การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด

นางสาวชวัลพร อินทร์จันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Production Of Bioextract Using Polylactic Acid Bioplastic

Miss Chawanporn Inchan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด
โดย	นางสาวชวัลพร อินทร์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. มณีรัตน์ องค์วรรณดี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชวัลพร อินทร์จันทร์ : การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด (Production Of Bioextract Using Polylactic Acid Bioplastic) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพ PLA โดยหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม (ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก) โดยทำการผลิตน้ำหมักชีวภาพทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง ในอัตราส่วนของเศษอาหารหรือเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ PLA ได้แก่ อัตราส่วน 1:0 1:1 1:2 2:1 และพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว โดยแต่ละชุดการทดลองได้ทำการศึกษาจำนวน 2 ซ้ำ ทำการหมักเป็นระยะเวลา 21 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หา ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย ค่าซีโอดี หาดัชนีการงอกของเมล็ด และนำน้ำหมักชีวภาพมาปลูกต้นผักบุ้ง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ส่วนการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ PLA จะวิเคราะห์ด้วยการส่องกล้อง SEM การชั่งน้ำหนักก่อน-หลัง ผลการทดลองพบว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร ค่าปริมาณธาตุอาหารหลักนั้นต่ำกว่ามาตรฐานแต่สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของผักบุ้งได้ โดยอัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด 2:1 ทำให้ต้นผักบุ้งมีการเจริญเติบโตมากที่สุด และจากการชั่งน้ำหนักแผ่นพลาสติกชีวภาพ พบว่าน้ำหนักลดลง ร้อยละ 2.05 เมื่อส่องกล้อง SEM พบว่าพื้นผิวพลาสติกเกิดการถูกทำลายเท่ากับอัตราส่วน 1:2 ส่วนน้ำหมักชีวภาพที่ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก พบว่า น้ำหมักชีวภาพไม่ได้มาตรฐาน โดยมีค่าพีเอชและปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำกว่ามาตรฐาน พลาสติกชีวภาพ PLA ย่อยสลายได้น้อยจากค่าน้ำหนักที่ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 0.01 นอกจากนั้น เมื่อนำไปปลูกผักบุ้งพบว่าอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และน้ำหมักชีวภาพที่ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว พบว่า น้ำหมักชีวภาพไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำ พลาสติกชีวภาพ PLA ย่อยสลายได้น้อยจากค่าน้ำหนักที่ลดลงเพียงร้อยละ 0.14 และเมื่อนำไปทดลองปลูกผักบุ้ง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5670160121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS:

CHAWANPORN INCHAN: Production Of Bioextract Using Polylactic Acid Bioplastic. ADVISOR: ASSOC. PROF.ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 108 pp.

This research investigated the feasibility of using bioplastic polylactic acids (PLA) food waste and vegetable waste for producing bioextract. Bioplastic (PLA) was obtained from Vandapac Industry and Food waste was collected from a canteen at Chulalongkorn University. The study was performed at 5 different ratio of bioplastic (PLA) food waste and vegetable as 1:1 1:0 1:2 2:1 and 0:1, respectively. Five anaerobic digestion reactors were fed by various ratios of bioplastic (PLA) food waste and vegetable waste at reaction time of 21 days. The bioextract produced from the reactiors was collected and analyzed for major nutrients for plantation namely nitrogen, phosphorus and potassium pH EC VFA and Germination index. Results showed that chemical oxygen demand (COD) of the bioextract gradually decreased within 14 days. While the pH of the fermentation reactor was drop within the first week and then then gradually increased during the 21-day period. It was observed that the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in bioextract were increased with the ratio of PLA and food waste. Finally, the results of seed germination test with bioextract showed that all bioextract from various mixtures could meet the organic fertilizer standard requiremets of Thailand. PLA can be used in co-digestion material produced of bioextract.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Environmental Engineering	Student's Signature	.....
		Advisor's Signature	.....
Field of Study:	Environmental Engineering		
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจาก

รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งท่านประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้และอธิบายในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ กรมพัฒนาที่ดินที่ได้ให้ข้อมูลและหัวเชื้อในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อนๆพี่ๆ ที่ห้องปฏิบัติการและทุกๆท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงที่ได้คอยช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านคำปรึกษา ด้านกำลังใจในการทำงาน และความปราถนาดีที่มอบให้เสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญรูปภาพ.....ญ

สารบัญตาราง.....ฐ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.3.1 ขอบเขตของวิธีการศึกษา.....2

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่.....3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 น้ำหมักชีวภาพ.....4

2.2 ประเภทของน้ำหมักชีวภาพ.....4

2.3 กระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพ.....4

2.4.2 ปัจจัยทางด้านชีวภาพ.....8

2.5 คุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพ.....11

2.6 ธาตุอาหารของพืช.....13

2.7 ลักษณะน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ได้แล้ว.....14

2.8 มาตรฐานของน้ำหมักชีวภาพ.....14

2.9 ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ.....15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.10 กากน้ำตาล 17
2.11 สารเร่ง พด.2 17
2.12 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง 18
2.13 เศษอาหาร 19
2.14 เศษผัก 19
2.15 พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือ พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) 20
2.16 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ 21
2.17 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ 22
2.18 เทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ 24
2.19 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ 26
2.20 พอลิแลกไทด์ (Polylactide) หรือ พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid : PLA) 28
2.21 โครงสร้างของพอลิแลกไทด์ (PLA) 28
2.22 คุณสมบัติของพอลิแลกไทด์ 29
2.23 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิแลกไทด์ 29
2.24 การนำไปใช้ประโยชน์ 30
2.25 ข้อดีของพอลิแลกติกแอซิด 31
2.26 ข้อเสียของพอลิแลกติกแอซิด 31
2.27 เทคนิคและวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย 31
2.29 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหมักชีวภาพ 35
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ 38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1 แผนงานการวิจัย 47
3.2 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 47
3.3 แนวทางการดำเนินงานวิจัย 48
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....51
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและธาตุอาหารหลักต่างๆ.....54
3.6 การดำเนินงานวิจัย.....55
3.7 ตัวแปรในการทำวิจัย.....58
3.8 การวิเคราะห์ผล 59
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 60
4.1 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษอาหาร ที่มีผลต่อคุณสมบัติน้ำหมักชีวภาพ 60
4.2 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษผัก ที่มีผลต่อน้ำหมักชีวภาพ 68
4.3 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีการบดละเอียดต่อเศษอาหารที่มีผลต่อน้ำหมักชีวภาพ 74
4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหมักชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่น และแบบบดละเอียด.....80
4.5 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้ง.....81
4.6 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ.....83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 87
รายการอ้างอิง 89
ภาคผนวก.....92
ภาคผนวก ก การคำนวณวัสดุหมัก 93
ภาคผนวก ข ผลวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ 98
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ดัชนีการงอกของเมล็ด..... 105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ 5

รูปที่ 2.2 วัฏจักรพลาสติกชีวภาพ 22

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตแก้ว Ingeo ของบริษัทแวนด้าแพค จำกัด 34

รูปที่ 3.1 แผนภาพแนวทางการดำเนินงานวิจัย 49

รูปที่ 3.2 แผนภาพแนวทางการดำเนินงานวิจัย 50

รูปที่ 3.3 แก้วพลาสติกชีวภาพ 51

รูปที่ 3.4 แก้วพลาสติกชีวภาพที่นำมาตัดให้ได้ขนาด 1x1 ซม. 51

รูปที่ 3.5 แก้วพลาสติกชีวภาพที่บดละเอียด 52

รูปที่ 3.6 ถังหมักขนาด 5 ลิตร 52

รูปที่ 3.7 สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 53

รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร.60

รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร 61

รูปที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร 62

รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร.63

รูปที่ 4.5 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร 64

รูปที่ 4.6 น้ำหนักแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA 65

รูปที่ 4.7 พลาสติกชีวภาพ PLA ตัวอย่าง 65

รูปที่ 4.8 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน F:P 1:2 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.9 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน F:P 2:1.....66

รูปที่ 4.10 พลาสติกชีวภาพ PLA ในน้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียว.....66

รูปที่ 4.11 ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติก PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร.....67

รูปที่ 4.12 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก.....68

รูปที่ 4.13 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก.....69

รูปที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก.....70

รูปที่ 4.15 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก 70

รูปที่ 4.16 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก 71

รูปที่ 4.17 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน V:P 1:1.....72

รูปที่ 4.18 ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติก PLA หมักร่วมกับเศษผัก.....72

รูปที่ 4.19 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร.....74

รูปที่ 4.20 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร.....75

รูปที่ 4.21 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร 76

รูปที่ 4.22 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร.....77

รูปที่ 4.23 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร 78

รูปที่ 4.24 น้ำหนักแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียด 79

รูปที่ 4.25 ดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่พลาสติกชีวภาพ PLA บดละเอียดหมักรวมกับวัสดุหมักรวม 79

รูปที่ 4.26 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีนในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA ชนิดแผ่น 81

รูปที่ 4.27 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีนในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด.....82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 15

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของกากน้ำตาล 17

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหมักชีวภาพ 41

ตารางที่ 2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ 45

ตารางที่ 3.1 การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA และวัสดุหมักร่วม 54

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษอาหาร 55

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษผัก 55

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมระหว่างพลาสติกชีวภาพบดละเอียดกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษอาหาร 56

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรในการทดลอง 58

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพ 59

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักรวมกับวัสดุหมักร่วมกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร 73

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหมักชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่น และแบบบดละเอียด 80

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์จะเห็นได้ว่าพลาสติกเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากโดยสังเกตจากผลิตภัณฑ์ต่างๆเกือบทุกชนิดที่บริโภคนั้นต่างผลิตมาจากพลาสติกและมีแนวโน้มที่ความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกจะเพิ่มมากขึ้น แต่ปัจจุบันนี้มีอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมและหันมาตื่นตัวกันมากขึ้น คือการใช้พลาสติกชีวภาพแทนการใช้พลาสติกทั่วไป สำหรับพลาสติกชีวภาพนั้น คือพลาสติกที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตมาจากพืช และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จากการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย หรือเรียกอีกอย่างว่าพลาสติกย่อยสลายได้ เป็นการออกแบบพลาสติกที่มีโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด เป็นเหตุให้สมบัติต่างๆของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ (ISO 472:1998) โดยหนึ่งในพลาสติกชีวภาพที่นิยมใช้คือ พลาสติกชีวภาพประเภท พอลิแลคติกแอซิดซึ่งเป็นพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการหมักโดยใช้วัตถุดิบจากพืชพวกแป้ง เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หัวบีท หรือขยะทางชีวภาพ เป็นต้น ในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพชนิดย่อยสลายได้นั้น จะต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่านั้น นั่นคือต้องเป็นสภาพแวดล้อมที่มีจุลินทรีย์อยู่ด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นกับการผสม การเติมสารเติมแต่งที่อาจจะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้น หากตั้งแก้วน้ำที่ทำจากพลาสติกชีวภาพไว้ในห้องเป็นระยะเวลาหนึ่ง แก้วน้ำพลาสติกชีวภาพจะไม่ย่อยสลายหายไปจนกว่าจะถูกนำไปฝังกลบในดินที่มีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ หรือทิ้งรวมกับขยะชีวภาพ หรือในโรงหมักที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหมักของจุลินทรีย์ โดยใช้เวลาในการย่อยสลายไม่กี่เดือน

สำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกนั้นมีประมาณ 1 ล้านตันต่อปี โดยอยู่ในทวีปอเมริกา 46% เอเชีย 35% และยุโรป 19% ซึ่งคาดว่าในปี 2016-2020 กำลังการผลิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 5-6 ล้านตันต่อปี โดยกำลังการผลิตในเอเชียจะเพิ่มขึ้นเป็น 46% ทวีปอเมริกา 49% และยุโรป 5% (EUBP Facts Figures Bioplastics 2013) โดยสัดส่วนของพลาสติกชีวภาพเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไปนั้นมีเพียง 1% และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 2-3% ในปี 2020 จากปริมาณการใช้ทั่วโลกมากกว่า 300 ล้านตัน ส่วนในประเทศไทยนั้น ในกลุ่มผู้ประกอบการที่เป็นสมาชิกสมาคมพลาสติกชีวภาพแห่งประเทศไทยทั้งหมด 64 ราย มีผู้ประกอบการที่ผลิตพลาสติกชีวภาพประมาณ 10 ราย โดยนำเข้าเม็ดพลาสติกชีวภาพจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด แล้วนำมาผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร โดยสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างหลากหลาย

การกำจัดขยะอินทรีย์ส่วนมากใช้วิธีในการทำปุ๋ยหมักชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งเกิดจากการนำวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นไปหมักกับกากน้ำตาล ซึ่งในแต่ละท้องถิ่นจะมีการผลิตและการนำไปใช้แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของวัตถุดิบ กรรมวิธีในการหมัก ระยะเวลาที่หมัก วัตถุประสงค์ในการใช้ โดยกระบวนการที่เกิดขึ้น จุลินทรีย์ต่างๆที่ต้องการและไม่ต้องการออกซิเจนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน ผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆให้มีโมเลกุลเล็กลง บางส่วนถูกนำไปสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนที่เหลือจะปะปนในของเหลวอินทรีย์ต่างๆ ธาตุอาหารพืช และเศษชิ้นส่วนวัสดุที่นำมาหมัก

ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีการศึกษาถึงการนำเศษพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดมาใช้ประโยชน์โดยการทำน้ำหมักชีวภาพ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้พลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ และการใช้พลาสติกชีวภาพร่วมกับเศษอาหาร และศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการพัฒนาน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดให้มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานที่กำหนดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดและเศษอาหารและเศษผักต่อการผลิตน้ำหมักชีวภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตของวิธีการศึกษา

1.3.1.1 แผ่นพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดเป็นตัวแทนของแก้วพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร วัสดุหมักร่วมกับพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดมี 2 ชนิด คือ เศษอาหารและเศษผัก

1.3.1.2 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์จาก ค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ (COD) ปริมาณไนโตรเจน (TKN) ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O) และกรดแลคติก

1.3.1.3ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพกับเมล็ดพืช โดยใช้ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (Germination Index) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตได้ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดและผักบุ้ง

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินการทดลอง ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.4.1 ได้แนวทางการจัดการเศษพลาสติกชีวภาพโดยเพิ่มมูลค่าของเสียและลดการกำจัดโดยการนำไปฝังกลบ

1.4.2 ทราบศักยภาพการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพชนิด PLA จากการหมักร่วมกับเศษอาหารและเศษผักโดยการปรับสภาพเบื้องต้นในอัตราส่วนต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพ คือ การนำพืช ผัก ผลไม้ สัตว์ต่างๆ มาหมักกับกากน้ำตาล ที่เป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับจุลินทรีย์ในระบบ การหมักมี 2 แบบ คือ แบบต้องการออกซิเจน และแบบไม่ต้องการออกซิเจน จุลินทรีย์จะใช้สารเหล่านี้ในการเพิ่มจำนวนและชนิด ซึ่งจะไปช่วยสลายธาตุอาหารต่างๆที่อยู่ในพืช ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น คุณภาพของน้ำหมักชีวภาพขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ จุลินทรีย์ที่มีในกระบวนการหมัก สภาพแวดล้อมในการหมักและระยะเวลาในการหมัก เป็นต้น

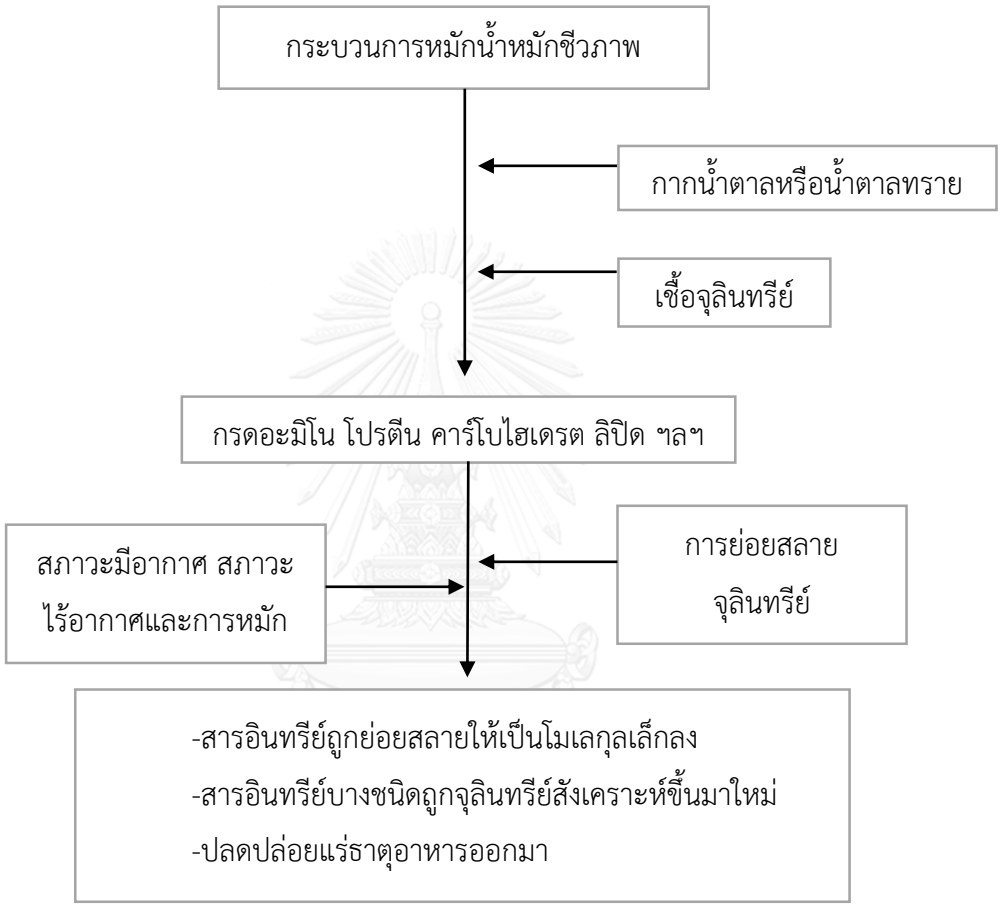
2.2 ประเภทของน้ำหมักชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท (วิทยวัฒน์ กุญชร ณ อยุธยา, 2544)

1. สารอินทรีย์สกัดจากพืชผักหรือน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืชผัก โดยการนำเศษผักมาผสมกับกากน้ำตาล ถ้าหากผักมีขนาดใหญ่เกินไปให้สับเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาเรียงให้เป็นชั้นๆโรยน้ำตาลทับสลับกับผักหรือเทกากน้ำตาลราดเป็นชั้นๆ โดยอัตราส่วนน้ำตาลต่อเศษผักเท่ากับ 1:3 อัดผักใส่ภาชนะให้แน่น ปิดฝาภาชนะให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ในร่ม ประมาณ 3-7 วัน จะเกิดของเหลวสีน้ำตาลมีกลิ่นหอมของเกิดขึ้น
2. สารอินทรีย์สกัดจากสัตว์หรือน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ โดยการนำวัสดุเหลือใช้จากสัตว์ เช่น เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ ที่ต้องการกำจัดหรือไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือจุลินทรีย์ที่ได้จากการคัดเลือกเชื้อเพื่อนำมาใช้ย่อยสลายเนื้อสัตว์ให้เป็นน้ำสกัดชีวภาพ

2.3 กระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพ

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนพลาสโมไลซีส เป็นการเติมกากน้ำตาลเพื่อดึงน้ำเลี้ยงออกจากเซลล์พืช กล่าวคือความเข้มข้นของสารละลายในน้ำซึ่งสูงกว่าสารในเซลล์ของวัสดุหมัก ทำให้ดึงสารละลายชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเลี้ยงภายในเซลล์วัสดุหมักออกมารวมกับสารละลายในน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ ส่วนขั้นที่สองเป็นขั้นตอนจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เล็กลงเพื่ออยู่ในรูปสารอนินทรีย์ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการปล่อยธาตุอาหารออกมา และนอกจากนี้อาจมีการสังเคราะห์สารอินทรีย์บางชนิดขึ้นมาใหม่โดยจุลินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ ฮอร์โมน และเอนไซม์ต่างๆ โดยกระบวนการหมักนี้เกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศ

สำหรับการผลิตน้ำหมักชีวภาพ การใช้กากน้ำตาลร่วมในการผลิตน้ำหมักชีวภาพนั้นเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ เพราะในการผลิตน้ำหมักชีวภาพนั้นจำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายวัตถุดิบที่เป็นวัสดุหมัก และในการทำงานของจุลินทรีย์นั้นต้องใช้อาหารผลิตพลังงานในกระบวนการย่อยสลาย และอาหารที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ได้เลย เช่น กลูโคส หรือฟรุตโตส (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)



รูปที่ 2.1 กระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ

ที่มา : กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2546

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกระบวนการหมัก

2.4.1 ปัจจัยทางด้านกายภาพและเคมี

2.4.1.1 ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุ

วัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น วัสดุจากเศษกระดูกปลา จะย่อยสลายยากกว่าวัสดุผัก และผลไม้ เนื่องจากปลามีองค์ประกอบของโปรตีนและส่วนของกระดูกปลา ซึ่งจะใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น ในขณะที่วัสดุที่เป็นพืชจะใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นกว่า เนื่องจากองค์ประกอบของวัสดุหมักจากผักหรือผลไม้มีองค์ประกอบของน้ำตาลมากกว่าวัสดุประเภทเนื้อสัคว์ สารประกอบของน้ำตาลที่อยู่ในวัสดุผักและผลไม้นั้นมีประโยชน์ต่อกระบวนการหมัก ซึ่งแปรสภาพเป็นของเหลวที่ช่วยในการถนอมผลิตภัณฑ์ได้โดยผ่านกระบวนการหมัก

2.4.1.2 ความอวบของวัสดุหมัก

วัสดุที่มีความอวบน้ำ จะทำให้กระบวนการหมักทางชีวภาพ ดำเนินการย่อยได้ดี เช่น วัสดุเหลือใช้จากผักกาดขาว ฟักเขียว มะเขือเทศ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมักในสภาพที่เป็นของเหลวแล้ว ในช่วง 1-3 วันแรกของการหมักจะมีของเหลวออกมาจากวัสดุผักได้ง่าย โดยผ่านกระบวนการทางชีวเคมีหรือถ้าเป็นวัสดุเหลือใช้จากผลไม้ เช่น แตงโม มะละกอ สับปะรด และส้ม วัสดุเหลือใช้ดังกล่าวนี้มีความอวบน้ำมากและง่ายต่อการดึงสารละลายออกจากเซลล์พืชเหล่านี้ ในกรณีของวัสดุเหลือใช้ที่ได้มาจากสัตว์ เช่นปลาหรือหอย สารละลายที่จะถูกสกัดออกมาจะใช้ระยะเวลานานกว่าพืชผักและผลไม้ เนื่องจากสัตว์มีองค์ประกอบของโมเลกุลที่ซับซ้อนและแตกต่างมากกว่าในเซลล์พืช

2.4.1.3 แหล่งอาหารคาร์บอนของจุลินทรีย์

น้ำตาลถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ในการดำเนินกิจกรรมในการหมักวัสดุลักษณะสด ชนิดของน้ำตาลที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์จะได้มาจากกากน้ำตาลหรือน้ำตาลทรายแดง หรือน้ำตาลทรายขาว น้ำอ้อยสดหรือน้ำตาลสด นอกจากนี้ความเข้มข้นของน้ำตาลจะมีผลต่อการเกิดกระบวนการพาสโมไลซีสในเซลล์พืชหรือสัตว์ ซึ่งมีผลให้เซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์แตกออกได้สารละลายออกมาจากเซลล์เหล่านั้น การเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเป็นพวกยีสต์ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ กล่าวคือจะได้เอทิลแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อาจจะใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในวัสดุหมัก เช่น น้ำตาลที่อยู่ในผลไม้ชนิดต่างๆ เมื่อทำการหมักวัสดุจำพวกผลไม้ กลุ่มยีสต์จะเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้เร็วกว่าวัสดุหมักจำพวกปลาหรือผัก เพราะวัสดุผลไม้นั้นมีองค์ประกอบของน้ำตาลในปริมาณที่มากกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น ดังนั้นในการหมักวัสดุลักษณะสด อาจจะใช้วัสดุผลไม้หมักร่วมกันกับวัสดุจากสัตว์ เพื่อที่จะเร่งอัตรา

การเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์และผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์จะช่วยลดกลิ่นคาวของเศษปลาได้และทำให้การดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.4.1.4 การระบายอากาศ

โดยทั่วไป กระบวนการหมักวัสดุสดนี้ จะเกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามในการหมักวัสดุดังกล่าวควรจะมีช่องว่างเหนือผิววัสดุหมัก ซึ่งอยู่ในถังหมักประมาณ 1 ใน 4 ของปริมาตรทั้งหมด ไม่ควรปิดฝาให้สนิทและควรกวนวัสดุหมักทุก 7 วัน เพื่อเป็นการเผื่อพื้นที่สำหรับการขยายตัวของวัสดุหมักหลังจากการเกิดกิจกรรมทางชีวเคมีและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุหมักหลายกระบวนการ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้วัสดุหมักเกิดการขยายตัวหรือเกิดการดันวัสดุขึ้นมา

2.4.1.5 ค่าความเป็นกรดด่าง (ค่า pH)

ค่า pH ที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักวัสดุที่มีลักษณะสด ค่า pH ของสารละลายหรือของเหลวในวัสดุหมักที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์พวก acetic หรือ lactic bacteria จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์พวก acetic และ lactic acid ออกมาในกระบวนการหมักทำให้สารละลายมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น การที่ค่า pH ของเหลวในกระบวนการหมักเป็นเช่นนี้บ่งบอกให้ทราบว่ามีกิจกรรมเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และสังเกตได้จากมีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเริ่มต้นและระยะกลางของกระบวนการหมัก นอกจากนี้ ค่า pH ของวัสดุหมักมีความสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมการหมักวัสดุที่มีลักษณะสดด้วยเช่นกัน เนื่องจากวัสดุหมักที่ทำให้ค่า pH เป็นกรด ได้แก่ สับปะรด ส้ม มะม่วงหรือผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เมื่อใส่ร่วมกับวัสดุหมักชนิดอื่นๆจะช่วยเร่งกระบวนการหมักได้ดีขึ้นโดยสภาพความเป็นกรดของวัสดุหมักจะมีความเหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของพวกยีสต์และกลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างกรดในกระบวนการหมัก และจะเป็นสภาพที่ยับยั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักด้วย

2.4.1.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน บางชนิดต้องการอุณหภูมิสูงบางชนิดต้องการอุณหภูมิต่ำ แต่โดยทั่วไปจุลินทรีย์เจริญได้ดีในอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก ประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส

2.4.1.7 ความชื้น

การผลิตน้ำหมักชีวภาพนั้นความชื้นหรือน้ำในถังหมักต้องมีอย่างเพียงพอ แต่หากมากเกินไปนั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาพการอับอากาศ เพราะน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศ

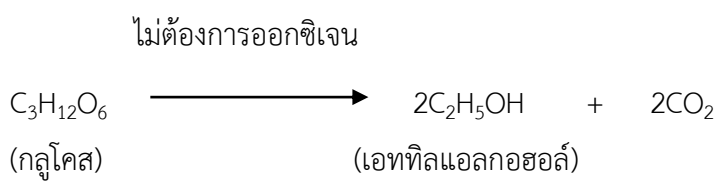
2.4.1.8 ระยะเวลาในการหมัก

สำหรับระยะเวลาในการหมักนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุหมัก ถ้าเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายและมีขนาดชิ้นเล็กจะมีระยะเวลาในการหมักที่สั้นกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่และย่อยสลายยาก (กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้, 2546)

2.4.2 ปัจจัยทางด้านชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายให้มีประสิทธิภาพและใช้ระยะเวลาการหมักสั้นลง ในกระบวนการหมักวัสดุเหลือใช้ลักษณะสดที่เป็นของเหลวจะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักหลายชนิด ได้แก่

2.4.2.1 กลุ่มยีสต์ (Yeasts) โดยสามารถสืบพันธุ์ได้โดยการแตกหน่อแบบไม่อาศัยเพศ มีรูปทรงกลม กระบอกหรือรูปไข่ ถ้ายีสต์อายุน้อยจะมีรูปทรงกลม แต่ถ้าอายุมากจะมีรูปร่างค่อนข้างยาว ยีสต์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักจะสร้าง ascospores แบบอาศัยเพศอยู่ใน asci ได้แก่ยีสต์สกุล *Saccharomyces sp.* และ *Candida sp.* เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาลได้ดี ดังนั้นในกระบวนการหมักผักและผลไม้หรือปลาสดร่วมกับกากน้ำตาล ยีสต์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และหลังจากหมักวัสดุอินทรีย์ด้วยน้ำตาล (1-2 วัน จะได้กลิ่นแอลกอฮอล์) ยีสต์ตามธรรมชาติจะเพิ่มจำนวนเซลล์ขึ้นเนื่องจากได้แหล่งอาหารจากน้ำตาล โดยจะปรากฏในบริเวณผิวหน้าของวัสดุหมักเป็นลักษณะฟองลอยเป็นฝ้าที่ผิวน้ำหมักอาจเรียกว่า top yeasts เมื่อการหมักลดลง ยีสต์จะตกลงด้านล่าง ในการหมักแสดงเป็นสมการของปฏิกิริยาพื้นฐานการเปลี่ยนน้ำตาลแป็นเอททิลแอลกอฮอล์ได้ดังนี้



ในระหว่างการหมักจะมีค่า pH ที่ต่ำมาก แต่ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกรดสูง ระหว่าง pH 4.0-6.5 ดำรงชีพในช่วง pH 1.5-3.5 ซึ่งน้ำหมักที่ได้จะเกิดกรดอินทรีย์สูง ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้น นอกจากนี้แอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการหมักยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ สำคัญ ในการควบคุมคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพอีกด้วย

2.3.2.2 กลุ่ม Lactic acid bacteria เป็นแบคทีเรียแกรมบวก asporogenous rod-shaped bacteria จะไม่มีการสร้างสปอร์ (endospore) รูปร่างลักษณะเป็นท่อน แบคทีเรียชนิดนี้จัดอยู่ในพวก anaerobic หรือ facultative ได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Lactobacillus sp.* มีความต้องการสารอาหารพวกสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างซับซ้อน พบในกระบวนการหมัก การเจริญได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ กลุ่ม Lactic acid bacteria แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Homofermentative bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้ให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) เท่านั้น สำหรับแบคทีเรียอีกกลุ่มคือ heterofementative bacteria หลังจากการหมักจะได้กรดแลคติก กระอะซิติก กรดฟอร์มิก กลีเซอรอล แอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ ประโยชน์ของกระแลคติกนั้นช่วยในการถนอนอาหาร เช่น เนยแข็ง การดองผักต่างๆ โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยงแปลงได้ดี ทนต่อสภาพกรดสูงได้ สภาวะความเป็นกรดสูงนี้จะส่งผลต่อการยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์หรือกำจัดกลุ่มจินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร ปฏิกิริยาของการสร้างกรดแลคติกจากน้ำตาล โดยแบคทีเรีย Lactic acid bacteria คือ

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{ไม่ต้องการออกซิเจน}} \underset{\text{(กรดแลคติก)}}{2CH_3 . CHOH . COOH}$$

2.3.2.3 กลุ่ม Acetic acid bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแกรมลบ aerobic rod and cocci รูปร่างเป็นท่อนแต่มีหลายลักษณะ เช่น รูปรีหรือกระบอกโค้งมี flagella เคลื่อนที่ได้ เป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (Aerobic bacteria) ทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี ค่า pH ของสารละลายต่ำกว่า 5.0 และเจริญได้ในช่วงค่า pH 3.0-3.5 ได้แก่แบคทีเรียสกุล *Acetobacter sp.* บทบาทที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ คือจะทำหน้าที่แปรสภาพหรือเปลี่ยนแปลง เอทานอล ให้เป็นกรดอะซีติก โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ในสภาพที่มีออกซิเจน ดังสมการนี้

$C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3 . COOH + H_2O$

(เอทิลแอลกอฮอล์) (กรดอะซิติก)

2.4.2.4 กลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนจากโปรตีนและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจน ประกอบด้วย แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวส่วนใหญ่จะได้แอมโมเนีย เรียกกลุ่มจุลินทรีย์นี้ว่า ammonifiers การย่อยโปรตีนให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงโดยเอนไซม์ protease โดยมีน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี (hydrolysis) แปรสภาพโปรตีนเป็น polypeptides และแปรสภาพ oligopeptides ให้เป็น amino acids โดยเอนไซม์นี้ถ้าย่อยโปรตีนในสภาพที่มีอากาศเพียงพอ (aerobic proteolysis) ผลิตภัณฑ์ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ซัลเฟต และน้ำ แต่ถ้าการย่อยเกิดในสภาพที่ไร้อากาศจะได้แอมโมเนีย เอมีน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ indole skatole mercaptans และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสารเหล่านี้ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า

2.3.2.5 กลุ่มจุลินทรีย์แปรสภาพฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ที่สามารถแปรสภาพฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ให้เป็นฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ ในกรณีของสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสซึ่งยังไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะอยู่ในรูปไพติน (phytin) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ไฟเตส (Phytase) ฟอสฟาเตส (Phosphstase) นิวคลีโอติเนส (Nucleotidases) และ กลีเซอโรฟอสฟาเตน (Glecerophosphatase) เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เรียกว่า orthophosphatase ซึ่งเป็นพวก mono และ dihydrogen phosphate (HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$) ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียสกุล Bacillus sp. และราในสกุล *Aspergillus sp. Penicillium sp.* และ *Rhizopus sp.* เป็นต้น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

2.5 คุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพ

คุณสมบัติโดยทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพนั้น ประกอบด้วย ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณธาตุอาหาร อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณฮอร์โมนพืช (เบญจวรรณ คำศรี, 2556)

2.5.1 ค่าพีเอช (pH) ส่วนใหญ่น้ำหมักชีวภาพมีสภาพเป็นกรด ช่วงประมาณ 3.5-5.6 จากการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากปลา ผัก ผลไม้ หอยเชอร์รี่ และพืชชนิดต่างๆ พบว่ามีค่าเฉลี่ย pH ประมาณ 4.4, 4.3, 3.6, 4.6 และ 3.85 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผลไม้จะมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำหมักชีวภาพชนิดอื่นๆ (อาจเพราะผลไม้มีปริมาณน้ำตาลสูง ยีสต์จึงใช้น้ำตาลสร้างแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติก ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพมีสภาพเป็นกรด)

2.5.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) แสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารประกอบอินทรีย์ต่างๆที่ละลายรวมอยู่ในน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าจะแตกต่างไปตามตามชนิดวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ ถ้าน้ำหมักชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่าปริมาณธาตุอาหารต่างๆรวมกันมาก โดยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากซากสัตว์มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตจากเศษพืช และน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษพืชมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตจากผลไม้ โดยน้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 2-12 เดซิเมนต์ต่อเมตร (dS/m) สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชควรต่ำกว่า 4 เดซิเมนต์ต่อเมตร ซึ่งหากใช้ระยะเวลาในการหมัก 1-2 สัปดาห์ จะทำให้น้ำหมักมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2.1-2.4 เดซิเมนต์ต่อเมตร (สาเหตุที่ทำให้น้ำหมักชีวภาพมีค่าการนำไฟฟ้าสูงนั้นอาจมาจากผลของวัสดุที่ใช้หมักมีแร่ธาตุที่ก่อให้เกิดค่าการนำไฟฟ้าสูงได้)

2.5.3 ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ซึ่งในน้ำหมักชีวภาพจะมีปริมาณแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมัก ทั่วไปน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าน้ำหมักชีวภาพจากพืช

2.5.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน จุลินทรีย์ที่ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและอาหารเพื่อการสังเคราะห์สารประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักของเซลล์และใช้ไนโตรเจนเป็น

องค์ประกอบของโปรตีน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 20:1 และถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง เมื่อนำไปใช้กับพืชอาจแสดงอาการใบเหลืองจากการขาดธาตุไนโตรเจนได้

2.5.5 ปริมาณฮอร์โมน สำหรับฮอร์โมนในพืชหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเป็นสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช โดยพืชต้องการฮอร์โมนปริมาณเพียงเล็กน้อยในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี ในน้ำหมักชีวภาพนั้นมีฮอร์โมนพืช 3 กลุ่มที่สำคัญ ได้แก่

- กลุ่มออกซิน (Auxins) มีคุณสมบัติ ควบคุมการขยายตัวของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการเกิดราก การเจริญของราก ลำต้น ควบคุมการเจริญของใบ ส่งเสริมการออกดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ควบคุมการพัฒนาผล ควบคุมการสุก แก่ และการร่วงหล่นของผล พบได้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืชและสัตว์ แต่มีปริมาณน้อยมากจนถึงวัดได้ 2.37 ppm
- กลุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellins) มีคุณสมบัติ กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์พืชในทางยาว (ในพืชแคระและพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะเห็นผลชัดเจนกว่าออกซิน) กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ เร่งการเกิดดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ยืดช่อดอก กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา ทำลายการพักตัวของเมล็ด พบได้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืชบางชนิดในปริมาณ 18-140 ppm (ไม่พบในน้ำหมักปลา)

-กลุ่มไซโทไคนิน (Cytokinins) มีคุณสมบัติ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเจริญทางด้านลำต้นพืช กระตุ้นการเจริญของตาข้างทำให้ตาข้างเจริญออกมาเป็นกิ่ง ช่วยเคลื่อนย้ายอาหารจากรากไปสู่ยอด รักษาระดับการสังเคราะห์โปรตีนให้นานขึ้น ป้องกันคลอโรฟิลล์ให้ถูกทำลายช้าลง ทำให้ใบเขียวอยู่นานและร่วงหล่นช้าลง ช่วยทำให้ใบเลี้ยงคลี่ขยาย ช่วยให้เมล็ดงอกในที่มืด พบได้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช บางตัวอย่างพบปริมาณน้อย 1-20 ppm หรือพบได้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืชบางชนิด 1-14 ppm แต่ไม่พบในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากปลาเพียงอย่างเดียว

2.6 ธาตุอาหารของพืช

ธาตุอาหารของพืชแบ่งเป็นธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง (ออมทรัพย์ นพอมรบดี และคณะ, 2547)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีอยู่ 16 ธาตุ แต่ละธาตุมีความจำเป็นต่อพืชเท่าๆกัน แตกต่างกันที่ปริมาณที่พืชต้องการมากน้อยต่างกันเท่านั้น แบ่งเป็น

ธาตุอาหารหลัก คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก มี 3 ธาตุ คือ

ไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์ และวิตามินหลายชนิด ช่วยให้พืชเจริญเติบโตทางใบ ยอด ลำต้น ทำให้ใบมีสีเขียวเข้ม เพิ่มโปรตีนให้แก่พืช ควบคุมการออกดอกและผลของพืช ช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยเฉพาะพืชที่ให้ผลและเมล็ด หากขาดธาตุไนโตรเจน จะแสดงอาการ คือ ใบเป็นสีเหลืองจากล่างสู่ยอด ลำต้นผอม กิ่งก้านเล็กลีบ บางชนิดมีลำต้นมีสีเหลืองหรือชมพูเจือปน พืชเติบโตช้ามาก แต่ในกรณีที่พืชรับธาตุไนโตรเจนมากเกินไป จะทำให้พืชแก่ช้ากว่าปกติ ผลผลิตต่ำลง เพราะพิชจะเน้นสร้างดอกและเมล็ด มีความต้านทานโรคน้อย ต้นอวบน้ำ ล้มง่าย

ฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด ATP (สารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ) และโคเอนไซม์ หลายชนิด ช่วยเร่งการออกดอก สร้างเมล็ด ช่วยแก้ผลเสียจากการรับไนโตรเจนมากเกินไป ช่วยให้รากดูดโพแทสเซียมมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ช่วยในการเจริญเติบโตของรากฝอยและรากแขนงในระยะแรกของการเติบโต ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว เพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิด ทำให้ผลผลิตคุณภาพดี หากขาดธาตุฟอสฟอรัส จะแสดงอาการคือ พืชชะงักการเจริญเติบโต ต้นแคระแกรน ใบแก่จะเปลี่ยนสีหรือพืชบางชนิดใบจะมีสีม่วง รากจะเจริญเติบโตช้าและแพร่กระจายลงในดินช้ากว่าที่ควร การออกดอกและผลไม่สมบูรณ์ หรือบางครั้งอาจหลุดร่วงง่าย อาการขาดฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นกับใบล่างๆของต้นขึ้นไปหายอด

โพแทสเซียม (K) ไม่เป็นองค์ประกอบของสารใดๆ ในพืช แต่ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาล และโปรตีน ควบคุมการปิดเปิดของปากใบ ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ทำให้ผลเติบโต ส่งเสริมการสร้างเนื้อของผลไม้ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากดูดน้ำดีขึ้น ทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคต่างๆ ช่วยป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นกับพืชเนื่องจากได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป ทำให้พืชมีสีสันขนาดความหวาน และทนต่อสภาพแวดล้อมได้

ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย มี 3 ธาตุ คือ

แคลเซียม (Ca) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จำเป็นสำหรับกระบวนการแบ่งเซลล์และเพิ่มขนาดของเซลล์ ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด

แมกนีเซียม (Mg) เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการสังเคราะห์โปรตีน

กำมะถัน (S) เป็นองค์ประกอบของสารโปรตีนบางชนิด วิตามินบี 1 และสารที่ระเหยได้บางชนิดในพืช ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันในพืช เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ คลอโรฟิลล์และการแบ่งเซลล์

2.7 ลักษณะน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ได้แล้ว

กรมพัฒนาที่ดิน (2545) กล่าวว่า น้ำหมักชีวภาพที่ผ่านกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์ จะมีลักษณะดังนี้

กลิ่นของแอลกอฮอล์จะลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ใช้น้ำตาลไปในกระบวนการจนเสร็จสิ้นและจุลินทรีย์ที่ใช้แอลกอฮอล์ได้ผลิตกรดอินทรีย์สมบูรณ์ ทำให้กิจกรรมการหมักลดลง

มีการเจริญของจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุหมักน้อยลง

มีกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์มากขึ้น ความเป็นกรดจึงสูงขึ้น

ไม่ปรากฏฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์มีน้อยมาก เมื่อการหมักวัสดุลดลง ทำให้ฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดน้อยมาก

เมื่อการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้ของเหลวใสสีน้ำตาลมีสภาพเป็นกรดสูง (pH 3-4) เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักผลิตกรดอินทรีย์ จำพวกแลคติก และกรดอะซีติก (ณัฐมณ ขวัญไชย, 2556)

2.8 มาตรฐานของน้ำหมักชีวภาพ

มาตรฐานน้ำหมักชีวภาพที่ใช้เปรียบเทียบ ตามมาตรฐานสินค้าประเภทปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อออกใบอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายรับรองสินค้าตามระเบียบกรมพัฒนาที่ดิน ของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2547 โดยมีรายละเอียดดังสรุปในตารางนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ลักษณะ	ค่ามาตรฐาน
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
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter)	ไม่น้อยกว่า 10% ของน้ำหนัก
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio)	ไม่เกิน 20:1
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไม่เกิน 10 dS/m * ไม่เกิน 20 dS/m **
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ไม่เกิน 4.0
ปริมาณฮอร์โมน - ออกซิน - จิบเบอร์เรลลิน - ไซโตไคนิน	 ไม่ต่ำกว่า 0.1 mg/L ไม่ต่ำกว่า 5.0 mg/L ไม่ต่ำกว่า 1.0 mg/L
ปริมาณสารสกัดอินทรีย์	ไม่ต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนัก

ที่มา : * กลุ่มควบคุมปุ๋ย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) และ

** สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร์และสหกรณ์ (2547)

2.9 ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ

2.9.1 ในการเลี้ยงสัตว์ ทางด้านปศุสัตว์ใช้ในการดับกลิ่นโรงฆ่าสัตว์ ด้านการเกษตร ใช้เป็นปุ๋ยช่วยให้พืชเจริญเติบโตและใช้ทำเครื่องดื่มกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น ใช้ในการลดจำนวนของ *Salmonella* ในผักสด เป็นต้น (พูนศิริ จันทร์หอม, 2557)

2.9.2 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร เมื่อสัตว์ได้รับน้ำหมักชีวภาพ โดยใส่ในน้ำให้สัตว์กินในอัตรา 1 ส่วนต่อน้ำ 1000 ส่วน (1:1000) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารที่สัตว์กิน เช่น สัตว์ปีกและสุกรไม่สามารถย่อยหญ้าได้ดีเท่าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้

แต่น้ำหมักชีวภาพสามารถย่อยหญ้าสดหรือพืชสดได้ดีขึ้น และเป็นการประหยัดอาหารได้ถึง 30%

2.9.3 ช่วยเพิ่มความต้านทานโรคแก่สัตว์ สัตว์ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพอย่างสม่ำเสมอไม่ว่าทางน้ำหรือทางอาหารจะมีความต้านทานโรคต่างๆได้ดี โดยเฉพาะโรคทางระบบอาหาร ช่วยลดความเครียดจากการเปลี่ยนอาหารระยะต่างๆจากการขนย้ายสัตว์และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ดี

2.9.4 ช่วยลดกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์ ในการเลี้ยงสัตว์ปัญหาที่สำคัญต่อสภาพแวดล้อมนั้นหากจัดการไม่ดีโดยเฉพาะกลิ่นเหม็นและแหล่งเพาะแมลงวัน จะทำให้เกิดปัญหากับสัตว์มาก หากนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ล้างคอกสัตว์จะช่วยลดกลิ่นเหม็นลงได้และสามารถปล่อยลงแม่น้ำลำคลองได้โดยไม่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

2.9.5 ช่วยลดปัญหาเรื่องแมลงวันและยุง บริเวณคอกสัตว์ที่ได้รับการฉีกพ่นน้ำหมักชีวภาพอย่างสม่ำเสมอจะลดปัญหาเรื่องแมลงวันจนเกือบไม่มีเลย และยุงก็ลดลงด้วยถ้าใช้น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นตามแหล่งน้ำและฟาร์มอย่างสม่ำเสมอ

2.9.6 ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ใส่น้ำหมักชีวภาพในบ่อปลา บ่อกุ้ง หรือบ่อสัตว์น้ำอื่นๆ ในอัตราส่วน 1;1000 – 1:10000 หรือ 1 ลิตร ต่อน้ำในบ่อ 1-10 ลูกบาศก์เมตร (1000-10000 ลิตร) อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยย่อยสลายเศษอาหารที่ตกค้างและมูลสัตว์น้ำที่ก้นบ่อให้หมดไป ทำให้น้ำสะอาด ไม่ต้องถ่ายน้ำบ่อยๆ สัตว์น้ำมีความสมบูรณ์แข็งแรง ผิวสะอาดไม่มีกลิ่นโคลนตม

2.9.7 ใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นการนำเศษอาหารมาใช้ประโยชน์โดยการทำน้ำหมักชีวภาพ ปัญหาเรื่องขยะเปียกและน้ำเสียในชุมชน น้ำหมักชีวภาพสามารถช่วยได้โดยการฉีดพ่นขยะเปียกที่มีกลิ่นเหม็นในอัตราเข้มข้น ช่วยลดกลิ่นเหม็นและแมลงวันได้ แหล่งน้ำเสียชุมชนที่เน่าเหม็นจนปลาตาย ใส่น้ำหมักชีวภาพบ่อยๆจะช่วยป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เป็นต้น (วีณารัตน์ มูลรัตน์, 2553)

2.10 กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นของเหลวสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล มีลักษณะข้นเหนียว สีน้ำตาลปนดำ ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆมากมาย เช่น เหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม วิตามินบี เป็นต้น (ณัฐมณ ขวัญไชย, 2556)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของกากน้ำตาล

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%w/w)	ค่าเฉลี่ย (%w/w)
น้ำ	17-25	20
ซูโคส	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)

2.11 สารเร่ง พด.2

สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 หมายถึง เชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายวัสดุการเกษตร ที่มีลักษณะอวบน้ำหรือมีความชื้นสูง เพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดยการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน ทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น พด.2 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ยีสต์ *Saccharomyces* sp. ผลิตแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และวิตามินบี

แบคทีเรีย *Lactobacillus* sp. ผลิตกรดแลคติก

แบคทีเรีย *Bacillus* sp. ย่อยสลายโปรตีน

แบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียที่ละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

สารเร่ง พด.2 จำนวน 1 ซอง ปริมาณ 25 กรัม มีปริมาณจุลินทรีย์ดังกล่าวไม่ต่ำกว่า 10^{10} เซลล์ สามารถผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพได้ 50 ลิตร

จุดเด่นของสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

- สามารถผลิตน้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบได้หลากหลาย เช่น ผัก ผลไม้ ปลา หอยเชอรี่ เศษก้าง และกระดูกสัตว์
- เพิ่มประสิทธิภาพการละลายธาตุอาหารในการหมักวัตถุดิบจากพวกก้าง เศษกระดูกสัตว์ เปลือกไข่
- เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพความเป็นกรด
- จุลินทรีย์ส่วนใหญ่สร้างสปอร์ จึงทนต่อสภาพแวดล้อมและสามารถเก็บรักษาได้นาน
- สามารถผลิตน้ำหมักชีวภาพได้ในระยะเวลาสั้นและได้คุณภาพ
- ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง

2.12 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง

ผักสลัด

ชื่อไทย	ผักสลัด, ผักกาดหอม
ชื่อทางวิทยาศาสตร์	*Lactuca sativa* L.
ตระกูล	Compositae
ชื่อภาษาอังกฤษ	Lettuce
ถิ่นกำเนิด	ทวีปยุโรป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผักสลัดเป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นที่อวบสั้น และช่วงข้อถี่ ใบเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีลักษณะรูปร่างและสีสันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียบ หรือมีหยัก บิดงอ บางพันธุ์อาจมีใบหนาแข็ง และบางพันธุ์อาจมีใบอ่อนนิ่ม มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม สีแดงและน้ำตาล เป็นต้น บางพันธุ์มสีเดียว แต่บางพันธุ์อาจมีหลายสี (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2559ข)

ผักสลัดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส หากปลูกในอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ผักสลัดมีรสขมและแทงช่อดอกเร็ว อายุตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวประมาณ 40-50 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549)

ผักบุ้งจีน

ชื่อไทย	ผักบุ้งจีน
ชื่อทางวิทยาศาสตร์	*Ipomoea aquatica* Forsk.Var.reptans
ตระกูล	Convolvulaceae
ชื่อภาษาอังกฤษ	water convolvulus
ถิ่นกำเนิด	ทวีปแอฟริกา เอเชีย ออสเตรเลีย

ผักบุ้งจีนมีลักษณะใบมีลักษณะเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ขอบใบเรียบ รูปใบคล้ายหอกเรียวยาว โคนใบมีลักษณะเป็นรูปหัวใจ มีสีเขียว ลำต้นสีขาวหรือเหลือง ดอกเป็นดอกสมบูรณ์มีลักษณะเป็นช่อดอก ดอกเป็นรูปกรวยต่างจากผักบุ้งไทยที่เป็นรูปแตร ก้านดอกและดอกมีสีขาว

ผักบุ้งจีนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ชื้นแฉะแต่ไม่แฉะจนน้ำขัง จึงควรรดน้ำทุกๆ วัน อย่าให้ขาดน้ำ เพราะจะทำให้ขาดน้ำและชะงักการเจริญเติบโต โดยผักบุ้งจะใช้เวลางอกประมาณ 5-14 วัน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกคือ 18-25 องศาเซลเซียส ผักบุ้งจีนสามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 20-25 วัน หลังการปลูก ควรรดน้ำก่อนถอน และการถอนไม่ควรให้รากขาดมาก (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2559ก)

2.13 เศษอาหาร

เศษอาหารเป็นขยะที่สามารถย่อยสลายได้ ปริมาณขยะส่วนใหญ่ของประเทศไทยนั้นเกิดขึ้นจาก ตลาด บ้านเรือน โรงแรม โรงเรียน โรงอาหาร ร้านค้า โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเศษอาหารที่พบ จะมีค่าความชื้นสูง ประมาณร้อยละ 78.05 ค่าพีเอช ประมาณ 4.20 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในช่วงร้อยละ 2.20, 0.05 และ 0.31 ตามลำดับ (สุธิรา สุนทรารักษ์, 2553)

2.14 เศษผัก

เศษผักนั้นเป็นวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือน โดยองค์ประกอบของเศษผักส่วนใหญ่นั้นจะมีความชื้นในระดับที่ต่ำ มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 6.20-6.45 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในช่วง ร้อยละ 0.02-0.41 (สุธิรา สุนทรารักษ์, 2553)

2.15 พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือ พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic)

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือ พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่ผลิตได้จากวัสดุธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากพืชและสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม (นาวิน เนสุสินธุ์, 2554)

นิยามพลาสติกชีวภาพ

- ASTM D6400-99 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้จากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย

- ISO 472:1998 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ออกแบบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่างๆของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสม ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีว ภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

- BPS Japan (1994) พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ วัสดุพอลิเมอร์ที่สมารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้ โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอน ในกระบวนการย่อยสลายนี้ เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

- DIN FNK 103.2 (1993) วัสดุพลาสติกจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมและมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน

- CEN (1993) วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ/หรือ ก๊าซมีแทน และมวลชีวภาพใหม่ เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (พลาสติกย่อยสลายได้, 2559)

