โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ อัตราการย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด Polybutylene succinate (PBS) โดยใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* และกระบวนการฝังกลบตามธรรมชาติ

Biodegradation of paper glass coated Polybutylene succinate (PBS) by mealworm *Tenebrio molitor* and landfill process

ชื่อนิสิต นายพงศ์ปณต สาเรือง **เลขประจำตัว** 5932032623

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด Polybutylene succinate (PBS) โดยใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* และกระบวนการฝังกลบตามธรรมชาติ

Biodegradation of paper glass coated Polybutylene succinate (PBS) by mealworm *Tenebrio molitor* and landfill process

นายพงศ์ปณต สาเรือง

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ	: อัตราการย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด Polybutylene succinate (PBS) โดยใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* และกระบวนการฝังกลบตามธรรมชาติ
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	: นายพงศ์ปณต สาเรือง
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล
ภาควิชา	: ชีววิทยา

บทคัดย่อ

ขยะผสมที่ประกอบด้วยพลาสติกชีวภาพ เช่น แก้วกระดาษที่เคลือบด้วย Polybutylene succinate (PBS) มีปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้นและมีการจัดการด้วยการฝังเพื่อช่วยในการย่อยสลายตามธรรมชาติภายในระยะเวลา 6 เดือน ในขณะที่การใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* ในการช่วยย่อย Styrofoam และพลาสติกต่างๆ แต่ยังไม่พบกับการใช้กับขยะผสมพลาสติก PBS ที่เคลือบกระดาษ การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS โดยใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* และกระบวนการฝังกลบตามธรรมชาติ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของทั้งสองกระบวนการในการย่อยสลาย โดยนำแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS มาผ่านกระบวนการย่อยสลาย 4 ชุดการทดลองคือ ชุดควบคุม ชุดฝังกลบ ชุดเลี้ยงกับหนอนนก และสุดท้ายชุดที่เลี้ยงกับหนอนนกพร้อมใส่รำข้าว เป็นจำนวน 3 ซ้ำ ในระยะเวลาซ้ำละ 2 เดือน (8 สัปดาห์) ได้ผลว่าชุดที่ใช้การฝังกลบสามารถทำให้แก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS มีน้ำหนักที่หายไปมากที่สุดถึง 22.62% และมีอัตราการย่อยสลายมากที่สุดมีค่าเป็น 0.0334 โดยถ้าเทียบกับชุดควบคุมจะมากกว่าถึง 10 เท่า และถ้าเทียบกับกลุ่มทดลองที่ใช้หนอนนกจะมากกว่าถึง 5-6 เท่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินมีความสามารถในการย่อยสลายแก้วกระดาษที่เคลือบด้วย PBS ที่มากกว่าหนอนนกและมีประสิทธิภาพมากกว่า ทำให้มีความน่าสนใจในการตรวจสอบเพื่อหาจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายพลาสติกชนิด PBS ต่อไป

คำสำคัญ: การย่อยสลายทางชีวภาพ, PBS, , *Tenebrio molitor*, การฝังกลบ

Research Title	: Biodegradation of paper glass coated Polybutylene succinate (PBS) by mealworm Tenebrio molitor and landfill process
Student name	: Mr. Pongpanote Saruang
Advisor	: Assistant Professor Chatchawan Chaisuekul, Ph.D.
Department of	: Biology

Abstract

Composite waste from bioplastics and paper, such as paper cup coated with Polybutylene succinate (PBS), has been increasing, and has been decompose through landfill process within 6 months. While there were some study exploring the decomposition of styrofoam and other plastics by mealworm, *Tenebrio molitor*, there is no study on the composition of composite paper cup coated with PBS by mealworm. Therefore, this study aims to compare the decomposition of paper cup coated with PBS between 4 treatments of control, landfill process, mealworm fed diets of paper glass coated PBS plastic and fed diets of paper glass coated PBS plastic plus bran in 3 repeats for 2 months (8 weeks). The landfill process treatment caused highest weight loss at 22.62% and highest degradation rate was 0.0334, and this treatment is 10 times faster than control and 5-6 times faster than the other treatments. The possible explanation is that microorganisms in soil have ability to degrade paper cup coated with PBS at better rate and efficiency than mealworm. Therefore, the examining of soil microorganisms aids in the decomposition of paper cup coated with PBS should be further explored.

Keywords: biodegradation, PBS, *Tenebrio molitor*, landfill process

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ ในด้านต่าง ๆ อย่างการวิเคราะห์ข้อมูล แนะนำวิธีเขียนเพื่อให้สามารถรู้รูปแบบของงานเขียนเชิงวิทยาศาสตร์ การอ้างอิงงานวิจัยของผู้อื่นตลอดจนตรวจสอบ ความถูกต้องของข้อมูล ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพ่อแม่ และเพื่อนร่วมในที่ปรึกษาเดียวกันที่ช่วยให้แรงผลักดันพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่อง และคอยดูแลในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง และงานเล่มวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการค่ายชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ครั้งที่ 13 และศูนย์การเรียนรู้และบริการรวิชาการเครือข่ายแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ที่มีตัวอย่างของการฝังกลบของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมได้

ขอขอบคุณพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ณัฐพจน์ วาฤทธิ์ และท่านอาจารย์ ดร.มารุต เฟื่องอาวรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการอนุญาตให้สามารถใช้เครื่องชั่งเพื่อชั่งน้ำหนักของอุปกรณ์ และใช้ในการเก็บผลการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.จันทร์เพ็ญ จันทร์เจ้า, อาจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจนวัฒนา และอาจารย์ ดร.เกรียง กาญจนวตี อาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชาโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2562 ที่ให้คำแนะนำในองค์ประกอบของเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการห้องเลี้ยงแมลงของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงวัสดุและอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการทำการทดอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาชีววิทยา และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการทำโครงการในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก
ABSTRACT ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ 1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ 2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 3
2.1. พลาสติก (Plastic) 3
2.1.1. ประเภทของพลาสติก 3
2.1.2. พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) 3
2.1.3. Polybutylene succinate (PBS) 4
2.2. แมลงกำจัดขยะ 5
2.2.1. หนอนนก (Mealworm) 6
2.3. การฝังกลบขยะ 7
2.3.1. สถานที่สำหรับการฝังกลบ 8
2.3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการฝังกลบ 8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 10
3.1. การเตรียมพลาสติกสำหรับการทดลอง 10
3.2. การเตรียมถุงตะข่าย และแก้วกระดาษ 10
3.3. การเตรียมถุงตะข่าย และแก้วกระดาษ 10
3.4. ขั้นการออกแบบการทดลอง 10
3.4.1. ชุดกลุ่มควบคุม 10
3.4.2. ชุดจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ 10
3.4.3. ชุดการศึกษาการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS โดยการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว 11

3.4.4. ชุดการศึกษาการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS โดยการใช้หนอนนกในสภาพที่มีรำข้าว 11
3.5. การเก็บค่า 11
3.5.1. คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป 11
3.5.2. คำนวณอัตราการย่อยสลาย 12
3.6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 12
บทที่ 4 ผลการศึกษา 13
4.1. การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของชุดการทดลอง 13
4.1.1. น้ำหนักที่หายไปในทุกชุดการทดลอง 13
4.1.2. อัตราการย่อยสลายของชุดการทดลอง 15
4.2. น้ำหนักเฉลี่ยของหนอนที่รอดที่ชีวิต 17
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา 19
5.1. น้ำหนักที่หายไปในแต่ละชุดการทดลอง 19
5.2. อัตราการย่อยสลายในแต่ละชุดการทดลอง 21
5.3. น้ำหนักเฉลี่ยของหนอนในแต่ละชุดการทดลอง 21
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 23
6.1. สรุปผลการศึกษา 23
6.2. ข้อเสนอแนะ 23
6.2.1. การนำไปใช้ประโยชน์ 23
6.2.2. การศึกษาในอนาคต 23
เอกสารอ้างอิง 24
ภาษาไทย 24
ภาษาอังกฤษ 24

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบสูตรโครงสร้างของโมเลกุลของโพลีเมอร์สามชนิด 20

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของ POLYBUTYLENE SUCCINATE (PBS).....5
ภาพที่ 2-2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ POLYBUTYLENE SUCCINATE (PBS).....5
ภาพที่ 2-3 ภาพวงจรชีวิตของหนอนนก TENEBRIO MOLITOR LINNAEUS 7
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปสุทธิในแต่ละชุดการทดลอง.....14
ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในแต่ละชุดการทดลอง 15
ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายตลอด 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบทุกชุดการทดลอง.....16
ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายตลอด 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบทุกชุดการทดลอง.....17
ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของหนอนต่อตัวตลอด 8 สัปดาห์ 18

