การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน

สำนักหอสมุดกลาง

โดย

นางสาวณัฐมณ ขวัญไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน

สำนักหอสมุดกลาง

โดย

นางสาวณัฐมณ ขวัญไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2556

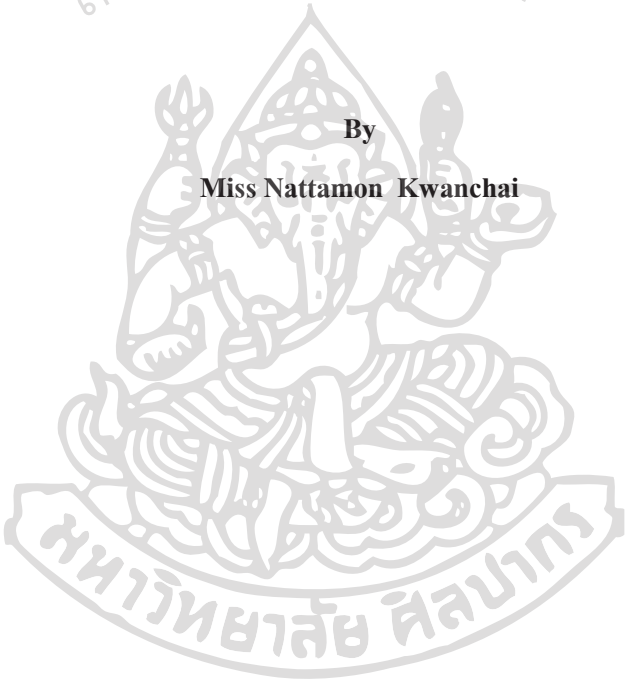
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

COMPARISON OF THE QUALITY OF LIQUID BIOFERTILIZER PRODUCED BY DIFFERENT RATIO OF MATERIAL COMPONENTS AND DIFFERENT PRODUCTION PROCESSES

สำนักหอสมุดกลาง

By

Miss Nattamon Kwanchai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Science Program in Environmental Science

Department of Environmental Science

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2013

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน” เสนอโดย นางสาวณัฐมณ ขวัญไชย เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร. กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดาวรุ่ง สังข์ทอง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ดร. คุณาภรณ์ หอมยก)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์)

...../...../.....

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัยศิลปากร

52311304 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คำสำคัญ : ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ คุณภาพ อัตราส่วนวัสดุ วิธีการ

ณัฐมณ ขวัญไชย : การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์. 50 หน้า.

การวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน โดยสูตร 1 ใช้เศษปลา : เศษผักผลไม้ ในอัตราส่วน 3 : 1 สูตร 2 ใช้อัตราส่วน 2 : 2ส่วน สูตร 3 และ 4 ใช้อัตราส่วนของวัสดุเช่นเดียวกับสูตร 1 และ 2 ตามลำดับ แต่จะเริ่มเติมผักและผลไม้เมื่อการหมักเริ่มเข้าระยะที่ 2 หมักนาน 21 วัน พบว่า ตลอดระยะเวลาการหมัก ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีอุณหภูมิ 28-32 °C, pH 3.9-4.8, EC 17.8-24.1 dS/m, C : N ratio 9.13-20.26, total N 0.43-0.99%, total P_2O_5 0.36-0.49%, total K_2O 0.51-0.84%, Na 0.65-10.12%, As 0.079-0.275 mg/L, Cd <0.001 mg/L, Cr <0.004-0.02 mg/L, Cu 1.0-1.55 mg/L, Pb <0.014 mg/L, Hg <0.002-0.154 mg/L, Zn 2.62-5.36 mg/L และ GA3 9.11-52.92 mg/L พบว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้ส่วนใหญ่ (ยกเว้นสูตร 4) มีปริมาณสารอาหารหลักและปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากกว่าค่ามาตรฐานอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสมคือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 3 : 1 และควรเติมผักและผลไม้เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก (วันที่ 7 ของการหมัก) จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดีที่สุด ดังเช่นในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 3 ที่ได้จากการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2556
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

52311304 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD : LIQUID BIOFERTILIZER, QUALITY, RATIO OF MATERIAL COMPONENTS, PRODUCTION PROCESS
NATTAMON KWANCHAI : COMPARISON OF THE QUALITY OF LIQUID BIOFERTILIZER PRODUCED BY DIFFERENT RATIO OF MATERIAL COMPONENTS AND DIFFERENT PRODUCTION PROCESSES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. GUNTHAREE SRIPONGPUN, Ph. D. 50 pp.

This research investigated the quality of liquid biofertilizer produced by different ratio of material components and different production processes. There were four formulations performed in this study. For the 1st formulation, the ratio of fish waste to vegetable and fruit wastes was 3 : 1. While this ratio was modified to 2 : 2 for the 2nd formulation. For the 3rd and the 4th formulations, these ratios were the same as those in the 1st and 2nd formulations, respectively, but vegetable and fruit wastes were added in the 2nd stage of fermentation. The fermentation lasted for 21 days. The fluctuation ranges of the liquid biofertilizer parameters during fermentation process were 28-32°C for temperature, pH 3.9-4.8, 17.8-24.1 dS/m EC, 9.13-20.26 for C : N ratio, 0.43-0.99% total N, 0.36-0.49% total P_2O_5, 0.51-0.84% total K_2O, 0.65-10.12% Na, 0.079-0.275 mg/L As, <0.001 mg/L Cd, <0.004-0.02 mg/L Cr, 1.0-1.55 mg/L Cu, <0.014 mg/L Pb, <0.002-0.154 mg/L Hg, 2.62-5.36 mg/L Zn and 9.11-52.92 mg/L GA3. Most of liquid biofertilizer (except for the 4th formulation) performed in this research contained major elements and GA3 higher than those recommend in the standard. The optimal ratio of fish waste to vegetable and fruit waste was 3:1 and the optimal production process was addition of vegetable and fruit waste at the 2nd stage of fermentation, which was the 7th day of the fermentation. These resulted in the most optimal quality of liquid biofertilizer as in the 3rd formulation performed in the current research.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University
Student's signature..... Academic Year 2013
Thesis Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้แนวทาง คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัยและในการวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ดร.ดาวรุ่ง สังข์ทอง และดร.คุณาภรณ์ หอมยก ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการ กรรมการ และให้คำแนะนำตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคุณวีรภัทร์ ทองอนันต์ เจ้าหน้าที่กรมวิทยาศาตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน คุณผ่องศรี เผ่าภูรี และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และความช่วยเหลือการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณมารดาและพี่สาวที่ให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้ ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือจึงทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้

ประโยชน์ที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ ครอบครัวและคณาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

สมมติฐานของการศึกษา 4

ขอบเขตของการศึกษา 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช 6

โลหะหนัก 7

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ 10

กากน้ำตาล 17

สารเร่ง พด.2 17

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

3 วิธีดำเนินการวิจัย 21

วัสดุที่ใช้ 21

วิธีดำเนินการวิจัย 22

การเก็บตัวอย่างปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ 24

การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ 25

4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 26

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพระหว่างการหมัก 26

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	27
	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	29
	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	31
	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	33
	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	35
	อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N Ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	36
	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	37
	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	39
	ปริมาณโซเดียม (Na) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	40
	ปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metals) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	40
	ปริมาณฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (Gibberellins; Gibberellic acid : GA3) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	41
	การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตรกับค่ามาตรฐาน	42
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
	สรุปผลการวิจัย	44
	ข้อเสนอแนะ	45
รายการอ้างอิง		46
ประวัติผู้วิจัย		50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) หลังจากใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในการปลูกข้าว 26 ครั้ง	2
1.2	ปริมาณปลาน้ำเค็มและปลาน้ำจืด ช่วงปี พ.ศ. 2550-2554	3
2.1	ปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้จากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ	12
2.2	ปริมาณฮอร์โมน กรดฮิวมิก และค่า pH ของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด	13
2.3	มาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้	16
2.4	ส่วนประกอบของกากน้ำตาล	17
3.1	เครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์	25
4.1	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการหมักสำหรับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ	26
4.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	28
4.3	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	30
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	32
4.5	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	34
4.6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	35
4.7	อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	36
4.8	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	38
4.9	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	39
4.10	ค่าเฉลี่ยปริมาณโซเดียม (Na) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	40
4.11	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพวันแรกและวันสุดท้ายของการหมักทั้ง 4 สูตร	41
4.12	ค่าเฉลี่ยปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	41
4.13	การเปรียบเทียบสมบัติของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตรกับค่ามาตรฐาน	43

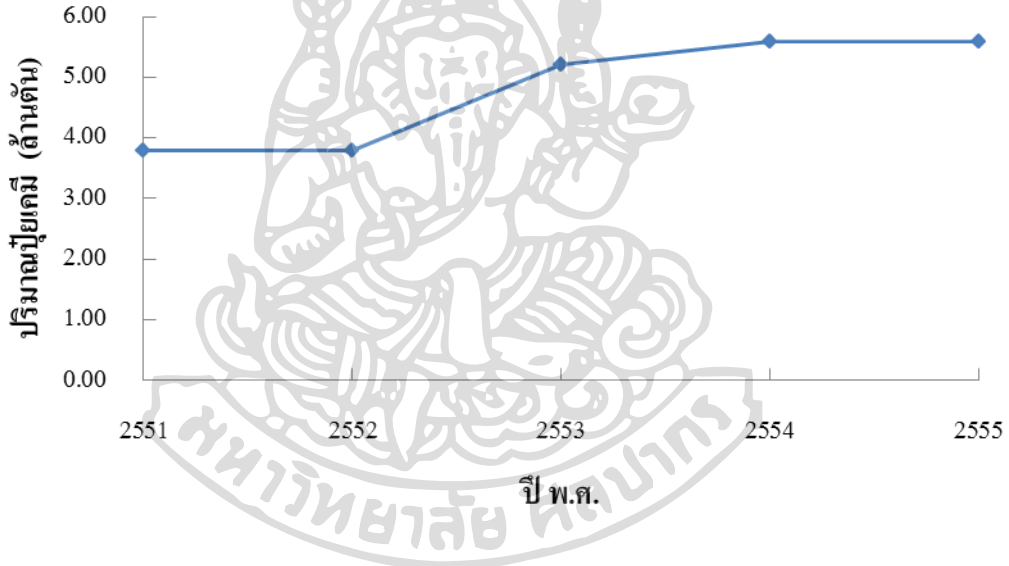
สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรสำคัญของประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2551-2555	1
2.1	สารเร่งซุปเปอร์ พด.2	18
3.1	สรุปวิธีดำเนินการวิจัย	22
4.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	29
4.2	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	31
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	33
4.4	ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอน (TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	34
4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	35
4.6	อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	37
4.7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	38
4.8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร	39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทางการเกษตร โดยในปี พ.ศ. 2555 มีพื้นที่เกษตรกรรมสูงถึง 46.54% ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ 149.2 ล้านไร่ จากทั้งหมด 320.6 ล้านไร่ (สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) และปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรสำคัญตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2555 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรสำคัญของประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2551-2555
ที่มา : ดัดแปลงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องอาจทำให้ดินเสื่อมโทรมมากขึ้น (สำนักงานเกษตรจังหวัดเลย, 2556) ดังนี้

1. ปุ๋ยเคมีบางชนิดทำให้ความเป็นกรดด่างของดินเปลี่ยนไป

ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมชนิดต่างๆ ทำให้ดินเป็นกรด (ตารางที่ 1.1) บางชนิดทำให้ดินเป็นด่าง เช่น แคลเซียมไนเตรททำให้เป็นด่าง

ตารางที่ 1.1 ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) หลังจากใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในการปลูกข้าว 26 ครั้ง

อัตราปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (kg/ไร่)	pH ของดินบน
0	4.7
28.5	4.6
85.7	4.4

หมายเหตุ : pH สูงเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลางยิ่งต่ำกว่า 7 มากยิ่งเป็นกรดจัดและยิ่งสูงกว่า 7 มากยิ่งเป็นด่างจัด

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดเลย (2556)

สำนักหอสมุดกลาง

2. ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงอาจทำให้พืชสะสมไนเตรทมากเกินไป

ปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจนทุกชนิดหากใส่มากเกินไปจะทำให้พืชดูดไนเตรทเข้าไปใช้ไม่หมดและสะสมในพืชมากจนเกินระดับความปลอดภัยโดยปกติอัตราปุ๋ยที่ไม่เกินอัตราที่พืชเริ่มให้ผลผลิตสูงสุดจะเป็นอัตราที่ปลอดภัย

3. ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงอาจทำให้การชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น

ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ไม่ใช่ไนเตรทเมื่อใส่ลงไปในดินจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดินจึงเป็นการเพิ่มไนเตรทแก่ดินซึ่งอาจมีผลทำให้มีการชะล้างไนเตรทออกจากดินลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้นจนถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสัตว์หรือคนที่ดื่มน้ำนั้น

4. ธาตุโลหะหนักและธาตุพิษที่สะสมในดิน

ปุ๋ยฟอสเฟตมีธาตุโลหะหนักและธาตุพิษเช่นแคดเมียมปรอทอาร์เซนิคติดมาจากหินฟอสเฟสที่ใช้ผลิตปุ๋ยเมื่อนำปุ๋ยที่มีธาตุเหล่านี้เจือปนในปริมาณสูงมาใส่ในดินที่ปลูกพืชจะเกิดการสะสมธาตุดังกล่าวในดินแล้วพืชดูดเข้าไปมากจนเกินจุดที่ปลอดภัยสำหรับคนและสัตว์ที่บริโภคพืชนั้นอย่างไรก็ตามรัฐบาลไทยโดยกรมวิชาการเกษตรได้มีการตรวจสอบการเจือปนของธาตุดังกล่าวก่อนที่จะอนุญาตให้นำปุ๋ยเข้ามาจำหน่ายการใช้ปุ๋ยที่ได้รับอนุญาตให้จำหน่ายจึงนับว่าปลอดภัย

5. ปุ๋ยเคมีปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินได้น้อยกว่าปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ไม่มีสารอินทรีย์หรือมีน้อยมากจึงทำให้ปุ๋ยเคมีปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินได้น้อยกว่าปุ๋ยอินทรีย์เพราะปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุยระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชจึงชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น

น้ำสกัดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 0.14-0.98% ฟอสฟอรัส 0.04-1.12% และโพแทสเซียม 0.53-1.03% ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม 0.08-2.90% แมกนีเซียม 0.06-0.32% และซัลเฟอร์ 0.11-0.22% ธาตุอาหารเสริม (จุลธาตุ) ได้แก่ เหล็ก 46-240 ppm แมงกานีส 27-126 ppm ทองแดง 30-140 ppm สังกะสี 6-180 ppm และมีโบรอน 18 ppm กรดฮิวมิก 0.83-3.36% และมีฮอร์โมนพืช ได้แก่ออกซิน 0.27-48.04 mg/L จิบเบอร์เรลลิน 16.57-360.60 mg/L และมีไซโตไคนิน 3.05-25.60 mg/L (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) อีกทั้งยังมีผลการวิจัยไม่มากนักเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างการหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ รวมทั้งอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการการหมักที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

