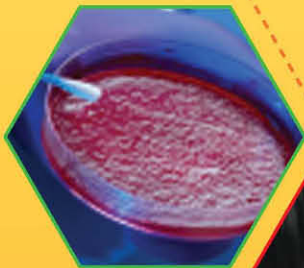




สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์

Microbial Polymers



สุนใจ ชูจันทร์

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ (Microbial Polymers)

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ (Microbial Polymers)

สุวงใจ ชูจันทร์



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2557

410.-

สุขใจ ชูจันทร์

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ / สุขใจ ชูจันทร์

1. โพลิเมอร์จากจุลินทรีย์.

572.33

ISBN 978-974-03-3196-4

สพจ. 1798



สรรคุณคำวิชาการ ผู้สัจคม

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2557

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดทำหน่วย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกษีย โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นครสวรรค์ จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2

โทรสาร 0-2160-5304

รัตนวิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

และเครือข่าย

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนวิเบศร์ (แยกแคราย)

โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : รวีวรรณ จันทรมั่น

พิสูจน์อักษร : พรเพ็ญ รัตนโพธิ์แสงศรี

ออกแบบปกและรูปเล่ม : I Can Do

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [5706-101]

โทร. 0-2218-3550 โทรสาร 0-2218-3551

<http://www.cuprint.chula.ac.th>

คำนำ

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ (microbial polymers) เป็นส่วนหนึ่งของพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ซึ่งปัจจุบันมีบทบาทสำคัญมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เคมี เภสัชกรรม รวมทั้งทางการแพทย์ พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์มีข้อที่ดีกว่าพอลิเมอร์จากพืชและสัตว์ คือ สามารถผลิตพอลิเมอร์ให้มีคุณสมบัติดัดแปลงตามความต้องการของผู้บริโภค (tailor-made biopolymer) ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาสั้นกว่าพอลิเมอร์จากพืชและสัตว์ นอกจากนี้พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ยังมิใช่ได้เปรียบพอลิเมอร์จากปิโตรเคมีหรือพอลิเมอร์จากน้ำมัน คือ สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradability) และมีความสามารถเข้ากันได้ทางชีววิทยา (biocompatibility) ในขณะที่พอลิเมอร์จากน้ำมันเกิดการสะสมและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หนังสือพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ มีทั้งหมด 14 บท บทที่ 1 คือ บทนำ กล่าวถึงความสำคัญของพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์และการแบ่งกลุ่มของพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ ตั้งแต่บทที่ 2 ถึงบทที่ 14 กล่าวถึงพอลิเมอร์แต่ละชนิด ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีการผลิตโดยกระบวนการหมักเพื่อการค้า และเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลากหลาย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยพิมพ์ต้นฉบับและตรวจสอบความถูกต้องในการพิมพ์ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

สุขใจ ชูจันทร์

มีนาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
บทที่ 1 บทนำ	1
พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide)	6
พอลิเอไมด์ (Polyamides)	18
พอลิเอสเตอร์ (Polyester)	19
ยีนที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์	20
เอกสารอ้างอิง	22
บทที่ 2 แซนแทน (Xanthan)	23
ประวัติ	24
โครงสร้างทางเคมี	25
สมบัติทางกายภาพและหน้าที่	26
การสังเคราะห์แซนแทนทางชีวภาพ	29
กระบวนการผลิตแซนแทนเชิงพาณิชย์	36
การใช้ประโยชน์แซนแทน	38
เอกสารอ้างอิง	41
บทที่ 3 แอลจีเนต (Alginate)	43
ประวัติ	45
โครงสร้างทางเคมี	46
พันธุศาสตร์ของการสังเคราะห์แอลจีเนตทางชีวภาพ	49
การสังเคราะห์แอลจีเนตทางชีวภาพ	55
การใช้ประโยชน์แอลจีเนต	61
เอกสารอ้างอิง	63
บทที่ 4 เซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial cellulose)	65
ประวัติ	67
โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	68
สมบัติและหน้าที่	70
จุลินทรีย์ที่ผลิตเซลลูโลส	72