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาหลักของสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ และทั่วโลกให้ความสนใจ เนื่องจากอัตราการผลิตของพลาสติกเพิ่มขึ้นมากถึง 6,300 ล้านเมตริกตันของขยะพลาสติกที่ผลิตในปัจจุบัน (Geyer et al., 2017) และยังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมพื้นที่ของการฝังกลบมีจำกัด และอัตราการรีไซเคิลที่ต่ำทำให้พลาสติกเป็นขยะที่เพิ่มปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม (United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2016) นอกจากนี้พลาสติกยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล ในพื้นที่ที่มีพลาสติกสะสมจะส่งผลกระทบทางลบต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมรวมทั้งมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์อีกด้วย (Thompson et al., 2009; Jambeck et al., 2015) ปัจจุบันมีการพัฒนาพลาสติก polybutylene succinate (PBS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพ สามารถทนต่อความร้อน การหลอมเหลว และสารเคมีได้ (Someya et al., 2004; Chen et al., 2005) โดยผลิตจากส่วนประกอบของทรัพยากรน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งพลาสติก PBS เป็นพลาสติกที่มีสังเคราะห์จากกระบวนการ polycondensation ของ 1,4-butanediol กับ succinic acid มีคุณสมบัติของความยืดหยุ่นและสามารถตกผลึกได้ง่าย (Ratto et al., 1999; Okamoto et al., 2001; Harada et al., 2007) ดังนั้นพลาสติกชนิด PBS จึงถูกนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มห่ออาหาร แผ่นโฟม และขวดสีชา มีการทดลองเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยาของพลาสติกชนิด PBS กับพลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เช่น polypropylene (PP) และ low-density polyethylene (LDPE) พบว่าอัตราการย่อยสลายของ PBS สูงกว่า PP และ LDPE (Fujimaki, 1998) ในปัจจุบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีการนำแก้วกระดาษที่มีการเคลือบพลาสติก PBS มาใช้เพื่อลดปัญหาขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัย โดยการกำจัดแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกนี้ใช้วิธีฝังกลบรวมกับขยะมูลฝอยและใบไม้เพื่อเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn University, 2018) แต่อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติก PBS โดยการฝังกลบต้องใช้เวลาย่อยสลายอย่างน้อย 6 เดือนซึ่งเป็นระยะเวลาที่นาน

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่หลายชนิดเช่น ปลวก ไส้เดือนดิน เป็นต้น มีบทบาทเชิงนิเวศในการช่วยย่อยสลายด้วยการทำให้ชิ้นส่วนวัสดุมีขนาดเล็กลง และอาจมีจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารที่ช่วยในการย่อยสลายสาร หนอนนก *Tenebrio molitor* ได้มีการรายงานถึงความสามารถในการย่อย polystyrene (PS) ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลงภายในกระเพาะอาหารของหนอนนก (Yang et al., 2015;

Yang et al., 2018) หนอนนกสามารถย่อย PS และเก็บไว้ภายในกระเพาะอาหารเป็นเวลาถึง 12 – 15 ชั่วโมง โดยมีการรายงานว่าสามารถทำให้มวลของ PS หายไปได้มากกว่าการใช้แบคทีเรียที่ถูกแยกออกมาจากกระเพาะอาหารของหนอนนกย่อย PS (Guillet et al., 1974) นอกจากนี้ยังมีรายงานที่ได้นำหนอนนกชนิดนี้มาใช้ในการย่อยสลาย polyethylene (PE) และได้ออกมาเป็น CO_2 กับพอลิเมอร์ที่มีสารปนเปื้อนลดลง (Brandon et al., 2018) และมีการตั้งสมมุติฐานว่าแบคทีเรียภายในกระเพาะอาหารของหนอนนกมีบทบาทที่สำคัญจะเพิ่มความสามารถในการปรับเพื่อรองรับอาหารที่แตกต่างกัน (Wang and Zhang, 2015)

ดังนั้นการศึกษาความสามารถของการย่อยสลาย PBS ของหนอนนก *Tenebrio molitor* จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายโดยใช้หนอนนก กับวิธีการฝังกลบตามธรรมชาติ เพื่อองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปเป็นฐานของข้อมูล และยังสามารถนำมาประยุกต์กับการแก้ปัญหาพลาสติก ปัญหาที่ได้รับความสนใจจากผู้คนในปัจจุบัน

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายของแก้วกระดาษที่เคลือบด้วยพลาสติก PBS ระหว่างการใช้หนอนนก *Tenebrio molitor* และกระบวนการฝังกลบตามธรรมชาติ

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1. พลาสติก (Plastic)

สารที่สามารถทำให้เป็นรูปต่างๆ ได้ด้วยความร้อน พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ ขนาดใหญ่ มวลโมเลกุลมากใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ (packaging material) มีสมบัติคือ เสถียร สลายตัวยาก มีมวลน้อย เบา เป็นฉนวนความร้อนและไฟฟ้าที่ดีส่วนมากอ่อนตัวและหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงเปลี่ยนเป็นรูปต่างๆ ได้ตามประสงค์ (พรเฉลิมพงศ์ และรัตนาปนนท์, 2553)

2.1.1. ประเภทของพลาสติก

1. เทอร์มอพลาสติก (thermo plastic) คือพลาสติกที่ได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม ตัวอย่างเช่น HDPE, LDPE, PP, PS
2. พลาสติกเทอร์มอเซต (thermoset plastic) หมายถึงพลาสติกที่คงรูปหลังการผ่านความร้อน หรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงจะแตกและไหม้เป็น ขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแห จับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ ตัวอย่างเช่น เมลามีน พอลิยูรีเทน

2.1.2. พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic)

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (biodegradable plastic) หมายถึงพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นพืช สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

วัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น cellulose collagen casein polyester แป้ง (starch) โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น และในบรรดาวัสดุธรรมชาติทั้งหลาย แป้ง นับว่าเหมาะสมที่สุดเพราะมีจำนวนมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถหาได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น

พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด เพราะจะเกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายแป้ง แล้วเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นโมโนเมอร์ (monomer) ที่เรียกว่ากรดแลคติก (lactic acid) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ

polymerization ทำให้กรดแลคติกเชื่อมกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โพลีเมอร์ (polymer) อย่างเช่น พลาสติกที่สามารถย่อยสลายด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) ได้

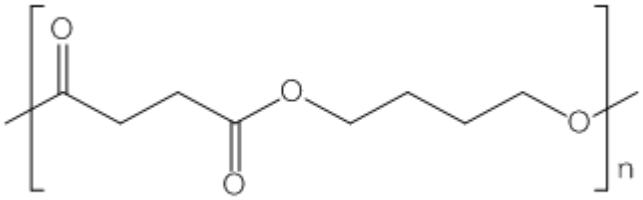
การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass) (ทองเนียม, 2553)

2.1.3. Polybutylene succinate (PBS)

เป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพชนิดพอลิเอสเตอร์ (polyester) อีกชนิดหนึ่งที่ผลิตจากโมโนเมอร์หลัก 2 ชนิด คือ กรดซักซินิก (Succinic acid)ที่ผลิตมาจากพืช และ1,4-Butanediol ที่ผลิตจากปิโตรเลียม PBS มีคุณสมบัติคล้ายพอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ PE พลาสติก มีลักษณะขุ่น สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลายกระบวนการ โดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่ง PBS สามารทนความร้อนได้ตั้งแต่ 80-95 องศาเซลเซียส และมีความยืดหยุ่นที่ดี (เหมะตีรินทร์, 2010) การพัฒนาวิธีการผลิต PBS จากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น อ้อย แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น PBS มีสมบัติทนความร้อนสูง และสามารถย่อยสลายได้ดีกว่า PLA จึงเหมาะสำหรับใช้เคลือบแก้วกระดาษ หรือผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแบบใช้แล้วทิ้ง

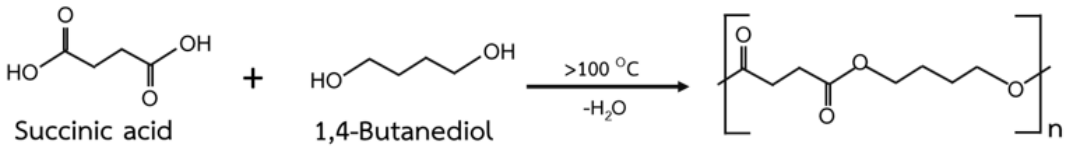
PBS มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงและมีหมู่เอสเทอร์เป็นองค์ประกอบ แสดงดังภาพที่ 2-1 ทำให้ PBS มีอุณหภูมิการหลอมเหลวและความเป็นผลึกสูง ทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียล มีคุณสมบัติเชิงกลคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีนและมีความแข็งแรงมากกว่า PLA จึงนิยมใช้ผสมกันเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลและลดต้นทุนในการผลิต กระบวนการสังเคราะห์ PBS สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation polymerization) ระหว่างกรดซัคซินิคและ 1,4-บิวเทนไดออล (Ku Marsilla and Verbeek, 2014) (ภาพที่ 2-2)

และในปัจจุบันจากข้อมูลของ European-bioplastics nova institute ได้รายงานว่าแนวโน้มการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้นในปี 2017 ละมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในปี 2018 เพิ่มขึ้นเป็น 43.2%



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของ Polybutylene succinate (PBS)

ที่มา https://images.app.goo.gl/qhKa4y9GcdioREH89



ภาพที่ 2-2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ Polybutylene succinate (PBS)

ที่มา https://www.researchgate.net/publication/317616504_A_review_of_progress_in_biocatalytic_routes_fromto_renewable_succinic_acid/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

2.2. แมลงกำจัดขยะ

ในปัจจุบันได้มีแนวคิดในการนำแมลงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมย่อยขยะเพิ่มมากขึ้นอย่างเครือเบทาโกรจึงเริ่มทำการศึกษาวิจัยเรื่องแมลงร่วมกับสาขาวิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาตั้งแต่ปี 2560 ต่อมาในปี 2561 จึงได้ร่วมทุนกับมหาวิทยาลัยขอนแก่นก่อสร้างโรงเรือนต้นแบบวิจัยและผลิตแมลงอุตสาหกรรม แล้วเสร็จในเดือนมีนาคม 2562 เพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัยด้านแมลง และการนำแมลงมาใช้ให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยผู้วิจัย ศาสตราจารย์ ดร. ยุพา หาญบุญทรง หัวหน้าสาขากีฏวิทยาและโรคพืช ใช้แมลงกินขยะอินทรีย์ หรือ Black soldier fly หรือ แมลงวันลาย ซึ่งเป็นแมลงไม่นำโรค ไม่เป็นศัตรูพืช มีประโยชน์ อาทิ ใช้ขจัดขยะอินทรีย์ เป็นอาหารเสริมโปรตีนของสัตว์ มีไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางค์ และเป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

