

แนวทางการแตกสลายตัวและการกำจัดพลาสติกชีวภาพ (Degradation and disposal options of bioplastics)

ทางเลือกในการแตกสลายตัวและการกำจัดขยะแตกต่างจากทางเลือกในการรีไซเคิล เนื่องจากเป้าหมายหลักคือการกำจัดให้หมดไปมากกว่าการนำพอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์กลับเข้าสู่วงจรการผลิตและการสร้างมูลค่าพลาสติก นอกเหนือจากทางเลือกในการแตกสลายตัวและการกำจัดขยะที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกทั่วไปและพอลิเมอร์ชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ การรีไซเคิลระดับตติยภูมิรวมกับการกู้คืนพลังงานและการฝังกลบ พอลิเมอร์ชีวภาพที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพยังมีทางเลือกเพิ่มเติมในการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งเรียกว่า “การนำกลับคืนทางอินทรีย์” หรือ “การรีไซเคิลทางอินทรีย์” การย่อยสลายทางชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้โดยการหมักเป็นปุ๋ยในระดับอุตสาหกรรมหรือระดับครัวเรือน การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือการย่อยสลายในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งการหมักเป็นปุ๋ยในระดับอุตสาหกรรมเป็นทางเลือกหลัก ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายทางชีวภาพขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ชีวภาพ และยังขึ้นอยู่กับเส้นทางการสิ้นสุดอายุการใช้งานที่ถูกเลือกและปัจจัยทางชีวภาพและสิ่งไม่มีชีวิต เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน และความชื้น รวมถึงจำนวนจุลินทรีย์

1. การย่อยสลายทางชีวภาพหรือการนำกลับคืนทางอินทรีย์

การบำบัดของเสียทางชีวภาพเป็นทางเลือกสำหรับการสิ้นสุดอายุการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งแบบใช้ออกซิเจน (เช่น การทำปุ๋ยหมัก) หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจน (เช่น การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน) การทำปุ๋ยเกิดขึ้นได้จากการหมักของเชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีตส์ ทั้งที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 35°C สำหรับการทำปุ๋ยหมักในระดับครัวเรือน) และที่อุณหภูมิสูงกว่า (50-60°C สำหรับการทำปุ๋ยหมักในระดับอุตสาหกรรม) ในทำนองเดียวกัน การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะดำเนินการโดยแบคทีเรีย ซึ่งไม่ใช่เชื้อรา ทั้งที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 35°C สำหรับการย่อยสลายแบบเมโซฟิลิก) และที่อุณหภูมิสูงกว่า (50-60°C สำหรับการย่อยสลายแบบเทอร์โมฟิลิก)

อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพขึ้นอยู่กับเทคนิคและสภาพแวดล้อมในการแตกสลายตัวเป็นอย่างมาก โดยการย่อยสลายทางชีวภาพเร็วที่สุดเกิดขึ้นในการทำปุ๋ยหมัก รองลงมาคือดิน น้ำจืด น้ำทะเล และสุดท้ายคือหลุมฝังกลบ เนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพจะเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่มีเชื้อรา ซึ่งจะทำงานเฉพาะในสภาพแวดล้อมของการหมักปุ๋ยและดินเท่านั้น นอกจากนี้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพไม่ใช่ทุกชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ในทุกสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกเส้นทางการย่อยสลายทางชีวภาพที่ถูกต้องสำหรับพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้แต่ละชนิด

1.1. การทำปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการแปลงสารอินทรีย์ที่ควบคุมทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนให้เป็น CO₂ H₂O ความร้อน แร่ธาตุ มวลชีวภาพ และฮิวมัส ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช การแปลงนี้ถูกกระตุ้นโดยจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา ในสหภาพยุโรปการหมักขยะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพให้เป็นปุ๋ยได้รับการส่งเสริมโดยคำสั่งของสหภาพยุโรปว่าด้วยการฝังกลบของเสีย (1999/31/EC) ซึ่งกระตุ้นให้ประเทศสมาชิกจำกัดปริมาณของเสียที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่สิ้นสุดในหลุมฝังกลบ และคำสั่งว่าด้วยของเสีย 2008/98/EC ที่สนับสนุนการแยกเก็บและการบำบัดของเสียที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างปลอดภัย

สิ่งสำคัญที่ควรทราบคือ พลาสติกที่สามารถหมักเป็นปุ๋ยถูกจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พลาสติกที่หมักเป็นปุ๋ยได้ เช่น PLA และ TPS ซึ่งเกิดการสลายตัวในระยะเวลาอันสั้นภายใต้สภาวะการทำปุ๋ยหมัก ขณะที่สำหรับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้น การย่อยสลายทางชีวภาพอาจเกิดขึ้นได้ช้ากว่า ดังนั้นพลาสติกที่สามารถหมักเป็นปุ๋ยได้ทั้งหมดจึงย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่ไม่ใช่พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั้งหมดที่สามารถทำปุ๋ยหมักได้

1.2. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการแปลงสารอินทรีย์ให้กลายเป็น 3 สารประกอบหลัก ได้แก่ ก๊าซชีวภาพที่อุดมไปด้วยมีเทนและถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง ชีวมวลหรือจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนสารอินทรีย์ และของเหลวที่

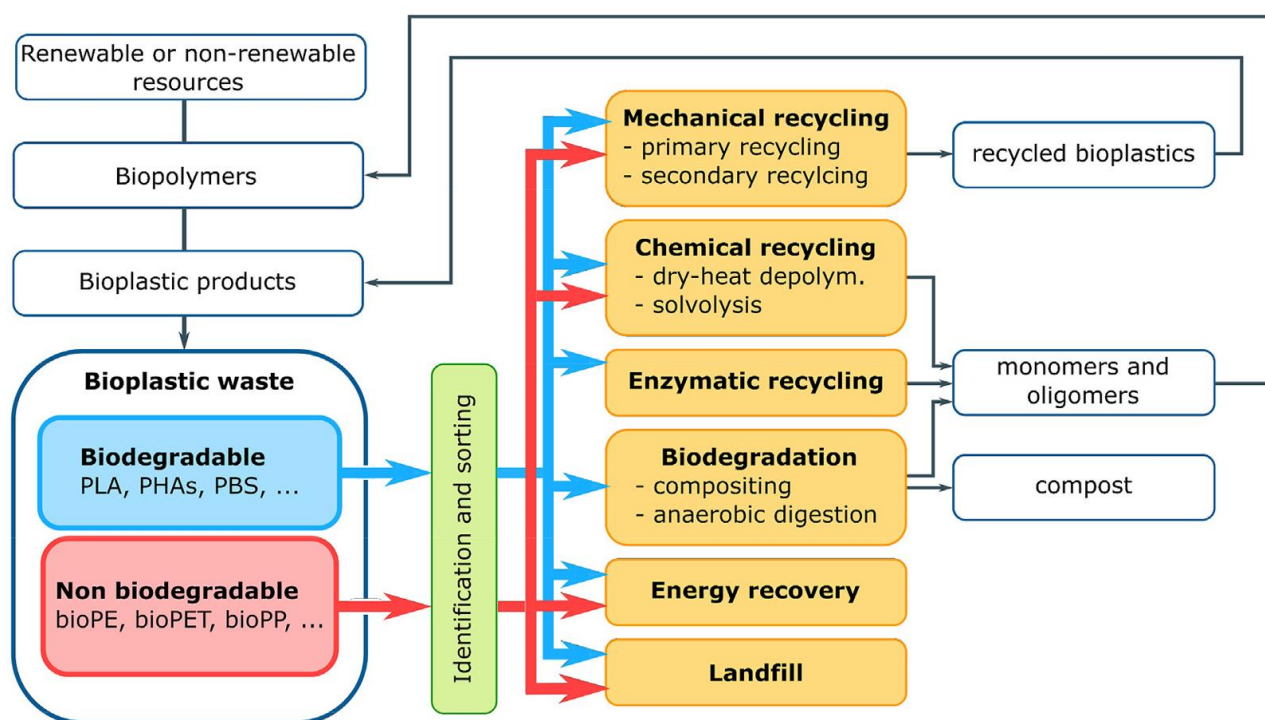
ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ละลายได้ ซึ่งชีวมวลและสารอินทรีย์เหลวสามารถใช้เป็นปุ๋ยได้ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 คือการไฮโดรไลซิส ซึ่งดำเนินการโดยเอนไซม์นอกเซลล์ของแบคทีเรียบนมวลชีวภาพเชิงซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เพื่อผลิตน้ำตาลทั่วไป กรดไขมัน และกรดอะมิโน

ขั้นตอนที่ 2 คือการสร้างกรด ซึ่งผลิตภัณฑ์ของไฮโดรไลซิสจะถูกดูดซึมโดยจุลินทรีย์สร้างกรด ซึ่งผลิตกรดไขมันที่ระเหยง่าย (VFAs)