สำนักหอสมุดกลาง

จากข้อมูลของกลุ่มวิจัยและวิเคราห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง รายงานว่า ปริมาณปลาน้ำเค็มและปลาน้ำจืดสำหรับการบริโภคช่วงปี พ.ศ. 2550-2554 แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณปลาน้ำเค็มและปลาน้ำจืด ช่วงปี พ.ศ. 2550-2554

ปี พ.ศ.	ปลาน้ำเค็ม (พันตัน)	ปลาน้ำจืด (พันตัน)
2550	1,838.1	708.6
2551	1,292.9	710.3
2552	1,344.1	695.5
2553	1,345.0	676.9
2554	1,292.8	581.5
รวม	7,112.9	3,372.8

ที่มา : ดัดแปลงจากปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด จำแนกตามประเภทสัตว์น้ำ ปี 2535-2554 กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง (2556)

ปลาเหล่านี้จะถูกนำไป บริโภคสด แปรรูปแช่เย็น แช่แข็ง บรรจุกระป๋อง และจะมีวัสดุเศษเหลือได้แก่ หัวหางไส้ปลา และเกล็ดปลาเกิดขึ้นมากมายซึ่งมีปริมาณมากถึง 25-30% ของวัตถุดิบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ซึ่งเมื่อคิดจากปริมาณปลาในแต่ละปีมีมากกว่าสองล้านตันเท่ากับว่ามีวัสดุเศษเหลือจากปลามากถึง 500,000-600,000 ตัน/ปี

จากข้อมูลการใช้ที่ดินทางการเกษตร ปี 2555 พบว่าเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรจำนวนทั้งสิ้น 149.2 ล้านไร่ เมื่อจำแนกตามลักษณะการใช้เพื่อทำการเกษตรประเภทต่างๆ พบว่ามีการใช้ที่ดินเพื่อปลูกไม้ผลประมาณ 30 ล้านไร่คิดเป็น 23.39% และเพื่อการปลูกผัก 1.3 ล้านไร่คิดเป็น 0.94% (สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) มีผลผลิตออกสู่ตลาด 2.5-3.5 ล้านตัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) และพบว่า 64% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะเป็นขยะจำพวกเศษผักและเปลือกผลไม้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุที่ต่างกัน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

1.2.2 เปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีการที่ต่างกัน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

1.2.3 สรุปอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ เมื่อพิจารณาคุณภาพของปุ๋ยที่ได้ทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุที่ต่างกัน มีคุณภาพทางด้านต่างๆ ต่างกัน

1.3.2 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีการที่ต่างกัน มีคุณภาพทางด้านต่างๆ ต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยนี้ผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน ทำการหมักนาน 21 วัน มีทั้งหมด 4 สูตรโดยสูตร 1ใช้อัตราส่วนวัสดุตามที่แนะนำโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2546) คือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 3 : 1 ส่วนสูตร 2 ใช้เศษปลา : เศษผักผลไม้เป็น 2 : 2 ในสูตร 2 ส่วนสูตร 3 และ 4 ใช้อัตราส่วนวัสดุเช่นเดียวกับสูตร 1 และ 2 ตามลำดับ แต่เริ่มเติมเศษผักและผลไม้เมื่อเริ่มเข้าระยะที่ 2 ของการหมัก วิเคราะห์ลักษณะของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพด้านกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ และด้านเคมี ได้แก่ pH, EC, total N, total P_2O_5, total K_2O, TOC, C : N ratio, Na, heavy metals และฮอร์โมนพืช GA3 โดยวิเคราะห์ค่า อุณหภูมิ pH และ EC ทุกวันของการหมัก

ส่วนค่า total N, total P_2O_5, total K_2O, OC, C : N ratio วิเคราะห์ที่วันเริ่มต้นและทุก 7 วันของการหมัก อีกทั้งวิเคราะห์ค่า Na, heavy metals และ GA3 ที่วันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการหมัก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณขยะ และนำเศษวัสดุเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น

1.5.2 ทราบถึงอัตราส่วนและวิธีการหมักที่เหมาะสมที่สุดในบรรดา 4 สูตรที่ทดลอง เมื่อพิจารณาจากคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสำหรับผู้ที่สนใจต่อไป

สำนักวิทยบริการฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายในได้แก่ พันธุกรรมของพืช และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพแวดล้อมเช่น แสง น้ำ อากาศ อุณหภูมิ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อยู่ร่วมกับพืช (biotic factors) เช่น เชื้อโรคที่ทำลายพืช แมลงที่กินใบ ลำต้น ดูดน้ำเลี้ยงและเป็นพาหะของโรค วัชพืชที่แย่งน้ำ อาหาร อากาศจากพืชที่ปลูก และเป็นแหล่งสะสมโรคแมลง (สมพร, 2553) ปัจจัยทั้งภายในและภายนอกมีส่วนร่วมกันในการกำหนดการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือพันธุกรรมเป็นสิ่งที่ควบคุมให้พืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนสภาพแวดล้อมต่าง ๆจะเป็นตัวควบคุมความสามารถในการแสดงออกทางพันธุกรรม ในรูปของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตเช่น ในกรณีที่พืชมีพันธุกรรมที่ให้ผลผลิตสูงหากนำมาปลูกในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมพืชจะไม่สามารถให้ผลผลิตสูงสุดเต็มขีดความสามารถในการให้ผลผลิตของพืชได้เพราะสภาพแวดล้อมควบคุมไม่ให้พันธุกรรมในพืชแสดงออกได้เต็มที่

พืชโดยทั่วไปประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ไม่น้อยกว่า 60 ธาตุแต่ธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชมีเพียง 16 ธาตุเท่านั้น โดยธาตุคาร์บอนและออกซิเจนได้จากอากาศโดยตรงและไฮโดรเจนนั้นพืชได้รับจากไฮโดรเจนอะตอมที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำส่วนอีก 13 ธาตุที่เหลือพืชได้รับจากดินโดยดูดขึ้นมาทางรากธาตุอาหารที่ได้จากดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามปริมาณความต้องการของพืชดังนี้

2.1.1 ธาตุอาหารมหัพภาคหรือมหธาตุ

ธาตุอาหารมหัพภาค หรือ มหธาตุ หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นสูงกว่า 500 mg/kg dw ซึ่งแบ่งเป็นธาตุอาหารหลักหรือธาตุปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เนื่องจากคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) รายงานว่าพืชต้องการธาตุอาหารหลักในปริมาณมาก (พืชทั่วไปต้องการ N, P, K เท่ากับ 1.5%, 0.2%, 1.0% ตามลำดับ เป็นความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ) แต่พืชได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอ ส่วนอีกกลุ่มคือธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2.1.2 ธาตุอาหารจุลภาคหรือจุลธาตุ

ธาตุอาหารจุลภาคหรือจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม หมายถึงธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นต่ำกว่า 50 mg/kg dw ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (Br) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

2.2 โลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ซึ่งเป็นธาตุในตารางธาตุที่มี atomic number ในช่วง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โลหะหนัก 4 ชนิด จัดเป็นจุลธาตุอาหารของพืช ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี หากพืชได้รับโลหะดังกล่าวในปริมาณที่เหมาะสม (คือ ปริมาณ 100, 50, 20 และ 6 mg/kg ตามลำดับ) ก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืชส่วนตะกั่วและแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษโดยตรง ดังอธิบายในหัวข้อ 2.2.2

2.2.1 จุลธาตุ

(1) เหล็ก

มีรายงานว่าพบธาตุเหล็กที่ความเข้มข้น 100 mg/kg ในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืช ธาตุเหล็กมักจะละลายได้ยากในดิน แต่พืชต้องการในปริมาณมาก อาการขาดธาตุเหล็กของพืชจึงพบเห็นได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) บางครั้งในนาข้าวที่มีธาตุเหล็กสูง โดยเกิดจากการที่ดินมีระดับธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินสูง จนทำให้พืชดูดไปใช้มากเกินไปจนเกิดเป็นพิษ ทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโต การแตกกอลดลง ต้นแคระแกรน รากมีปริมาณน้อยและมีสีน้ำตาลเคลือบผิวรากไว้ รากบางส่วนจะตาย ความเป็นพิษของธาตุเหล็กเป็นสาเหตุให้ข้าวขาดธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมได้ เพราะในสารละลายดินที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กสูงทำให้การเจริญของรากเป็นไปได้อย่างจำกัด และผิวรากจะถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของ Fe^{2+} ทำให้ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารไปใช้ของพืชลดลง (กรมการข้าว, 2553) ส่วนพืชที่ได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็กแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของพืชแต่ส่วนใหญ่พืชจะแสดงออกที่ใบ กล่าวคือ เมื่อขาดธาตุเหล็กจะขาดคลอโรฟิลล์เรียกอาการดังกล่าวว่า chlorosis มักเกิดที่ใบอ่อน โดยจะมีสีขาวหรือเหลืองซีด ต่อมาก็จะตายจากยอดลงมา ส่วนใบล่างจะยังมีชีวิตอยู่ เพราะธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ (immobile) พืชจะชะงักการเจริญเติบโต

(2) แมงกานีส

ในเนื้อเยื่อพืชพบแมงกานิสที่ความเข้มข้น 50 mg/kg ซึ่งจัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืช แมงกานิสมีความสำคัญต่อพืชคล้ายกับธาตุเหล็ก เนื่องจากแมงกานีสช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด และช่วยในกระบวนการ oxidation-reduction ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และช่วยสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ แมงกานีสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรพลาสต์ แร่ที่มีธาตุแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไพโรลูไซต์ (MnO_2) โรโดไครไซต์ ($MnCO_3$) และโรโดไนต์ ($MnSiO_3$) เมื่อแร่ผุผังสลายตัวก็จะปลดปล่อยแมงกานีสออกมาแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปแมงกานีสทูไอออน (Mn^{2+}) ในสารละลายดินจะมีแมงกานีสที่สำคัญอยู่ในรูปแมงกานีสทูไอออนและแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งแมงกานีสทูไอออน แมงกานีสไตรไอออน (Mn^{3+}) และแมงกานีสเตตระไอออน (Mn^{4+}) สามารถแลกเปลี่ยนกันได้แมงกานีสในดินมีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช และไม่ขึ้นกับชนิดของดิน เช่น ดินเหนียวหรือเป็นกรดจัดและอยู่ในสภาพน้ำขังแมงกานีสไอออนจะละลายออกมามากทำให้เป็นพิษต่อพืชพืชจะแสดงอาการ คือ ขอบใบแก่จะเริ่มมีสีเหลือง บริเวณใบจะพบการกระจายของคลอโรฟิลล์ไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าดินมีค่า pH สูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุมากก็จะส่งเสริมให้พืชขาดธาตุแมงกานีสอาการที่ขาดธาตุแมงกานีสมักพบที่ใบอ่อนก่อน โดยใบจะมีสีเหลือง บนใบอาจจะมีจุดด่างสีน้ำตาลดำ ลำต้นแคระแกรน ในพวกธัญพืชจะมีใบลักษณะเป็นจุดสีเทาพุ่มของใบจะน้อยเนื่องจากมีใบไม่สมบูรณ์ การเจริญเติบโตช้า ไม่ออกดอกออกผล พืชตระกูลหญ้ามีความว่องไวต่อการขาดแมงกานีสมาก (บุญแสน, 2548)

(3) ทองแดง

ในเนื้อเยื่อพืชพบทองแดงที่ความเข้มข้น 6 mg/kg ซึ่งจัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืชคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) กล่าวว่าพืชที่ขาดธาตุทองแดงจะมีอาการ คือ ใบพืชจะมีเขียวจัดผิดสังเกตในระยะแรกๆ ต่อมาจะค่อยๆ เหลืองลง จนในที่สุดจะชะงักการเจริญเติบโต สำหรับพวกท้อ (peaches) และพวกส้มเมื่อขาดทองแดงจะแสดงอาการ chlorosis หรือตายจากยอดลงมา สำหรับข้าวโพดใบอ่อนจะมีสีเขียวอ่อนแกมเหลืองที่ฐานของใบและที่ปลายใบจะแห้งและตาย ถ้าขาดไม่มากขอบใบที่อยู่ตอนบนจะแห้งตาย แต่ลักษณะแตกต่างจากการขาดโพแทสเซียมของข้าวโพด ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับใบที่อยู่ตอนบนมากกว่าใบล่างๆ และมักเกิดใกล้กับโคนใบมากกว่าที่ปลายใบ สำหรับข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และข้าวบาเลย์ ก็แสดงอาการเช่นเดียวกับข้าวโพดหากขาดธาตุทองแดง ส่วนถั่วอัลฟัลฟานั้นเมื่อขาดธาตุทองแดงใบจะมีสีเขียวอ่อนกับสีเทา ปล้องสั้น ใบที่อยู่ตอนบนจึงมีเนื้อเยื่อตาย (necrotic) แต่เมื่อพืชได้รับธาตุทองแดงมากเกินไปพืชอาจแสดงอาการเป็นพิษ ซึ่งจะมีอาการดังนี้ คือ การเจริญเติบโตลดลง ปริมาณธาตุเหล็กในพืชจะลดลงและพืชอาจ

แสดงอาการขาดธาตุเหล็กได้ ส้มจะแสดงอาการธาตุทองแดงเป็นพิษเมื่อดินมีธาตุทองแดงทั้งหมดอยู่ระหว่าง 125-250 ppm Cu และมี pH ไม่เกิน 5 สำหรับดินบางแห่งทองแดงจะเป็นพิษกับผักเมื่อดินมีธาตุทองแดงสูงกว่า 400 ppm ด้วยเหตุนี้การใช้ bordeaux mixture ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เพื่อฆ่าเชื้อราติดต่อกันเป็นเวลานานอาจจะทำให้เกิดธาตุทองแดงเป็นพิษแก่พืชได้

