

พลาสติกที่ย่อยสลายได้

นางสาว พกาวดี นารอง

อาจารย์

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

โพลีเบต้าไฮดรอกซีอัลคานอยต์ (Poly- β -hydroxyalkanoate; PHA) เป็นสารประกอบประเภทกรดไขมัน (fatty acid) ที่สามารถผลิตได้จากแบคทีเรียหลายสายพันธุ์ โดยเก็บสะสมไว้ในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำรองเมื่ออยู่ในสภาวะไม่เหมาะสม สารประกอบนี้มีคุณสมบัติคล้ายกับพลาสติกสังเคราะห์พวกโพลิโพรไพลีน (polypropylene) ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำเอามาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบและปริมาณการผลิต PHA ได้แก่ แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก แร่ธาตุต่างๆ ตลอดจนความเป็นกรดด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น การใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้จะส่งผลดีในการช่วยลดการเกิดปัญหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากขยะพลาสติกได้ทางหนึ่ง

Biodegradable Plastic

Miss Pakawadee Narong

Lecturer

Department of Biotechnology

Faculty of Technology KhonKean University

Abstract

Poly- β -hydroxyalkanoate; PHA is a lipid compound which can be produced and accumulated in bacteria cells for used as carbon sources and energy reserve when they were in unsuitable condition. The characteristic of this compound has similar to synthetic plastic e.g. polypropylene plastic therefore it can be used for producing biodegradable plastic. The effect of factors on composition and production of PHA were carbon and nitrogen sources, duration of fermentation, minerals, pH and temperature etc. The use of biodegradable plastics can be reduced environmental impact from plastic garbage problem.

บทนำ

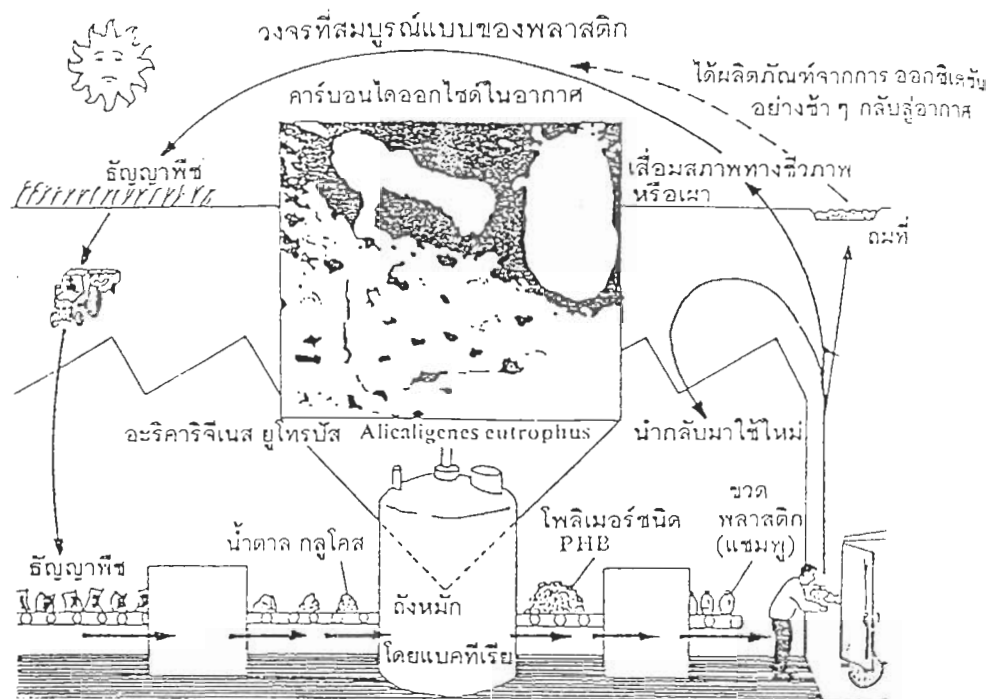
การผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากปริมาณขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะพลาสติกที่นับวันยังมีปริมาณมากอีกทั้งยังมียุทธวิธีการกำจัดที่มีความที่ยุ่งยาก

สารในกลุ่ม poly- β -hydroxyalkanoate; PHA เป็นกลุ่มสารโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความสนใจมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถผลิตได้ตามวิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพ ดังรูปที่ 1

