-ด่างในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	81

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
22. ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	81
23. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	82
24. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	83
25. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	84
26. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	85
27. ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน	85
28. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่	86
29. ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่	87
30. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่	88
31. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุกับไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่	89

รายการภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
1. ลักษณะของวัสดุหมัก (หอยเชอรี่, ฟางข้าว และมูลวัว) ที่ใช้ในการหมักปุ๋ย	115
2. ลักษณะของปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ที่ผลิตได้จากการทดลอง	116
3. การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในแต่ละตำรับการทดลอง	116

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันชาวนากำลังประสบกับปัญหาราคาข้าวตกต่ำเป็นอย่างมากแล้วยังมีปัญหาที่เกิดจากสัตว์ที่เป็นศัตรูข้าวที่สำคัญ คือ หอยเชอรี่ (Golden Apple Snail, *Pomacea canaliculata*, Lamarck) หอยเชอรี่ที่พบในประเทศไทยนั้นมีการนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน และฟิลิปปินส์ การนำเข้าครั้งแรกมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยส่งประเทศญี่ปุ่นและขายเป็นหอยสวยงามประดับตู้ปลาในสวนจตุจักร แต่ธุรกิจไม่ประสบความสำเร็จจึงมีการนำหอยเชอรี่ที่เพาะเลี้ยงไว้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายและเพิ่มจำนวนมากจนในที่สุดได้แพร่กระจายไปสู่นาข้าว ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและกว้างขวาง มีรายงานอย่างเป็นทางการปรากฏว่าครอบคลุมพื้นที่ 60 จังหวัดของประเทศไทย (ชมพูนุช และ ทักษิณ, 2542) ซึ่งหอยเชอรี่นอกจากจะกัดกินทำลายต้นข้าวแล้วยังกินพืชน้ำอื่นๆ ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มได้เกือบทุกชนิด (ประจง, 2542) โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้หอยเชอรี่เป็นศัตรูข้าวที่สำคัญและระบาดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากหอยเชอรี่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะได้เป็นอย่างดี สามารถอาศัยได้ทั้งในน้ำและจำศีลอยู่บนบกได้ นอกจากนี้ยังสามารถสืบพันธุ์และเจริญเติบโตได้ดี การป้องกันกำจัดเท่าที่ได้มีการดำเนินการมาคือ การใช้สารเคมี การใช้วิธีผสมผสาน และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเป็นอาหารของสัตว์และคน ซึ่งต้องใช้ทั้ง 3 วิธีควบคู่กันไปตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ (นิตยา และ จารุวรรณ, 2542) จะเห็นได้ว่าปัญหาการระบาดของหอยเชอรี่ในนาข้าวนำความเสียหายมาสู่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงได้มีการคิดวิธีที่จะควบคุมและกำจัดหอยเชอรี่ขึ้นโดยเน้นการนำเอาไปใช้ประโยชน์เพื่อบริโภค เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ และทำปุ๋ยหมักชีวภาพอย่างปลอดภัย (นิตยา และคณะ, 2542)

การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ เป็นการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนภายใต้สภาวะในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม (Kulcu and Yaldiz, 2004) การหมักแบบใช้อากาศนี้จะมีอัตราการย่อยสลายเร็ว มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของคาร์บอนอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Yamada and Kawase, 2005) และระบบการหมัก

แบบนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น เนื่องจากการย่อยสลายแบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดก๊าซชนิดที่มีกลิ่นเหม็น และยังได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดี มีองค์ประกอบของไนโตรเจน และซัลเฟต (มุกดา, 2543) ซึ่งผลที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคของวัสดุที่ใช้หมัก (Elango *et al*., 2008) การนำหอยเชอรี่มาผ่านกระบวนการหมักต้องอาศัยกระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย และเมื่อเกิดการสลายตัวแล้วสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชและยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของดินให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย ซึ่งการศึกษานี้เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาการแพร่ระบาดของหอยเชอรี่ในนาข้าว และได้วัตถุดิบสำหรับการนำมาทำปุ๋ยหมักชนิดใหม่ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำหอยเชอรี่มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงให้ความสนใจในการนำหอยเชอรี่ซึ่งเป็นศัตรูของต้นข้าว มาใช้ประโยชน์โดยหมักร่วมกับฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แล้วนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี และแก้ปัญหาเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช และช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีขึ้น สามารถใช้ที่ดินนั้นได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางการจัดการทรัพยากรดินรูปแบบหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

2. บทตรวจเอกสาร

2.1 หอยเชอรี่

2.1.1 ชีววิทยาของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่ หรือหอยโข่งอเมริกาใต้ หรือเป๋าฮื้อน้ำจืด ชื่อสามัญคือ Golden Apple Snail มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ทวีปอเมริกาใต้ เข้าสู่ทวีปเอเชียทางประเทศไต้หวัน และฟิลิปปินส์ ในปี ค.ศ. 1980 (Anderson, 1993) หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1986 จึงมีการนำเข้ามาในประเทศไทย (Rondom and Callo, 1991) แม้ว่าหอยเชอรี่จะเป็นหอยที่มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ต่างประเทศ แต่เมื่อมาอยู่ในประเทศไทยก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมอย่างบ้านเรา จึงมีแนวโน้มว่าจะกลายเป็นหอยประจำถิ่นในอนาคต ทั้งนี้เพราะปัจจัยต่างๆ ในการดำรงชีวิตและมีสายพันธุ์ที่เหมาะสม

2.1.2 การจำแนกทางชีววิทยา

หอยเชอรี่สามารถแบ่งตามหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้

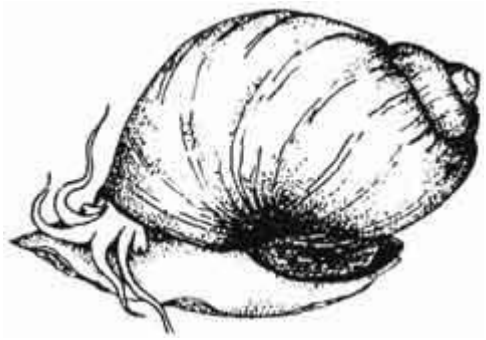
Phylum	Mollusca
Class	Gastropoda
Subclass	Prosobranchia
Order	Mesogastropoda
Superfamily	Viviparoidea
Family	Ampullariidae
Genus	Pomacea

การแบ่งชนิด (Species) นั้น คาดว่าหอยเชอรี่ที่ระบาดในประเทศไทยมีอยู่อย่างน้อย 3 ชนิดได้แก่ *Pomacea canaliculata*, Lamarck, *Pomacea leopordivillensis* และ *Pomacea* sp. (ชมพูนุท และ ทักษิณ, 2534)

2.1.3 ลักษณะทั่วไปของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่เป็นหอยทากน้ำ (Freshwater snails) เป็นหอยฝาเดียว รูปร่างค่อนข้างกลมใหญ่ เปลือกเรียบมีฝาปิด เป็นแผ่นแข็งสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งตัวหอยสามารถหลบเข้าไปอยู่ในเปลือก (shell) แล้วปิดฝาเพื่อป้องกันอันตราย กล่าวคือมีรูปร่างและขนาดคล้ายกับหอยโข่ง ซึ่งเป็นหอยประจำถิ่นของประเทศไทยนั้นเอง แต่เปลือกบางกว่าและมีร่องลึกกว่า ส่งให้ส่วนยอดของเปลือกหอยนูนสูงขึ้น ฝาปิดของหอยโข่งจะหนาแข็งมากและมีมุกเคลือบเป็นสีขาว หอยเชอรี่สามารถจำแนกจากการดูด้วยตาเปล่าเป็นสองชนิด คือ ชนิดที่มีเปลือกสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อและหนวดสีเหลืองกับชนิดที่มีเปลือกสีเขียวเข้มปนดำและมีแถบสีดำจางๆ พาดตามความยาว เนื้อและหนวดมีสีน้ำตาลอ่อน การหมุนของเปลือกเป็นเกลียววนขวา เมื่อโตเต็มที่มีขนาดความสูงเฉลี่ยประมาณ 80 mm หนัก 112 g หอยเชอรี่ขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยพบสูง 94.5 mm หนัก 170 g หอยเชอรี่เคลื่อนที่โดยใช้เท้า ซึ่งมีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อหนา อาจยืดยาวหรือกว้างแบนใช้คืบคลาน เมื่อถูกรบกวนจะหดตัวเข้าไปในเปลือก สามารถคลานไปตามพื้นดินและใต้น้ำ หรือปล่อยตัวลอยไปตามกระแสน้ำ หรือขึ้นสู่ผิวน้ำได้ ส่วนหัวมีลักษณะเป็นแผ่น ริมฝีปากยื่นออกทางด้านข้างปากทั้งสองข้าง ส่วนปลายเรียวเล็กลงคล้ายหนวดใช้รับความรู้สึก ข้างแผ่นปากนี้มีหนวดเส้นเล็กยาวข้างละหนึ่งเส้น ถัด

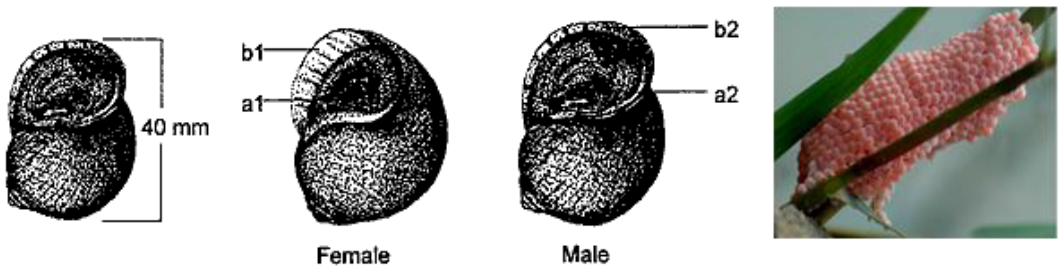
ออกมามีตาเล็กๆ ตั้งบนก้านตา ภายในปากมีกรามขนาดใหญ่หนึ่งคู่ใช้กัดกินอาหาร (ชมพูนุช และ ทักษิณ, 2542) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะตัวเต็มวัยของหอยเชอรี่
ที่มา: ชมพูนุช และ ทักษิณ (2542)

2.1.4 การขยายพันธุ์ของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่มีเพศแยกคือ เพศผู้และเพศเมีย สังเกตได้จากหอยเพศเมียจะมีฝาปิดที่เว้าเข้า (ภาพที่ 2 a1) ในตัวผู้จะนูนออกเล็กน้อย (ภาพที่ 2 a2) รอบเปลือกหอยตัวเมียที่โตเต็มวัยแล้วจะโค้งเข้าด้านใน (ภาพที่ 2 b1) ในตัวผู้จะโค้งออก (ภาพที่ 2 b2) ตัวโตเต็มวัยพร้อมจะขยายพันธุ์มีอายุประมาณ 3 เดือน น้ำหนัก 5 g มีขนาดสูงประมาณ 40 mm (Dela Cruz *et al*., 2001) โดยหอยเชอรี่จะใช้เวลาในการออกไข่ 1-6 ชั่วโมง แล้วแต่ขนาดของกลุ่มไข่ โดยไข่จะเคลื่อนออกมาทีละฟองบนกล้ามเนื้อเท้า ซึ่งขยับเป็นระลอกดันส่งไข่ให้ขึ้นไปซ้อนเข้าใต้ฟองที่ออกมาก่อนเป็นชั้นๆ ไข่ที่ออกมาใหม่ๆ จะอ่อนนิ่มและมีเมือกติด หลังจากนั้นจะเริ่มแห้งและแข็งขึ้น ไข่มีสีชมพูสดดูสวยงามเกาะติดกันเป็นกลุ่มยาว 2-3 นิ้ว แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไข่ 388-3,000 ฟอง ขึ้นอยู่กับขนาดของแม่หอย โดยไข่แต่ละฟองมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0-2.5 mm ไข่ที่มีสีชมพูสดจะซีดจางลงจนเกือบเป็นสีขาวภายใน 7-12 วัน แล้วแตกออกเป็นลูกหอย ซึ่งตัวมีขนาดเท่ากับหัวเข็มหมุดเล็กๆ หนักประมาณ 1.7 mg และมีลักษณะเหมือนตัวแม่ทุกอย่างแต่เปลือกนิ่มกว่า โดยเปลือกจะแข็งหลังจากหล่นลงน้ำแล้ว 2 วัน และจะเริ่มคืบคลานได้เมื่อมีขนาด 2-5 mm ต่อจากนั้นจะมีการผสมพันธุ์และมีการวางไข่ ซึ่งอัตราการฟักของไข่คิดเป็น 77-91 % หลังจากวางไข่แล้ว 4-10 วัน ตัวเมียจะวางไข่ได้อีกและสามารถวางไข่ได้ตลอดทั้งปี ตลอดอายุไข 2-3 ปี



ภาพที่ 2 ลักษณะเพศของหอยเชอรี่

ที่มา: ศักดา (2544)

2.1.5 ที่อยู่อาศัยของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่สามารถอยู่ได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำทุกประเภท ได้แก่ บึง สระ หนอง คลอง แม่น้ำ ลำธาร และในน้ำตื้นเพียงไม่กี่นิ้วก็ตามมันก็ยังเจริญเติบโตได้ดี ขอเพียงแต่มีอาหารบ้างและสภาพน้ำไม่เป็นกรดมากนัก อุณหภูมิที่พอเหมาะประมาณ 30 ^{o}C พบว่าหอยเชอรี่สามารถอยู่ในน้ำที่เน่าเสียได้ แต่อาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีและออกไข่น้อยกว่าปกติ (ศักดา, 2544)

2.1.6 การกินอาหารของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่กินพืชน้ำได้เกือบทุกชนิดที่มีลักษณะใบอ่อนนิ่ม เช่น แหน แหนแดง จอก จอกหูหนู ไข่น้ำ ผักบุ้ง ผักกะเฉด ยอดต้นข้าว สาหร่ายต่างๆ ต้นหญ้าที่อยู่ริมน้ำ รวมถึงซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยในน้ำ สามารถกินได้อย่างรวดเร็ว เฉลี่ยวันละ 50 % ของน้ำหนักตัว และกินได้ตลอด 24 ชั่วโมง ในเวลากลางวันที่มีแดดจัดหอยเชอรี่จะหลบอยู่ใต้เงาร่มของพืชน้ำต่างๆ หรืออาศัยอยู่ใต้ร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ริมแหล่งน้ำหรือนาข้าวนั้นๆ แล้วกินอาหารตลอดเวลา (ชมพูนุท และ ทักษิณ, 2534)

2.1.7 การแพร่กระจายและการระบาดในประเทศไทย

มีการนำเข้าหอยเชอรี่จากญี่ปุ่น ไต้หวัน และฟิลิปปินส์ ในปี พ.ศ. 2526 เพื่อทำฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยส่งประเทศญี่ปุ่นและขายเป็นหอยสวยงามประดับตู้ปลาในสวนจตุจักร แต่ธุรกิจไม่ประสบความสำเร็จ จึงมีการนำหอยเชอรี่ที่เพาะเลี้ยงไว้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งการแพร่กระจายในนาข้าวพบครั้งแรกช่วงต้นปี พ.ศ. 2530 ในนาทดลองสถานีข้าวบางเขน จนกระทั่งต้นปี พ.ศ. 2531 ประชากรหอยได้เพิ่มมากขึ้นจนทำความเสียหายให้กับนาข้าวของสถานีทดลองทั้ง 100 ไร่ (ชมพูนุท และ ทักษิณ, 2542)

2.1.8 ปริมาณธาตุอาหารในหอยเชอรี่

หอยเชอรี่นับว่ามีคุณค่าทางอาหารสูงสำหรับมนุษย์และสัตว์เลี้ยง นิยมนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ และบริโภค โดยกรมวิชาการเกษตร (2550) ได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักจากหอยเชอรี่ พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่ค่อนข้างต่ำประมาณ 4.2-4.9 และค่าการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าค่อนข้างสูงประมาณ 12,000-17,000 micro mhos/cm 25^{o}C เวลานำไปผสมหรือนำไปใช้จะต้องมีความระมัดระวัง ถ้านำไปใช้ในปริมาณมากจะเป็นพิษกับต้นพืชที่มีลักษณะอ่อนในระยะแรกได้ สำหรับค่าไนโตรเจนประมาณ 1.2-1.6 % ค่าฟอสฟอรัส 0.2-0.6 % และโพแทสเซียม 0.8-2.0 % ดังนั้นพบว่าปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีปริมาณธาตุอาหารสูง โดยสังเกตจากสมบัติทางเคมีบางประการของหอยเชอรี่ ซึ่งมีความเหมาะสมในการที่จะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช อีกทั้งการนำหอยเชอรี่มาเป็นวัสดุหมักยังช่วยกำจัดหอยเชอรี่ซึ่งเป็นศัตรูที่สำคัญในนาข้าวอีกด้วย (Teo, 2001) การนำหอยเชอรี่มาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาศัตรูพืชของนาข้าว ซึ่งนับว่าเป็นอุปสรรคอย่างมากต่อการทำนาและหอยเชอรี่ยังมีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหอยเชอรี่ชนิดต่างๆ

ธาตุอาหาร	ชนิดหอยเชอรี่			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากหอยเชอรี่	น้ำหมักจากไข่หอยเชอรี่	น้ำหมักจากตัวหอยเชอรี่พร้อมเปลือก	น้ำหมักจากไข่และเนื้อหอยเชอรี่
N	0.35 (%)	1.23 (%)	0.84 (%)	1.62 (%)
P	0.25 (%)	0.60 (%)	-	0.64 (%)
K	0.85 (%)	1.66 (%)	1.67 (%)	2.04 (%)
Ca	1.65 (%)	-	-	-
Mg	0.29 (%)	-	-	-
S	0.15 (%)	-	-	-
Fe	171 (ppm)	-	-	-
Mn	126 (ppm)	-	-	-
Cu	140 (ppm)	-	-	-
EC *	-	17,020 micro-mhos/cm 25°C	17,350 micro-mhos/cm 25°C	12,280 micro-mhos/cm 25°C
OM	-	26.51 (%)	15.13 (%)	20.44 (%)
กรดฮิวมิก	3.07 (%)	4.45 (%)	3.07 (%)	4.31 (%)
pH	4.65	4.6	4.9	4.3
Zn	180 (ppm)	-	-	-

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2550)

วนิดา (2549) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง พบว่าต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ได้รับน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างใบ และความยาวใบ ได้ดีกว่าการไม่ใช้น้ำสกัดชีวภาพเพราะน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกรดฮิวมิคที่สามารถนำมาใช้กับพืชได้เป็นอย่างดีและภายหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ได้รับน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่มีน้ำหนักสดมากกว่าการไม่ใช้น้ำสกัดชีวภาพ แต่พบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพของหอยเชอรี่จากส่วนที่แตกต่างกันไม่มีผลให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ มุกดา (2545) กล่าวว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากหอยเชอรี่ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ สมชาย (2547) ได้นำหอยเชอรี่มาทำเป็นปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพโดยหมักร่วมกับ

การใช้น้ำเถ้ากากส่า พบว่าปุ๋ยน้ำหมักดังกล่าวสามารถทำให้ผลผลิตของคะน้าสูงสุด นอกจากนี้ Sopit (2006) ได้นำหอยเชอรี่มาทำเป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยการนำหอยเชอรี่ มูลวัว ฟางข้าว และเชื้ออีเอ็ม มาหมักรวมกันทำให้ไนเตรทเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดและจำนวนใบของต้นหอมเพิ่มขึ้นซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 แต่แตกต่างจากชุดควบคุม

2.2 มูลวัว

มูลวัว เป็นของเสียชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาหมักปุ๋ย โดยส่วนที่เป็นของแข็งนั้นประกอบด้วยเศษของพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นในส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงยังอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ แต่มูลวัวที่ไม่ผ่านการหมักไม่ควรเอามาใช้โดยตรงเพราะว่าจะเกิดความร้อนทำให้เกิดผลเสียต่อพืช (ยงยุทธ, 2551)

ในแต่ละปีวัว กระบือ แต่ละตัวจะขับถ่ายออกมาคิดเป็นปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 45, 9 และ 90 kg ตามลำดับ ปริมาณนี้ถือได้ว่ามากและเพียงพอต่อการกสิกรรม ปริมาณธาตุอาหารในมูลวัวจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอาหารที่เลี้ยงและอายุของสัตว์ โดยปริมาณธาตุอาหาร (% โดยน้ำหนักแห้ง) ในมูลวัวประกอบด้วย ปริมาณคาร์บอนประมาณ 12.20-18.60 %, ปริมาณไนโตรเจนประมาณ 0.86-1.32 %, ปริมาณฟอสฟอรัส ประมาณ 0.32-0.58 %, ปริมาณโพแทสเซียมประมาณ 0.80-2.21 % และค่า pH ประมาณ 7.40-8.30 (ธงชัย, 2546)

2.3 ฟางข้าว

ฟางข้าว เป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งในไร่นาจากการผลิตข้าว ทั้งนี้เนื่องจากประชากรบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก อีกทั้งยังส่งออกไปขายยังต่างประเทศเป็นอันดับ 1 ของสินค้าเกษตรมาตลอดอีกด้วย ประเทศไทยใช้เนื้อที่ประมาณ 50 % ของพื้นที่ถือครองทางการเกษตรในการปลูกข้าว ดังจะเห็นได้ว่า ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2553 ได้ใช้พื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 30 ล้านตัน โดยทั่วไปยอมรับกันว่าสัดส่วนของผลผลิตเมล็ดข้าวต่อฟางข้าวประมาณ 1:1 (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2553) ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าปริมาณฟางข้าวในปี พ.ศ. 2553 มีมากถึง 30 ล้านตัน โดยฟางข้าวสามารถนำมาใช้เพิ่มธาตุอาหารพืชบางชนิดในดินได้

เช่น ไนโตรเจน เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส โดยทั่วไปแล้วฟางข้าวประกอบด้วยไนโตรเจน 0.6 %, ฟอสฟอรัส 0.1 %, โพแทสเซียม 0.5 %, กำมะถัน 1.5 % และคาร์บอน 40 % (Ponnamperuma, 1984)

โดยทั่วไปเกษตรกรจัดการฟางข้าวหลายวิธี เช่น การเผาฟางข้าว การเกี่ยวฟางออกจากพื้นที่การปล่อยฟางทิ้งไว้ในนา และการไถกลบฟางข้าว เป็นต้น สำหรับการเผาฟางข้าวนั้น ชาวนาส่วนมากนิยมเผาฟางหลังจากนวดข้าวแล้ว ทำให้ทุ่งนาโล่งเตียน สะดวก และประหยัดในการเตรียมดิน สามารถทำลายโรคแมลงที่ติดอยู่กับฟาง แต่การเผาฟางมีข้อเสียคือ ก่อให้เกิดมลภาวะ และสูญเสียธาตุอาหารพืช การเผาฟางข้าว 1 ตันต่อไร่ ทำให้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต้องสูญเสียไป 6.9, 0.8 และ 15.6 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ การเกี่ยวเอาฟางข้าวออกจากพื้นที่โดยทั่วไปเป็นวิธีนำฟางออกไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษ ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้ในการเพาะเห็ดฟาง และนำเอาฟางออกไปคลุมในแปลงผัก การสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการจัดการฟางข้าวโดยวิธีนี้มีน้อยกว่าการเผาฟาง การปล่อยฟางทิ้งไว้ในนา ให้ผุสลายเองตามธรรมชาติ ธาตุอาหารทั้งหมดในฟางข้าวจะกลับคืนสู่ไร่นา การไถกลบฟางข้าว ชาวนานิยมไถกลบฟางข้าวหลังจากนวดข้าวเสร็จ อย่างไรก็ตาม การไถกลบฟางข้าวจำเป็นต้องใช้รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ, 2543)

พัลลภ (2548) ศึกษาองค์ประกอบของปุ๋ยหมักฟางข้าวและรายงานว่ามีปริมาณไนโตรเจน 1.51 %, ฟอสฟอรัส 1.10 % และโพแทสเซียม 1.73 % การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินและผลผลิตพืช (ธงชัย, 2546)

2.4 ปุ๋ยหมัก (Composting)

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยธรรมชาติที่เกิดจากการสลายตัวของเศษซากพืช ซากสัตว์ และมูลฝอยหลายชนิดแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะเปลี่ยนจากรูปเดิมอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์สามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพของดินหรือเป็นปุ๋ย (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสในดิน ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิส (Alexander, 1997) ทำให้เศษวัสดุทำหน้าที่เปลี่ยนไปเป็นรูปที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำวัสดุเหลือใช้ต่างๆ มากองรวมกันแล้วเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยและมีสีน้ำตาลปนดำ

2.4.1 กระบวนการหมัก

การหมักวัสดุอินทรีย์ให้เป็นปุ๋ยหมักสามารถทำได้หลายรูปแบบ โดยหลักการแล้วเป็นการทำให้วัสดุอินทรีย์เปียกชื้นมากพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เข้าย่อยสลายเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการดำรงชีวิต กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อาจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นได้รวดเร็ว หรือเป็นกระบวนการทางชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นได้ช้ากว่า กระบวนการทั้งสองแบบเกิดขึ้นควบคู่กันไป และเกิดแบบไหนมากกว่ากันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปการกองปุ๋ยหมักอาจทำได้หลายวิธี เช่น การกองในหลุม การกองบนพื้น การกองแบบมีเครื่องจักรในการผสมคลุกเคล้าวัสดุและให้อากาศ หรือการกองแบบพ่นอากาศเข้าไปในกอง แต่ละกรรมวิธีมีผลต่อความรวดเร็วในการแปรสภาพของวัสดุและคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ ช่วงแรกของการกองปุ๋ยหมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายไปบางส่วนและมีการแปรสภาพของโมเลกุลกลายเป็นสารฮิวมิกบางส่วนและมีการสร้างสารประกอบฮิวมิกขึ้นมาอีกบางส่วนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ สารฮิวมิกที่เกิดขึ้นในช่วงแรกนี้ลักษณะโมเลกุลไม่ซับซ้อนมาก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป โมเลกุลสารฮิวมิกจะใหญ่ขึ้นมีโครงสร้างซับซ้อนยิ่งขึ้น และมีความคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้มากขึ้น ในที่สุดเมื่อหมักไปได้ระยะเวลามากพอสารฮิวมิกจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ มีโครงสร้างซับซ้อน ทนทานต่อการย่อยสลายในดิน และมีความสามารถสูงในการปรับปรุงสมบัติของดิน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของดินหรือสมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity) ของดิน (Day and Shaw, 2001)

2.4.2 รูปแบบของการหมักปุ๋ย

การหมักปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การหมักแบบไม่ใช้อากาศและการหมักแบบใช้อากาศ

2.4.2.1 การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic composting)

การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ เป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่ไม่มีอากาศ หรือเรียกอีกอย่างว่าแบบ “Cold process” ที่เรียกเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในปุ๋ยอยู่ในระดับใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก และเป็นกระบวนการที่ปล่อยพลังงานออกมาน้อยกว่าสภาพที่มีอากาศ ซึ่งพลังงานที่ปล่อยออกมาน้อยเนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรกกระบวนการในสภาพที่ไม่มีอากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ประการที่สองจำนวนความร้อน

ที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าการทำปุ๋ยหมักในสภาพที่มีอากาศ (มุกดา, 2543) โดยคุณภาพปุ๋ยที่ได้ค่อนข้างต่ำ ทั้งยังใช้เวลานานกว่าการหมักแบบใช้อากาศ (อานุภาพ, 2549) ดังสมการที่ 1.1

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{anaerobic microorganism}} CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + \text{Other end products} + \text{Energy} \qquad (1.1)$$

จากสมการ 1.1 จะพบว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จากการศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักทั้งแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ พบว่าการหมักแบบใช้อากาศสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า ส่วนการหมักแบบไม่ใช้อากาศต้องใช้เวลาในการหมักนาน มีกลิ่นรบกวนและอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก แต่การหมักแบบนี้ไม่ต้องมีการจัดการที่ยุ่งยาก (ธันวดี, 2547)

2.4.2.2 การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ (Aerobic composting)

การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศหรือต้องการอากาศ เป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน (ธีระพงษ์ และคณะ, 2547) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม ซึ่งการหมักแบบใช้อากาศนี้จะมีอัตราการย่อยสลายเร็ว มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของคาร์บอนอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Kulcu and Yaldiz, 2004) รวมทั้งการย่อยเศษพืชให้มีขนาดเล็กลง จะทำให้กองปุ๋ยสามารถสะสมความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายเอาไว้ภายในกองปุ๋ยได้ เมื่อมีการเติมอากาศแก่บริเวณกลางกองปุ๋ยเป็นครั้งๆ ด้วยพัดลมเติมอากาศก็จะทำให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อการย่อยสลาย การย่อยสลายก็จะสามารถดำเนินไปได้อย่างเร็วโดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย ซึ่งจะมีผลดีคือ จะทำให้การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่ระเหยสู่อากาศลดลงได้ (ธีระพงษ์ และคณะ, 2547) ซึ่งการหมักโดยวิธีใช้อากาศจะไม่มีกลิ่นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนและให้ผลผลิตสุดท้ายที่เสถียร (อานุภาพ, 2549) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic microorganism}} CO_2 + H_2O + \text{Other end products} + \text{Energy} \qquad (1.2)$$