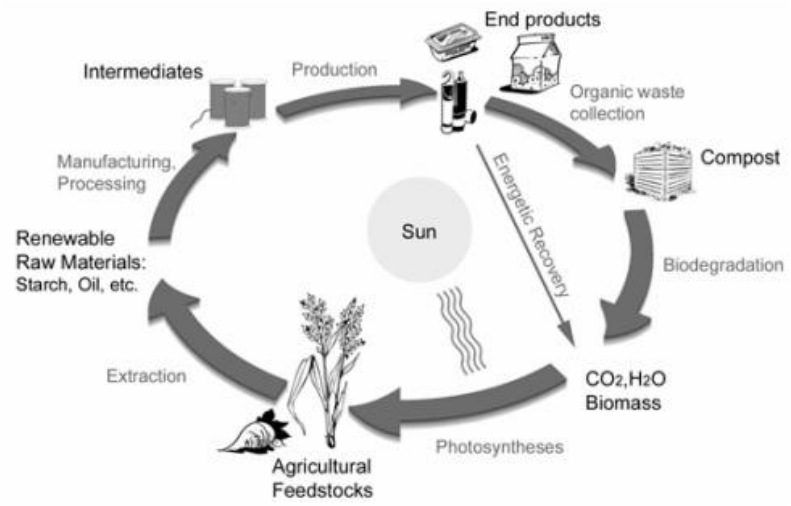
พลาสติกชีวภาพ คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยมีส่วนประกอบอย่างน้อย 1 ชนิดที่เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ วัตถุดิบที่ใช้ผลิตทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดเป็นวัตถุดิบที่ผลิตหรือปลูกขึ้นมาทดแทนได้ มีการออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการ และสามารถวัดการย่อยสลายได้โดยวิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติก (ธนาวดี, 2549) ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดและประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ หลายองค์กรในต่างประเทศได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานวิธีการทดสอบและการรับรองการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ASTM (American Society for Testing and Materials), ISO (International Organization

for Standardization), DIN (Deutsches Institute for Normung or German Institute for Standardization), JIS (Japanese Industrial Standard), ORCA (Organic Reclamation and Composting Association, Belgium) ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับรับรองการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradability) ในระดับนานาชาติในปัจจุบันนั้นมีรายละเอียดใกล้เคียงกัน หากมีส่วนที่แตกต่างกันเล็กน้อยในเรื่องขององค์ประกอบ วิธีทดสอบ และคุณสมบัติเพื่อผ่านการรับรองการย่อยสลายทางชีวภาพ ส่วนที่คล้ายคลึงกัน อาทิ การวัดความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) การวัดความสามารถในการแตกเป็นชิ้นเล็กๆ (disintegration) ของวัสดุทดสอบในสภาวะหมักปุ๋ย (compost) และการประเมินการย่อยสลายเบื้องต้น รวมถึงปริมาณโลหะหนัก การวิเคราะห์คุณภาพและความเป็นพิษต่อระบบนิเวศของปุ๋ยที่ได้จากการหมัก

2.16 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วๆไป แต่มีจุดเด่นที่เป็นพลาสติกที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือถูกหมักเป็นปุ๋ยได้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีระบบการย่อยที่คล้ายคลึงกับการย่อยสลายในธรรมชาติ เริ่มจากชีวมวลหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งชีวมวลจำนวนที่เท่ากันนี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการผลิตชีวมวลใหม่ เกิดเป็นวัฏจักรของธรรมชาติอย่างครบวงจรโดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและยังมีค่าใช้จ่ายที่ถูก หลังจากนำวัตถุดิบนี้ไปผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อนำไปใช้งานกับผู้บริโภคและถูกนำไปกำจัดด้วยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้ (renewable resourse) อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากหมดอายุการใช้งาน



รูปที่ 2.2 วัฏจักรพลาสติกชีวภาพ

2.17 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

พลาสติกที่ย่อยสลายได้สามารถจำแนกตามกลไกการย่อยสลายได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้ (สุรีย์รัตน์ บัวชื่น, 2553)

2.17.1 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradable plastic) คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดหนึ่ง มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์และแบคทีเรียในธรรมชาติ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงข้าวโพดและมันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พลาสติกชีวภาพนั้นมีสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วไปแต่ต่างกันตรงเมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นขยะและอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมคือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นจะมีการย่อยสลายได้

2.17.2 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation plastics) หรือเรียกว่า พลาสติกสลายตัวได้โดยไม่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ (biodegradable plastics) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน

แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียรของแสงและความร้อน จะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อพันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้สายพอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.17.3 พลาสติกย่อยสลายด้วยแสง (photodegradable plastic) การย่อยสลายด้วยแสงส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตนอยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับยูวี จะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่ขาด แต่การย่อยสลายนี้ไม่ได้เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบ กองหมัก หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่ไม่มีแสงหรือแม้แต่พลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เพราะผิวของพลาสติกไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.17.4 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic degradable plastics) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้งพอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮไดรด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยทั่วไปปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกในโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (external catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิดคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาทีเป็นเอนไซม์ต่างๆ เช่น depolymerase, lipase, esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น โลหะแอลคาไลน์ ด่าง และกรด ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิลของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายสายของโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.17.5 พลาสติกย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) เป็นการย่อยสลายโดยให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้พลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นวิธีการโดยทั่วไปที่ใช้ในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.18 เทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

วัตถุดิบ สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการทำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ (กัลยากร เทียนชัย, 2555)

2.18.1 แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ ได้แก่ พืชทางการเกษตรจำพวกน้ำตาลและแป้ง เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ปาล์ม เป็นต้น นอกจากพืชทางการเกษตรแล้วยังมุอตสาหกรรมนมโค ได้แก่ หางนม มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์ (กรดแลคติก)

2.18.2 แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ แนพธา (naphtha) และถ่านหิน ซึ่งพวกนี้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่ไม่สามารถทดแทนได้ ถูกใช้ให้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบ นอกจากนี้การผลิตพลาสติกที่ได้นั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่คำนึงถึงการนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบในการผลิตวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุประเภทพลาสติก เพื่อลดการใช้วัตถุดิบปิโตรเลียมลง

หากกล่าวถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพตั้งแต่ต้นน้ำถึงกลางน้ำจะเริ่มตั้งแต่การใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบแป้งให้เป็นน้ำตาลและโมโนเมอร์ จนถึงกระบวนการสังเคราะห์โพลิเมอร์จากโมโนเมอร์สำหรับเทคโนโลยีปลายน้ำจะเป็นกระบวนการคอมพาวดิ้ง (compounding) โดยการเติมโพลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติพลาสติกชีวภาพหรือลดต้นทุนรวมถึงการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้ (นาวิน เนสุสินธุ์, 2554)

เทคโนโลยีต้นน้ำ-กลางน้ำ

กระบวนการหมัก (Fermentation) โดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ

- การเตรียมน้ำตาล เริ่มจากการบดหรือโม่วัตถุดิบทางงการเกษตร ให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ใช้เอนไซม์หรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- การเตรียมโมโนเมอร์ โดยการนำน้ำตาลไปหมักด้วยจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ให้เกิดการสังเคราะห์โมโนเมอร์ขึ้น เช่น กรดแลคติก ซึ่งต้องนำไปผ่านกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่น ใช้ปฏิกิริยาเคมีเพื่อเชื่อมต่อให้เป็นพลาสติกชีวภาพ เช่น PLA (Polylactic Acid)
- การเตรียมโพลิเมอร์เป็นกระบวนการผลิตโดยตรงจากการนำวัตถุดิบน้ำตาลหรือน้ำมันไปหมักด้วยจุลินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลไปเป็นโพลิเมอร์ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่งสามารถสกัดออกมาเป็นโพลิเมอร์โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตโมโนเมอร์ก่อนตัวอย่าง เช่น PHAs

เทคโนโลยีปลายน้ำ

กระบวนการคอมพาวดิ้ง (Compounding) เป็นเทคโนโลยีที่จำเป็นในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงปรากฏการณ์การไหลและการก่อตัวได้ดี รวมทั้งมีความยืดหยุ่น แก้ปัญหาเรื่องความเปราะบาง เพื่อให้เข้าใกล้กับสมบัติเด่นของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะที่ใกล้เคียงกับพอลิเอทธิลีนหรือพอลิโพรพิลีนให้มากที่สุด โดยผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) เช่น สารช่วยผสม ฟิลเลอร์ สารเสริมแรง หรือ สารก่อผลึก เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีสารบางชนิดที่ใส่เพื่อลดต้นทุนการผลิต หรือเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้สารเติมแต่งอีกชนิดหนึ่ง การผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆลงไปในโพลิเมอร์เรียกว่า โพลิเมอร์คอมพาวดิ้ง (polymer compounding) ซึ่งจะต้องทำให้สารเติมแต่งกระจายตัวในโพลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอ

2.19 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

เพื่อให้การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพหรือพอลิเมอร์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว มีปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณา คือ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ ชนิดของจุลินทรีย์ และสภาวะแวดล้อม ดังนี้ (สุรีย์รัตน์ บัวชื่น, 2553)

2.19.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์หรือพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่มีเฮเทอโรอะตอม เช่น อะตอมของธาตุออกซิเจน หรือไนโตรเจน อยู่บนโครงสร้างหลักของสายพอลิเมอร์หรือมีพันธะอีเทอร์ เอไมด์ หรือเอสเทอร์ ซึ่งง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและมีน้ำหนักโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ ทำให้ละลายน้ำได้ดีและสามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งจะย่อยสลายได้ช้ากว่าพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง เนื่องจากกิ่งก้านจะกีดขวางการเข้ามาสัมผัสของเอนไซม์และจุลินทรีย์ (Tokiwa *et al*., 1976) Tokiwa และ Suzuki รายงานว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง นอกจากนี้แล้วความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการย่อยสลายได้เช่นกัน โดยอัตราการย่อยสลายจะลดลงตามความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น (Iwata and Doi, 1998; Tsuji and Miyauchi, 2001)

2.19.2 ชนิดของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในธรรมชาตินั้นมีหลากหลาย ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะสามารถสังเคราะห์เอนไซม์ที่มีความจำเพาะเหมาะสมต่อการย่อยสลายพอลิเมอร์ประเภทใดประเภทหนึ่งโดยเฉพาะ การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์หรือพลาสติกชีวภาพนั้นสามารถเกิดขึ้นโดยการทำงานของจุลลินทรีย์มากกว่า 1 สายพันธุ์ ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีจุลินทรีย์ การย่อยสลายทางชีวภาพแทบจะไม่เกิดขึ้นได้เลย

2.19.3 สภาวะแวดล้อม

สภาวะแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพอีกปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์หรือพลาสติกชีวภาพได้ ส่งผลให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีดังนี้

2.19.4 อุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลให้ทั้งกระบวนการทางเคมี ทางกายภาพ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) ช่วงอุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ

2.19.5 ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซออกซิเจนช่วยให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วและสมบูรณ์ สำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการย่อยสลายจะเกิดช้า และทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นสภาพการระบายอากาศของดิน จึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยตรง ในขณะที่ดินที่อยู่ในสภาพขาดอากาศหรือมีน้ำขัง อัตราการย่อยสลายจะลดลงเป็นอย่างมากและเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและก๊าซมีเทน (Gu *et al*., 2000)

2.19.6 ความชื้น (moisture) น้ำและความชื้น ช่วยในการเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และเป็นปัจจัยสำคัญของการย่อยสลายทางชีวภาพ น้ำและความชื้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ โดยช่วยละลายธาตุอาหารที่อยู่ในดิน ช่วยในการเคลื่อนที่ และเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับจุลินทรีย์ ปริมาณความชื้นในดินส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ หากดินมีความชื้นสูงเกินไป อัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากขาดก๊าซออกซิเจน ในกรณีที่ความชื้นของดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม อัตราการย่อยสลายจะค่อยๆลดลง ขึ้นอยู่กับความสามารถในการทดสภาพแห้งแล้งของจุลินทรีย์ด้วย (นงลักษณ์และปรีชา, 2550)

2.19.7 ขนาดวัตถุตัวอย่าง (partical size) พบว่าขนาดตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจะทำให้กระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เข้าไปเกาะและทำการย่อยสลายได้มากขึ้น แต่ไม่ควรอัดแน่นเกินไป

2.19.8 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทั่วไปแล้วเมื่อ pH เป็นกลางการสลายตัวจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าในช่วงเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ดังนั้นการปรับ pH ของดินให้เป็นกลาง จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินไปด้วย ในช่วง

pH ทีเป็นกรดค่อนข้างมาก กิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่ในดินจะลดลง แต่เชื้อราสามารถทนได้ กิจกรรมการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นจากเชื้อราเป็นส่วนใหญ่

2.19.9 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่เพียงแต่ได้พลังงานเท่านั้น จุลินทรีย์ยังนำเอาธาตุจากสารอินทรีย์ไปใช้สร้างสารประกอบต่างๆของเซลล์ด้วย โดยธาตุคาร์บอนจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์สารประกอบที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ ส่วนธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน และกรดนิวคลีอิก ที่มีปริมาณมากในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนมักเป็นปัจจัยที่ชี้ว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นจะมีธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่

2.20 พอลิแลกไทด์ (Polylactide) หรือ พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid : PLA)

พอลิแลกติกแอซิด เป็นพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการหมักโดยใช้วัตถุดิบจากพืชพวกแป้ง เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หัวบีท หรือขยะทางชีวภาพ เป็นต้น จุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลกติก ซึ่งกำลังกลายเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนการใช้วัตถุดิบจากปิโตรเลียมได้ พอลิแลกไทด์ ผลิตโดยใช้แหล่งคาร์บอนที่ได้จากวัตถุดิบที่สร้างขึ้นทดแทนได้ โดยคาร์บอนที่ถูกดูดซับโดยพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกสาเหตุของโลกร้อนได้ นอกจากนี้พอลิแลกไทด์ยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกเผาเป็นเถ้า (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

2.21 โครงสร้างของพอลิแลกไทด์ (PLA)

พอลิแลกไทด์ เป็นพอลิเอสเทอร์แอลิฟาติกสายตรง (Linear aliphatic polyester) ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ผลิตจากกรดแลกติก (lactic acid) หรือเรียกว่า พอลิแลกเทต (polylactate) หรือ พอลิ-แลกไทด์ (polylactide) กรดแลกติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือกระบวนการหมัก โดยใช้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบของแป้งและน้ำตาล เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย ข้าวสาลี เป็นต้น ใช้จุลินทรีย์ที่มีลักษณะเฉพาะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลกติก ($C_3H_6O_3$) ซึ่งเป็นโมเลกุลเดี่ยว เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โครงสร้างของกรดแลกติกมี 2 ไอโซเมอร์ คือ D-lactic acid และ L-lactic acid (สุรีย์รัตน์ บัวชื่น, 2553)

วิธีการสังเคราะห์สามารถจำแนกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบแน่น (polycondensation) และกระบวนการเปิดวง (ring-opening polymerization) (Leenslag *et al*., 1984; Shah *et al*., 2008) พอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากทั้ง 2 กระบวนการนั้นมีชื่อเรียกต่างกัน คือ พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการควบแน่น เรียกว่า พอลิแลกติกแอซิด เนื่องจากการสังเคราะห์จะใช้กรดแลกติกโดยตรง ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นพอลิเมอร์ สำหรับกระบวนการเปิดวงจะมีปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลกติก 2 โมเลกุล เกิดเป็นสารประกอบแบบวง เรียกว่า แลกไทด์ ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ D-lactide, L-lactide และ DL-lactide วงแหวนแลกไทด์จะถูกนำมาสังเคราะห์เป็นสายยาวของพอลิเมอร์ จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้ว่า พอลิแลกไทด์ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) โครงสร้างของพอลิแลกไทด์มี 3 รูปแบบ คือ พอลิแอลแลกไทด์ (poly (L-lactide), L-PLA, PLLA) พอลิดีแลกไทด์ (poly (D-lactide), D-PLA, PDLA) และพอลิดีแอลแลกไทด์ (poly (DL-lactide), DL-PLA, PDLLA) (สุรีย์รัตน์ บัวชื่น, 2553)

2.22 คุณสมบัติของพอลิแลกไทด์

ความยาวของสายพอลิแลกไทด์เป็นตัวกำหนดให้พอลิแลกไทด์มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน นอกจากนี้พอลิแลกไทด์ยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความใสและแวววาวสูง มีสมบัติทางกลที่ดี และสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไป ที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความสามารถต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี (กัลยากร เทียนชัย, 2555)

2.23 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิแลกไทด์

การสลายตัวทางชีวภาพของพอลิแลกไทด์หรือพอลิแลกติกแอซิดนั้น ขึ้นกับโครงสร้างในสภาวะของแข็ง ได้แก่ ปริมาณผลึก โครงสร้างทางเคมี เช่น หมู่ฟังก์ชันและสมดุลระหว่างไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกของพอลิแลกติกแอซิด โดยปริมาณผลึกเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดอัตราการสลายตัวทางชีวภาพของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปการสลายตัวเกิดขึ้นโดยการตัดสายโซ่หลักของพอลิแลกติกแอซิด ซึ่งเกิดขึ้นที่พันธะเอสเทอร์ซึ่งทำให้ได้เป็นโอลิโกเมอร์ ดังนั้นจำนวนของโอลิโกเมอร์หลังจากการตัดสายโซ่ขึ้นกับจำนวนเอสเทอร์ที่มีสายโซ่หลักพอลิแลกติกแอซิด

พอลิแลกติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) ใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส โดยการย่อยสลายพอลิแลกติกแอซิดมี 2 ระยะ คือ เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ของพอลิเมอร์ ซึ่งอัตราการไฮโดรไลซิสของพอลิแลกติกแอซิดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ

ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ด้วย เช่น น้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นผลึก ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่ผลิตจากพอลิเมอร์ เป็นต้น โดยพอลิแลกติกแอซิดจะดูดซับน้ำซึ่งจะเกิดการแตกของพันธะเอสเทอร์ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดสั้นลงจนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปฏิกิริยานี้จะถูกเร่งเองโดยอัตโนมัติด้วยกรดคาร์ยอกซิลิก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตัวหนึ่งที่มาจากการแตกของพันธะเอสเทอร์ ในขั้นตอนนี้พลาสติกจะแตกหักเป็นชิ้นเล็กๆเมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและชีวมวลในขั้นสุดท้าย (กัลยากร เทียนชัย, 2555)

2.24 การนำไปใช้ประโยชน์

พลาสติกชีวภาพพอลิแลกไทล์สามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภทและมีกำลังผลิตที่สูงถึง 140,000 ตันต่อปี ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าได้หลายด้าน ได้แก่ (กัลยากร เทียนชัย, 2555)

- ด้านการเกษตร เช่น วัสดุห่อหุ้มยาฆ่าแมลงฆ่าวัชพืช ภาชนะปลูกพืช ปุ๋ย

- ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ถุงพลาสติก กล่องโฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ

- ด้านการแพทย์ เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถเข้ากับเนื่อเยื่อ (biocompatible) และสามารถดูดซึม (bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพในร่างกาย จึงทำให้พอลิแลกติกแอซิดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ และถูกนำไปใช้ทางด้านนี้มากกว่า 2 ทศวรรษ เช่น ไหมเย็บแผล ตัวเย็บแผล วัสดุปิดแผล อุปกรณ์ฝังในร่างกาย อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก แผ่นรองพื้น อุปกรณ์ตกแต่งภายใน

- ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ non-woven เช่น ผลิตผ้าอนามัย ผ้าอ้อม ผ้าสำเร็จรูป เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยบรรจุในเครื่องนอน

- ด้านอิเล็กทรอนิกและการสื่อสาร เช่น ชิ้นส่วนประกอบในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชิ้นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์ แผ่นซีดี

- อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน ผลิตภัณฑ์ใช้ในบ้านเรือน สารเคลือบกระดาษ สารยึดท่อพลาสติกชั่วคราว

2.25 ข้อดีของพอลิแลกติกแอซิด

- ไม่ต้องใช้ปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบ แต่สามารถผลิตได้จากผลิตผลทางการเกษตร (ซึ่งใช้เวลาในการผลิตที่ไม่ยาวนาน จึงสามารถขจัดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบออกไปได้)

- สามารถควบคุมราคาและต้นทุนการผลิตได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม ถึงแม้ว่าในขณะนี้เทคโนโลยีในการผลิตยังถูกจำกัดในวงแคบ ทำให้ต้นทุนในการผลิตยังสูงกว่าพลาสติกทั่วไปอยู่เล็กน้อย แต่คาดว่าแนวโน้มของราคาจะลดลงเมื่อมีผู้ผลิตเข้าสู่ตลาดมากขึ้น

- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดอัตราการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

- นอกจากจะลดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์และคุณสมบัติในการย่อยสลายได้เองแล้ว ในทางชีวภาพผลจากการย่อยสลายโดยทำให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่ยาวจนได้กลับมาเป็นกรดแลกติกดังเดิม ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ทั้งร่างกายสิ่งมีชีวิตหรือในสภาวะนอกร่างกาย เช่น ในดิน

- ลดปริมาณขยะ เพราะย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

- ให้ความร้อนน้อยกว่า (ความร้อนเท่ากับเผ่ากระดาษ)

- ลดจำนวนสัตว์ที่บาดเจ็บจากการบริโภคพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก

2.26 ข้อเสียของพอลิแลกติกแอซิด

- พอลิแลกติกแอซิดนั้นมีลักษณะแข็งค่อนข้างเปราะ เหตุนี้จึงทำให้พอลิแลกติกแอซิดมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีการยืดตัว

- พอลิแลกติกแอซิดไม่ทนความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากไม่ทำการอบไล่ความร้อนชื้นก่อนนำไปขึ้นรูป จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างกระบวนการผลิต

- ความแข็งแรงของพอลิแลกติกแอซิด ขณะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์หลอม (melt strength) จะมีค่าต่ำ ทำให้มีปัญหาในการนำไปผลิตขึ้นรูปโดยกระบวนการบางอย่าง เช่น กระบวนการอัดรีดและเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์ม (extrusion blown film process)

- พอลิแลกติกแอซิดนั้นมีราคาแพง เมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไปชนิดอื่นๆ ส่งผลต่อความสามารถในการนำไปใช้เชิงพาณิชย์

2.27 เทคนิคและวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย

2.27.1 การวัดการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ (สุรีย์รัตน์ บัวชื่น, 2553)

สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้นั้น เช่น การเกิดรอยฉีกขาดหรือรู การแตกแยกออกเป็นชิ้นๆ ความขรุขระของผิวพลาสติก การเปลี่ยนแปลงของสี และการเกิดไบโอฟิล์มที่ผิวพลาสติก ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางกล ของพอลิเมอร์หรือพลาสติก สามารถศึกษาได้โดย

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และ Transmission Electron Microscope (TEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิว ส่วนเครื่อง Universal Tester ใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เครื่อง Differential Scanning Colorimeter (DSC) และเครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer (DMA) ใช้สำหรับศึกษาสมบัติทางความร้อน เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และ X-Ray Driffraction (XRD) ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของพอลิเมอร์และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึก ตามลำดับ

2.27.2 การวัดค่าน้ำหนักที่หายไป

สำหรับการวัดค่าน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์นั้นเป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว แต่ไม่ค่อยถูกต้องนัก โดยเฉพาะเมื่อพอลิเมอร์ถูกเก็บไว้กับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นระยะเวลานาน และมีกลุ่มของจุลินทรีย์สะสมอยู่ภายในเนื้อพอลิเมอร์ เป็นเหตุให้ค่าน้ำหนักที่วัดได้นั้นมีค่าสูงเกินจริง วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับพอลิเมอร์ที่สามารถดูดน้ำได้ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีแป่งเป็นองค์ประกอบ ในส่วนที่ต้องให้ความสำคัญคือ การย่อยสลายมักเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์ น้ำหนักที่หายไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นผิว ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการทำการทดลอง ควรรายงานผลของอัตราส่วนของน้ำหนักพอลิเมอร์ที่หายไปต่อพื้นที่ผิวพอลิเมอร์ที่ทดสอบมากกว่าหาค่าน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์เท่านั้น (ธนาวดี, 2549)

2.27.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล

สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถศึกษาได้โดยการใช้เครื่อง Size Exclusion Chromatography (SEC) และเครื่อง Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization (MALDI) ในขณะที่ชนิดและปริมาณการเกิดสารประกอบขนาดเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถศึกษาได้โดยเทคนิคและเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR) เครื่อง Gas Chromatography (GC) และเครื่อง Liquid Chromatography (LC) (ธนาวดี, 2549)

2.27.4 การวัดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือวัดปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจน (CO_2 evolution/ O_2 consumption)

ในสภาวะที่มีอากาศ จุลินทรีย์จะนำก๊าซออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักออกมา การวัดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนของจุลินทรีย์จัดเป็นตัวชี้วัดที่ดี เนื่องจากเป็นวิธีการวัดการย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยตรง (Hoffimann *et al*., 1997) แต่ข้อเสียคือก๊าซออกซิเจนอาจถูกนำไปใช้ในกระบวนการอื่นๆได้ เช่น nitrification oxidation จึงต้องมีการศึกษาขั้นตอนและกลไกของการย่อยสลาย นอกจากนี้คาร์บอนในพอลิเมอร์ไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด บางส่วนกลายเป็นชีวมวล (biomass) ดังนั้นการทดลองจึงควรทำในระยะเวลาที่จำกัด เพราะหากทิ้งไว้เป็นเวลานาน ชีวมวลเหล่านี้จะสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย

2.27.5 การติดฉลากด้วยธาตุไอโซโทปกัมมันตรังสี (radiolabeling)

สำหรับการทดสอบจะใช้พอลิเมอร์ที่ติดธาตุไอโซโทปกัมมันตรังสี (radiolabelled polymer) ที่มี ^{14}C เป็นวัสดุสำหรับการทดสอบ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทดสอบจะทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนในพอลิเมอร์เทียบกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนในชีวมวล แต่วัสดุทดสอบมักจะมีราคาแพงทำให้เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

2.27.6 การเกิดวงใสบนอาหารแข็ง (Clear-zone formation)

สำหรับการทดสอบการเกิดวงใส (Clear-zone) เป็นวิธีการทดสอบขั้นต้น โดยจะใช้อาหารวุ้นแข็งที่มีพอลิเมอร์ที่ต้องการทดสอบผสมอยู่ เมื่อทำการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ลงไป จะเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนี เป็นการบ่งชี้ว่าจุลินทรีย์สายพันธุ์นั้นสามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ได้

2.28 แก้วพลาสติกชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

ทางบริษัท แวนด้าแพค จำกัด ได้นำเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด (PLA) รุ่น ingeo 4043D จากบริษัทเนเจอร์เวิร์ค (Natureworks LLC) มาขึ้นรูปเป็นแก้วพลาสติกชีวภาพ Ingeo (Bio Cup) ซึ่งผลิตให้กับร้านกาแฟอินทนิลได้นำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ในการให้บริการ ซึ่งแก้วพลาสติกชีวภาพนี้ได้ผลิตจากเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด PLA 100% สังเคราะห์จากน้ำตาลในข้าวโพด โดยมีสมบัติต่างๆดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 2.3 สมบัติของเม็ดพลาสติกชีวภาพ PLA รุ่น ingeo 4043D ที่ผลิตเพื่อการค้า

สมบัติ	NatureWorks PLA	ASTM Method
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	1.24	D1505
T_g (C°)	55-60	D3418
T_m(C°)	145-160	D3418
Tensile strength (MPA)	53	D882
Elongation (%)	6	D882

ที่มา : Natureworks LLC (2016)

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตแก้ว Ingeo ของบริษัทแวนด้าแพค จำกัด

