บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

พอลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) หรือ กัม (gums)

เป็นสารที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในรูปของ Furanose (5 membered rings) หรือ Pyranose (6 membered rings) หลาย ๆ โมเลกุลมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Paul, 1979) หรือหมายถึง สารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายๆ โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกเป็นสายยาวอาจมีกิ่งก้านหรือไม่มี โดยมากจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถละลายน้ำได้ และมีคุณสมบัติเป็นสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ สามารถดูดน้ำได้ดี เมื่อละลายในของเหลวจะทำให้ของเหลวมีความหนืดมากขึ้น (Margaritis and Pace, 1985)

พอลีแซคคาไรด์สามารถผลิตได้จากทั้งสารธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ ดังนี้

1. พอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากธรรมชาติ (Natural gums) เป็นพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จาก พืช สัตว์ และสาหร่าย โดยผ่านกระบวนการสกัดแยกและทำให้บริสุทธิ์ ได้แก่

1.1 Seaweed extracts ได้แก่ Agar, Algin, Carrageenan, Fucoidan, Furcellaran และ Laminaran

1.2 Plant exudates ได้แก่ Gum arabic, Gum Ghatti, Gum karaya, และ Gum tragacanth

1.3 Seed gums ได้แก่ Guar gum, Locust bean gum, Quince seed, Psyllium seed, Flax seed, Okra gums และ Tamarind gums

1.4 Plant extracts ได้แก่ Larch , Arabinogalactan และ Pectin

1.5 Animal extracts ได้แก่ Chitin

2. โพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากการสังเคราะห์ (Prepared gums)

2.1 Biosynthetic gums ได้แก่ Xanthan gums, Scleroglucan, Dextran

2.2 Starch Fractions and Derivatives

2.3 Starch amylopectin (Waxy corn and waxy sorghum)

2.4 Starch dextrins

2.5 Starch hydroxyethyl ethers and other starch ether)

2.6 Cellulose derivatives (Whistler and BeMiller, 1993)

ส่วน Glicksman (1979) ได้จำแนกสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) หรือ พอลีแซคคาไรด์ออกเป็น 3 พวก ดังนี้ คือ Natural , Modified natural และ Synthetic ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการแบ่งกลุ่มของสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์

Natural	Modified natural	Synthetic
Plant exudates	Cellulose derivatives	Polyvinylpyrrolidone
Arabic	Carboxymethylcellulose	(PVP)
Tragacanth	Methycellulose	Carboxyvinyl polymers
Karaya	Hydroxyethycellulose	(carbopol)
Ghatti	Hydroxypropylmethylcellulose	Polyethylene oxide
Seeweed extract	Hydroxypropylmethylcellulose	polymers (Polyox)
Agar	Other derivatives	
Alginates	Modified starches	
Carrageenans	Low methoxyl pectin	
Furcellaran	Propylene glycol alginate	
Plant seed gums		
Guar		
Locust bean		
Psyllium		
Quince		
Tamarind		

ที่มา : Glicksman (1979)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการแบ่งกลุ่มของสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์

Natural	Modified natural	Synthetic
Cereal gums	-	
Starches		
Corn hull gums		
Plant extracts		
Pectin		
Arabinogalactan		
Fermentation		
Dextran		
Xanthan		
Curdland		
Animal-derived		
Gelatin		

ที่มา : Glickson (1979)

นอกจากนี้พอลีแซคคาไรด์ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก ตามหน้าที่ของพอลีแซคคาไรด์ดังต่อไปนี้ คือ (Lehninger, 1975)

1. พอลีแซคคาไรด์สะสม (Storage polysaccharides) คือ ส่วนที่เก็บสะสมไว้ในเซลล์ เช่น แป้งในพืช ไกลโคเจนในสัตว์ เมื่อมีความต้องการจะนำไปใช้ในยามขาดแคลนจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์กลายเป็นกลูโคส แล้วจึงนำไปใช้ต่อไป

2. พอลีแซคคาไรด์โครงสร้าง (Structure polysaccharides) คือ พวกที่ทำหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่เซลล์ เช่น เซลลูโลสในพืช ไคตินในเปลือกกุ้งและปู และในโครงสร้างผนังเซลล์ของรา

หากจำแนกชนิดของพอลีแซคคาไรด์ตามชนิดของโมโนแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบสามารถแบ่งออกได้ เป็น 2 ชนิด (Margaritis and Pace, 1985) คือ