ในงานวิจัยในปัจจุบันได้มีการนำหนอนนกมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการทำการย่อยขยะพลาสติก ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาหลักที่สำคัญอย่างงานวิจัยของ Geyer และคณะในปี 2017 ปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาหลักของสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ และทั่วโลกให้ความสนใจเนื่องจากอัตราการผลิตของพลาสติกเพิ่มขึ้นมากถึง 6,300 ล้านเมตริกตันของขยะพลาสติกที่ผลิตในปัจจุบัน จึงได้มีการนำหนอนนกมาศึกษาความสามารถในการย่อยสลาย polystyrene (PS) และพบว่าหนอนสามารถย่อยสลายได้

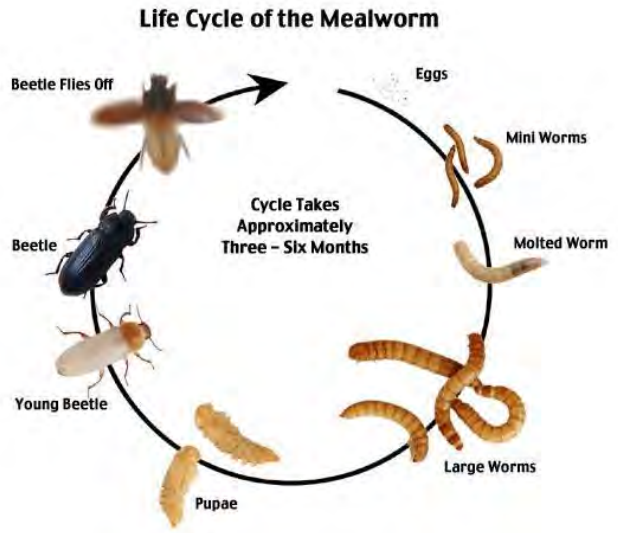
และเมื่อทำการเพิ่มแร่ธาตุหรือสารอาหารให้หนอนนกจะทำให้อัตราการย่อย PS ของหนอนนก และอัตราการอยู่รอดของหนอนนกเพิ่มขึ้น (Yang et al, 2017) ยิ่งไปกว่านี้ยังมีการนำหนอนนกมาใช้เพื่อย่อยสลาย polyethylene (PE) พบว่าจะได้รับพอลิเมอร์ที่มีสารปนเปื้อนน้อยลง ที่ออกมาพร้อมกับ CO_2 นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแนะให้เห็นว่า จุลินทรีย์ภายในกระเพาะอาหารของหนอนนกสามารถช่วยให้หนอนนกสามารถย่อยสลายพลาสติกที่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน

2.2.1. <u>หนอนนก (mealworm)</u>

หนอนนกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tenebrio molitor* Linnaeus อยู่ในอันดับ Coleoptera และวงศ์ Tenebrionidae โดยรูปร่างลักษณะ หนอนรำหรือหนอนนกเป็นแมลงจำพวกมอดแป้งที่มีขนาดตัวโตประมาณ 0.3 x 1.0 ซ.ม. มีแหล่งกำเนิดในเขตหนาว ตัวเต็มวัยเป็นด้วงหรือแมลงปีกแข็ง ตอนออกจากดักแด้ใหม่ ๆ ตัวสีขาว ต่อมาสีค่อย ๆ เข้มขึ้น ๆ เริ่มจากสีเหลืองอ่อน น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม จนกระทั่งเป็นสีดำ ระยะตัวหนอนตอนลอกคราบใหม่ ๆ มีสีขาว ต่อมาสีค่อย ๆ เปลี่ยนไปจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่อใกล้จะลอกคราบ เมื่อหนอนโตเต็มที่มีความยาวประมาณ 2.5 ซม. ดักแด้ใหม่มีสีขาว ต่อมาสีเข้มขึ้นจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาล ขนาดดักแด้ยาวประมาณ 1 ซม. ไข่มีสีขาว รูปรี ผิวเรียบเป็นมันวาว ขนาดไข่ประมาณ 0.75 x2 มม. มีระยะไข่ฟักเป็นตัวหนอนใช้เวลาประมาณ 7 วัน ระยะหนอนลอกคราบ 8 ครั้งใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ระยะดักแด้ใช้เวลาประมาณ 10 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นานประมาณ 1 เดือน (ภาพที่ 2-3) อาหารปกติคือรำข้าวสาลี แต่เนื่องจากเป็นสินค้านำเข้าเพื่อการผลิตแป้งข้าวสาลีสำหรับทำขนมปังและมีรำข้าวสาลีเป็นผลพลอยได้ จึงไม่ใช่อาหารปกติที่จะหาได้ทั่วไปในประเทศไทย จึงมักดัดแปลงหรือเพิ่มอาหารที่หาได้ง่ายตามความสะดวก ได้แก่ อาหารไก่ รำข้าว กากมะพร้าว และใช้ผลต่อไปนี้เป็นอาหารเสริม โดยการหั่นหรือฝานเป็นชิ้นบาง ๆ วางทับไว้ส่วนบน ได้แก่ ฟักทองดิบ มะละกอดิบ และกล้วยน้ำว้าดิบ จะพบว่ามีหนอนนกชอบมาอาศัยและกินอยู่ภายใต้ชิ้นผลไม้เหล่านี้

ในการเพาะเลี้ยงของหนอนนกจะทำได้โดยใช้กระบะ กะละมังหรือกล่องพลาสติกขนาดโต (15 x25x9) ใส่อาหารเพียงบาง ๆ เพื่อให้ด้วงพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ใช้เป็นที่ผสมพันธุ์และวางไข่ แยกไข่ที่มีอายุเท่า ๆ กันไปเลี้ยงในกระบะเดียวกัน เพื่อให้ได้หนอนที่มีอายุเท่า ๆ กันอยู่ในกระบะเดียวกัน หมั่นเติมอาหารให้พอเพียง เมื่อถึงกำหนด 1 เดือนก็จะได้หนอนรำที่โตเต็มที่

โดยในการใช้ประโยชน์นิยมใช้เป็นอาหารนก นอกจากนั้นสามารถนำไปใช้เป็นอาหารกบ อาหารปลา หรือทำเหยื่อตกปลาได้ และยังมีใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงมวนตัวห้ำหรือมวนพิฆาตหนอน โดยปกติต้องใช้หนอนผีเสื้อชนิดต่าง ๆ มาเป็นอาหารของมวน มักเป็นภาระในการออกไปตระเวนเก็บหนอนมาเลี้ยงมวน จึงนิยมใช้หนอนนก หรือดักแด้ของหนอนนกมาให้มวนกิน เป็นความสะดวกครบวงจรอยู่ภายในโรงเพาะเลี้ยงแมลง (ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561)



ภาพที่ 2-3 ภาพวงจรชีวิตของหนอนนก *Tenebrio molitor* Linnaeus

ที่มา : https://images.app.goo.gl/zA5HVf8Yusid9BAU8

2.3. การฝังกลบขยะ

ขยะมูลฝอยเป็นปัจจัยสำคัญของประเทศไทยเนื่องจากมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะขยะที่เป็นของใช้ทิ้งอย่างพลาสติกใช้แล้ว ทำให้ปัญหาขยะเพิ่มสูงและรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยปัญหาในการจัดการขยะมูลฝอยนั้นมีมากมาย การที่เพิ่มสูงของขยะ แต่การพัฒนาประสิทธิภาพในด้านการเก็บขยะยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ส่งผลให้สามารถเก็บขยะมูลฝอยได้เพียง 70-80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การได้มีมาตรการณ์ในการกำกัดขยะมูลฝอยมากขึ้นอย่างการจัดเตรียมพื้นที่ของแต่ละชุมชุนโดยถือหลักการที่ว่าผู้ที่สร้างขยะจำเป็นที่จะต้องเป็นผู้จัดการขยะด้วย ทำให้เกิดการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

การฝังกลบขยะเนื่องจากเป็นการกำจัดที่ง่ายไม่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีมากแต่มีจุดด้อยที่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการจัดการ แต่ถ้ามีการจัดการที่ถูกต้องเป็นระเบียบเรียบร้อยก็สามารถที่จะช่วยลดมลภาวะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีงานวิจัยของศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบการจัดการขยะฝังกลบให้เหมาะสม และนำก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาจากการฝังกลบไปใช้ประโยชน์

ต่อไป และในกรมควบคุมมลพิษได้จัดเกณฑ์ในการควบคุมขยะฝังกลบ และนำไปทำปุ๋ยด้วยวิธีการหมักทำให้การใช้การฝังกลบในการกำจัดได้ถูกศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลาย

2.3.1. สถานที่สำหรับการฝังกลบ

ในการคัดเลือกพื้นที่ในการที่เหมาะสมกับการฝังกลบต้องไม่อยู่ในพ้นที่ลุ่มแม่น้ำ ห่างจากเขตโบราณสถาน ห่างจากบ่อน้ำดื่ม และโรงประปาไม่น้อยกว่า 700 เมตร เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของของขยะมูลฝอยที่ถูกฝังกลบไปปนเปื้อนกับน้ำของชุมชน เป็นพื้นที่ที่มีความแข็งแรงทางสภาพธรณีวิทยามากพอที่สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ ควรเป็นพื้นที่น้ำท่วมไม่ถึงแต่ถ้ามีโอกาสจะเกิดน้ำท่วมถึงได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีมาตรการณ์ในการเฝ้าระวัง และยังต้องพึงระวังระดับน้ำใต้ดินอีกด้วยที่ไม่ควรมีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง สุดท้ายคือควรเป็นพื้นที่ต่อเนื่องเพียงแค่ผืนเดียวที่มีขนาดกว้าง และสามารถฝังกลบได้ไม่น้อยกว่า 20 ปี