(4) สังกะสี

ในเนื้อเยื่อพืชพบสังกะสีที่ความเข้มข้น 20 mg/kg ซึ่งจัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืชสังกะสีสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรียวัตถุเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ยาก พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สังกะสีที่อยู่ในสารละลายดินพบในปริมาณต่ำมาก ทำให้พืชขาดธาตุสังกะสีซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ลำต้นแคระแกรนใบเป็นสีเหลืองและม้วนงอ ส่วนใบล่างจะเป็นแผลสีน้ำตาลถ้าพืชขาดสังกะสีรุนแรงอาจทำให้ไม่ให้ผลผลิต หรือตายในที่สุดพืชที่ขาดธาตุสังกะสีในประเทศไทยที่สำคัญ ได้แก่ ส้มเขียวหวาน ซึ่งใบจะมีลักษณะด่างใบเล็กผิดขนาด ใบจะมีสีเขียวอ่อนหรือสีเหลือง ชาวสวนเรียกว่าเป็นโรค “ใบแก้ว” ถ้าขาดธาตุสังกะสีมากต้นส้มจะแคระแกรน ให้ผลน้อย ผลเล็กและคุณภาพต่ำในข้าวโพดจะเกิดอาการ chlorosis คือ มีแถบสีขาวจนถึงสีเหลืองจาง ๆ เกิดขึ้นระหว่างเส้นใบ ใบแก่จะมีสีม่วง และติดฝักช้าหากขาดธาตุสังกะสีอย่างรุนแรงใบแก่จะเป็นสีม่วง แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และแห้งตายส่วนในถั่วเหลืองถ้าขาดธาตุสังกะสี จะเกิดจุดสีน้ำตาลที่ใบแก่ เป็นต้นพืชต้องการสังกะสีเพียงเล็กน้อย พืชอาจขาดสังกะสีในระยะแรก เมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้นระบบจะแพร่กระจายได้มากขึ้น อาการขาดสังกะสีก็จะหายไปปัจจัยสำคัญที่ทำให้พืชได้รับธาตุสังกะสีไม่เพียงพอ ได้แก่ บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำความเข้มของแสงต่ำ และอากาศชื้น พืชจะดูดธาตุสังกะสีได้น้อยลง pH ที่พืชสามารถนำเอาธาตุสังกะสีไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดจะอยู่ในช่วง 5.5-6.0 ดินที่มี pH สูง (alkaline) หรือดินด่างพืชมักจะนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์ได้น้อยส่วนดินที่เป็นกรดจัดก็อาจจะขาดธาตุสังกะสีได้เช่นกัน เนื่องจากธาตุสังกะสีถูกชะล้างให้สูญหายไปได้ดินที่มีฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงหรือใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราสูงฟอสเฟตก็จะไปทำปฏิกิริยากับสังกะสีเกิดเป็นสารประกอบสังกะสีฟอสเฟตซึ่งตกตอนละลายน้ำได้ยาก พืชจึงไม่สามารถนำเอาไปใช้ได้นอกจากนี้สังกะสีสามารถทำปฏิกิริยากับดินที่มีอินทรียวัตถุสูง (เช่น ดินพรุ) เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่ละลายได้ยาก ทำให้ดินขาดธาตุสังกะสีได้ (บุญแสน, 2548)

2.2.2 ธาตุพิษ

ตัวอย่างธาตุพิษ เช่น

(1) แคดเมียม

แคดเมียมมีความเป็นพิษสูง โดยแคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่า pH 4.5-5.5 แต่ในสภาพด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ แต่จะมีค่าสูงในพืชบางชนิดเท่านั้น เช่น ผักกาดหอม หรือผักโขม

เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน แคดเมียมจะสะสมในรากมากที่สุด และสะสมในใบรองลงมา แต่มีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย ถ้าปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดินของพืชอยู่ในช่วง 5-700 mg/kg dw จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการคายน้ำของพืช ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำให้โครงสร้างคลอโรพลาสผิดปกติ (จันทร์เพ็ญ, 2545)

(2) **ตะกั่ว**

จันทร์เพ็ญ (2545) กล่าวว่าตะกั่วสามารถเข้าสู่พืชทางราก ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่รากฝอยและรากขนาดเล็ก พิษของตะกั่วในพืชเกิดขึ้นโดยการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของพลาสติด ยับยั้งการออกซิไดส์ succinate ในกระบวนการหายใจที่ไมโตรคอนเดรียมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ยับยั้งการเจริญของรากและใบ และยืดเวลาการงอกของเมล็ด

2.3 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ เป็นวิธีการสกัดน้ำเลี้ยงจากเซลล์พืชเซลล์สัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์โดยใช้น้ำตาลหรือกากน้ำตาล (molasses) ใส่ลงไป จะได้น้ำเลี้ยงที่สกัดออกมาเป็นสีน้ำตาล โดยกระบวนการ plasmolysis และน้ำเลี้ยงที่ได้จะถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติและที่ติดมากับวัสดุที่นำมาหมัก ดำเนินกระบวนการหมักต่อไปโดยใช้กากน้ำตาลและสารประกอบอินทรีย์จากวัสดุเหล่านั้นเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน จุลินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นมีหลากหลายชนิด เช่น แบคทีเรียในสกุลบาซิลัส กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก เชื้อราที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยและยีสต์ (อานัฐ, 2551) รวมทั้งมีสารประกอบที่สกัดได้จากเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ และอื่นๆ ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเลี้ยงในต้นพืช โดยปกติน้ำเลี้ยงในต้นพืชสดจะมีอยู่ประมาณ 90-98% หากส่วนของพืชมีน้ำมาก น้ำในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่สกัดได้ก็จะเกิดขึ้นมากภายในระยะเวลาเพียง 2-3 วัน (กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2553)

2.3.1 วัสดุที่นำมาผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ได้แบ่งวัสดุหมักสำหรับทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพอาจได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) วัสดุเหลือใช้จากพืช

เศษพืชผักต่างๆ (เช่น ผักคะน้า ผักกาดขาว ผักกาดหอม กะหล่ำปลี ผักบุ้ง มะเขือ มะเขือเทศ ข้าวโพดฝักอ่อน บวบ ฟักเขียว ฟักทอง และพืชตระกูลแตง เป็นต้น) จะมีองค์ประกอบของแร่ธาตุและสารอาหารที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก วิตามินเอ ไธอามีน ไรโบฟลาวิน ไนอาซีน และกรดแอสคอร์บิก

เศษผลไม้ต่างๆ เช่น มะละกอ สับประรด กล้วย เงาะ ชมพู่ มังคุด สตรอเบอร์รี่ ลำไย และลิ้นจี่ เป็นต้น จะมีองค์ประกอบคล้ายกันกับพืชผัก

พืชสมุนไพร เช่น ใบสะเดา เมล็ดสะเดา ตะไคร้หอม ขมิ้นชัน หนอนตายหยาก โล่ติ๊น (หางไหล) สาบเสือ ข่าเหลือง ยาสูบ พริก และบอระเพ็ด เป็นต้น สารสกัดจากพืชสมุนไพรจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อมน้อยกว่าสารเคมี เนื่องจากสามารถสลายตัวได้รวดเร็ว อีกทั้งยังมีฤทธิ์ในการป้องกันแมลงศัตรูพืช

เศษอาหารจากบ้านเรือน เป็นขยะเปียกที่ประกอบด้วย เศษอาหาร เศษผักและผลไม้

(2) วัสดุเหลือใช้จากสัตว์

วัสดุเหลือใช้จากสัตว์ที่มีรายงานว่ามีการนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ เช่น เศษปลา หอยเชอร์รี่ ซึ่งแต่ละชนิดนั้นมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน

2.3.2 คุณภาพทางด้านเคมีและชีวภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

กรมพัฒนาที่ดิน (2550) กล่าวถึงผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและชีวภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพไว้ ดังนี้

(1) ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้หมัก (ตารางที่ 2.1) ส่วนใหญ่พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารหลักน้อยมากไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (ซึ่งโดยทั่วไปพืชต้องการ N, P และ K เท่ากับ 1.5%, 0.2% และ 1.0% ตามลำดับ) จึงควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ด้วย

ธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุเช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงโบรอน โมลิดินัม และคลอรีนธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณที่รองลงมาจากธาตุอาหารหลัก ตัวอย่างปริมาณธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุในปุ๋ยน้ำหมัก

ชีวภาพแสดงดังในตารางที่ 2.1 (ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณที่พืชต้องการ คือ Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo และ Cl มีค่าเท่ากับ 0.5%, 0.2%, 0.1%, 100 mg/L, 50 mg/L, 20 mg/L, 6 mg/L, 20 mg/L, 0.1 mg/L และ 100 mg/L ตามลำดับ)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้จากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ

ชนิดปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	ธาตุอาหาร (%)										pH
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	
จากปลา	0.98	1.12	1.03	1.66	0.24	0.20	0.016	0.005	0.003	0.0012	4.35
จากกระดูกป่น	-	-	-	-	-	-	0.024	0.0027	0.0038	0.0006	-
จากหอยเชอร์รี่	0.35	0.25	0.85	1.65	0.29	0.15	0.0171	0.0126	0.014	0.018	4.65
จากผัก	0.14	0.30	0.40	0.68	0.26	0.27	-	-	-	-	4.30
จากผักรวม	-	-	-	-	-	-	0.006	0.0038	0.0016	0.0016	-
จากผลไม้รวม	0.27	0.05	0.63	0.58	0.01	0.17	0.0046	0.0052	0.0037	0.0016	3.60
จากพืชพื้นเมือง	0.23	0.01	0.39	0.059	0.034	0.66	-	-	-	-	4.80
จากนม	0.49	0.31	0.59	0.21	0.09	0.19	-	-	-	-	4.54

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550)

จากตารางที่ 1 ปุ๋ยน้ำหมักจากปลาจะมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมมากกว่าปุ๋ยน้ำหมักชนิดอื่น ส่วนปุ๋ยน้ำหมักจากหอยเชอร์รี่มีปริมาณธาตุอาหารเสริมมากกว่าปุ๋ยน้ำหมักชนิดอื่น

(2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจะมีความเป็นกรดสูง (pH < 4) ซึ่งแสดงถึงการเกิดกระบวนการหมัก และถ้าค่า pH ของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีประมาณ 3.0-4.0 แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดสมบูรณ์แล้ว โดยสังเกตจากฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นและระยะกลางของกระบวนการหมัก

(3) กรดฮิวมิก (Humic Acid)

กรดฮิวมิกช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตของรากและลำต้นได้ดี โดยปริมาณกรดฮิวมิกที่วิเคราะห์ได้จากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอร์รี่ พืชชนิดต่างๆ และจากเศษปลา มีค่าเป็น 3.07% ไม่เกิน 1% และ 3.36% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณฮอร์โมน กรดฮิวมิก และค่า pH ของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด

ชนิดปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	ฮอร์โมน (mg/L)			กรดฮิวมิก (%)	pH
	ออกซิน	จิบเบอร์เรลลิน	ไซโตไคนิน		
จากปลา	4.01	33.07	3.05	3.36	4.2
จากหอยเชอร์รี่	6.85	37.14	13.62	3.07	3.7
จากผักประเภทกินใบ	4.43	16.57	22.64	0.95	3.9
จากผักประเภทกินผล	0.27	28.93	11.28	0.83	3.7
จากน้ำผักและผลไม้	48.04	360.60	25.60	0.87	4.1
จากสมุนไพร	1.34	17.40	23.81	1.01	3.8

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550)

(4) ฮอร์โมนในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ชนิดและปริมาณของฮอร์โมนที่วิเคราะห์ได้ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีแสดงในตารางที่ 2.2 โดยฮอร์โมนแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มออกซิน (Auxin; Indole acetic : IAA) มีสมบัติควบคุมการขยายตัวของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการเกิดราก การเจริญของราก ลำต้น ควบคุมการเจริญของใบ ส่งเสริมการออกดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ควบคุมการพัฒนาของผล ควบคุมการสุก แก่ และการร่วงหล่นของผล IAA ตรวจพบทั้งในน้ำหมักจากพืชและสัตว์ แต่พบในปริมาณน้อย คือมีค่าน้อยมากไม่สามารถวัดได้ จนถึง 2.37 ppm

กลุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellins; Gibberellic acid : GA3) มีสมบัติกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์พืชในทางยาว เร่งการเกิดดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ยืดช่อดอก กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา GA3 ตรวจพบในน้ำหมักจากพืชบางชนิดในปริมาณ 18-140 ppm แต่มักไม่พบ GA3 ในน้ำหมักจากปลา

กลุ่มไซโทไคนิน (Cytokinins; Zeatinและ Kinetin) กระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเจริญด้านลำต้นของพืช กระตุ้นการเจริญของตาข้าง ทำให้ตาข้างเจริญออกเป็นกิ่งได้ ช่วยเคลื่อนย้ายสารอาหารจากรากไปสู่ยอด รักษาระดับการสังเคราะห์โปรตีนให้นานขึ้น ป้องกันคลอโรฟิลล์ให้ถูกทำลายช้าลง ทำให้ใบเขียวอยู่นานและร่วงหล่นช้าลง ช่วยทำให้ใบเลี้ยงคลี่ขยาย ช่วยให้เมล็ดงอกได้ในที่มืด ตรวจพบ Zeatin ในน้ำหมักจากพืชในปริมาณ 1-20 ppm และพบในน้ำหมักจากปลาที่ใส่

น้ำมะพร้าว 2-4 ppm และตรวจพบ Kinetin ในน้ำหมักจากพืชในปริมาณ 1-14 ppm แต่ไม่พบในน้ำหมักจากปลา

จากตารางที่ 2 ปุ๋ยน้ำหมักจากผักและผลไม้ จะมีฮอร์โมนพืชในปริมาณสูงกว่าปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุชนิดอื่น

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ คือ เกิดกระบวนการ plasmolysis เมื่อเติมน้ำตาลหรือกากน้ำตาลลงไปในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ทำให้เซลล์ของเศษพืชหรือเซลล์สัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบเกิดอาการเหี่ยว เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำภายในเซลล์ จึงทำให้ผนังเซลล์สูญเสียสภาพ เป็นผลทำให้อินทรียสารที่อยู่ภายในเซลล์ เช่น กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ละลายออกมา และเกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน และที่ไม่ต้องการออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง และมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์บางชนิดที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมา เช่น กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ ฮอร์โมน และเอนไซม์ชนิดต่างๆ (อภิรักษ์, 2549)

นอกจากนี้ กรมพัฒนาที่ดิน (2545) กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงอื่นๆที่เกิดขึ้น เช่น

การเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเกิดฝ้าขาวหรือโคโลนีของจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของวัสดุหมักในช่วง 1-3 วัน หลังจากการหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนจากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น

การเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีฟองก๊าซเกิดขึ้นที่ผิวหน้าวัสดุ และใต้ผิววัสดุหมัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการหายใจของกลุ่มจุลินทรีย์พวกยีสต์และจุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมการหมักวัสดุซึ่งภูมิปัญญา (2549) รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของการเกิดฟองก๊าซไว้ ดังนี้

ระยะที่ 1 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจะเข้มข้น สังเกตเห็นเป็นฟองใหญ่ไม่แตกง่าย

ระยะที่ 2 จะมีกลิ่นหอม ฟองจะเล็กและแตกง่าย

ระยะที่ 3 มีกลิ่นคล้ายน้ำส้มและแอลกอฮอล์ ฟองจะละเอียดมาก

การผลิตแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นโดยยีสต์ และจุลินทรีย์ที่สร้างกรดอินทรีย์พวกแลคติกทำให้ได้กลิ่นของแอลกอฮอล์ค่อนข้างฉุน

จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะช่วยรักษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ให้เน่าเสียโดยในระหว่างกระบวนการหมัก จากของเหลวใสไม่ขุ่น จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีน้ำตาล (แต่หากสารละลายเปลี่ยนเป็นขุ่น แสดงว่าจุลินทรีย์ที่เป็นโทษทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารอาหารในสารละลายและจะทำให้มีกลิ่นเหม็น)