1. โฮโมพอลีแซคคาไรด์ (Homopolysaccharides) คือ พอลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์เพียงชนิดเดียว เช่น พูลลูแลน (Pullulan) เด็กซ์แทรน (Dextran) ซึ่งมีกลูโคสเป็นองค์ประกอบ โดยการสร้างพอลีแซคคาไรด์ประเภทนี้สันนิษฐานว่าถูกสร้างมาจากการทำงานและการควบคุมของเอนไซม์ที่มีระบบไม่ซับซ้อน

2. เฮทเทอโรพอลีแซคคาไรด์ (Heteropolysaccharides) คือ พอลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น แซนแทน (Xanthan) ประกอบด้วยกลูโคสและแมนโนส เป็นต้น โดยการสร้างโพลีแซคคาไรด์ประเภทนี้สันนิษฐานว่าถูกสร้างขึ้นมาจากการทำงานและการควบคุมของเอนไซม์ที่มีระบบซับซ้อน

ประโยชน์ของพอลีแซคคาไรด์

โดยมากพอลีแซคคาไรด์จะมีลักษณะที่มีสายยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังนั้นเมื่อละลายน้ำทำให้มีคุณสมบัติ 2 ประการ คือ เกิดความหนืด (Thickening agent) และเกิดเจล (Gelling agent) ซึ่งทำให้มีการนำพอลีแซคคาไรด์ไปใช้เป็น Emulsifying agent, Stabilizing agent และ Encapsulating agent เป็นต้น (Mitchell,1979) โดยพอลีแซคคาไรด์มีบทบาทมากในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน, อุตสาหกรรมทอผ้า, อุตสาหกรรมเคมี, อุตสาหรรมอาหาร ฯลฯ โดย Margaritis และ Pace (1985) แสดงตัวอย่างการใช้งานพอลีแซคคาไรด์ในอุตสาหกรรมอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2 ตัวอย่างคุณสมบัติของพอลีแซคคาไรด์ที่มีการผลิตทางการค้า ได้แก่

1. กัมอะราบิก (Gum arabic) เป็นกัมที่ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในน้ำมัน แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ความหนืดที่ได้จากกัมชนิดนี้ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกัมชนิดอื่น และความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ปริมาณอิเลคโตรไลท์ (Electrolytes) และความเข้มข้นของกัมจะมีผลต่อความหนืด นิยมใช้เพื่อช่วยให้อีมัลชั่นคงตัว ฟองในเครื่องดื่มคงตัว และป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เป็นต้น

2. กัมคารายา (Gum karaya) เป็นกัมที่คล้ายกัมทรากาแคนท์ คือ ละลายน้ำได้น้อยมาก แต่สามารถดูดน้ำได้เร็ว ทำให้ได้สารละลายที่หนืดใช้มากในการช่วยให้อีมัลชั่นคงตัว ช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม เป็นต้น

3. กัมทรากาแคนท์ (Gum tragacanth) เป็นกัมที่มีการละลายน้ำได้น้อยแต่พองตัวได้ดี และให้ความหนืดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกัมชนิดอื่น ๆ นิยมใช้กันมากในน้ำสลัด ไอศกรีมและขนมหวาน เป็นต้น

4. ลาชกัม (Larch gum) เป็นกัมอีกชนิดหนึ่งที่ละลายน้ำได้ และการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น สารละลายกัมให้ความหนืดสูง นิยมใช้เพื่อช่วยให้อิมัลชั่นคงตัว เพิ่มความข้นของผลิตภัณฑ์และจับตัวกันได้ดีขึ้น

5. โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) เป็นกัมที่ละลายได้ในน้ำเย็น การละลายจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มความร้อนสารละลายจะมีสีขุ่น เนื่องจากมีโปรตีนและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย นิยมใช้ในไอศกรีม เนยแข็ง และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

6. กัวร์กัม (Guar gum) เป็นกัมที่สามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วให้ความหนืดสูง มีความคงตัวในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้างคือ 4.5-10.5 และมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย นิยมใช้ในเนยแข็ง ไอศกรีม น้ำสลัด และขนมอบ เป็นต้น