ที่สำคัญคือระบบป้องกันการปนเปื้อนมลพิษต้องมีการใช้วัสดุกันซึมที่อดทนต่อการกัดกร่อนที่ต้องสัมผัสกับน้ำชะมูลฝอย ทนความเสียหายจากการสัมผัสกับขยะมูลฝอย และทนความดัน ซึ่งต้องติดตั้งบนพื้นที่สามารถรับแรงกดจากน้ำหนักของขยะมูลฝอยได้ ซึ่งอาจใช้วัสดุอย่าง high-density polyethylene อีกหนึ่งข้อที่ต้องกังวลเกี่ยวกับคือระบบรวบรวมและสูบน้ำชะมูลฝอย เพื่อป้องกันการไปรวมกับชั้นดิน ที่ใช้วัสดุที่มีความทนทานทางเคมีกับน้ำชะมูลฝอย และเมื่อสูบน้ำชะมูลฝอยแล้วจำเป็นต้องมีการบำบัดโดยบ่อบำบัดน้ำเสียต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการฝังกลบ

ปัจจัยแรกคือองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอย หรือในที่นี้จะหมายถึงขยะพลาสติกโดยองค์กอบทางเคมี และโครงสร้างจะมีผลกับการย่อยสลายทั้งสิ้น อย่างงานวิจัยของ Zheng และคณะในปี 2005 ได้บอกถึงโครงสร้างของโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเป็นวงคาร์บอนจะสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าลักษณะที่เป็นสายคาร์บอนยาว ต่อไปเป็นปัจจัยการมีขั้วของโมเลกุล โดยโมเลกุลที่มีขั้วจะทำให้มีสมบัติในการอนุญาติให้น้ำผ่านได้ ได้ดีกว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้วโดยสามารถเรียงลำดับ พลาสติกจากที่มีขั้วมากไปน้อยได้ดังนี้ PET>PU>PC>PS>PE>PP ทำให้โมเลกุลที่มีน้ำผ่านได้จะสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าอีกโมเลกุล (McKeen, 2014) และในโมเลกุลที่มีมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวหรือมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลนั้นจะย่อยสลายได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีพันธะที่อิ่มตัว (Gewert et al, 2015) โดยสามารถ คำนวณได้จาก Degree of unsaturation (DoU) (McKeen, 2014)

$$DoU = \frac{2C + 2 + N - X - H}{2}$$

โดยที่ C คือจำนวนของคาร์บอน N คือจำนวนของไนโตรเจน X คือจำนวนของฮาโลเจน H คือจำนวนของไฮโดรเจน

ปัจจัยของแสงเป็นปัจจัยต่อไปที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเช่นกัน เนื่องจากจะเกี่ยวกับไอออนที่อยู่ในโมเลกุลของขยะมูลฝอย และทำให้การย่อยสลลายด้วยอุณหภูมิได้ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยธาตุโคบอลต์ และธาตุแมงกานีส (Ammala et al., 2011) และเป็นปัจจัยสำคัญให้เกิดการย่อยสลายด้วยกระบวนการออกซิไดซ์ (Andrady, 2011 ; Gijsman, 2008)

มีการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนที่สายของโพลีเมอร์จะถูกทำให้เป็นคาร์บอนสายสั้นด้วยเอนไซต์ของจุลินทรีย์จนเหลือโมเลกุลเล็ก ๆ (Andrady, 2011; Shah et al., 2008) และงานวิจัยของ Muenmee และคณะ (2016) พบว่าในพื้นที่ที่เป็น semi-aerobic จะทำให้เพิ่มการย่อยสลาย และจะลดการปล่อยของแก๊ซมีเทน และในภาวะที่มีออกซิเจนพอเพียงการย่อยสลายจะสร้าง CO_2 และน้ำขึ้นมา นอกจากนี้ยังมีอีกงานวิจัยที่กล่าวถึงอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวกับการย่อยสลายของขยะมูลฝอยจำพวกพลาสติกที่ถูกฝังกลบอย่างเช่น การมีออกซิเจน น้ำชะขยะมูลฝอย การกัดกร่อนของสารเคมี และค่า pH โดยไฮโดรเจนซันเฟต (H_2S) เป็นหนึ่งในสารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนอนุภาคได้ถ้าในพื้นที่ที่มีแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนซัลเฟต (SO_4^{2-}) ให้เป็นซัลไฟต์ (SO_3^{2-}) ซัลไฟด์ (S^{2-}) และ H_2S ได้จะทำให้พื้นที่เป็นกรดและเกิดการย่อยสลายอนุภาคได้มากยิ่งขึ้น (Ko et al., 2015; Tsuchida et al., 2011)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1. การเตรียมพลาสติกสำหรับการทดลอง

เตรียมแก้วกระดาษเคลือบพลาสติก PBS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.6 ซม. สูง 12.5 ซม. กว้าง 5.9 ซม. (16 ออนซ์) โดยสั่งจากบริษัท ไบโอ-อีโค จากนั้นแยกแต่ละใบเพื่อนำมาใส่เครื่องย่อยพลาสติก จนได้ชิ้นกระดาษสีเหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 2.0 - 4.0 ซม. (Brandon et al., 2018)

3.2. การเตรียมถุงตะข่าย และแก้วกระดาษ

ใช้ถุงตาข่ายไนล่อน ที่มีรูกว้าง 5 มล. และมีขนาดของถุงตาข่าย เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของกล่องพลาสติกใสที่ใช้ในการทดลอง การวัดค่าน้ำหนักแห้งของถุงก่อนการทดลอง จากนั้นนำชิ้นแก้วกระดาษประมาณ 7 - 8 กรัมต่อถุง 1 ใบใส่ถุง จากนั้นชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าแต่ละถุง

3.3. การเตรียมถุงตะข่าย และแก้วกระดาษ

การจัดเตรียมหนอนนก เลือกหนอนนกน้ำหนักเฉลี่ย 75 - 85 มิลลิกรัม/ตัว ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการบริโภคสูงที่สุด โดยสั่งจากฟาร์มเลี้ยงโดยตรง จากนั้นก่อนการทดลองให้มีการอดอาหารหนอนนกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Brandon et al., 2018)

3.4. ขั้นการออกแบบการทดลอง

การจัดชุดการทดลอง 4 ชุด เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติก PBS โดยจะทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.4.1. <u>ชุดกลุ่มควบคุม</u>

นำถุงตาข่ายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใสขนาด 8.2x12.2x3.9 ลบ.ซม. บริเวณที่ใกล้เคียงกับชุดทดลองอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยอื่น ที่มีผลกระทบในการย่อยสลายอย่างลม แสงอาทิตย์ได้แก่

3.4.2. <u>ชุดจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ</u>

นำถุงตาข่ายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใสขนาด 8.2x12.2x3.9 ลบ.ซม. จากนั้นนำดินมากลบจนเต็มกล่อง

3.4.3. <u>ชุดการศึกษาการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS โดยการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว</u>

นำถุงตาข่ายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใสขนาด 8.2x12.2x3.9 ลบ.ซม. จากนั้นใส่หนอนนก จำนวน 100 ตัวและรักษาจำนวน 100 ตัวตลอดการทดลอง โดยทุก ๆ 3 วันจะเข้าไปนับจำนวนของหนอน โดยคิดจากปริมาณตัวหนอนต่อปริมาตรของกล่องใสโดยเฉลี่ย 1 ตัวต่อปริมาตร 4 ลบ.ซม. (Yang et al., 2018; Brandon et al., 2018)

3.4.4. <u>ชุดการศึกษาการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS โดยการใช้หนอนนกในสภาพที่มีรำข้าว</u>

นำถุงตาข่ายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใสขนาด 8.2x12.2x3.9 ลบ.ซม. จากนั้นใส่หนอนนก จำนวน 100 ตัวและรักษาจำนวน 100 ตัวตลอดการทดลอง จากนั้นใส่รำข้าวเริ่มต้น 2 กรัมและเติมตลอดการทดลองเมื่อรำข้าวหมดไปจากกล่อง โดยทุก ๆ 3 วันจะเข้าไปนับจำนวนของหนอน และตรวจดูปริมาณคงเหลือของรำข้าว (Brandon et al., 2018)

3.5. การเก็บค่า

การเก็บค่าน้ำหนักแห้งของวัสดุ จะเก็บค่าทุก 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 2 เดือน โดยการเก็บค่าจะนำตาข่ายออกมาอบแห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล โดยการเก็บค่าจะไม่สามารถนำ treatment ที่เก็บค่านั้นมาทำการทดลองต่อได้ นอกจากนี้ยังจะการชั่งน้ำหนักของหนอนทั้งหมดที่รอดและหาค่าเฉลี่ย เพื่อดูการเจริญเติบโตของหนอนในชุดการทดลองที่ใช้หนอกนก

3.5.1. <u>คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป</u>

นำหนักที่ได้มาเพื่อหาเปอร์เซ็นของน้ำหนักที่หายไปจากสูตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละการทดลองต่อไป (Park and Kim., 2019)

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการทดลอง} - \text{น้ำหนักหลังการลดลอง}}{\text{น้ำหนักก่อนการทดลอง}} X100$$