2.29 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหมักชีวภาพ

เด่นนภา ลาดนาเลา (2546) ศึกษาการทำน้ำหมักชีวภาพจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดแรก มีใบน้อยหน่าเป็นวัสดุหลักในการหมัก ส่วนชนิดที่สอง มีใบสะเดาเป็นวัสดุหลัก และชนิดที่สาม มีใบสาบเสือเป็นวัสดุหลักในการหมัก ทำการสำรวจคุณสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช 6 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำหมักชีวภาพ พร้อมทั้งศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม น้ำหมักทั้งสามชนิด เป็นของเหลวสีน้ำตาล ไม่ปรากฏฟองก๊าซและกลิ่น ในการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช พบว่า ปริมาณ N P_2O_5 K_2O CaO MgO ในน้ำหมักชีวภาพชนิดที่สาม มีมากที่สุด ร้อยละ 0.2140 0.1389 1.5577 และ 0.1342 ตามลำดับ รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพชนิดที่สอง ร้อยละ 0.1508 0.1217 1.4452 และ 0.1320 และน้ำหมักชีวภาพแรกมีน้อยที่สุด ร้อยละ 0.1508 0.0217 1.3910 และ 0.0942 ตามลำดับ การศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม พบว่าผลของน้ำหมักชีวภาพชนิดที่สาม ทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นชนิดที่สอง และชนิดแรก ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารและการใช้น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางอัตราส่วน 1:100 ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าใช้น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:200

บุญเกิด ศิริพงษ์ (2552) ศึกษาองค์ประกอบและอิทธิพลของปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพต่อการชะละลายธาตุอาหารพืชในดิน การทดลองที่ 1 ผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองโดยใช้วัสดุสองแบบ คือ แบบที่ใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ต่ำ และแบบที่ใช้วัสดุที่มี C:N ratio สูง โดยปุ๋ยหมักจากวัสดุที่มี C:N ratio ต่ำ มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานการทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ ISO 14855 มีค่าความชื้น 28.23% pH 7.85 ค่าการนำไฟฟ้า 4.89 dS/m ไนโตรเจนทั้งหมด 1.98% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 1.47% โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ 2.34% อินทรียวัตถุ 31.50% C:N ratio 18.84 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 51.71% ปริมาณของแข็งระเหยง่าย 14.39% การย่อยสลายสมบูรณ์เท่ากับ 81.23% ขนาดของปุ๋ยน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ และใช้ในการทดสอบการชะละลายธาตุอาหาร ทั้งนี้ระยะเวลาในการบ่มดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร อินทรียวัตถุ พีเอช และการนำไฟฟ้า สรุปคือ การใส่ปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของพลาสติกชีวภาพในดิน สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้สูงสุดทั้งในดินและในน้ำจากการชะละลาย ซึ่งความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยหมัก รวมทั้งระยะเวลาการบ่มในดิน

วีณารัตน์ มูลรัตน์ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตน้ำหมักชีวภาพเศษปลาจากน้ำกากส่าเหล้าทดแทนการผลิตน้ำหมักชีวภาพเศษปลาจากกากน้ำตาล แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ ผลิตน้ำหมักชีวภาพเศษปลาจากกากน้ำตาลและน้ำกากส่าเหล้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส IAA ค่า pH ค่า EC ปริมาณน้ำตาล และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ ในน้ำหมักชีวภาพเศษปลาแต่ละสูตรที่ผลิตทั้งก่อนและหลังหมัก ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อความสามารถในการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชทั้ง 3 ชนิด คือ ผักโขม ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และผักบุ้งจีนโดยใช้อัตราส่วน 1:1000 1:500 และ 1:250 (น้ำหมักชีวภาพ:น้ำ โดยปริมาตร) ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทุกการทดลอง

ประวัติ บัวศรี (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว โดยศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำน้ำหมักชีวภาพ ศึกษาถึงประสิทธภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ในการวิจัยเชิงทดลอง ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ในช่วงระยะเวลา 0 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ และทดสอบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่กับถั่วเขียว โดยวัดการเจริญเติบโตของถั่วเขียวในด้านความสูงและน้ำหนักทุก 5 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่อัตราส่วน 3:3:1 หมักในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ให้ปริมาณธาตุอาหารหลักสูงที่สุด ส่วนการนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้อัตราส่วนเจือจาง 1:1000 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ เพราะถั่วเขียวมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

วิชบูรณ์ ศีตะโกเศศ (2555) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยเคมีและน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบางชนิดในระบบไฮโดรโปนิกส์ ใช้แผนการทดลอง CRD จำนวน 5 สิ่งการทดลอง 4 ซ้ำ คือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 3:1 1:1 และ 1:3 นำมาเปรียนเทียบกับการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ ผลการทดลองพบว่าการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ทำให้ผลผลิตของผักมีค่าสูงสุด เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะในผักฮ่องเต้ กวางตุ้ง ผักสลัดชนิดบัตเตอร์เฮด กรีนโอ๊ค ผักกาดขาว และผักสลัดเรดโอ๊ค ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 3:1 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ยกเว้นในผักคะน้า และผักสลัดเรดคลอรัล

เบญจวรรณ คำศรี (2556) ได้ศึกษาการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ มาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกับเศษอาหารและเศษผัก สำหรับตะกอนสลัดจ์ที่นำมาใช้ทดลองนั้นได้จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างตะกอนสลัดจ์จากทั้ง 2 ชนิดต่อเศษอาหารต่อเศษผักทั้งหมด 9 ค่า คือ 10:90:0 10:45:45 20:80:0 20:45:45 50:50:0 50:25:25 100:0:0 0:100:0 และ 0:50:50 ระยะเวลาหมัก 28 วัน ผลการทดลองพบว่า การย่อยสลาย

สารอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ ส่งผลให้พีเอชและค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วใน 7 วัน ส่วนปริมาณธาตุอาหารจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก เมื่อพิจารณาค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกับค่าดัชนีการงอกของเมล็ด พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน และเมื่อทดสอบการนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ในการปลูกพืชจริง จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง โดยศึกษาด้านความสูง การออกดอกและมวลชีวภาพ พบว่า สามารถช่วยเพิ่มอัตราการเติบโตของต้นดาวเรืองในทุกด้านที่ตรวจวัด อัตราส่วนตะกอนสลัดจ์โรงงาน:เศษอาหาร:เศษผัก เท่ากับ 50:25:25 ที่ระยะเวลาหมัก 21 วัน ให้ผลดีที่สุด

ณัฐมณ ขวัญไชย (2556) ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน โดยสูตร 1 ใช้เศษปลา : เศษผักผลไม้ ในอัตราส่วน 3:1 สูตรที่ 2 ใช้อัตราส่วน 2:2 ส่วนสูตรที่ 3 และ 4 ใช้อัตราส่วนของวัสดุเช่นเดียวกับสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่จะเริ่มเติมผักและผลไม้เมื่อการหมักเริ่มเข้าระยะที่ 2 หมักนาน 21 วัน โดยพบว่า ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้ส่วนใหญ่ (ยกเว้นสูตรที่ 4) มีปริมาณสารอาหารหลักและปริมาณฮอร์โมนพืช GA3 มากกว่าค่ามาตรฐาน อัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสมคือ เศษปลา : เศษผักและผลไม้ เป็น 3:1 และควรเติมผักและผลไม้เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการหมัก (วันที่ 7 ของการหมัก) จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดีที่สุด ดังเช่นปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตร 3 ที่ได้จากการทดลอง

พูนศิริ หอมจันทร์ (2557) ทำการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบ (เปลือกกล้วย เปลือกแตงโม เปลือกสับปะรด กะหล่ำ และผักกาดขาว) ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM) ในอัตราส่วน 1:1 1:2 และ 1:3 โดยน้ำหนัก ผลิตเป็นน้ำหมักชีวภาพ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ คือ 1:1 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด คือ ไนโตรเจน ร้อยละ 0.09 ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.03 และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.18 มีค่าความเป็นกรดด่าง คือ 4.57 เมื่อหมักเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง การศึกษาระยะเวลาในการหมัก คือ 7 วัน 15 วัน 30 วัน 60 วัน ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้วัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ คืออัตราส่วน 1:1 พบว่าการหมักด้วยระยะเวลา 60 วัน ให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด คือ ไนโตรเจน ร้อยละ 0.10 ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.04 และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.28 มีค่าความเป็นกรดด่าง คือ 4.97 สีของน้ำหมักที่ได้มีสีน้ำตาลและค่าความเป็นกรดด่างลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น

มณีรัตน์ สุตันตั้งใจ (2549) ศึกษาการจัดการของเสียจากแตงไทยที่เหลือจากการแปรรูป นำมาหมักเป็นระยะเวลา 1 เดือน ตามสูตรน้ำหมักทั่วไป คือ เศษพืช 3 ส่วนต่อกากน้ำตาล 1 ส่วน และน้ำ 10 ส่วน โดยทำทั้งหมด 7 สูตร นำน้ำหมักที่ได้มาวิเคราะห์ด้านกายภาพ (สี, กลิ่น, การเจริญของจุลินทรีย์) ด้านเคมี (ความเป็นกรด-ด่าง, การนำไฟฟ้า, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม) และด้านชีวภาพ (ประเภทและจำนวนของจุลินทรีย์) และการเจริญเติบโตของพืช (ความสูงของต้น, ความเขียวของใบ, ความอวบของใบและต้น, ความสม่ำเสมอในการเจริญเติบโต) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า

ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 3.46-3.62 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 5.78-9.94 dS/m ค่าไนโตรเจน อยู่ในช่วงร้อยละ 1.12-2.80 ค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่างร้อยละ 4.85-5.74 ค่าโพแทสเซียม อยู่ระหว่างร้อยละ 1.67-2.39 ทางด้านชีววิทยา ผลการวิเคราะห์พบว่ามีจุลินทรีย์ทั้งประเภทใช้และไม่ใช้อากาศอยู่ระหว่าง 17-66 x 10^6 CFU/ml ผลการวิเคราะห์ด้านการเจริญเติบโตต่อพืช พบว่ามีความสูงไม่แตกต่างกันมาก อยู่ระหว่าง 10-15 เซนติเมตร แต่สูตรที่ 5, 6 และ 7 ให้ผลต่อความเขียวของใบ ความอวบของลำต้น/ใบ และความสม่ำเสมอในการเจริญเติบโตดีกว่าสูตรที่ 3 และ 4

ศิริลักษณ์ หุนแดง (2551) ศึกษาการนำเศษก้านเห็ดหอมมาผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดยการทดสอบหาเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายก้านเห็ดหอม และทดสอบประสิทธิภาพน้ำหมักชีวภาพจากก้านเห็ดหอมต่อการเจริญเติบโตของต้นคะน้า สำหรับการทดสอบเบื้องต้นนั้นได้ทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างก้านเห็ดหอมสดต่อกากน้ำตาลต่อน้ำ โดยไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ และเปรียบเทียบระยะเวลาการหมักที่ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า อัตราการหมัก 4:1:1 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ นั้นมีความเหมาะสมต่อการหมักก้านเห็ดหอมมากที่สุด จึงนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษก้านเห็ดหอม

Kim และคณะ (2010)ทำการศึกษาน้ำชะปุ๋ยที่มีการแยกเศษอาหาร โดยได้รับการบำบัดจนสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยในการเพาะปลูกดอกไม้ สำหรับการบำบัดนั้นทำได้โดยการปรับระยะเวลาเก็บกัก และการเจือจาง รวมถึงการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตัวอย่างแรกที่ทำการบำบัดคือการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์กับน้ำชะปุ๋ยที่เจือจางในอัตราส่วน 1:10 ตัวอย่างที่สอง น้ำชะปุ๋ยที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกัก 36 สัปดาห์ และตัวอย่างที่สาม น้ำชะปุ๋ยที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกัก 9 สัปดาห์ จากนั้นนำไปทดลองปลูกพืช โดยตรวจสอบจากการวิเคราะห์หาความยาวของลำต้น จำนวนใบและดอก น้ำหนักแห้งและรงควัตถุที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ผลการทดลองพบว่า น้ำชะปุ๋ยที่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการเจือจาง 1:10 และที่ระยะเวลาเก็บกัก 9 สัปดาห์ นั้นสามารถทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี แต่หลังจากปลูกในระยะเวลาสั้นๆ ตรวจสอบคุรภาพดิน พบว่า สารอินทรีย์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ระเหยง่ายและโลหะหนักที่สะสมในดินมีค่าไม่เกินมาตรฐาน

- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ

Ho และคณะ (1999) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้ระบบการหายใจมาวิเคราะห์แผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพชนิด PLA ในดิน ภายใต้การควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยทดลองใช้ดินผสม 200 กรัม และพลาสติก 1.5 กรัม ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 1x1 ซม.^{2} ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 28 40 และ 55 องศาเซลเซียส ทำการทดลองระยะเวลา 182 วัน พบว่าระดับของการย่อยสลายชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจ อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 24.3, 41.5 และ 76.9 มิลลิกรัมต่อวัน และเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของ

พลาสติกชีวภาพชนิด PLA เท่ากับ 27, 45 และ 70% ตามลำดับ การควบคุมอุณหภูมิการย่อยสลายในดินที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพชนิด PLA ภายใต้การควบคุมในห้องปฏิบัติการ

สาธิณี ศิริวัฒน์ (2553) ศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิแลคติกแอซิดและเยื่อชานอ้อยและผลของการย่อยสลายต่อประชาคมแบคทีเรียในดิน มี 3 ปัจจัย ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิและปริมาณไนโตรเจน ใช้เวลาในการทดสอบ 30 วัน และใช้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์ พบว่าที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียสและไม่เติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในดิน จะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นสูงสุดสำหรับบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด การย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิแลคติกแอซิดด้วยภาวะที่ควบคุมในห้องปฏิบัติการเกิดขึ้นเร็วกว่าการย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบจริงในสภาพตามธรรมชาติถึง 5 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะกำจัดบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ด้วยวิธีการฝังกลบแต่ต้องใช้ระยะเวลานานกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส

นาวิน เนสุสินธุ์ (2554) ศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพในดินจากบ่อฝังกลบขยะผสมกากตะกอนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อประเมินความสามารถในการย่อยพลาสติกชีวภาพ 2 ชนิด คือ Polylactic acid (PLA) และ polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT) ด้วยดินจากบ่อฝังกลบขยะผสมกับกากตะกอนอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ ผสมกากตะกอนกับดินร้อยละ 30 ควบคุมอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเติมน้ำ 45 มิลลิลิตร และติดตามการย่อยสลายทางชีวภาพจากน้ำหนักแห้งที่ลดลงของพลาสติกทดสอบและก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้น ยืนยันการย่อยสลายของพลาสติกจากโครงสร้าง และพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยการส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการทดสอบพบว่า น้ำหนักแห้งพลาสติกลดลงเมื่อเวลาการทดสอบเพิ่มขึ้น ในวันที่ 15 30 45 และ 60 น้ำหนักแห้งของ PLA ลดลงประมาณร้อยละ 2 8 57 และ 67 มีก๊าซชีวภาพสะสมในวันที่ 60 ประมาณ 760 มิลลิลิตร ส่วน PBAT ในวันที่ 15 30 45 และ 60 น้ำหนักแห้งลดลงร้อยละ 3 5 6 และ 7 มีก๊าซชีวภาพสะสมในวันที่ 60 ประมาณ 500 มิลลิลิตร ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ว่า พลาสติกทดสอบสามารถย่อยสลายได้ และ PLA สามารถย่อยสลายได้รวดเร็วกว่า PBAT ที่สภาวะควบคุมภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนี้

กัลยากร เทียนชัย (2555) ศึกษาการเตรียมพลาสติกจากพอลิแลคติกแอซิด ร่วมกับวัสดุธรรมชาติ โดยใช้พอลิแลคติกแอซิด เป็นส่วนประกอบหลักและเลือกใช้วัสดุธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ ไคโตซาน เมทิลเซลลูโลส และเปลือกไข่ เป็นวัสดุผสมในอัตราส่วน 7:3 จากการวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุธรรมชาติที่จะนำมาเป็นวัสดุผสม พบว่ามีเพียงพอลิแลคติกแอซิดและผงเปลือกไข่เท่านั้นที่มีลักษณะทางโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนเมทิลเซลลูโลส และไคโตซาน มี

ลักษณะโครงสร้างเป็นผลึก มีธาตุองค์ประกอบหลักประกอบด้วยธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และไทเทเนียม และจากการพิจารณาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดผสมผงเปลือกไข่ มีลักษณะของแผ่นฟิล์มซ้อนกันเป็นชั้นๆอย่างชัดเจน ทั้งค่าความใสและการละลายน้ำของฟิล์มจะลดลง ในส่วนของด้านความแข็งแรงของวัสดุ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดผสมผงเปลือกไข่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผงเปลือกไข่เป็นวัสดุที่เหมาะที่สุดในการใช้เป็นวัสดุสำหรับเสริมแรงของฟิล์มพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด เมื่อเทียบกับเมทิลเซลลูโลส และไตโคซาน นอกจากนั้นเมื่อทดสอบคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียพบว่าผงเปลือกไข่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ และเมื่อนำฟิล์มพลาสติกไปทดสอบ พบว่าอัตราการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อดีขึ้นตามอัตราส่วนของผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้น

สุภารัตน์ ปั้นพุ่มโพธิ์ (2558) ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสีย ซึ่งทำการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย PLA โดยตรวจวัดจากน้ำหนักของ PLA ที่หายไป เมื่อนำแผ่น PLA ฝังลงในดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ชุดทดลองที่มีอัตราส่วนของดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียเท่ากับ 25:75 ค่าน้ำหนักที่หายไปของแผ่น PLA สูงที่สุดคือ 25.45% ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่ในดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสีย มีความสามารถในการย่อยสลาย PLA ได้ดีโดยไม่ต้องมีการเติมสารอาหารอื่นเพื่อเร่งการเจริญและการย่อยสลาย PLA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหมักชีวภาพ

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลาหมัก	อัตราส่วนหมักร่วม	ผลที่ได้
เด่นนภา ลาดนาเลา (2546)	-ใบน้อยหน่า -ใบสะเดา -ใบสาบเสือ	24 วัน	ใช้พืชทั้งสามเป็นวัสดุหมักหลัก	N (ร้อยละ) = 0.2140 0.1508 และ 0.1508 P (ร้อยละ) = 0.1389 0.1217 และ 1.4452 K (ร้อยละ) = 1.5577 0.0217 และ 0.0942 ผักกาดหอมที่ได้รับน้ำหมักจากใบน้อยหน่าเป็นวัสดุหลักเจริญเติบโตดีที่สุด
ศิริลักษณ์ หุนแดง (2551)	ก้านเห็ดหอม	14 วัน	ก้านเห็ดหอมสด:กากน้ำตาล:น้ำ 2:1:1 3:1:1 4:1:1	อัตราส่วน 4:1:1 ที่ระยะเวลาหมัก 2 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพมากที่สุด
บุญเกิด ศิริพงศ์ (2552)	-ปุ๋ยหมักที่มี C:N ต่ำ -ปุ๋ยหมักที่มี C:N สูง	5 สัปดาห์	- C:N ต่ำ ฟางข้าว:มูลโค:ปุ๋ยยูเรีย 80:10:1 - C:N ต่ำ ฟางข้าว:เปลือกถั่ว : มูลโค:กากน้ำตาล 40:40:10:1 - C:N สูง ฟางข้าว:ขี้เลื่อย:มูลโค :กากน้ำตาล 60:20:20 - C:N สูง ฟางข้าว:ขี้เลื่อย: เปลือกถั่ว:มูลโค: กากน้ำตาล 40:10:30:20:10	N=1.98% P=1.47% K=2.34% อัตราส่วนที่ C:N ต่ำ จะมีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลาหมัก	อัตราส่วนหมักร่วม	ผลที่ได้
วีณารัตน์ มูลรัตน์ (2553)	-เศษปลาและกากน้ำตาล -เศษปลาและกากส่าเหล้า	30 วัน	- สูตร 1 เศษปลา:กากน้ำตาล 1:1 - สูตร 2 เศษปลา: กากส่าเหล้า 1:1 - สูตร 3 เศษปลา :กากน้ำตาล:น้ำกากส่าเหล้า 1:0.3:0.7 - สูตร 4 เศษปลา:กากน้ำตาล :น้ำกากส่าเหล้า 1:0.5:0.5 - สูตร 5 เศษปลา:กากน้ำตาล:น้ำกากส่าเหล้า 1:0.7:0.3	N= สูตร 5>4>3>2>1 1.33, 1.31, 1.16, 1.04 และ 0.71% P= สูตร 2,3 เพิ่มขึ้น 0.19%,0.16% สูตร 1,4 และ 5 ลดลง 0.07, 0.08, 0.07% K= ลดลงทุกสตร ยกเว้น สูตร 2 5>4>1>3>2 1.10,0.89, 0.72,0.59,0.27% การเจริญเติบโตของผักโขม ที่ความเข้มข้น 1:250 ผักบุ้งจีน ที่ความเข้มข้น 1:500 และ 1:1000 ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ที่ความเข้มข้น 1:250
ประวัติ บัวศรี (2553)	หอยเชอรี่	4 สัปดาห์	หอยเชอรี่: กากน้ำตาล:พด.2 0:3:1 2:3:1 3:3:1 และ 4:3:1	N= 0.67% P= 0.11% K= 2.09% อัตราส่วนที่ 3:3:1 มีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงสุด
วิชบูลย์ คีตะโกเศศ (2555)	-ปุ๋ยเคมี -น้ำหมักชีวภาพ	-*	-ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว -ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ 3:1 1:1 และ 1:3	การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ อัตราส่วน 3:1 เช่นเดียวกับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลาหมัก	อัตราส่วนหมักร่วม	ผลที่ได้
เบญจวรรณ คำศรี (2556)	-น้ำเสียในระบบ AS -เศษอาหาร -เศษผัก -ตะกอนสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและจากโรงงาน	28 วัน	อัตราส่วนระหว่างตะกอน 2 ขนิด:เศษอาหาร:เศษผัก 9 ค่า ได้แก่ 10:90:0 10:45:45 20:80:0 20:45:45 50:50:0 50:25:25 100:0:0 0:100:0 0:50:50	ตะกอนสลัดจ์:เศษอาหารที่อัตรส่วน 10:90 ทำให้ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เศษอาหารเพียงอย่างเดียว
พูนศิริ จันทร์หอม (2555)	-เปลือกกล้วย -เปลือกแตงโม -เปลือกสัปปะรด -กะหล่ำ -ผักกาดขาว	60 วัน	อัตราส่วนวัตถุดิบ:หัวเชื้อจุลินทรีย์ 1:1, 1:2, 1:3	N=0.09,0.1% P=0.03, 0.04% K=0.18,0.28% อัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณธาตุอาหารมากที่สุดที่ 30 และ 60 วัน
ณัฐมน ขวัญไชย (2556)	-เศษปลา -เศษผักผลไม้	21 วัน	เศษปลา:เศษผักผลไม้ 3:1, 2:2	อัตราส่วน 3:1 ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารและปริมาณฮอร์โมนพืช เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด
มณีรัตน์ สุขตั้งใจ (2549)	-แตงไทย -เศษพืช	60 วัน	-เศษแตงไทยตามสูตรน้ำหมัก -เศษพืช:กากน้ำตาล:น้ำ 3:1, 1:0	N=1.12-2.80% P=4.85-5.74% K=1.67-2.39%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลาหมัก	อัตราส่วนหมักร่วม	ผลที่ได้
Kim และคณะ (2010)	เศษปลา	-*	-หัวเชื้อจุลินทรีย์:น้ำชะปุ๋ย 1:10 -น้ำชะปุ๋ยที่เติมหัวเชื้อ 36 สัปดาห์ -น้ำชะปุ๋ยที่เติมหัวเชื้อ 9 สัปดาห์	N=1.57% P=0.31% K=0.45% น้ำชะปุ๋ยที่เติมหัวเชื้อ 9 สัปดาห์ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

หมายเหตุ : * ไม่ได้ระบุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลา	อัตราส่วนที่ใช้	ผลที่ได้
Ho และคณะ (1999)	-ดินผสม -แผ่นฟิล์มPLA	182 วัน	แผ่นฟิล์ม PLA ในดินผสม 200 กรัม พลาสติก 1.5 กรัม ทดสอบที่อุณหภูมิ 28, 40 และ 55 องศาเซลเซียส	การย่อยสลายของ PLA เป็น 27,45,70% ตามลำดับ
สาธินี ศิริวัฒน์ (2553)	บรรจุภัณฑ์เยื่อชานอ้อยและแบบPLA	30 วัน	มี 3 ปัจจัย คือ บรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และปริมาณไนโตรเจน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นดัชนีการย่อย	- ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส และไม่เติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ในดินเกิดคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดทั้ง 2 บรรจุภัณฑ์ -การย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์PLA ในห้องปฏิบัติการเกิดขึ้นเร็วกว่าในพื้นที่ฝังกลบจริงตามธรรมชาติถึง 5 เท่า
นาวิน เนสุสินธ์ (2554)	-พลาสติกชีวภาพ PLA และ PBAT -ตะกอนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนๆ	-*	ผสม PLA และ PBAT จากดินในบ่อฝังกลบขยะผสมกับกากตะกอน	-สภาวะที่เหมาะสม คือ ผสมกากตะกอนกับดิน ร้อยละ 30 อุณหภูมิ 55 เติมน้ำ 45 มิลลิลิตร -ส่องกล้อง SEM ดูการย่อยสลายของพลาสติกจากโครงสร้าง และพื้นที่ผิวที่เปลี่ยนแปลง พบว่าน้ำหนักแห้งพลาสติกลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น
กัลยากร เทียนชัย (2555)	-พลาสติกชีวภาพ PLA -วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร (ไคโตซาน เมทิลเซลลูโลส และเปลือกไข่)	-*	พลาสติกชีวภาพ:วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 7:3	พลาสติกชีวภาพ PLA ผสมกับเปลือกไข่ให้ผลดีที่สุด ทั้งโครงสร้างที่เป็นผลึก การเรียงซ้อนกันเป็นชั้นชัดเจน และความแข็งแรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลา	อัตราส่วนที่ใช้	ผลที่ได้
สุภารัตน์ ปั้นพุ่มโพธิ์ (2558)	-พลาสติกชีวภาพ PLA -ดินในหลุมฝังกลบ -ตะกอนน้ำเสีย	-*	อัตราส่วนระหว่างดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย PLA	อัตราส่วนระหว่างดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียที่ดี คือ 25:75 ค่าน้ำหนักที่หายไปของแผ่น PLA สูงสุด คือ 25.45%

หมายเหตุ : * ไม่ได้ระบุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนงานการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดรวมกับวัสดุหมักร่วม คือ เศษอาหารและเศษผัก เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดยศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน การเจริญเติบโตของผักสลัดและผักบุ้ง

3.2 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

- ถังสำหรับหมัก
- ไม้พาย
- ฟองน้ำสำหรับปลูกผัก
- ถาดหลุมสำหรับปลูกผัก
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
- เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
- เครื่องย่อยของเจลดาห์ล (Kjedahl digestion apparatus)
- เครื่องกลั่นของเจลดาห์ล (Kjedahl distillation apparatus)
- ตู้ดูดควัน
- เครื่อง spectrophotometer
- เครื่อง AAS
- ขวดเจลดาห์ล
- ขวดแก้วรูปชมพู่
- บิเรตต์
- ปิเปต
- กระบอกตวง
- บีกเกอร์
- แท่งแก้ว