จากสมการ 1.2 พบว่าการหมักแบบใช้อากาศเป็นการย่อยสลายได้โดยใช้ออกซิเจนและปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนจำนวนมากจนเหลืออินทรียสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งก็คือปุ๋ยหมัก ดังนั้นการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ วัตถุดิบที่ใช้ต้องไม่อัดแน่นจนเกินไป ต้องมีรูพรุนอยู่บ้าง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีขึ้น นอกจากนี้การทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุต่างๆ ยังสามารถเพิ่มวัสดุอื่นลงไปได้ด้วย เช่น มูลสัตว์และสารเคมีบางชนิด ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ได้นำวิธีการหมักแบบใช้อากาศ

2.4.3 วิธีการหมัก

Haug (1993) ได้จำแนกวิธีการหมักแบบใช้อากาศออกเป็น 2 วิธี ดังนี้คือ

2.4.3.1 การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยา (Nonreactor Processes)

การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยานี้เป็นการหมักแบบกองไว้บนพื้นสามารถแบ่งตามรูปแบบการทำงานได้ 2 แบบ คือ แบบมีการพลิกกลับกองหมักและแบบไม่มีการพลิกกลับกองหมัก แบบมีการพลิกกลับกองหมัก วัสดุจะถูกพลิกเป็นช่วงๆ เช่น ทุกๆ 3-4 วัน และทุกๆ 7 วัน เพื่อเป็นการเติมอากาศ (ออกซิเจน) ควบคุมอุณหภูมิและคลุกเคล้าวัสดุหมักให้เข้ากัน สำหรับแบบไม่มีการพลิกกลับกองหมัก วัสดุหมักจะกองไว้ มีการเติมอากาศโดยผ่านอากาศเข้าไปในกองหมักด้วยการพ่นหรือดูดอากาศผ่านท่ออากาศที่วางอยู่ใต้กองหมัก การหมักทั้งสองแบบนี้มีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า การหมักแบบวินด์โรว์ (Windrow Composting) และการหมักแบบกองเติมอากาศ (Aerated Static Pile Composting) ตามลำดับ

2.4.3.2 การหมักในถังปฏิกิริยา (Reactor Processes)

การหมักแบบนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดถังปฏิกิริยาดังนี้ คือ

1) ถังปฏิกิริยาแบบวางในแนวตั้ง (Vertical Flow Reactors) การหมักแบบนี้วัสดุหมักจะเคลื่อนที่จากบนลงล่าง โดยทั่วไปวัตถุดิบจะป้อนเข้าสู่ถังหมักแบบต่อเนื่องหรือเติมเป็นพักๆ ก็ได้

2) ถังปฏิกิริยาในแนวนอนและวางเอียง (Horizontal and Inclined Flow Reactors) การหมักแบบนี้ ถังหมักจะเคลื่อนที่ด้วยแกนหมุนหรือสายพาน หรือใช้การอัดในแนวนอน

3) ถังหมักในกล่อง (Batch) การหมักในกล่องเป็นการหมักแบบเท โดยทั่วไปจะใส่วัตถุดิบที่เป็นวัสดุหมักลงในกล่องหมัก แล้วหมักเป็นเวลา 7-14 วัน อาจมีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ หลังจากหมักตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว นำวัสดุหมักที่ได้ออกมากองเพื่อบ่มต่อจนได้ที่ ถึงจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก

2.4.4.1 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัตถุดิบ

เป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุดังกล่าวจะย่อยสลายได้เร็วหรือช้าและใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก กล่าวคือถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio สูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (De Bertoldi *et al*., 1983) คาร์บอนในอินทรียสารจะเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างโครงสร้างของเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะได้พลังงานออกมา จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น การเพิ่มจำนวนนี้จะมีการสร้างเซลล์ใหม่ จุลินทรีย์จึงต้องการไนโตรเจนซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการสังเคราะห์เซลล์ (Gotaas, 1976) Martins และ Dewes (1992) กล่าวว่า ถ้า C/N ratio ของวัตถุดิบ มีค่าอยู่ในช่วง 25-35 การหมักจะมีประสิทธิภาพที่สุด แต่ถ้า C/N ratio มีค่าสูงกว่าช่วง 25-35 กระบวนการหมักจะช้าลง ขณะที่ C/N ratio มีค่าต่ำกว่า 20 จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ในระหว่างกระบวนการหมักอินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วระเหยออกจากกองปุ๋ยหมัก ขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอินทรียสารในกอง ทำให้ C/N ratio มีค่าลดลง (Vuorinen and Saharinen, 1997; Day *et.al*.,1998) ในกรณีที่วัตถุดิบมีค่า C/N ratio สูงมากๆ อาจมีการเติมสารประกอบไนโตรเจน ในรูปของปุ๋ยเคมี หรืออินทรียสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เช่น มูลสัตว์ วัสดุเหลือทิ้งบางชนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะเทศบาล หรือกากตะกอนน้ำเสีย (Goluek, 1977) เพื่อยกระดับปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้น หรือทำให้ค่า C/N ratio ของกองปุ๋ยหมักลดต่ำลงกระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักจึงเกิดได้รวดเร็วขึ้น (Gaur, 1980)

2.4.4.2 การระบายอากาศ

การระบายอากาศหรือการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการพลิกกลับกองปุ๋ย นอกจากจะมีผลดีในการระบายอากาศแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การพลิกกลับกองในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง พิทยากร และคณะ (2534) ศึกษาวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักฟางข้าว พบว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก 10 วัน ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการหมัก Finstein และ Morris (1975) ศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมัก พบว่าบริเวณผิวนอกจะมีปริมาณออกซิเจนมาก และจะลดลงเมื่อลึกเข้ากลางกองปุ๋ยหมัก จากการพลิกกลับกองช่วยให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 10.1 เป็น 18.0 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ De Bertoldi และคณะ (1983) พบว่ากระบวนการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศจัดเป็นปฏิกิริยา

ประเภท Biological oxidation ซึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ ก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการรับอิเล็กตรอนที่ถ่ายมาจากระบบ Respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการระบายอากาศจึงจำเป็นต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ปริมาณอากาศที่ต้องการในการหมักแบบใช้ออกซิเจนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่นำมาหมัก แต่ปริมาณออกซิเจนจะต้องไม่ต่ำกว่า 18 % Diaz และคณะ (2002) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหมักของ Vinasse และเมล็ดฝ้ายที่มีระบบการให้อากาศแบบพลิกกลับกองและแบบเติมอากาศ พบว่าอุณหภูมิในระบบแบบพลิกกลับกองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงถึง 57 ^{o}C ใน 7 วัน ซึ่งสูงกว่าระบบแบบเติมอากาศที่มีอุณหภูมิ 45 ^{o}C ใน 21 วัน

2.4.4.3 ความเป็นกรดหรือด่าง (pH)

ในกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน pH ของกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงความเป็นกลาง และไม่บ่อยครั้งนักที่จะพบว่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง โดยปกติเมื่อเริ่มการหมักค่า pH มักลดลงเล็กน้อยใน 1-2 วันแรก เนื่องจากเกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะผลิตกรดไขมันออกมา หลังจากช่วงเวลานี้ค่า pH จะเพิ่มขึ้นกลับมาเป็นกลางอีกครั้ง เมื่อกรดไขมันที่ผลิตถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปฏิกิริยาจาก Methane-forming bacteria (Polprasert, 1996) Gray และคณะ (1971) พบการเปลี่ยนแปลง pH ของการหมักและสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงแรกค่า pH ลดลงเล็กน้อยที่ช่วง 5.0-5.5 (Mesophilic stage) จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นด่างประมาณ 8.0-9.0 ในช่วง Thermophilic stage ต่อมาค่า pH ลดลงมาเล็กน้อยในช่วง Cooling down stage และท้ายสุด pH จะลดลงจนมีค่าประมาณ 7.0-8.0 ในช่วง Maturing stage โดยทั่วไปเชื้อราสามารถทนต่อระดับ pH ได้ในช่วงกว้างมากกว่าพวกแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6.0-7.5 ส่วนช่วงที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5.5-8.0

2.4.4.4 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และออกซิเจนจากวัสดุที่ใช้หมักและอากาศสู่จุลินทรีย์ ตลอดจนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุที่ใช้หมัก (Tengerdy, 1985) Haug (1980) กล่าวว่าปริมาณน้ำในวัสดุหมักมีผลต่อช่องว่างอากาศโดยตรง ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุหมักลดลง ซึ่งทำให้การไหลผ่านของอากาศเป็นไปได้ยาก อาจทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเมื่อเติมอากาศจะทำให้อากาศส่วนหนึ่งถูกใช้ในการระเหยน้ำแทนการใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปก็ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการ

หมักจะเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของขนาดวัสดุหมักและระบบที่ใช้ในการหมัก ในทางปฏิบัติช่วงความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 50-60 % โดยมวล (Rabbani *et al*., 1983) Goluek (1972) กล่าวว่าความชื้นที่เหมาะสมในการหมักคือ 50-60 % โดยมวล แต่ถ้าการหมักเป็นแบบแคบและกองตามยาว (Windrow) อาจมีความชื้นต่ำกว่านี้ได้ ในขณะเดียวกันถ้าการหมักโดยใช้ระบบแบบเติมอากาศด้วยเครื่องจักรกลความชื้นอาจสูงกว่านี้ได้ ถ้าความชื้นมากขึ้นปริมาณก๊าซจะลดลง ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ตรงกันข้าม ถ้าปริมาณความชื้นต่ำเกินไป ทำให้ไม่มีน้ำสำหรับทำปฏิกิริยาซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ (Gotaas, 1976)

2.4.4.5 ชนิดและขนาดของวัสดุ

1) ชนิดของวัสดุที่ใช้หมัก วัสดุที่สามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ เศษซากของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ แต่โดยปกติแล้ว ส่วนใหญ่จะได้มาจากพืช ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นเศษพืชที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ต้นถั่ว ฝ้าย เศษผัก กากอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ผักตบชวา เศษหญ้า หรือวัชพืชต่างๆ แม้แต่พวกเศษขยะตามอาคารบ้านเรือน เช่น เศษกระดาษ ใบตอง กิ่งไม้ ใบไม้ เป็นต้น วัสดุเหล่านี้บางชนิดก็ย่อยสลายได้ง่าย รวดเร็ว บางชนิดก็ย่อยสลายได้ช้าขึ้นอยู่กับเนื้อของวัสดุเหล่านั้นว่ามีส่วนที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่าย และมีแร่ธาตุอาหารอยู่พอเพียงกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ ดังนั้นจึงแบ่งวัสดุเหล่านี้ออกเป็น 2 พวก ได้แก่

(ก) เศษพืชพวกสลายตัวง่าย เช่น ผักตบชวา ต้นกล้วย ใบตอง เศษหญ้าสด เศษพืชที่อวบน้ำ เศษผัก กากเมล็ดข้าวฟ่าง พืชตระกูลถั่วต่างๆ

(ข) เศษพืชพวกสลายตัวได้ยาก เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ขี้เลื่อยขุยมะพร้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟาง เป็นต้น ปกติเศษพืชเหล่านี้จะมีแร่ธาตุอาหารบางชนิดอยู่น้อยไม่พอเพียงกับความต้องการของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน ดังนั้นถ้าต้องการให้เศษพืชประเภทนี้สลายตัวได้รวดเร็วขึ้น ต้องเพิ่มธาตุไนโตรเจนลงไปในรูปของปุ๋ยเคมีหรือมูลสัตว์ต่างๆ แทน

2) ขนาดของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ขนาดของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้นมีความสำคัญมาก โดยทั่วไปวัสดุที่มีขนาดเล็กจะย่อยสลายได้เร็วกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้น แต่ถ้าวัสดุมีขนาดละเอียดมากเกินไป ก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ยในช่วง Thermophilic เพราะว่าเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนมากที่สุด แต่ถ้าขนาดเริ่มต้นมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้กองปุ๋ยหมักแห้งได้ง่าย และทำให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการหมักในระยะต่อมา (อานุภาพ, 2549; Gray *et al*., 1971)

Gaur (1980) รายงานว่า ขนาดของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักที่เหมาะสมควรมีความยาวแต่ละชิ้นประมาณ 5 cm ส่วนพัชรี (2529) ได้รายงานขนาดที่เหมาะสมของวัสดุหมักว่าควรมีขนาด 2.5-7.5 cm

2.4.4.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการหมัก และมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ (Polprasert, 1996) ดังนี้

1) Latent phase เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ในระยะแรกของการหมัก อุณหภูมิในกองจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมัก

2) Mesophilic phase จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และผลจากการย่อยสลายอินทรียสารชนิดต่างๆ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยอุณหภูมินี้อยู่ในช่วง 25-40 ^{o}C จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรียสารในช่วงนี้ คือ Mesophilic microorganism

3) Thermophilic phase การย่อยสลายอินทรียสารโดยจุลินทรีย์ทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงกว่า 40 ^{o}C ซึ่งทำให้ Mesophilic microorganism ตายหรือหยุดทำงานชั่วคราว แต่การย่อยสลายยังคงดำเนินต่อไปโดยจุลินทรีย์พวก Thermophilic microorganism ที่สามารถดำเนินกิจกรรมได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-65 ^{o}C เมื่ออินทรียสารถูกย่อยสลายมากขึ้น พลังงานความร้อนจากกระบวนการหมักจะสูญเสียความร้อนในกองปุ๋ยหมักออกสู่บรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง

4) Maturation phase เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงจนอยู่ในช่วง Mesophilic phase จุลินทรีย์จำพวก Mesophilic microorganism จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียสารอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนอินทรียสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงทนที่เรียกว่า สารฮิวมิก จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะลดลงจนใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบ แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน ซึ่งพลังงานส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ภายในเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปความร้อน ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ และอัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้น (Polprasert, 1996) อุณหภูมิที่สูงกว่า 55 ^{o}C สามารถทำลายเชื้อโรคได้ ส่วนอุณหภูมิระหว่าง 45-55 ^{o}C อัตราการย่อยสลายของอินทรียสารจะมีค่าสูงสุด อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักอยู่ในช่วง 50-60 ^{o}C ซึ่งสามารถ

เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการหมักเกิดขึ้น (Suler and Finstein, 1997) Tiquia และคณะ (2002) พบว่าจำนวนของ Aerobic heterotrophs แอคติโนมัยซิส และเชื้อรา จะลดลงเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเริ่มสูงถึง 70 ^{o}C Haug (1980) ได้อธิบายว่าการย่อยสลายของอินทรียสารเกิดขึ้นภายในช่วงอุณหภูมิ Thermophilic มากที่สุดหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการหมักจะเหลืออินทรียสารที่ย่อยสลายได้ยาก

2.4.4.7 จุลินทรีย์

การย่อยสลายของอินทรียสารในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนย่อยสลายอินทรียสาร ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิส (Dindal, 1978) ซึ่งสามารถจำแนกความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายได้ดังนี้

1) เชื้อรา (Fungi) เชื้อราเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียสารในช่วงที่มีอุณหภูมิไม่สูงเกินไป โดยเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง คือ สามารถเจริญได้ในสภาพที่เป็นกรด pH ประมาณ 4.0 และบางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่ pH 2.0 เมื่อ pH เพิ่มสูงขึ้นเป็น 9.0 เชื้อราบางชนิดก็ยังสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ (Cosico, 1985) อย่างไรก็ตามเชื้อราจะไม่ทนต่ออุณหภูมิที่สูงเกินไป มีรายงานว่าอุณหภูมิสูงกว่า 55-60 ^{o}C เชื้อราจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ โดยทั่วไปเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการไนโตรเจนและความชื้นในการเจริญน้อยกว่าแบคทีเรียและแอคติโนมัยซิส (Haug, 1979)

2) แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่พบปริมาณมากและมีบทบาทสำคัญในกองปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกๆ ของการย่อยสลาย และช่วงที่มีอุณหภูมิสูงในกองปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปเชื้อแบคทีเรียมักจะพบในปริมาณที่มากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ และจะพบมากในช่วงระยะแรกของการย่อยสลายโดยจะมีปริมาณสูงถึง 108-109 CFU ต่อกรัม และคาดว่าประมาณ 80-90 % ของกิจกรรมการย่อยสลายอาจเกิดจากแบคทีเรีย (Goluek, 1977)

3) แอคติโนมัยซิส (Actinomycete) จุลินทรีย์พวกนี้เจริญได้ช้ากว่าพวกเชื้อราและแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิสที่พบในกองปุ๋ยหมักมีหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนในกองปุ๋ยได้ดี เช่น *Thermoactinomycetes* sp., *Thermomonospora* sp. ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ดี และยังมีพวก *Streptomyces* sp. และ*Micromonospora* sp. ที่พบมากและสามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักขณะที่มีอุณหภูมิสูง (วนิดา, 2532) แอคติโนมัยซิสเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นน้อยในการเจริญเติบโต ถ้าหากมีความชื้น 85-100 % จะพบแอคติโนมัยซิสลดน้อยลง แต่จะเจริญได้ดีใน pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง ถ้าค่า pH ลดต่ำลงกว่า 5.0 และอยู่ในสภาพขังน้ำ หรือขาดออกซิเจน จะทำให้เชื้อแอคติโนมัยซิสลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว แอคติโนมัยซิสจะเจริญช้ากว่า

แบคทีเรียและเชื้อรา จึงพบได้น้อยในช่วงแรกของการย่อยสลาย แต่พบมากในช่วงท้ายของการย่อยสลายซึ่งเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ทนทานต่อการย่อยสลาย โดยเชื้อแอคติโนมัยซิสมีความสามารถในการย่อยสลายอินทรียสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ดี จึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ลิกนิน และไคติน (Cosico, 1985)

2.4.5 การประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

ดัชนีที่บ่งบอกความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักได้แก่ อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ไนเตรท และสัดส่วนกรดฮิวมิกต่อกรดฟูลวิก เป็นต้น วิธีการประเมินความเสร็จสมบูรณ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ

2.4.5.1 การประเมินความเสร็จสมบูรณ์โดยวิธีทางเคมี

1) ความเป็นกรดหรือด่าง (pH) โดยในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักค่า pH จะลดลงเล็กน้อยจนมีค่าประมาณ 5 ต่อมาจะมีค่าเพิ่มเมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายและเริ่มเสถียรภาพ จนในที่สุดค่า pH จะรักษาระดับอยู่ในช่วง 7-8 จนสิ้นสุดกระบวนการหมัก หากค่า pH ของกองปุ๋ยหมักเป็นกรด แสดงว่าการหมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากใช้เวลาหมักน้อยเกินไปหรืออาจเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Gray *et al*., 1971) อย่างไรก็ตามการใช้ pH ในการประเมินความเสร็จสมบูรณ์อาจไม่มีความแน่นอน เนื่องจากชนิดวัสดุที่ใช้หมัก และสภาพแวดล้อมของการหมักตลอดจนเทคโนโลยีการผลิต

2) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อินทรีย์คาร์บอนจะถูกย่อยสลายและแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิกและคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งคาร์บอนส่วนใหญ่ของอินทรียสารจะถูกย่อยสลายและระเหยออกนอกกอง ทำให้วัสดุหมักมีค่า C/N ratio ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งการแปรสภาพดำเนินไปมากพอค่า C/N ratio ก็มักลดลงต่ำกว่า 20 (Mathur, 1991) Vuorinen และ Saharinen (1997) รายงานว่า C/N ratio สุดท้ายต่อ C/N ratio เริ่มต้น ลดลงเป็น 0.65-0.75 หลังจากหมักไปได้ 1 เดือน และ 0.49-0.59 หลังจากหมักไปได้ 2 เดือน และหากวิเคราะห์คสมบัติทางเคมีหลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักจะพบว่า มีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงกระบวนการหมักเสร็จสิ้นสมบรูณ์แล้ว (สุปราณี, 2535)

2.4.5.2 การประเมินความเสร็จสมบูรณ์โดยวิธีทางกายภาพ

1) อุณหภูมิกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก และรักษาอุณหภูมิอยู่ในระดับ 60-70 ^{o}C เป็นเวลาหลายวัน จากนั้นเริ่มลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงบรรยากาศ และรักษาระดับเช่นนี้ต่อไป (Goluek, 1972) การผสมและพลิกกลับกองของปุ๋ยหมักอีกครั้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จะทำให้อุณหภูมิสูงอีกครั้งในกรณีที่ปุ๋ยหมัก

ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ แต่ปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อพลิกกลับกอง (Mathur *et al*., 1993)

2) สี (Color) Sugahara และคณะ (1979) รายงานว่าปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลดำจนถึงดำ ตรวจสอบสีของปุ๋ยหมักโดยวิธี CIE 1931 Standard Colorimetric System ได้สมการดังนี้ Y = 0.388 (C/N) + 8.31 ซึ่ง Y อยู่ในช่วง 11-13 จะเป็นปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

3) กลิ่น (Odor) กลิ่นจะค่อยๆ ลดลงในระหว่างการหมักและเกิดกลิ่นอีกครั้งเมื่อพลิกกลับกองและผสมปุ๋ย เมื่อหมักเสร็จสมบูรณ์กลิ่นเหม็นจะหายไปและไม่มีกลิ่นเหม็นอีกเมื่อพลิกกลับกอง (Haug, 1980) โดยทั่วไปปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์จะมีกลิ่นคล้ายดินตามธรรมชาติ

4) ความอ่อนนุ่มของวัสดุหมัก กองหมักจะยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/3-1/4 ส่วนของกองเดิม (ธงชัย, 2535) เมื่อใช้นิ้วบี้ดู เศษพืชจะอ่อนนุ่ม ยุ่ยขาดออกจากกันได้โดยง่าย จะมีลักษณะเป็นร่วนซุย ไม่แข็งกระด้างหรือเป็นก้อนเหมือนเริ่มต้นของการหมัก

2.4.5.3 การประเมินความเสร็จสมบูรณ์โดยวิธีทางชีวภาพ

1) การใช้แหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ (CLPPs = Community Level Physiological Profiles) สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้รูปแบบการใช้แหล่งคาร์บอนของประชากรจุลินทรีย์ทำให้สามารถนำมาประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของการหมักได้ (นันทวัน, 2547) Laine และคณะ (1997) พบว่า CLPPs สามารถแยกกลุ่มประชากรจุลินทรีย์จากกองปุ๋ยหมักโดยใช้สารตั้งต้นต่างชนิดกัน

2) การทดสอบความงอกของเมล็ด (Seed germination test) ปุ๋ยหมักที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช เช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอล เอทิลีน แอมโมเนีย เกลือ และกรดอินทรีย์ (Tiquia *et al*., 1996) สารเหล่านี้มีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชลดลง การงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ในการตรวจสอบการเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยนำเอาเมล็ดมาเพาะและนับจำนวนเมล็ดที่เจริญเติบโตและวัดความยาวของรากที่งอก ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาดัชนีการงอก (Germination Index, GI) (Wong *et al*., 2001) ถ้าได้ค่า GI เท่ากับ 50 % แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นปลอดสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช Tiquia และคณะ (1996) ทำการตรวจสอบความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมขี้เลื่อย โดยใช้วิธีการทดสอบความงอกของเมล็ด (Seed germination) พบว่าผักกาดขาวและผักโขมจีนเป็นเมล็ดที่มีความไวต่อการทดสอบ และค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชมีมากกว่า 80 % ที่ 60 วันของการบ่มปุ๋ยหมักแสดงว่าปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ในวันที่ 60 ของการหมัก

3) เชื้อโรคในปุ๋ยหมัก ในการนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์นั้น ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคในปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น ทำให้

เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ท้องร่วง โรคพยาธิ การติดเชื้อที่ปอด เป็นต้น แม้ว่าในกระบวนการหมักอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะสูงเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อโรค แต่อาจมีเชื้อโรคบางส่วนสามารถมีชีวิตอยู่ได้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะที่ผิวนอกของกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองปุ๋ย ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง นอกจากนี้โรคบางชนิด เช่น สปอร์ของแบคทีเรีย ซีสต์ (Cysts) และไข่พยาธิ สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ และเจริญเติบโตได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเหมาะสม (Polprasert, 1996)

2.4.6 คุณภาพและมาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเศษวัสดุที่ใช้ กรรมวิธี ตลอดจนการดูแลรักษา อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ดีนั้นควรมีมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

2.4.6.1 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกินร้อยละ 20:1

2.4.6.2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ1 โดยน้ำหนัก, ฟอสฟอรัส (P_2O_5) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียม (K_2O) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

2.4.6.3 ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2.4.6.4 ปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

2.4.6.5 การย่อยสลายที่สมบูรณ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

2.4.6.6 ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร

2.4.6.7 ขนาดของปุ๋ยไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร

2.4.6.8 ปริมาณหิน กรวด ทราย เศษพลาสติก หรืออื่นๆ ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไปไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

2.4.6.9 ต้องไม่พบวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคมและโลหะอื่นๆ

2.4.6.10 ปริมาณเกลือ (NaCl) ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

2.4.6.11 ปริมาณสารเป็นพิษไม่เกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

Ramos และคณะ (2004) ทำการหมักสิ่งที่ปล่อยออกจากการฟอกหนังกับมูลโคและฟางข้าวสาลี เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 90 วัน พบว่าปุ๋ยหมักมีค่าการนำไฟฟ้า 28.1 mS m^{-1}, ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 17.7 cmol kg^{-1}, pH 8.5, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 7, ดัชนีความงอก (Germination Index) ของพืชตระกูลมัสตาร์ต (Cress) 48 %, ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว,

โครเมียม, แคดเมียม, ทองแดง และโซเดียม เท่ากับ 8.9, 77, 0.4, 10.3 และ 14,377 mg kg^{-1} ตามลำดับ Solano และคณะ (2001) ทำปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยมูลแกะ 8,000 kg (ความชื้น 53 %) กับฟางข้าวบาร์เลย์ 4,000 kg (ความชื้น 11 %) โดยในช่วง 2 เดือนแรกพลิกกลับกองทุกสัปดาห์หลังจากนั้นจะพลิกกลับกองทุก 15 วัน จนสิ้นสุดระยะ Thermophilic phase เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 40 ^{o}C เป็นการสิ้นสุดการหมัก พบว่าปุ๋ยหมักมีความชื้น 58 %, pH 8.39, ค่าการนำไฟฟ้า 0.83 dS m^{-1}, คาร์บอน 29.3 %, ไนโตรเจน 2.5 %, ไฮโดรเจน 3.9 %, ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 1.25 %, โพแทสเซียม (K_2O) 5.16 %, โซเดียม 0.49 %, แคลเซียม 2.42 %, แมกนีเซียม 0.44 %, ตะกั่ว 7.7 mg kg^{-1}, ทองแดง 20 mg kg^{-1}, สังกะสี 85 mg kg^{-1}, โครเมียม 28 mg kg^{-1}, เหล็ก 0.32 %, แมงกานีส 685 mg kg^{-1}, แคดเมียม < 0.15 mg kg^{-1}, ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 189 cmol kg^{-1} และดัชนีความงอก (Germination Index) ของพืชตระกูลมัสตาร์ต (Garden cress) 35 %

2.4.7 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

ในขณะที่อินทรียสารต่างๆ ในปุ๋ยหมักกำลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่างๆ ของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงย่อยสลายไปตามลำดับ และในที่สุดจะเป็นอินทรียสารที่มีธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เช่น NH^{+}_4, NO^{-}_3, $H_2PO^{-}_4$ และ HPO^{2-}_4 ซึ่งจุลินทรีย์และรากพืชดูดไปใช้ได้ ส่วนโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักอยู่ในรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ดีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชในทันที ส่วนโพแทสเซียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืช และสัตว์จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาในลักษณะคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมักในดินเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจะเป็นอัตราที่ช้า แต่มีความสม่ำเสมอมากกว่า จึงทำให้เป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ค่อยเกิดความเป็นพิษต่อพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ถึงแม้ปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลักอยู่น้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่ปุ๋ยหมักมีข้อดีกว่าตรงที่ยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ อีก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี แมงกานีส โบรอนทองแดง และโมลิบดีนัม เป็นต้น ซึ่งปกติแล้วปุ๋ยเคมีจะไม่มี หรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น แร่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ไม่น้อยไปกว่าธาตุอาหารหลักเพียงแต่ต้นพืชต้องการในปริมาณน้อย โดยธาตุอาหารเหล่านี้จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาเช่นเดียวกัน

2.4.8 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักที่สามารถปรับสภาพคุณสมบัติของดินมีดังนี้

2.4.8.1 การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

1) แหล่งธาตุอาหารของพืช ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนที่สำคัญโดยจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการเปลี่ยนธาตุอาหารพืชจากรูปอินทรีย์สารเป็นรูปอนินทรีย์สาร (Chen and Avnimelech, 1986) ให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ แอมโมเนียม และไนเตรท นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอาหารอื่นๆ อีก คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่แตกต่างจากปุ๋ยเคมีคือ ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีมีมากกว่าในปุ๋ยหมัก แต่ธาตุอาหารเหล่านี้มักถูกชะล้างไปจากบริเวณรากพืชได้ง่าย ส่วนปุ๋ยหมักนั้นมีคุณสมบัติยึดธาตุอาหารพืชในรูปอินทรีย์คอลลอยด์ ซึ่งจะเป็นรูปที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้อย่างช้าๆ โดยทั่วไปแล้วปุ๋ยหมักจะมีธาตุไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 0.4-2.5 % ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 0.2-2.5 % และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ประมาณ 0.5-1.8 % อีกทั้งการใส่ปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มฮิวมัสในดิน ดินจึงมีโอกาสที่จะดูดยึดธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีได้มากขึ้น (สกล, 2549)