3.5.2. <u>คำนวณอัตราการย่อยสลาย</u>

นำหนักที่ได้มาเพื่อหาอัตรการย่อยสลายของการทดลองแต่ละชุดการทดลองจากสูตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเวลา และความแตกต่างของแต่ละการทดลองต่อไป (Olson., 1963)

$$\text{อัตรการย่อยสลาย } K = -\frac{[In(\frac{\text{น้ำหนักก่อนการทดลอง}}{\text{น้ำหนักหลังการทดลอง}})}{\text{เวลา } (\text{สัปดาห์})}$$

3.6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การคำนวณเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายโดยใช้ผลต่างของน้ำหนักก่อนการทดลอง และน้ำหนักหลังการทดลอง ในแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นใช้สถิติ Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายของทุกชุดการทดลอง และใช้ t-test ในการเป็น post hoc test เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ คู่ที่มีความแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics version 22

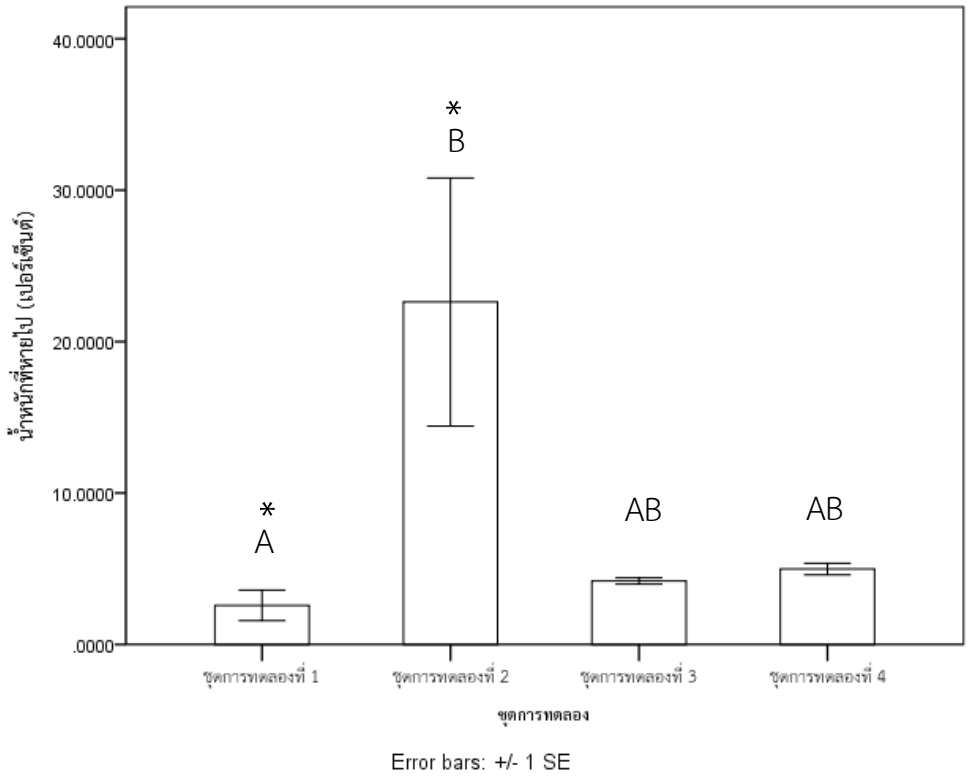
บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1.การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของชุดการทดลอง

4.1.1. น้ำหนักที่หายไปในทุกชุดการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไปของ 4 ชุดการทดลอง ที่เก็บผลเป็นเวลาสองเดือนเป็นจำนวน 3 ซ้ำ พบว่าในการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการนำชิ้นกระดาษเคลือบพลาสติก PBS นำมาฝังกลบกับดินร่วนมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปเฉลี่ยมากกว่าชุดการทดลองอื่น โดยการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ จะมีเปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่หายไปเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเป็น 22.61% โดยเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยที่ one-ways ANOVA ด้วย Tukey HSD posthoc test ($p<0.05$) พบว่าจะแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 1 ที่เป็นชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$, ภาพที่ 4-1) แต่ไม่ได้มีความแตกต่างในการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว และ 4 ที่เป็นการทดลองโดยใช้หนอนนกที่ไม่มีรำข้าว และหนอนนกกับรำข้าวตามลำดับ

เมื่อทำกราฟเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไปในแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4-2) จะเห็นได้ว่าในขุดการทดลองที่สองจะมีการเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 กับช่วงสัปดาห์ที่ 5 ขึ้นไป แต่แตกต่างจากช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่มีการคงที่ของน้ำหนักที่หายไป ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าการทดลองชุดที่ 1 ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 นั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า และค่อยเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่เป็นสัปดาห์ท้าย ๆ อย่างสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างชุดการที่ 1 และการทดลองที่ 2 มากขึ้น



ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปสุทธิในแต่ละชุดการทดลอง (n=4)
ชุดการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุม
ชุดการทดลองที่ 2 การจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ
ชุดการทดลองที่ 3 การใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว
ชุดการทดลองที่ 4 การใช้หนอนนกในสภาพที่มีรำข้าว
แถบคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) เครื่องหมาย (*) และตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มของค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก one-way ANOVA ด้วย Tukey HSD posthoc test ($p<0.05$) 1

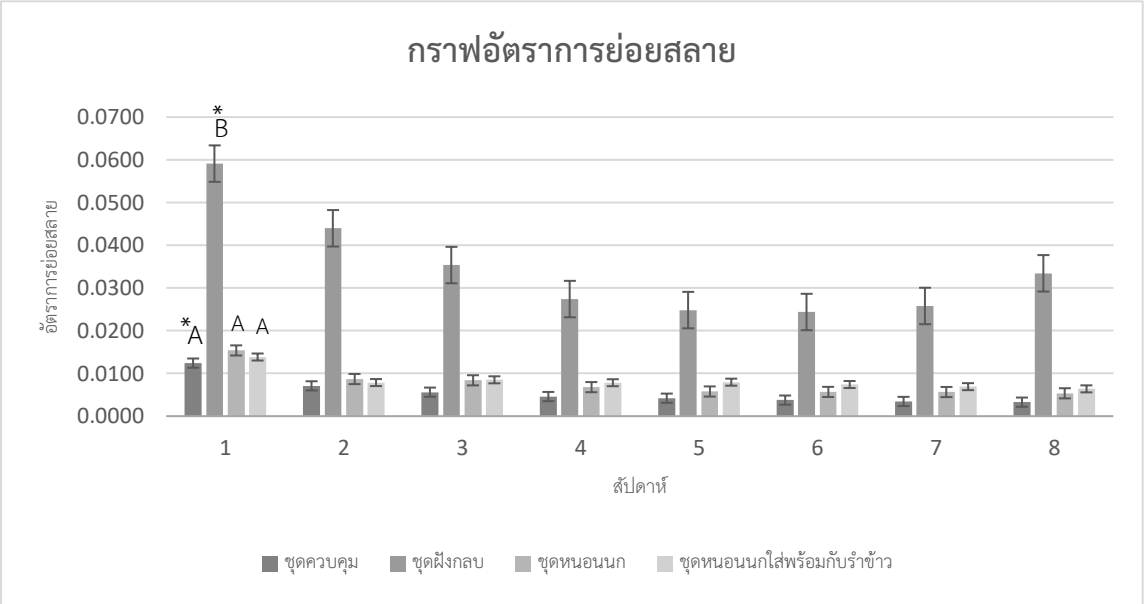
ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในแต่ละชุดการทดลอง (n=4) โดยเทียบทั้ง 8 สัปดาห์ แถบคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE)

4.1.2. <u>อัตราการย่อยสลายของชุดการทดลอง</u>

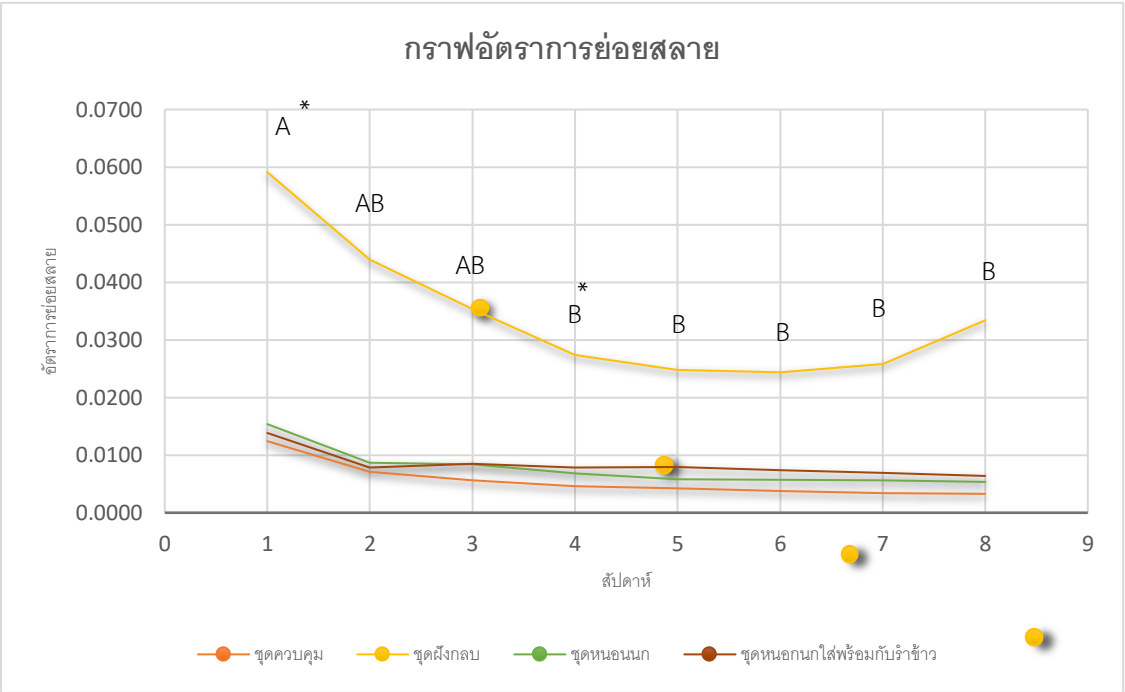
จากการนำข้อมูลน้ำหนักที่คงเหลือแต่ละชุดการทดลอง เพื่อหาเป็นอัตราการย่อยสลายของแต่ละสัปดาห์ในแต่ละชุดการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสลาย เป็นจำนวน 3 ซ้ำ พบว่าการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการนำชิ้นกระดาษเคลือบพลาสติก PBS นำมาฝังกลบกับดินร่วนนั้นมีอัตราการย่อยสลายสูงที่สุด และสูงกว่าอีกอีก 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.00$, ภาพที่ 4-3) ละเมื่อความแตกต่าง พบว่าการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ จะต่างกับกลุ่มควบคุม อยากมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.00$)