	หน้า
วิธีการสังเคราะห์ทางชีวภาพ	74
พันธุศาสตร์ของการสังเคราะห์เซลลูโลส	79
การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียโดยการหมัก	80
การใช้ประโยชน์เซลลูโลสจากแบคทีเรีย	84
การใช้ประโยชน์เซลลูโลสจากแบคทีเรียโดยเทคนิคเฉพาะทาง	86
เอกสารอ้างอิง	90
บทที่ 5 เดกซ์แทรน (Dextran)	97
ประวัติ	99
โครงสร้างทางเคมี	100
จุลินทรีย์ที่ผลิตเดกซ์แทรน	103
การผลิตเดกซ์แทรนทางชีวภาพ	103
การผลิตเดกซ์แทรนเพื่อการค้า	106
สมบัติและการใช้ประโยชน์	106
เอกสารอ้างอิง	109
บทที่ 6 พุลูลแลน (Pullulan)	111
ประวัติ	113
โครงสร้างทางเคมีและสมบัติ	114
การสังเคราะห์พูลูลแลนทางชีวภาพ	114
การใช้ประโยชน์พูลูลแลน	126
เอกสารอ้างอิง	128
บทที่ 7 เคิร์ดแลน (Curdlan)	141
ประวัติ	142
สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของเคิร์ดแลน	143
พันธุศาสตร์ของการผลิตเคิร์ดแลน	147
การสังเคราะห์เคิร์ดแลนทางชีวภาพ	148
การใช้ประโยชน์เคิร์ดแลน	154
เอกสารอ้างอิง	158

	หน้า
บทที่ 8 ลิแวน (Levan)	163
ประวัติ	164
โครงสร้างทางเคมีของลิแวนและหน้าที่	165
สมบัติของลิแวน	166
ความปลอดภัยของลิแวน	168
พันธุศาสตร์ของการสังเคราะห์ลิแวน	168
การสังเคราะห์ลิแวนทางชีวภาพ	169
การสังเคราะห์ลิแวนทางเอนไซม์วิทยา	170
การผลิตลิแวนทางเทคโนโลยีชีวภาพ	170
การผลิตลิแวนทางการค้า	176
การใช้ประโยชน์ลิแวน	176
เอกสารอ้างอิง	179
บทที่ 9 เจลแลนกัน (Gellan gum)	183
ประวัติ	184
โครงสร้างทางเคมีและชนิดของเจลแลนกัน	186
สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของเจลแลนกัน	189
การสังเคราะห์เจลแลนทางชีวภาพ	195
การใช้ประโยชน์เจลแลนกัน	208
เอกสารอ้างอิง	213
บทที่ 10 ไฮยาลูโรแนน (Hyaluronan)	217
ประวัติ	219
โครงสร้างทางเคมี	219
การสังเคราะห์ไฮยาลูโรแนนทางชีวภาพ	220
การสังเคราะห์พอลิเมอร์ไฮยาลูโรแนน	222
การหมักไฮยาลูโรแนนโดยแบคทีเรีย	224
การใช้ประโยชน์ไฮยาลูโรแนนในเครื่องสำอางและทางการแพทย์	226
เอกสารอ้างอิง	230

	หน้า
บทที่ 11 ซัคซินโนไกลแคน (Succinoglycan)	231
ประวัติ	233
โครงสร้างทางเคมี	233
สมบัติและหน้าที่ทางชีวภาพ	234
การสังเคราะห์ซัคซินโนไกลแคนทางชีวภาพ	236
พื้นฐานทางพันธุกรรมของกระบวนการสังเคราะห์ซัคซินโนไกลแคน	239
การควบคุมการสังเคราะห์ซัคซินโนไกลแคนทางชีวภาพ	240
การผลิตซัคซินโนไกลแคนทางเทคโนโลยีชีวภาพ	241
การใช้ประโยชน์ซัคซินโนไกลแคน	245
เอกสารอ้างอิง	246
บทที่ 12 สเกอโรกลูแคน (Scleroglucan)	251
ประวัติการผลิต	252
สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสเกอโรกลูแคน	253
การสังเคราะห์สเกอโรกลูแคน	255
ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสเกอโรกลูแคน	258
การใช้ประโยชน์สเกอโรกลูแคน	263
เอกสารอ้างอิง	266
บทที่ 13 พอลิแกมมากลูตามेट (Poly gamma glutamate)	269
โครงสร้างทางเคมี	271
การสังเคราะห์ทางชีวภาพและการผลิต γ -PGA โดยจุลินทรีย์	276
การผลิต γ -PGA ที่ต้องการกรดกลูตามิก (L-glutamic acid)	278
การผลิต γ -PGA ที่ไม่ต้องการกรดกลูตามิก (L-glutamic acid)	283
การผลิต γ -PGA ในระดับ Large-scale	283
พันธุศาสตร์ของการสังเคราะห์ γ -PGA	285
การใช้ประโยชน์ γ -PGA	288
เอกสารอ้างอิง	293