2.3.4 ลักษณะของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ได้แล้ว

กรมพัฒนาที่ดิน (2545) กล่าวว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์แล้ว จะมีลักษณะดังนี้

มีการเจริญของจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุหมักน้อยลง

กลิ่นแอลกอฮอล์จะลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ได้ใช้น้ำตาลไปจนกระบวนการเสร็จสิ้น และจุลินทรีย์ที่ใช้แอลกอฮอล์ได้ผลิตกรดอินทรีย์สมบูรณ์ ทำให้กิจกรรมการหมักลดลง

มีกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์มากขึ้น ความเป็นกรดจึงสูงขึ้น

ไม่ปรากฏฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์มีน้อยมาก เมื่อการหมักวัสดุลดลง ทำให้ฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดน้อยมาก

เมื่อการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้ของเหลวใสสีน้ำตาลมีสภาพเป็นกรดสูง (pH 3-4) เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักผลิตกรดอินทรีย์ จำพวกกรดแลคติก และกรดอะซีติก

2.3.5 มาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

มาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ใช้เปรียบเทียบในการวิจัยนี้ อาศัยข้อมูลจากคำแนะนำการขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ของกลุ่มควบคุมปุ๋ย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร สำหรับกรณีปุ๋ยอินทรีย์เหลว และจากมาตรฐานสินค้าประเภทปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อออกใบอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายรับรองสินค้าตามระเบียบกรมพัฒนาที่ดิน ของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2547 สำหรับกรณีปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยมีรายละเอียดสรุปดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ลำดับที่	ลักษณะ	ค่ามาตรฐาน
1	ปริมาณธาตุอาหารหลัก -ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) - ฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) - โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)	 ไม่ต่ำกว่า 0.5% ของน้ำหนัก ไม่ต่ำกว่า 0.5% ของน้ำหนัก ไม่ต่ำกว่า 0.5% ของน้ำหนัก หรือมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่ต่ำกว่า 1.5% ของน้ำหนัก
2	ปริมาณอินทรียวัตถุรับรอง (Organic Matter)	ไม่น้อยกว่า 10% ของน้ำหนัก
3	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio)	ไม่เกิน 20:1
4	ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไม่เกิน 10 dS/m.* ไม่เกิน 20 dS/m. **
5	ปริมาณโซเดียม (Na)	ไม่เกิน 1% โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ไม่เกิน 4.0
7	ปริมาณฮอร์โมน - ออกซิน - จิบเบอร์เรลลิน - ไซโตไคนิน	 ไม่ต่ำกว่า 0.1 mg/L ไม่ต่ำกว่า 5.0 mg/L ไม่ต่ำกว่า 1.0 mg/L
8	ปริมาณสารสกัดอินทรีย์	ไม่ต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนัก
9	สารพิษและธาตุโลหะหนัก - สารหนู (Arsenic, As) - แคดเมียม (Cadmium, Cd) - โครเมียม (Chromium, Cr) - ทองแดง (Copper, Cu) - ตะกั่ว (Lead, Pb) - ปรอท (Mercury, Hg) - สังกะสี (Zinc, Zn)	 ไม่เกิน 0.25 mg/L ไม่เกิน 0.03 mg/L ไม่เกิน 0.50 mg/L ไม่เกิน 1.00 mg/L ไม่เกิน 0.20 mg/L ไม่เกิน 0.005 mg/L ไม่เกิน 5.00 mg/L
10	ผลวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคมนุษย์ สัตว์ และพืช	

ที่มา : *กลุ่มควบคุมปุ๋ย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) และ

**สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547)

2.4 กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นของเหลวสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล มีลักษณะข้นเหนียว สีน้ำตาลปนดำ ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ มากมาย เช่น เหล็ก วิตามินบี แคลเซียมและโพแทสเซียม เป็นต้น (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของกากน้ำตาล

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%w/w)	ค่าเฉลี่ย (%w/w)
น้ำ	17 - 25	20
ซูโครส	30 - 40	35
กลูโคส	4 - 9	7
ฟรุคโตส	5 - 12	9
น้ำตาลรีดิวซ์อื่นๆ	1 - 5	3
คาร์โบไฮเดรตอื่น	2 - 5	4
เถ้า	7 - 15	12
สารประกอบไนโตรเจน	2 - 6	4.5
กรดที่ไม่มีไนโตรเจน	2 - 8	5
อื่นๆ	0.1 - 1	0.5

ที่มา : Paturau (1982)

2.5 สารเร่ง พด.2

พด.2 หมายถึงเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายวัสดุการเกษตรที่มีลักษณะเปียกหรือมีความชื้นสูงเพื่อผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ โดยการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน และทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น พด.2 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546)

ยีสต์ (*Saccharomyces* sp.) ผลิตแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และวิตามินบี

แบคทีเรีย *Lactobacillus* sp. ผลิตกรดแลคติค

แบคทีเรีย *Bacillus* sp. ย่อยสลายโปรตีน

สารเร่ง พด.2 (ภาพที่ 2.1) จำนวน 1 ซอง มีปริมาณ 25 g มีปริมาณจุลินทรีย์ดังกล่าวไม่ต่ำกว่า 10^{10} เซลล์ สามารถผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพได้ 50 L

รูปที่ 2.1 สารเร่งซุปเปอร์ พด.2

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วันวิสาข์ (2545) ผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ตำรับปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมในการหมักมี 3 ตำหรับ คือ ตำหรับที่ใช้เปลือกมัน : กากน้ำตาล : น้ำทิ้ง ที่อัตราส่วน 3 : 1 : 15, 2 : 1 : 10 และ 2 : 1 : 15 กระบวนการหมักเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ที่ระยะเวลา 13 สัปดาห์ ได้ปุ๋ยน้ำชีวภาพสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นหมักเหล้าไวน์ ในระหว่างการหมักพบว่าค่า pH มีค่าค่อนข้างต่ำ (3.40-3.50) ในช่วงแรก และเริ่มสูงขึ้นในช่วงหลัง (3.70-4.10) จนคงที่ประมาณ 3.73-3.96 ส่วนอุณหภูมิภายในถังหมักมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35 ºC ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้มีอัตราส่วนของ C : N เท่ากับ 19.27-25.00 ไนโตรเจน 0.08-0.11% ฟอสฟอรัส 0.06-0.07% โพแทสเซียม 0.28-0.43% ค่าการนำไฟฟ้า 9.46-10.62 mS/cm อีกทั้งเมื่อนำปุ๋ยน้ำที่ผลิตได้ไปทดสอบใช้กับผักกวางตุ้งและดาวเรือง โดยใช้เป็นปุ๋ยทางใบและทางรากพืช ทดลองในกระถาง ทำการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design โดยใช้วิธีการให้ปุ๋ยน้ำชีวภาพทางใบที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กับพืช 2 ชนิด จำนวน 11 วิธีเป็นกรรมวิธีการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการวัดความสูงของลำต้น ขนาดดอก และวัดความกว้างของทรงพุ่มในต้นดาวเรือง และทำการวัดความสูงของลำต้น น้ำหนักสด และขนาดลำต้น (เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวได้ 53 วัน) การทดลองพบว่าเปลือกมัน : กากน้ำตาล : น้ำทิ้งที่อัตราส่วน 3 : 1 : 15 ที่ความเข้มข้น 0.1% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการนำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพไปใช้ทางใบเนื่องจากผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดเท่ากับ 11.66 g ความสูง 19.58 g และขนาดลำต้น 0.76 cm การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้น 0.1%

มีความแตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม (น้ำเปล่า) และความเข้มข้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

อภิญญา (2546) รายงานว่าเมื่อนำหัวเชื้อผสมของแบคทีเรีย แกรมบวก 3 ชนิดที่เจริญได้ดีในสภาพที่มีอากาศ ที่ทำการแยกเชื้อและคัดเลือกเชื้อเองจากตัวอย่างน้ำหมัก มาเติมลงไป 10% ของปริมาตรการหมัก ทำการหมักนาน 28 วันผลการทดลองพบว่า การหมักแบบเติมอากาศทำให้เศษผักมีการย่อยสลาย 88.04% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศที่มีการย่อยสลายเพียง 53.34% ของน้ำหนักแห้ง ในการหมักแบบเติมเชื้อแบคทีเรียเศษผักเกิดการย่อยสลาย 40.34% ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายเพียง 36.39% โดยการเติมปลาป่น 16.40 g (0.65 g N) เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการหมักแบบเติมอากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายของเศษผักสูงสุดเท่ากับ 87.93% และในการศึกษาผลของปุ๋ยน้ำหมักและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีนพบว่า การใช้ปุ๋ยน้ำหมักอัตราเจือจาง 1 : 500 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 และยูเรีย (46-0-0) เป็นปุ๋ยแต่งหน้า ทำให้ได้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด และการใช้ปุ๋ยน้ำหมักอัตราเจือจาง 1 : 250 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 มีผลทำให้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด

ภิรมย์ (2551) นำผลไม้แต่ละชนิด ได้แก่ มะพร้าวอ่อน สับปะรด เปลือกสับปะรด กล้วย และเปลือกกล้วยมาผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผลไม้ : กากน้ำตาล : น้ำ เป็น 3 : 1 : 1 ทำการหมักนาน 60 วัน และทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ใส่และไม่ใส่ EM ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชชนิด GA3 พบว่าค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง 2.8-5.6 และมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 6.11 x 10^3-13.16 x 10^3 mS/cm ส่วนค่า GA3 มีค่าเพิ่มขึ้น 80.3% อีกทั้งพบว่าธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เพิ่มขึ้น 60.10%, 32.50% และ 5.20% ตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารรองไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และพบว่าธาตุอาหารในน้ำหมักทั้งที่มีการเติม EM และไม่เติม EM มีปริมาณไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ ผู้วิจัยสรุปว่าน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน ในการวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้น้ำหมักชีวภาพที่จุดเด่นแตกต่างกัน คือ น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวอ่อนเติม EM มี GA3 สูง ส่วนที่ผลิตจากสับปะรดและสับปะรดเติม EM มีธาตุอาหารหลักสูง ที่ผลิตจากเปลือกสับปะรดและ เปลือกสับปะรดเติม EM กับที่ผลิตจากกล้วย และกล้วยเติม EM มีธาตุอาหารรองสูง แต่น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกกล้วย และเปลือกกล้วยเติม EM ไม่เหมาะในการผลิตน้ำหมักชีวภาพเนื่องจากมีธาตุอาหารทั้งธาตุหลัก ธาตุรองและ GA3 ต่ำ

วีณารัตน์ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตของผักโขม ผักกวางตุ้งฮ่องเต้และผักบุ้งจีน โดยผลิต

น้ำหมักชีวภาพเศษปลา : กากน้ำตาล : น้ำกากส่าเหล้า ในอัตรา 1 : 1 : 0, 1 : 0 : 1, 1 : 0.3 : 0.7, 1 : 0.5 : 0.5 และ 1 : 0.7 : 0.3 ทั้ง 5 สูตร ทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วันพบว่าค่า pH อยู่ในช่วง 3.81-10.77 ค่า EC อยู่ในช่วง 4.18-7.23 dS/m มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.71-1.33% มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.07-0.19% มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.27-1.10% พบว่าสูตร 5 ที่ระดับความเข้มข้น 1 : 1,000 มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูงสุดโดยเมล็ดผักโขมมีการงอก 77% ผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีการงอก 97% และผักบุ้งจีนมีการงอก 72.5%

ปิยนันท์ และคณะ (2554) ศึกษาการใช้ EM เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังเสริมกากน้ำตาล และรำข้าวละเอียดเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ และสูตรที่เติมสารเร่ง พด.2 หมักนาน 35 วัน พบว่า ปุ๋ยที่ได้มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.72-3.85 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 17.05-17.75 µS/cm มีค่า TDS อยู่ในช่วง 13.50-15.17 °Brix มีค่าน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 016-0.22 g/L มีค่า OM อยู่ในช่วง 29.19-32.09% มีค่า N อยู่ในช่วง 0.141-0.533% มีค่า P อยู่ในช่วง 0.077-0.124% และมีค่า K อยู่ในช่วง 0.873-3.679%

Ngampimol and Kunathigan (2008) เตรียมปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก พบว่า มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.5-3.9 มีค่า total N อยู่ในช่วง 0.05-0.28% มีค่า total P อยู่ในช่วง 0.08-0.13% มีค่า total K อยู่ในช่วง 0.46-0.66% การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอายุการเก็บรักษาของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักได้สี่เดือนของที่เก็บภายใต้สภาวะที่มีและไม่มีแสงถูกนำมาทดสอบและพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ

Sriwuryandari and Sembiring (2010) เตรียมปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากเศษสารอินทรีย์จากตลาด มาเติมมูลไก่ และหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วย Actinomycetes และจุลินทรีย์อื่นๆที่ทำการคัดเลือกไว้ ในสภาพเติมอากาศใน bioreactor พบว่ามีค่า pHเท่ากับ 7.5 มีค่า OC เท่ากับ 2.53% มีค่า total N เท่ากับ 1.12% มีค่า P_2O_5 เท่ากับ 0.12%มีค่า K_2O เท่ากับ 1.37% มีค่า Cu เท่ากับ 53.8 ppm และมีค่า Zn เท่ากับ 147.12 ppm

Uparivong (2012) เตรียมปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ พบว่าสูตรที่มีปริมาณธาตุหลักดีที่สุด คือ สูตร Bioteh-1 ที่เตรียมจากเศษดอกไม้ชิ้นเล็กๆ : กากน้ำตาล : หัวเชื้อจุลินทรีย์ ในอัตราส่วน 3 : 1 : 1 และน้ำสะอาด ทำการหมัก 14-21 วัน ปุ๋ยที่ได้มีค่า pH เท่ากับ 4.19 มีค่า EC เท่ากับ 3.00 dS/m มีค่า total N เท่ากับ 14 ppm มีค่า total Pเท่ากับ28 ppm มีค่า total K เท่ากับ 811 ppm มีค่า Na เท่ากับ 108 ppm มีค่า Ca เท่ากับ 271 ppm และมีค่า Mg เท่ากับ 142 ppm

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ เศษปลา เศษผักและผลไม้ ได้มาจากตลาดพรานนก เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร กากน้ำตาล และน้ำโดย