2) การใส่ปุ๋ยหมักอาจทำให้ดินมี pH เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับ pH เริ่มต้นของปุ๋ยหมักและดิน ตลอดจนปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงดิน Wong และคณะ (1999) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ที่อัตรา 75 ตันต่อเฮคตาร์ ทำให้ดินมีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 5.31 เป็น 6.16 และค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงถึง 2.51 dS m^{-1}

3) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC) ประเสริฐ (2543) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวระยะยาวติดต่อกัน 12 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519-2530 ที่อัตรา 500, 1,000, 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียวและใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่าผลการใช้ปุ๋ยหมักติดต่อกันทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มสูงขึ้น ความแข็งของดินมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่ทำให้ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลงไป

2.4.8.2 การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

1) อิทธิพลต่อสีของดิน ปุ๋ยหมักทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลถึงดำ ทั้งนี้เนื่องจากฮิวมัสที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลเข้ม และมีขนาดอนุภาคละเอียด จึงสามารถคลุกเคล้ากับส่วนอื่นๆ ของดินได้ดี

2) อิทธิพลต่อการเกิดเม็ดดิน (Soil aggregation) อินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวทำให้เกิดสารเชื่อม (Cementing agent) และสารเมือกจากจุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม (Fe_2O_3 และ Al_2O_3) สารประกอบพวกซิลิเคตแคลเซียมคาร์บอเนต ($Si(CaCO_3)_4$) และแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันทำให้เกิดเป็นเม็ดดิน อีกทั้งจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ เส้นใยของเชื้อรา

จะเจริญเติบโตคล้ายกับร่างแหรัดอนุภาคดิน ก่อให้เกิดเป็นเม็ดดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มช่องว่างในดิน (Giusquiani *et al*., 1995) มีผลให้การระบายอากาศในดินเหนียวดีขึ้น และการอุ้มน้ำในดินทรายเพิ่มมากขึ้น

3) อิทธิพลต่อความหนาแน่นรวม (Bulk density) ดินที่มีความหนาแน่นตัวสูง ทำให้รากพืชเจริญเติบโตช้า จำกัดบริเวณหาอาหารของรากพืช การระบายน้ำและอากาศไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นดานแข็งจากการไถพรวน (Tillage pan) อาจเกิดการอัดแน่นของอนุภาคดินซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของรากพืช การใช้ปุ๋ยหมักจะช่วยลดความหนาแน่นรวมของดินและช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินอีกด้วย (Khaleel *et al*., 1981) จำลอง (2539) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักบางชนิดต่อถั่วเหลืองฝักสดใน 10 ชุดดินภาคกลาง พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวเชื้อไฮเทค และปุ๋ยหมักฟางข้าวเชื้ออีเอ็ม ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลงปุ๋ยหมักสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินได้ เช่น ในดินเนื้อละเอียดได้แก่ ดินเหนียว และดินร่วนเหนียว จะช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความร่วนซุย ความจุอุ้มน้ำ และความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำและอากาศในดิน

4) อิทธิพลต่อการสึกกร่อนของดิน (Soil erosion) การสึกกร่อนของดินอาจเกิดจากแรงปะทะของเม็ดฝนหรือลมที่มีต่อดินทำให้หน้าดินสูญหายไป รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินก็สูญเสียไปด้วย การเกิดเม็ดดินโดยอินทรียวัตถุจากปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มความคงทนของดินต่อแรงปะทะของเม็ดฝนและลมได้มากยิ่งขึ้น ลดอัตราการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน และทำให้อัตราการซึมซับน้ำ (Infiltration rate) ดีขึ้น (Khaleel *et al*., 1981)

2.4.8.3 การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปุ๋ยหมักนอกจากช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิสแล้วยังช่วยกระตุ้นจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในดินให้เพิ่มปริมาณสูงขึ้น (Balasubramaniam, 1972) พิทยากรและคณะ (2534) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อเชื้อรา Rhizoctonia solani ที่มีต่อผลผลิตของถั่วเหลืองพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักที่อัตรา 4 ตันต่อไร่ ทำให้ปริมาณเชื้อไตรโคเดอร์มา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิสเพิ่มปริมาณจาก 3.26, 8.23 และ 8.68 log10 MPN g^{-1} เป็น 4.04, 9.28 และ 9.74 log10 MPN g^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อโรคพืช R. solsni ลดลงจาก 4.58 เป็น 3.85 log10 MPN g^{-1}

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าว สำหรับการทำปุ๋ยหมัก

3.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3.3 เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานและทราบแนวทางในการใช้ประโยชน์หอยเชอรี่ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการปลูกข้าวโพดหวาน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

1.1 วัสดุที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ยได้แก่

1.1.1 หอยเชอรี่ (บดให้ละเอียด) จากอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี

1.1.2 มูลวัว (บดให้ละเอียด) จากอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี

1.1.3 ฟางข้าว (ตัดให้มีขนาดต่ำกว่า 5 cm) จากอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี

1.1.4 ยูเรีย $CO(NH_2)_2$

1.2 ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (ภาคผนวก ข.)

1.3 ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (ภาคผนวก ข.)

1.4 ดินที่ใช้ในการทดลอง คือ ชุดดินบ้านทอน ที่ระดับความลึก 0-15 cm

1.5 เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ซูเปอร์สวีท 05

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์สำหรับทำปุ๋ยหมัก

2.1.1 ถังหมักพลาสติกขนาด 60 ลิตร

2.1.2 พลั่วสำหรับการผสมวัสดุหมักและกลับกองปุ๋ยหมัก

2.1.3 บัวรดน้ำและถังน้ำ

2.1.4 ถุงพลาสติกใส

2.1.5 ถุงมือ

2.2 อุปกรณ์สำหรับการปลูกพืช

2.2.1 ถุงพลาสติกดำ

2.2.2 บัวรดน้ำและถังน้ำ

2.2.3 สายวัด

2.2.4 กรรไกร

2.2.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

2.2.6 ถุงกระดาษ

2.3 เครื่องมือใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช

2.4 สารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก ดิน และพืช ในห้องปฏิบัติการ

2.5 เครื่องมืออุปกรณ์และเครื่องแก้วที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมัก ดิน และพืชในห้องปฏิบัติการได้แก่

2.5.1 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

2.5.2 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm และขนาด 2 mm

2.5.3 กระดาษกรอง

2.5.4 เครื่อง Visible Spectrophotometer

2.5.5 เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2.5.6 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity meter)

2.5.7 เครื่อง Flame photometer

2.5.8 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.5.9 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)

2.5.10 เครื่องย่อยตัวอย่าง (Digestion block)

2.5.11 เครื่องเขย่า (Shaker)

2.5.12 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

2.5.13 ตู้อบความร้อน (Hot air oven)

2.5.14 เตาให้ความร้อน (Hot plate)

2.5.15 เครื่องชั่ง ความละเอียด 2 และ 3 ตำแหน่ง

2.5.16 เครื่องแก้วชนิดต่างๆ

2.5.17 เครื่องบดตัวอย่างพืช

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาคุณสมบัติของหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าว ที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย

วัสดุหมัก (หอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าว) ที่จะนำมาหมักปุ๋ยนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้น เพื่อกำหนดสัดส่วนในการผสมวัสดุหมัก โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้

ในการวิเคราะห์คือ อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุหมัก

ช่วงที่ 1 การวิเคราะห์วัสดุหมัก	
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
pH	pH meter วัสดุ:น้ำ = 1:10 (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (%)	Walkley & Black method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total N (%)	Kjeldahl method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
C/N ratio	การคำนวณ
Total P (% P_2O_5)	HNO_3-$HClO_4$, Visible Spectrophotometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total K (% K_2O)	HNO_3-$HClO_4$, Flame Photometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total Ca (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS (จำเป็น, 2547)
Total Mg (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS (จำเป็น, 2547)

3.2 การศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

คำนวณอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการหมักร่วมกัน โดยกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30:1 โดยการคำนวณจากสูตรของ Tom Richard and Nancy Trautmann (Cornell Waste Management Institute, 1996) (ภาคผนวก ก.) ดังนี้

$$R = Q_1C_1 (100 - M_1) + Q_2C_2 (100 – M_2) / Q_1N_1 (100 – M_1) + Q_2N_2 (100 – M_2) \quad (2.1)$$

โดยที่ R = C/N ratio of compost mixture

Q_n = mass of material n

C_n = carbon (%) of material n

N_n = nitrogen (%) of material n

M_n = moisture content (%) of material n

ระบบที่ใช้ในการหมักปุ๋ยในครั้งนี้เป็นระบบการหมักแบบใช้อากาศ โดยทำการหมักในถังหมัก ซึ่งตัวถังเป็นพลาสติก ซึ่งมีขนาดของถังหมักปริมาตร 60 ลิตร บริเวณรอบๆ ถังหมักจะมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 77 รู พื้นที่ประมาณ 61 ตารางเซนติเมตร เป็นช่องระบายอากาศ ด้านในจะบุด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุหมักหกออกมาภายนอก ด้านล่างของถังหมักจะมีวาล์วเปิดปิด หากการหมักมีน้ำชะขยะเกิดขึ้น ภายในถังหมักจะมีแผ่นเหล็กกั้นระหว่างชั้นของวัสดุหมักและน้ำชะขยะ และตัวถังมีโครงเหล็กเป็นฐานยึดตัวถังหมักเพื่อเป็นขาตั้ง (ภาพที่ 3)

ในการหมักปุ๋ยจะต้องทำการผสมวัสดุหมักให้เข้ากัน และในถังหมักที่มีการหมักร่วมกับฟางข้าว ก่อนที่จะนำตัวอย่างมาหมักต้องนำฟางข้าวมาสับให้มีขนาดเล็กลงก่อน เมื่อหมักตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 4) และความถี่ในการกลับกองปุ๋ยหมักคือ 5 วันต่อครั้ง โดยนำวัสดุหมักเทออกมากลับกองภายนอกถังหมัก เพื่อให้วัสดุหมักได้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง จากนั้นจึงนำกลับเข้าไปในถังหมักตามเดิม

ภาพที่ 3 ถังที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

หาอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) และระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ย โดยวัสดุหมักที่ใช้คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) ใช้เวลาในการหมัก 30, 45 และ 60 วัน ตามลำดับ ทำ 3 ซ้ำ (ตารางที่ 3) และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการหมักปุ๋ย (ตารางที่ 3) ระหว่างการหมักปุ๋ย

จะมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-60 % โดยน้ำหนัก และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก เลือกปุ๋ยหมักที่ดีที่สุด โดยดูจากระยะเวลา, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายของปุ๋ยหมักในแต่ละตำรับการทดลอง

ตารางที่ 3 อัตราส่วนวัสดุที่ใช้หมักในถังหมัก (โดยน้ำหนัก)

ตำรับการทดลอง	วัตถุดิบที่นำมาหมัก	ระยะเวลาที่หมัก
1	หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน	30, 45 และ 60 วัน
2	หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน	30, 45 และ 60 วัน
3	มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน	30, 45 และ 60 วัน

พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์การหมักปุ๋ยจะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง ช่วงที่ 2 คือ การวิเคราะห์ขณะทำการหมัก โดยจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทุกๆ 5 วัน ยกเว้นอุณหภูมิจะทำการวัดทุกวัน และช่วงที่ 3 วิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักคือ วิเคราะห์พารามิเตอร์ทุก 30, 45 และ 60 วัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมักได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 การวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้น	
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	pH meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (%)	Walkley & Black method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total N (%)	Kjeldahl method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
C/N ratio	การคำนวณ
Total P (% P_2O_5)	HNO_3-$HClO_4$, Visible Spectrophotometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total K (% K_2O)	HNO_3-$HClO_4$, Flame Photometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total Ca (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS (จำเป็น, 2547)
Total Mg (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS (จำเป็น, 2547)
ช่วงที่ 2 การวิเคราะห์ขณะทำการหมัก	
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	pH meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (%)	Walkley & Black method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total N (%)	Kjeldahl method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
C/N ratio	การคำนวณ
Temperature (^oC)	Thermometer (ประโสด, 2540)
ช่วงที่ 3 การวิเคราะห์สิ้นสุดการหมัก	
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	pH meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (%)	Walkley & Black method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total N (%)	Kjeldahl method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
C/N ratio	การคำนวณ
ECe (dS m^{-1}) (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	Electrical conductivity meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Temperature (^oC)	Thermometer (ประโสด, 2540)

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ช่วงที่ 3 การวิเคราะห์สิ้นสุดการหมัก	
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
Total P (% P_2O_5)	HNO_3-$HClO_4$, Visible Spectrophotometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total K (% K_2O)	HNO_3-$HClO_4$, Flame Photometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total Ca (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)
Total Mg (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)
การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ (%)	นับจำนวนเมล็ดที่งอก (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)

3.3 การศึกษาสมบัติของปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด และการเตรียมตัวอย่างดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด

นำปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดคือ ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 และ 2 มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด

พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	pH meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (%)	Walkley & Black method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total N (%)	Kjeldahl method (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
C/N ratio	การคำนวณ
ECe (dS m^{-1}) (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	Electrical conductivity meter (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total P (%P_2O_5)	HNO_3-$HClO_4$, Visible Spectrophotometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total K (% K_2O)	HNO_3-$HClO_4$, Flame Photometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
Total Ca (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)
Total Mg (%)	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน

นำตัวอย่างดินชุดดินบ้านทอน โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 cm จากตำบลชิงโค อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เลือกก้อนหินและเศษซากพืชออก นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 cm นำตัวอย่างดินส่วนหนึ่งมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ให้ได้ประมาณ 1 kg และนำมาทำการวิเคราะห์สมบัติของดินตามวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
Texture	Hydrometer (วรรณา, 2538)
pH (ดิน:น้ำ = 1:5)	pH meter (จำเป็น, 2547)
ECe (dS m^{-1})	Electrical conductivity meter (จำเป็น, 2547)
OM (g kg^{-1})	Walkley & Black method (จำเป็น, 2547)
Total N (g kg^{-1})	Kjeldahl method (จำเป็น, 2547)
Avai. P (mg kg^{-1})	Bray2,Visible Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)
Exch. K (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, Flame Photometer (จำเป็น, 2547)
Exch. Ca (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, AAS (จำเป็น, 2547)
Exch. Mg (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, AAS (จำเป็น, 2547)

3.4 การศึกษาผลของปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน และสมบัติของดินหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

3.4.1 การปลูกพืชและการดูแลรักษา

นำตัวอย่างดินบ้านทอนจำนวน 5 kg บรรจุใส่ถุงพลาสติกสีดำ 42 ถุง ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ ปุ๋ยหมักมูลวัว และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ตามตำรับการทดลองผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ในอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (มนตรี, 2553) คือ ปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ 3 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 115 ลูกบาศก์เซนติเมตร, ปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ 6 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 230 ลูกบาศก์เซนติเมตร, ปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ 9 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 345 ลูกบาศก์เซนติเมตร, ปุ๋ยหมักมูลวัว 3 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 115 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด 3 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 115 ลูกบาศก์เซนติเมตร ยกเว้นตำรับการทดลองควบคุม (ตารางที่ 7) ปรับความชื้นดินที่ความจุความชื้นสนาม จากนั้นนำเมล็ด

ข้าวโพดหวานพันธุ์ซูเปอร์สวีท 05 หยอดลงจำนวน 4 เมล็ดต่อถุง เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 7 วัน ถอนต้นกล้าออกให้เหลือ 1 ต้นต่อถุง (โดยเลือกต้นที่แข็งแรงและสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน) จากนั้นดูแลรักษาให้น้ำและกำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือตลอดการทดลอง

3.4.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design); CRD ประกอบด้วย 7 ตำรับการทดลอง (Treatment combination) ทำ 6 ซ้ำ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลองที่	การทดลอง	สัญลักษณ์
1	ดินบ้านทอน (ควบคุม)	T_1
2	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่* 3 %	T_2
3	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่* 6 %	T_3
4	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่* 9 %	T_4
5	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักมูลวัว 3 %	T_5
6	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 3 %	T_6
7	ดินบ้านทอน + ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 3 %	T_7

หมายเหตุ *คืออัตราส่วนที่ดีที่สุดของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ได้จากการหมัก

3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

เก็บตัวอย่างดินที่เตรียมก่อนปลูกและหลังปลูก โดยในแต่ละถุงทำการผสมดินให้เข้ากันแล้วทำการสุ่มเก็บประมาณ 1 kg ใส่ถุงพลาสติกนำดินมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังปลูก

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
pH (ดิน:น้ำ = 1:5)	pH meter (จำเป็น, 2547)
OM (g kg^{-1})	Walkley & Black method (จำเป็น, 2547)
Total N (g kg^{-1})	Kjeldahl method (จำเป็น, 2547)
Avai P (mg kg^{-1})	Bray2,Visible Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)
Exch. K (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, Flame Photometer (จำเป็น, 2547)
Exch. Ca (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, AAS (จำเป็น, 2547)
Exch. Mg (cmol(+) kg^{-1})	NH_4 OAc, AAS (จำเป็น, 2547)

ทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานเมื่ออายุประมาณ 42 วัน วัดการเจริญเติบโต โดยวัดความสูงของต้นข้าวโพด และตัดต้นข้าวโพดที่ระดับผิวดินใส่ในถุงกระดาษ ชั่งน้ำหนักสดของส่วนเหนือดินในทุกกระถางที่ปลูก นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด บดตัวอย่างข้าวโพดส่วนเหนือดินที่อบแห้งแล้ว ด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช เก็บตัวอย่างใส่ถุงกระดาษปิดปากให้สนิทเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พืช (ข้าวโพด)

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
Moisture (%)	Oven-drying (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)
OC and OM (g kg^{-1})	Walkley & Black method (จำเป็น, 2547)
Total N (g kg^{-1})	Kjeldahl method (จำเป็น, 2547)
Total P (g kg^{-1})	HNO_3-$HClO_4$,Visible Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)
Total K (g kg^{-1})	HNO_3-$HClO_4$, Flame Photometer (จำเป็น, 2547)
Total Ca (g kg^{-1})	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)
Total Mg (g kg^{-1})	HNO_3-$HClO_4$, AAS. (จำเป็น, 2547)

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละตำรับการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

4. สถานที่ทำการวิจัย

4.1 กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยทางการเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

4.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

4.3 เรือนกระจกคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

4.4 ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. การศึกษาสมบัติของหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าวที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย

จากการศึกษาหอยเชอรี่ ซึ่งเป็นวัสดุหมักหลักซึ่งสร้างปัญหาในการทำนาข้าว มูลวัว ซึ่งเป็นของเสียเหลือทิ้ง และฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อทำปุ๋ยหมัก โดยมีการวิเคราะห์วัสดุหมักเบื้องต้น ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก

พารามิเตอร์	วัสดุหมัก		
	หอยเชอรี่	มูลวัว	ฟางข้าว
Moisture (%)	66.49	28.20	23.76
pH (วัสดุ:น้ำ = 1:10)	4.65	7.90	6.70
OC (% โดยน้ำหนักแห้ง)	21.53	24.54	35.01
Total N (% โดยน้ำหนักแห้ง)	3.29	1.64	0.65
C/N Ratio	6.5	16.71	53.86
Total P (P_2O_5) (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.41	1.38	0.23
Total K (K_2O) (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.69	1.55	1.72
Total Ca (% โดยน้ำหนักแห้ง)	22.06	1.77	0.85
Total Mg (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.20	0.45	0.52

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการหมักปุ๋ย พบว่าหอยเชอรี่มีความชื้น 66.49 % ซึ่งถือว่าเหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย ความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกรดจัดมาก อินทรียคาร์บอนมีค่า 21.53 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างสูงคือ 3.29 % โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่ามีค่าเท่ากับ 6.5 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม จึงไม่ควรใช้หอยเชอรี่เพียงอย่างเดียวในการหมักปุ๋ย ดังนั้นหากต้องการนำหอยเชอรี่มาหมักปุ๋ยจำเป็นต้องหาวัสดุมาหมักร่วม โดยเลือกวัสดุหมักร่วมจากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และ

กายภาพ พบว่าฟางข้าวมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบต่ำคือ 0.65 %, มีค่าอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 35.01 %, มีค่าความชื้นเท่ากับ 23.76 % และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงถึง 53.86 จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกับหอยเชอรี่ ส่วนมูลวัวนั้นนิยมนำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และกายภาพ พบว่ามีไนโตรเจนเท่ากับ 1.64 %, มีค่าอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 24.54 %, มีค่าความชื้นเท่ากับ 28.20 % และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16.71

2. การศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

2.1 อัตราส่วนและระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

การหมักปุ๋ยในการทดลองนี้จะนำหอยเชอรี่และวัสดุหมักร่วมมาผสมกัน (ฟางข้าวและมูลวัว)โดยกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30:1 โดยการคำนวณจากสูตรของ Tom Richard and Nancy Trautmann (Cornell Waste Management Institute, 1996) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.) ได้ตำรับการทดลองดังนี้ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) (ตารางที่ 3) โดยฟางข้าวก่อนจะทำการหมักจะต้องตัดให้มีความยาวน้อยกว่า 5 cm เนื่องจากขนาดของวัสดุหมักมีผลต่อการแพร่ของออกซิเจน โดยทำการหมักแบบใช้อากาศภายในถังหมักขนาด 60 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 60 วัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมด ในวันที่ 30, 45 และ 60 วัน ตามลำดับ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จำเป็นทุก 5 วันต่อครั้ง ส่วนอุณหภูมิจะทำการวัดทุกวัน

2.2 สมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น

สมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นคือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3)โดยวัสดุที่นำมาใช้มีสมบัติทางกายภาพ และเคมี ดังแสดงในตารางที่ 11 ซึ่งได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความชื้น, ความเป็นกรด-ด่าง, อินทรีย์คาร์บอน, ไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย โดยในการทดลองนี้ได้ควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่า

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนคือ 30.71, 30.28 และ 31.77 ตามลำดับ ซึ่งค่านั้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

ส่วนค่าความชื้นนั้นจะบ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก ซึ่งจะมีความจำเป็นต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 50-60 % ซึ่งค่าความชื้นของวัสดุหมักผสมในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 54.77, 55.17 และ 54.13 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง พบว่าในวัสดุหมักผสมเริ่มต้นนั้นมีปริมาณธาตุอาหารอยู่เดิม แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งธาตุอาหารหลักที่ได้ทำการวิเคราะห์คือ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนธาตุอาหารรองที่ได้ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียม และแมกนีเซียม ส่วนความเป็นกรด-ด่างของถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองมีค่าเป็นกรดคืออยู่ในช่วง 5-6

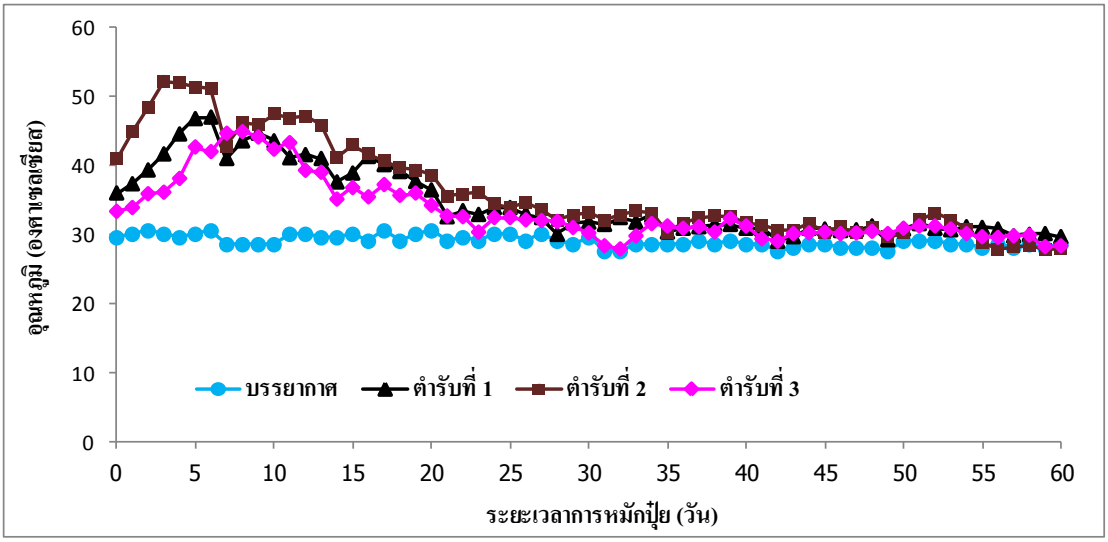
ตารางที่ 11 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นสำหรับการทำปุ๋ยหมักที่ 0 วัน

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมักเริ่มต้น		
	ตำรับที่ 1	**ตำรับที่ 2**	**ตำรับที่ 3**
- Temperature (^oC)	36.00	41.00	33.34
- pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	5.14	5.26	6.51
- Moisture (%)	54.77	55.17	54.13
- OC (% โดยน้ำหนักสด)	31.94	34.72	22.56
- OM (% โดยน้ำหนัก)	55.06	59.85	38.89
- Total N (% โดยน้ำหนักสด)	1.04	1.15	0.71
- C/N ratio	30.71	30.28	31.77
- Total P (P_2O_5) (% โดยน้ำหนักสด)	0.35	0.37	0.45
- Total K (K_2O) (% โดยน้ำหนักสด)	1.03	1.18	0.92
- Total Ca (% โดยน้ำหนักสด)	5.52	4.47	1.32
- Total Mg (% โดยน้ำหนักสด)	0.14	0.25	0.20
- ECe (dS m^{-1}) (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	2.52	2.39	1.91

2.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ

2.3.1 อุณหภูมิ

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 36.0, 41.0 และ 33.3 ^{o}C ตามลำดับ จากนั้นทั้ง 3 ตำรับการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะแรกของการหมัก ซึ่งตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 47.0, 52.2 และ 43.3 ^{o}C ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักมีแนวโน้มค่อยๆ ลดต่ำลงตามระยะเวลาการหมักจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักอุณหภูมิในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 29.7, 27.9 และ 28.3 ^{o}C ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (28.5 ^{o}C) ดังแสดงในภาพที่ 4 การที่อุณหภูมิภายในถังหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนั้นแสดงว่ากระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง โดยวัสดุหมักจะค่อนข้างมีความเสถียรต่อการนำไปใช้งาน

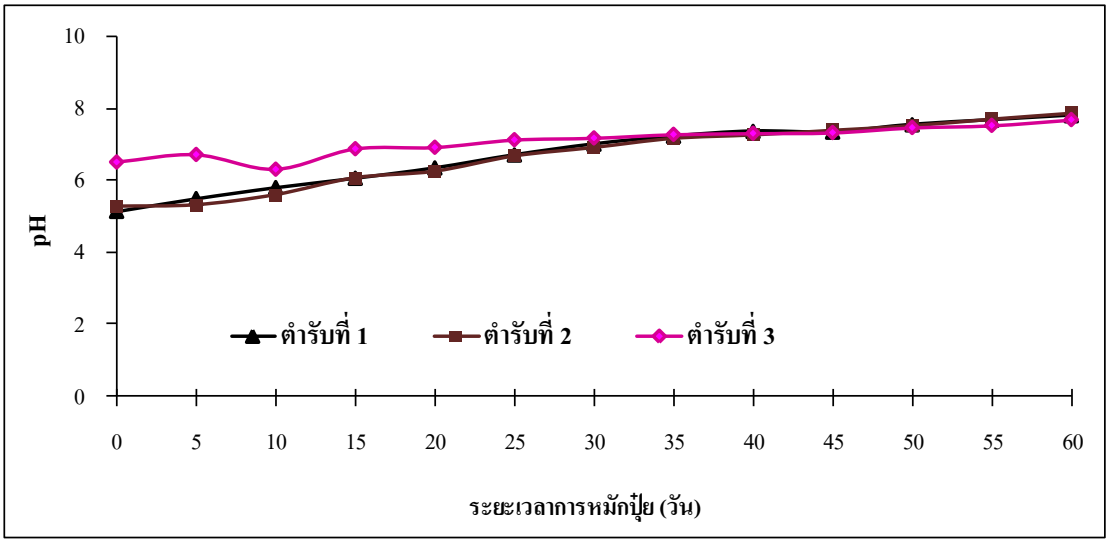


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตำรับการทดลอง

2.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการ

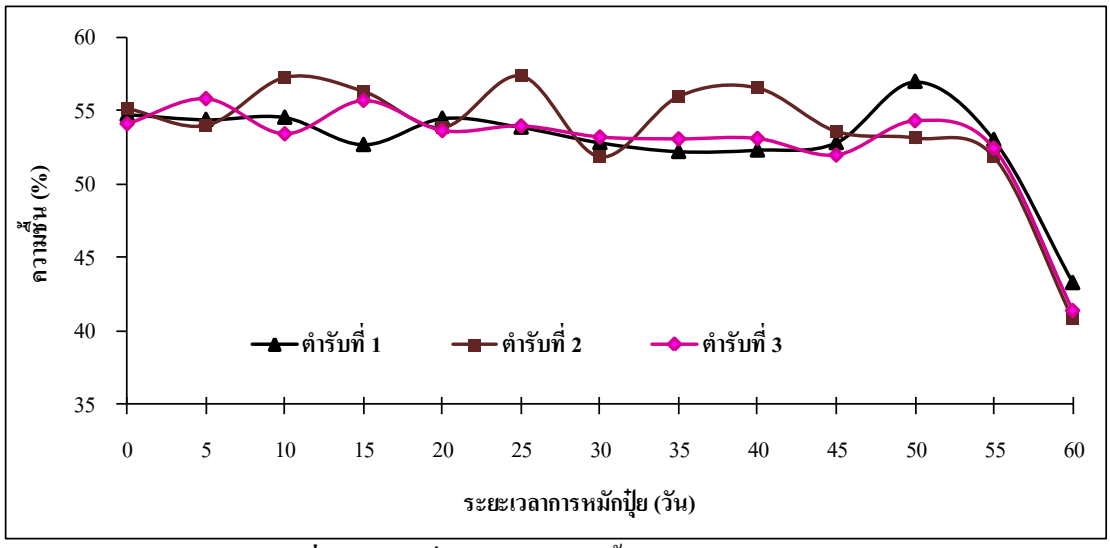
ทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักค่า pH เท่ากับ 5.14, 5.26 และ 6.51 ตามลำดับ จากนั้นค่า pH ในทุกตำรับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักค่า pH ของแต่ละตำรับการทดลองอยู่ในช่วงที่การย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้นได้มาก เมื่อสิ้นสุดการหมักค่า pH ในถังหมักตำรับที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 7.80, 7.88 และ 7.69 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในตำรับการทดลอง

2.3.3 ความชื้น

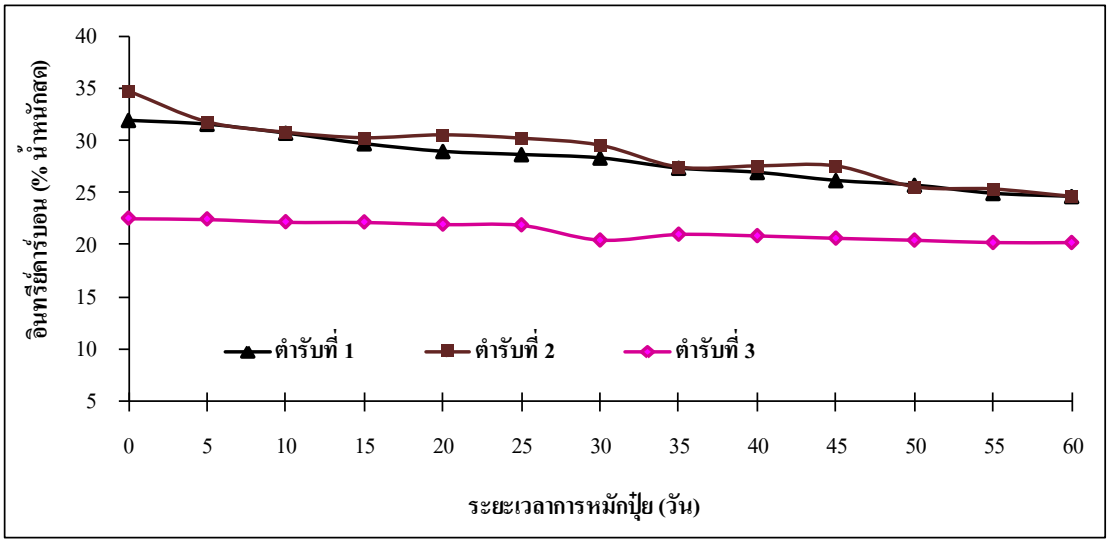
จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีความชื้น เท่ากับ 54.77, 55.17 และ 54.13 % ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้ได้ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-60 % และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักความชื้นในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 43.29, 40.83 และ 41.38 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้ทั้ง 3 ตำรับการทดลอง มีความชื้นมากกว่าค่ามาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องไม่เกิน 30 % ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้ควรมีการทิ้งไว้ระยะหนึ่งเพื่อลดความชื้นโดยการผึ่งลมและจึงนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในตำรับการทดลอง

2.3.4 อินทรีย์คาร์บอน

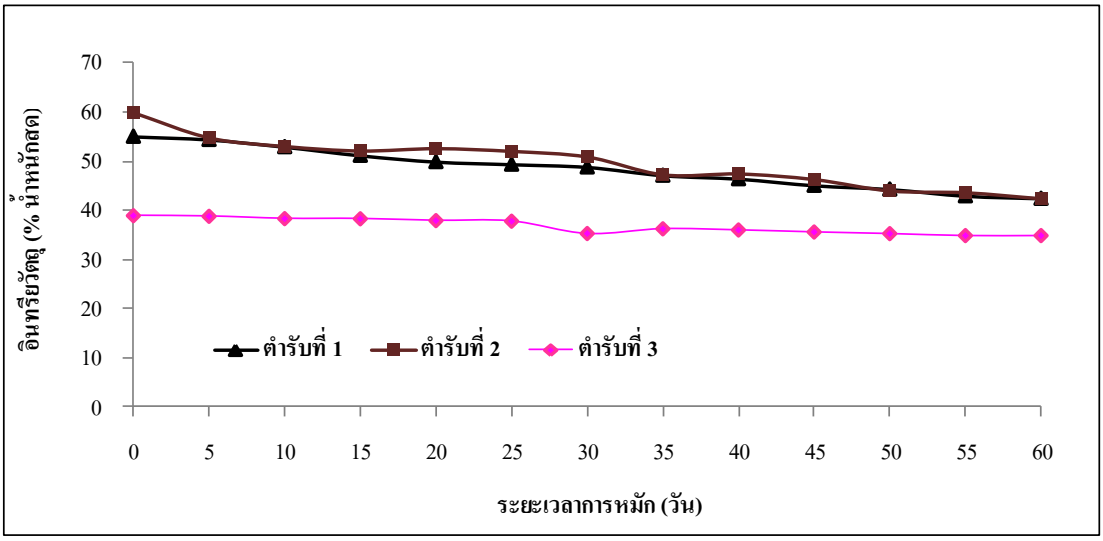
จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่: ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) จากการทดลอง พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 31.94, 34.72 และ 22.56 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ จากนั้นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 5-45 วันหลังจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 45-60 วันหลังจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมัก อินทรีย์คาร์บอนในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เหลือเท่ากับ 24.62, 24.59 และ 20.21 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในตำรับการทดลอง

2.3.5 อินทรียวัตถุ

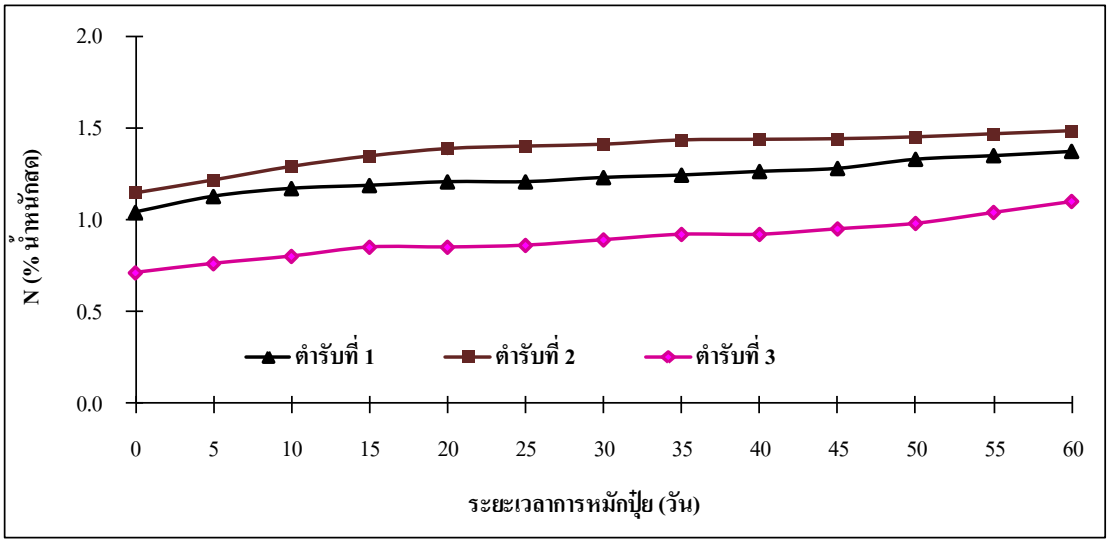
จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 55.06, 59.85 และ 38.89 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์และเป็นไปในทิศทางเดียวกับอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุ นั้นคือ อินทรียวัตถุมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมักเช่นเดียวกับอินทรีย์คาร์บอน เมื่อสิ้นสุดการหมัก อินทรียวัตถุในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เหลือเท่ากับ 42.44, 42.40 และ 34.84 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ที่กำหนดให้มีค่าอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 20 % พบว่าปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลองมีอินทรียวัตถุที่ได้มาตรฐาน ซึ่งในตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าตำรับการทดลองที่ 3



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในตำรับการทดลอง

2.3.6 ไนโตรเจนทั้งหมด

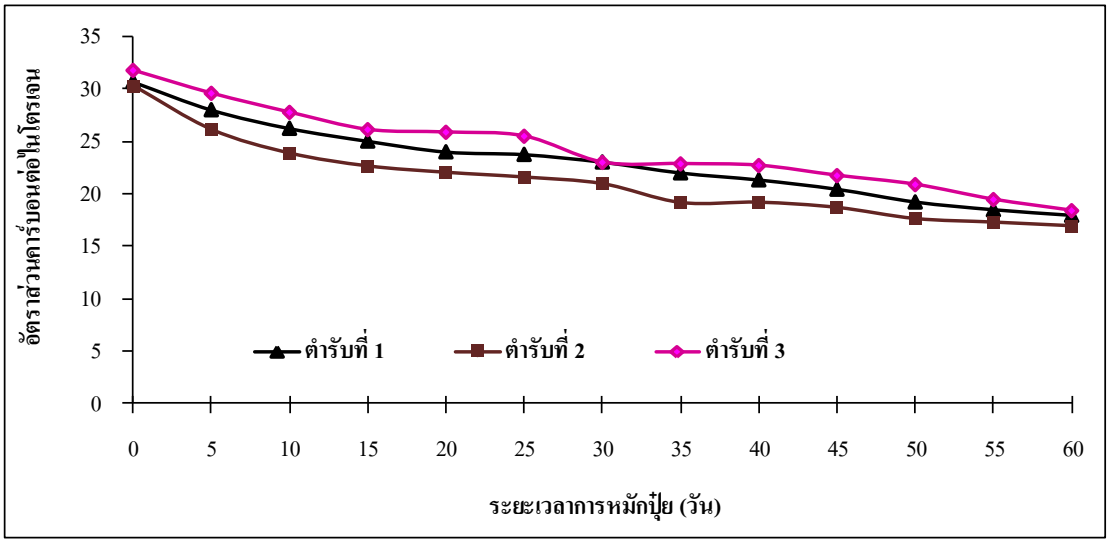
จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.04, 1.15 และ 0.71 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ จากนั้นไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 วัน หลังจากเริ่มต้นการหมัก และหลังจากนั้นก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 9 จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก ไนโตรเจนทั้งหมดในตำรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 1.37, 1.48 และ 1.10 % โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งในตำรับการทดลองที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในตำรับการทดลอง

2.3.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่: ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 30.7:1, 30.3:1 และ 31.8:1 ตามลำดับ ในการทดลองนี้ได้มีการควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นให้มีค่า เท่ากับ 30 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนเริ่มต้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก จากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วัน หลังจากเริ่มต้นการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 10 จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 17.9:1, 16.9:1 และ 18.4:1 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ที่กำหนดให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 จึงจะถือว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์พบว่า ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลองมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้มาตรฐาน เหมาะสำหรับนำไปใช้งาน



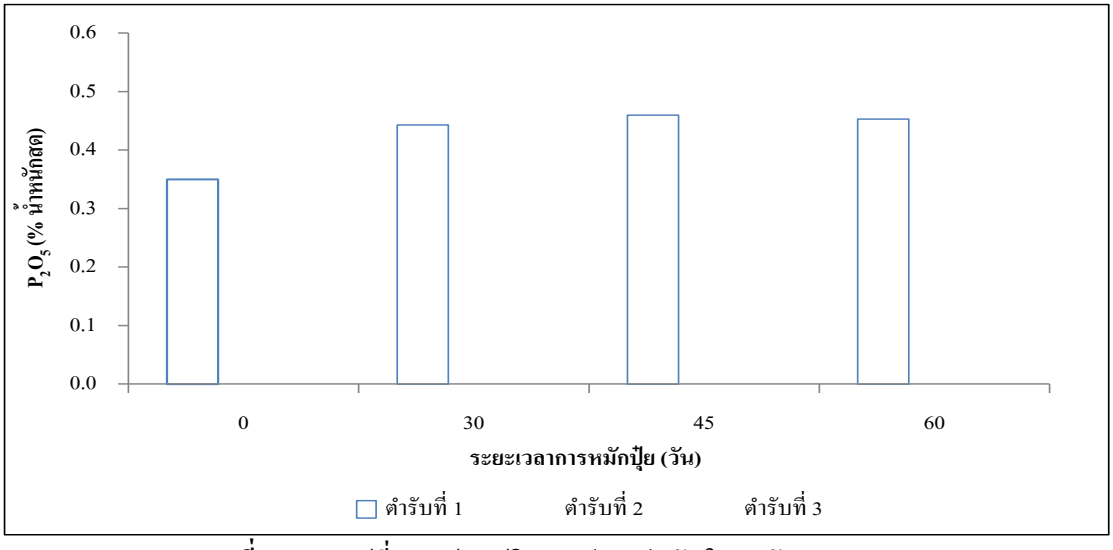
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตำรับการทดลอง

2.4 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก

จากการทดลองได้วิเคราะห์ธาตุอาหาร และการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาที่ใช้ในการหมักคือ 60 วัน ซึ่งวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองดังนี้

2.4.1 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5)

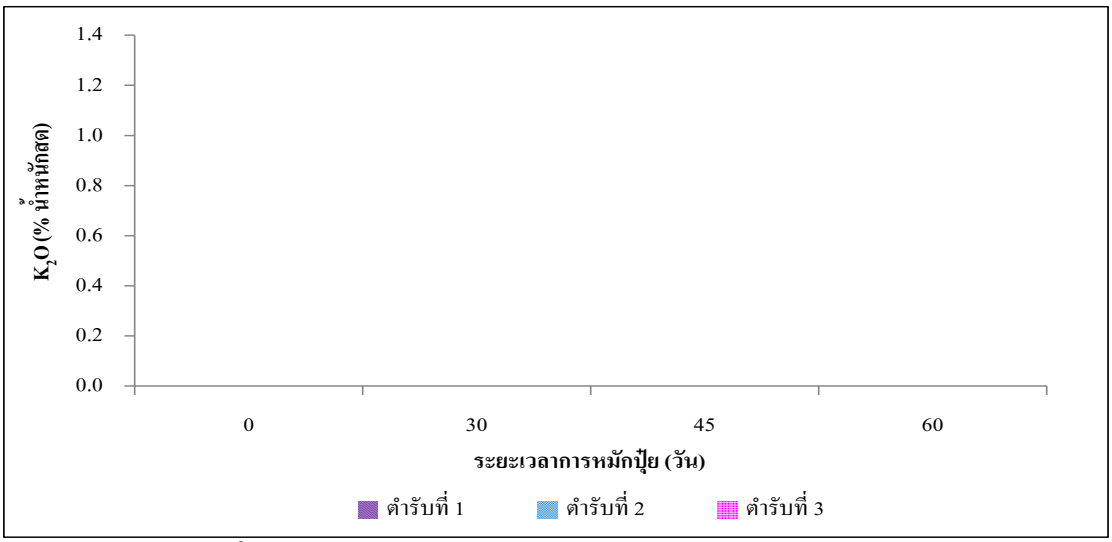
ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญธาตุหนึ่ง ซึ่งจะช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช โดยจากการทดลอง พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น โดยในถังหมักตำรับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.45 % โดยน้ำหนักสด, ถังหมักตำรับที่ 2 เท่ากับ 0.50 % โดยน้ำหนักสด และถังหมักตำรับที่ 3 เท่ากับ 0.53 % โดยน้ำหนักสด (ภาพที่ 11) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถังหมักตำรับที่ 2 และ 3 ผ่านมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ที่กำหนดคือ มีค่ามากกว่า 0.5 % ส่วนถังหมักตำรับที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่ถือได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับการทดลอง

2.4.2 โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O)

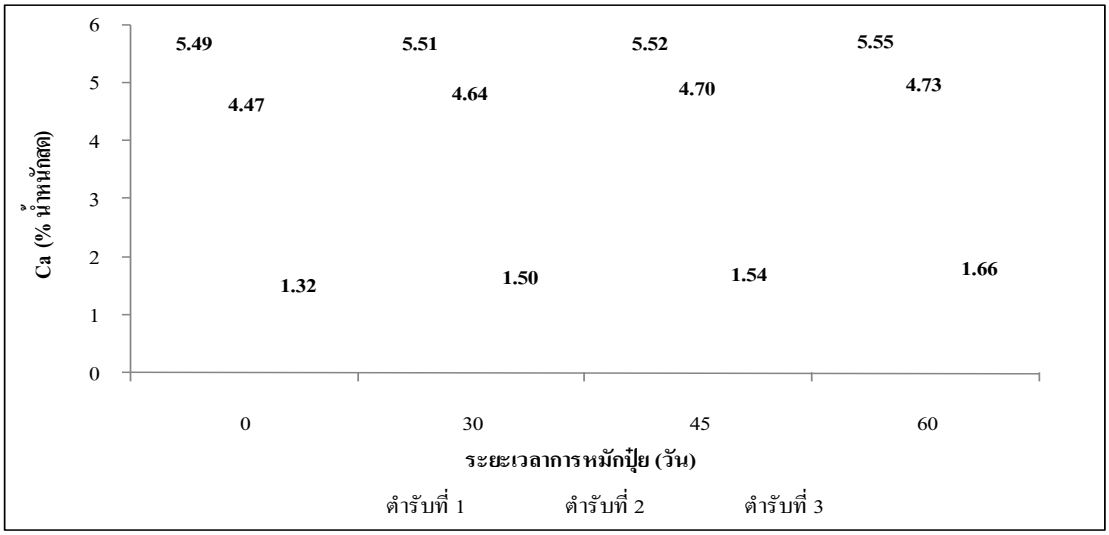
โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น โดยในถังหมักตำรับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.22 % โดยน้ำหนักสด, ถังหมักตำรับที่ 2 เท่ากับ 1.31 % โดยน้ำหนักสด และถังหมักตำรับที่ 3 เท่ากับ 1.24 % โดยน้ำหนักสด (ภาพที่ 12) โดยทั้ง 3 ถังหมักมีค่าผ่านมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ที่กำหนดไว้คือ มีค่ามากกว่า 0.5 %



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในตำรับการทดลอง

2.4.3 แคลเซียมทั้งหมด (Ca)

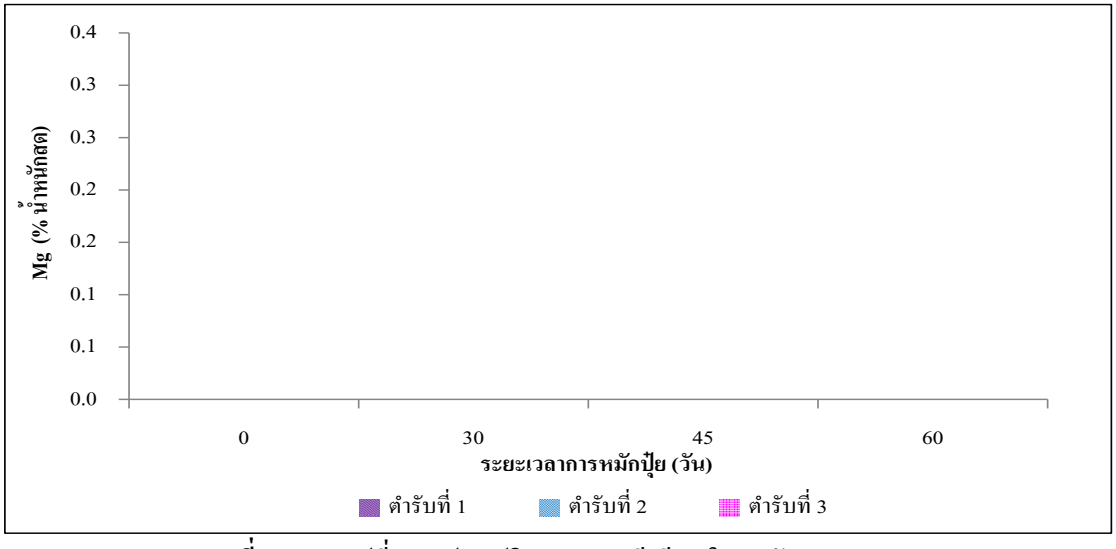
แคลเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญต่อพืช โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น โดยในถังหมักตำรับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 5.50 % โดยน้ำหนักสด, ถังหมักตำรับที่ 2 เท่ากับ 4.73 % โดยน้ำหนักสด และถังหมักตำรับที่ 3 เท่ากับ 1.66 % โดยน้ำหนักสด (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมในตำรับการทดลอง

2.4.4 แมกนีเซียมทั้งหมด (Mg)

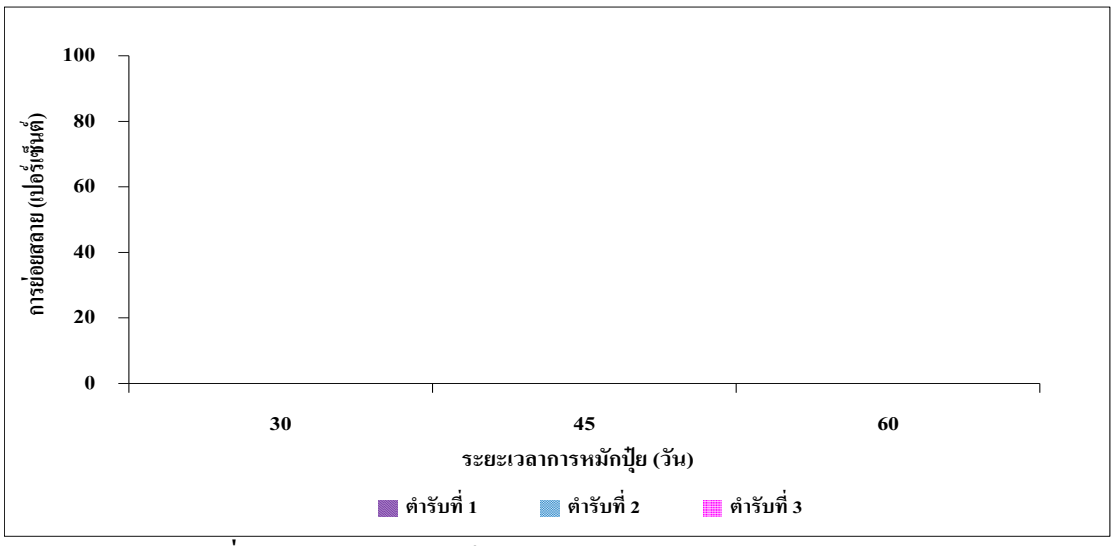
ในส่วนของธาตุอาหารรองอีกชนิดคือ แมกนีเซียม โดยจากการทดลองจะพบว่าปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นโดยในถังหมักตำรับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.24 % โดยน้ำหนักสด, ถังหมักตำรับที่ 2 เท่ากับ 0.29 % โดยน้ำหนักสด และถังหมักตำรับที่ 3 เท่ากับ 0.24 % โดยน้ำหนักสด (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมในตำรับการทดลอง

2.4.5 การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยวิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด

การประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่ทำการทดลอง โดยใช้วิธีการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด เป็นอีกหนึ่งวิธีที่นำมาใช้ในการประเมินความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยถ้าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืชที่ทดสอบมีมากกว่า 80 % จะถือได้ว่าปุ๋ยหมักนั้นมีการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว จากการทดสอบ พบว่าที่ระยะเวลาของการหมักปุ๋ยที่ 60 วัน ถังหมักตำรับที่ 1 และถังหมักตำรับที่ 2 มีการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก เท่ากับ 86.88 และ 97.60 % ตามลำดับ ส่วนถังหมักตำรับที่ 3 มีการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก เท่ากับ 76.73 % (ภาพที่ 15) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถังหมักตำรับที่ 1 และ 2 มีค่าผ่านมาตรฐานที่กำหนดคือ มีค่ามากกว่า 80 % ส่วนถังหมักตำรับที่ 3 มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย



ภาพที่ 15 การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักในตำรับการทดลอง

โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์หรือสมบัติของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์นั้นจะต้องพิจารณาการวัดความเหมาะสมของปุ๋ยหมักเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุด กระบวนการหมักนั้นจะพิจารณาพารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิจะต้องลดลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก การลดลงของสารอินทรีย์ ซึ่งพิจารณาจากค่าอินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และจะต้องไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้จะต้องมีสีน้ำตาลดำ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก จากการทดลองเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักหอยเชอรี่กับวัสดุหมักร่วม (ฟางข้าวและมูลวัว) ได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ให้ค่าที่ได้ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

ลักษณะสมบัติ	ถังหมักปุ๋ย		
	ตำรับที่ 1	**ตำรับที่ 2**	**ตำรับที่ 3**
- Temperature (^{o}C)	29.67	27.89	28.34
- pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	7.80	7.88	7.69
- Moisture (%)	43.29	40.83	41.38
- OC (% โดยน้ำหนักสด)	24.62	24.59	20.21
- OM (% โดยน้ำหนักสด)	42.44	42.40	34.84
- Total N (% โดยน้ำหนักสด)	1.37	1.48	1.10
- C/N ratio	17.93	16.90	18.37
- ECe (dS m^{-1}) (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	1.87	2.01	1.79
- Total P (P_2O_5) (% โดยน้ำหนักสด)	0.45	0.50	0.53
- Total K (K_2O) (% โดยน้ำหนักสด)	1.22	1.31	1.24
- Total Ca (% โดยน้ำหนักสด)	5.50	4.73	1.66
- Total Mg (% โดยน้ำหนักสด)	0.24	0.29	0.24
- การย่อยสลาย (% โดยน้ำหนักสด)	86.88	97.60	76.73

3. การตรวจสอบปุ๋ยหมักจากการทดลอง เทียบกับมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

จากการทดลองทำการหมักปุ๋ยเพื่อหาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ของหอยเชอรี่ ซึ่งหมักร่วมกับฟางข้าวและมูลวัว ทำการทดลอง 3 ตำรับการทดลอง พบว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายค่อนข้างสมบูรณ์ในช่วงระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยสังเกตจากลักษณะทางเคมีคือ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 และลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้คือ ขนาดของวัสดุหมักจะไม่มีลักษณะเป็นชิ้นๆ เหมือนวัสดุหมักเริ่มต้น สีของปุ๋ยหมักที่ได้จะมีสีออกน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นสีของอินทรียวัตถุ ไม่ส่งกลิ่นเหม็น และมีการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมากกว่า 80 %

ตารางที่ 13 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักในระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง

ลักษณะสมบัติ	ตำรับที่ 1			ตำรับที่ 2			ตำรับที่ 3		
	30 วัน	45 วัน	60 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน
- pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	7.00	7.34	7.80	6.92	7.40	7.88	7.18	7.33	7.69
- Moisture (%)	52.84	52.84	43.29	51.86	53.60	40.83	53.22	51.99	41.38
- ECe (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	2.14	2.11	1.85	2.12	2.07	2.01	1.92	1.81	1.79
- OM (%)	48.83	45.09	42.44	50.88	46.30	42.40	35.26	35.57	34.84
- Total N (%)	1.23	1.28	1.37	1.41	1.44	1.48	0.89	0.95	1.10
- C/N ratio	23.03	20.43	17.93	20.93	18.66	16.90	22.98	21.72	18.37
- Total P (% P_2O_5)	0.44	0.46	0.45	0.38	0.44	0.50	0.47	0.45	0.53
- Total K (% K_2O)	1.19	1.24	1.22	1.25	1.25	1.31	1.21	1.19	1.24
- Total Ca (%)	5.49	5.51	5.50	4.64	4.70	7.73	1.54	1.50	1.66
- Total Mg (%)	0.21	0.22	0.24	0.27	0.31	0.29	0.18	0.24	0.24
- การย่อยสลาย (%)	59.65	73.51	86.88	77.59	88.20	97.60	51.41	65.44	76.73

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก พบว่าการนำหอยเชอรี่และฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ ผลที่ได้คือ ปุ๋ยหมักที่ได้มาตรฐานทั้งแบบที่ไม่มีการเติมยูเรียและมีการเติมยูเรีย โดยถังหมักที่มีการเติมยูเรียให้ประสิทธิภาพการหมักที่ดีกว่า คืออัตราส่วนในตำรับการทดลองที่ 2 คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์หลัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ 60 วัน พบว่ามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุดคือ มีค่า 16.9 และมีธาตุอาหารเพียงพอในการเป็นปุ๋ยหมักที่ดี ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก, ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนพลาสติก แก้ว และโลหะไม่พบสิ่งเหล่านี้ ดังแสดงในตารางที่ 14 ส่วนในเรื่องค่าความชื้นที่ไม่ผ่านมาตรฐานซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่สามารถกำจัดความชื้นได้โดยนำมาตากเพื่อลดความชื้นลงก่อนนำไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างปุ๋ยหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง (60 วัน) และเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