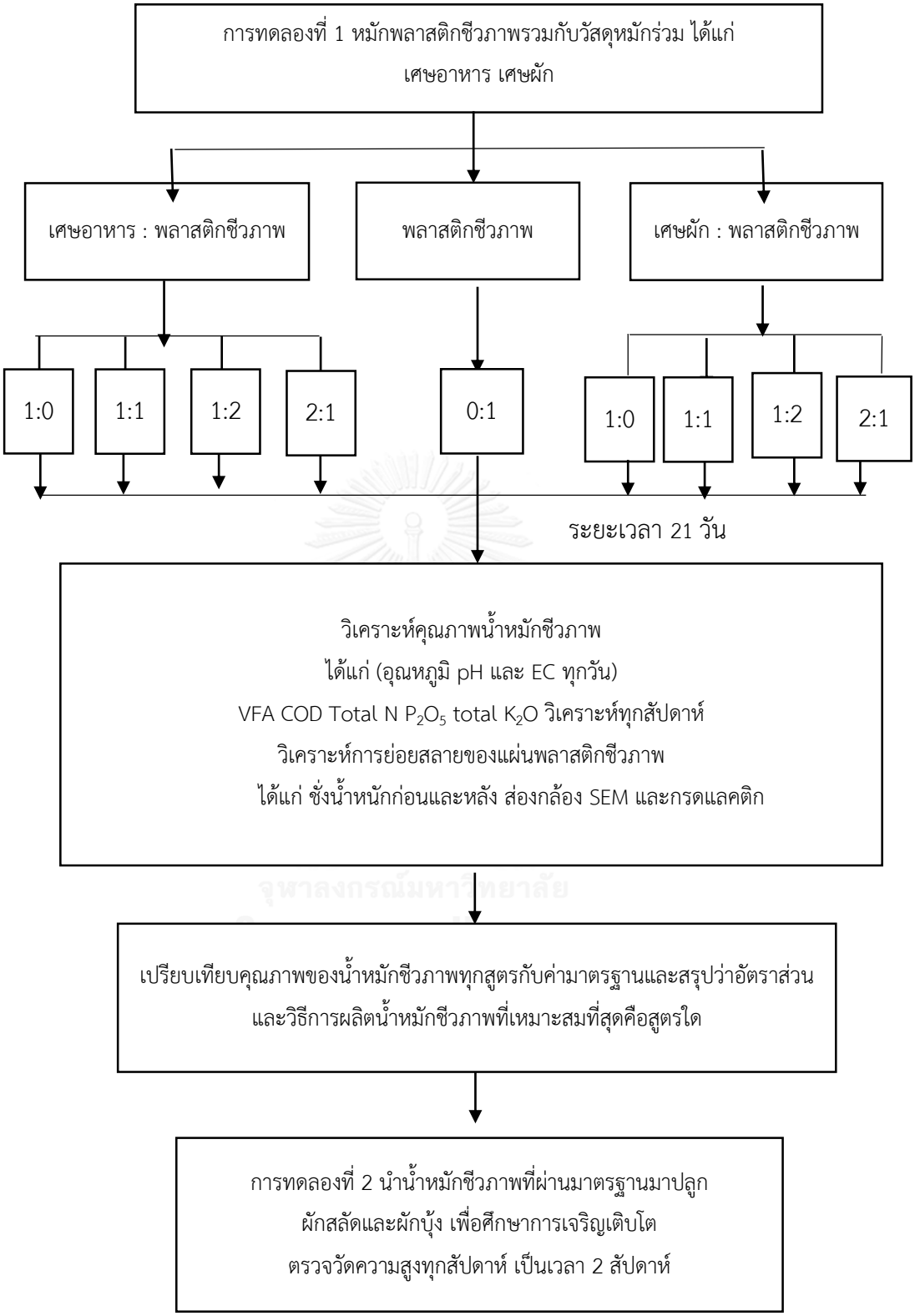
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 สารเคมี

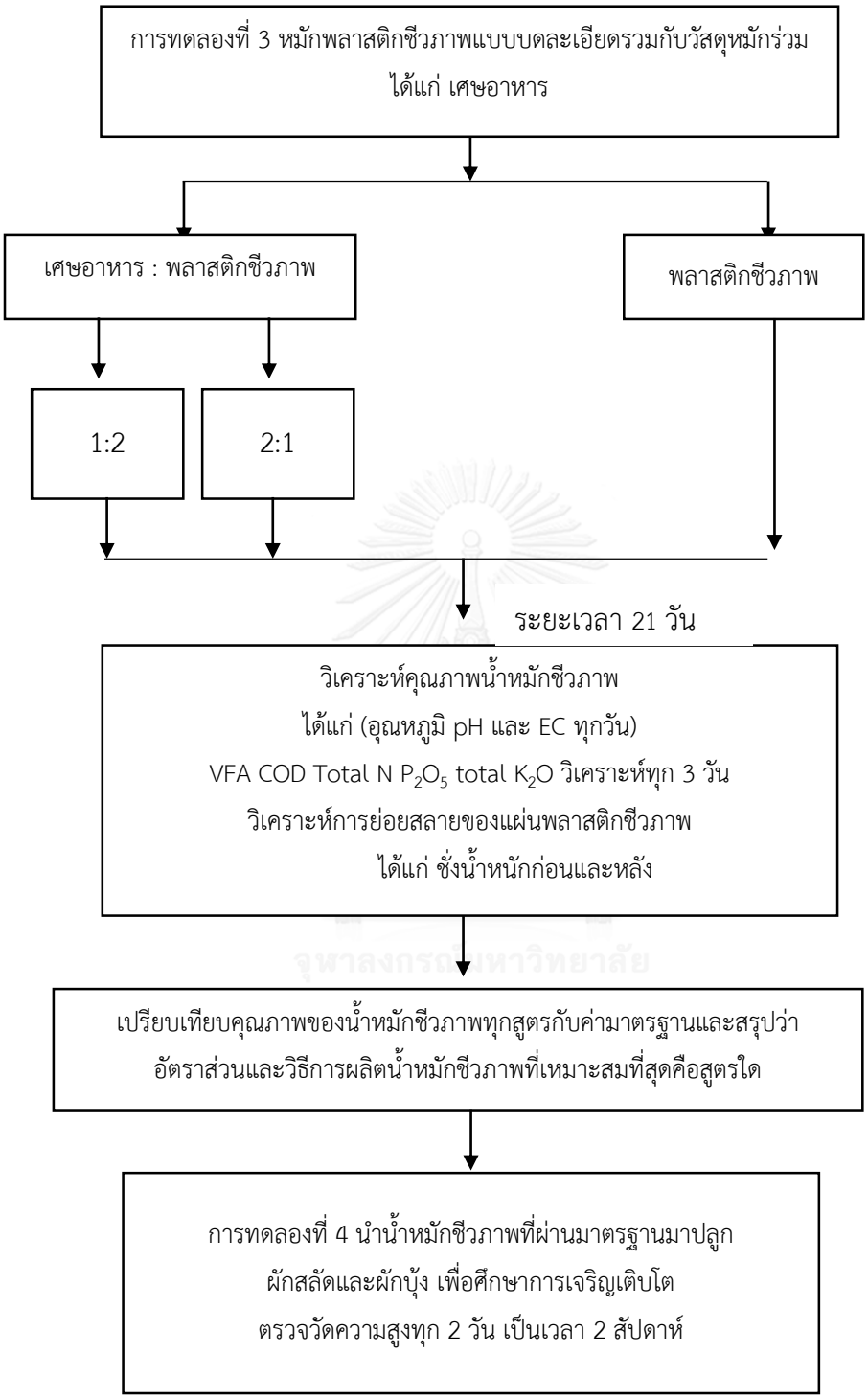
- สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน (Standard buffer) พีเอช 4, 7 และ 10
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- กรดบอริค (H_2BO_3)
- คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$.$5H_2O$)
- โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค (HCl)
- แอมโมเนียมโมลิบเดต [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$]
- แอมโมเนียมเมทตาวานาเดต (NH_4VO_3)
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)
- กรดไนตริก (HNO_3)

3.3 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาผลของอัตราส่วนของแผ่นพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดรวมกับวัสดุหมักร่วม คือ เศษอาหารและเศษผัก โดยกำหนดอัตราส่วนวัตถุดิบต่อพลาสติกชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ อัตราส่วน 1:2, 2:1, 1:1 และ 1:0 เศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ อัตราส่วน 1:2, 2:1, 1:1 และ 1:0 และชุดควบคุมที่ใช้พลาสติกชีวภาพอย่างเดียว จากนั้นศึกษาผลการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำหมักชีวภาพ และเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด นำไปใช้ในการทดลองผลิตน้ำหมักชีวภาพโดยใช้พลสติกชีวภาพแบบบดละเอียด และทดสอบคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดและผักบุ้ง เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตน้ำหมักชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกร่วมด้วย โดยแผนผังการดำเนินการวิจัย แสดงดังภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแนวทางการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.2 แผนภาพแนวทางการดำเนินงานวิจัย

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมวัสดุ

- การเตรียมวัสดุการหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหาร ที่ได้จากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเศษอาหารจะคัดเอาที่ย่อยสลายได้ง่าย ไม่มีจำพวกเศษกระดูกปน ส่วนเศษผัก ได้จากตลาดสามย่าน เป็นเศษผักที่คัดทิ้ง โดยคัดเอาชนิดที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น ผักบุ้ง ผักกาด ผักกวางตุ้ง เป็นต้น

- การเตรียมพลาสติกชีวภาพ PLA นั้นจะนำแก้วที่ได้มาตัดให้ได้ขนาด 1x1 ซม. และอีกส่วนนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดโม่

รูปที่ 3.3 แก้วพลาสติกชีวภาพ

รูปที่ 3.4 แก้วพลาสติกชีวภาพที่นำมาตัดให้ได้ขนาด 1x1 ซม.

รูปที่ 3.5 แก้วพลาสติกชีวภาพที่บดละเอียด

3.4.2 การเตรียมถังสำหรับการหมัก

เตรียมถังที่จะทำการหมักตามจำนวนที่ใช้ในการทดลอง ควรเป็นถังที่มีฝาปิด มีก๊อกและที่กรองเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง โดยในการทดลองนี้ใช้ถังขนาด 5 ลิตร จำนวน 18 ถัง

รูปที่ 3.6 ถังหมักขนาด 5 ลิตร

3.4.3 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพจะใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน ไขมัน เพิ่มการละลายธาตุอาหารในระยะเวลาสั้น มีคุณภาพและช่วยลดกลิ่นเหม็นระหว่างการหมัก มาผสมกับน้ำในอัตราส่วน พด.2 จำนวน 1 ซอง กับน้ำ 10 ลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที

รูปที่ 3.7 สารเร่งซุปเปอร์ พด.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกและธาตุอาหารหลักต่างๆ

ตารางที่ 3.1 การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA และวัสดุหมักร่วม

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่าพีเอช (pH)	เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)	ไทเทรต
ปริมาณกรดแลคติก*	เครื่อง HPLC
ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ (COD)	Closed reflux
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)**	Kjeldahl Method
ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5)**	Vanadomolybdate Method
ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O)	Potassium selective electrode method

หมายเหตุ : * ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์บริการคุณภาพอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 การดำเนินงานวิจัย

3.6.1 การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดแบบแผ่นรวมกับวัสดุหมักร่วม คือ เศษอาหารและเศษผัก ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 1:1, 1:0, 1:2, 2:1 และชุดควบคุมพลาสติกชีวภาพ 0:1 โดยทุกอัตราส่วนจะผสมกากน้ำตาลและพด.2 ในอัตราส่วนที่เท่าๆกัน จากนั้นทำการศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษอาหาร

ลำดับที่	อัตราส่วน	น้ำหนัก (กก. น้ำหนักแห้ง)			กากน้ำตาล	พด.2 และน้ำ
	FW : PLA	FW	PLA	total	(กก.)	(ล.)
1	1 : 1	0.156	0.15	0.3	0.1	1
2	1 : 0	0.312	-	0.3	0.1	1
3	1 : 2	0.104	0.2	0.3	0.1	1
4	2 : 1	0.208	0.1	0.3	0.1	1

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษผัก

ลำดับที่	อัตราส่วน	น้ำหนัก (กก. น้ำหนักแห้ง)			กากน้ำตาล	พด.2 และน้ำ
	FW : PLA	FW	PLA	total	(กก.)	(ล.)
1	1 : 1	0.165	0.15	0.3	0.1	1
2	1 : 0	0.330	-	0.3	0.1	1
3	1 : 2	0.110	0.2	0.3	0.1	1
4	2 : 1	0.220	0.1	0.3	0.1	1
5*	0 : 1	-	0.3	0.3	0.1	1

*ชุดควบคุม

3.6.2 การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดแบบบดละเอียดรวมกับวัสดุหมักร่วม คือ เศษอาหาร ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 1:2, 2:1 และชุดควบคุมพลาสติกชีวภาพ 0:1 โดยทุกอัตราส่วนจะผสมกากน้ำตาลและพด.2 ในอัตราส่วนที่เท่าๆกัน จากนั้นทำการศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมระหว่างพลาสติกชีวภาพบดละเอียดกับวัสดุหมักร่วมในการทดลอง คือ เศษอาหาร

ลำดับที่	อัตราส่วน FW : PLA	น้ำหนัก (กก. น้ำหนักแห้ง) FW	PLA	total	กากน้ำตาล (กก.)	พด.2 และน้ำ (ล.)
1	1 : 2	0.104	0.2	0.3	0.1	1
2	2 : 1	0.208	0.1	0.3	0.1	1
3*	0 : 1	-	0.3	0.3	0.1	1

*ชุดควบคุม

ในการเลือกวัสดุหมักร่วมจะทำการคัดแยกเศษอาหารที่เหลือจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเลือกส่วนที่ย่อยสลายได้เร็วเพื่อใช้ในการหมัก ส่วนเศษผักนั้นได้จากส่วนที่คัดทิ้งจากตลาดสดสามย่าน โดยคัดแยกเอาเฉพาะส่วนที่ไม่เน่าเสีย ส่วนใหญ่เป็นจำพวกผักคะน้า ผักบุ้ง กะหล่ำปลี ผักกาดขาว กวางตุ้ง เป็นต้น จากนั้นหั่นหรือบดให้ละเอียด ใส่ลงในถังหมัก จากนั้นนำสารเร่ง พด.2 ที่เตรียมไว้ในข้อ 4.4.4 ใส่ลงไปในถังหมัก คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม โดยในระหว่างการหมัก กวนส่วนผสม 1-2 ครั้งต่อวัน ทำการหมักจนครบ 21 วัน เก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ ความถี่ และทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตในอัตราส่วนต่างๆกับมาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม และเมื่อครบระยะเวลา 21 วัน วิเคราะห์การย่อยสลายของแผ่นพลาสติกชีวภาพ โดยการชั่งน้ำหนักก่อนและหลัง และส่องกล้อง SEM

3.6.3 การทดลองที่ 2 และ 4 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดและผักบุ้งจากการใช้น้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตร วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและความเป็นพิษของน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านตามมาตรฐานปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาศึกษาอัตราส่วนการเติบโตของผักสลัดและผักบุ้ง โดยการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองตามจำนวนน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านตามมาตรฐาน ทดลองกับผักสลัดและผักบุ้ง จำนวน 10 เมล็ด วางในกระดาษกรองที่ตี

ตารางจำนวน 10 ช่อง ช่องละ 1 เมล็ด ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ นำน้ำหมักชีวภาพที่ได้ปรับความเข้มข้นในน้ำอัตราส่วน 1:10 ใส่ในกระดาษกรอง จานละ 3 มิลลิลิตร และใส่ในจานควบคุมจานละ 3 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้ จำนวนเมล็ดที่งอกต่อจาน และวัดความยาวรากของเมล็ดที่งอกทั้งหมดและหาค่าเฉลี่ย (ซม.)

การคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (Relative seed germination; %RSG), ค่าเปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (Relative root growth; %RRG), การเปรียบเทียบความเป็นพิษ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination index; GI) หาได้จากสมการดังนี้

$$\%RSG = \frac{\text{No. of seeds germinatated in litter extract} \times 100}{\text{No. of seeds germinated in control}} \quad (1)$$

$$\%RRG = \frac{\text{Mean root length in litter extract} \times 100}{\text{Mean root length in control}} \quad (2)$$

$$GI = \frac{(\%RSG) \times (\%RRG)}{100} \quad (3)$$

ส่วนการทดสอบการเจริญเติบโตของพืชนั้นจะทำการปลูกแบบไฮโดรโพนิก โดยวางเมล็ดผักในฟองน้ำ จำนวน 10 เมล็ด ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากนั้นใส่น้ำหมักชีวภาพที่ตรงตามมาตรฐานที่ที่ได้ปรับความเข้มข้นในอัตราส่วน 1:100 ทำการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วทำการวัดความสูงของต้น (ซม.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7 ตัวแปรในการทำวิจัย

ตัวแปรของการทดลองที่ 1 : การศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจาก วัสดุหมักร่วมในอัตราส่วนต่างๆ (วัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก) ร่วมกับพลาสติกชีวภาพชนิด PLA

ตัวแปรของการทดลองที่ 2 : การศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำหมักชีวภาพและนำไปทดสอบคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นผักสลัดและผักบุ้ง

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรในการทดลอง

ตัวแปรต้น	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
- อัตราส่วนของวัสดุหมักร่วม : พลาสติกชีวภาพชนิด PLA - ขนาดของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA	- ชนิดของพลาสติกชีวภาพ - ระยะเวลาในการหมัก - อุณหภูมิในการหมัก - ปริมาณกากน้ำตาลและ พด.2 - ชนิดของถังหมัก	- ค่าพีเอช - ค่าการนำไฟฟ้า - ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย - ค่า COD - ปริมาณไนโตรเจน - ปริมาณฟอสฟอรัส - ปริมาณโพแทสเซียม - กรดแลคติก - การเจริญเติบโตของต้นผักสลัดและผักบุ้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.8 การวิเคราะห์ผล

วิธีวิเคราะห์และความถี่ของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ความถี่	วิธีวิเคราะห์
ค่าพีเอช (pH)	-	ทุกสัปดาห์	เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	dS/m	ทุกสัปดาห์	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	mg/l	ทุกสัปดาห์	Tritration
ซีโอดี (COD)	mg/l	ทุกสัปดาห์	Closed-reflux Method
กรดแลคติก	%	สิ้นสุดการทดลอง	HPLC
ปริมาณไนโตรเจน	%	ทุกสัปดาห์	Macro-Kjeldahl
ปริมาณฟอสฟอรัส	%	ทุกสัปดาห์	Vanado-molybdate
ปริมาณโพแทสเซียม	%	ทุกสัปดาห์	Potassium selective electrode method
ดัชนีการงอกของเมล็ด	%	ทุกสัปดาห์	วิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (GI)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

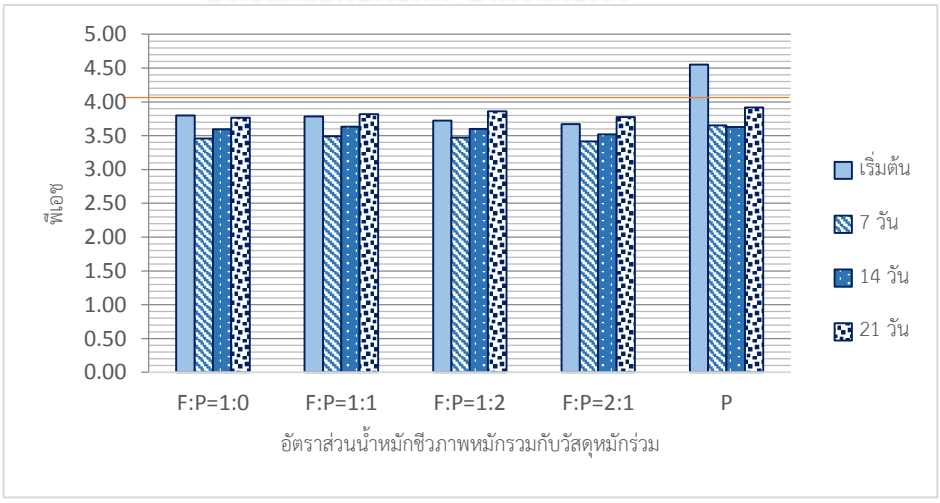
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดมาผลิตน้ำหมักชีวภาพรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก โดยการทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

4.1 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษอาหาร ที่มีผลต่อคุณสมบัติน้ำหมักชีวภาพ

4.1.1 ค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงพีเอชเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าพีเอชจะลดลงในช่วง 7 วันแรก จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นจนวันสุดท้ายของการทดลอง ดังแสดงในรูป 4.1 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพในทุกชุดการทดลองมีค่าเป็นกรดอ่อน

เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้ ค่าพีเอชต้องไม่เกิน 4 โดยสรุปได้ว่าจากอัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:2 และ 2:1 เศษอาหารที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบทำให้กรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิตริก แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าพีเอชลดลงเรื่อยๆ จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากสารอาหารในถังหมักเริ่มลดลง กิจกรรมของจุลินทรีย์ก็ลดลงจึงทำให้ค่าพีเอชค่อยๆเพิ่มขึ้น (ศุภัชญา ชนชนะชัย, 2550)

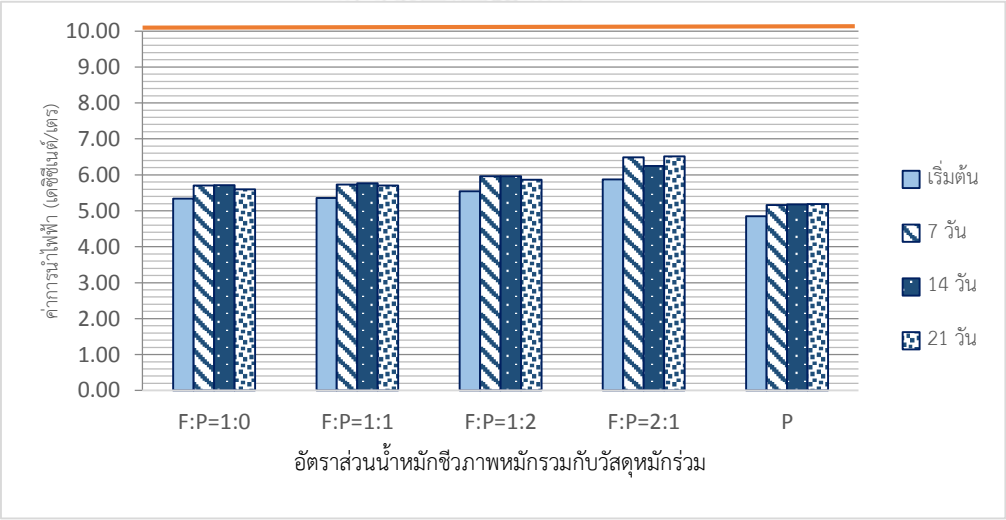


รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.1.2 ค่าการนำไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรก จากรูป 4.2 น้ำหมักชีวภาพอัตราส่วนระหว่างเศษอาหารหมักร่วมกับพลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน 2:1 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด และน้ำหมักชีวภาพทุกอัตราส่วนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดการทดลอง คือ มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าของสารประกอบทางชีวภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักสารอินทรีย์และละลายอยู่ในของเหลว โดยหากน้ำหมักชีวภาพที่ค่าการนำไฟฟ้าสูงจะทำให้รากพืชดูดน้ำได้ยากขึ้น ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ (อุษณีย์ อุยะเสถียร, 2552)

โดยสรุปได้ว่าเมื่อเศษอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย จากรูป 4.2 มีแนวโน้มลดลงหลังวันที่ 14 เนื่องจากในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจะมีการปลดปล่อยสารที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งกรดอ่อนจะแตกตัวเป็นอิออน ส่งผลให้ความเป็นอิเล็กโทรไลต์ของน้ำหมักชีวภาพลดลง

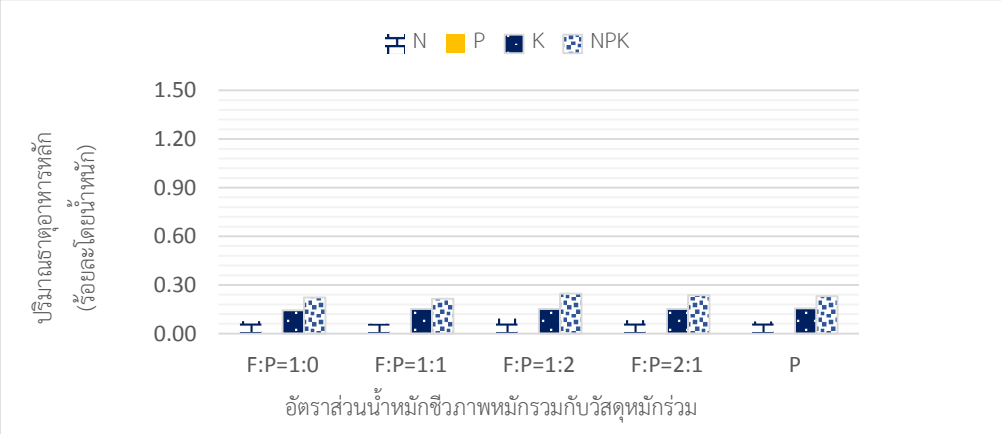


รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.1.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในน้ำหมักชีวภาพ พบว่า ในทุกชุดการทดลองนั้นมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร คือ ต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก หรือมีปริมาณแต่ละชนิดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

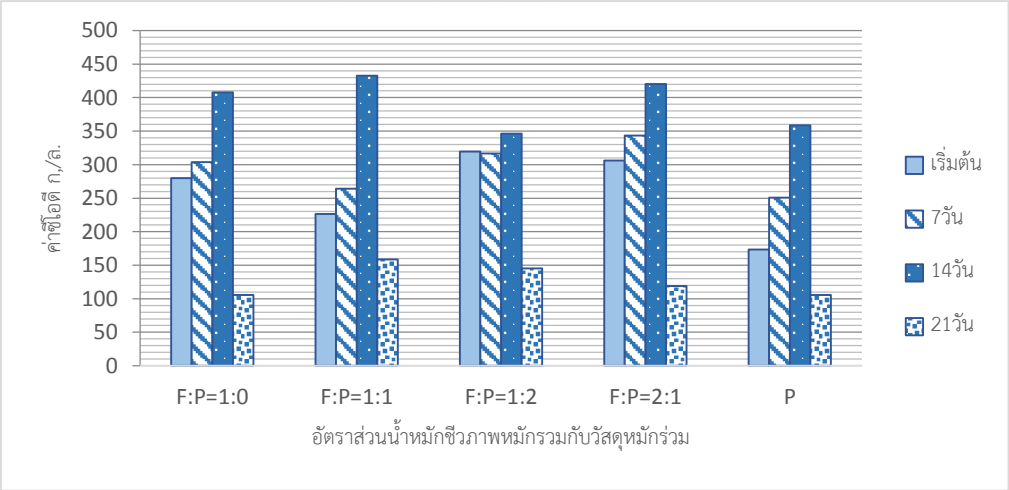
จากผลการทดลองพบว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมกับเศษอาหารหรือพลาสติกชีวภาพเพียงอย่างเดียวมีปริมาณไนโตรเจนต่ำเท่ากับร้อยละ 0.08 และ 0.07 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสก็มีปริมาณต่ำมากเช่นกันเท่ากับร้อยละ 0.002 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเศษอาหารและพลาสติกชีวภาพมีองค์ประกอบของโปรตีนต่ำมากหรือไม่มีเลย จึงมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพต่ำเช่นกัน และเมื่อนำมาเศษอาหารมาหมักร่วมกับพลาสติกชีวภาพจึงมีผลทำให้น้ำหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่ามาตรฐาน สอดคล้องกับทางคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านวิชาการ สมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ม.ป.ป.) ได้ให้แนวคิดว่า เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพไม่ใช่ปุ๋ย เพราะในน้ำหมักชีวภาพนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปุ๋ยโดยทั่วไปแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชน้อยมาก กล่าวคือ มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เพียงร้อยละ 0.01-3.5 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังเป็นกรดจัด ดังนั้นการนำไปใช้จะต้องใช้ควาเข้มข้นที่ต่ำมาก นอกจากนี้ (จำรัส, 2544) ได้รายงายว่า ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำหมักโดยทั่วไปจะมีค่าเกิน 4 dS/m แต่ไม่เกิน 20 dS/m (กรมพันที่ดิน, 2547) และค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำหมักโดยทั่วไปจะมีความเป็นกรดจัด อยู่ระหว่าง 3.6-4.5 การใช้น้ำหมักชีวภาพในอัตราที่เข้มข้นขึ้นจะเป็นอันตรายต่อพืช จึงจำเป็นต้องมีการเจือจางด้วยน้ำก่อน