	หน้า
บทที่ 14 พอลิไฮดรอกซีแอลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoates)	299
โครงสร้างทางเคมีของ PHAs	303
สมบัติและองค์ประกอบของมอนอเมอร์	304
วิธีเมแทบอลิซึมของการผลิต PHAs และยีนที่เกี่ยวข้อง	311
การผลิต PHA จากแหล่งคาร์บอนที่สัมพันธ์กับสารตั้งต้น	312
การผลิต SCL-PHA จากแหล่งคาร์บอนที่ไม่สัมพันธ์	314
วิธีการสังเคราะห์ MCL-PHA ทางชีวภาพจากแหล่งคาร์บอนที่ไม่สัมพันธ์	317
ยีนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ PHA	320
การแยก PHAs	321
การใช้ประโยชน์ PHA	323
เอกสารอ้างอิง	324
อภิธานศัพท์	335
ประวัติผู้เขียน	341

1

บทนำ



พอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) คือ พอลิเมอร์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (พืช สัตว์ และจุลินทรีย์) สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradability) และมีความสามารถเข้ากันได้ทางชีววิทยา (biocompatibility) ซึ่งเป็นข้อดีของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ดีกว่าพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์โดยปิโตรเคมี พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ (microbial polymer) จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันมีการค้นพบใหม่ ๆ เกี่ยวกับพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ เนื่องจากมีการพัฒนาเกี่ยวกับกลไกการทำงานระดับโมเลกุลและกระบวนการต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้พื้นฐานของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น เทคนิคการโคลนยีน (gene-cloning techniques) วิธีการจัดลำดับ DNA (DNA-sequencing method) ทำให้สามารถระบุยีนที่สังเคราะห์พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ซึ่งส่วนมากมีอิทธิพลต่อความเข้าใจในเรื่องวิธีการสังเคราะห์ทางชีวภาพนำไปสู่เทคนิคการสร้างวิถีวิศวกรรมเมแทบอลิก (techniques for metabolic engineering pathway) และกระบวนการวิศวกรรมโปรตีน (protein-engineering approach) ซึ่งความรู้เหล่านี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางใหม่สำหรับการสร้างจุลินทรีย์ที่มีความสามารถ ไม่เพียงเฉพาะมีประสิทธิภาพในการผลิตพอลิเมอร์ทางชีวภาพเท่านั้น แต่ยังช่วยในการดัดแปลงพอลิเมอร์ที่ผลิตให้มีสมบัติพิเศษที่ไม่พบในพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากปิโตรเคมี สามารถนำพอลิเมอร์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ไปประยุกต์ใช้กับงานลักษณะพิเศษให้ตรงตามความต้องการ (tailor-made biopolymer) เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมและการแพทย์ ทำให้เกิดการค้นพบพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ๆ ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์เพื่อประโยชน์ทางการค้ามากขึ้น

นอกจากนี้พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ยังสามารถแข่งขันกับพอลิเมอร์จากปิโตรเคมีหรือพอลิเมอร์จากน้ำมัน (oil-based polymer) เนื่องจากพอลิเมอร์จากน้ำมันทำให้เกิดการสะสมและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่พอลิเมอร์ชีวภาพสลายตัวได้อย่างเต็มที่ และบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อีกทั้งเอนไซม์ depolymerases และ hydrolases จะย่อยส่วนที่เป็นแกนหลักของพอลิเมอร์ชีวภาพนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ของการสลายที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (lower-molecular-mass degradation product) ซึ่งสิ่งนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ใหม่อีกครั้ง (renewable resources)

พอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ผลิตโดยแบคทีเรีย โดยสามารถจัดกลุ่มพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ได้ 4 กลุ่ม คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) พอลิเอไมด์ (polyamides) พอลิเอสเตอร์ (polyester) และพอลิแอนไฮไดรด์ (polyanhydrides) ซึ่งกลุ่มพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์และลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงประเภทของพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์และลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์