จากกราฟเปรียบอัตราการย่อยสลาย (ภาพที่ 4-4) จะแสดงถึงการลดลงลงเส้นกราฟ โดยเมื่อตัวเลขเข้าใกล้ศูนย์นั้นจะแสดงได้ว่าชุดการทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการย่อยสลายได้มากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งสัปดาห์ที่ 7 ถึง สัปดาห์ที่ 8 ในการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ จะมีค่าอัตราการย่อยสลายเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปที่จากการค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้งสามซ้ำทำให้ค่าเฉลี่ยถึงเพิ่มสูงขึ้น

จากการนำค่าเฉลี่ยทุกการทดลองในแต่ละสัปดาห์มาหาความแตกต่างพบว่าในสัปดาห์แรกจะแตกต่างจากสัปดาห์ที่ 5 จนถึงสัปดาห์สุดท้าย (p = 0.082) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Two-way ANOVA ด้วย Duncan posthoc test (p<0.05) ส่วนสัปดาห์ที่สองจนถึงสัปดาห์สุดท้ายไม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายตลอด 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบทุกชุดการทดลอง (n=4) ในรูปแบบแผ่นภูมิแท่ง แถบคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) เครื่องหมาย (*) และตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มของค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก one-way ANOVA ด้วย Tukey HSD posthoc test (p<0.05)

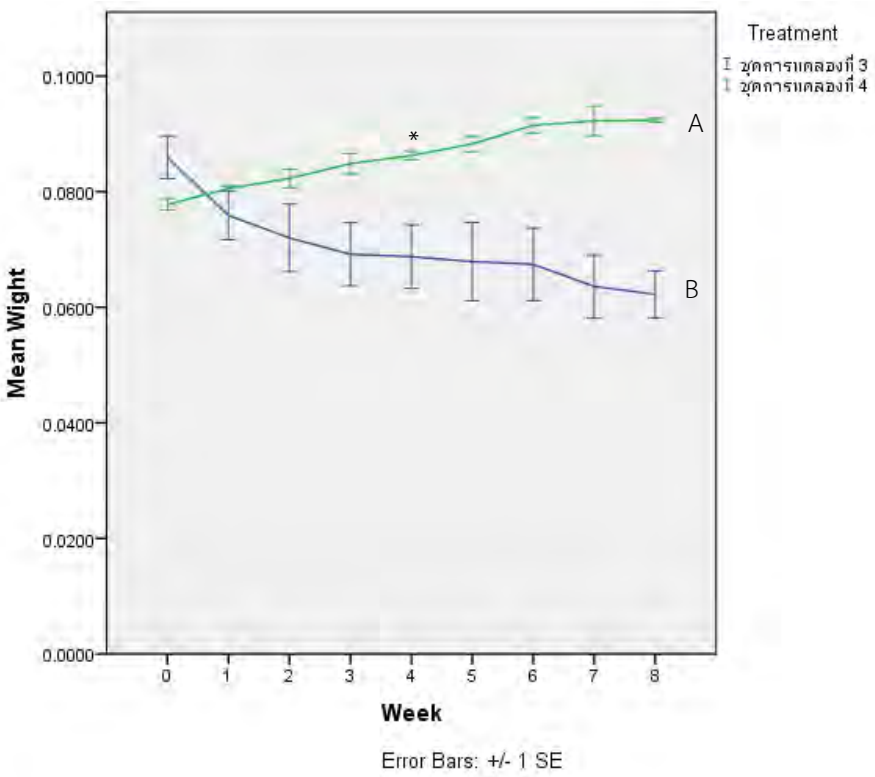


ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยอัตราการย่อยสลายตลอด 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบทุกชุดการทดลอง (n=4) เครื่องหมาย (*) และตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มของค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Two-way ANOVA ด้วย Tukey HSD posthoc test ($p<0.05$)

4.2.น้ำหนักเฉลี่ยของหนอนที่รอดที่ชีวิต

จากการวัดน้ำหนักของหนอนเฉลี่ยตลอดการทดลองในแต่ละสัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของหนอนในเฉพาะการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว และ 4 จะพบว่าในทั้งสองการทดลองนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก One-way ANOVA ($p = 0.002$, ภาพที่ 4-5) และเห็นได้ว่าในการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว จะมีน้ำหนักของหนอนเฉลี่ยต่อตัวลดต่ำลงจากสัปดาห์เริ่มต้นที่หนัก 0.086 กรัม และสุดท้ายในสัปดาห์ที่ 8 หนอนจะมีน้ำหนักสุทธิเฉลี่ยต่อตัวเป็นเท่ากับ 0.062 กรัม ซึ่งแตกต่างจากการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่มีรำข้าว เมื่อเห็นจากกราฟเส้นสีเขียว จะแสดงได้ถึงน้ำหนักสุทธิที่เพิ่มขึ้นจนในสัปดาห์สุดท้ายหนอนจะมีน้ำหนักสุทธิเฉลี่ยต่อตัวเป็นเท่ากับ 0.092 กรัม

จากการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าน้ำหนักเฉลี่ยของหนอนที่รอดชีวิตนั้นจะเริ่มแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก One-way ANOVA (p = 0.034, ภาพที่ 4-5) และเริ่มแตกต่างมากขึ้นในสัปดาห์ถัดไปจนจบการทดลอง



ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของหนอนต่อตัวตลอด 8 สัปดาห์ เปรียบเทียบการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว หนอนนกแบบไม่มีรำข้าว และการทดลองที่ 4 หนอนนกที่เลี้ยงพร้อมกับรำข้าว (n=2)

ชุดการทดลองที่ 3 การใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว

ชุดการทดลองที่ 4 การใช้หนอนนกในสภาพที่มีรำข้าว

ในรูปแบบกราฟเส้น แถบคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) เครื่องหมาย (*) แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เริ่มแตกต่างกันในชุดการทดลอง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงชุดการทดลองทั้งสองมีน้ำหนักเฉลี่ยของหนอนที่รอดชีวิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก one-way ANOVA ($p<0.05$)

บทที่ 5
อภิปรายผลการศึกษา

5.1.น้ำหนักที่หายไปในแต่ละชุดการทดลอง

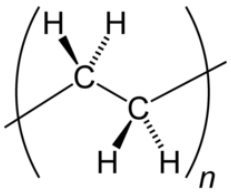
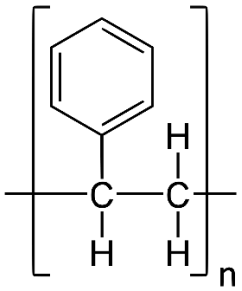
จากข้อมูลที่วิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าในการจำลองการฝังกลบตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นชุดที่ใช้การฝังกลบนั้นจะมีน้ำหนักที่หายไปมากที่สุด ที่เห็นได้จากกราฟนอกจากนั้นเป็นชุดการทดลองเดียวที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติกับชุดควมคุมอย่างกลุ่มควบคุม โดยการที่มีน้ำหนักที่หายไปเฉลี่ยมีค่าเป็น 22.62% ซึ่งจากงานวิจัยของ Canopoli และคณะ (2018) ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกับการฝังกลบแต่จากปัจจัยเรื่องแสง อุณหภูมิ หรือปัจจัยเรื่องโครงสร้างพันธะนั้นทุกชุดการทดลองทั้งชุดควบคุม ชุดที่ฝังกลบ ชุดที่ใช้หนอนนกทั้งสองชุดการทดลองนั้นคือปัจจัยที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน จากงานวิจัยของ Ammala และคณะ (2011) ที่ได้ศึกษาภาพรวมการย่อยสลายและการย่อยสลายทางชีวภาพของ polyolefins ที่เป็นโมเลกุลที่ใช้มากขึ้นแต่ย่อยสลายได้ยาก พบ *Rhodococcus* sp. ที่เกาะเป็น Biofilm อยู่บริเวณพื้นผิว และมีการใช้เอนไซต์ของจุลินทรีย์ที่พบว่าจะทำให้คาร์บอนเป็นสายที่สั้นลง นอกจากนี้ยังมีอีกหลายงานวิจัยที่ได้ทดลองนำแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์มาใช้ในการย่อยขยะ อย่างการนำขยะในพื้นที่ฝังกลบขยะเพื่อมาตรวจหาจุลินทรีย์ที่จะมีความสามารถในการย่อยไมโครพลาสติกได้ดีที่สุดในงานของ Park และ Kim ในปี 2019 โดยในงานจะนำจุลินทรีย์อย่าง *Bacillus* sp. และ *Paenibacillus* sp. ที่ได้มาย่อยสลายไมโครพลาสติก และศึกษาน้ำหนักที่หายไปโดยจะมีน้ำหนักที่หายไป 14.7 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 60 วัน นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้จุลินทรีย์อีกมากและพบว่าได้ผลในการทดลองว่าจุลินทรีย์นั้นมาย่อยโพลีเมอร์อาทิเช่น polyethylene, polypropylene และpolystyrene อย่างเช่นใช้ *Rhodococus* sp. ในงานของ Auta และคณะ (2018) หรือ *Pseudomonas aeruginosa* ของ Jeon และ Kim (2015) หรือเห็ดราอย่าง *Aspergillus clavatus* ของ Gajendiran และคณะ (2016) ทั้งหมดสามารถใช้โพลีเมอร์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้เป็นธาตุอาหารที่สำคัญ