ลักษณะสมบัติ	มาตรฐานปุ๋ยหมัก	ตำรับที่ 1	ตำรับที่ 2	ตำรับที่ 3
ความชื้น (%)	ไม่เกิน 30	43.29	40.83	41.38
การนำไฟฟ้า (dS m^{-1})	ไม่เกิน 10	1.85	2.01	1.79
พลาสติก แก้ว และโลหะ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
อินทรียวัตถุ (%)	ไม่น้อยกว่า 20	42.44	42.40	34.84
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20	17.9	16.9	18.4
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.37	1.48	1.10
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (% P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.45	0.50	0.53
โพแทสเซียมทั้งหมด (% K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.22	1.31	1.24
การย่อยสลาย (%)	ไม่น้อยกว่า 80	86.88	97.60	76.73

4. การศึกษาสมบัติของปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด และสมบัติของดินก่อนปลูก

4.1 ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด

สมบัติของปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดที่ใช้ในการศึกษา คือ ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 และ 2 ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่าปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีค่า pH เป็นด่างเท่ากับ 8.20, ความชื้นเท่ากับ 29.34 %, ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.13 dS m^{-1}, ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 28.22 %, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 9, ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.86 %, ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 5.33 %, ปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 2.32 %, ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 4.08 % และปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 5.44 %

ส่วนในปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 มีค่า pH เป็นด่างเท่ากับ 7.90, ความชื้นเท่ากับ 30.87 %, ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.91 dS m^{-1}, ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 6.18 %, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 7.8, ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.46 %, ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.22 %, ปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 0.57 %, ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 0.79 % และปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 0.34 %

ตารางที่ 15 สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษา

ลักษณะสมบัติ	ค่าวิเคราะห์ปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษา	
	ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1	ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2
- pH (ปุ๋ย:น้ำ = 1:10)	8.20	7.90
- Moisture (%)	29.34	30.87
- OM (%)	28.22	6.18
- C/N ratio	9.0	7.80
- Total N (%)	1.86	0.46
- ECe (dS m^{-1})	5.13	1.91
- Total P (%P_2O_5)	5.33	1.22
- Total K (%K_2O)	2.32	1.57
- Total Ca (%)	4.08	0.79
- Total Mg (%)	5.44	0.34

4.2 สมบัติของดินก่อนปลูก

สมบัติของชุดดินบ้านทอนที่นำมาศึกษาแสดงในตารางที่ 16 พบว่าชุดดินมีเนื้อดินเป็นดินทราย (Sandy), pH ดินเท่ากับ 4.56, ค่าการนำไฟฟ้า 0.01 dS m^{-1}, ปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำมากเท่ากับ 0.96 g kg^{-1}, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำเท่ากับ 0.12 g kg^{-1}, ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำเท่ากับ 3.72 mg kg^{-1}, ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 0.20, 0.10 และ 0.06 cmol(+) kg^{-1} ตามลำดับ

ตารางที่ 16 สมบัติบางประการของชุดดินบ้านทอน

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
Texture	ดินทราย
pH (ดิน:น้ำ = 1:5)	4.56
ECe (dS m^{-1})	0.01
OM (g kg^{-1})	0.96
Total N (g kg^{-1})	0.12
Avai. P (mg kg^{-1})	3.72
Exch. K (cmol(+) kg^{-1})	0.20
Exch. Ca (cmol(+) kg^{-1})	0.10
Exch. Mg (cmol(+) kg^{-1})	0.06

5. การศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน และสมบัติของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน 42 วัน

5.1 การเจริญเติบโตของข้าวโพด

5.1.1 ความสูงที่อายุ 42 วัน

ความสูงของข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 17 พบว่าเมื่อข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน ทุกตำรับการทดลอง ข้าวโพดหวานมีความสูงเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่ข้าวโพดหวานมีความสูงมากที่สุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) ข้าวโพดหวานมีความสูงเฉลี่ย 83.15 cm ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุมมีความสูงเฉลี่ย 56.90 cm สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) ข้าวโพดหวานมีความสูงเฉลี่ย 62.87 cm ส่วนในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ข้าวโพดหวานมีความสูงเฉลี่ย 70.28 cm สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3, T4) ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดหวานมีค่าอยู่ระหว่าง 71.92-77.18 cm ข้าวโพดหวานมีความสูงเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราสูง (T4) และ

อัตรากลาง (T3) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราต่ำ (T2)

ตารางที่ 17 ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อความสูง (cm) ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน

ตำรับการทดลอง	ความสูงเฉลี่ย (cm)
ควบคุม (T1)	56.90[f]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	71.92[c]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	76.07[b]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	77.18[b]
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	62.87[e]
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	83.15[a]
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	70.28[d]
F – test	**
CV. (%)	1.93

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร [a, b, c, d, e, f] ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.1.2 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) ที่อายุ 42 วัน

น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 18 พบว่าทุกตำรับการทดลอง ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) ตำรับการทดลองที่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเฉลี่ย 18.37 g ขณะที่ตำรับการทดลองควบคุม (T1) ให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ยต่ำสุด คือ 14.94 g ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย 15.87 g และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย 16.60 g ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราต่ำ (T2) ที่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย 16.82 g และเมื่อเปรียบเทียบ

ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3, T4) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวโพดหวานมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 17.76-16.82 g พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราสูง (T4) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตรากลาง (T3) และอัตราต่ำ (T2)

ตารางที่ 18 ผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (g) ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (g)
ควบคุม (T1)	14.94[f]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	16.82[d]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	17.28[c]
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	17.76[b]
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	15.87[e]
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	18.37[a]
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	16.60[d]
F – test	**
CV. (%)	2.01

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร [a, b, c, d, e, f] ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.1.3 ปริมาณธาตุอาหารในพืช

5.1.3.1 ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 19 พบว่าตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีปริมาณไนโตรเจนในพืชต่ำที่สุดคือ 8.03 g kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 9.10 และ 10.60 g kg^{-1} ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4)

โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนในพืชสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 19.42 g kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) ที่มีค่าไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 17.42 g kg^{-1} สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราสูง (T4) มีปริมาณไนโตรเจนในพืชที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรากลาง (T3) และอัตราต่ำ (T2)

5.1.3.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 19 พบว่าตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชต่ำที่สุดคือ 0.67 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 1.70 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 3 % (T2) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.42 และ 1.38 g kg^{-1} ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชเท่ากับ 1.60 g kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชอยู่ระหว่าง 1.42-1.52 g kg^{-1} ซึ่งในทุกอัตรานั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5.1.3.3 โพแทสเซียมทั้งหมดในพืช

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 19 พบว่าตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีปริมาณโพแทสเซียมในพืชต่ำที่สุดคือ 15.05 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมในพืชสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 30.03 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 3 % (T2) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 6 % (T3) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ที่มีปริมาณโพแทสเซียมในพืชเท่ากับ 23.82, 25.52, 26.35, 20.70 และ 20.92 g kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าในแต่ละอัตรานั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 19 ผลของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในต้นข้าวโพดอายุ 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โพแทสเซียมทั้งหมด
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
ควบคุม (T1)	8.03^{d}	0.67^{c}	15.05^{d}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	12.72^{bc}	1.42^{b}	23.82^{bc}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	13.73^{b}	1.48^{ab}	25.52^{b}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	17.42^{a}	1.52^{ab}	26.35^{b}
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	9.10^{d}	1.38^{b}	20.70^{c}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	19.42^{a}	1.70^{a}	30.03^{a}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	10.60^{cd}	1.60^{ab}	20.92^{c}
F – test	**	**	**
CV. (%)	16.15	13.42	12.97

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร $^{a, b, c, d}$ ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.1.3.4 แคลเซียมทั้งหมดในพืช

ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในพืช เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 20 พบว่าตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีปริมาณแคลเซียมในพืชต่ำที่สุดคือ 2.13 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมในพืชสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) มีค่าเท่ากับ 5.52 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 3 % (T2) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 6 % (T3) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ที่มีปริมาณแคลเซียมในพืชเท่ากับ 4.22, 4.75, 2.27, 2.72 และ 3.57 g kg^{-1} ตามลำดับ โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

อัตราสูง (T4) มีปริมาณแคลเซียมในพืชที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตรากลาง (T3) และการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราต่ำ (T2) โดยปริมาณแคลเซียมในพืชนั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่เพิ่มขึ้น

5.1.3.5 แมกนีเซียมทั้งหมดในพืช

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 20 พบว่าตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีปริมาณแมกนีเซียมในพืชต่ำที่สุดคือ 1.37 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลองโดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณแมกนีเซียมในพืชสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 2.87 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 3 % (T2) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 6 % (T3) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) ที่มีปริมาณแมกนีเซียมในพืชเท่ากับ 1.87, 2.05, 2.40 และ 1.83 g kg^{-1} ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ที่มีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 2.50 g kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราสูง (T4) มีปริมาณแมกนีเซียมในพืชที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราต่ำ (T2) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตรากลาง (T3)

ตารางที่ 20 ผลของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในต้นข้าวโพดอายุ 42 วัน

ตำรับการทดลอง	แคลเซียมทั้งหมด $g\ kg^{-1}$	แมกนีเซียมทั้งหมด $g\ kg^{-1}$
ควบคุม (T1)	2.13^{f}	1.37^{e}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	4.22^{c}	1.87^{d}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	4.75^{b}	2.05^{cd}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	5.52^{a}	2.40^{bc}
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	2.27^{e}	1.83^{d}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	2.72^{e}	2.87^{a}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	3.57^{d}	2.50^{ab}
F – test	**	**
CV. (%)	11.86	16.54

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร $^{a, b, c, d, e, f}$ ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.2 สมบัติของดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42วัน

5.2.1 ความเป็นกรด-ด่างดิน (pH)

ค่า pH ดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าค่า pH ดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีค่า pH ดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 8.12 สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่า pH ดินเท่ากับ 6.90 และตำรับการทดลองควบคุมมีค่า pH ดินต่ำสุด คือ 4.56 สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และT4) ดินมีค่า pH ดินอยู่ระหว่าง 7.01-7.61 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)

ค่า pH ดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าค่า pH ดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีค่า pH ดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 6 % (T3) มีค่าเท่ากับ 7.80 สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่า pH ดินเท่ากับ 7.10 และตำรับการทดลองควบคุมมีค่า pH ดินต่ำสุด คือ 4.60 สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) ดินมีค่า pH ดินอยู่ระหว่าง 7.67-7.80 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติและเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)

5.2.2 อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 10.12 g kg^{-1} ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าเท่ากับ 3.81 g kg^{-1} ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีค่าเท่ากับ 4.73 g kg^{-1} และตำรับการทดลองควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.96 g kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่าง 7.42-8.97 g kg^{-1} ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 9.23 g kg^{-1} ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าเท่ากับ 3.47 g kg^{-1} ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีค่าเท่ากับ 4.18 g kg^{-1} และตำรับการทดลองควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.88 g kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่าง 7.17-8.53 g kg^{-1} ซึ่งปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราสูงมีค่าไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)

5.2.3 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 0.12 g kg^{-1} โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 0.76 g kg^{-1} ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 0.20 และ 0.23 g kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีค่าระหว่าง 0.30-0.52 g kg^{-1} ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 21 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 0.10 g kg^{-1} โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 0.55 g kg^{-1} ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 0.18 และ 0.20 g kg^{-1} ตามลำดับ สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีค่าระหว่าง 0.28-0.47 g kg^{-1} โดยในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราสูง (T4) นั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรากลาง (T3) และอัตราต่ำ (T2)

ตารางที่ 21 pH ดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

ตำรับการทดลอง	pH 1:5		อินทรียวัตถุ g kg^{-1}		ไนโตรเจนทั้งหมด g kg^{-1}	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ควบคุม (T1)	4.56^{g}	4.60^{d}	0.96^{g}	0.88^{e}	0.12^{f}	0.10^{e}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	7.58^{e}	7.67^{ab}	7.42^{d}	7.17^{c}	0.30^{d}	0.28^{c}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	7.71^{c}	7.80^{a}	8.51^{c}	8.12^{bc}	0.38^{c}	0.35^{c}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	7.61^{d}	7.73^{ab}	8.97^{b}	8.53^{ab}	0.52^{b}	0.47^{b}
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	6.90^{f}	7.10^{c}	3.81^{f}	3.47^{d}	0.20^{e}	0.18^{d}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	8.12^{a}	7.78^{a}	10.12^{a}	9.23^{a}	0.76^{a}	0.55^{a}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	7.90^{b}	7.55^{b}	4.73^{e}	4.18^{d}	0.23^{e}	0.20^{d}
F – test	**	**	**	**	**	**
CV. (%)	0.43	2.35	0.76	14.58	7.19	19.21

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร $^{a, b, c, d, e, f, g}$ ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 22 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 28.71 mg kg^{-1} ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีค่าเท่ากับ 7.51 และ 27.24 mg kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองควบคุมมีค่าเท่ากับ 3.72 mg kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าระหว่าง 23.06-26.50 mg kg^{-1} ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P \leq 0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 22 พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม (T1) โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 28.75 mg kg^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) โดยมีค่าเท่ากับ 27.33 และ 26.52 mg kg^{-1} ตามลำดับ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าเท่ากับ 7.55 mg kg^{-1} และตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าเท่ากับ 1.60 mg kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าระหว่าง 23.10-26.52 mg kg^{-1} โดยการใช้ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราสูง (T4) และอัตรากลาง (T3) นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราสูง (T4) และอัตราต่ำ (T2) มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5.2.5 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 22 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.20 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าเท่ากับ 0.21 cmol(+) kg^{-1} แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (T6 และ T7) ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าเท่ากับ 0.40, 0.67, 0.74, 0.77 และ 0.25 cmol(+) kg^{-1} ตามลำดับ โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (T4) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราต่ำ (T2) และอัตรากลาง (T3)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 22 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.14 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย

หมักมูลวัว (T5) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.20 cmol(+) kg^{-1} แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา (T2, T3 และ T4) ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าเท่ากับ 0.37,0.65, 0.72, 0.74 และ 0.23 cmol(+) kg^{-1} ตามลำดับ โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (T4) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตราต่ำ (T2) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่อัตรากลาง (T3)

ตารางที่ 22 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg kg^{-1})		โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol(+) kg^{-1})	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ควบคุม (T1)	3.72^{g}	3.75^{e}	0.20^{f}	0.14^{e}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	23.06^{e}	23.10^{c}	0.40^{d}	0.37^{c}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	24.61^{d}	24.67^{bc}	0.67^{c}	0.65^{b}
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	26.50^{c}	26.52^{ab}	0.74^{b}	0.72^{ab}
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	7.51^{f}	7.55^{d}	0.21^{f}	0.20^{de}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	28.71^{a}	28.75^{a}	0.77^{a}	0.74^{a}
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	27.24^{b}	27.33^{a}	0.25^{e}	0.23^{d}
F – test	**	**	**	**
CV. (%)	0.17	10.59	7.08	16.65

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร $^{a, b, c, d, e, f, g}$ ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

5.2.6 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Ca)

ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 23 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำสุดคือ 0.10 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) โดยตำรับที่ให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) มีค่าเท่ากับ 11.78 cmol(+) kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าเท่ากับ 2.79 และ 2.81 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3, T4) พบว่าทุกอัตรานั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.60, 5.44 และ 6.76 cmol(+) kg^{-1} ตามลำดับ

ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 23 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำสุดคือ 0.08 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5 T6 และ T7) โดยตำรับที่ให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 9 % (T4) มีค่าเท่ากับ 6.76 cmol(+) kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าเท่ากับ 2.17 cmol(+) kg^{-1} สูงกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 2.50 cmol(+) kg^{-1} เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3, T4) พบว่าทุกอัตรานั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.60, 5.44 และ 6.76 cmol(+) kg^{-1} ตามลำดับ

5.2.7 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 23 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำสุดคือ 0.06 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) โดยตำรับที่ให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 0.53 cmol(+) kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอย

เชอรี่ในอัตรา 6 และ 9 % (T3 และ T4) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.38-0.41 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 0.28 cmol(+) kg^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราสูง (T4) มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่ำ (T2) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรากลาง (T3)

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เมื่อใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด แสดงในตารางที่ 23 พบว่าในตำรับการทดลองควบคุม (T1) มีค่าต่ำสุดคือ 0.05 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับการทดลอง (T2, T3, T4, T5, T6 และ T7) โดยตำรับที่ให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) มีค่าเท่ากับ 0.41 cmol(+) kg^{-1} สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรา 3 และ 6 % (T2 และ T3) และตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5) มีค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18-0.21 cmol(+) kg^{-1} ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7) มีค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 0.34 cmol(+) kg^{-1} เมื่อเปรียบเทียบตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราต่างๆ (T2, T3 และ T4) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตราสูง (T4) มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในอัตรากลาง (T3) และอัตราต่ำ (T2)

ตารางที่ 23 ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

ตำรับการทดลอง	แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol(+) kg^{-1})		แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol(+) kg^{-1})	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ควบคุม (T1)	0.52f	0.33g	0.06e	0.05e
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 3%* (T2)	6.85c	4.60c	0.34c	0.20d
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 6%* (T3)	9.46b	5.44b	0.38b	0.21d
ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9%* (T4)	11.78a	6.76a	0.41b	0.30c
ปุ๋ยหมักมูลวัว (T5)	1.03e	0.54f	0.28d	0.18d
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6)	2.79d	2.50d	0.53a	0.41a
ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 2 (T7)	2.81d	2.17d	0.39b	0.34b
F – test	**	**	**	**
CV. (%)	0.70	15.85	7.67	13.97

หมายเหตุ *คือ โดยปริมาตร (v/v) ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย = 1:3:0.007 โดยน้ำหนัก

ตัวอักษร $^{a, b, c, d, e, f, g}$ ที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาสมบัติของหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าวที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของหอยเชอรี่ ฟางข้าว และมูลวัว ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักพบว่า หอยเชอรี่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 3.29 % โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ มูลวัว และฟางข้าว เท่ากับ 1.52 และ 0.65 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนพบว่า ฟางข้าวมีค่าสูงสุด เท่ากับ 35.01 % โดยน้ำหนักแห้ง เพราะฟางข้าวมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมากถึง 40 % (Ponnamperuma, 1984) รองลงมาคือ มูลวัว และหอยเชอรี่ มีค่าเท่ากับ 24.54 และ 21.53 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากสมบัติของวัสดุหมักข้างต้น ส่งผลให้หอยเชอรี่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 6.5:1 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำ และหากนำไปทำการหมักจะส่งผลให้สูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ดังนั้นก่อนนำหอยเชอรี่ไปใช้ควรปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เหมาะสม ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-35:1 (Martins and Dewes, 1992) ดังนั้นจึงต้องหาวัสดุมาหมักร่วม โดยเลือกวัสดุหมักร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงและมีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบต่ำ ซึ่งการทดลองนี้จึงเลือกฟางข้าวเป็นวัสดุหมักร่วมเพื่อปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงดังกล่าว

2. การศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

2.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

จากการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง คือ หอยเชอรี่:ฟางข้าว โดยใช้อัตราส่วน 1.4:3 (ตำรับการทดลองที่ 1), หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 2) และมูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 2:3:0.007 (ตำรับการทดลองที่ 3) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักหอยเชอรี่คือ ตำรับการทดลองที่ 2 (หอยเชอรี่:ฟางข้าว:ยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:3:0.007)

2.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักหอยเชอรี่ร่วมกับวัสดุหมักร่วมคือ 60 วัน เนื่องจากปุ๋ยหมักที่ได้จากทุกตำรับการทดลองมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาจากดัชนีการงอกของเมล็ดกวางตุ้ง (germination index, GI) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้สำหรับประเมินความเป็นพิษ และระดับการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว หากดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่า 50 % แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นไม่มีความเป็นพิษต่อพืช (Chikae *et al*., 2006) แต่มาตรฐานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2550 กำหนดว่าปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วจะต้องมีดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่า 80 % จากการทดลองพบว่า ทุกตำรับการทดลองมีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์และไม่มีความเป็นพิษต่อพืชเนื่องจากทุกการทดลองมีดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่า 80 % ที่ระยะเวลาการหมัก 60 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tiquia และคณะ (1996) ที่ได้ทำการตรวจสอบความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมขี้เลื่อย โดยใช้วิธีการทดสอบความงอกของเมล็ดพบว่า ผักกาดขาวและผักโขมจีนเป็นเมล็ดที่มีความไวต่อการทดสอบ และค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชมีมากกว่า 80 % ที่ 60 วันของการบ่มปุ๋ยหมัก แสดงว่าปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ในวันที่ 60 ของการหมัก และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญสำหรับการทำปุ๋ยหมักที่ระยะเวลา 60 วันในทุกตำรับการทดลอง มีค่าน้อยกว่า 20:1 (Mathur, 1991) หากปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายอย่างไม่สมบูรณ์จะมีผลไปยับยั้งการงอกของรากพืชทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดี (Fernàndez *et al*.,2008) ซึ่งหากนำปุ๋ยไปใช้กับพืชจะส่งผลต่อการเจริญของรากพืชเช่นเดียวกัน และนอกจากนี้ยังมีสมบัติทางเคมี และกายภาพที่เป็นตัวชี้วัด ดังต่อไปนี้

2.2.1 อุณหภูมิ

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีอุณหภูมิ 41.0 ^{o}C จากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะแรกของการหมัก โดยมีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 52.2 ^{o}C พบว่าอุณหภูมิสามารถขึ้นได้ถึงระยะ Thermophilic (45.0-65.0 ^{o}C) เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเพราะในช่วงเริ่มต้นการหมักมีสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระยะ Thermophilic นั้นจะมีส่วนช่วยในการทำลายเชื้อโรคและไข่พยาธิบางชนิดที่เป็นอันตรายในปุ๋ยหมักได้ด้วย (Day and Shaw, 2001) นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าอุณหภูมิบรรยากาศสูงขึ้น อุณหภูมิภายในปุ๋ยหมักก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักมีแนวโน้มค่อยๆ ลดต่ำลงตามระยะเวลาการหมักจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 27.9 ^{o}C

ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (28.5 ^{o}C) ดังแสดงในรูปที่ 4 การที่อุณหภูมิภายในถังหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนั้นแสดงว่ากระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง โดยวัสดุหมักจะค่อนข้างมีความเสถียรต่อการนำไปใช้งาน (Polprasert, 1996)

2.2.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักค่า pH เท่ากับ 5.26 จากนั้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของ pH ในปุ๋ยหมัก อาจเนื่องมาจากเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งไปทำปฏิกิริยากับน้ำ ส่งผลให้เกิดแอมโมเนียมและมีการปลดปล่อย OH^- ออกมา (chaoui *et al*., 2003) ดังสมการ 4.1

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + OH^- \qquad (4.1)$$

Madden และคณะ (1996) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของ pH ที่ไม่เท่ากันเนื่องมาจากอิทธิพลของแหล่งไนโตรเจนที่มีต่อการผลิตกรดอินทรีย์ของเชื้อ แหล่งไนโตรเจนบางชนิดส่งเสริมการผลิตกรดอินทรีย์ได้มากกว่า 1 ชนิด และสัดส่วนของกรดอินทรีย์ที่สร้างขึ้นจากแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันอาจไม่เท่ากัน นอกจากนั้นกรดอินทรีย์บางชนิดเชื้อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี แต่บางชนิดเชื้อไม่นำไปใช้จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของ pH ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันเพราะใช้แหล่งไนโตรเจนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักค่า pH ของแต่ละตำรับการทดลองอยู่ในช่วงที่การย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้นได้มาก เมื่อสิ้นสุดการหมักค่า pH เท่ากับ 7.88 ดังแสดงในรูปที่ 5

2.2.3 ความชื้น

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักพบว่า เมื่อเริ่มต้นการหมักมีความชื้นเท่ากับ 55.17 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าความชื้นที่เหมาะสมคือ 50-60 % ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (Peigne and Girardin, 2004) จากนั้นความชื้นในถังหมักจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนของจุลินทรีย์ ต้องการน้ำในการเคลื่อนย้ายสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อสร้างเซลล์ใหม่และเพิ่มจำนวนเซลล์ (Hamoda *et al*, 1998) โดยกิจกรรมการย่อยสลายนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในถังหมัก (Liang *et al*., 2003) โดยจะสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นก็ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นภายในถังหมัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับความชื้นโดยการเติมน้ำทุกๆ 5 วัน เมื่อเข้าสู่วันที่ 55 หลังเริ่มต้นการหมัก ความชื้นจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากวัสดุหมักถูกย่อยสลายเกือบสมบูรณ์แล้วทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ลดลงทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในกิจกรรมและการระเหยสู่

บรรยากาศลดลงด้วย เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าความชื้นเท่ากับ 40.83 % ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้ มีความชื้นมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องไม่เกิน 30 % ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้ควรมีการผึ่งลมเพื่อลดปริมาณความชื้นและจึงนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2.4 อินทรีย์คาร์บอน

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักพบว่า เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 34.72 % โดยน้ำหนักสด ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5-45 วันหลังจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 45-60 วัน หลังจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก สาเหตุที่อินทรีย์คาร์บอนลดลง อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กลงโดยจุลินทรีย์ และนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบเซลล์ (ธันวดี, 2547) นอกจากนั้นอินทรีย์คาร์บอนส่วนหนึ่งถูกแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอื่นๆ ทำให้อินทรีย์คาร์บอนลดลงตามระยะเวลาการหมัก (Negro *et al*., 1999) เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่เหลือจะเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งบางส่วนจะแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิก (Crawford, 1983) เมื่อสิ้นสุดการหมักอินทรีย์คาร์บอนเหลือเท่ากับ 24.6 % โดยน้ำหนักสด ดังแสดงในรูปที่ 7

2.2.5 ไนโตรเจนทั้งหมด

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.15 % โดยน้ำหนักสด จากนั้นไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 วันหลังจากเริ่มต้นการหมัก และหลังจากนั้นก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 9 จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.48 % โดยน้ำหนักสด สาเหตุที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้มีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณไนโตรเจนต่อมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในกองปุ๋ยหมัก (Zorpas *et al*., 2003) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนหลังจากสิ้นสุดการหมักนั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดว่า ปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ต้องมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 1.0 % ผลที่ได้คือปุ๋ยหมักที่ทำการทดลองผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีการปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้มีค่าเท่ากับ 30:1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนเริ่มต้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก และเพื่อให้กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกิดได้เร็วขึ้น (Gaur, 1980) โดยเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 30.3:1 จากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วันหลังจากเริ่มต้นการหมัก และหลังจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก็มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งสาเหตุที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ คือ ในช่วงแรกของการหมัก จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายอย่างรวดเร็วทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นลดลง นอกจากนั้นกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดการลดลงของอินทรีย์คาร์บอน และการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อพิจารณาการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์โดยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 (Samudro and Hermana, 2007) พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16.9:1 ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า ปุ๋ยหมักที่ทำการทดลองมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ถือว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 10

2.2.7 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5)

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) เท่ากับ 0.37 % โดยน้ำหนักสด โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.50 % โดยน้ำหนักสด สาเหตุที่ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก อินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่ฟอสฟอรัสไม่มีการสูญเสียโดยการระเหยแต่สูญเสียโดยการชะล้างเล็กน้อย เนื่องจากฟอสเฟตจะตกตะกอนเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยากทำให้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น หรืออาจเนื่องมาจากการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ต่อมวลน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 % พบว่าปุ๋ยหมักที่ทำการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ผ่านมาตรฐาน เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 11

2.2.8 โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O)

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) เท่ากับ 1.18 % โดยน้ำหนักสด โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 1.31 % โดยน้ำหนักสด สาเหตุที่ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่โพแทสเซียมไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะมีการสูญเสียโดยการชะล้างทำให้โพแทสเซียมทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น หรืออาจเนื่องมาจากการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ต่อมวลน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 % พบว่าปุ๋ยหมักมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (P_2O_5) ผ่านมาตรฐาน เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 12

2.2.9 แคลเซียมทั้งหมด (Ca)

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดเท่ากับ 4.47 % โดยน้ำหนักสด โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 4.73 % โดยน้ำหนักสด สาเหตุที่ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก อินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดต่อมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Yamada and Kawase, 2005) ประกอบกับหอยเชอรี่ที่ใช้หมักมีส่วนที่เป็นเปลือก ($CaCO_3$) ใส่ลงไปด้วยจึงทำให้ย่อยสลายและส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น

2.2.10 แมกนีเซียมทั้งหมด (Mg)

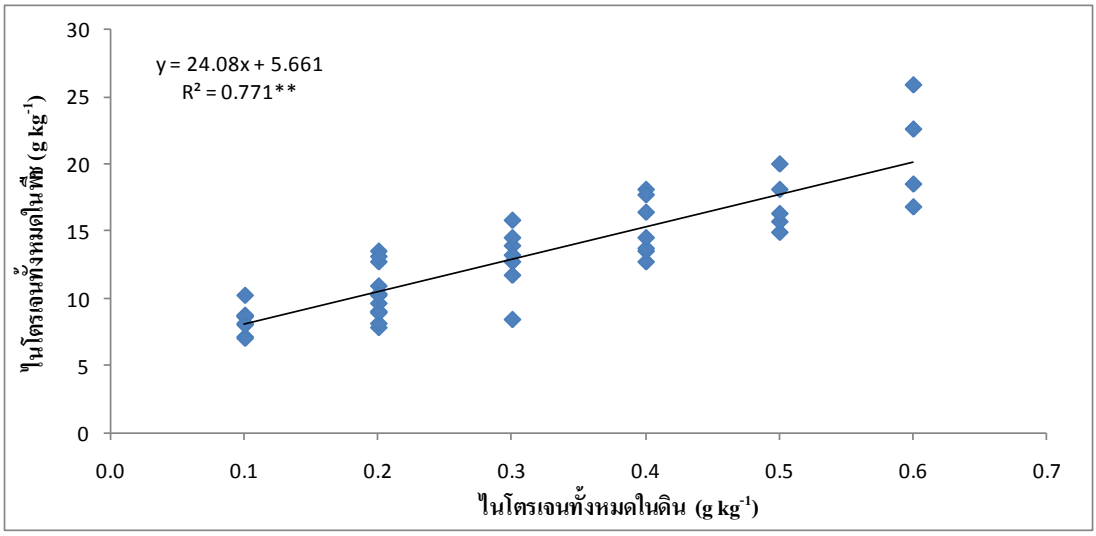
จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักมีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดเท่ากับ 0.25 % โดยน้ำหนักสด โดยจากการทดลองพบว่า ปริมาณแมกนีเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.29 % โดยน้ำหนักสด สาเหตุที่ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก อินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้น้ำหนักในกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณแมกนีเซียมต่อมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Yamada and Kawase, 2005)

3. ผลของการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานและสมบัติของดิน

ผลจากการศึกษา พบว่าข้าวโพดหวานเจริญเติบโตดีที่สุดในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีน้ำหนักแห้งรวมสูงถึง 18.37 g เนื่องจากปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 เป็นปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารสูงคือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.86 %, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) เท่ากับ 5.33 %, ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) เท่ากับ 2.32 %, ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดเท่ากับ 4.08 % และปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดเท่ากับ 5.44 % เนื่องจากส่วนผสมของปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีมูลค้างคาวเป็นวัสดุในการหมักจึงส่งผลให้ปุ๋ยหมักนี้มีปริมาณธาตุอาหารที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชของปุ๋ยจากมูลค้างคาว พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.54 %, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 14.28 % และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 0.60 % (กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, 2541) และเมื่อใส่ลงไปในดิน จึงส่งผลทำให้ข้าวโพดหวานดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวได้เพิ่มสูงขึ้นด้วย ข้าวโพดจึงเจริญเติบโตดีมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น

3.1 ไนโตรเจนทั้งหมดในดินและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช

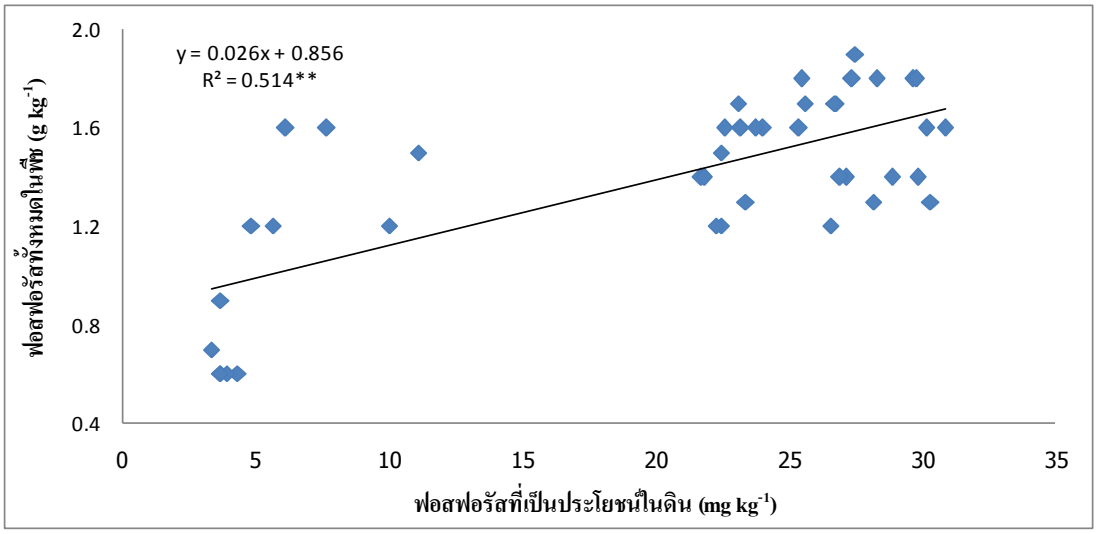
ชุดดินบ้านทอนเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่ปลูกในชุดดินบ้านทอนต่ำ คือ 0.10 และ 8.03 g kg^{-1} ตามลำดับ ในตำรับการทดลองควบคุม และการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากหอยเชอรี่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16.9 และเมื่อมีการย่อยสลายจะมีธาตุไนโตรเจนถึง 14.8 g kg^{-1} และจากการวิเคราะห์สมบัติของหอยเชอรี่ที่นำมาเป็นวัสดุหมักพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่ถึง 3.29 % และส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักดังกล่าวลงไปในดินและใส่ลงไปในปริมาณที่สูง จึงทำให้มีธาตุไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้ได้ โดยมีค่า R^2 = 0.771** แต่ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีไนโตรเจนทั้งหมดในดินและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีมูลค้างคาวเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมูลค้างคาวนี้มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงกว่าหอยเชอรี่ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดในดินกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช

3.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช

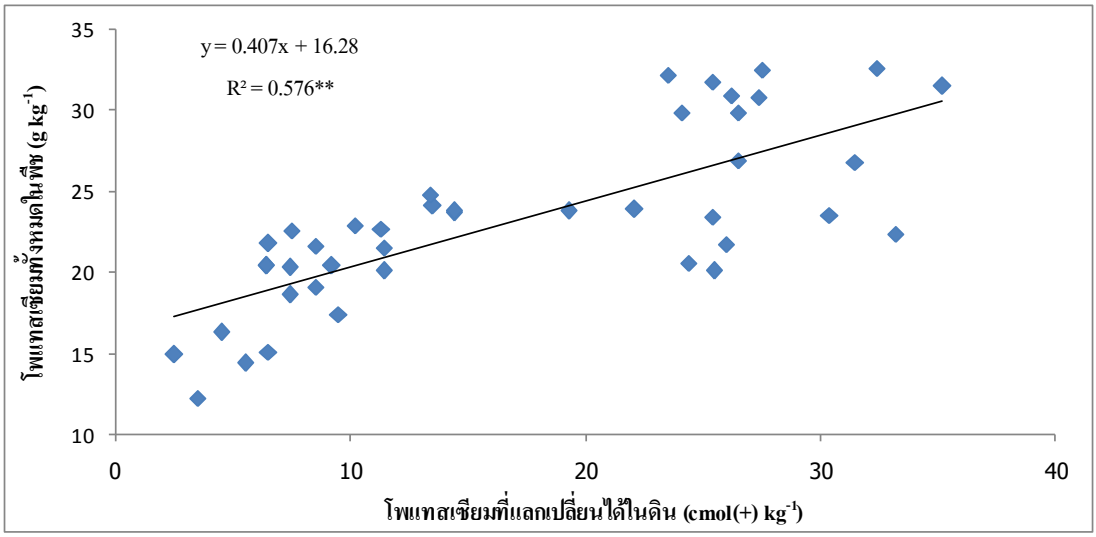
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีผลทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.514** ดังรูปที่ 17 ซึ่งแสดงว่าฟอสฟอรัสที่อยู่ในปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 และ 2) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืชสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักทั้ง 2 ชนิดนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสูง



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช

3.3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช

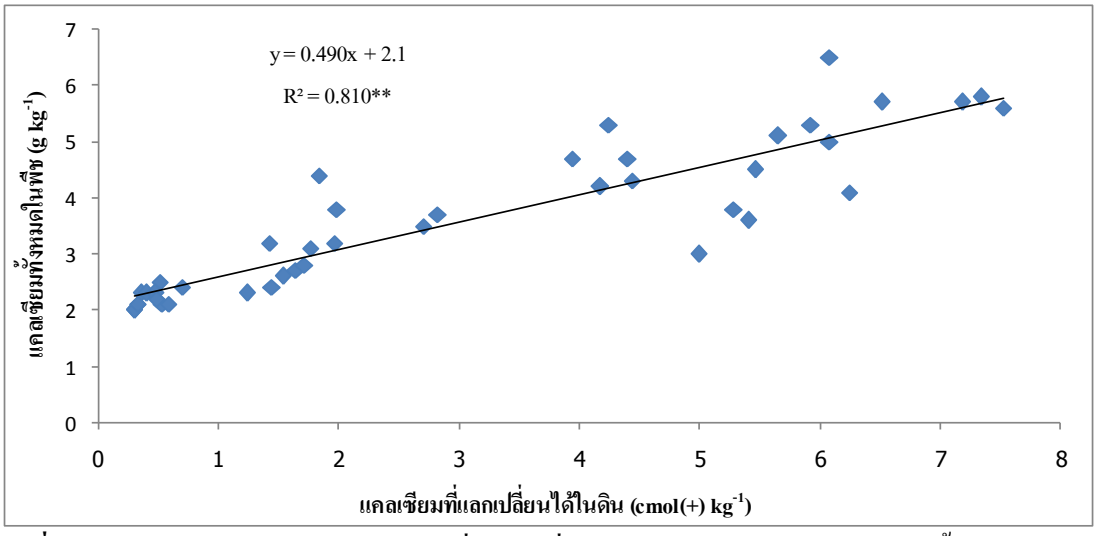
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีผลทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.576** ดังรูปที่ 18 ซึ่งแสดงว่าโพแทสเซียมที่อยู่ในปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ส่วนใหญ่เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ตำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืชสูงที่สุดคือ การใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 เนื่องจากผลการวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมักดังกล่าวเป็นปุ๋ยหมักที่โพแทสเซียมสูง ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักดังกล่าวลงไปในดินจึงทำให้ดินมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงขึ้น พืชจึงสามารถดูดไปใช้ได้ดี



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช

3.4 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในพืช

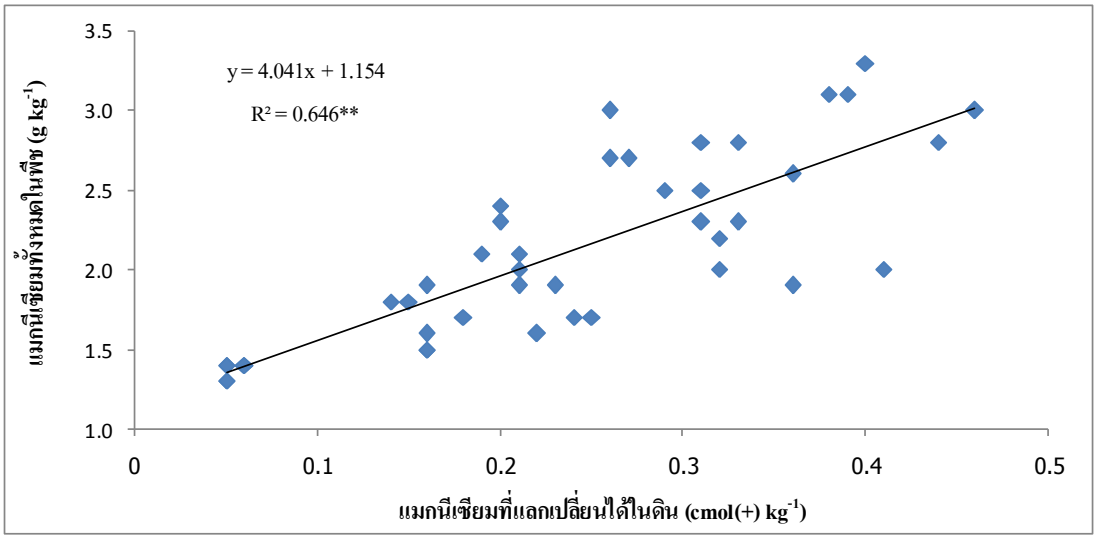
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีผลทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นเป็น 6.76 mg kg^{-1} ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ 9 % จากเดิม 0.33 mg kg^{-1} ในตำรับการทดลองควบคุม และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.810** ดังรูปที่ 19 ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักหอยเชอรี่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 4.73 % เนื่องจากหอยเชอรี่ที่ใช้หมักมีส่วนที่เป็นเปลือกผสมไปในขั้นตอนการหมักจึงทำให้มีปริมาณแคลเซียมสูง ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักดังกล่าวลงไปในดินและใส่ลงไปในปริมาณที่สูง จึงทำให้มีธาตุแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น การดูดใช้แคลเซียมของพืชก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปุ๋ยหมักที่ได้รับ



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในพืช

3.5 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช

การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกอัตรา มีผลทำให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น โดยแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 และ 2) และปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตของแมกนีเซียมในดินทั่วไป คือ 0.20 cmol(+) kg^{-1} (Landon, 1991) จึงส่งผลทำให้พืชดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเช่นกัน การดูดใช้แมกนีเซียมทั้งหมดในพืชมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่า R^2 = 0.646** ดังรูปที่ 20 โดยเฉพาะในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 มีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าสูงสุดคือ 0.41 cmol(+) kg^{-1} โดยข้าวโพดสามารถดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุดในตำรับการทดลองนี้เช่นกัน

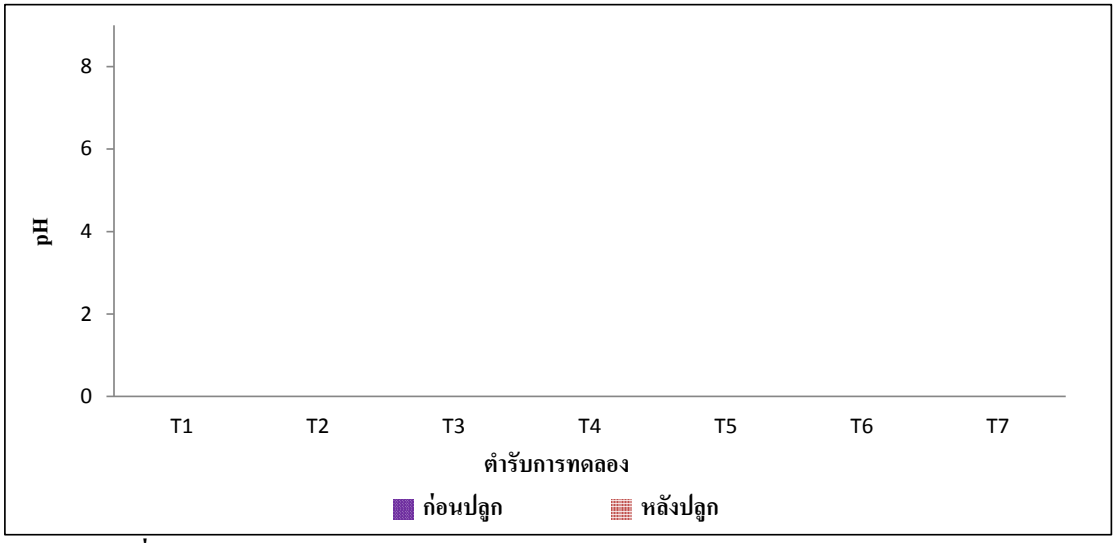


รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช

4. สมบัติของชุดดินบ้านทอนก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.1 ความเป็นกรด-ด่างดิน (pH)

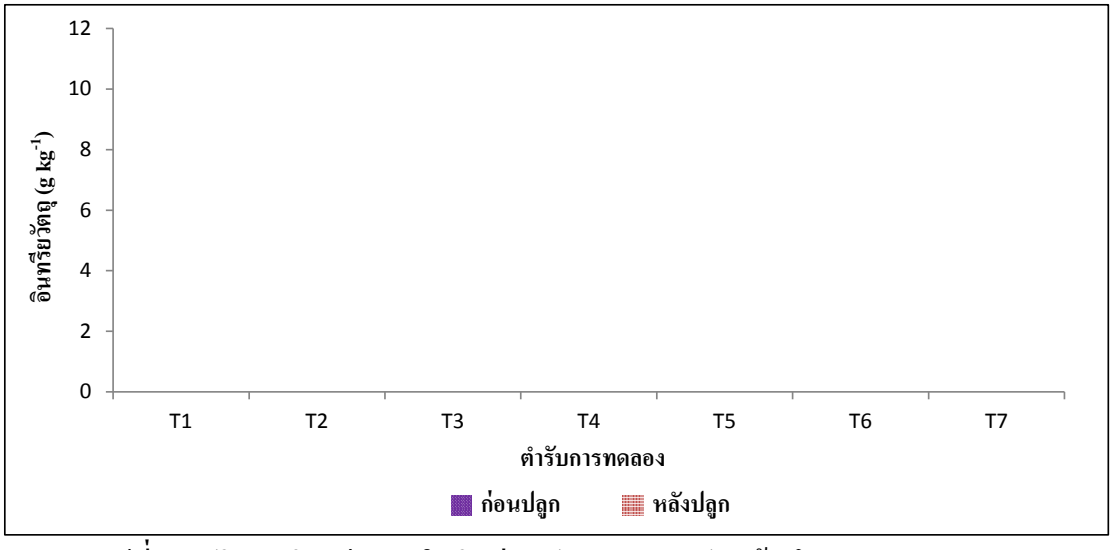
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกมีค่า pH ดินที่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง โดยค่า pH ดินหลังปลูกในตำรับการทดลองที่ 1-5 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุทำให้ได้สารประกอบพวกคาร์บอกซิล (Carboxyl) และฟีโนลิกไฮดรอกซิล (Phenolic hydroxyl) ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาช่วยให้ดินมี pH ดินเพิ่มขึ้น (Whalen *et al*., 2000) โดยดินทุกตำรับการทดลองมีค่า pH ดินอยู่ในระดับเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ความเป็นกรด-ด่างในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)

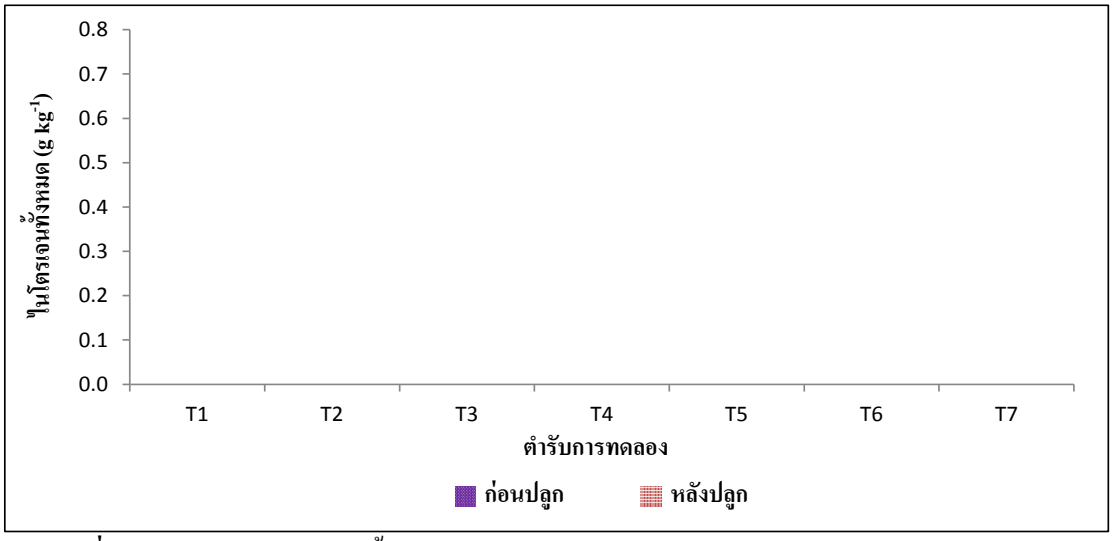
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก อาจเนื่องมาจากอินทรียวัตถุเกิดการย่อยสลาย แล้วจึงถูกพืชดูดอินทรียวัตถุไปใช้ในการเจริญเติบโต จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) เป็นแหล่งเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.3 ธาตุไนโตรเจน

การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าดินก่อนปลูกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าดินหลังปลูก อาจเนื่องมาจากในดินหลังปลูกจะถูกพืชนำไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโต และประกอบกับธาตุไนโตรเจนสูญเสียได้ง่ายจากขบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินกลายเป็นรูปก๊าซชนิดต่างๆ จึงทำให้มีปริมาณไนโตรเจนที่เหลือในดินหลังปลูกน้อยกว่า แสดงว่าอิทธิพลของเขตรากพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินแต่ไม่มากนัก ถึงแม้ว่ารากพืชจะดูดดึงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ไปสร้างมวลชีวภาพบางส่วนแต่เป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ดังรูปที่ 23

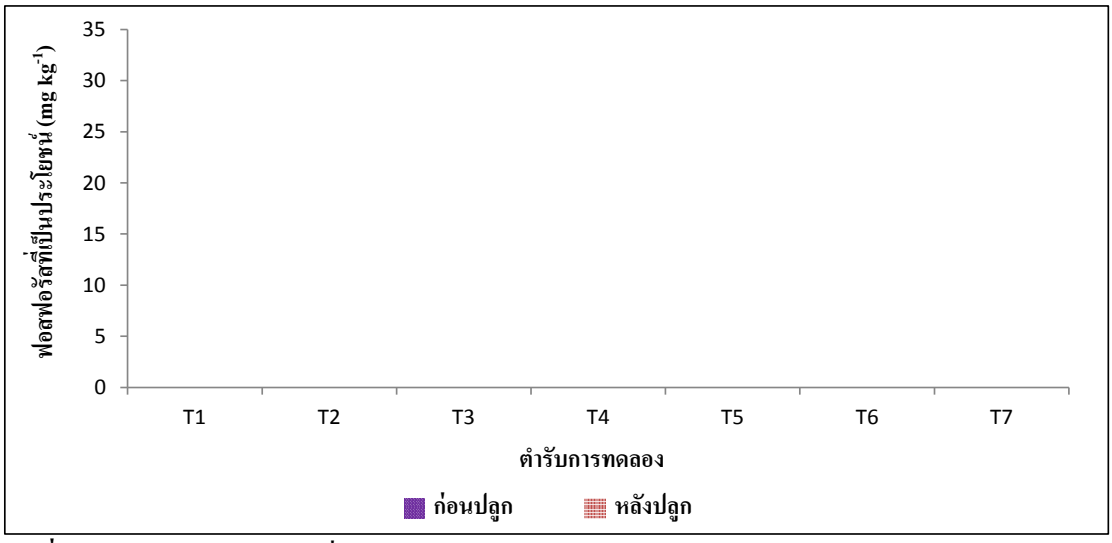


รูปที่ 23 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.4 ธาตุฟอสฟอรัส

การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเนื่องมาจากปุ๋ยหมักได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายจนเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่คงทน ประกอบกับการย่อยสลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ออกมาอยู่ในดินได้ต่ำ หรืออาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสถูกตรึงไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งตกตะกอนและละลายน้ำได้ยาก จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินไม่มากนัก ซึ่งสอดคล้องกับ Chaoui และคณะ (2003) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักร่วมระหว่างมูลโค ใบไม้ และเศษอาหารในดิน ปริมาณ

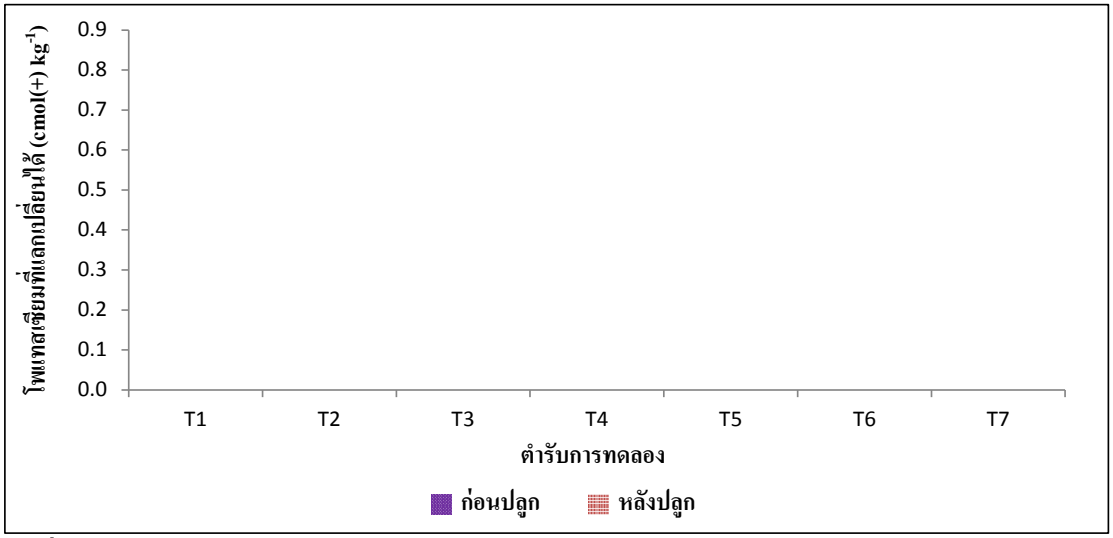
ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ของดินไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการบ่มดิน ถึงแม้ว่ารากพืชจะดูดดึงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์บางส่วนไปสร้างมวลชีวภาพแต่จะมีฟอสเฟตไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากสารฟอสเฟตต่างๆในดิน เพื่อทดแทนส่วนที่ถูกพืชดึงดูดเข้าไป ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.5 ธาตุโพแทสเซียม

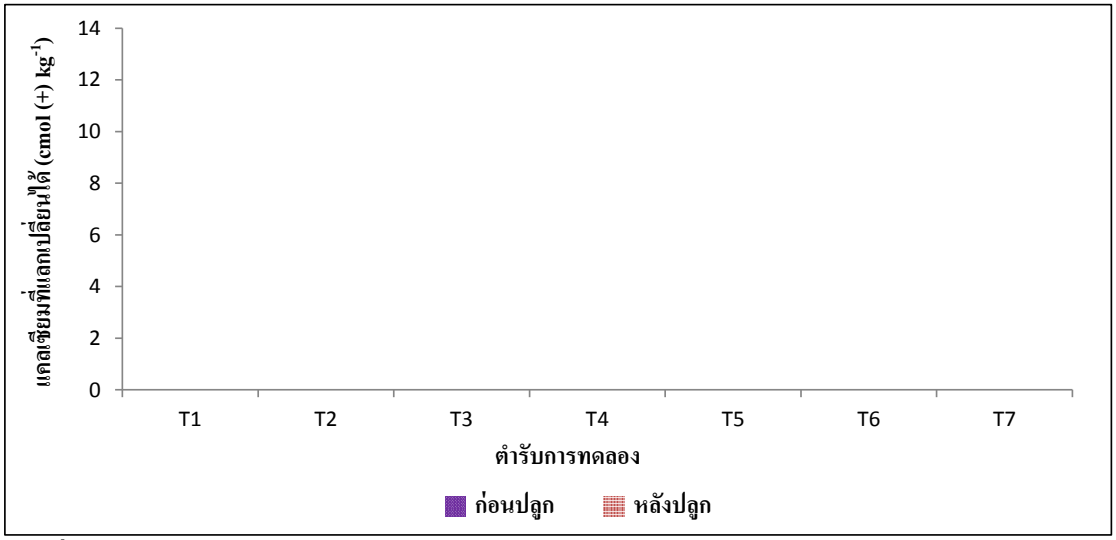
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังปลูกทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก อาจเนื่องจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน แล้วจึงถูกพืชดูดโพแทสเซียมไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังรูปที่ 25 โดยดินในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) จะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ เนื่องจากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่าปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีปริมาณโพแทสเซียมที่สูงกว่าปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ จึงส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 25 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.6 ธาตุแคลเซียม

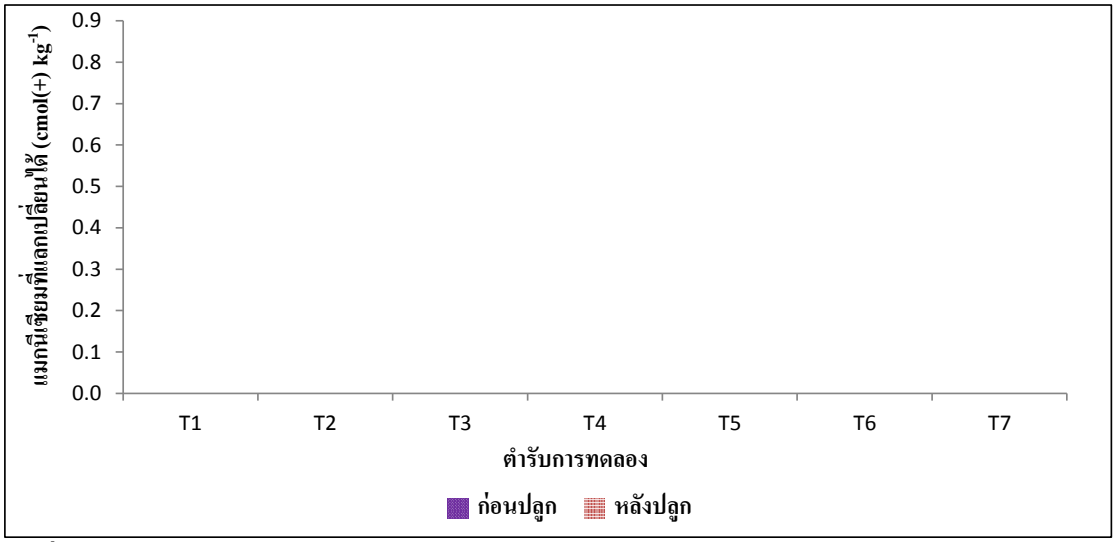
การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าในดินหลังปลูกมีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก อาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ มีอยู่ในปริมาณมากทำปฏิกิริยากับแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเกิดเป็นสารประกอบพวกแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำ เป็นผลทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกลดลง หรืออาจเนื่องมาจากถูกพืชดูดแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ดังรูปที่ 26 โดยดินในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) เนื่องจากปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ได้มีการนำส่วนเปลือกผสมลงไปในการทำปุ๋ยหมักด้วย ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักหอยเชอรี่เป็นแหล่งของแคลเซียมในดิน