ประเภทของพอลิเมอร์	ตำแหน่งของพอลิเมอร์	โครงสร้างปฐมภูมิ	องค์ประกอบหลัก	สารตั้งต้น	เอนไซม์ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน*	โดยจุลินทรีย์	การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม#
พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides)							
แอลจีเนต (alginate)	Extracellular	β -(1,4)-linked non-repeating heteropolymer	Mannuronic acid และ guluronic acid	GDP-mannuronic acid	Glycosyl-transferase (Alg8)	<i>Pseudomonas</i> spp. และ <i>Azotobacter</i> spp.	เป็นวัสดุชีวภาพ เช่น ใช้สำหรับส่งถ่ายยา เป็นวัสดุดูดกแต่งแผล (ผ้าปิดแผล)
แซนแทน (xanthan [§])	Extracellular	β -(1,4)-linked repeating heteropolymer consisting of pentasaccharide units	Glucose, mannose และ glucuronate	UDP-glucose, GDP-mannose และ UDP-glucuronate	Xanthan polymerase (GumE)	<i>Xanthomonas</i> spp.	เป็นสารเติมแต่งอาหาร เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด เป็นอิมัลซิไฟเออร์
เดกซ์แทรน (dextran [§])	Extracellular	α -(1,2)/ α -(1,3)/ α -(1,4)-branched, α -(1,6)-linked homopolymer	Glucose	Saccharose	Dextrantransferase (DstS)	<i>Leuconostoc</i> spp. และ <i>Streptococcus</i> spp.	เป็นสารเพิ่มปริมาตรของพลาสมาในเลือด และเป็นตัวกลางของโครมาโทกราฟี
เคิร์ดแลน (curdian [§])	Extracellular	β -(1,3)-linked homopolymer	Glucose	UDP-glucose	Curdian synthase (CrdS)	<i>Agrobacterium</i> spp., <i>Rhizobium</i> spp. และ <i>Cellulomonas</i> spp.	เป็นสารเติมแต่งอาหาร เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สารสร้างเจล
เจลแลน (gellan [§])	Extracellular	β -(1,3)-linked repeating heteropolymer consisting of tetrasaccharide units	Glucose, rhamnose และ glucuronate	UDP-glucose, dTDP-rhamnose และ UDP-glucuronate	Gellan synthase (GelG)	<i>Sphingomonas</i> spp.	สารเติมแต่งในอาหาร- เพาะเลี้ยงเซลล์ สารเติมแต่งอาหาร เช่น เป็นสารสร้างเจล

ตารางที่ 1.1 แสดงประเภทของพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์และลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ (ต่อ)

ประเภทของพอลิเมอร์	ตำแหน่งของพอลิเมอร์	โครงสร้างปฐมภูมิ	องค์ประกอบหลัก	สารตั้งต้น	เอนไซม์ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน*	โดยจุลินทรีย์	การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม#
เซลลูโลส (cellulose)	Extracellular	β -(1,4)-linked homopolymer	D-glucose	UDP-D-glucose	Cellulose synthase (BcsA)	Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria และ Gram-positive bacteria	อาหาร (วุ้นมะพร้าว : nata de coco) วิตามินตกแต่งขาดแคล
กรดไฮยาลูโรนิก (hyaluronic acid ^s)	Extracellular	β -(1,4)-linked repeating heteropolymer consisting of disaccharide units	Glucuronate และ N-acetyl glucosamine	UDP-D-glucuronate และ UDP-N-acetyl glucosamine	Hyaluronan synthase (HasA)	<i>Streptococcus</i> spp. และ <i>Pasteurella multocida</i>	เครื่องสำอาง เป็นของเหลวเลี้ยงข้อเท้าเทียม ใหลำหรับส่งถ่ายยา
พอลิไธโอไมด์ (polyamides)							
poly- γ -glutamate	Extracellular หรือ capsular	Homopolymer	D-glutamate และ/หรือ L-glutamate	(Glutamate) _n - phosphate, ATP และ glutamate	Poly- γ -glutamate synthetase (PgsBC; also known as CapBC)	<i>Bacillus</i> spp. และ a few Gram-positive bacteria, the Gram-negative bacterium <i>Fusobacterium nucleatum</i> และ the archaea <i>Natronococcus occultus</i> และ <i>Natrialba aegyptiaca</i>	ใช้แทนพอลิอะครีเลต ทำในชิ้นพืด เป็นสารดูดความชื้น ช่วยส่งถ่ายยา และใช้ทำเครื่องสำอาง
cyanophycin granule peptide	Intracellular	Repeating heteropolymer consisting of dipeptide units	Aspartate และ Arginine	β -spartate-arginine) ₃ - phosphate, ATP, L-arginine และ L-aspartate	Cyanophycin synthetase (CphA)	Cyanobacteria, <i>Acinetobacter</i> spp. และ <i>Desulfitobacterium</i> spp.	สารช่วยการกระจาย และเป็นตัวทำให้ชุ่มด้วยน้ำ