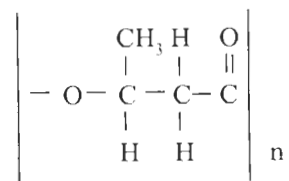
คุณสมบัติของสาร PHA

PHA เป็นกลุ่มสารโพลีเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของโพลีเมอร์ย่อย (monomer) เพียงชนิดเดียว หรือโฮโมโพลีเมอร์ (homopolymer) ของโพลี-เบต้า-ไฮดรอกซีบิวทิเรท (Poly- β -hydroxybutyrate; PHB) และ PHB เองก็จัดเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลสายยาว (polysaccharides) ที่

มีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยโมโนเมอร์ของกรดไฮดรอกซีบิวทีริก (3-hydroxybutyric acid) มาต่อกันเป็นสายยาว โดยเฉลี่ยตั้งแต่ 23,000-25,000 หน่วย ดังรูปที่ 2



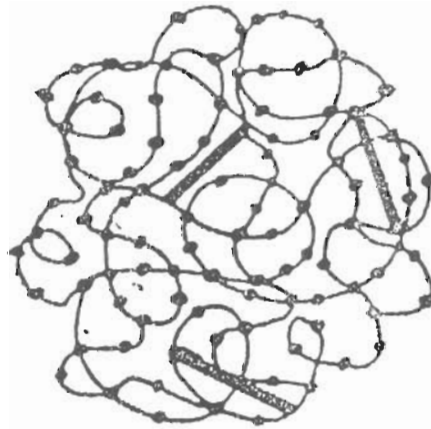
รูปที่ 1 แสดงวงจรที่สมบูรณ์แบบของการผลิตและย่อยสลายโพลิเมอร์ชนิด PHB ตามวิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพ (บุญเชียร และสรินยาพร ,2540)



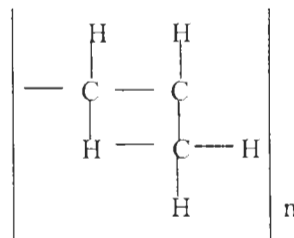
รูปที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลิเมอร์ชนิด PHB (บุญเชียร และสรินยาพร,2540)

และเนื่องจาก PHB เป็นสารที่ผลิตได้จากแบคทีเรียหลายสายพันธุ์ (Steinbuechel A.,1991) ดังนั้น PHA จึงจัดเป็นโพลีเมอร์ ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable polymer) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (chemical and physical properties) ใกล้เคียงกับ คุณสมบัติของพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดอ่อน หรือ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งเป็นพลาสติก ชนิดที่หดยืดหยุ่นได้เมื่อได้รับความร้อน และมีโครงสร้างภายในเป็นผลึกเพียงบางส่วน (partial crystalline) ดังรูปที่ 3 และตารางที่ 1 เช่น โพลีโพรไพลีน (polypropylene ; PP)

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น ทำให้สารโพลีเมอร์เหล่านี้สามารถนำมาผลิตพลาสติกในลักษณะของฟิล์ม แผ่น (sheet) หรือหล่อให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการเพื่อทำวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์ของอุปกรณ์ทางการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ขวดหรือวัสดุบรรจุยา ไหมเย็บแผล ถังพลาสติกกันร้อน แวนตาป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น



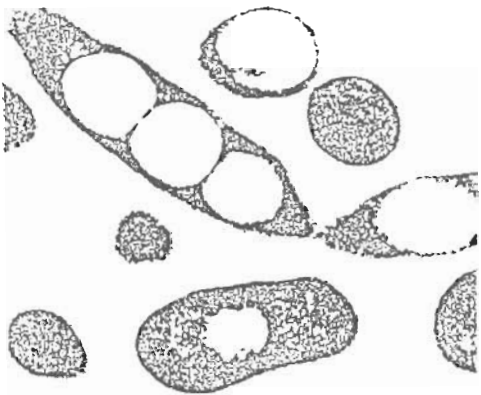
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างโพลีเมอร์ชนิดยืดหยุ่น (มานพ , 2539)



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีน (C_3H_6) (มานพ , 2539)

ตารางที่ 1
แสดงคุณสมบัติของ PHB เปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดโพลิโพรไพลีน (Evan and Sikder, 1990)

คุณสมบัติ	PHB	โพลิโพรไพลีน (PP)
อุณหภูมิหลอมโครงสร้างผลึก, °C	175	176
ความเป็นผลึกของโพลิเมอร์, %	80	70
น้ำหนักโมเลกุล, Da	5×10^5	2×10^5
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว, °C	15	-10
ความหนาแน่น, g/cm ³	1.25	0.905
โมดูลัสความยืดหยุ่น, Gpa	4.0	1.7
ความต้านทานแรงดึง, Mpa	40	38
การขยายตัวต่อการแตกหัก, %	6	400
ความต้านทานต่อแสงยูวี	ดี	ต่ำ
ความต้านทานตัวทำละลาย	ต่ำ	ต่ำ