รูปที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.1.4 ค่าซีโอดี

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร พบว่า แนวโน้มค่าซีโอดีในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มความเข้มข้นของซีโอดีเพิ่มขึ้น ในช่วง 7-14 วันแรกของการหมัก และสูงสุดในวันที่ 14 โดยมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 321-432 กรัมต่อลิตร และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อหมักครบ 21 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำหมักเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย อีกทั้งจุลินทรีย์จะใช้อาหารจากกากน้ำตาลและเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นทำให้ย่อยสลายเศษอาหารได้ดี ซึ่งส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลง เนื่องจากแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ได้นำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4.4

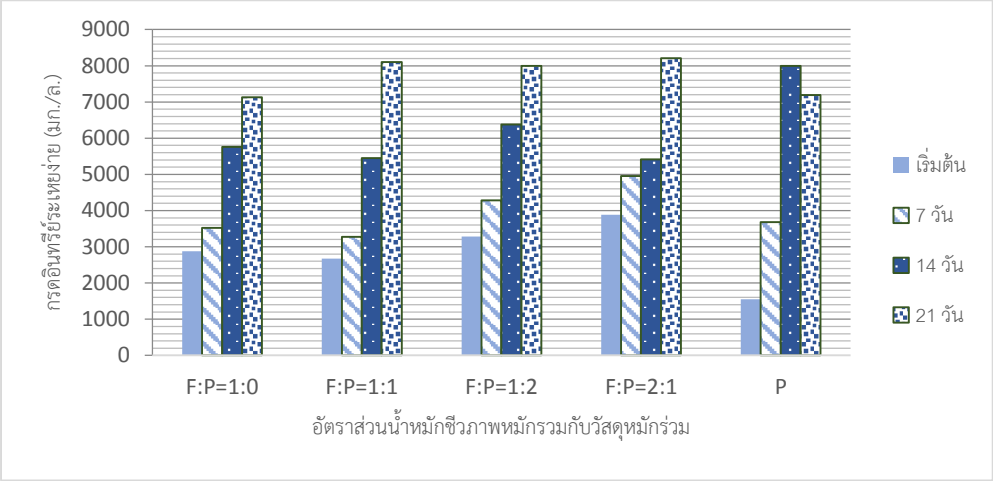


รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.1.5 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย

จากการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 14 วันแรกและพบว่าในวันที่ 21 ของการหมักมีค่าประมาณ 8,000 มก./ล. แม้ว่าการหมักพลาสติกชีวภาพเพียงอย่างเดียวในช่วง 7 วันแรกจะมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสะสมในระบบสูงขึ้นจนมีปริมาณใกล้เคียงกับชุดเศษอาหาร เนื่องจากพลาสติกชีวภาพถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากกว่าเศษอาหาร และการที่น้ำหมักชีวภาพของทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงสะสมในสารละลายเนื่องจากค่าพีเอชของ

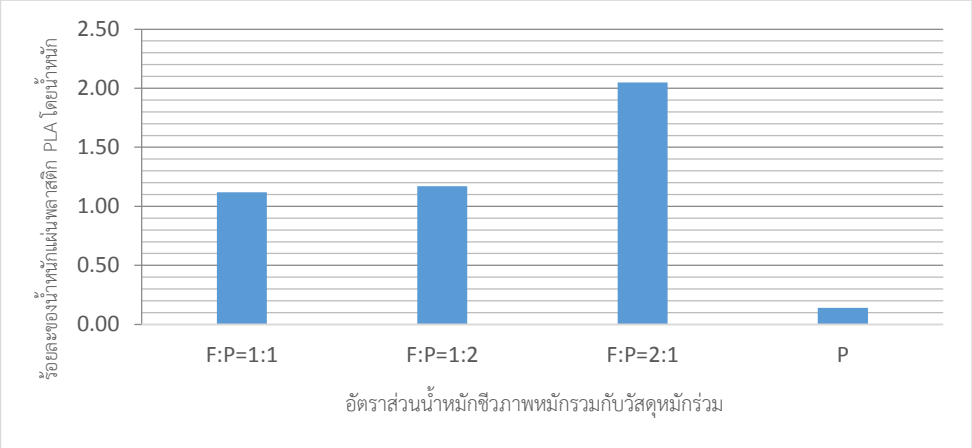
น้ำหมักชีวภาพเป็นกรด พีเอชต่ำกว่า 4 ทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถเติบโตได้และไม่มีการใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ดังแสดงในรูป 4.5



รูปที่ 4.5 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.1.6 น้ำหนักของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA

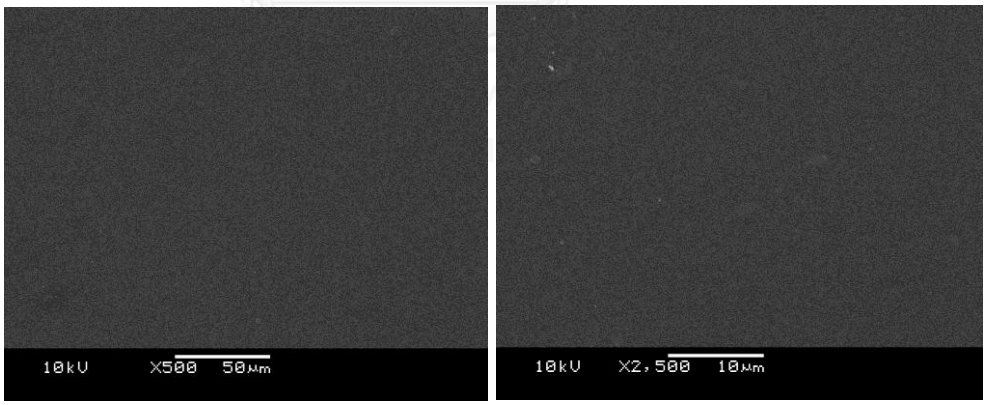
จากการนำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่หมักในน้ำหมักชีวภาพที่หมักรวมกับเศษอาหาร มาชั่งหาน้ำหนักก่อนและหลังการทดลอง พบว่า การใช้พลาสติก PLA เพียงอย่างเดียวนั้นน้ำหนักของแผ่นพลาสติก PLA แทบไม่เปลี่ยนแปลงหรือลดลงน้อยมาก เนื่องจากพลาสติก PLA ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ จึงทำให้พลาสติก PLA ย่อยสลายได้ช้ามาก โดยที่อัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 2:1 นั้น มีน้ำหนักลดลงมากที่สุด ร้อยละ 2.05 รองลงมา อัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:2 มีน้ำหนักลดลง ร้อยละ 1.17 โดยคาดว่าเมื่อมีเศษอาหารมากขึ้น ทำให้มีชนิดและปริมาณแบคทีเรียมาก ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถย่อยสลายพลาสติก PLA ได้มากขึ้น ดังแสดงในรูป 4.6



รูปที่ 4.6 น้ำหนักแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA

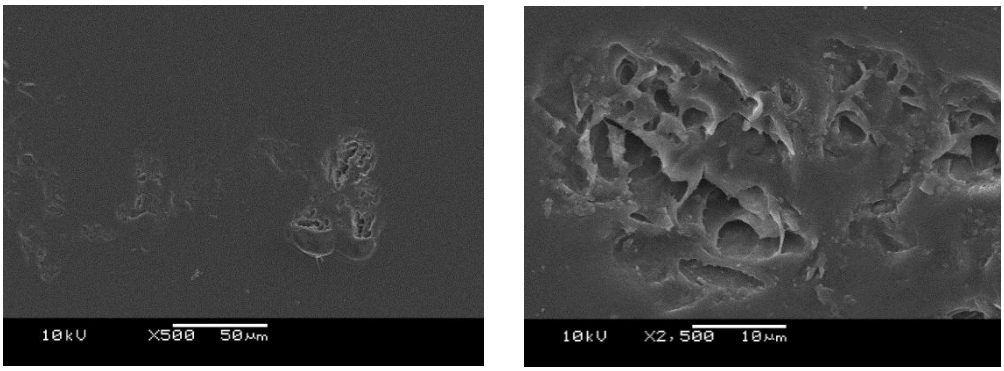
4.1.7 การตรวจสอบพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA

การตรวจสอบพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 500 และ 2500 เท่า โดยการนำชิ้นส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ในน้ำหมักชีวภาพที่หมักรวมกับเศษอาหารไปส่องกล้อง SEM นั้น พบว่า ที่อัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:2 และ 2:1 มีรูพรุนบริเวณพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA มากที่สุด



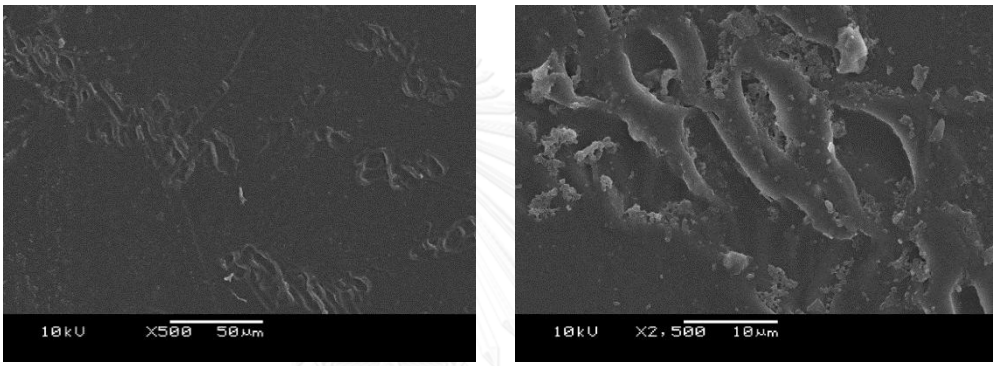
กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2500 เท่า

รูปที่ 4.7 พลาสติกชีวภาพ PLA ตัวอย่าง



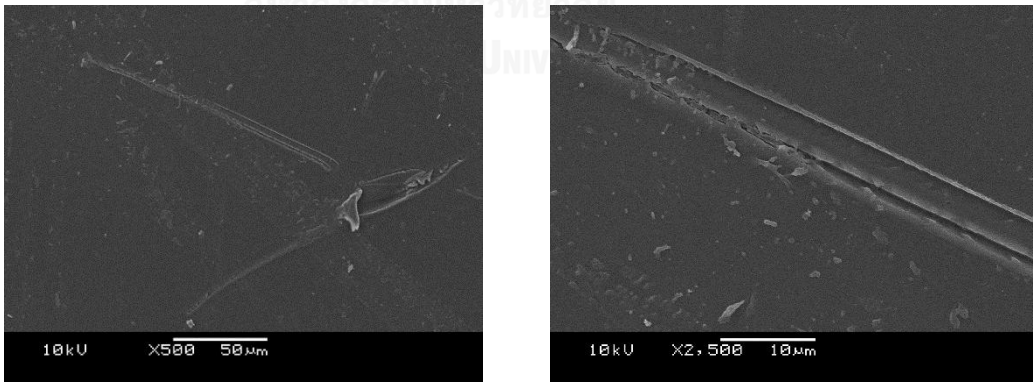
กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2500 เท่า

รูปที่ 4.8 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน F:P 1:2



กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2500 เท่า

รูปที่ 4.9 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน F:P 2:1



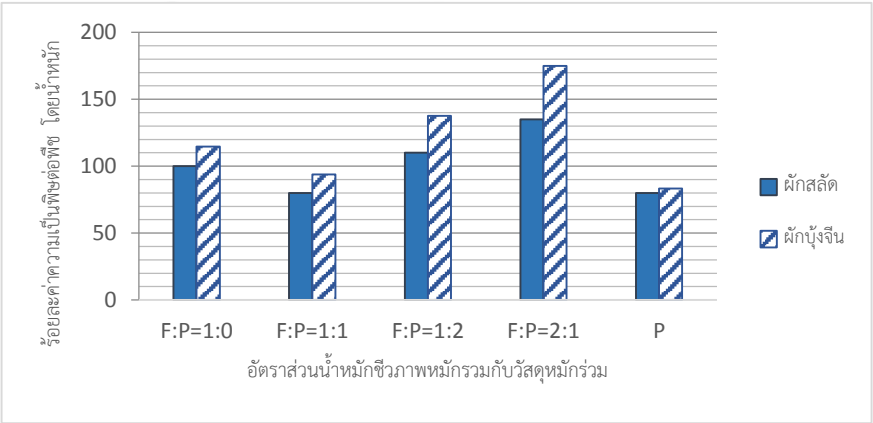
กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2500 เท่า

รูปที่ 4.10 พลาสติกชีวภาพ PLA ในน้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียว

ในการส่องกล้อง SEM นั้น พบว่า แผ่นพลาสติก PLA ที่ไม่ได้ใส่ในน้ำหมักชีวภาพจะมีลักษณะพื้นผิวเรียบ ไม่มีรอย ส่วนแผ่นพลาสติก PLA ที่หมักร่วมกับเศษอาหารมีสภาพพื้นผิวที่มีพื้นผิวไม่เรียบ มีรอยจากการถูกทำลาย คาดว่าเกิดจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย และเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง หลังจากการทดลอง พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ น้ำหนักแผ่นพลาสติก PLA ลดลง พื้นผิวของแผ่นพลาสติก PLA มีรอยการถูกทำลายมากขึ้น แต่พบว่าแผ่นพลาสติก PLA ยังคงสภาพเป็นแผ่นเหมือนเดิม มีเพียงพื้นผิวภายนอกที่ถูกทำลายบางส่วนเท่านั้น

4.1.8 การทดสอบความเป็นพิษของน้ำหมักชีวภาพกับเมล็ดพืช

การทดสอบความเป็นพิษต่อพืช โดยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (Germination Index) ทำได้โดยวัดค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์ด้วยการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดสารที่เป็นพิษต่อพืชที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์น้ำได้ โดยการนำเมล็ดพันธุ์ผักสลัดและผักบุ้งจีน เพาะในจานเพาะเมล็ดแล้วนับจำนวนเมล็ดที่เจริญเติบโตด้วยการวัดความยาวรากที่งอก ค่าที่ได้จะนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช กำหนดว่าค่าดัชนีการงอกของเมล็ดควรมากกว่าร้อยละ 80 จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร และถ้าค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่ามากกว่า ร้อยละ 50 แสดงว่าไม่มีความเป็นพิษต่อพืช จากการทดสอบ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีดัชนีการงอกที่มากกว่า ร้อยละ 50 แสดงว่าน้ำหมักทุกชุดการทดลองไม่มีความเป็นพิษต่อพืชและน้ำหมักชีวภาพทุกชุดยังมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร ดังแสดงในรูป 4.11

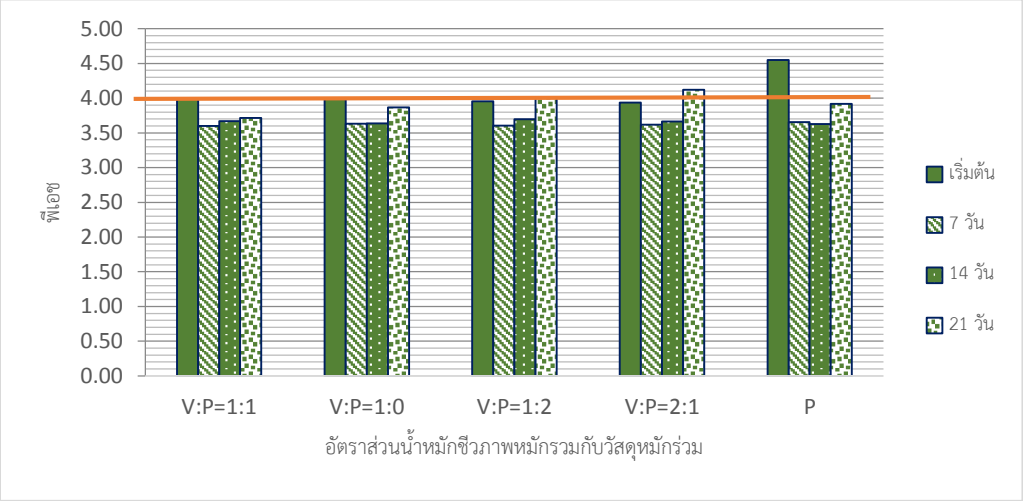


รูปที่ 4.11 ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติก PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร

4.2 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษผัก ที่มีผลต่อน้ำหมักชีวภาพ

4.2.1 ค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกชุดการทดลอง โดยค่าพีเอชจะลดลงในช่วง 7 วันแรก จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้ ค่าพีเอชต้องไม่เกิน 4 พบว่า ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนระหว่างเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:2 และ 2:1 นั้นมีค่าพีเอชเกิน 4 ดังแสดงในรูป 4.12

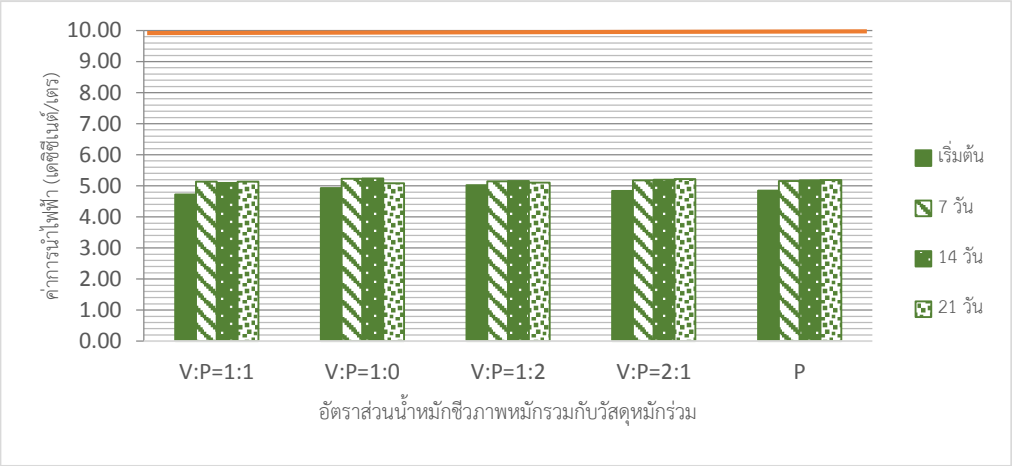


รูปที่ 4.12 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 14 วันแรก จากนั้นจะลดลงในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง โดยน้ำหมักชีวภาพทุกอัตราส่วนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร ดังแสดงในรูป 4.13 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าของสารประกอบทางชีวภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักสารอินทรีย์และละลายอยู่ในของเหลว โดยหากน้ำหมักชีวภาพที่ค่าการนำไฟฟ้าสูงจะทำให้รากพืชดูดน้ำได้ยากขึ้น ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ (อุษณีย์ อุยะเสถียร, 2552)



รูปที่ 4.13 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก

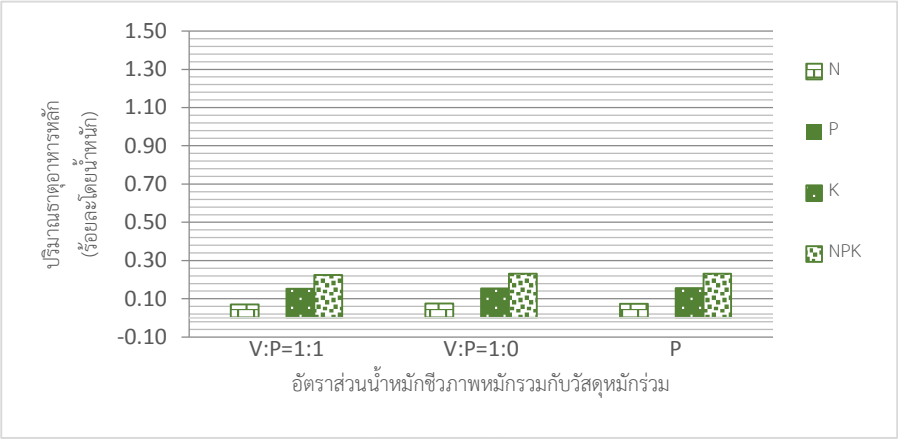
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในน้ำหมักชีวภาพ พบว่า ในทุกชุดการทดลองนั้นมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร คือ ต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก หรือมีปริมาณแต่ละชนิดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมกับเศษผัก ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:0 มีปริมาณไนโตรเจนต่ำเท่ากับร้อยละ 0.07 และ 0.08 โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสก็มีปริมาณต่ำมากเช่นกันเท่ากับร้อยละ 0.001 และ 0.002 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเศษผักนั้นมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบต่ำ จึงมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมัก

ชีวภาพต่ำ และเมื่อนำมาเศษผักมาหมักร่วมกับพลาสติกชีวภาพจึงมีผลทำให้น้ำหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่ามาตรฐาน

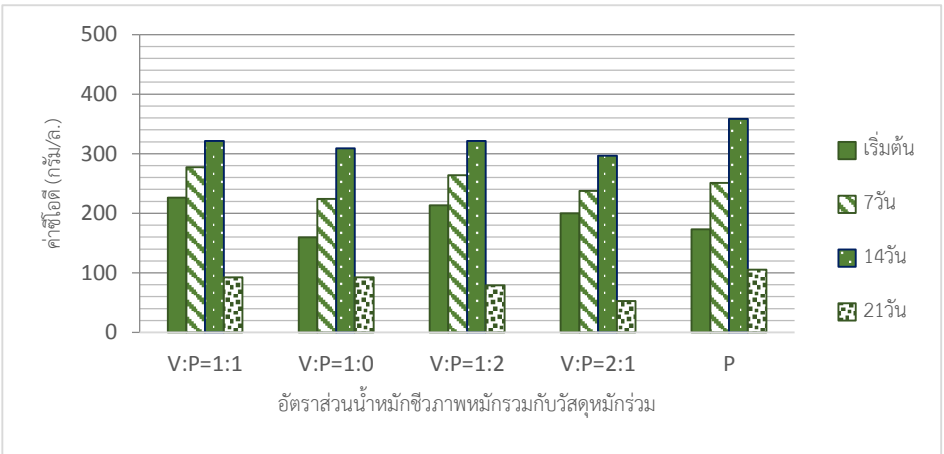


รูปที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษผัก

4.2.4 ค่าซีโอดี

การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก พบว่า แนวโน้มค่าซีโอดีมีแนวโน้มความเข้มข้นสูงสุดในช่วง 7-14 วันแรกของการหมัก และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อหมักครบ 21 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำหมักเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย อีกทั้งจุลินทรีย์จะใช้อาหารจากกากน้ำตาลและเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นเกิดการย่อยสลายเศษผัก ซึ่งส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลง

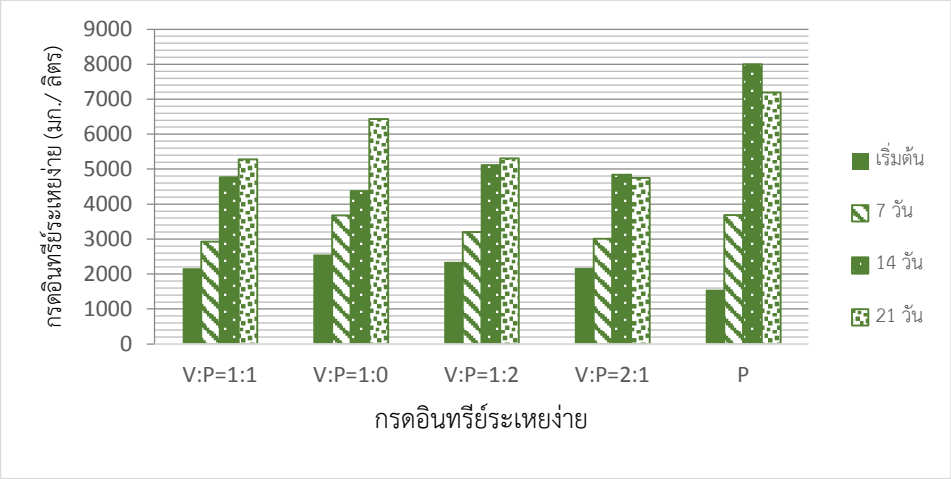
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.15 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก

4.2.5 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย

จากการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพPLA หมักรวมกับเศษผัก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่อัตราส่วนเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำหมัก 1:0 มีค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงสุด เท่ากับ 6,430 มก./ล. รองลงมา ได้แก่ อัตราส่วน 1:2 เท่ากับ 5,310 มก./ล. โดยทุกอัตราส่วนมีค่าต่ำกว่าการใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมักร่วม ดังแสดงในรูป 4.16



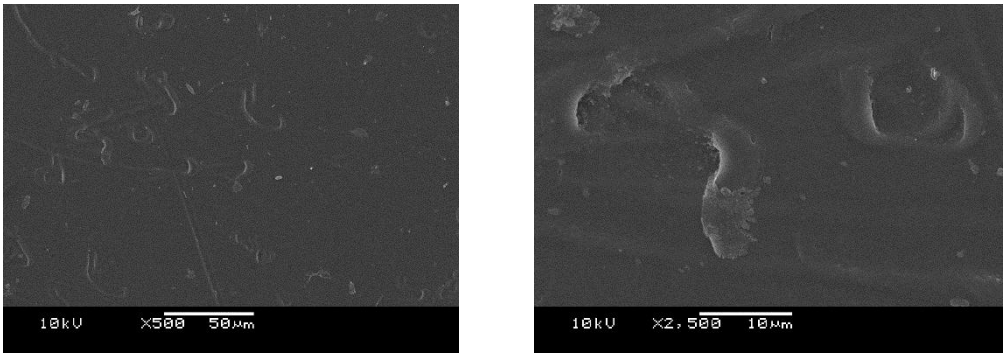
รูปที่ 4.16 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก

4.2.6 น้ำหนักของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA

จากการนำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่หมักในหมักชีวภาพที่หมักร่วมกับเศษผัก มาชั่งหาน้ำหนักก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ที่อัตราส่วนเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:1 นั้น มีน้ำหนักลดลง ต่ำกว่าร้อยละ 0.1 (เนื่องจากอัตราส่วน 1:2 และ 2:1 นั้นไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานจึงไม่นำมาใช้ในการหาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด)