เศษปลา หมายถึง หัว เครื่องใน หาง และเกล็ดปลา

เศษผัก หมายถึง เศษผักกาดขาว กะหล่ำปลี และผักบุ้ง

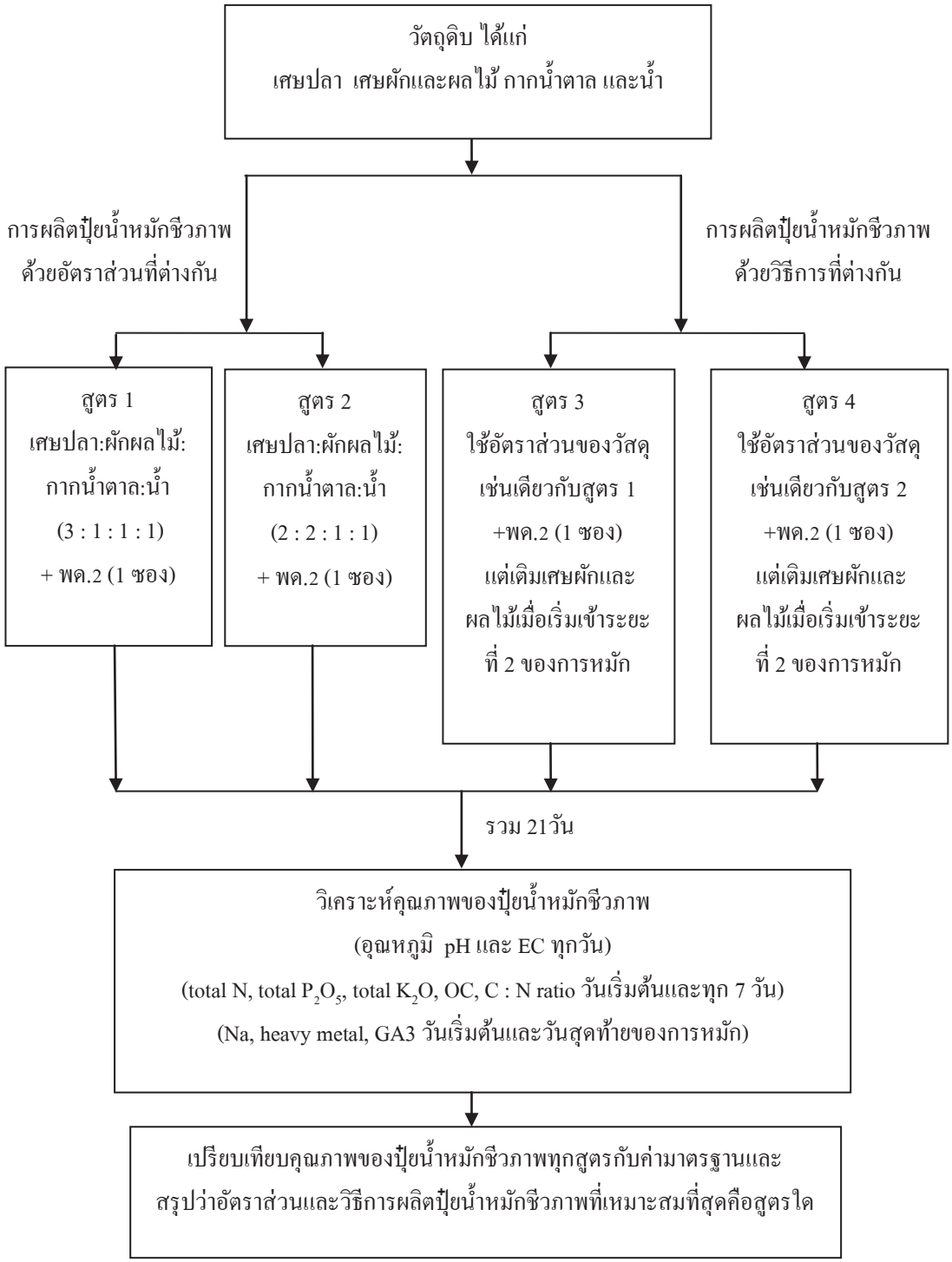
เศษผลไม้ หมายถึง กล้วยสุก และมะละกอสุก

กากน้ำตาลจากชุมชนบุญนิยมปฐมอโศก จังหวัดนครปฐม

และน้ำที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ น้ำประปาที่ขังน้ำไว้ในถัง ที่เปิดฝาไว้ 2 วัน เพื่อให้คลอรีนระเหยไป

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยสรุปได้ดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3.1 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย โดยแต่ละสูตรที่ทำการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 สูตรปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การวิจัยครั้งนี้ทดลองปุ๋ยชีวภาพรวม 4 สูตร ดังนี้

(1) ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 1

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 1 คือ ใช้อัตราส่วนของวัสดุตามที่แนะนำโดยกรมพัฒนาที่ดิน กรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งประกอบด้วย เศษปลา : เศษผักและผลไม้ : กากน้ำตาล : น้ำ : สารเร่ง พด.2 เท่ากับ 30 kg : 10 kg : 10 kg : 10 L : 1 ซอง (คือ 25 g)

(2) ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 2

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 2 คือ สูตรที่พัฒนาจากสูตร 1 โดยปรับอัตราส่วนของ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ จากเดิม 3 : 1 เป็น 2 : 2 ดังนั้นในสูตร 2 จึงประกอบด้วย เศษปลา : เศษผักและผลไม้ : กากน้ำตาล : น้ำ : สารเร่ง พด.2 เท่ากับ 20 kg : 20 kg : 10 kg : 10 L : 1 ซอง (คือ 25 g)

(3) ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 3

อัตราส่วนของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกับสูตร 1 แต่ปรับเปลี่ยนวิธีการผลิต โดยเติมเศษผักและผลไม้ เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก เนื่องจากมีรายงานว่าปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษผักและผลไม้จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าที่ผลิตจากเศษปลา (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546) และจะมีฮอร์โมนมากกว่าที่ผลิตจากเศษปลาดังนั้นงานวิจัยนี้จึงวางแผนการทดลองสำหรับสูตร 3 โดยเติมเศษผักและผลไม้ในภายหลัง เพื่อให้ปุ๋ยน้ำหมักที่เตรียมจากวัสดุต่างๆ ได้เป็นปุ๋ยน้ำหมักที่ใช้ได้แล้วในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และคาดว่าฮอร์โมนที่เกิดขึ้นน่าจะมีโอกาสสูญเสียไปน้อยกว่าการใส่เศษผักและผลไม้ตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก

(4) ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 4

อัตราส่วนของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกับสูตร 2 แต่ปรับเปลี่ยนวิธีการผลิต โดยเติมเศษผักและผลไม้ เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก

3.2.2 วิธีการหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพดำเนินการดังนี้

(1) ใส่ส่วนผสมทุกอย่างตั้งแต่เริ่มต้นการผลิต

ใส่ส่วนผสมทุกอย่างตั้งแต่เริ่มต้นการผลิต สำหรับปุ๋ยน้ำหมักสูตร 1 และ 2 โดย

เติมวัตถุดิบ คือ เศษปลา เศษผักและผลไม้สับที่มีขนาดประมาณ 0.5-1 นิ้ว ตามอัตราส่วนที่กำหนด ลงในถังหมักที่เป็นถังพลาสติกที่มีปริมาตร 50 L

นำสารเร่ง พด.2 จำนวน 1 ซอง (25 g) ผสมในน้ำ 10 L คนให้เข้ากันนาน 5 นาที แล้วเติมสารละลายของสารเร่ง พด.2 ลงไปในถังหมัก

คลุกเคล้าหรือกวนส่วนผสมให้เข้ากันและตั้งในที่ร่มโดยกวนทุก 7 วันเพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นออกไป และปิดฝาไม่ต้องสนิทโดยให้มีช่องว่างเล็กน้อย (เพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น)

ทำการหมักจนครบ 21 วัน

(2) เติมเศษผักและผลไม้เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก

สำหรับปุ๋ยน้ำหมักสูตร 3 และ 4 ดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีการหมักสูตร 1 และ 2 แต่เติมเศษผักและผลไม้ตามอัตราส่วนที่กำหนดลงไปในถังหมัก เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก

3.3 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ดำเนินการเก็บตัวอย่างตามวิธีของวันวิสาข์ (2545) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ทำการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศเหนือถังหมัก และอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักภายในถังหมักที่ตำแหน่งกลางถังหมักทุกวันจนสิ้นสุดการหมัก (21 วัน)

3.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

กวนวัสดุในถังหมักด้วยไม้พายให้เข้ากัน จากนั้นใช้บีกเกอร์พลาสติกตักตัวอย่างปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพบริเวณกลางถังหมักครั้งละ 500 ml จนครบปริมาณ 2 L กวนน้ำหมักที่ได้อีกครั้งตักตัวอย่างจากจุดกึ่งกลางภาชนะขึ้นมาปริมาณ 1 L เพื่อเป็นตัวแทนนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี โดยวิเคราะห์ค่า pH และ EC ทุกวัน และค่า N, P, K, OC, C : N ณ วันเริ่มต้นและทุกๆ 7 วัน ส่วนค่า Na, heavy metal วิเคราะห์ ณ วันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการหมัก (21วัน) โดยเก็บตัวอย่างแต่ละพารามิเตอร์ตามที่กำหนด จนครบระยะเวลาในการหมัก

3.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางชีวภาพ

เก็บตัวอย่างปริมาตร 500 ml ในทำนองเดียวกับการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี เพื่อวิเคราะห์ GA3 ณ วันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการหมัก (21 วัน)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสรุปดังตารางที่3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

ลำดับ	พารามิเตอร์	เครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์
1	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meterรุ่น Seven Compact Mettler Toledo
2	อุณหภูมิ (Temperate)	Thermometer
3	ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	Conductivity Meterรุ่น YSI 3200 Probe YSI 3252
4*	อินทรีย์คาร์บอน (TOC)	UV Persulfate Method
5**	ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	Kjeldahl Method
6**	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5)	Vanadomolybdate Method
7**	โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)	Flame Photometer Method
8***	โลหะหนัก (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn) และ Na	ICP-OES (Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer)
9****	ฮอร์โมนพืช (GA3)	HPLC

หมายเหตุ : * ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร

** ส่งวิเคราะห์ที่สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน

*** ส่งวิเคราะห์กรมวิทยาศาสตร์บริการ

**** ส่งวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพระหว่างการหมัก

ผลการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพระหว่างการหมัก แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการหมักสำหรับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ

จำนวนวันที่หมัก	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	
	สูตร 1 และ 2	สูตร 3 และ 4
0-3	เกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่ไม่แตกง่าย จำนวนมากในสูตร 1 แต่ในสูตร 2 พบฟองก๊าซน้อยกว่า	เกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่ไม่แตกง่าย ก๊าซที่เกิดขึ้นมีจำนวนน้อยกว่าสูตร 1 และ 2
4-5	มีฟองก๊าซน้อยลง มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์ มีฝ้าสีขาวเป็นหย่อมๆ	มีฝ้าสีขาวเป็นหย่อมๆ และมีกลิ่นหอมหวานฟองละเอียด
6-7*	มีฝ้าสีขาวและกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น	กลิ่นหอมหวาน และมีฟองก๊าซละเอียดและแตกง่าย
8-12	ฟองก๊าซขนาดใหญ่เริ่มลดลง มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์	เริ่มมีกลิ่นหอมหวานฟองก๊าซขนาดใหญ่จำนวนมาก มีฝ้าสีขาวปกคลุมเป็นหย่อมๆ
13-18	ฟองก๊าซจะค่อยๆ เล็กลงมาก มีกลิ่นแอลกอฮอล์	ฟองก๊าซขนาดใหญ่เริ่มเล็กลงและแตกง่าย มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์
19-21	ฟองก๊าซบริเวณผิวหน้าน้อยลงจนฟองก๊าซเกือบหมด มีกลิ่นแอลกอฮอล์	ฟองก๊าซจะค่อยๆ เล็กลงมาก มีกลิ่นแอลกอฮอล์

หมายเหตุ: * วันที่ 7 ของการหมัก มีการเติมเศษผักและผลไม้ในปุ๋ยน้ำหมักสูตร 3 และ 4

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาตามระยะของการหมักที่ภูมิปัญญา (2549) รายงานไว้ พบว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 1 และ 2 เข้าสู่ระยะที่ 1, 2 และ 3 เมื่อวันที่ 3, 8 และ 13 ตามลำดับ ส่วนสูตร 3 และ 4 เข้าสู่ระยะที่ 1 เมื่อวันที่ 3 และเริ่มเข้าระยะที่ 2 เมื่อวันที่ 6-7 แล้วจึงทำการเติมเศษผักและเศษผลไม้ลงไปแล้วก็จะกลับไประยะที่ 1 อีกครั้ง แล้วเข้าสู่ระยะที่ 2 ในที่ 13 และเข้าสู่ระยะที่ 3 ในวันที่ 19 ซึ่งต่างจากสูตร 1 และ 2 ที่เติมวัสดุทุกอย่างแต่แรก ซึ่งเริ่มเข้าระยะที่ 1 ในวันที่ 3 พร้อมกับสูตร 3 และ 4 แต่จะเริ่มเข้าระยะที่ 2 ในวันที่ 8 และเข้าสู่ระยะที่ 3 ในวันที่ 13 โดยจากการสังเกต พบว่าการหมักทุกสูตรใช้ได้แล้วหลังจากหมักนาน 21 วัน

4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรในถังหมักแสดงดังในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 พบว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มไปในทำนองเดียวกัน และสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ยกเว้นในช่วงวันที่ 2-4 ของการหมักที่อุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักมีค่าเพิ่มขึ้น แม้อุณหภูมิอากาศมีค่าลดลง เนื่องจากในระหว่างการหมักมีกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้น (วันวิสาข์, 2524) แต่ในช่วงวันที่ 6-8 และวันที่ 17-20 ของการหมัก พบว่าปุ๋ยน้ำหมักมีอุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ฝนตกติดต่อกันหลายวัน โดยทั่วไปอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพตลอดการหมักมีค่าอยู่ในช่วง 28-32°C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศตลอดการหมักที่มีค่าอยู่ในช่วง 28-31°C

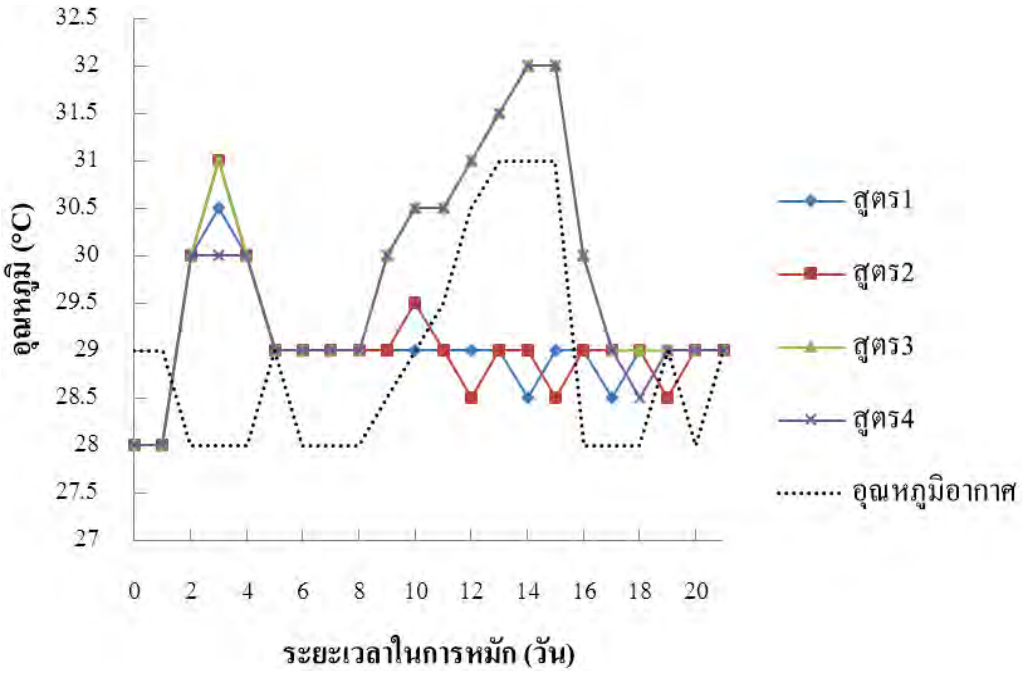
สำหรับปุ๋ยน้ำหมักสูตร 3 และ 4 พบว่าในช่วงวันที่ 9-16 ของการหมักอุณหภูมิในถังหมักเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการหมักหลังจากการเติมเศษผักและผลไม้ลงในหลังจากการหมักได้ 7 วัน

อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 28-32°C ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ที่อยู่ในช่วง 28-31°C และตลอดการหมักอุณหภูมิของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากการทำปุ๋ยหมักที่มีสภาพเป็นของแข็ง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเกิดจากความร้อนที่มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นหลัก (ธันวดี, 2543) แต่สำหรับการทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีวัตถุดิบที่มีสภาพเป็นของเหลวได้แก่ กากน้ำตาล และน้ำ อีกทั้งเศษปลา และเศษผักและผลไม้ เมื่อเกิดการย่อยสลายก็จะกลายสภาพเป็นของเหลว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ระหว่างการหมักจึงมีค่าต่ำกว่าในกรณีของการหมักแบบที่มีอากาศ (aerobic fermentation) (วันวิสาข์, 2545)

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (°C)			
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	29.0	28.0	28.0	28.0	28.0
1	29.0	28.0	28.0	28.0	28.0
2*	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0
3*	28.0	30.5	31.0	31.0	30.0
4*	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0
5	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
6*	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0
7*	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0
8*	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0
9	28.5	29.0	29.0	30.0	30.0
10	29.0	29.0	29.5	30.5	30.5
11	29.5	29.0	29.0	30.5	30.5
12	30.5	29.0	28.5	31.0	31.0
13	31.0	29.0	29.0	31.5	31.5
14	31.0	28.5	29.0	32.0	32.0
15	31.0	29.0	28.5	32.0	32.0
16*	28.0	29.0	29.0	30.0	30.0
17*	28.0	28.5	29.0	29.0	29.0
18*	28.0	29.0	29.0	29.0	28.5
19	29.0	29.0	28.5	29.0	29.0
20*	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0
21	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
Range	28.0-31.0	28.0-30.5	28.0-31.0	28.0-32.0	28.0-32.0

หมายเหตุ : * มีฝนตก



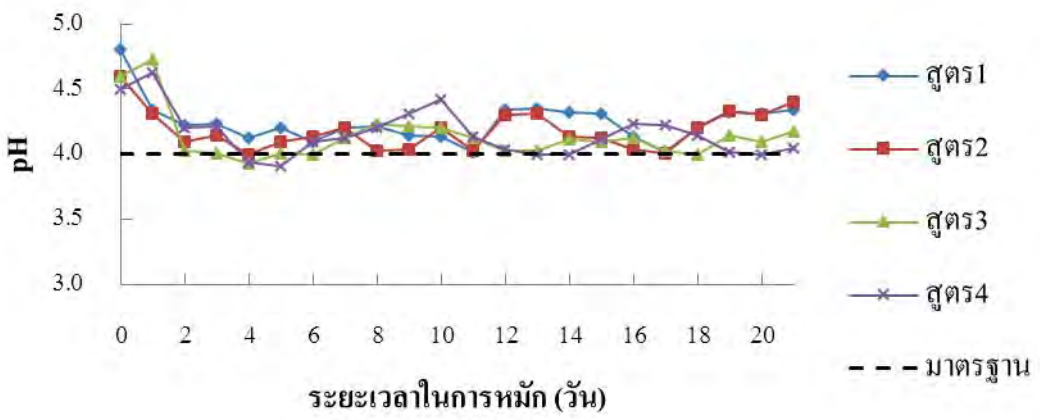
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

4.3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ค่าความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรแสดงดังในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 พบว่าค่า pH ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในช่วงวันแรกมีค่าเท่ากับ 4.5-4.8 ต่อมาแบคทีเรียมีการสร้างกรดอินทรีย์มากขึ้นทำให้ค่า pH ในปุ๋ยน้ำหมักในช่วง 2-5 วันค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 3.9-4.2 ซึ่งทำให้สภาพในถังหมักไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดมากๆ ได้ แต่จะเหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในกลุ่มของยีสต์และราที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดมากกว่าแบคทีเรีย (Bailey and Ollis, 1986) ซึ่งสังเกตได้จากภายในถังหมักมีฝ้าสีขาวขึ้นเป็นจุดๆ กระจายบนผิวหน้า และเมื่อเติมเศษผักและผลไม้เมื่อหมักได้ 7 วันในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 และ 4 pH มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 8-11 ของการหมัก และเมื่อหมักได้ 13 วัน ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1 และ 2 มีกลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นไวน์ เนื่องจากยีสต์สร้างแอลกอฮอล์ อีกทั้งเมื่อราเจริญเติบโตและย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีจะมีการสร้างแอมโมเนียขึ้น ทำให้สภาพภายในถังหมักมีค่า pH เริ่มสูงขึ้น (Poincelot, 1979) แต่เมื่อสารอาหารในถังหมักเริ่มลดลงกิจกรรมของจุลินทรีย์ก็ลดลงจึงทำให้ค่า pH เริ่มคงที่เมื่อหมักได้ 19 วัน ค่า pH อยู่ในช่วง 3.9-4.8

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่างในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	4.8	4.6	4.2	4.5
1	4.3	4.3	4.7	4.6
2	4.2	4.1	4.0	4.2
3	4.2	4.1	4.0	4.2
4	4.1	4.0	3.9	3.9
5	4.2	4.1	4.0	3.9
6	4.1	4.1	4.0	4.1
7	4.2	4.2	4.1	4.1
8	4.2	4.0	4.2	4.2
9	4.1	4.0	4.2	4.3
10	4.1	4.2	4.2	4.4
11	4.0	4.0	4.1	4.1
12	4.3	4.3	4.0	4.0
13	4.3	4.3	4.0	4.0
14	4.3	4.1	4.1	4.0
15	4.3	4.1	4.1	4.1
16	4.1	4.0	4.1	4.2
17	4.0	4.0	4.0	4.2
18	4.2	4.2	4.0	4.1
19	4.3	4.3	4.1	4.0
20	4.3	4.3	4.1	4.0
21	4.3	4.4	4.2	4.0
Range	4.0-4.8	4.0-4.6	3.9-4.7	3.9-4.6



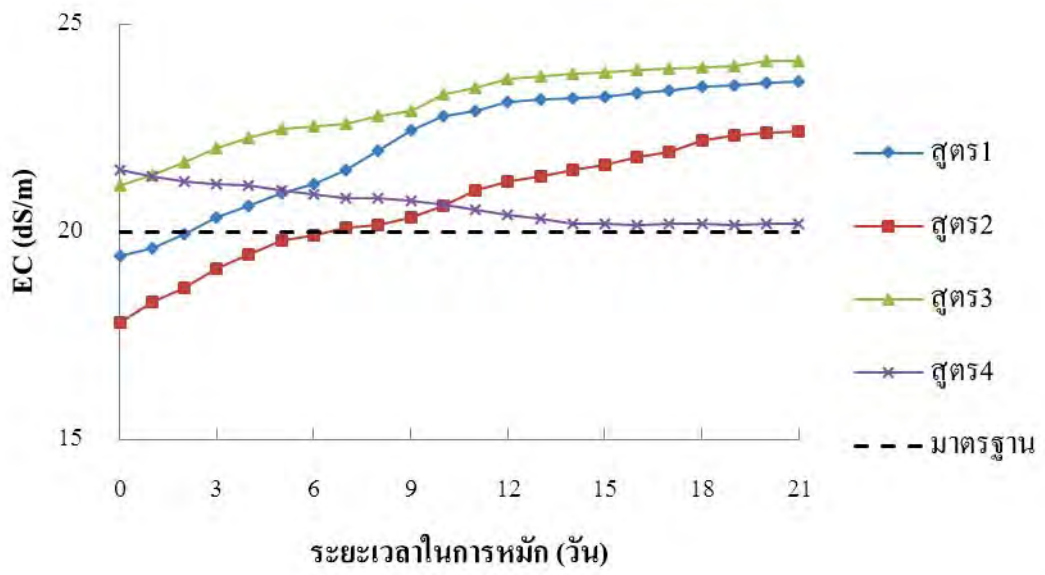
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 พบว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 19.4-23.6, 17.8-22.4, 21.1-24.1 และ 20.2-21.5 dS/m ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ (สูตร 1-3) เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นยกเว้นปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 4 ที่ค่าการนำไฟฟ้าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งค่า EC ของปุ๋ยที่ได้จากการวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าค่า EC ของปุ๋ยน้ำหมักที่รายงานโดยวีณารัตน์ (2553) ปิยนันท์และคณะ (2554) และ Uparivong (2012) อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (dS/m)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	19.4	17.8	21.1	21.5
1	19.6	18.3	21.4	21.3
2	19.9	18.7	21.7	21.2
3	20.4	19.1	22.0	21.2
4	20.6	19.5	22.3	21.1
5	20.9	19.8	22.5	21.0
6	21.2	19.9	22.5	20.9
7	21.5	20.1	22.6	20.8
8	21.9	20.2	22.8	20.8
9	22.4	20.4	22.9	20.7
10	22.8	20.6	23.3	20.6
11	22.9	21.0	23.5	20.5
12	23.1	21.2	23.7	20.4
13	23.2	21.3	23.8	20.3
14	23.2	21.5	23.8	20.2
15	23.3	21.6	23.8	20.2
16	23.4	21.8	23.9	20.2
17	23.4	21.9	23.9	20.2
18	23.5	22.2	24.0	20.2
19	23.5	22.3	24.0	20.2
20	23.6	22.4	24.1	20.2
21	23.6	22.4	24.1	20.2
Range	19.4-23.6	17.8-22.4	21.1-24.1	20.2-21.5



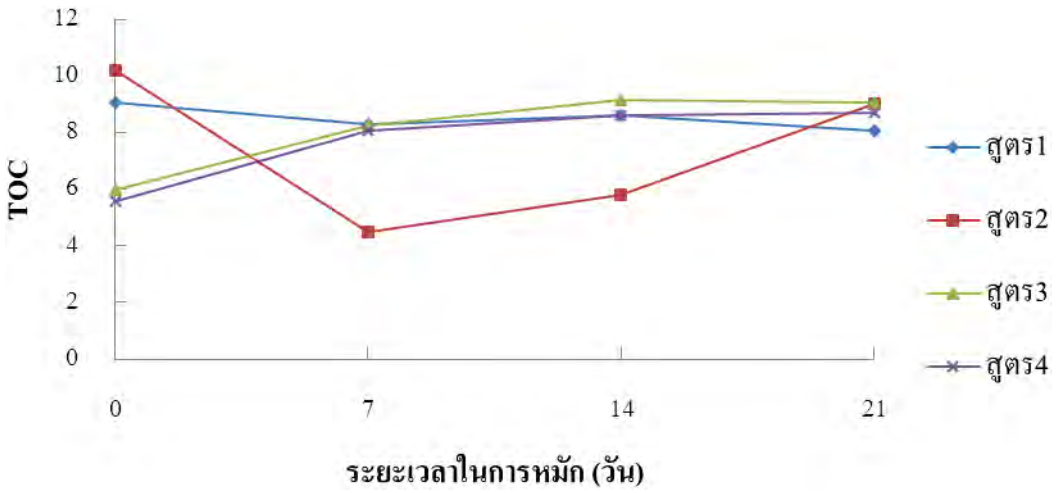
รูปที่4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

4.5 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแสดงในตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักสูตร 1 และ 2 มีปริมาณ TOC มากกว่าสูตร 3 และ 4 ต่อมาในวันที่ 7 ของการหมัก พบว่าปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1 และ 2 กลับมีปริมาณลดลง แต่ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 และ 4 กลับมีปริมาณ TOC เพิ่มขึ้น และหลังจากการหมัก 14 วันคาร์บอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกสูตรการทดลอง อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการหมัก (21 วัน) ปริมาณ TOC ของทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คืออยู่ในช่วง 8.1-9.0 (ปริมาณ TOC ของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในสูตร 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเป็น 8.1, 9.0, 9.0 และ 8.7% ตามลำดับ) โดยช่วงที่มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนคาร์บอนไปอยู่ในรูปสารละลายน้ำมากขึ้น ส่วนปริมาณคาร์บอนที่พบมีค่าลดลงเกิดจากจุลินทรีย์นำคาร์บอนไปใช้ในการเจริญเติบโตและอาจเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกสู่บรรยากาศ (ธันวดี, 2543) ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าตลอดระยะเวลาการหมัก ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 2 มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าสูตรอื่นๆ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (%) ±SD			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	9.1 ± 0.06	10.2 ± 0.02	6.0± 0.02	5.6 ± 0.02
7	8.3 ± 0.01	4.5 ± 0.09	8.3 ± 0.03	8.1 ±0.06
14	8.6 ± 0.08	5.8 ± 0.07	9.1 ± 0.04	8.6 ± 0.04
21	8.1 ± 0.04	9.0 ± 0.09	9.0 ±0.01	8.7 ± 0.06
Range	8.1-9.1	4.5-10.2	6.0-9.1	5.6-8.7



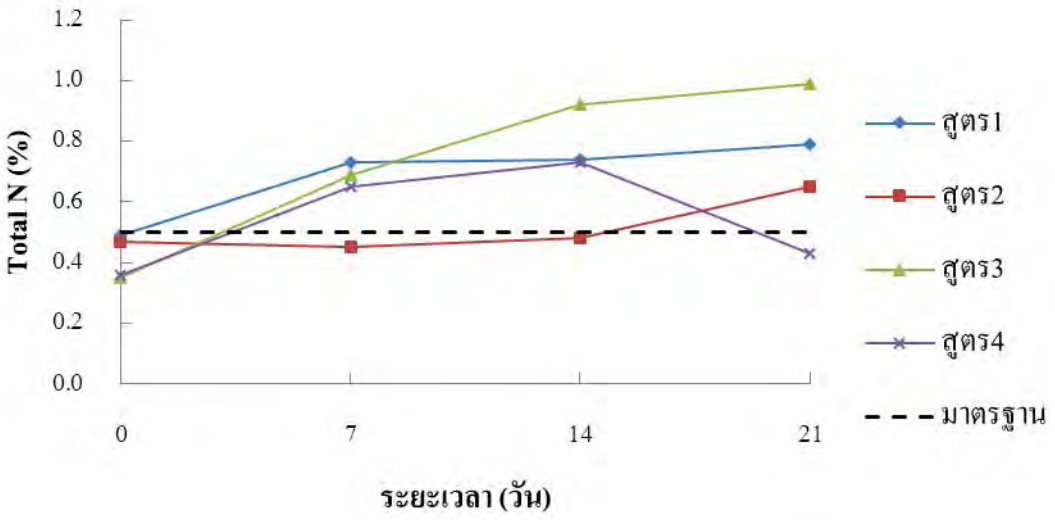
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอน (TOC) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (%)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	0.49	0.47	0.35	0.36
7	0.73	0.45	0.69	0.65
14	0.74	0.48	0.92	0.73
21	0.79	0.56	0.99	0.43
Range	0.49-0.79	0.45-0.65	0.35-0.99	0.36-0.73