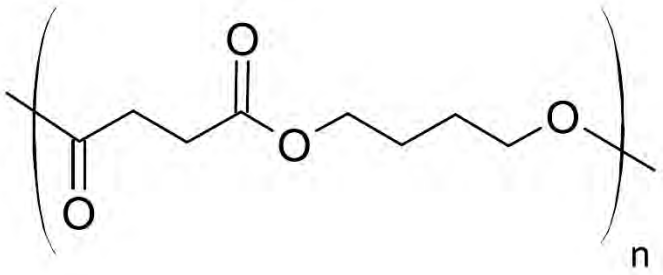
แต่ในชุดการทดลองที่ใช้หนอนนก และหนอนนกที่เลี้ยงด้วยรำข้าวเดียวมีน้ำหนักที่หายไป 4.1890 เปอร์เซ็นต์ และ 4.9824 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและทั้งสองการทดลองไม่แตกต่างกันและไม่ต่างจากชุดควบคุม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Brandon และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการย่อยสลาย polyethylene ของหนอนนก และพบว่าได้รับพอลิเมอร์ที่สารปนเปื้อนน้อยลง และออกมาควบคู่กับ CO_2 นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแนะให้เห็นว่าจุลินทรีย์ภายในกระเพาะอาหารของหนอนนกสามารถช่วยให้หนอนนกสามารถย่อยสลายพลาสติกที่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน และยังมีการใช้หนอนนกเพื่อทำการย่อยสลาย polystyrene ในปี 2018 ของ Yang และคณะ ได้ทำการได้ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของ polystyrene ของ

หนอนนกใน 22 ประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทย และพบว่าหนอนนกใน 22 ประเทศสามารถย่อยสลาย polystyrene ได้ นอกจากนี้ได้ให้ข้อมูลว่าการที่เพิ่มแร่ธาตุหรือสารอาหารให้หนอนนกจะทำให้อัตราการย่อย polystyrene ของหนอนนก และอัตราการอยู่รอดของหนอนนกเพิ่มขึ้น และในนี้ปี 2018 ในงานของ Yang และคณะได้ศึกษาได้ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของ polystyrene ของหนอนนกและพบว่าในชุดที่ให้รำข้าวคู่กับ polystyrene หนอนนกสามารถอยู่ได้ยาวนานจนครบ life cycle และไปถึงรุ่นตัวไปและเพิ่มอัตราการย่อยสลายของ polystyrene อีกด้วย ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากโครงสร้างของ polybutylene succinate (PBS) มีความแตกต่างจากโครงสร้างของทั้ง polystyrene และ polyethylene (ตารางที่ 5-1) โดยจากงานของ Brydson ในปี 1999 จะบอกว่าโครงสร้างและส่วนประกอบของโมเลกุลของสารเคมีจะมีผลในการย่อยสลายของสาร และมีความเป็นไปได้ที่จุลินทรีย์ภายในตัวของหนอนนกสามารถย่อยสลายโพลีเมอร์ได้จำกัดและไม่สามารถทำลายพันธะของ PBS

จากผลการทดลองเห็นได้อย่างชัดเจนในการย่อยสลายด้วยการฝังกลบจะสามารถลดน้ำหนักที่หายไปของแก้วกระดาษเคลือบพลาสติก PBS ได้ดีกว่าอย่างถึงประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และอาจจะมีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดการที่หนอนนกไม่สามารถทำลายพันธะของของพลาสติกชนิด PBS ได้

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบสูตรโครงสร้างของโมเลกุลของโพลีเมอร์สามชนิด (Gewert et al., 2015; Venkatachalam et al., 2012)

polyethylene	
polystyrene	

polybutylene succinate (PBS)	

5.2.อัตราการย่อยสลายในแต่ละชุดการทดลอง

จากกราฟที่แสดงอัตราการย่อยสลายในแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4-3) ซึ่งคำนวณจากสมการ Exponential decay model (Olson, 1963) พบว่าอัตราการย่อยสลายของชุดการฝังกลบนั้นมีค่ามากที่สุดนั้นคือ 0.27 ในเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้ตอบคำถามที่ว่าชุดการทดลองการฝังกลบในการทดลองที่ 2 สามารถย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกได้ดีที่สุดนอก อย่างการทดลองของคุณแสงอ่อน และคุณพูลศิริที่จะแสดงถึงอัตราการย่อยสลายของซากใบไม้ในสวนป่าไม้ต่างถิ่นได้ให้ผลในทำนองเดียวกันคือเมื่อพันธ์ไม้ชนิดใดที่พบว่าย่อยสลายได้รวดเร็วที่สุดก็จะมีค่าอัตราการย่อยสลายสูงที่สุดเช่นกัน

ในการเปรียบเทียบการย่อยสลายวัสดุต่าง ๆ อย่างงานทดลองของ Manzoni และคณะ (2012) ที่วิเคราะห์แบบจำลองการย่อยสลายของซากพืชและดิน เพื่อหาอัตราการย่อยสลายได้กราฟที่มีลักษณะเดียวกันคือในช่วงเริ่มของการทดลองจะมีค่าที่มากละจากนั้นก็จะค่อย ๆ ลดลง ตามเวลาที่ผ่านไปจนเข้าใกล้ศูนย์โดยที่เข้าใกล้ศูนย์เร็ว ก็จะแสดงได้ว่าสามารถย่อยสลายจนหมดได้อย่างรวดเร็วนั้นเอง

5.3.น้ำหนักเฉลี่ยของหนอนในแต่ละชุดการทดลอง

จากน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของหนอนที่รอดชีวิตจะเห็นได้ว่าในการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว ที่เลี้ยงหนอนนกกับกระดาษเคลือบพลาสติก PBS ที่มีน้ำหนักตัวลดลง ต่างจากในการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่มีรำข้าว ที่เลี้ยงหนอนนกกับกระดาษเคลือบพลาสติก PBS เพิ่มด้วยรำข้าวที่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นว่าหนอนนกไม่สามารถใช้พลาสติกชนิด PBS เป็นแหล่งคาร์บอนหลักได้ มีความเป็นไปได้ที่ไม่สามารถย่อยสลายพันธะของ PBS ได้เนื่องจากหลายการทดลองที่ใช้หนอนนกเพื่อใช้ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ อย่างของ Yang และคณะที่เลี้ยงหนอนนกกับ PS ในปี 2018 ได้รายงานผลว่าโฟม PS ไม่ได้ส่งผลกระทบอะไรกับดักแด้ของหนอนนก ต่างจากผลของการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว ที่จะเห็นได้ถึงดักแด้หรือหนอนบางตัวที่จะแสดง

ลักษณะเน่าเปื่อย และพบว่าลักษณะของของเสียมีก้อนสีดำต่างจากของเสียที่ออกมาจากหนอนที่ไม่ได้เลี้ยงกับกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS

ซึ่งต่างจากการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่มีรำข้าว ที่สามารถเจริญเติบโตมากขึ้น เนื่องจากรำข้าวที่หนอนนกได้รับทำให้หนอนนกสามารถเจริญเติบโตได้และมีอัตราการรอดชีวิตสูง เช่นเดียวกับชุดการทดลองของ Yang และคณะในปี 2018 ที่เลี้ยงหนอนนกกับรำข้าวนั้นดักแด้จะเกิดเป็นตัวเต็มวัย และมีการรับรองจากงานวิจัยของ Yang ในปี 2015 และปี 2018 อีกฉบับที่ให้ผลแบบเดียวกันโดยความแตกต่างจากการเจริญเติบโตจะเริ่มที่สัปดาห์ที่ 4 หลังจากการทดลองที่การใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว และ 4 เริ่มแตกต่างกัน แต่จากงานวิจัยของ Yang ในปี 2018 ที่รายงานว่าเมื่อเลี้ยงกับรำข้าวแล้วจะเพิ่มความสามารถในการบริโภคพอลิเมอร์ได้นั้น ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว และหนอนในสภาพแวดล้อมที่มีรำข้าว

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถของหนอนนกกับการฝังกลบในการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS นั้นได้ผลอย่างเห็นได้ชัดว่าความสามารถของการฝังกลบสามารถทำได้ดีกว่า และสามารทำให้แก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS นั้น มีน้ำหนักที่หายไปมากถึง 20.04 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับชุดควบคุมและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มีความเป็นไปได้จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินที่นำมาทดลองนั้นมีความสามารถที่จะย่อยสลายพันธะของพอลิเมอร์ของพลาสติกชนิด PBS ได้จึงทำให้สามารถย่อยสลายได้ซึ่งแตกต่างจากการใช้หนอนนกที่แสดงออกให้หลายรูปแบบอย่างเช่น การมีอัตรารอดชีวิตที่ต่ำหรือมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวลดลงในการใช้หนอนนกในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีรำข้าว ที่เลี้ยงหนอนนกโดยมีแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS เป็นแหล่งอาหาร ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการใช้กระบวนการการฝังกลบนั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอแต่ก็จำเป็นจะต้องมีข้อกำหนดในการจัดการอย่างถูกต้องเพื่อให้ไม่ใช้พื้นที่โดยสิ้นเปลือง และเป็นอันตรายต่อผู้คนในชุมชน