รูปที่ 26 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

4.7 ธาตุแมกนีเซียม

การใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ในดินก่อนปลูกและดินหลังจากปลูกข้าวโพดหวานที่ 42 วัน พบว่าดินก่อนปลูกมีปริมาณแมกนีเซียมสูงกว่าดินหลังปลูก อาจเนื่องมาจากในดินหลังปลูกจะถูกพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่เหลือในดินหลังปลูกน้อยกว่า ถึงแม้ว่ารากพืชจะดูดดึงแมกนีเซียมไอออนไปสร้างมวลชีวภาพบางส่วนแต่จะมีแมกนีเซียมไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแร่และเกลืออิสระในดิน เพื่อทดแทนส่วนที่ถูกพืชดูดดึงเข้าไปได้ ดังรูปที่ 27

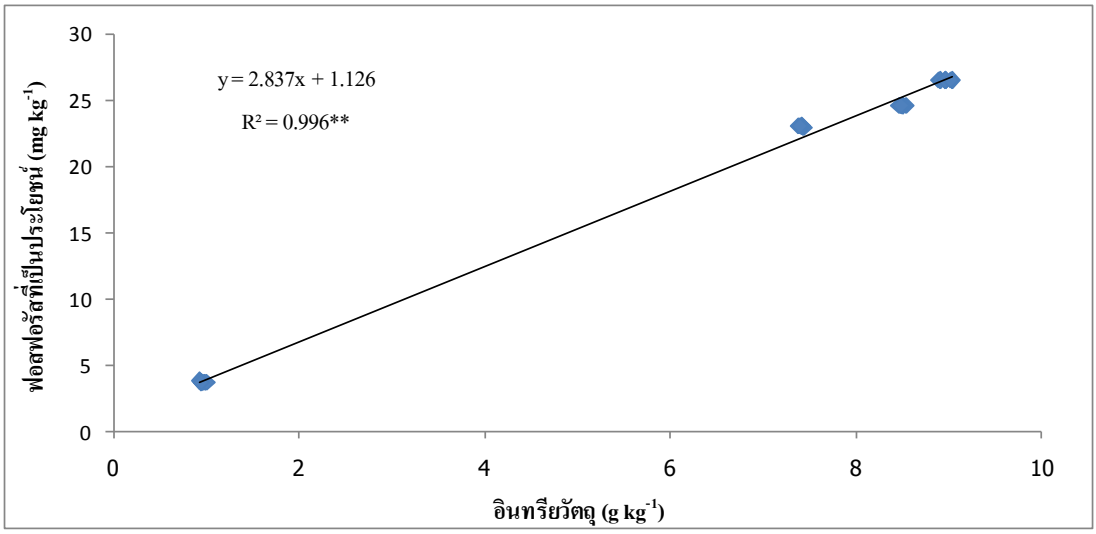


รูปที่ 27 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

5. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

5.1 ปริมาณอินทรียวัตถุกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทั้ง 3 อัตรา พบว่า ปริมาณของอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยมีค่า R^2 = 0.996** ดังรูปที่ 28 ซึ่งแสดงว่า ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุได้สูงขึ้นจะพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนั้นก็จะสูงขึ้นด้วย อาจเนื่องจากสารฟอสเฟตจำพวกอินทรีย์ฟอสเฟตจะมีปริมาณมากหรือน้อยตามปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน (ยงยุทธ และคณะ, 2541) นอกจากนี้แล้วกรดฮิวมิกที่ได้จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสเฟตที่ตกตะกอน แล้วปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนออกมาได้อีกด้วย (Loria and Sawyer, 2005) จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักหอยเชอรี่เป็นแหล่งเพิ่มฟอสฟอรัสให้แก่ดิน

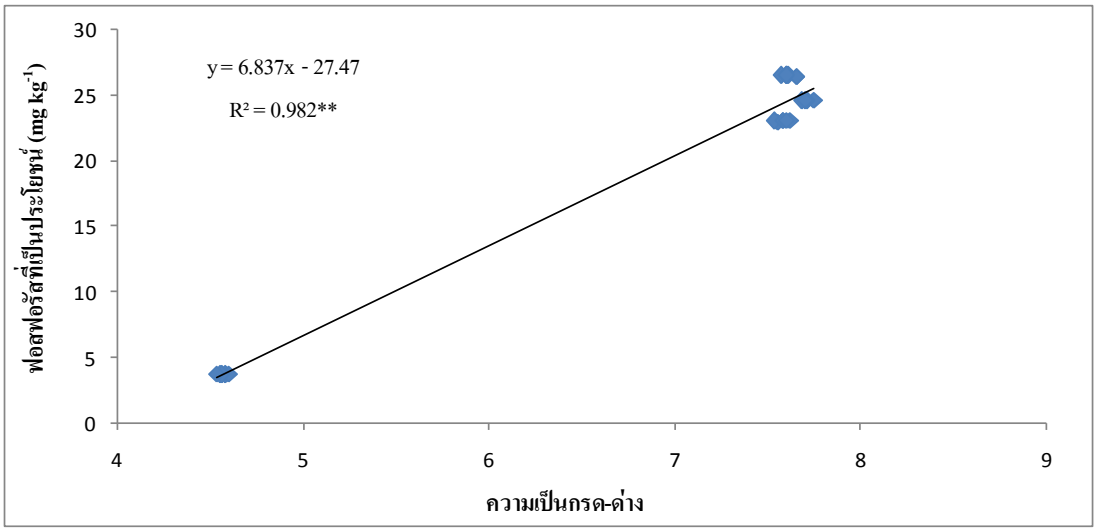


รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

5.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

ความเป็นกรด-ด่างดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยมีค่า R^2 = 0.982** ดังรูปที่ 29 จากการศึกษาพบว่า ดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่มีค่าเฉลี่ยของค่า pH ดินอยู่ในช่วง 7.58-7.71 ดังนั้นปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็น

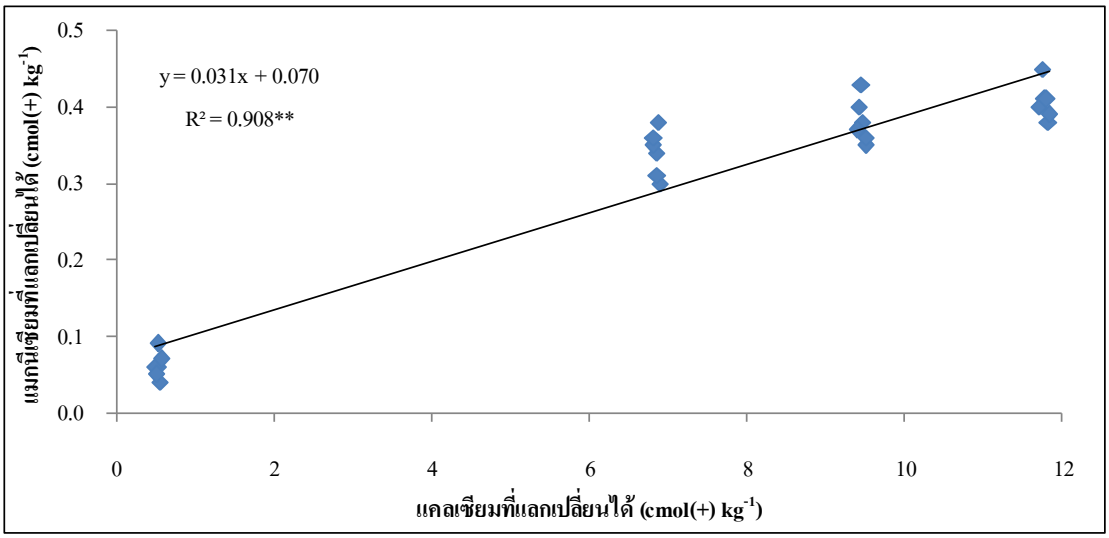
ประโยชน์ในดินที่วิเคราะห์ได้จึงมีความสัมพันธ์กับ pH ดิน เนื่องจากช่วงค่า pH ดิน 6-7 ปริมาณของฟอสฟอรัสจะเป็นประโยชน์มากที่สุด เพราะเหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมินั่มฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาในดินได้ในขณะที่เหล็กหรืออะลูมินั่มยังอยู่ในสภาพที่ไม่ละลายในรูปไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) ในดิน (ยงยุทธ และคณะ, 2541) นอกจากนี้ดินที่มี pH เป็นกลางถึงเป็นด่างจะพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (วิเชียร, 2537)



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

5.3 ปริมาณแคลเซียมกับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

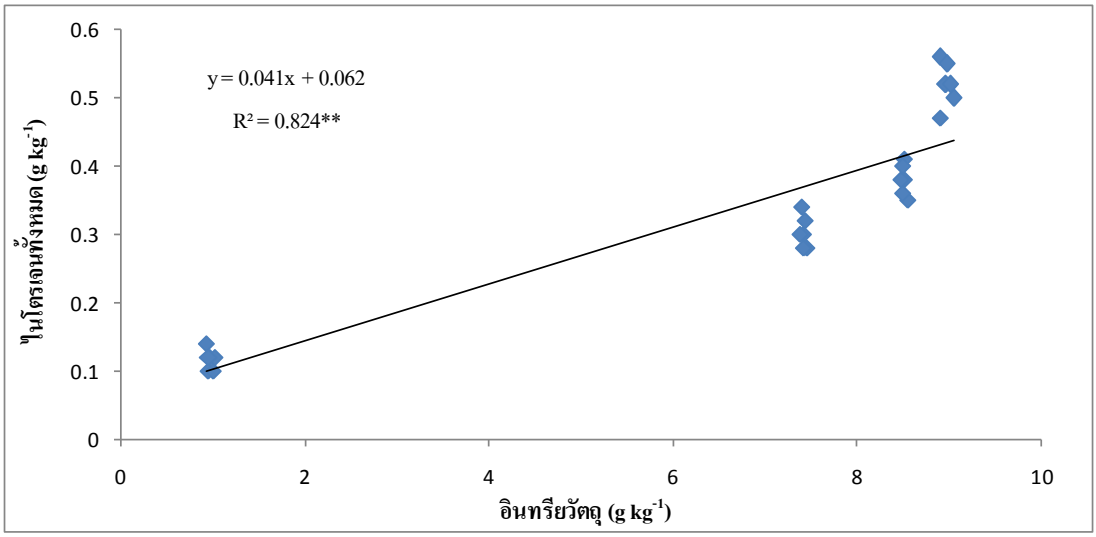
ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทั้ง 3 อัตรา เมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยมีค่า R^2 = 0.908** ดังรูปที่ 30 ซึ่งโดยปกติในดินจะมีปริมาณของแมกนีเซียมน้อยกว่าปริมาณของแคลเซียมซึ่งเป็นไปตามค่าวิเคราะห์ที่แสดงในรูป แต่ด้วยธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้มักจะเกิดอยู่ในสภาพธรรมชาติร่วมกัน ดังนั้นถ้าในดินมีแมกนีเซียมอยู่สูงก็มักจะมีแคลเซียมสูงตามไปด้วย (อภิรดี, 2537) ประกอบกับปุ๋ยหมักหอยเชอรี่นี้มีปริมาณของแคลเซียมสูง เนื่องจากมีการนำส่วนเปลือกของหอยผสมเข้าไปด้วยในขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักจึงส่งผลให้ปริมาณของแคลเซียมสูงกว่าปริมาณแมกนีเซียม



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

5.4 ปริมาณอินทรียวัตถุกับไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

ในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ทั้ง 3 อัตรา พบว่า ปริมาณของอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยมีค่า $R^2 = 0.824^{**}$ ดังรูปที่ 31 ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเป็นผลเนื่องมาจากการย่อยสลายปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่มีปริมาณไนโตรเจนอยู่สูง ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในดินนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เพราะในอินทรียวัตถุจะประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (มีไนโตรเจน 1 ส่วนในอินทรียวัตถุ 20 ส่วน (อภิรดี, 2534) ดังนั้นถ้าในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่สูงก็จะส่งผลให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มสูงตามไปด้วย



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุกับไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกที่ผสมปุ๋ยหมักหอยเชอรี่

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุป

1.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าวที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย

จากการศึกษาหอยเชอรี่ มูลวัว และฟางข้าว เมื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้น สามารถสรุปได้ดังนี้ หอยเชอรี่มีความชื้นสูง มีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ มูลวัวที่นิยมนำมาหมักปุ๋ย พบว่ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากต้องการนำมาหมักปุ๋ยจำเป็นต้องหาวัสดุมาหมักร่วม โดยเลือกวัสดุหมักร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ซึ่งการทดลองนี้จึงเลือกฟางข้าวเป็นวัสดุหมักร่วม เพื่อปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

1.2 อัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก พบว่าตำรับการทดลองที่ 2 คือ หอยเชอรี่: ฟางข้าว:ยูเรีย โดยมีอัตราส่วน 1:3:0.007 คืออัตราส่วนที่ดีที่สุด และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักคือ 60 วัน โดยสังเกตจากการย่อยสลายและอัตราส่วนคาร์บอนต่อ ซึ่งตรงตามมาตรฐานตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนดไว้ว่า ต้องมีการย่อยสลายไม่น้อยกว่า 80 % และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกิน 20:1

1.3 ผลของการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน และสมบัติของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวานอายุ 42 วัน

จากการนำผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักที่ได้ และปุ๋ยหมักที่จำหน่ายตามท้องตลาด (บริษัทที่ 1 และ 2) ไปปลูกข้าวโพดหวานพบว่า มีผลทำให้ชุดดินบ้านทอนมีสมบัติดีขึ้น ดินมี pH เพิ่มขึ้น และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และอินทรียวัตถุ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนแตกต่างจากตำรับการทดลองควบคุม ซึ่งดินมี pH ต่ำ และปริมาณธาตุอาหารต่ำ และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ พบว่าทำให้

ดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองควบคุมแต่น้อยกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 ที่ให้ธาตุอาหารสูงกว่า ข้าวโพดจึงดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวนี้ได้มากกว่า

ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1 (T6) เป็นตำรับการทดลองที่ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักแห้งสูงสุด แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ที่ผลิตขึ้นมาพบว่ามีปริมาณธาตุอาหารไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นปุ๋ยหมักหอยเชอรี่จึงน่าจะเป็นปุ๋ยหมักอีกทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำมาใช้ในการผลิตพืชได้ เพราะเกษตรกรสามารถที่จะผลิตปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ใช้ได้เอง ด้วยกระบวนการหมักที่ไม่ยุ่งยาก วัตถุดิบหาได้ง่ายในท้องถิ่น และนอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องต้นทุนในแง่เศรษฐศาสตร์เพราะเกษตรกรจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยมาใช้ แต่สามารถลดต้นทุนโดยการผลิตใช้เอง

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ตัวอย่างต่างๆ ที่จะนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ควรทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง และประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ตามมา

2.2 ควรมีการศึกษาทดลองผลการใส่ปุ๋ยหมักหอยเชอรี่ในพืชอื่นๆ และในชุดดินอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2550. น้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่. 2541. ปริมาณธาตุอาหารพืชของปุ๋ยจากมูลค้างคาว. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำลอง วรรณโครต. 2539. อิทธิพลของปุ๋ยหมักบางชนิดต่อถั่วเหลืองฝักสดใน 10 ชุดดินบริเวณภาคกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชมพูนุช จรรยาเพศ และทักษิณ อาชวาคม. 2534. หอยเชอรี่. เอกสารประกอบการอบรมแมลงสัตว์ศัตรูพืชและการป้องกันกำจัดครั้งที่ 6 วันที่ 17-18 มิถุนายน 2534. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร. หน้า 86-103.

ชมพูนุช จรรยาเพศ และทักษิณ อาชวาคม. 2542. หอยเชอรี่. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(วิทยาเขตกำแพงแสน), นครปฐม.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, เสมอขวัญ ตันติกุล และชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร. 2547. การหมักปุ๋ยด้วยระบบการเติมอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหารคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นันทวัน ฤทธิ์เดช. 2547. การตรวจวัดความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก. ว. วิทยา. มข. 32(2): 80-85.

นิตยา เลาหะจินดา และจารุวรรณ สมศิริ. 2542. แนวทางการควบคุมและกำจัดหอยเชอรี่เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่า. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาเรื่อง “หอยเชอรี่” 17 มีนาคม 2542

โรงแรมไพลิน จังหวัดพิษณุโลก. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย. หน้า 1-11.

นิตยา เลาหะจินดา, โชคชัย เสนะวงศ์, ธนินทร์ พงศ์มาศ, วีระศักดิ์ อุดมโชค, อรรณพ หอมจันทร์ และนิพนธ์ มาฆทาน. 2542. การป้องกันและควบคุมหอยเชอรี่โดยการจัดการทางสรีรวิทยาและชีววิธี. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย.

ประจง สุดโต. 2542. การกำจัดหอยเชอรี่โดยไม่พึ่งสารเคมี.วารสารส่งเสริมการเกษตร 30 (139): 22–24.

ประเสริฐ สองเมือง. 2543. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาวกองปฐพีวิทยากรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ประโสด ธรรมเขต. 2540. การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

พัชรี หอพิจิตร. 2529. การจัดการขยะมูลฝอย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พัลลภ หงส์เจริญไทย. 2548. อิทธิพลของฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินพิมายและชุดดินสิงห์บุรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทยากร ลิ่มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์, ประโสด ธรรมเขต, ชูศรี ยสินทร และปรัชญา ธัญญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของ จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว. รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. ปุ๋ยอินทรีย์. บ้านและสวน. กรุงเทพฯ. 216 น.

ยงยุทธ โอสถสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจู. 2541. ปฐพีเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วนิดา เกิดมณี. 2549. รายงานการวิจัยอิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

วนิดา ฐิตะฐาน. 2532. ปุ๋ยหมักและจุลินทรีย์ที่เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมัก. วารสารดินและปุ๋ย 11: 261-264.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2537. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สุรินทร์ : ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราชภัฏสุรินทร์.

วรรณา เลี้ยววาริน. 2538. คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย. หน่วยปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2544. การจัดการหอยเชอรี่. สถาบันส่งเสริมเกษตรชีวภาพและโรงเรือนเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร.

สกล ศรีวัณโณ. 2549. ผลของอัตราการใช้ปุ๋ยมูลวัวร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อสมบัติดินและผลผลิตของผักคะน้าที่ปลูกในชุดดินบางเขน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย ศรีพูล. 2547. ผลของการใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2553. ข้อมูลเกี่ยวกับข้าว. [Online] Available from http://www.riceexporters.or.th. (Accessed August 21, 2010)

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. ศัพท์บัญญัติและนินามขยะ. เรือนแก้วการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

สุปราณี ผลชีวิน. 2535. อาหาร เชื้อเพลิง และปุ๋ยจากวัสดุเหลือใช้ประเภทอินทรีย์สาร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 223 น.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534. การตรวจสอบดิน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 7 (7): 5-23.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2537. แนวทางในการตรวจสอบและรักษาสมดุลระหว่างธาตุต่าง ๆในดิน. วารสารพัฒนาที่ดิน. 31 : 13-33.

อานุภาพ แก้วกอง. 2549. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Alexander, M. 1997. Introduction to soil microbology. 2nd ed., J. Wiley and Sons, Inc., New York.

Anderson, B. 1993. The Philippine snail disaster. The Ecologist. 23: 70–72.

Balasubramaniam. A. 1972. Effect of organic manuring on the activities of the enzymes hydrolysing sucrose and urea on soil aggregation. PL. Soil 37, 319 p.

Chaoui, I., Zibiliske, M. and Ohno, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry 35: 295-302.

Chen, Y. and Avnimelech Y. 1986. Role of organic matter in modern agriculture. Matinus Nijhoff Publishers, Netherland. 360 p.

Chikae, M., Ikeda, R., Kerman, K., Morita, Y. and Tamiya, E. 2006. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. Bioresource Technology 97: 1979-1985.

Cornell Waste Management Institute. 1996. Science and engineering. [Online] Available fromhttp://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html. (Accessed August 21, 2009)

Cosico, W.C. 1985. Organic fertilizers: their nature, properties and use. A Publication of Farming Systems and Soil Resources Institute, UPLB, Laguna.

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

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

Day, M., Krzymein, M., Shaw, K., Zeremba, L., Wilson, W.R., Botden, C. and Thomus, B. 1998. An investigation of the chemical and physical changes occurring during commerical composting. Compost Sci. Util. 6: 44-66.

De Bertoldi, M., Mera, A. and Vallini, G. 1983. Principidel compostaggio. Proceedings of the International Symposiom on “Biological reclamation and land untilization of urban waste”. Napoli, 11-14 October 1983, Ed. By F. Zucconi, M.De Bertoldi and S. Coppola.

De Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. 1983. The biology of composting: A review waste manage. Res. 1: 157-176.

Dela Cruz, M.S., Joshi, R.C. and Martin, A.R. 2001. Basal application of fertilizer reduces golden apple snail population. IRRN.

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(4): 235-248.

Dindal, D.L. 1978. Soil organisms and stabilizing waste. Compost Sci. 9: 8-11.

Elango, D., Thinakaran, N., Panneerselvam, P. and Sivanesan, S. 2008. Thermophilic composting of municipal solid waste. Applied Energy. 86: 663-668.

Fernàndez, F.J. Sànchez-Arias, V., Villasenor, J., Rodriguez L. 2008. Evaluation of carbon degradation during co-composting of exhausted grape marc with different biowastes. Chemosphere 73: 670-677.

Finstein, M.S. and Morris, M.L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Adv. Appl. Microbiol. 19: 113-151.

Gaur, A.C. 1980. Fundamentals of composting. In Compost Technology, FAO/UNDP regional project. Project field document no. 13. pp. 7-14.

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

Goluek, C.G. 1972. A study of the composting process and its principles, Emmaus, PA: Rodale Press.

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

Gotaas, H.B. 1976. Composting. Dept. of Engineering, Univ. of California, Berkeley. 205 p.

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J. 1971. A review of composting, part 1. Process Biochem. 6(6): 22-36.

Hamoda, M. F., Qdais, H. A. and Newham, J. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. Resources Conservation and Recycling 23: 209-223.

Haug, R.T. 1979. Engineering principles of sludge composting. J. Water Pollut. Control Fed. 51: 2189-2195.

Haug, R.T. 1980. Composting engineering: principle and practice. Technomic Publ. Co. lnc., Lancaster, Pennsylvania. 655 p.

Haug, R.T. 1993. The practical handbook of compost engineering. Boca Raton: Lewis Publisher.

Khaleel, R., Reddy, K.R. and Overcash, M.R. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste application: A review. J. Environ. Qual. 10: 133-141.

Kulcu, R. and Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Bioresource Technology. 93: 49-57.

Laine, M.M., Haario, H. and Jorgensen, K.S. 1997. Microbial functional activity during composting of chlorophenol-contaminated sawmill soil. J. Microbiol. Meth. 30: 21-32.

Landon, J.R. 1991. Booker tropical soil manual : A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. New York : Longman Scienctific & Technical copublished with John Wiley & Sons.

Liang, C., Das, K.C. and Mc Clendon, R.W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresource Technology 86: 131–137.

Loria, E. and Sawyer, J.E. 2005. Extractable soil phosphorus and inorganic nitrogen following application of raw and anaerobically digested swine manure. J. Agronomy. 97: 879-885.

Madden, T., Ward, J.M. and Ison, A.P. 1996. Organic acid excretion by Streptomysis lividams TK 24 during growth on defined carbon and nitrogen sources. Microbiol. 142: 3181-3185.

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

Mathur, S.P. 1991. Composting processes. Bioconversion of Waste Material to Industrial Products. Elsevier Applied Science; London, U.K. *In* A.M. Martin (ed.). pp. 147-186.

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

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

Peigne, J. and Girardin, P. 2004. Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air and Soil Pollution 153: 45-68.

Polprasert, C. 1996. Organic waste recycling and management. John Wiley & Sons, England.

Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as source of plant nutrients. In Oraganic Matter and Rice. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines. pp. 117-136.

Rabbani, K.R., Jindal, R., Kubota, H. and Obeng, L. 1983. Composting of domestic refuse: A review. Environ. Sanitation 10(11): 9-78.

Ramos, S.M.C., Bernal, D.A., Tapia, N.T. and Dendooven, L. 2004. Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw. Bioresour. Technol. 94: 223-228.

Rondom, M.B. and Callo, D.P. 1991. Distribution and mode infestation of golden apple snail in rice farming. In B.O. Acosta and R.S.V. Pullin (eds). Environmental Impact of the Golden Snail (*Pomacea sp.*) on Rice Farming Systems in the Philippines Manila International Center for Living Aquatic Resources Management. 12 p.

Samudro, G. and Hermana, J. 2007. Denitrification efficiency in a compost bed with various carbon and nitrogen contents. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation 2(2): 57-62.

Solano, M.L., Iriarte, F., Ciria, P. and Negro, M.J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. J. Agr. eng.Res. 79(3): 317-329.

Sopit Vetayasuporn. 2006. Effects of biological and chemical fertilizers on growth and yield of shallot (Allium cepa var. ascolonicum) production. Journal of Biological Sciences 6(1): 82-86.

Sugahara, K., Koga, S. and Inoko, A. 1979. Color change of city refuse during composting. Soil Sci. Plant Nutr. 25: 197-208.

Suler, D.I. and Finstein, M.S. 1997. Effect of temperature, aeration and moisture on CO_2 formation in bench-scale continuously thermophillic composting of solid waste. Applied and Environmental Microbiology. 33: 345-350.

Tengerdy, R.P. 1985. Solid substrate fermentation. Trends in Biotech. 3(4): 96-99.

Teo, S.S. 2001. Evaluation of different duck varieties for the control of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in transplanted and direct seeded rice. Crop Protection. 20: 599-604.

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

Tiquia, S.M., Wan, J.H.C. and Tam, N.F.Y. 2002. Dynamic of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. Process Biochem. 37(10): 1057-1065.

Vuorinen, A.H. and Saharinen, M.H. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. Agriculture Ecosystems & Environment 66: 19-29.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. and. Carefoot, J.D. 2000. Cattle manure amendment can increase pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 963-966.

Wong, J.W., CMa, K.K., Fang, K.M. and Cheung, C. 1999. Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. Bioresour. Technol. 67: 43-46.

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

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

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาอัตราส่วนของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการหมักปุ๋ยแต่ตำรับการทดลอง

นำค่าวิเคราะห์ที่ได้จากตารางที่ 10 มาคำนวณหาอัตราส่วนที่ใช้ในการหมักของวัสดุแต่ละชนิด โดยแทนค่าในสูตรของ Tom Richard and Nancy Trautmann (Cornell Waste Management Institute, 1996) ดังนี้

$$R = Q_1C_1 (100 - M_1) + Q_2C_2 (100 - M_2) / Q_1N_1 (100 - M_1) + Q_2N_2 (100 - M_2)$$

โดยที่ R = C/N ratio of compost mixture

Q_n = mass of material n

C_n = carbon (%) of material n

N_n = nitrogen (%) of material n

M_n = moisture content (%) of material n

ตำรับการทดลองที่ 1

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30 และกำหนด Q_2 เท่ากับ 3

$$30 = \frac{Q_1(21.53/100)(100 - 66.49) + 3(35.01/100)(100 - 23.76)}{Q_1(3.29/100)(100 - 66.49) + 3(0.65/100)(100 - 23.76)}$$

$$30 = \frac{7.215\ Q_1 + 80.075}{1.102\ Q_1 + 1.487}$$

$$33.06\ Q_1 + 44.61 = 7.215\ Q_1 + 80.075$$

$$Q_1 = 1.4$$

ดังนั้นจะต้องใช้หอยเชอรี่ 1.4 ส่วนต่อฟางข้าว 3 ส่วน

ตำรับการทดลองที่ 2

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30, กำหนด Q_2 เท่ากับ 3 และกำหนด Q_3 เท่ากับ 0.007

$$30 = \frac{Q_1(21.53/100)(100 - 66.49) + 3(35.01/100)(100 - 23.76) + 0.007(20/100)(100 - 0.5)}{Q_1(3.29/100)(100 - 66.49) + 3(0.65/100)(100 - 23.76) + 0.007(46.6/100)(100 - 0.5)}$$

$$30 = \frac{7.215\ Q_1 + 80.075 + 0.14}{1.102\ Q_1 + 1.487 + 0.326}$$

$$33.06\ Q_1 + 44.61 + 9.78 = 7.215\ Q_1 + 80.075 + 0.14$$

$$Q_1 = 1$$

ดังนั้นจะต้องใช้หอยเชอรี่ 1 ส่วนต่อฟางข้าว 3 ส่วนต่อยูเรีย 0.007 ส่วน

ตำรับการทดลองที่ 3 มูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30, กำหนด Q_2 เท่ากับ 3 และกำหนด Q_3 เท่ากับ 0.007

$$30 = \frac{Q_1(24.54/100)(100 - 38.20) + 3(35.01/100)(100 - 23.76) + 0.007(20/100)(100 - 0.5)}{Q_1(1.52/100)(100 - 38.20) + 3(0.65/100)(100 - 23.76) + 0.007(46.6/100)(100 - 0.5)}$$

$$30 = \frac{15.17\ Q_1 + 80.075 + 0.14}{0.9394\ Q_1 + 1.4867 + 0.3246}$$

$$28.182\ Q_1 + 44.601 + 9.738 = 15.17\ Q_1 + 80.075 + 0.14$$

$$Q_1 = 2$$

ดังนั้นจะต้องใช้มูลวัว 2 ส่วน ต่อฟางข้าว 3 ส่วนต่อยูเรีย 0.007 ส่วน

ภาคผนวก ข.