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4สูตร

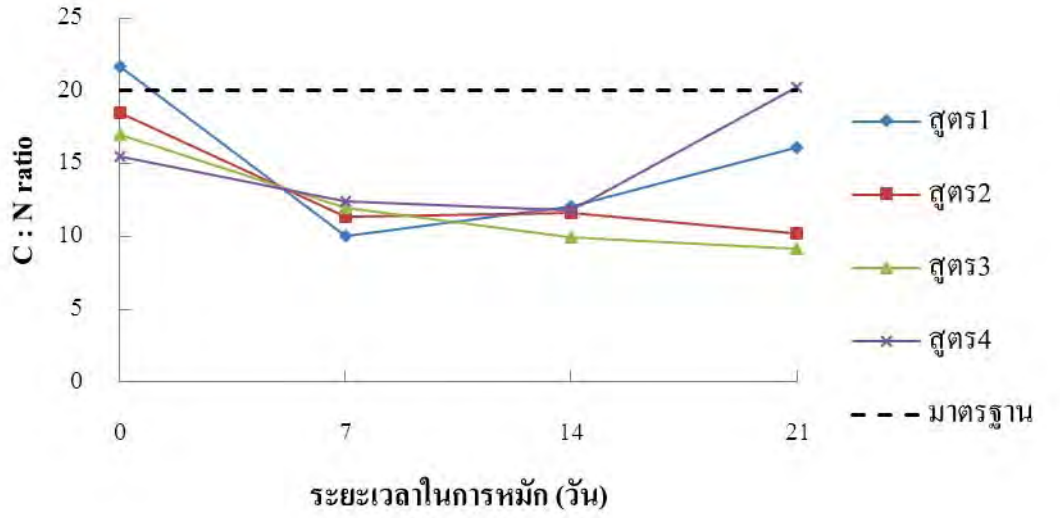
พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตรในวันแรกมีปริมาณเท่ากับ 0.49%, 0.47%, 0.35% และ 0.36% ตามลำดับแล้วค่าไนโตรเจนทั้งหมดค่อยๆ เพิ่มขึ้นดังผลที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ 14 ของการหมักเนื่องจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในน้ำหมักชีวภาพเป็นจุลินทรีย์จำพวกที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศที่มีอยู่อย่างอิสระซึ่งสามารถเจริญได้ทั้งที่ที่มีอากาศถ่ายเทดี (aerobic bacteria) และในสภาพอับอากาศ (anaerobic bacteria) และกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ในรูปที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนขึ้นมาในระหว่างการย่อยสลายวัสดุหมัก (วีณารัตน์, 2553) เมื่อสิ้นสุดการหมัก (21 วัน) ส่วนใหญ่ คือ สูตร 1, 2 และ 3 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดยังคงเพิ่มขึ้น ยกเว้นสูตร 4 ที่ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่กลับมีค่าลงลงกว่าในวันที่ 14 ของการหมัก โดยยังไม่ชัดเจนว่าเนื่องมาจากสาเหตุใด

4.7 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N Ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักระหว่างการหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	18.49	21.68	17.03	15.53
7	11.36	10.02	11.97	12.42
14	11.64	12.04	9.92	11.81
21	10.23	16.09	9.13	20.26
Range	10.23-18.49	10.02-21.68	9.13-17.03	11.81-20.26



รูปที่ 4.6 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N ratio) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

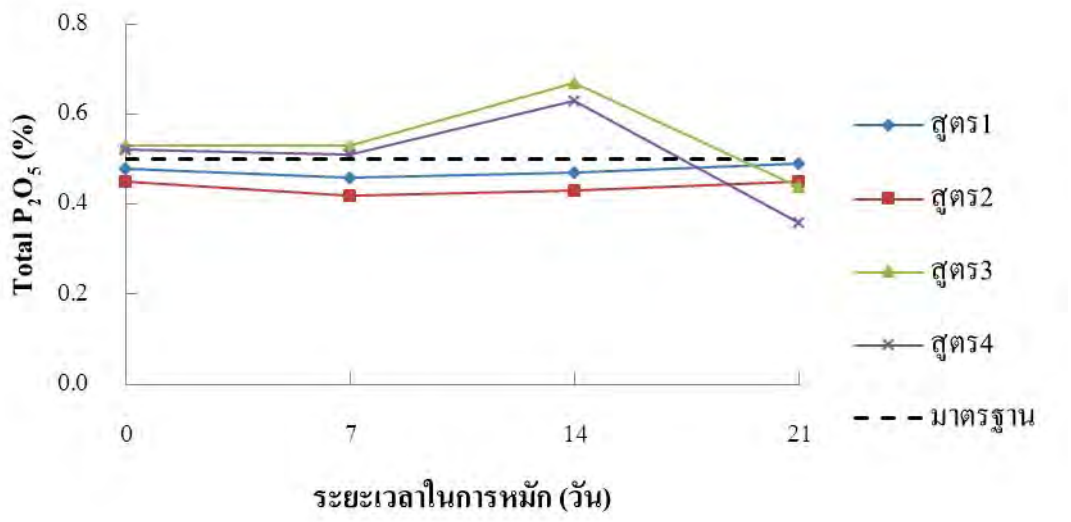
พบว่าในวันแรกของการหมักสูตร 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเป็น 18.49, 21.68, 17.03 และ 16.08 ตามลำดับเมื่อผ่านการหมักได้ 7 วันค่าลดลงเป็น 11.36, 10.02, 11.97 และ 10.22 ตามลำดับ และวันที่ 14 ของการหมักสูตร 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนสูตร 3 และ 4 มีค่าลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก (21วัน) ค่า C : N ของสูตรต่างๆที่ทดลองมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ สูตร 3 < สูตร 1 <สูตร 2 < สูตร 4

4.8 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแสดงในตารางที่ 4.8และรูปที่ 4.7 สูตร 1 และ 2 มีค่าฟอสฟอรัสไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ส่วนสูตร 3 และ 4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ ค่าฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 14 แล้วลดลงอีกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยค่าฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นเนื่องมาจากการย่อยสลายของเศษผักและผลไม้ที่ใส่ลงไปหลังจากการหมักไปแล้ว 7 วัน

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (%)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	0.48	0.45	0.53	0.52
7	0.46	0.42	0.53	0.51
14	0.47	0.43	0.67	0.63
21	0.49	0.45	0.44	0.36
Range	0.46-0.49	0.42-0.45	0.44-0.67	0.36-0.63



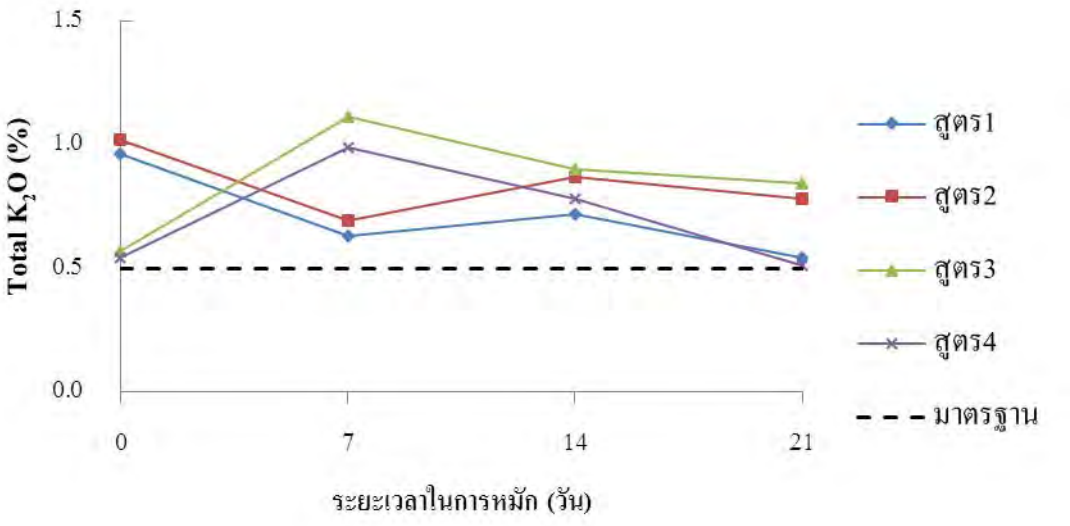
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

4.9 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (%)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
0	0.96	1.02	0.57	0.54
7	0.63	0.69	1.11	0.99
14	0.72	0.87	0.9	0.78
21	0.54	0.78	0.84	0.51
Range	0.54-0.96	0.69-1.02	0.57-1.11	0.51-0.99



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

สูตร 1 และ 2 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกันคือ ค่าโพแทสเซียมลดลงในวันที่ 7 ต่อมาเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 แล้วลดลงอีกในวันที่ 21 ส่วนสูตร 3 และ 4 ก็มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกันคือ ค่าโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 แล้วลดลงเรื่อยๆ ในวันที่ 14 และ 21 ตามลำดับ

4.10 ปริมาณโซเดียม (Na) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทุกสูตรเมื่อสิ้นสุดการหมัก (ตารางที่ 4.10) พบว่าระยะเวลาการหมักที่นานขึ้นทำให้ปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการย่อยสลายวัสดุที่ใช้ในการหมักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตร 1, 2 และ 3

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณโซเดียม (Na) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโซเดียมในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (%) ±SD			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
วันแรก	6.47± 0.24	0.62± 0.01	0.50± 0.0	0.49± 0.01
วันสุดท้าย	10.12± 0.27	5.39± 0.09	6.87± 0.84	0.65± 0.0
Range	6.47-10.12	0.62-5.39	0.50-6.87	0.49-0.65

4.11 ปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metals) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรแสดงดังในตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อผ่านการหมัก 21 วันสารหนู (As) มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกสูตร ตรวจพบโครเมียม (Cr) มีปริมาณลดลงในสูตรที่ 1 และ 2 แต่ในสูตรที่ 3 พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณทองแดง (Cu) พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นในสูตรที่ 1, 3 และ 4ส่วนในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2 กลับมีปริมาณทองแดงลดลง ส่วนตะกั่ว (Pb) มีปริมาณลดลงในสูตรที่ 3 และ 4 สำหรับปริมาณปรอท (Hg) สูตรที่ 1 และ 3 มีปริมาณเพิ่มขึ้น และในสูตรที่ 2 มีปริมาณลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้ สำหรับสังกะสี (Zn) พบว่าในถังสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณลดลง แต่ปริมาณสังกะสี (Zn) ในสูตรที่ 3 และ 4 กลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น

เนื่องมาจากวันแรกยังไม่เกิดการกระบวนการหมัก ต่อมาจึงเกิดกระบวนการหมัก และเมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดในวันที่ 21 พบว่าปริมาณโลหะหนักของวันสุดท้ายของการหมักมีปริมาณสูงขึ้นกว่าวันแรก อีกทั้งกระบวนการหมักจะทำให้ภายในถังหมักมีสภาวะเป็นกรดทำให้โลหะหนักถูกสกัดออกมาจากวัตถุดิบมากขึ้น นอกจากนี้วัตถุดิบที่นำมาทำการหมักอาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักจากแหล่งต่างๆด้วยเช่นอาจมีโลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่ปลาทะเลอยู่

อาศัย หรืออาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักจากกระบวนการเพาะเลี้ยงปลาในบ่อ จึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในเศษปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักในงานวิจัยนี้ รวมทั้งเศษผักและผลไม้ที่ใช้ในการวิจัยนี้ก็อาจปนเปื้อนโลหะหนักจากสารฆ่าแมลงที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตผักและผลไม้ดังกล่าว

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพวันแรกและวันสุดท้ายของการหมักทั้ง 4 สูตร

โลหะหนัก	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ (mg/L) ±SD							
	สูตร 1		สูตร 2		สูตร 3		สูตร4	
	วันแรก	สุดท้าย	วันแรก	สุดท้าย	วันแรก	สุดท้าย	วันแรก	สุดท้าย
As	0.109±0.0	0.140±0.01	0.254±0.0	0.275±0.01	0.096±0.0	0.198±0.01	0.055±0.0	0.079±0.0
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	0.06±0.0	-	0.12±0.0	0.01±0.01	-	0.02±0.0	-	-
Cu	1.36±0.03	1.55±0.04	1.45±0.08	1.02±0.01	0.85±0.0	1.00±0.09	0.90±0.01	1.42±0.01
Pb	-	-	-	-	0.01±0.01	-	0.02±0.02	-
Hg	-	0.017±0.0	0.169±0.02	0.154±0.0	-	0.129±0.01	-	-
Zn	3.36±0.11	2.62±0.06	3.98±0.05	3.02±0.07	3.10±0.15	4.43±0.08	3.02±0.05	5.36±0.11

หมายเหตุ – หมายถึงตรวจไม่พบ (Cd < 0.001 mg/L, Cr < 0.004 mg/L, Pb < 0.014mg/L, Hg = 0.002 mg/L)

4.12 ปริมาณฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (Gibberellins; Gibberellic acid : GA3) ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณจิบเบอเรลลินในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรแสดงดังในตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 21) สูตร 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณ GA3 เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตร 3 และ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมากกว่าสูตร 1 และ 2

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตร

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าเฉลี่ยปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 ในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในถังหมัก (mg/L) ±SD			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
วันแรก	0.42± 0	1.24± 0	1.93± 0	3.42± 0
วันสุดท้าย	9.11± 0	19.55± 0	37.45± 0	52.92± 0
Range	0.42-9.11	1.24-19.55	1.93-37.45	3.42-52.92

4.13 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตรกับค่ามาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเมื่อสิ้นสุดการหมักในเวลา 21 วัน ทั้ง 4 สูตร แสดงดังในตารางที่ 4.13

จากตารางที่ 4.13 สำหรับค่า N, P และ K พบว่ามีเพียงสูตร 1, 2, 3 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยสูตร 3 มีค่า N และ K สูงกว่าอีก 3 สูตร