4.2.7 การตรวจสภาพพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA

การตรวจสอบพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 500 และ 2500 เท่า พบว่าที่อัตราส่วนเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ PLA ท่ากับ 1:1 มีรูพรุนบริเวณพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเศษอาหาร

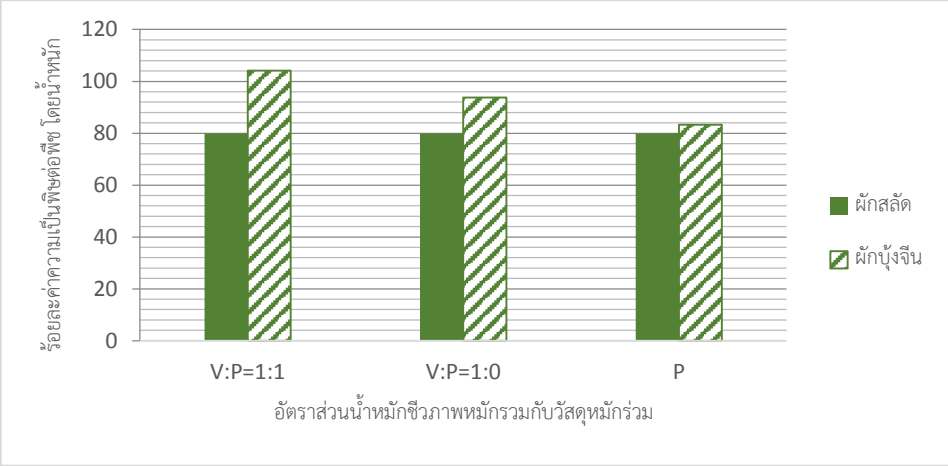


กำลังขยาย 500 เท่า กำลังขยาย 2500 เท่า

รูปที่ 4.17 พลาสติกชีวภาพ PLA อัตราส่วน V:P 1:1

4.2.8 ดัชนีการงอกของเมล็ด

จากการทดสอบ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีดัชนีการงอกที่มากกว่า ร้อยละ 50 แสดงว่าน้ำหมักทุกชุดการทดลองไม่มีความเป็นพิษต่อพืชและน้ำหมักชีวภาพทุกชุดยังมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร ดังแสดงในรูป 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติก PLA หมักร่วมกับเศษผัก

เมื่อนำผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมพลาสติกชีวภาพ PLA กับเศษอาหารและเศษผัก รวมทั้งการใช้พลาสติกชีวภาพ PLAเพียงอย่างเดียว มาเปรียบเทียบน้ำกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร สรุปได้ว่า ทุกชุดการทดลองไม่ได้ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวของกรมวิชาการเกษตรหรือมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน เนื่องจากมีค่าปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ส่วนพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวัดค่า พบว่า ที่อัตราส่วนเศษผักต่อพลาสติกชีวภาพ PLA ที่ 1:2 และ 2:1 มีค่าพีเอชเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด จึงทดลองเพิ่มเติมโดยนำพลาสติก PLA มาบดให้ละเอียดและทดลองหมักร่วมกับเศษอาหาร เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในระบบ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักรวมกับวัสดุหมักร่วมกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร

พารามิเตอร์	อัตราส่วนพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด:เศษอาหาร/เศษผัก								
	F:P 1:1	F:P 1:0	F:P 1:2	F:P 2:1	P	V:P 1:1	V:P 1:0	V:P 1:2	V:P 2:1
pH[3] (<4)	/	/	/	/	/	/	/		
EC[1] (<10)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
NPK[1] (>1.5%)									
GI[2] (>80%)	/	/	/	/	/	/	/	/	/

หมายเหตุ : 1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวของกรมวิชาการเกษตร

2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

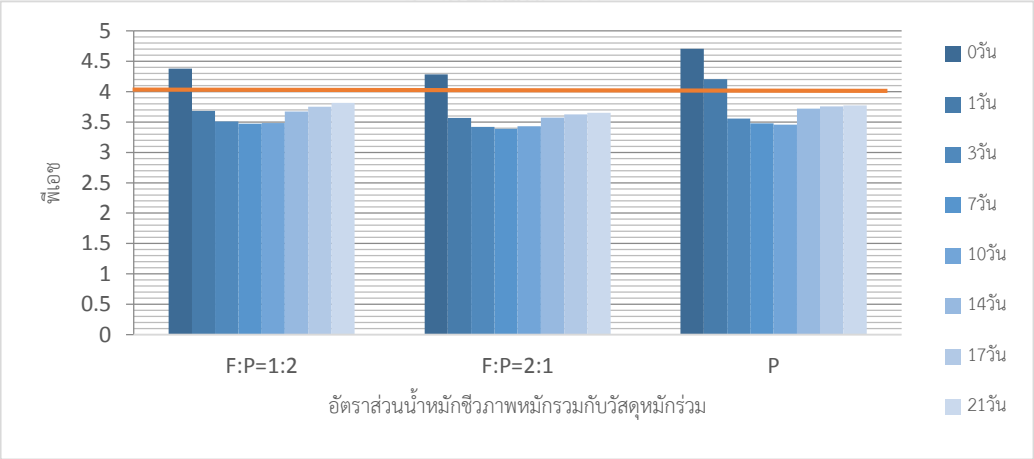
3 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน

/ แสดงถึงค่าที่ผ่านตามพารามิเตอร์ที่กำหนด

4.3 การศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีการบดละเอียดต่อเศษอาหารที่มีผลต่อน้ำหมักชีวภาพ

4.3.1 ค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจาก เศษอาหารหมักรวมกับพลาสติกชีวภาพ PLA ด้วยอัตราส่วน 1:2 และ 2:1 น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามอัตราส่วน คือค่าพีเอชจะลดลงในช่วง 7 วันแรก จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนวันสุดท้ายของการทดลอง โดยค่า พีเอชของน้ำหมักชีวภาพของทุกชุดการทดลองมีค่าเป็นกรดอ่อน ต่ำกว่า 4 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้ ค่าพีเอชต้องไม่เกิน 4 โดยสรุปได้ว่าจากอัตราส่วนเศษอาหารต่อพลาสติกชีวภาพ PLA 1:2 และ 2:1 เศษอาหารที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบทำให้กรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิตริก แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าพีเอชลดลงเรื่อยๆ จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายได้ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน (ศุภัชญา ชนชนะชัย, 2550)

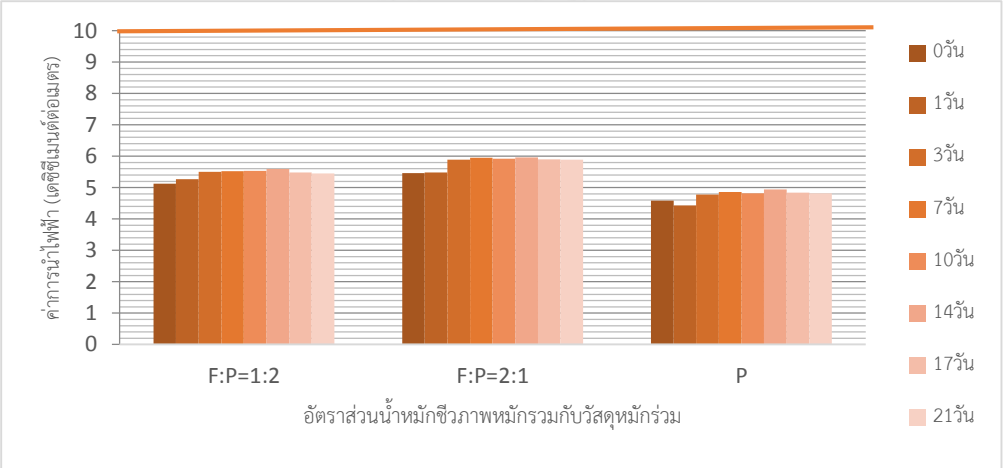


รูปที่ 4.19 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร

4.3.2 ค่าการนำไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำหมักชีวภาพ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าค่อนข้างคงที่จลอดการทดลอง 21 วัน ดังแสดงในรูป 4.20 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามากสุดคือน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษอาหารกับพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียด ที่อัตราส่วน 1:2 และในน้ำหมักชีวภาพทุกอัตราส่วนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดการทดลอง คือ มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าของสารประกอบทางชีวภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักสารอินทรีย์และละลายอยู่ในของเหลว โดยหากน้ำหมักชีวภาพที่ค่าการนำไฟฟ้าสูงจะทำให้รากพืชดูดน้ำได้ยากขึ้น ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ (อุษณีย์ อุยะเสถียร, 2552)

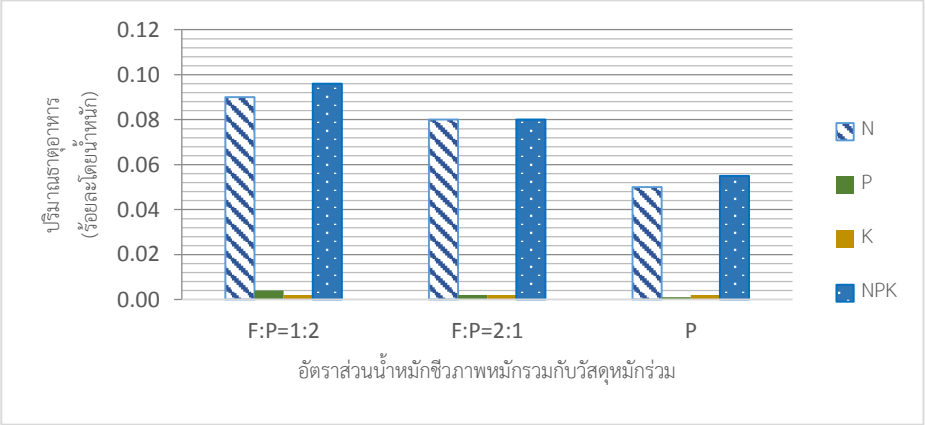
โดยสรุปได้ว่าเมื่อเศษอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย จากรูป 4.20 มีแนวโน้มลดลงหลังวันที่ 14 เนื่องจากในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจะมีการปลดปล่อยสารที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งกรดอ่อนจะแตกตัวเป็นอิออน ส่งผลให้ความเป็นอิเล็กโทรไลต์ของน้ำหมักชีวภาพลดลง



รูปที่ 4.20 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร

4.3.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในน้ำหมักชีวภาพ พบว่า ในทุกชุดการทดลองของพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียดนั้นมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร คือ ต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก หรือมีปริมาณแต่ละชนิดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูป 4.21

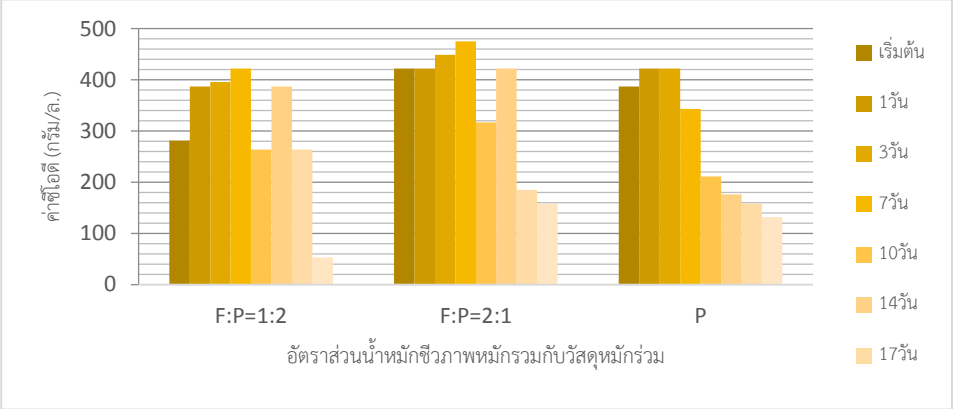


รูปที่ 4.21 ปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.4 ค่าซีโอดี

ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักรวมกับเศษอาหารด้วยอัตราส่วน 1:2 และ 2:1 น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว พบว่า แนวโน้มค่าซีโอดีในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มความเข้มข้นของซีโอดีเพิ่มขึ้นในช่วง 7-14 วันแรกของการหมัก และจะมีค่าลดลงเมื่อหมักครบ 21 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำหมักเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย อีกทั้งจุลินทรีย์จะใช้อาหารจากกากน้ำตาลและเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นทำให้ย่อยสลายเศษอาหารได้ดี ซึ่งส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลง โดยน้ำหมักชีวภาพ PLA หมักรวมกับเศษอาหารด้วยอัตราส่วน 1:2 มีค่าซีโอดีสูงสุด ดังแสดงในรูป 4.22

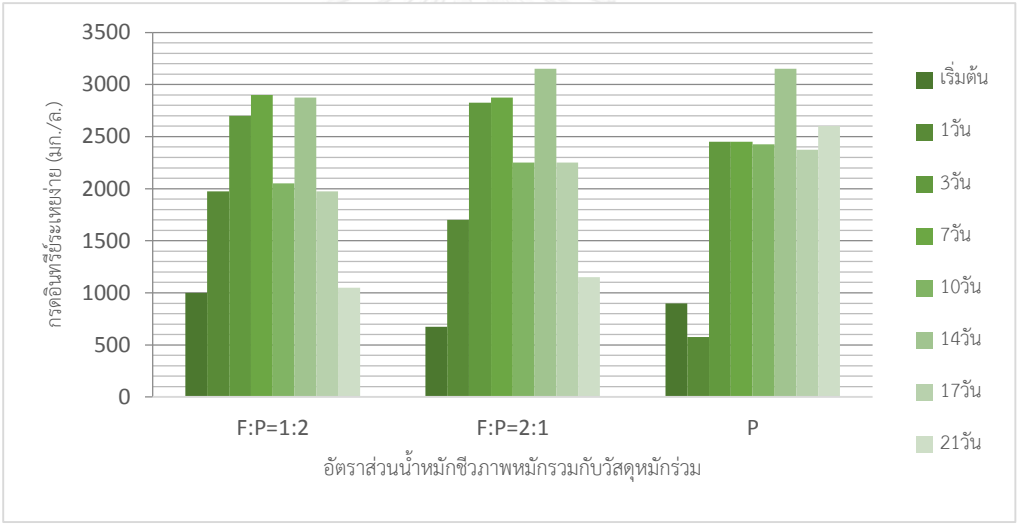


รูปที่ 4.22 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.5 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย

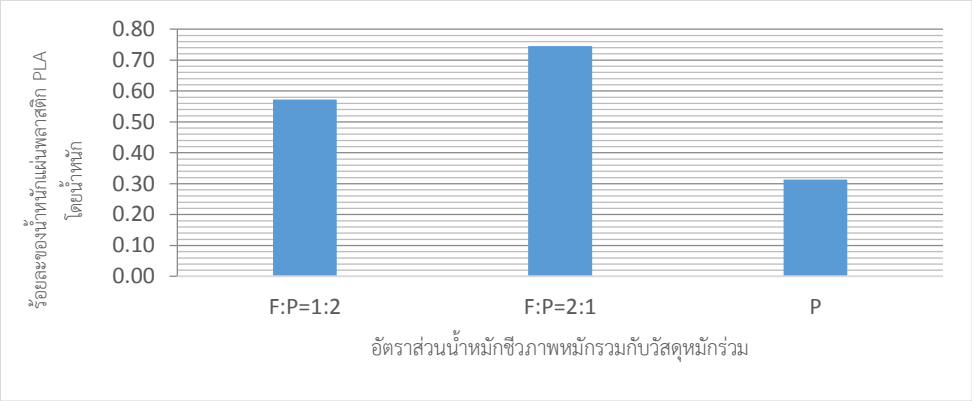
ในการวิเคราะห์ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำหมักชีวภาพ พบว่า ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA หมักรวมกับเศษอาหาร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว มีค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงสุด เท่ากับ 520 มก./ล.รองลงมา ได้แก่ หมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพPLA หมักร่วมกับเศษอาหารด้วยอัตราส่วน 1:2 และ 2:1 เท่ากับ 230 มก./ล. และ 210 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.23 โดยมีความสอดคล้องกันคือ ค่าพีเอชในช่วงระยะสุดท้ายของการทดลองมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้น และค่าซีโอดีและกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้อาหารจากกากน้ำตาลและเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นทำให้ย่อยสลายเศษอาหารได้ดี ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ได้นำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และค่าซีโอดีลดลง



รูปที่ 4.23 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด หมักรวมกับเศษอาหาร

4.3.6 น้ำหนักของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA

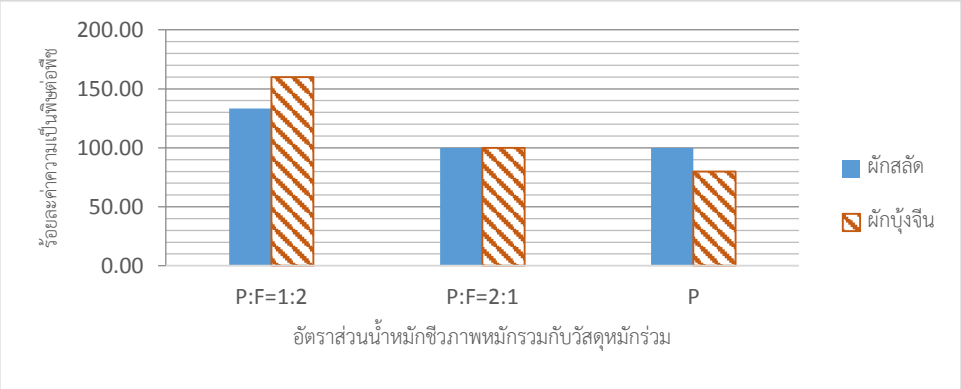
จากการนำพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียดที่หมักในหมักชีวภาพที่ผลิตหมักรวมกับเศษอาหาร มาชั่งหาน้ำหนักก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ที่อัตราส่วนพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษอาหาร 1:2 นั้น มีน้ำหนักลดลงมากที่สุด ร้อยละ 0.75 รองลงมาอัตราส่วนพลาสติกชีวภาพ PLA ต่อเศษอาหาร 2:1 มีน้ำหนักลดลง ร้อยละ 0.57 และน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุด ร้อยละ 0.31



รูปที่ 4.24 น้ำหนักแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียด

4.3.7 ดัชนีการงอกของเมล็ด

จากการทดลอง พบว่า ทุกชุดการทดลองมีดัชนีการงอกที่มากกว่า ร้อยละ 50 แสดงว่าน้ำหมักทุกชุดการทดลองไม่มีความเป็นพิษต่อพืชและน้ำหมักชีวภาพทุกชุดยังมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร



รูปที่ 4.25 ดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำหมักชีวภาพที่พลาสติกชีวภาพ PLA บดละเอียดหมักรวมกับวัสดุหมักรวม

4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหมักชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่นและแบบบดละเอียด

จากการทดลองผลิตหมักชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่น และแบบบดละเอียด พบว่า ค่าพีเอชนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าการนำไฟฟ้านั้นแบบแผ่นจะให้ค่าที่มากกว่าเล็กน้อย ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักนั้นทั้ง 2 แบบ ต่างไม่ผ่านค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและค่าดัชนีการงอกของเมล็ดนั้นแบบแผ่นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับแบบดละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหมักชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่นและแบบบดละเอียด

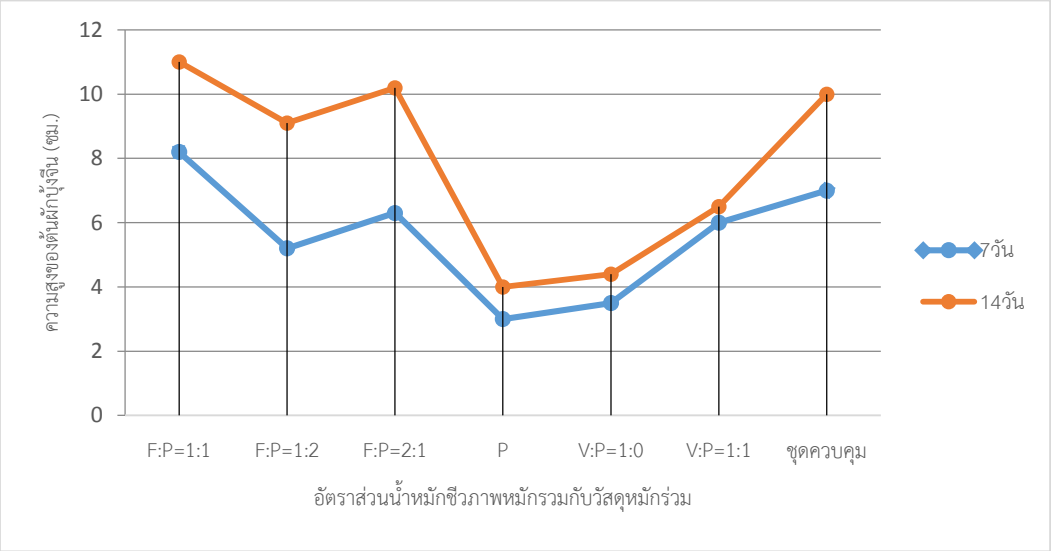
พารามิเตอร์	อัตราส่วน เศษอาหาร : พลาสติกชีวภาพ PLA						มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ
	PLA แบบแผ่น			PLA แบบบดละเอียด			
	F:P=1:2	F:P=2:1	P	F:P=1:2	F:P=2:1	P	
pH	3.86	3.78	3.92	3.65	3.81	3.77	ไม่เกิน 4
EC (ds/m)	5.86	6.51	5.19	5.89	5.45	4.82	ไม่เกิน 10 ds/m
NPK (%)	0.25	0.24	0.23	0.096	0.08	0.055	>1.5%
GI (%)	137.5	175	83.33	100	160	80	>80%

หมายเหตุ: มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

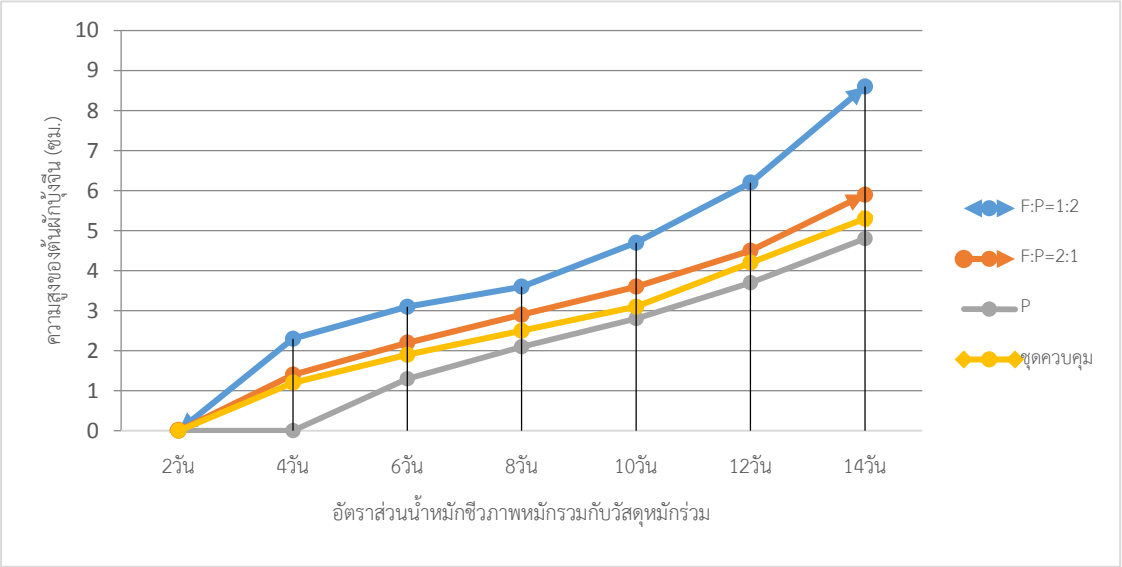
4.5 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้ง

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของผักบุ้งนั้นจะนำน้ำหมักชีวภาพผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA แบบแผ่น ที่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและปุ๋ยอินทรีย์ชนิดของเหลวจากกรมวิชาการเกษตรมาใช้ในการปลูกผัก จากการทดลองนำผักบุ้งมาปลูก โดยใช้น้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนมาเจือจางที่ความเข้มข้น 1:100 พบว่า ความสูงของต้นผักบุ้งจีนที่ใส่น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษอาหารและพลาสติกชีวภาพ PLA ที่อัตราส่วน 2:1 นั้นมีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาเป็นอัตราส่วน 1:2 และ 1:0 ตามลำดับ ส่วนการใช้น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียวและน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากเศษผัก ที่อัตราส่วน 1:0 และ 1:1 ทำให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม



รูปที่ 4.26 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีนในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA ชนิดแผ่น

ส่วนในการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียดนั้น จากการทดลองนำผักบุ้งมาปลูก โดยใช้น้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนมาเจือจางที่ความเข้มข้น 1:100 พบว่า ความสูงของต้นผักบุ้งจีนที่ใส่น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA แบบบดละเอียดและเศษอาหาร ที่อัตราส่วน 2:1 นั้นมีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาเป็นอัตราส่วน 1:2 และชุดควบคุม ส่วนอัตราส่วนที่เจริญเติบโตน้อยที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.27 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีนในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ PLA บด

Chulalongkorn University

สรุปได้ว่าการใช้พลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียวจะได้น้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ปลูกพืช จะต้องนำพลาสติกชีวภาพ PLA ไปหมักร่วมกับเศษอาหารที่อัตราส่วนเศษอาหารและพลาสติกชีวภาพ PLA ที่อัตราส่วน 1:1 จะได้น้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดีกว่าและสามารถนำไปใช้ปลูกพืช ซึ่งผลการทดลองบ่งชี้ว่าทำให้ผักบุ้งเติบโตมากกว่าการใช้เศษอาหารอย่างเดียว

4.6 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

สรุปการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยนี้ พบว่าค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพในงานวิจัยนี้ค่าต่ำกว่า 4 ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งงานวิจัยน้ำหมักที่ได้ส่วนใหญ่จะมีค่าพีเอชต่ำกว่า 4 ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดเช่นกัน ส่วนค่าการนำไฟฟ้านั้นมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวของกรมวิชาการเกษตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากงานวิจัยอื่นมีค่าแตกต่างกัน โดยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักในงานวิจัยอื่นจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะน้ำหมักที่ใช้โปรตีนเป็นวัสดุหมัก ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักนั้นงานวิจัยอื่นส่วนใหญ่มีค่าที่สูงเกินปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวของกรมวิชาการเกษตร แต่งานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากวัสดุหมักพลาสติกชีวภาพ PLA เศษอาหาร และเศษผักที่ใช้ในการทดลองนี้ มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่ต่ำมาก แตกต่างจากน้ำหมักของกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน ที่ใช้ปลาและหอยเป็นวัสดุหมักทำให้ได้น้ำหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพบว่าผลการทดลองส่วนใหญ่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าน้ำหมักจากการหมักร่วมเศษอาหาร:พลาสติกPLA บดที่อัตราส่วน 2:1 ของงานวิจัยนี้มีค่าได้ตามมาตรฐานทุกพารามิเตอร์ยกเว้นปริมาณธาตุอาหารที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานอย่างเดียว