ตารางที่ 1.1 แสดงประเภทของพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์และลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ (ต่อ)

ประเภทของพอลิเมอร์	ตำแหน่งของพอลิเมอร์	โครงสร้างปฐมภูมิ	องค์ประกอบหลัก	สารตั้งต้น	เอนไซม์ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน*	โดยจุลินทรีย์	การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม#
ε-poly-L-lysine	Extracellular	Homopolymer	L-lysine	L-lysine, ATP และ L-lysine-AMP	ε-poly-L-lysine synthetase (Pls)	<i>Streptomyces albulus</i> subsp. <i>lysinopolymorus</i>	เป็นสารกันเสียในอาหารสัตว์ และเมื่อเกิดการเชื่อมโซ่จะช่วยให้การดูดซับ
พอลิเอสเตอ์ (polyester)							
Polyhydroxy-alkanoates [§]	Intracellular	Heteropolymer	(R)-3-hydroxy-fatty acids	(R)-3-hydroxy-acyl CoA	Polyhydroxy-alkanoate synthase (PhaC)	Bacteria และ archaea	ไบโโพลาลัสติก วัสดุชีวภาพ และเป็นเมทริกซ์เพื่อเชื่อมกับโปรตีน
พอลิแอนไฮไดรด์ (polyanhydrides)							
พอลิฟอสเฟต (polyphosphate)	Intracellular	Homopolymer	Phosphate	ATP	Polyphosphate kinase (PPK)	Bacteria และ archaea	แทนที่ ATP ในการสังเคราะห์เอนไซม์เป็นตัวเพิ่มกลิ่นรส

dTDP : deoxythymidine diphosphate

* : เอนไซม์ในการสร้างพอลิเมอร์ทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสร้างพอลิเมอร์ภายในเซลล์บริเวณไฮโดรอล และเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ภายนอกเซลล์ หรือสร้างพอลิเมอร์ในรูปแบบแคปซูล (capsular polymer) อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ยกเว้น dextranase ซึ่งหลั่งออกมาอยู่ที่บริเวณผนังเซลล์

: พอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผลิตเพื่อการค้า แต่มีศักยภาพที่อาจนำไปประยุกต์ใช้ได้

§ : พอลิเมอร์ที่ผลิตเพื่อการค้า

ที่มา : ดัดแปลงจาก Rehm, 2010: 4-5.

พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide)

ในอุตสาหกรรมมีการนำพอลิแซ็กคาไรด์ธรรมชาติในรูปของกัม (gum) มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย พอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ได้มาจากพืชหรือจากสาหร่ายทะเล เช่น สตาร์ช (starch) แอลจีเนต (alginate) แครร์ราจีแนน (carrageenan) กัมอะราบิก (gum arabic) และ ไกลโคแมนแนนของพืช เช่น โลคัสต์บินกัม (locust bean gum; LBG) กัวร์กัม (guar gum) คอนแจ็กแมนแนน (konjac mannan) โดยเฉพาะพอลิแซ็กคาไรด์จากพืชซึ่งมีราคาถูกมากและสามารถผลิตได้ปริมาณมาก เช่น สตาร์ช เซลลูโลส หาได้จากทุกส่วนของโลกจากแหล่งท้องถิ่นที่หลากหลาย เป็นสารเคมีเพิ่มมวล แลกยุโรปมีการผลิตสตาร์ชปริมาณมากถึง 6 ล้านตันต่อปี จากข้าวโพด มันฝรั่ง และข้าวสาลี ส่วนเซลลูโลสมีอยู่ในไม้ 4-5 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อไม้ จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสและเซลลูโลส กัวร์กัมเป็นกัมที่ได้จากเมล็ดของต้นกัวร์ (guar) ผลิตเป็นจำนวนมากแถบอินเดียซึ่งผลิตได้ประมาณ 70,000-80,000 ตันต่อปี และมีราคาถูก เมื่อทำให้บริสุทธิ์จะได้ผงขาวและได้สารละลายที่ใส กัวร์กัมใช้กันอย่างกว้างขวางโดยนำมาประยุกต์ใช้กับอาหารและอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร เช่น สามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมน้ำมันสำหรับกระบวนการขุดเจาะ เนื่องจากกัวร์กัมมีราคาต่ำจึงมีประโยชน์ทางด้านราคามากกว่าโลคัสต์บินกัมซึ่งมีราคาแพงกว่า