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N ratio) มีเพียงสูตรที่ 1, 2 และ 3 เท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ปริมาณโซเดียมไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานยกเว้นสูตรที่ 4 แต่ทุกสูตรมีค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมดอย่างไรก็ตาม สูตร 3 และ 4 นับว่ามีค่า pH ยังใกล้เคียงค่ามาตรฐานมากกว่าสูตร 1 และ 2 ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547)

ปริมาณ GA3 ในทุกสูตรมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐาน และสูตร 3 และ 4 มีค่าสูงมากกว่าสูตรที่ 1 และ 2 อย่างมาก โดยสูตรที่ 4 มีค่า GA3 สูงถึง 52.92 mg/L

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบสมบัติของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 4 สูตรกับค่ามาตรฐาน

ลำดับที่	สมบัติ	ค่ามาตรฐาน	ค่าของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ			
			สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
1	Total N (%)	≥ 0.5 %	0.79	0.56	0.99	0.43
	Total P_2O_5 (%)	≥ 0.5 %	0.49	0.45	0.44	0.36
	Total K_2O (%)	≥ 0.5 %	0.54	0.78	0.84	0.51
2	C : N Ratio	≤ 20:1	10.23	16.09	9.13	20.26
3	EC (dS/m)	≤ 10* ≤ 20**	23.60	22.40	24.10	20.20
4	Na (%)	≤ 1%	10.12	5.39	6.87	0.65
5	pH	≤ 4.0	4.30	4.40	4.20	4.00
6	GA3 (mg/L)	≥ 5.0	9.11	19.55	37.45	52.92
7	- As (mg/L)	≤ 0.25	0.140	0.275	0.198	0.079
	- Cd (mg/L)	≤ 0.03	-	-	-	-
	- Cr (mg/L)	≤ 0.50	-	0.01	0.02	-
	- Cu (mg/L)	≤ 1.00	1.55	1.02	1.00	1.42
	- Pb (mg/L)	≤ 0.20	-	-	-	-
	- Hg (mg/L)	≤ 0.005	0.017	0.154	0.129	-
	- Zn (mg/L)	≤ 5.00	2.62	3.02	4.43	5.36

หมายเหตุ – หมายถึง ตรวจไม่พบ (Cd < 0.001 mg/L, Cr < 0.004 mg/L, Pb < 0.014 mg/L, Hg = 0.002 mg/L)

* หมายถึง ค่ามาตรฐานของกลุ่มควบคุมปุ๋ย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550)

** หมายถึง ค่ามาตรฐานของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547)

สำหรับปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้จากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ หากพิจารณาจากชนิดของโลหะหนักที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน พบว่า สูตร 3 มีสมบัติดีที่สุด คือมีแค่ Hg เท่านั้นที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานรองลงมา คือ สูตรที่ 1 และ 4 ที่มีชนิดของโลหะหนักที่เกินกว่าค่ามาตรฐานเท่ากันคือ 2 ชนิด โดยสูตรที่ 1 มีปริมาณ Cu และ Hg เกินกว่าค่ามาตรฐาน และสูตรที่ 4 มีปริมาณ Cu และ Zn เกินกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนสูตร 2 มีชนิดของโลหะหนักที่เกินกว่าค่ามาตรฐานมากที่สุด คือ 3 ชนิด ได้แก่ As, Cu และ Hg

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเป็นระยะเวลา 21 วัน โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบและวิธีการที่ต่างกัน แล้วเปรียบเทียบลักษณะของผลผลิตที่ได้ทั้งทางด้านกายภาพและเคมีโดยอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย มี 2 อัตราส่วน คือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 3 : 1 (สำหรับสูตร 1 และ 3) และ 2 : 2 (สำหรับสูตร 2 และ 4) ส่วนวิธีการที่ใช้ในการวิจัยมี 2 วิธีการคือ ใส่ส่วนประกอบทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการผลิต (สำหรับสูตร 1 และ 2) และเติมเศษผักและผลไม้เมื่อเริ่มเข้าระยะที่ 2 ของการหมักประมาณวันที่ 7 ของการหมัก (สำหรับสูตร 3 และ 4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทางด้านกายภาพ คือ อุณหภูมิ และ EC ลักษณะทางเคมี ได้แก่ pH, total N, total P_2O_5, total K_2O, OC, C : N ratio, Na, heavy metal ลักษณะทางชีวภาพ คือ ฮอร์โมนพืช GA3

เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า ทั้ง 4 สูตรของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณสารอาหารหลักและปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากกว่าค่ามาตรฐาน โดยสูตร 3 มีปริมาณ total N และ total K_2O มากกว่าสูตร 1, 2 และ 4 ส่วนสูตร 4 มีปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากกว่าทุกสูตรโดยมีปริมาณสูงถึง 52.92 mg/L เมื่อพิจารณาจากปริมาณโลหะหนัก พบว่า สูตร 3 มีสมบัติดีที่สุด คือ มีแค่ปรอท (Hg) เท่านั้นที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน คือมีปริมาณ 0.129 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 0.005 mg/L) รองลงมาที่พบว่ามีค่าโลหะหนักเกินกว่ามาตรฐาน 2 ชนิด คือ สูตร 1 มีทองแดง (Cu) 1.55 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 1.00 mg/L) และปรอท (Hg) 0.017 (ค่ามาตรฐาน ≤ 0.005 mg/L) และสูตร 4 พบว่ามีค่าโลหะหนักเกินกว่ามาตรฐาน 2 ชนิด คือมีทองแดง (Cu) 1.42 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 1.00 mg/L) และสังกะสี (Zn) 5.36 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 5.00 mg/L) ส่วนสูตร 2 มีชนิดของโลหะหนักที่เกินกว่าค่ามาตรฐานมากที่สุด คือ 3 ชนิด ได้แก่สารหนู (As) 0.275 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 0.25 mg/L) ทองแดง (Cu) 1.02 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 1.00 mg/L) และปรอท (Hg) 0.154 mg/L (ค่ามาตรฐาน ≤ 0.005 mg/L)

เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ในการผลิต อัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ในการวิจัยมี 2 อัตราส่วน คือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 3 : 1 (สำหรับสูตร 1 และ 3) และ 2 : 2 (สำหรับ

สูตร 2 และ 4) พบว่าทุกสูตรมีปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 เมื่อเทียบระหว่างวิธีการหมักที่เหมือนกัน พบว่า GA3 จะมีปริมาณมากในสูตรที่ใช้อัตราส่วนของเศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 2 : 2 คือสูตร 2 มีปริมาณ GA3 มากกว่าสูตร 1 (สูตร 2 เท่ากับ 19.55 mg/L และสูตร 1 เท่ากับ 9.11 mg/L) และสูตร 4 มีปริมาณ GA3 มากกว่าสูตร 3 (สูตร 4 เท่ากับ 52.92 mg/L และสูตร 3 เท่ากับ 37.45 mg/L)

เมื่อพิจารณาจากวิธีการที่ใช้ในการผลิต พบว่า วิธีการหมักปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพโดยการเติมเศษผักและเศษผลไม้เมื่อการหมักได้เริ่มเข้าระยะที่ 2 ของการหมัก (ประมาณวันที่ 7 ของการหมัก) คือสูตรที่ 3 และ 4 จะมีปริมาณธาตุอาหารหลัก และปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากกว่าวิธีการหมักที่ใส่ส่วนประกอบทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ คือ สูตรที่ 1 และ 2 โดยสูตรที่ 3 ให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุดคือ total N 0.99%, total P_2O_5 0.73% และ total K_2O 0.84% และสูตรที่ 4 จะให้ปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากที่สุดคือ 52.92 mg/L

เมื่อพิจารณาทั้งอัตราส่วนของวัสดุ และวิธีการที่ใช้ในการผลิตแล้ว พบว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ total N 0.99%, total P_2O_5 0.73% และ total K_2O 0.84% มีปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 37.45 mg/L ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (ค่ามาตรฐาน $\geq$ 5.0 mg/L) ดังนั้นการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่แนะนำคือการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ซึ่งอัตราส่วนของวัสดุคือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้เป็น 3 : 1 และควรเติมผักและผลไม้ เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก (ประมาณวันที่ 7 ของการหมัก)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่น่าจะช่วยให้สามารถสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของผลการทดลองได้ชัดเจนยิ่งขึ้น คือควรเพิ่มความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

(1) ค่า N, P, Kควรวิเคราะห์ทุกวัน

(2) ค่า ฮอร์โมนพืช GA3 ควรจะวิเคราะห์ทุกๆ 7 วัน

(3) ค่า heavy metals ควรวิเคราะห์ทุกๆ 7 วัน

(4) อีกทั้งควรวิเคราะห์ปริมาณheavy metals ในวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักชีวภาพด้วย เพื่อจะช่วยให้ทราบได้ว่ามีการปนเปื้อนของ heavy metals ในวัสดุที่เลือกมาใช้หรือไม่

รายการอ้างอิง

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **ดินที่มีปัญหาธาตุเหล็กเป็นพิษในนาข้าวและการจัดการ**. บทความความรู้เรื่องการเกษตร. แหล่งที่มา:http://kasetd.com/rice_7iron.html, 2 กันยายน 2553.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปประเภทปลา.** กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2555. **ความรู้ด้าน 3 Rs**. การจัดการขยะมูลฝอย ข้อมูลและบริการ แหล่งที่มา:http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_3R.htm, 10 พฤษภาคม 2557.

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. **คู่มือการผลิตและประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ**. แหล่งที่มา:http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/component/content/article/951, 12 กันยายน 2556.

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. **สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ พด.1 พด.2 พด.3 สำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตการเกษตร.** แหล่งที่มา: http://e-library.ldd.go.th/library/Ebook/bib32.pdf, 5 ตุลาคม 2555.

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **มีอะไรในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ.** เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน (สนท. 010008-2550) แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/menu_Dataonline/G1/G1_21.pdf, 6 ธันวาคม 2553.

กรมวิชาการเกษตร. 2550. **คำแนะนำการขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร.** แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/ard/, 10 กันยายน 2556.

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **ปุ๋ยอินทรีย์**.แหล่งที่มา: http://www.doae.go.th/spp/biofertilizer/or4.htm, 29 มิถุนายน 2553.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. **กระทรวงเกษตรฯ เตรียมบรรเทาผลกระทบจากปัญหาสินค้าพืชผักขาดแคลนและมีราคาสูง.** ข่าวสารการเกษตร ข่าวประชาสัมพันธ์ แหล่งที่มา : http://www.moac.go.th/ewt_news.php?nid=10466&filename=NFC, 10 พฤษภาคม 2557.

กลุ่มควบคุมปุ๋ย สำหนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **การขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์**. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/ar, 13กันยายน 2556.

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556**. ตารางที่ 1.3 ปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมด จำแนกตามประเภทของสัตว์น้ำปี 2535-2554**. สถิติการประมง 2554. แหล่งที่มา :http://www.fisheries.go.th/it-stat/, 5 พฤษภาคม 2557.

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

จันทร์เพ็ญ ชุมแสง. 2545. **การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลเพื่อการเกษตร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2543. **การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยน้ำจากขยะเศษหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2548. **ธาตุอาหารพืช**. วิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ แหล่งที่มา: http://www.nsru.ac.th/e%2Dlearning/soil/lesson.php, 3 กันยายน 2553.

ปิยนันท์ ชมนาวัง, ชาญณรงค์ ชมนาวัง, แก้วตา สูตรสุวรรณ, มัลลิกา ธีรกุล และรัฐพล มีลาภสม. 2554. ผลของอีเอ็มต่อการผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง, น. 408-413.ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7**. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, มหาสารคาม.

ภูมิปัญญา อภิวัฒน์. 2549. **การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์จากธรรมชาติ (IMO Process from Nature).** แหล่งที่มา: http://www.budmgt.com/agri/agri01/imo-process-nature.html, 15 กันยายน 2556.

ภิรมย์ สุวรรณสม. 2551. **การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและกรดจิบเบอเรลลิก (จีเอ3) ในน้ำหมักชีวภาพ**. วิทยานพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์. 2545. **การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วีณารัตน์ มูลนัตน์. 2553. **ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตของผักโขมผัก (*Amaranthus tricolor*) ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (*Brassica campestris*var. *chinensis*) และผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatic* var. *reptans*).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สำนักงานเกษตรจังหวัดเลย. 2556. **ข้อดี ข้อด้อยและข้อควรระวังของปุ๋ยเคมี.** ข่าวเตือนการระบาดศัตรูพืช. แหล่งที่มา : http://www.loei.doae.go.th/document/อารักขา/notice_fertilizer.pdf, 5 พฤษภาคม 2557.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. **มาตรฐานสินค้าประเภทปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/link_q/standard/4.htm, 25 กุมภาพันธ์ 2552.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555.**ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี**. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตรปัจจัยการผลิต. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=146, 19 กรกฎาคม 2556.

สมพร คนยงค์. 2553. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. สำนักวิทยาบริการ มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี แหล่งที่มา: http://courseware.rmutl.ac.th/courses/53/unit000.htm, 3 กันยายน 2553

สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. **การใช้ที่ดินทางการเกษตร 2555**. สถานการณ์ปี 2557. แหล่งที่มา: http://www.agriinfo.doae.go.th, 5 พฤษภาคม 2557.

สุรชัย พัฒนพิบูล. 2546. **ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักบางชนิดในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิรักษ์ วิภสวิน. 2549**. อิทธิพลของปุ๋ยหมักและปุ๋ยอินทรีย์น้ำต่อผลผลิตของคะน้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

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

อานัฐตันโช. 2551. **บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ**. แหล่งที่มา : http://www.oknation.net/blog/kontan/2008/03/17/entry-1, 8 มกราคม 2557.

Bailey, J.E. and D.F. Ollis. 1986. **Biochemical Engineering Fundamental**.2nd ed. McGraw-Hill,Singapore.

Ngampimol, H. and V. Kunathigan. 2008. The study of shelf life for liquid biofertilizer from vegetable waste. **Assumption University Journal of Technology** 11(40): 204-208.

Paturau.J.M. 1982. By-product of the cane sugar industry. **Sugar Series** 3:167-193.

Poincelot, R. P. 1979. A scientific examination of the principles and practice of composting. **Compost Science** 15(3): 21-31.

Sriwuryandari, L. and T. Sembiring. 2010. Liquid biofertilizer and compost from organic market waste. **Teknologi Indonesia** 33(2): 86-91.

Uparivong, S. (2012). Bioclean and liquid biofertilizers a new way to the green area. **International Journal of GEOMATE** 2(1): 144-147.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวณัฐมณ ขวัญไชย
ที่อยู่	2 ซอยบางแวก 2 แยก 10 แขวงคูหาสวรรค์ เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160
โทรศัพท์	087-409-4656
E-mail address	k-nattamon@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548	สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์ศาสตร์บัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ศาสตร์ มหาลัยรามคำแหง
พ.ศ. 2552	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2550	พนักงานวิทยาศาสตร์ หน่วยปฏิบัติการเคมีและวิเคราะห์ข้อมูล งานบำบัดน้ำเสีย โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพ
พ.ศ. 2554	นักวิทยาศาสตร์ บริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด