

พลาสติกชีวภาพ Polyhydroxyalkanoates (PHAs) ที่ผลิตได้จากเชื้อแบคทีเรีย

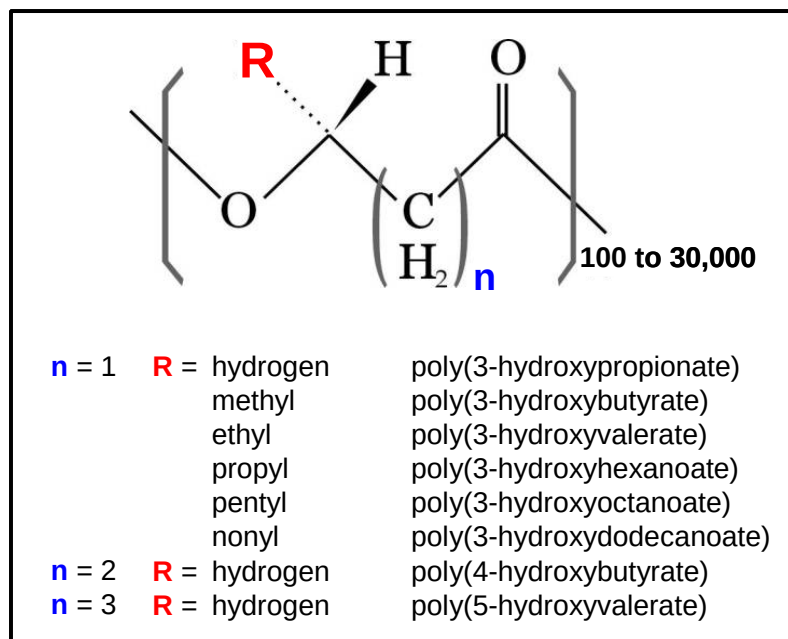
บทความโดย

ดร. ณัฐวี เนียมศิริ และ นางสาวพจนาน จันทรเนตร

มนุษย์รู้จักผลิตพลาสติกสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น polyethylene, polypropylene ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1940s และเริ่มใช้พลาสติกสังเคราะห์พวกนี้เพื่อทดแทนการใช้วัสดุที่ทำจากแก้ว ไม้ และโลหะต่างๆ เนื่องจากพลาสติกสังเคราะห์มีคุณสมบัติบางประการที่ดีกว่าวัสดุต่างๆที่กล่าวมา เช่น ทนความร้อน น้ำหนักเบา ยืดหยุ่นได้ดี และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลาสติกนั้นส่วนใหญ่จะเป็นประเภทใช้แล้วทิ้ง จึงทำให้มีการใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลาย แต่การใช้พลาสติกไม่สอดคล้องกับการทำลาย เพราะพลาสติกสังเคราะห์นั้นใช้เวลานานในการย่อยสลาย วิธีการทำลายพลาสติกคือ การนำไปฝังกลบ (land filling) หรือการนำไปเผา (incineration) แต่การกำจัดด้วย 2 วิธีนี้ก็ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกันคือ เกิดการปนเปื้อนในแหล่งดินและแหล่งน้ำ เกิดควันพิษจากการเผาไหม้พลาสติก และถึงแม้ว่าพลาสติกบางส่วนจะสามารถนำกลับมา recycle ได้ แต่พลาสติกก็มีจำนวนครั้งในการ recycle สุดท้ายแล้วพลาสติกก็กลายเป็นขยะ ดังนั้นการลดจำนวนการใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆจากพลาสติกสังเคราะห์ โดยการหาพลาสติกทดแทนชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่เหมือนพลาสติกสังเคราะห์ แต่สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าจึงเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจ

Polyhydroxyalkanoates (PHAs) เป็นตัวอย่างหนึ่งของพลาสติกชีวภาพที่น่าสนใจชนิดหนึ่ง นอกเหนือไปจาก starch-based polymers และ polylactic acid ที่อาจจะนำมาใช้ทดแทนพลาสติกสังเคราะห์เหล่านั้นได้ PHAs เป็น polyester ชนิดหนึ่งที่เกิดโดยแบคทีเรียจำพวกหนึ่งได้ตามธรรมชาติ โดยแบคทีเรียจำพวกนี้จะสร้าง PHAs ก็ต่อเมื่อแบคทีเรียต้องการสร้างแหล่งพลังงานเก็บไว้ใช้ในยามจำเป็น PHAs ถือว่าเป็น biopolymer ทดแทนที่สำคัญเพราะ PHAs มีคุณสมบัติทางกายภาพหลายๆอย่างเหมือนพลาสติกสังเคราะห์จำพวก polyethylene และ polypropylene แต่ว่า PHAs นั้นสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าตามธรรมชาติโดยเชื้อแบคทีเรียต่างๆ ที่อาศัยอยู่ใน ดิน ทะเล ทะเลสาบ และแหล่งที่สะสมของเสีย (sewage) ที่สำคัญก็คือ PHAs สามารถที่ถูกผลิตขึ้นมาได้จากแหล่งคาร์บอนที่มีราคาถูก และมักจะเป็นแหล่งคาร์บอนที่สามารถสร้างทดแทนได้ (renewable resources) เช่น ของเหลือจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีมากในประเทศ หรือ ผลผลิตทางการเกษตร