6.2. ข้อเสนอแนะ

6.2.1. <u>การนำไปใช้ประโยชน์</u>

ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ที่สนใจในการทดลองเกี่ยวกับการนำหนอนนกมาย่อยพลาสติกเนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้พลาสติกชนิดอื่นนั้นหนอนนกสามารถที่จะย่อย และนำมาเป็นแหล่งพลังงานได้แต่ในกรณีของพลาสติกชนิด PBS นั้นแตกต่างออกไป

6.2.2. <u>การศึกษาในอนาคต</u>

เนื่องจากการฝังกลบนั้นมีประสิทธิภาพแต่การกระบวนการต่าง ๆ จากข้อมูลที่เวลาในการย่อยสลายนั้นกินเวลาถึง 6 เดือน (Chulalongkorn University, 2018) ซึ่งเป็นเวลานานทำให้การทดลองเพื่อหาแบคทีเรียที่มีความสามารถในการทำลายพันธะของพลาสติกชนิด PBS และนำไปเพิ่มปริมาณในพื้นที่ฝังกลบนั้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น และลเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชนิด PBS ได้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2544. เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://infofile.pcd.go.th/waste/CopMuniWaste.pdf?CFID=251379&CFTOKEN=12900975 [20 เมษายน 2563]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2562. จุฬาฯ ใช้ “แก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชีวภาพ” Zero-Waste Cup ย่อยสลายได้ 100% เริ่ม 10 ก.ค. เป็นต้นไป. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.chula.ac.th/news/11031/ [20 เมษายน 2563]

ทีมข่าว77ขอนแก่น. 2562. ม.ขอนแก่น เปิดโรงเรือนต้นแบบผลิตแมลงอุตสาหกรรมกำจัดขยะ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.77kaoded.com/news/aekkapongputta/491390 [20 เมษายน 2563]

ปราโมทย์ ทองเนียม. 2553. พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.thaigoodview.com/node/17034 [20 เมษายน 2563]

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. Plastic / พลาสติก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1635/plastic-พลาสติก [20 เมษายน 2563]

ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2561. หนอนนก หรือหนอนรำ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.thaigreenagro.com/หนอนนก-หรือหนอนรำ [20 เมษายน 2563]

ภุชนาฏ แสงอ่อน และรุ่งเรือง พูลศิริ. 2553. การสลายตัวของซากใบพืชในสวนป่าไม้ต่างถิ่น ณ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง จังหวัดเชียงใหญ่. วารสารวนศาสตร์ 29(3): 26-35

ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2538. ศึกษาความเหมาะสมการผลิตก๊าซมีเธนจากขยะชุมชนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib4136-ล.1.pdf [20 เมษายน 2563]

ภาษาอังกฤษ

Ammala, A., S. Bateman, K. Dean, E. Petinakis, P. Sangwan, S. Wong, Q. Yuan, L. Yu, C. Patrick and K. H. Leong (2011). "An overview of degradable and biodegradable polyolefins." Progress in Polymer Science **36**(8): 1015-1049.

Andrady, A. L. (2011). "Microplastics in the marine environment." Marine Pollution Bulletin **62**(8): 1596-1605.

Auta, H. S., C. U. Emenike, B. Jayanthi and S. H. Fauziah (2018). "Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by Bacillus sp. and Rhodococcus sp. isolated from mangrove sediment." Marine Pollution Bulletin 127: 15-21.

Brandon, A. M., Gao, S. H., Tian, R., Ning, D., Yang S. S., et al. 2018. Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. Environmental Science & Technology. 52(11): 6526–6533.

Canopoli, L., B. Fidalgo, F. Coulon and S. T. Wagland (2018). "Physico-chemical properties of excavated plastic from landfill mining and current recycling routes." Waste Manag 76: 55-67.

Chen, G., Kin, E. and Yoon, J. 2005. poly(butylene succinate)/twice functionalized organoclay nanocomposites: Preparation,characterization, and properties. Journal of Applied Polymer Science. 98(4): 1727–1732.

European-bioplastics. 2018. Bioplastics market data 2018. Available at https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2016/02/Report_Bioplastics-Market-Data_2018.pdf

Fujimaki, T. 1998. Processability and properties of aliphatic polyesters, 'BIONELLE', synthesized by polycondensation reaction. Polymer Degradation and Stability. 59(1–3): 209–214.

Gajendiran, A., S. Krishnamoorthy and J. Abraham (2016). "Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by Aspergillus clavatus strain JASK1 isolated from landfill soil." 3 Biotech 6(1): 52.

Gewert, B., M. M. Plassmann and M. MacLeod (2015). "Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment." Environmental Science: Processes & Impacts 17(9): 1513-1521.

Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, K.l., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances. 3(7): e1700782.

Gijsman, P. (2008). "Review on the thermo-oxidative degradation of polymers during processing and in service." e-Polymers 8.

Guillet, J. E., Mcaneney, T. B. and Regulski, T. W. 1974. Biodegradability of photodegraded polymers II. tracer studies of biooxidation of ecolyte PS polystyrene. Environmental Science & Technology. 8(10): 923–925.

Harada, M., Ohya, T., Iida, K., Hayashi, H., Hirano, K. and Fukuda, H. 2007. Increased impact strength of biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylene succinate) blend composites by using isocyanate as a reactive processing agent. Journal of Applied Polymer Science. 106(3): 1813–1820

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., et al. 2015. Plastic waste input from land into the ocean. Science. 347(6223): 768–771.

Jeon, H. J. and M. N. Kim (2015). "Functional analysis of alkane hydroxylase system derived from Pseudomonas aeruginosa E7 for low molecular weight polyethylene biodegradation." International Biodeterioration & Biodegradation 103: 141-146.

Ko, J. H., Q. Xu and Y.-C. Jang (2015). "Emissions and Control of Hydrogen Sulfide at Landfills: A Review." Critical Reviews in Environmental Science and Technology 45(19): 2043-2083.

Ku Marsilla, K. I. and J. Verbeek (2014). "Compatibilization of Protein Thermoplastics and Polybutylene Succinate Blends." Macromolecular Materials and Engineering 300.

Manzoni, S., G. Piñeiro, R. B. Jackson, E. G. Jobbágy, J. H. Kim and A. Porporato (2012). "Analytical models of soil and litter decomposition: Solutions for mass loss and time-dependent decay rates." Soil Biology and Biochemistry 50: 66-76.

McKeen, L. W. (2014). The effect of temperature and other factors on plastics and elastomers, William Andrew.

Muenmee, S., W. Chiemchaisri and C. Chiemchaisri (2016). "Enhancement of biodegradation of plastic wastes via methane oxidation in semi-aerobic landfill." International Biodeterioration & Biodegradation 113: 244-255.

Okamoto, M., Morita, S. and Kokata, T. 2001. Dispersed structure and ionic conductivity of smectic clay/polymer nanocomposites. Polymer. 42(6): 2685–2688.

Olson, J. S. (1963). "Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems." Ecology 44(2): 322-331.

Park, S. Y. and C. G. Kim (2019). "Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site." Chemosphere 222: 527-533.

Ratto, J. A., Stenhouse, P. J., Aurbach, M., Mitchel, J. and Farrell, R. 1999. Processing, performance and biodegradability of a thermoplastic aliphatic polyester/starch system. Polymer. 40(24): 6777–6788.

Shah, A. A., F. Hasan, A. Hameed and S. Ahmed (2008). "Biological degradation of plastics: A comprehensive review." Biotechnology Advances 26(3): 246-265.

Someya, Y., Nakazato, T., Teramoto, N. and Shibata, M. 2004. Thermal and mechanical properties of poly(butylene succinate) nanocomposites with various organo-modifies montmorillonites. Journal of Applied Polymer Science. 91(3): 1463–1475.

Thompson, R. C., Moore, C.J., Vom Saal, F. S. and Swan, S. H. 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. Philosophical Transactions of the Royal Society. 364(1526): 2153–2166.

Tsuchida, D., Y. Kajihara, N. Shimidzu, K. Hamamura and M. Nagase (2011). "Hydrogen sulfide production by sulfate-reducing bacteria utilizing additives eluted from plastic resins." Waste Manag Res 29(6): 594-601.

U.S. EPA. 2018. Assessing trends in material generation, recycling, composting, combustion with energy recover and landfilling in the United State. Available at https://www.epa.gov/sites/production/files/2018/07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf [20 Apr 2020]

Venkatachalam, S., S. G, J. V, P. R, K. Rao and A. K (2012). Degradation and Recyclability of Poly (Ethylene Terephthalate).

Wang, Y. and Zhang, Y. 2015. Investigation of gut-associated bacteria in T*enebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae using culturedependent and DGGE methods. Annals of the Entomological Society of America. 108(5): 941–949.

Yang, S. S., Brandon, A. M., Andrew Flanagan, J. C., Yang, J., Ning, D., et al. 2018.

Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. Chemosphere. 191(2018): 979–989.

Yang, Y., Yang, J., Wu, W., Zhao, J., Song, Y., et al. 2015. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms. 2. role of gut microorganisms. Environmental Science & Technology. 49(20): 12087–12093.