1. ส่วนผสมของปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1

ขี้หมูหรือขี้ไก่ 500 กิโลกรัม

ขี้ค้าวคาว 200 กิโลกรัม

รำละเอียด 100 กิโลกรัม

ขี้เลื่อยเผา 200 กิโลกรัม

น้ำหมัก 20 กิโลกรัม

- ปลาเป็ด 30 กิโลกรัม
- สับปะรด 10 กิโลกรัม
- น้ำ 10 ลิตร
- กากน้ำตาล 10 กิโลกรัม
- พ.ด. 1 ซอง
- นมเปรี้ยว 2 ขวด

2. ส่วนผสมของปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1

มูลหมู

น้ำจุลินทรีย์ที่ทำจากรกหมู

ตารางผนวกที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	อุณหภูมิ (^{o}C)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	36.00	41.00	33.34
1	37.34	44.89	33.89
2	39.33	48.33	35.89
3	41.66	52.22	36.11
4	44.56	52.00	38.11
5	46.78	51.33	42.67
6	47.00	51.11	42.00
7	41.00	42.78	44.66
8	43.56	46.22	44.89
9	44.67	45.89	44.11
10	43.56	47.45	42.35
11	41.11	46.78	43.29
12	41.56	47.11	39.29
13	41.00	45.78	39.00
14	37.60	41.11	35.11
15	38.89	43.00	36.78
16	41.29	41.67	35.44
17	40.11	40.67	37.22
18	39.11	39.67	35.66
19	37.67	39.33	36.00
20	36.44	38.56	34.22
21	32.56	35.56	32.67
22	33.44	35.78	32.56
23	32.89	36.11	30.33
24	33.89	34.44	32.44
25	33.89	33.89	32.44

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิ (^{0}C)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
26	33.00	34.56	32.11
27	32.44	33.67	32.00
28	30.00	32.00	31.87
29	31.67	32.78	31.00
30	31.78	33.22	30.22
31	31.44	32.00	28.34
32	32.44	32.78	27.89
33	31.78	33.44	29.78
34	32.78	33.00	31.56
35	30.35	30.33	31.22
36	30.89	31.55	30.89
37	31.11	32.44	31.11
38	31.45	32.67	30.34
39	31.44	32.56	32.29
40	30.89	31.67	31.22
41	30.78	31.34	29.35
42	29.00	30.56	29.00
43	29.67	30.56	30.11
44	30.89	31.56	30.22
45	30.78	30.33	30.35
46	30.56	31.11	30.11
47	30.67	30.22	30.22
48	31.22	31.00	30.44
49	29.22	29.67	30.11
50	30.78	30.22	30.89
51	31.56	32.22	31.22

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิ (°C)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
52	30.89	33.00	31.22
53	30.67	32.00	30.78
54	31.11	30.78	30.11
55	31.00	28.89	29.66
56	30.78	27.78	29.56
57	29.78	28.22	29.78
58	30.00	28.44	29.89
59	30.11	27.78	28.22
60	29.67	27.89	28.34

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ความชื้น (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	54.77	55.17	54.13
5	54.42	54.01	55.84
10	54.57	57.29	53.44
15	52.71	56.33	55.72
20	54.50	53.87	53.66
25	53.89	57.38	53.98
30	52.84	51.86	53.22
35	52.23	55.99	53.09
40	52.33	56.57	53.12
45	52.84	53.60	51.99
50	57.02	53.15	54.33
55	53.05	51.88	52.46
60	43.29	40.83	41.38

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อินทรียวัตถุ (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	55.06	59.85	38.89
5	54.42	54.75	38.76
10	52.95	53.02	38.29
15	51.19	52.11	38.26
20	49.91	52.58	37.89
25	49.39	52.02	37.77
30	48.83	50.88	35.26
35	47.14	47.26	36.22
40	46.43	47.44	35.98
45	45.09	46.30	35.57
50	44.31	43.99	35.24
55	42.96	43.62	34.84
60	42.44	42.40	34.84

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 4 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	1.04	1.15	0.71
5	1.13	1.22	0.76
10	1.17	1.29	0.80
15	1.19	1.35	0.85
20	1.21	1.39	0.85
25	1.21	1.40	0.86
30	1.23	1.41	0.89
35	1.24	1.43	0.92
40	1.26	1.44	0.92
45	1.28	1.44	0.95
50	1.33	1.45	0.98
55	1.35	1.47	1.04
60	1.37	1.48	1.10

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	30.71	30.28	31.77
5	28.02	26.10	29.58
10	26.24	23.85	27.76
15	25.03	22.62	26.11
20	24.00	22.01	25.86
25	23.75	21.56	25.48
30	23.03	20.93	22.98
35	21.99	19.13	22.84
40	21.32	19.15	22.68
45	20.43	18.66	21.72
50	19.21	17.59	20.86
55	18.47	17.25	19.43
60	17.93	16.90	18.37

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่า pH		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	5.14	5.26	6.51
5	5.49	5.30	6.72
10	5.80	5.59	6.31
15	6.06	6.06	6.88
20	6.34	6.25	6.92
25	6.70	6.68	7.13
30	7.00	6.92	7.18
35	7.22	7.17	7.28
40	7.36	7.27	7.31
45	7.34	7.40	7.33
50	7.54	7.53	7.47
55	7.67	7.71	7.53
60	7.80	7.88	7.69

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	0.35	0.37	0.45
30	0.44	0.38	0.47
45	0.46	0.44	0.45
60	0.45	0.50	0.53

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	1.03	1.18	0.92
30	1.19	1.25	1.21
45	1.24	1.25	1.19
60	1.22	1.31	1.24

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงแคลเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	แคลเซียมทั้งหมด (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	5.49	4.47	1.32
30	5.51	4.64	1.50
45	5.52	4.70	1.54
60	5.55	4.73	1.66

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 10 การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	แมกนีเซียมทั้งหมด (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	0.14	0.25	0.20
30	0.21	0.27	0.18
45	0.22	0.31	0.24
60	0.24	0.29	0.24

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง ตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	ค่าการนำไฟฟ้า (dS m^{-1})		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	2.52	2.39	1.91
30	2.14	2.12	1.92
45	2.11	2.07	1.81
60	1.85	2.01	1.79

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 12 การเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง ตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
30	59.65	77.59	51.41
45	73.51	88.20	65.44
60	86.88	97.60	76.73

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ฟางข้าว

มูลวัว

หอยเชอรี่

ภาพภาคผนวกที่ 1 ลักษณะของวัสดุหมัก (หอยเชอรี่, ฟางข้าว และมูลวัว) ที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

ภาพภาคผนวกที่ 2 ลักษณะของปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ที่ผลิตได้จากการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในแต่ละตำรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2550. น้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่. 2541. ปริมาณธาตุอาหารพืชของปุ๋ยจากมูลค้างคาว. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำลอง วรรณโครต. 2539. อิทธิพลของปุ๋ยหมักบางชนิดต่อถั่วเหลืองฝักสดใน 10 ชุดดินบริเวณภาคกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชมพูนุช จรรยาเพศ และทักษิณ อาชวาคม. 2534. หอยเชอรี่. เอกสารประกอบการอบรมแมลงสัตว์ศัตรูพืชและการป้องกันกำจัดครั้งที่ 6 วันที่ 17-18 มิถุนายน 2534. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร. หน้า 86-103.

ชมพูนุช จรรยาเพศ และทักษิณ อาชวาคม. 2542. หอยเชอรี่. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(วิทยาเขตกำแพงแสน), นครปฐม.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, เสมอขวัญ ตันติกุล และชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร. 2547. การหมักปุ๋ยด้วยระบบการเติมอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหารคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นันทวัน ฤทธิ์เดช. 2547. การตรวจวัดความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก. ว. วิทยา. มข. 32(2): 80-85.

นิตยา เลาหะจินดา และจารุวรรณ สมศิริ. 2542. แนวทางการควบคุมและกำจัดหอยเชอรี่เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่า. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาเรื่อง “หอยเชอรี่” 17 มีนาคม 2542

โรงแรมไพลิน จังหวัดพิษณุโลก. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย. หน้า 1-11.

นิตยา เลาหะจินดา, โชคชัย เสนะวงศ์, ธนินทร์ พงศ์มาศ, วีระศักดิ์ อุดมโชค, อรรณพ หอมจันทร์ และนิพนธ์ มาฆทาน. 2542. การป้องกันและควบคุมหอยเชอรี่โดยการจัดการทางสรีรวิทยาและชีววิธี. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร และสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย.

ประจง สุดโต. 2542. การกำจัดหอยเชอรี่โดยไม่พึ่งสารเคมี.วารสารส่งเสริมการเกษตร 30 (139): 22–24.

ประเสริฐ สองเมือง. 2543. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาวกองปฐพีวิทยากรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ประโสด ธรรมเขต. 2540. การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

พัชรี หอพิจิตร. 2529. การจัดการขยะมูลฝอย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พัลลภ หงส์เจริญไทย. 2548. อิทธิพลของฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินพิมายและชุดดินสิงห์บุรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทยากร ลิ่มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์, ประโสด ธรรมเขต, ชูศรี ยสินทร และปรัชญา ธัญญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของ จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว. รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. ปุ๋ยอินทรีย์. บ้านและสวน. กรุงเทพฯ. 216 น.

ยงยุทธ โอสถสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจู. 2541. ปฐพีเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วนิดา เกิดมณี. 2549. รายงานการวิจัยอิทธิพลของน้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

วนิดา ฐิตะฐาน. 2532. ปุ๋ยหมักและจุลินทรีย์ที่เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมัก. วารสารดินและปุ๋ย 11: 261-264.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2537. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สุรินทร์ : ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราชภัฏสุรินทร์.

วรรณา เลี้ยววาริน. 2538. คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย. หน่วยปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2544. การจัดการหอยเชอรี่. สถาบันส่งเสริมเกษตรชีวภาพและโรงเรือนเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร.

สกล ศรีวัณโณ. 2549. ผลของอัตราการใช้ปุ๋ยมูลวัวร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อสมบัติดินและผลผลิตของผักคะน้าที่ปลูกในชุดดินบางเขน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย ศรีพูล. 2547. ผลของการใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2553. ข้อมูลเกี่ยวกับข้าว. [Online] Available from http://www.riceexporters.or.th. (Accessed August 21, 2010)

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. ศัพท์บัญญัติและนินามขยะ. เรือนแก้วการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

สุปราณี ผลชีวิน. 2535. อาหาร เชื้อเพลิง และปุ๋ยจากวัสดุเหลือใช้ประเภทอินทรีย์สาร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 223 น.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534. การตรวจสอบดิน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 7 (7): 5-23.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2537. แนวทางในการตรวจสอบและรักษาสมดุลระหว่างธาตุต่าง ๆในดิน. วารสารพัฒนาที่ดิน. 31 : 13-33.

อานุภาพ แก้วกอง. 2549. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Alexander, M. 1997. Introduction to soil microbology. 2nd ed., J. Wiley and Sons, Inc., New York.

Anderson, B. 1993. The Philippine snail disaster. The Ecologist. 23: 70–72.

Balasubramaniam. A. 1972. Effect of organic manuring on the activities of the enzymes hydrolysing sucrose and urea on soil aggregation. PL. Soil 37, 319 p.

Chaoui, I., Zibiliske, M. and Ohno, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry 35: 295-302.

Chen, Y. and Avnimelech Y. 1986. Role of organic matter in modern agriculture. Matinus Nijhoff Publishers, Netherland. 360 p.

Chikae, M., Ikeda, R., Kerman, K., Morita, Y. and Tamiya, E. 2006. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. Bioresource Technology 97: 1979-1985.

Cornell Waste Management Institute. 1996. Science and engineering. [Online] Available fromhttp://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html. (Accessed August 21, 2009)

Cosico, W.C. 1985. Organic fertilizers: their nature, properties and use. A Publication of Farming Systems and Soil Resources Institute, UPLB, Laguna.

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

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

Day, M., Krzymein, M., Shaw, K., Zeremba, L., Wilson, W.R., Botden, C. and Thomus, B. 1998. An investigation of the chemical and physical changes occurring during commerical composting. Compost Sci. Util. 6: 44-66.

De Bertoldi, M., Mera, A. and Vallini, G. 1983. Principidel compostaggio. Proceedings of the International Symposiom on “Biological reclamation and land untilization of urban waste”. Napoli, 11-14 October 1983, Ed. By F. Zucconi, M.De Bertoldi and S. Coppola.

De Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. 1983. The biology of composting: A review waste manage. Res. 1: 157-176.

Dela Cruz, M.S., Joshi, R.C. and Martin, A.R. 2001. Basal application of fertilizer reduces golden apple snail population. IRRN.

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(4): 235-248.

Dindal, D.L. 1978. Soil organisms and stabilizing waste. Compost Sci. 9: 8-11.

Elango, D., Thinakaran, N., Panneerselvam, P. and Sivanesan, S. 2008. Thermophilic composting of municipal solid waste. Applied Energy. 86: 663-668.

Fernàndez, F.J. Sànchez-Arias, V., Villasenor, J., Rodriguez L. 2008. Evaluation of carbon degradation during co-composting of exhausted grape marc with different biowastes. Chemosphere 73: 670-677.

Finstein, M.S. and Morris, M.L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Adv. Appl. Microbiol. 19: 113-151.

Gaur, A.C. 1980. Fundamentals of composting. In Compost Technology, FAO/UNDP regional project. Project field document no. 13. pp. 7-14.

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

Goluek, C.G. 1972. A study of the composting process and its principles, Emmaus, PA: Rodale Press.

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

Gotaas, H.B. 1976. Composting. Dept. of Engineering, Univ. of California, Berkeley. 205 p.

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J. 1971. A review of composting, part 1. Process Biochem. 6(6): 22-36.

Hamoda, M. F., Qdais, H. A. and Newham, J. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. Resources Conservation and Recycling 23: 209-223.

Haug, R.T. 1979. Engineering principles of sludge composting. J. Water Pollut. Control Fed. 51: 2189-2195.

Haug, R.T. 1980. Composting engineering: principle and practice. Technomic Publ. Co. lnc., Lancaster, Pennsylvania. 655 p.

Haug, R.T. 1993. The practical handbook of compost engineering. Boca Raton: Lewis Publisher.

Khaleel, R., Reddy, K.R. and Overcash, M.R. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste application: A review. J. Environ. Qual. 10: 133-141.

Kulcu, R. and Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Bioresource Technology. 93: 49-57.

Laine, M.M., Haario, H. and Jorgensen, K.S. 1997. Microbial functional activity during composting of chlorophenol-contaminated sawmill soil. J. Microbiol. Meth. 30: 21-32.

Landon, J.R. 1991. Booker tropical soil manual : A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. New York : Longman Scienctific & Technical copublished with John Wiley & Sons.

Liang, C., Das, K.C. and Mc Clendon, R.W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresource Technology 86: 131–137.

Loria, E. and Sawyer, J.E. 2005. Extractable soil phosphorus and inorganic nitrogen following application of raw and anaerobically digested swine manure. J. Agronomy. 97: 879-885.

Madden, T., Ward, J.M. and Ison, A.P. 1996. Organic acid excretion by Streptomysis lividams TK 24 during growth on defined carbon and nitrogen sources. Microbiol. 142: 3181-3185.

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

Mathur, S.P. 1991. Composting processes. Bioconversion of Waste Material to Industrial Products. Elsevier Applied Science; London, U.K. *In* A.M. Martin (ed.). pp. 147-186.

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

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

Peigne, J. and Girardin, P. 2004. Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air and Soil Pollution 153: 45-68.

Polprasert, C. 1996. Organic waste recycling and management. John Wiley & Sons, England.

Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as source of plant nutrients. In Oraganic Matter and Rice. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines. pp. 117-136.

Rabbani, K.R., Jindal, R., Kubota, H. and Obeng, L. 1983. Composting of domestic refuse: A review. Environ. Sanitation 10(11): 9-78.

Ramos, S.M.C., Bernal, D.A., Tapia, N.T. and Dendooven, L. 2004. Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw. Bioresour. Technol. 94: 223-228.

Rondom, M.B. and Callo, D.P. 1991. Distribution and mode infestation of golden apple snail in rice farming. In B.O. Acosta and R.S.V. Pullin (eds). Environmental Impact of the Golden Snail (*Pomacea sp.*) on Rice Farming Systems in the Philippines Manila International Center for Living Aquatic Resources Management. 12 p.

Samudro, G. and Hermana, J. 2007. Denitrification efficiency in a compost bed with various carbon and nitrogen contents. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation 2(2): 57-62.

Solano, M.L., Iriarte, F., Ciria, P. and Negro, M.J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. J. Agr. eng.Res. 79(3): 317-329.

Sopit Vetayasuporn. 2006. Effects of biological and chemical fertilizers on growth and yield of shallot (Allium cepa var. ascolonicum) production. Journal of Biological Sciences 6(1): 82-86.

Sugahara, K., Koga, S. and Inoko, A. 1979. Color change of city refuse during composting. Soil Sci. Plant Nutr. 25: 197-208.

Suler, D.I. and Finstein, M.S. 1997. Effect of temperature, aeration and moisture on CO_2 formation in bench-scale continuously thermophillic composting of solid waste. Applied and Environmental Microbiology. 33: 345-350.

Tengerdy, R.P. 1985. Solid substrate fermentation. Trends in Biotech. 3(4): 96-99.

Teo, S.S. 2001. Evaluation of different duck varieties for the control of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in transplanted and direct seeded rice. Crop Protection. 20: 599-604.

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

Tiquia, S.M., Wan, J.H.C. and Tam, N.F.Y. 2002. Dynamic of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. Process Biochem. 37(10): 1057-1065.

Vuorinen, A.H. and Saharinen, M.H. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. Agriculture Ecosystems & Environment 66: 19-29.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. and. Carefoot, J.D. 2000. Cattle manure amendment can increase pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 963-966.

Wong, J.W., CMa, K.K., Fang, K.M. and Cheung, C. 1999. Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. Bioresour. Technol. 67: 43-46.

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

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

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาอัตราส่วนของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการหมักปุ๋ยแต่ตำรับการทดลอง

นำค่าวิเคราะห์ที่ได้จากตารางที่ 10 มาคำนวณหาอัตราส่วนที่ใช้ในการหมักของวัสดุแต่ละชนิด โดยแทนค่าในสูตรของ Tom Richard and Nancy Trautmann (Cornell Waste Management Institute, 1996) ดังนี้

$$R = Q_1C_1 (100 - M_1) + Q_2C_2 (100 - M_2) / Q_1N_1 (100 - M_1) + Q_2N_2 (100 - M_2)$$

โดยที่ R = C/N ratio of compost mixture

Q_n = mass of material n

C_n = carbon (%) of material n

N_n = nitrogen (%) of material n

M_n = moisture content (%) of material n

ตำรับการทดลองที่ 1

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30 และกำหนด Q_2 เท่ากับ 3

$$30 = \frac{Q_1(21.53/100)(100 - 66.49) + 3(35.01/100)(100 - 23.76)}{Q_1(3.29/100)(100 - 66.49) + 3(0.65/100)(100 - 23.76)}$$

$$30 = \frac{7.215\ Q_1 + 80.075}{1.102\ Q_1 + 1.487}$$

$$33.06\ Q_1 + 44.61 = 7.215\ Q_1 + 80.075$$

$$Q_1 = 1.4$$

ดังนั้นจะต้องใช้หอยเชอรี่ 1.4 ส่วนต่อฟางข้าว 3 ส่วน

ตำรับการทดลองที่ 2

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30, กำหนด Q_2 เท่ากับ 3 และกำหนด Q_3 เท่ากับ 0.007

$$30 = \frac{Q_1(21.53/100)(100 - 66.49) + 3(35.01/100)(100 - 23.76) + 0.007(20/100)(100 - 0.5)}{Q_1(3.29/100)(100 - 66.49) + 3(0.65/100)(100 - 23.76) + 0.007(46.6/100)(100 - 0.5)}$$

$$30 = \frac{7.215\ Q_1 + 80.075 + 0.14}{1.102\ Q_1 + 1.487 + 0.326}$$

$$33.06\ Q_1 + 44.61 + 9.78 = 7.215\ Q_1 + 80.075 + 0.14$$

$$Q_1 = 1$$

ดังนั้นจะต้องใช้หอยเชอรี่ 1 ส่วนต่อฟางข้าว 3 ส่วนต่อยูเรีย 0.007 ส่วน

ตำรับการทดลองที่ 3 มูลวัว:ฟางข้าว:ยูเรีย

กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30, กำหนด Q_2 เท่ากับ 3 และกำหนด Q_3 เท่ากับ 0.007

$$30 = \frac{Q_1(24.54/100)(100 - 38.20) + 3(35.01/100)(100 - 23.76) + 0.007(20/100)(100 - 0.5)}{Q_1(1.52/100)(100 - 38.20) + 3(0.65/100)(100 - 23.76) + 0.007(46.6/100)(100 - 0.5)}$$

$$30 = \frac{15.17\ Q_1 + 80.075 + 0.14}{0.9394\ Q_1 + 1.4867 + 0.3246}$$

$$28.182\ Q_1 + 44.601 + 9.738 = 15.17\ Q_1 + 80.075 + 0.14$$

$$Q_1 = 2$$

ดังนั้นจะต้องใช้มูลวัว 2 ส่วน ต่อฟางข้าว 3 ส่วนต่อยูเรีย 0.007 ส่วน

ภาคผนวก ข.

1. ส่วนผสมของปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1

ขี้หมูหรือขี้ไก่ 500 กิโลกรัม

ขี้ค้าวคาว 200 กิโลกรัม

รำละเอียด 100 กิโลกรัม

ขี้เลื่อยเผา 200 กิโลกรัม

น้ำหมัก 20 กิโลกรัม

- ปลาเป็ด 30 กิโลกรัม
- สับปะรด 10 กิโลกรัม
- น้ำ 10 ลิตร
- กากน้ำตาล 10 กิโลกรัม
- พ.ด. 1 ซอง
- นมเปรี้ยว 2 ขวด

2. ส่วนผสมของปุ๋ยหมักบริษัทที่ 1

มูลหมู

น้ำจุลินทรีย์ที่ทำจากรกหมู

ตารางผนวกที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	อุณหภูมิ (^{o}C)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	36.00	41.00	33.34
1	37.34	44.89	33.89
2	39.33	48.33	35.89
3	41.66	52.22	36.11
4	44.56	52.00	38.11
5	46.78	51.33	42.67
6	47.00	51.11	42.00
7	41.00	42.78	44.66
8	43.56	46.22	44.89
9	44.67	45.89	44.11
10	43.56	47.45	42.35
11	41.11	46.78	43.29
12	41.56	47.11	39.29
13	41.00	45.78	39.00
14	37.60	41.11	35.11
15	38.89	43.00	36.78
16	41.29	41.67	35.44
17	40.11	40.67	37.22
18	39.11	39.67	35.66
19	37.67	39.33	36.00
20	36.44	38.56	34.22
21	32.56	35.56	32.67
22	33.44	35.78	32.56
23	32.89	36.11	30.33
24	33.89	34.44	32.44
25	33.89	33.89	32.44

<u>ตารางผนวกที่ 1</u> (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิ (^{0}C)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
26	33.00	34.56	32.11
27	32.44	33.67	32.00
28	30.00	32.00	31.87
29	31.67	32.78	31.00
30	31.78	33.22	30.22
31	31.44	32.00	28.34
32	32.44	32.78	27.89
33	31.78	33.44	29.78
34	32.78	33.00	31.56
35	30.35	30.33	31.22
36	30.89	31.55	30.89
37	31.11	32.44	31.11
38	31.45	32.67	30.34
39	31.44	32.56	32.29
40	30.89	31.67	31.22
41	30.78	31.34	29.35
42	29.00	30.56	29.00
43	29.67	30.56	30.11
44	30.89	31.56	30.22
45	30.78	30.33	30.35
46	30.56	31.11	30.11
47	30.67	30.22	30.22
48	31.22	31.00	30.44
49	29.22	29.67	30.11
50	30.78	30.22	30.89
51	31.56	32.22	31.22

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิ (°C)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
52	30.89	33.00	31.22
53	30.67	32.00	30.78
54	31.11	30.78	30.11
55	31.00	28.89	29.66
56	30.78	27.78	29.56
57	29.78	28.22	29.78
58	30.00	28.44	29.89
59	30.11	27.78	28.22
60	29.67	27.89	28.34

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ความชื้น (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	54.77	55.17	54.13
5	54.42	54.01	55.84
10	54.57	57.29	53.44
15	52.71	56.33	55.72
20	54.50	53.87	53.66
25	53.89	57.38	53.98
30	52.84	51.86	53.22
35	52.23	55.99	53.09
40	52.33	56.57	53.12
45	52.84	53.60	51.99
50	57.02	53.15	54.33
55	53.05	51.88	52.46
60	43.29	40.83	41.38

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อินทรียวัตถุ (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	55.06	59.85	38.89
5	54.42	54.75	38.76
10	52.95	53.02	38.29
15	51.19	52.11	38.26
20	49.91	52.58	37.89
25	49.39	52.02	37.77
30	48.83	50.88	35.26
35	47.14	47.26	36.22
40	46.43	47.44	35.98
45	45.09	46.30	35.57
50	44.31	43.99	35.24
55	42.96	43.62	34.84
60	42.44	42.40	34.84

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 4 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	1.04	1.15	0.71
5	1.13	1.22	0.76
10	1.17	1.29	0.80
15	1.19	1.35	0.85
20	1.21	1.39	0.85
25	1.21	1.40	0.86
30	1.23	1.41	0.89
35	1.24	1.43	0.92
40	1.26	1.44	0.92
45	1.28	1.44	0.95
50	1.33	1.45	0.98
55	1.35	1.47	1.04
60	1.37	1.48	1.10

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	30.71	30.28	31.77
5	28.02	26.10	29.58
10	26.24	23.85	27.76
15	25.03	22.62	26.11
20	24.00	22.01	25.86
25	23.75	21.56	25.48
30	23.03	20.93	22.98
35	21.99	19.13	22.84
40	21.32	19.15	22.68
45	20.43	18.66	21.72
50	19.21	17.59	20.86
55	18.47	17.25	19.43
60	17.93	16.90	18.37

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่า pH		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	5.14	5.26	6.51
5	5.49	5.30	6.72
10	5.80	5.59	6.31
15	6.06	6.06	6.88
20	6.34	6.25	6.92
25	6.70	6.68	7.13
30	7.00	6.92	7.18
35	7.22	7.17	7.28
40	7.36	7.27	7.31
45	7.34	7.40	7.33
50	7.54	7.53	7.47
55	7.67	7.71	7.53
60	7.80	7.88	7.69

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน

[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	0.35	0.37	0.45
30	0.44	0.38	0.47
45	0.46	0.44	0.45
60	0.45	0.50	0.53

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) (%)		
	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	1.03	1.18	0.92
30	1.19	1.25	1.21
45	1.24	1.25	1.19
60	1.22	1.31	1.24

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงแคลเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	แคลเซียมทั้งหมด (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	5.49	4.47	1.32
30	5.51	4.64	1.50
45	5.52	4.70	1.54
60	5.55	4.73	1.66

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 10 การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียมทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลองตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	แมกนีเซียมทั้งหมด (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	0.14	0.25	0.20
30	0.21	0.27	0.18
45	0.22	0.31	0.24
60	0.24	0.29	0.24

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง ตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	ค่าการนำไฟฟ้า ($dS\ m^{-1}$)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
0	2.52	2.39	1.91
30	2.14	2.12	1.92
45	2.11	2.07	1.81
60	1.85	2.01	1.79

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ตารางผนวกที่ 12 การเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ในถังหมักทั้ง 3 ตำรับการทดลอง ตามระยะเวลาของการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ (%)		
(วัน)	ตำรับที่ 1[1]	ตำรับที่ 2[2]	ตำรับที่ 3[3]
30	59.65	77.59	51.41
45	73.51	88.20	65.44
60	86.88	97.60	76.73

หมายเหตุ [1]หอยเชอรี่ 1.4 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน
[2]หอยเชอรี่ 1 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน
[3]มูลวัว 2 ส่วน:ฟางข้าว 3 ส่วน:ยูเรีย 0.007 ส่วน

ฟางข้าว

มูลวัว

หอยเชอรี่

ภาพภาคผนวกที่ 1 ลักษณะของวัสดุหมัก (หอยเชอรี่, ฟางข้าว และมูลวัว) ที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

ภาพภาคผนวกที่ 2 ลักษณะของปุ๋ยหมักจากหอยเชอรี่ที่ผลิตได้จากการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในแต่ละตำรับการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 4 การเจริญเติบโตของต้นข้าวโ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุชินันท์ เกียรติภักดี

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110620030

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุชินันท์ เกียรติภักดี, ประวิทย์ โตวัฒนะ และธนิยา เกาศล. 2554. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการทำปุ๋ยหมักด้วยระบบหมักแบบใช้อากาศ: กรณีศึกษาฟางข้าวกับหอยเชอรี่. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 10 ณ โรงแรม บีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท, สงขลา. วันที่ 23-25 มีนาคม 2554.

Kaosol, T., Kiepukdee, S., Towatana, P. 2012. Influence of Nitrogen Containing Wastes Addition on Natural Aerobic Composting of Rice straw. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 7 (2):121-128.