ขั้นตอนที่ 3 คือการสร้างกรดอะซิติก ซึ่งกรดไขมันที่ระเหยง่ายจะถูกแปลงเป็นอะซิเตต ไฮโดรเจน และ CO_2

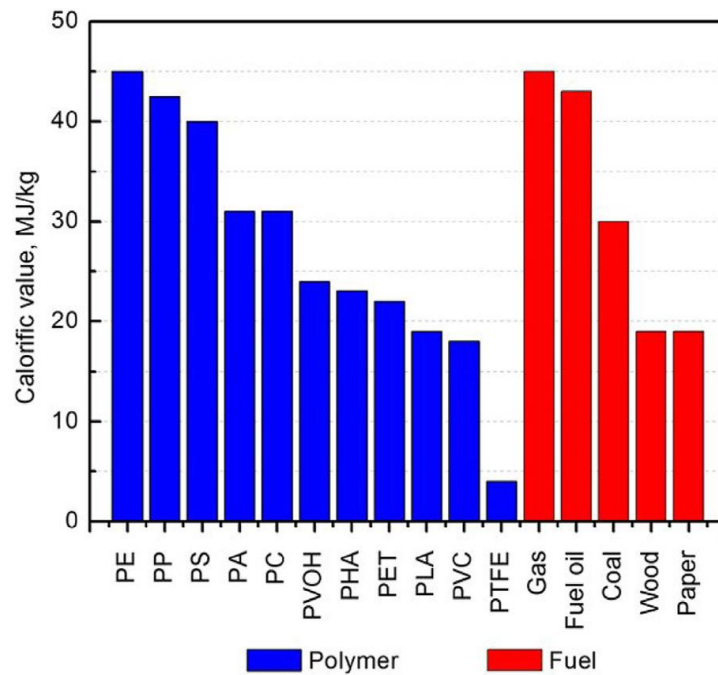
ขั้นตอนที่ 4 คือการสร้างมีเทน ซึ่งจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะใช้ผลิตภัณฑ์กลางในการผลิต CH_4



รูปที่ 1 เส้นทางการจัดการสำหรับขยะพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้และไม่ย่อยสลายได้หลังการใช้งาน
(ที่มารูปภาพ: G. Fredi, and A. Dorigato (2021) Recycling of bioplastic waste: A review. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 4, 159-177 (<https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>))

2. การนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตพลังงาน (การรีไซเคิลระดับตติยภูมิ)

การเผาของเสียจากพลาสติกและพลาสติกชีวภาพพร้อมกับการผลิตเป็นพลังงาน แม้ว่าจะเป็นทางเลือกที่อยู่ในระดับต่ำกว่าในลำดับขั้นของตัวเลือกการจัดการของเสียเมื่อเทียบกับการรีไซเคิล แต่ก็สามารถเป็นประโยชน์ในการกำจัดเศษพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้และไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และยังเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการฝังกลบ พลาสติกมีค่าความร้อนสูงและสามารถใช้ในโรงงานผลิตพลังงานจากของเสียเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล แม้ว่าการเผาไม่ใช่ทางเลือกที่ต้องการสำหรับการสิ้นสุดอายุการใช้งานของพลาสติกชีวภาพ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่พลาสติกเหล่านี้มักประกอบด้วยคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถยอมรับในโรงงานผลิตพลังงานจากของเสียได้ เนื่องจากมีค่าความร้อนที่คล้ายกับพลาสติกทั่วไป (รูปที่ 2) เมื่อพลาสติกที่มีฐานมาจากชีวภาพถูกเผา พวกมันจะถูกพิจารณาว่าเป็นการผลิตพลังงานหมุนเวียน



รูปที่ 2 ค่าความร้อนของพลาสติกชีวภาพและพลาสติกทั่วไปบางชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงบางประเภท (ที่มารูปภาพ: E. Castro-Aguirre, et al. (2016) Poly(lactic acid)-Mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Advanced Drug Delivery Reviews* 107, 333-366. (<https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>))

ที่มาของข้อมูล

G. Fredi, and A. Dorigato (2021) Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 4, 159-177. (<https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>)

E. Castro-Aguirre, F. Iniguez-Franco, H. Samsudin, X. Fang, R. Auras (2016) Poly(lactic acid)-Mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Advanced Drug Delivery Reviews* 107, 333-366. (<https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>)