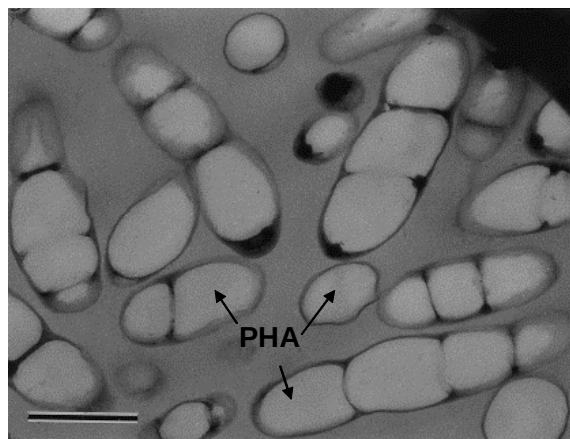
โดยทั่วไป PHAs เป็นได้ทั้ง Homo และ Heteropolyester ซึ่งจะถูกสร้างขึ้นภายใน cytoplasm ของแบคทีเรีย ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้ในการสร้าง PHAs นั้นคือ Acetyl-CoA ส่วนเอนไซม์ที่สำคัญในการสร้าง PHAs ภายในตัวแบคทีเรีย ก็คือ เอนไซม์ PHA synthase PHAs เป็น polymer สายตรงที่มีองค์ประกอบหลักคือ C, H และ O ซึ่งโครงสร้างแสดงไว้ดังรูปที่ 1 ซึ่งส่วนที่จะทำให้ polymer มีความแตกต่างกันก็คือ ตำแหน่งของ R (หมู่ฟังก์ชัน) และจำนวน n (จำนวนของหมู่ methylene) ซึ่งในธรรมชาติชนิดของ PHAs ที่พบเจอมากที่สุดก็คือ Polyhydroxybutyrate (PHB) ซึ่งจะมี methyl เป็นหมู่ฟังก์ชัน โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียจะผลิต PHAs ก็ต่อเมื่อ แบคทีเรียอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณ N, P, Mg, K, O หรือ S น้อย ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต และมีแหล่งคาร์บอนมาก เชื้อก็จะสร้าง PHAs ขึ้นมาแบคทีเรียสามารถผลิต PHAs ที่มีองค์ประกอบย่อย (monomer) ต่างชนิดกันขึ้นอยู่กับแหล่งคาร์บอนที่มีอยู่ในบริเวณที่เชื้อเจริญและชนิดของแบคทีเรานั้นๆ ซึ่งปัจจุบันมีเชื้อแบคทีเรียมากกว่า 300 ชนิด ที่ถูกค้นพบว่าสามารถผลิต PHAs ได้



รูปที่ 1 โครงสร้างหลักของ PHAs

PHAs เป็นสารไบโอโพลิเมอร์ที่สร้างจากแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. หรือ *Alcaligenes latus* ซึ่ง PHAs จะถูกสร้างขึ้นภายในตัวแบคทีเรียดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสะสมภายในเซลล์ของแบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียต้องตกอยู่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการ

เจริญเติบโต เช่น ในสภาวะที่ขาดแคลนอาหาร แบคทีเรียก็จะย่อยสลาย PHAs เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง ซึ่งแบคทีเรียที่มีความสามารถในการสร้าง PHAs ได้ ก็มักจะสามารถในการย่อยสลาย PHAs ได้เช่นกัน อีกทั้งเชื้อแบคทีเรียต่างชนิดกันมักจะสามารถในการสร้างและการสะสม PHAs ที่ต่างกัน หรือถ้าหากเป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดเดียวกัน แต่พบว่าถูกเลี้ยงในสภาวะที่แตกต่างกัน เช่น ต่างแหล่งคาร์บอน หรือ ต่างแหล่งไนโตรเจน เชื้อแบคทีเรียก็จะมีการสร้างและการสะสม PHAs ในปริมาณที่ต่างกัน และอาจจะต่างชนิดกันได้



รูปที่ 2 ลักษณะของ PHAs ที่อยู่ภายในไซโทพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรีย

ชนิดของ PHAs ที่พบเจอมากที่สุดในธรรมชาติ ก็คือ Poly(3-hydroxybutyrate) หรือ PHB และก็เป็นชนิดของ PHAs ที่ได้รับการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตจากเชื้อแบคทีเรียมากที่สุดเช่นกัน PHB เป็น Homopolymer ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล เช่น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) จุดหลอมเหลว (Melting temperature) จุดคล้ายแก้ว (Glass-transition temperature) ความเปราะ (Brittleness) ความแข็ง (Stiffness) คล้ายคลึงกับโพลีเมอร์ Polypropylene ยกเว้นความยืดหยุ่น (Elongation) ซึ่ง PHB มีน้อยกว่ามาก ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่นักวิทยาศาสตร์ก็ได้พัฒนาวิธีการต่างๆ จนสามารถปรับปรุงคุณสมบัติข้อนี้ของ PHB นี้ได้ อันได้แก่ การผลิต PHB ให้เป็นแบบ copolymer กับโมโนเมอร์ชนิดอื่นๆ ของ PHAs เช่น Polyhydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate, P(HB-co-HV) หรือการผสม PHB กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ หรือโดยการเติมสารเติมแต่ง เช่น พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ที่ใช้ในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลของ PHB ให้เหมาะสำหรับกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกหรือคอมพาวด์ (Compounding) ดังนั้น PHB จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนพลาสติก

สังเคราะห์จากปิโตรเคมีภัณฑ์ โดยเฉพาะ Polypropylene ซึ่งยากต่อการย่อยสลายในธรรมชาติ โดยที่ในปัจจุบัน PHB จะถูกนำไปใช้เพื่อผลิตพลาสติกที่ต้องการคุณสมบัติการย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ขึ้นมากมาย เช่น ถุงขยะสำหรับเก็บใบไม้ แผ่นฟิล์มเพื่อการเกษตร กระถางต้นไม้ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของ PHAs ชนิดต่างๆ

Samples	Melting temperature (°C)	Glass-transition temperature (°C)	Young's modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation to break (%)
P(3HB)	180	4	3.5	40	5
P(3HB-co-20%HV)	145	-1	0.8	20	50
P(3HB-co-71%HV)	83	-13	0.5	12	260
P(3HB-co-6%HA) ^a	133	-8	0.2	17	680
Polypropylene	176	-10	0.7	38	400
Low-density polyethylene	130	-30	0.2	10	620
High-density polyethylene	137	-	1.4	30	10

ในปัจจุบันในหลายประเทศ เช่น จีน อิตาลี บราซิล และ อเมริกา เป็นต้น มีการผลิต PHAs ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ หรือผลิตเป็นเม็ดพลาสติก ซึ่งการผลิต PHAs ในระดับอุตสาหกรรมนั้นประเทศต่างๆ เหล่านี้จะใช้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากในประเทศ เช่น ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นและเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้แบคทีเรีย เพื่อการผลิต PHAs ในระดับระดับถึงหมักที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม เหตุผลประการสำคัญในปัจจุบันที่ยังทำให้ไม่สามารถนำพลาสติกชีวภาพ PHAs มาใช้ทดแทนพลาสติกสังเคราะห์ได้อย่างจริงจังนั้น เนื่องจากต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต PHAs โดยวิธีการหมักยังคงมีราคาสูงอยู่มาก และโดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตพลาสติกสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องให้ทีมงานวิจัยควบคุมดำเนินต่อไปเพื่อพัฒนาระบบการผลิตและการสกัด PHAs จาก

แบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีราคาต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ถูกลง เพื่อที่จะทำให้ PHAs สามารถแข่งขันในเชิงธุรกิจกับพลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเคมีภัณฑ์ได้ในอนาคตอันใกล้

เอกสารอ้างอิง:

1. Mahishi, L. H., G. Tripathi, and S. K. Rawal, Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) synthesis by recombinant *Escherichia coli* harbouring *Streptomyces aureofaciens* PHB biosynthesis genes: Effect of various carbon and nitrogen sources. *Microbiological Research*, 2003. 158(1): p. 19-27.
2. Kulpreecha, S., et al., Inexpensive fed-batch cultivation for high poly(3-hydroxybutyrate) production by a new isolate of *Bacillus megaterium*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2009. 107(3): p. 240-245.
3. Gouda, M. K., A. E. Swellam, and S. H. Omar, Production of PHB by a *Bacillus megaterium* strain using sugarcane molasses and corn steep liquor as sole carbon and nitrogen sources. *Microbiological Research*, 2001. 156(3): p. 201-207.
4. Wu, Q., et al., Production of poly-3-hydroxybutyrate by *Bacillus sp.* JMa5 cultivated in molasses media. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 2001. 80(2): p. 111-118.