รูปที่ 5 แสดงภาพตัดขวางของเซลล์ *Alcaligenes* sp. SH-69 ที่มีการสร้างสาร PHA อยู่ภายในเซลล์ (บุญเชษฐ์ และสรินยาพร, 2540)

แบคทีเรียที่ผลิตสาร PHB (Microorganisms)

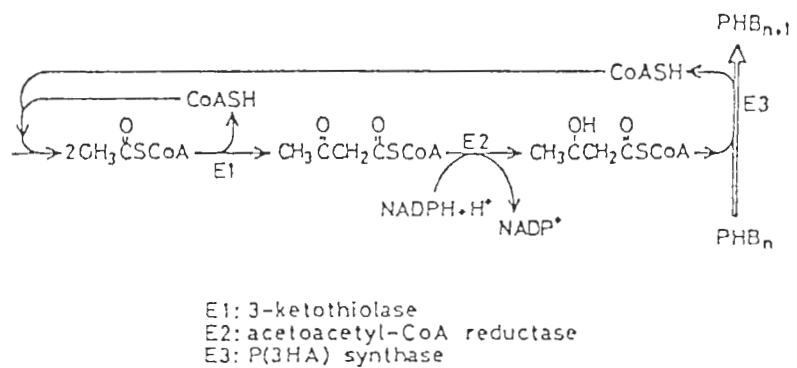
ในสภาพธรรมชาติแบคทีเรียจะมีการสร้างและสะสมสาร PHB ไว้ภายในเซลล์ เมื่อเกิดสภาวะที่มีอาหารไม่สมดุล (nutrient imbalance) เช่น แบคทีเรียอยู่ในสภาวะที่มีปริมาณคาร์บอน (carbon sources) มากเกินไป แต่ขณะเดียวกันก็ขาดปริมาณสารอาหารชนิดอื่น (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ฯลฯ)

จึงทำให้แบคทีเรียไม่สามารถสร้างกรดอะมิโนเพื่อการเจริญเติบโตได้ แต่จะเปลี่ยนไปสร้างและสะสมสาร PHB ในลักษณะของเม็ดแกรนูล (granule) สีขาวอยู่ภายในเซลล์แทน ดังรูปที่ 5 เพื่อสำรองไว้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ เมื่อเซลล์ต้องการพลังงานตารางที่ 2 จะแสดงชนิดของแบคทีเรียมากกว่า 20 สายพันธุ์ที่สามารถผลิตสาร PHB ได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 2

แสดงรายชื่อแบคทีเรียที่สามารถผลิตสาร PHB ได้ในธรรมชาติ (Byrom, 1987)

<i>Altinomycetes</i>	<i>Methylbacterium</i>
<i>Alcaligenas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Azotobacter</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Azospirillum</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Rhizobium</i>
<i>Bacijerinckia</i>	<i>Rhodopsedomonas</i>
<i>Chlorogloca</i>	<i>Rhodospirillum</i>
<i>Chromobacterium</i>	<i>Sphaerotilus</i>
<i>Derxia</i>	<i>Spirillum</i>
<i>Ferrobacillus</i>	<i>Vibrio</i>
<i>Hyphomicrobium</i>	<i>Zoogloca</i>



รูปที่ 6 แสดงการหมุนเวียนของโคเอนไซม์ (coenzyme) ในระหว่างการสังเคราะห์ PHB จากจุลินทรีย์

(Yamance และคณะ, 1992)

กลไกการสังเคราะห์ PHA

แบคทีเรียส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ PHB จาก Acetyl-CoA ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ขั้นตอนหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้และรูปที่ 6

ขั้นตอนที่ 1

Acetyl-CoA จะถูกเอนไซม์ 3-ketothiolase (acetyl-CoA acetyltransferase) เปลี่ยนเป็น Acetoacetyl-CoA

ขั้นตอนที่ 2

Acetoacetyl-CoA จะถูกเปลี่ยนเป็น -D(-)-3-hydroxybutyryl-CoA โดยใช้เอนไซม์ acetoacetyl-CoA reductase (hydroxybutyryl-CoA)

ขั้นตอนที่ 3

เอนไซม์ poly (D(-)-3-hydroxybutyryl-Co A) synthase จะเชื่อมต่อหัวท้ายของโมโนเมอร์ ให้กลายเป็น PHB โดยเอนไซม์มีดังกล่าวเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า PHB polymerase หรือ P(3HA) Synthase นั้นเอง (Yamane และคณะ, 1992)

ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบและปริมาณการผลิต PHA

1. แหล่งคาร์บอน

จากที่พบว่าในธรรมชาติ มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถสังเคราะห์ PHA ได้และใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน โดยที่แหล่งคาร์บอนสำคัญที่แบคทีเรียนำมาใช้ในการสังเคราะห์ PHA มีหลายชนิดได้แก่ glucose, fructose, gluconate, acetic acid, betaine, carbonic acid, citric acid, 3-hydroxybutyric acid, lactic acid, propionic acid เป็นต้น (Steinbuchel A., 1991)

2. แหล่งไนโตรเจน

Rhee และคณะ (1982) ได้ทำการทดลองผลิต PHA จากเชื้อแบคทีเรีย *Alcaligenes eutrophus* พบว่าเมื่อให้แหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน จะทำให้ได้ปริมาณของ PHA แตกต่างกันได้ด้วย

3. ระยะเวลาในการหมักและแร่ธาตุต่าง ๆ

แบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์จะมีช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว PHA อยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีความต้องการแร่ธาตุที่แตกต่างกันไปอีกด้วย ดังนั้น จึงต้องมีการจำกัดปริมาณของแร่ธาตุแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับสายพันธุ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตด้วย

4. อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง

โดยทั่วไปการผลิต PHA ได้ผลดีมักผลิตที่อุณหภูมิ 30°C และมีความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 7

บทสรุป

ปัญหาของขยะพลาสติกที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญอยู่ในปัจจุบัน และยังคงเป็นปัญหาต่อเนื่องไปยังอนาคต ตราบใดที่แนวโน้มของการใช้พลาสติกนั้นวันยิ่งสูงขึ้นมากเรื่อยๆ

ดังนั้นการเร่งวิจัยและพัฒนาค้นคว้าเพื่อหาสารหรือวัสดุที่จะนำมาทดแทนการใช้วัสดุพลาสติกที่ย่อยสลายและกำจัดได้ยากนี้ นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้และน่าสนใจยิ่งที่จะมีส่วนป้องกันปัญหาการก่อมลพิษของพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งจะเป็นการดีกว่าการหาทางแก้ปัญหาการกำจัดขยะพลาสติกเมื่อถูกทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม

- [1] บุญเชียร ตรีภูมิตูโรวิช และสรินยาพร เฉียงไธสง. **การผลิต Poly- β -hydroxylalkanoate โดยใช้ *Alcaligines eutropus* ร่วมกับ *Lactobacillus plantarum* TISTR 926** : Special Project in Biotechnology. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2540): 4-18.
- [2] มานพ ตันตระกูล. **พลาสติก วัสดุวิศวกรรม**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ (2539) : 271-272.
- [3] Byrom, D. **Polymer synthesis by microorganism technology and economic**. Trends in Biotechnology. 5 (1987) : 246 – 250.

- [4] Evans, J.D. and Sikdar, S.K. **Biodegradable plastic ; An idea whose time has come?** Chemtech. (1990) : 38 - 42.
- [5] Griebel, R. et.al. **Composition and Properties of Native Poly- β -hydroxybutyrate granules *Bacillus magisterium*** BioChem. 10(1968) : 3678 - 3681.
- [7] Heinzle, E. and Lafferty, R.M. **A Kinetic Model for growth and synthesis of Poly- β -hydroxybutyric acid (PHB) in *Alcaligenes eutrophus* H16.** European J. Appl. Microbial. Biotechnol. 11(1980) : 8 -16.
- [8] Holmes, P.A. **Application of PHB- a microbially produced biodegradable thermoplastic.** Phys. Technol. 16(1985) : 32 - 36.
- [9] Lemoige, M. **Products of deehydration and polymerization of β -hydroxybutyric acid. biodegradable plastics.** Biotechnol. 2(1982) : 230-232.
- [10] Rhee, Y.H., Jang, J - H., and Roger, P.L. **Biopolymer Production by an *Alcaligenas* sp. from biodegradable plastics.** Biotechnol. 2(1982) : 230-232.
- [11] Steinbuchel, A. **Polyhydroxyalkanoic acid:Byrom** (e d) Bimaterial.Macmilan, Newyork. (1991) :123-231.
- [12] Tim, A. et.al. **Formolation of Polyester Consisting of Medium-Chain-Lenhth 3-hydroxyalkanoic acid from *Pseudomonas aeruginosa*. Apply in Environ. Microbio.**11 (1990) : 3360-3367.
- [13] Yamane, Tsuneous et al. **Yield of poly-D(-)- β -hydroxybutyrate from various carbon sources : A Theoretical Study.** Biotechnol. and Bioeng. A1(1993) : 165 -170.