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

งานวิจัย	วัสดุหมัก	pH[3]	EC[1]	N	P	K	NPK[1]	GI[2]
เด่นนภา ลาดนา เลา (2546)	-ใบน้อยหน่า -ใบสะเดา -ใบสาบเสือ	3.84 3.90 3.86	14.2 15 16.1	0.21 0.15 0.15	0.14 0.12 1.45	1.56 0.02 0.09	1.91 0.29 1.69	-
วีณารัตน์ มูลรัตน์ (2553)	-เศษปลา: กากน้ำตาล 1:1 -เศษปลา: กากส่าเหล้า 1:1 -เศษปลา: กากน้ำตาล:	3.81 10.47 10.77 7.64	5.68 4.18 5.70 6.90	0.71 1.04 1.16 1.31	0.07 0.19 0.16 0.08	0.72 0.27 0.59 0.89	1.5 1.5 1.91 2.28	20.1

งานวิจัย	วัสดุหมัก	pH[3]	EC[1]	N	P	K	NPK[1]	GI[2]
	กากส่าเหล้า 1:0.3:0.7 -เศษปลา: กากน้ำตาล: กากส่าเหล้า 1:0.5:0.5 -เศษปลา: กากน้ำตาล: กากส่าเหล้า 1:0.7:0.3	5.64	7.23	1.33	0.07	1.10	2.5	
เบญจวรรณ คำศรี (2556)	-ตะกอนสลัดจ์ชุมชน: เศษอาหาร: เศษผัก 20:80:0	3.95	8.19	0.43	0.06	1.15	1.64	82.76
	-ตะกอนสลัดจ์โรงงาน: เศษอาหาร: เศษผัก 10:90:0	3.89	7.17	0.44	0.04	1.24	1.72	108.57
	-ตะกอนสลัดจ์โรงงาน: เศษอาหาร: เศษผัก 50:25:25	3.98	9.16	0.66	0.07	0.78	1.51	89.55
	-ตะกอนสลัดจ์โรงงาน: เศษอาหาร:	4.01	8.91	0.53	0.05	1.13	1.71	107.62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	วัสดุหมัก	pH[3]	EC[1]	N	P	K	NPK[1]	GI[2]
	เศษผัก 20:80:0							
พูนศิริ จันทร์หอม (2555)	ผัก:EM 1:1 1:2 1:3	 4.57 4.42 3.92	 -	 0.09 0.08 0.08	 0.03 0.02 0.01	 0.18 0.15 0.15	 0.3 0.25 0.24	 -
ณัฐมน ขวัญไชย (2556)	-เศษปลา:เศษผัก: กากน้ำตาล: น้ำ 3:1:1:1 -เศษปลา:เศษผัก: กากน้ำตาล: น้ำ 2:2:1:1 -เหมือนสูตร1 แต่เติมเศษผักในระยะที่ 2 ของการหมัก -เหมือนสูตร 2 แต่เติมเศษผักในระยะที่ 2 ของการหมัก	4.8 4.6 4.7 4.6	23.6 22.4 24.1 21.5	0.79 0.65 0.99 0.73	0.49 0.45 0.44 0.36	0.54 0.78 0.84 0.51	1.82 1.88 2.27 1.6	-
กรมพัฒนาที่ดิน (2547)	เศษปลา เศษผัก เศษผลไม้ หอยเชอรี่	4.4 4.3 3.6 4.6	21.60 15.93 3.78 29.18	0.38 0.14 0.27 0.35	1.12 0.30 0.05 0.25	1.03 0.04 0.67 0.85	2.53 0.48 0.99 1.45	- - - -

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	วัสดุหมัก	pH[3]	EC[1]	N	P	K	NPK[1]	GI[2]
กรม	พืช	3.3-	0.12-	0.05-	0.01-	0.02-	-	-
วิชาการ		5.1	8.54	1.65	0.59	1.89		
เกษตร							-	-
(2547)	ปลา		3.1-	0.32-	0.01-	0.38-		
		3.6-	33.8	2.0	3.74	1.72	-	-
		6.2						
	หอย				0.03-	0.04-	-	-
			0.24-	0.28-	0.35	1.53		
		3.4-	10.9	1.29				
	ผสม	8.4			0.01-	0.02-		
			0.63-	0.06-	3.41	4.93		
			12.52	1.82				
		3.7-						
		9.0						
งานวิจัยนี้	-เศษอาหาร:							
	พลาสติกPLA							
	บดละเอียด							
	1:2	3.81	5.45	0.08	0.002	0.002	0.08	100
	2:1	3.65	5.89	0.09	0.004	0.002	0.09	120
	-เศษผัก:							
	พลาสติกPLA							
	1:0	3.87	5.08	0.07	0.002	0.15	0.23	93.75
	1:1	3.72	5.14	0.07	0.001	0.15	0.22	104.17

หมายเหตุ : 1. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวของกรมวิชาการเกษตร

ค่า EC ต้องไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์/เมตร

ค่า NPK ต้องมากกว่า 1.5%

2. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

ค่า GI ต้องมากกว่า 80%

3. มาตรฐานตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมพัฒนาที่ดิน
ค่า pH ต้องไม่เกิน 4

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดทำการหมักรวมกับวัสดุหมัก คือ เศษอาหารและเศษผัก โดยศึกษาปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของน้ำหมักชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดินและปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่เป็นของเหลวจากกรมวิชาการเกษตร

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปการใช้พลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุหมักเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพสรุปได้ว่า

1. การใช้พลาสติกชีวภาพ PLA เพียงอย่างเดียว พบว่าน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำ พลาสติกชีวภาพ PLA ย่อยสลายน้อยจากค่าน้ำหนักที่ลดลงเพียงร้อยละ 0.14 และเมื่อนำไปทดลองปลูกผักบุ้ง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม
2. การใช้พลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษอาหาร แม้ว่าจะมีค่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำกว่ามาตรฐานแต่สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของผักบุ้งได้
3. การใช้พลาสติกชีวภาพ PLA หมักร่วมกับเศษผัก พบว่าน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยมีค่าพีเอชและปริมาณธาตุอาหารหลักที่ต่ำกว่ามาตรฐาน นอกจากนั้น เมื่อนำไปปลูกผักบุ้งพบว่าอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

จึงสรุปได้ว่า พลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุหมักเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพ นั้นไม่ผ่านค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากกรมพัฒนาที่ดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองผลิตน้ำหมักชีวภาพ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นภายในถังหมัก

2. การทดลองผลิตน้ำหมักชีวภาพ ควรมีการปรับปริมาณเศษอาหารและเศษผักมากกว่าเดิม
3. การทดลองควรวัดค่าให้ถี่กว่าเดิม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ละเอียดยิ่งขึ้น
4. การทดลองแผ่นพลสติกชีวภาพ PLA อาจมีการปรับสภาพเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Ho, K.-L. G. and Pometto Iii, A. L. (1999). Temperature Effects on Soil Mineralization of Polylactic Acid Plastic in Laboratory Respirometers. *Journal of environmental polymer degradation,* 7(2), 101-108.

Kim, J. K., Dao, V. T., Kong, I. S., and Lee, H. H. (2010). Identification and characterization of microorganisms from earthworm viscera for the conversion of fish wastes into liquid fertilizer. *Bioresource Technology,* 101(14), 5131-5136.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). กระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพ การประเมินผลปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยใช้สารเร่ง พด.2 ของเกษตรกรในพื้นที่ภาคใต้. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้. (2546). ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกระบวนการหมัก, หน้า 9. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ.

กัลยากร เทียนชัย. (2555). การพัฒนาแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลคติกแอซิดร่วมกับวัสดุธรรมชาติ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

ณัฐมณ ขวัญไชย. (2556). การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนของวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

เด่นนภา ลาดนาเลา และ สุธัมมา กาบินพงษ์. (2546). การศึกษาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ 3 ชนิด และศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

นาวิน เนสุสินธุ์. (2554). การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในดินจากบ่อฝังกลบขยะผสมกากตะกอนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

บุญเกิด ศิริพงษ์. (2552). การศึกษาองค์ประกอบและอิทธิพลของปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพต่อการชะละลาย. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

เบญจวรรณ คำศรี. (2556). การผลิตน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ตะกอนสลัดจ์เป็นวัสดุหมักร่วม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ประวัติ บัวศรี. (2553). ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

พูนศิริ จันทร์หอม. (2557). การหาปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) จากน้ำหมักชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, สุรินทร์.

มณีรัตน์ สุตันตั้งใจ. (2549). การจัดการของเสียจากการแปรรูปแตงไทย กรณีศึกษา น้ำหมักชีวภาพ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, เลย.

วิชบูรณ์ ศีตะโกเศศ. (2555). ผลของปุ๋ยเคมีและน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบางชนิดในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

วิทยวัฒน์ กุญชร ณ อยุธยา. (2544). ประเภทน้ำหมักชีวภาพ, เทคโนโลยีภูมิปัญญาท้องถิ่น หน้า 77. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีณารัตน์ มูลรัตน์. (2553). ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตของผักโขม ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และผักบุ้งจีน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย. (2559ก). ผักบุ้งจีน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: puechaset.com/ผักบุ้งจีน/ [26 มิ.ย. 2559]

เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย. (2559ข). ผักสลัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: puechaset.com/ผักสลัด/ [26 มิ.ย. 2559]

ศิริลักษณ์ หุนแดง. (2551). ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากก้านเห็ดหอมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

สาธิณี ศิริวัฒน์. (2553). การย่อยสลายทางชีวภาพของบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิแลคติกแอซิดและเยื่อชานอ้อย. บัณฑิตวิทาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2550). สารเร่งซุปเปอร์ พด.2. 1(1).

สุธิรา สุนทรารักษ์. (2553). เศษอาหารและเศษผัก. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 48.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุภารัตน์ ปั้นพุ่มโพธิ์. (2558). การย่อยสลายพอลิแลคติกแอซิดโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในดินจากหลุมฝังกลบขยะและตะกอนน้ำเสียจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋อง. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

สุรีย์รัตน์ บัวชื่น. (2553). การย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในดิน ที่เก็บในแต่ละภูมิภาคของไทย สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี และคณะ. (2547). ธาตุอาหารพิช, ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ น้ำหมักชีวภาพ (ตอนที่ 1), หน้า 7. กรุงเทพฯ: โครงการวิจัยและพัฒนาน้ำหมักชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร โครงการเกษตรแบบยั่งยืนเพื่อสิ้งแวดล้อม กรมวิชาการเกษตร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การคำนวณวัสดุหมัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.1 การคำนวณหาการวิเคราะห์ความชื้นของวัสดุหมัก

วิธีการ

1. นำถ้วยอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกใส่โถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็นอย่างน้อย 2 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผล
2. ชั่งตัวอย่างจำนวน 10.xxxx ในถ้วยอบ แล้วบันทึกผลของน้ำหนัก
3. นำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 103-105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
4. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

การคำนวณ

ร้อยละความชื้น

$$= \frac{((\text{น้ำหนักถ้วยอบ} + \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}) - (\text{น้ำหนักถ้วยอบ} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ)) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

การคำนวณหาปริมาณวัสดุหมัก

1. ปริมาณวัสดุหมักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพหมักรวมกับเศษอาหาร

1.1 อัตราส่วน เศษอาหาร : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:1

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษอาหาร 0.15 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.15 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 96.01

น้ำหนักเศษอาหาร 100-3.99 กก. จากเศษอาหารจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษอาหาร 1 กก. จากเศษอาหารจริง 1.04 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษอาหาร 0.15 กก.นน.แห้ง จากเศษอาหารจริง 0.16 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.15 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.15 กก.น้ำหนักเปียก

1.2 อัตราส่วน เศษอาหาร : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:0

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษอาหาร 0.3 กก.นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 96.01

น้ำหนักเศษอาหาร 100-3.99 กก. จากเศษอาหารจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษอาหาร 1 กก. จากเศษอาหารจริง 1.04 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษอาหาร 0.3 กก.นน.แห้ง จากเศษอาหารจริง 0.31 กก.น้ำหนักเปียก

1.3 อัตราส่วน เศษอาหาร : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:2

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษอาหาร 0.1 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.2 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 96.01

น้ำหนักเศษอาหาร 100-3.99 กก. จากเศษอาหารจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษอาหาร 1 กก. จากเศษอาหารจริง 1.04 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษอาหาร 0.1 กก.นน.แห้ง จากเศษอาหารจริง 0.1 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.2 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.2 กก.น้ำหนักเปียก

1.4 อัตราส่วน เศษอาหาร : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 2:1

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษอาหาร 0.2 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.1 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 96.01

น้ำหนักเศษอาหาร 100-3.99 กก. จากเศษอาหารจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษอาหาร 1 กก. จากเศษอาหารจริง 1.04 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษอาหาร 0.2 กก.นน.แห้ง จากเศษอาหารจริง 0.21 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.1 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.1 กก.น้ำหนักเปียก

2. ปริมาณวัสดุหมักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพเพียงอย่างเดียว

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.15 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.3 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.3 กก.น้ำหนักเปียก

3. ปริมาณวัสดุหมักของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพหมักรวมกับเศษผัก

3.1 อัตราส่วน เศษผัก : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:1

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษผัก 0.15 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.15 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 91.02

น้ำหนักเศษผัก 100-8.98 กก. จากเศษผักจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษผัก 1 กก. จากเศษผักจริง 1.10 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษผัก 0.15 กก.นน.แห้ง จากเศษผักจริง 0.165 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.15 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.15 กก.น้ำหนักเปียก

3.2 อัตราส่วน เศษผัก : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:0

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษผัก 0.3 กก.นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 91.02

น้ำหนักเศษผัก 100-8.98 กก. จากเศษผักจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษผัก 1 กก. จากเศษผักจริง 1.10 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษผัก 0.3 กก.นน.แห้ง จากเศษผักจริง 0.330 กก.น้ำหนักเปียก

3.3 อัตราส่วน เศษผัก : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 1:2

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษผัก 0.1 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.2 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 91.02

น้ำหนักเศษผัก 100-8.98 กก. จากเศษผักจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษผัก 1 กก. จากเศษผักจริง 1.10 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษผัก 0.1 กก.นน.แห้ง จากเศษผักจริง 0.11 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.2 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.2 กก.น้ำหนักเปียก

3.4 อัตราส่วน เศษผัก : พลาสติกชีวภาพ PLA เท่ากับ 2:1

กำหนดปริมาณวัสดุหมัก 1 กก. น้ำหนักแห้ง ใช้เศษผัก 0.2 กก.นน.แห้ง และ ใช้พลาสติกชีวภาพ PLA 0.1 กก. นน.แห้ง

จากความชื้นเศษอาหาร ร้อยละ 91.02

น้ำหนักเศษผัก 100-8.98 กก. จากเศษผักจริง 100 กก. น้ำหนักเปียก

น้ำหนักเศษผัก 1 กก. จากเศษผักจริง 1.10 กก. น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษผัก 0.2 กก.นน.แห้ง จากเศษผักจริง 0.22 กก.น้ำหนักเปียก

จากความชื้นพลาสติกชีวภาพ PLA ร้อยละ 99.70

น้ำหนักพลาสติก PLA 100-0.3 กก. จากพลาสติก PLA จริง 100 กก.น้ำหนักเปียก

น้ำหนักพลาสติก PLA 1 กก. จากพลาสติก PLA จริง 1 กก.น้ำหนักเปียก

ดังนั้น ใช้เศษพลาสติก PLA 0.1 กก.นน.แห้ง จากพลาสติก PLA จริง 0.1 กก.น้ำหนักเปียก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
ผลวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข1 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ครั้งที่	พีเอช			
		เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน
F:P=1:1	1	3.79	3.48	3.63	3.83
	2	3.77	3.50	3.64	3.81
	เฉลี่ย	3.78	3.49	3.63	3.82
F:P=1:0	1	3.82	3.47	3.61	3.80
	2	3.78	3.45	3.59	3.73
	เฉลี่ย	3.80	3.46	3.60	3.77
F:P=1:2	1	3.70	3.47	3.58	3.86
	2	3.74	3.48	3.61	3.86
	เฉลี่ย	3.72	3.47	3.60	3.86
F:P=2:1	1	3.67	3.43	3.54	3.84
	2	3.68	3.41	3.49	3.71
	เฉลี่ย	3.67	3.42	3.52	3.78
P	1	4.61	3.62	3.61	3.82
	2	4.50	3.69	3.65	4.01
	เฉลี่ย	4.55	3.65	3.63	3.92
V:P=1:1	1	3.99	3.58	3.67	3.70
	2	4.00	3.63	3.67	3.73
	เฉลี่ย	3.99	3.60	3.67	3.72
V:P=1:0	1	4.00	3.60	3.64	3.91
	2	3.97	3.66	3.63	3.82
	เฉลี่ย	3.99	3.63	3.64	3.87
V:P=1:2	1	3.91	3.58	3.70	4.02
	2	4.00	3.63	3.70	4.02
	เฉลี่ย	3.96	3.61	3.70	4.02
V:P=2:1	1	3.98	3.62	3.65	4.10
	2	3.90	3.61	3.68	4.14
	เฉลี่ย	3.94	3.62	3.67	4.12

ภาคผนวก ข.2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)			
		เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน
F:P=1:1	1	5.44	5.75	5.81	5.72
	2	5.28	5.72	5.73	5.68
	เฉลี่ย	5.36	5.73	5.77	5.70
F:P=1:0	1	5.25	5.75	5.68	5.52
	2	5.42	5.65	5.75	5.68
	เฉลี่ย	5.34	5.70	5.71	5.60
F:P=1:2	1	5.47	6.00	5.96	5.81
	2	5.61	5.93	5.96	5.90
	เฉลี่ย	5.54	5.96	5.96	5.86
F:P=2:1	1	6.01	6.54	6.27	6.49
	2	5.73	6.45	6.23	6.53
	เฉลี่ย	5.87	6.49	6.25	6.51
P	1	4.94	5.15	5.20	5.17
	2	4.76	5.18	5.15	5.21
	เฉลี่ย	4.85	5.16	5.18	5.19
V:P=1:1	1	4.72	5.13	5.08	5.09
	2	4.72	5.14	5.11	5.19
	เฉลี่ย	4.72	5.14	5.09	5.14
V:P=1:0	1	4.91	5.33	5.26	5.12
	2	4.94	5.12	5.22	5.03
	เฉลี่ย	4.93	5.23	5.24	5.08
V:P=1:2	1	5.06	5.13	5.16	5.08
	2	4.98	5.18	5.16	5.11
	เฉลี่ย	5.02	5.15	5.16	5.10
V:P=2:1	1	4.82	5.22	5.21	5.21
	2	4.86	5.14	5.20	5.23
	เฉลี่ย	4.84	5.18	5.20	5.22

ภาคผนวก ข.3 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าซีโอดี (มก./ล.)			
		เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน
F:P=1:1	1	239760	290400	420240	184800
	2	213120	237600	444960	132000
	เฉลี่ย	226440	264000	432600	158400
F:P=1:0	1	293040	264000	420240	105600
	2	266400	343200	395520	105600
	เฉลี่ย	279720	303600	407880	105600
F:P=1:2	1	293040	343200	370800	158400
	2	346320	290400	321360	132000
	เฉลี่ย	319680	316800	346080	145200
F:P=2:1	1	293040	343200	420240	79200
	2	319680	343200	420240	105600
	เฉลี่ย	306360	343200	420240	118800
P	1	186480	237600	321360	132000
	2	159840	264000	395520	79200
	เฉลี่ย	173160	250800	358440	105600
V:P=1:1	1	213120	290400	296640	105600
	2	239760	264000	346080	79200
	เฉลี่ย	226440	277200	321360	92400
V:P=1:0	1	186480	211200	321360	105600
	2	133200	237600	296640	79200
	เฉลี่ย	159840	224400	309000	92400
V:P=1:2	1	213120	264000	346080	79200
	2	213120	264000	296640	79200
	เฉลี่ย	213120	264000	321360	79200
V:P=2:1	1	213120	237600	271920	52800
	2	186480	237600	321360	52800
	เฉลี่ย	199800	237600	296640	52800

ภาคผนวก ข.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ครั้งที่	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก./ล.)			
		เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน
F:P=1:1	1	2950	3567	5600	8000
	2	2400	3053	5300	8200
	เฉลี่ย	2675	3276	5450	8100
F:P=1:0	1	2825	3511	5950	8120
	2	2925	3533	5575	6140
	เฉลี่ย	2875	3521	5762.5	7130
F:P=1:2	1	3125	4156	6250	9000
	2	3450	4425	6500	7000
	เฉลี่ย	3287.5	4287	6375	8000
F:P=2:1	1	3950	5062	5100	7420
	2	3825	4946	5725	9000
	เฉลี่ย	3887.5	4954	5412.5	8210
P	1	1550	3682	7750	7920
	2	1550	3688	8250	6460
	เฉลี่ย	1550	3684	8000	7190
V:P=1:1	1	2100	2897	4900	5220
	2	2225	2963	4625	5340
	เฉลี่ย	2162.5	2930	4762.5	5280
V:P=1:0	1	2725	3751	4300	5960
	2	2400	3597	4450	6900
	เฉลี่ย	2562.5	3679	4375	6430
V:P=1:2	1	2125	2980	5325	4760
	2	2575	3430	4900	5860
	เฉลี่ย	2350	3205	5112.5	5310
V:P=2:1	1	1975	2897	4750	4620
	2	2375	3123	4925	4880
	เฉลี่ย	2175	3010	4837.5	4750

ภาคผนวก ข.5 ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	ธาตุอาหารรวม
F:P=1:1	0.06	0.002	0.15	0.21
F:P=1:0	0.08	0.002	0.14	0.22
F:P=1:2	0.09	0.003	0.15	0.25
F:P=2:1	0.08	0.003	0.15	0.24
P	0.07	0.002	0.16	0.23

ภาคผนวก ข.6 ค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดทีบดละเอียดแล้วหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหาร

อัตราส่วน	ครั้งที่	พีเอช							
		เริ่มต้น	1 วัน	4 วัน	7 วัน	10 วัน	14 วัน	17 วัน	21 วัน
P:F=1:2	1	4.28	3.54	3.41	3.37	3.45	3.58	3.64	3.66
	2	4.28	3.60	3.43	3.40	3.41	3.56	3.61	3.64
	เฉลี่ย	4.28	3.57	3.42	3.39	3.43	3.57	3.63	3.65
P:F=2:1	1	4.39	3.70	3.51	3.49	3.50	3.69	3.75	3.81
	2	4.37	3.68	3.51	3.45	3.46	3.65	3.74	3.83
	เฉลี่ย	4.38	3.69	3.51	3.47	3.48	3.67	3.75	3.82
P	1	4.72	4.20	3.56	3.50	3.45	3.72	3.76	3.78
	2	4.69	4.21	3.57	3.46	3.46	3.71	3.76	3.76
	เฉลี่ย	4.71	4.21	3.57	3.48	3.46	3.72	3.76	3.77

ภาคผนวก ข.7 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดที่บดละเอียดแล้วหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหาร

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)							
		เริ่มต้น	1 วัน	4 วัน	7 วัน	10 วัน	14 วัน	17 วัน	21 วัน
P:F=1:2	1	5.48	5.50	5.88	5.93	5.90	5.95	5.89	5.90
	2	5.44	5.46	5.89	5.97	5.94	5.96	5.90	5.87
	เฉลี่ย	5.46	5.48	5.89	5.95	5.92	5.96	5.90	5.89
P:F=2:1	1	5.11	5.29	5.50	5.53	5.54	5.60	5.49	5.45
	2	5.13	5.25	5.49	5.51	5.52	5.58	5.47	5.44
	เฉลี่ย	5.12	5.27	5.50	5.52	5.53	5.59	5.48	5.45
P	1	4.60	4.45	4.80	4.86	4.83	4.95	4.85	4.80
	2	4.55	4.41	4.76	4.85	4.81	4.93	4.83	4.84
	เฉลี่ย	4.58	4.43	4.78	4.86	4.82	4.94	4.84	4.82

ภาคผนวก ข.8 ค่าซีโอดีของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดที่บดละเอียดแล้วหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหาร

อัตราส่วน	ค่าซีโอดี (ก./ล.)							
	เริ่มต้น	1 วัน	4 วัน	7 วัน	10 วัน	14 วัน	17 วัน	21 วัน
P:F=1:2	422.4	422.4	448.8	475.2	316.8	422.4	184.8	158.4
P:F=2:1	281.6	387.2	396	422.4	264	387.2	264	52.8
P	387.2	422.4	422.4	343.2	211.2	176	158.4	132

ภาคผนวก ข.9 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดที่บดละเอียดแล้วหมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหาร

อัตราส่วน	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก./ล.)							
	เริ่มต้น	1 วัน	4 วัน	7 วัน	10 วัน	14 วัน	17 วัน	21 วัน
P:F=1:2	675	1700	2825	2875	2875	2250	3150	2250
P:F=2:1	1000	1975	2700	2900	2900	2050	2875	1975
P	900	575	2450	2450	2450	2425	3150	2375

ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์ดัชนีการงอกของเมล็ด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค.1 การทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index)

วิธีการ

1. นำน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านมาตรฐานมาปรับความเข้มข้นในน้ำ ด้วยอัตราส่วน 1:10
2. นำกระดาษกรองตีตาราง จำนวน 10 ช่อง วางเมล็ดพืชช่องละ 1 เมล็ด ต่อจานเพาะ ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ
3. ใส่น้ำหมักในจานเพาะ จานละ 3 มิลลิลิตร
4. ใส่น้ำในจานควบคุม จานละ 3 มิลลิลิตร
5. บ่มไว้ในที่มืด นาน 48 ชั่วโมง
6. เก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้
   - จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่อจาน
   - วัดความยาวรากของรากเมล็ดที่งอกทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ย (หน่วยเป็น ซม.)

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละการงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดในน้ำ}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความยาวรากสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยความยาวรากในน้ำหมัก}}{\text{ค่าเฉลี่ยความยาวรากในน้ำ}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละดัชนีการงอกของเมล็ด} = \frac{\text{ร้อยละการงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด} \times \text{ร้อยละความยาวรากสัมพัทธ์}}{100}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.1 ดัชนีการงอกของเมล็ดสลัดในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดที่หมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	จำนวนการงอกของเมล็ด (ร้อยละ)	ดัชนีการงอกของเมล็ด (ร้อยละ)
F:P=1:1	0.25	45	110
F:P=1:0	0.25	45	110
F:P=1:2	0.3	40	120
F:P=2:1	0.25	45	110
P	0.2	40	80
V:P=1:1	0.2	40	80
V:P=1:0	0.2	40	80
V:P=1:2	0.2	40	80
V:P=2:1	0.25	35	85

ภาคผนวก ค.2 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดที่หมักรวมกับวัสดุหมักร่วม ได้แก่ เศษอาหารและเศษผัก

อัตราส่วน	**ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)**	**จำนวนการงอกของเมล็ด (ร้อยละ)**	**ดัชนีการงอกของเมล็ด (ร้อยละ)**
F:P=1:1	0.45	50	80
F:P=1:0	0.5	55	100
F:P=1:2	0.6	65	110
F:P=2:1	0.5	65	135
P	0.45	50	80
V:P=1:1	0.5	50	80
V:P=1:0	0.45	50	80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชวัลพร อินทร์จันทร์ เกิดวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ.2531 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

นำเสนอบทความในหัวข้อ การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด ในงานประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยการจัดการอีสเทิร์น ครั้งที่ 2 ณ มหาวิทยาลัยการจัดการอีสเทิร์น วันที่ 20 พฤษภาคม 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University