กัมที่เกิดจากยางพืช (exudate gum) เช่น กัมอะราบิก ได้จากพืชสกุล *Acacia* มักเจริญในแถบเขตแห้งแล้งของเมืองซาเฮล (Sahel) ในแอฟริกา อาจเป็นไปได้ว่าเป็นกัมที่มีการค้าขายเก่าแก่ที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสาหร่ายทะเล เช่น แอลจีเนต แครร์ราจีแนน

ถึงแม้ว่าสารประกอบเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีมูลค่า แต่ก็มีผลกระทบจากความไม่มั่นใจในผลผลิตและคุณภาพที่ได้ ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ได้ถูกหยิบยกขึ้นมา ทั้งจากความเสี่ยงของพืชผลทางการเกษตร สภาพภูมิอากาศหรือมลภาวะทางทะเล ปัญหาน้ำท่วมภาวะสงคราม ความอดอยาก และโรคระบาดต่าง ๆ นอกจากนี้พอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากพืชและสาหร่ายหรืออนุพันธ์ของพอลิเมอร์เหล่านั้น จำเป็นต้องมีสมบัติทางด้าน rheological properties ตามความต้องการในการนำมาใช้ในงานที่เฉพาะ ซึ่งเป็นข้อเสียที่สำคัญของพอลิแซ็กคาไรด์ธรรมชาติที่ได้จากพืชและสาหร่ายทะเล ซึ่งการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์ระดับอุตสาหกรรมไม่ขึ้นกับปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้ว่าในการผลิตพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์นั้นต้องการซัสเตนตราคาถูกเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่มีความต้องการเครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสูง เจ้าหน้าที่มีความเชี่ยวชาญสูง และความเพียงพอของ

แหล่งพลังงานและน้ำ ซึ่งผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สามารถควบคุมและกำหนดราคาได้อย่างแน่นอน

ดังนั้น การผลิตพอลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์ จึงเป็นทางเลือกหรือเป็นแหล่งพอลิแซ็กคาไรด์ทดแทนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยมีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติคล้ายกันและนำมาใช้แทนกันได้ในปัจจุบัน หรือทำให้ได้สารใหม่ที่มีสมบัติเฉพาะตัวหรือมีการปรับปรุงสมบัติทาง rheological properties ซึ่งสามารถประยุกต์สำหรับการใช้ประโยชน์ใหม่ ๆ ได้ (new uses) โดยจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์ที่แตกต่างกันมากมาย ซึ่งส่วนประกอบถูกจำกัดโดยสัมพันธ์กับจำนวนมอโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) และหมู่แทนที่พวกที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 หมู่แทนที่พวกที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (non-carbohydrate substituents) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์และพอลิแซ็กคาไรด์อื่น ๆ

หมู่แทนที่พวกที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต	แหล่งที่พบ
1. แอซีเทต (acetate)	พบแพร่หลายในพอลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรีย
2. กลีเซอเรต (glycerate)	มีในพอลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียจำนวนเล็กน้อย
3. ฟอสเฟต (phosphate)	ส่วนใหญ่อยู่ในพอลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียแกรมบวก
4. ไพรูเวต (pyruvate)	พอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่ายและแบคทีเรีย
5. ซักซิเนต (succinate)	พอลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรีย
6. ซัลเฟต (sulfate)	พอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่าย Archaea และไซยาโนแบคทีเรีย (พอลิเมอร์ของสัตว์ เช่น heparin, chondroitin)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sutherland, 2002: 5.

ถึงแม้ว่าส่วนประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์จะถูกจำกัด แต่สมบัติทางกายภาพขึ้นกับพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น ผลผลิตของพอลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์บางชนิดมีความเหนียวหรือหนืดสูงในสารละลายของเหลว บางชนิดอยู่ในรูปของเจล (gel) คล้ายกับลักษณะของอะการ์ (agar) หรือแครวจีแนน