7. วุ้น (Agar) เป็นกัมที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล เป็นกัมที่ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน เมื่อแข็งตัวให้เจลที่มีลักษณะแข็งและยืดหยุ่นได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติที่วุ้นสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ละลายมาก จึงทำให้มีการนำวุ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ผลิตภัณฑ์เนื้อและปลา เป็นต้น

8. แอลจิน (Algin) เป็นกัมอีกชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล ส่วนใหญ่จะใช้ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโปแตสเซียม และเกลือแอมโมเนียม ซึ่งจะละลายได้ดีกว่าเกลือแคลเซียม และละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายจะขึ้นกับอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นและขนาดโมเลกุล ใช้มากในไอศกรีม เบียร์ และน้ำสลัด เป็นต้น

9. คาราจีแนน (Carageenan) เป็นกัมจากสาหร่ายทะเลที่มีการละลายน้ำได้ดี นิยมใช้เพื่อช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เพื่อช่วยให้เนื้อปลาจับกันได้ดีขึ้น ใช้เป็นวัตถุช่วยทำให้ข้นในซุป ซ้อส และเครื่องดื่มต่าง ๆ เป็นต้น

10. ฟอร์เซลลาแรน (Furcellaran) เป็นกัมที่ละลายได้ดีที่อุณหภูมิสูง และไม่สลายตัวแม้จะใช้อุณหภูมิสูงขนาดหม้อนึ่งความดัน จึงมีประโยชน์มากสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง นอกจากนี้ยังช่วยในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ประเภท แยม เยลลี่ เป็นต้น

3. กัมทรากาแคนท์ (Gum tragacanth) เป็นกัมที่มีการละลายน้ำได้น้อยแต่พองตัวได้ดี และให้ความหนืดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกัมชนิดอื่น ๆ นิยมใช้กันมากในน้ำสลัด ไอศกรีมและขนมหวาน เป็นต้น

4. ลาชกัม (Larch gum) เป็นกัมอีกชนิดหนึ่งที่ละลายน้ำได้ และการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น สารละลายกัมให้ความหนืดสูง นิยมใช้เพื่อช่วยให้อิมัลชั่นคงตัว เพิ่มความข้นของผลิตภัณฑ์และจับตัวกันได้ดีขึ้น

5. โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) เป็นกัมที่ละลายได้ในน้ำเย็น การละลายจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มความร้อนสารละลายจะมีสีขุ่น เนื่องจากมีโปรตีนและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย นิยมใช้ในไอศกรีม เนยแข็ง และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

6. ก้วร์กัม (Guar gum) เป็นกัมที่สามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วให้ความหนืดสูง มีความคงตัวในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้างคือ 4.5-10.5 และมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย นิยมใช้ในเนยแข็ง ไอศกรีม น้ำสลัด และขนมอบ เป็นต้น

7. วุ้น (Agar) เป็นกัมที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล เป็นกัมที่ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน เมื่อแข็งตัวให้เจลที่มีลักษณะแข็งและยืดหยุ่นได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติที่วุ้นสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ละลายมาก จึงทำให้มีการนำวุ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ผลิตภัณฑ์เนื้อและปลา เป็นต้น

8. แอลจิน (Algin) เป็นกัมอีกชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล ส่วนใหญ่จะใช้ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโปแตสเซียม และเกลือแอมโมเนียม ซึ่งจะละลายได้ดีกว่าเกลือแคลเซียม และละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายจะขึ้นกับอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นและขนาดโมเลกุล ใช้มากในไอศกรีม เบียร์ และน้ำสลัด เป็นต้น

9. คาราจีแนน (Carageenan) เป็นกัมจากสาหร่ายทะเลที่มีการละลายน้ำได้ดี นิยมใช้เพื่อช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เพื่อช่วยให้เนื้อปลาจับกันได้ดีขึ้น ใช้เป็นวัตถุช่วยทำให้ข้นในซุป ซ้อส และเครื่องดื่มต่าง ๆ เป็นต้น

10. ฟอร์เซลลาแรน (Furcellaran) เป็นกัมที่ละลายได้ดีที่อุณหภูมิสูง และไม่สลายตัวแม้จะใช้อุณหภูมิสูงขนาดหม้อนึ่งความดัน จึงมีประโยชน์มากสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง นอกจากนี้ยังช่วยในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ประเภท แยม เยลลี่ เป็นต้น

จะมีปัญหาถ้าบริโภคน้ำตาลมากเกินไป จึงมีการใช้สารให้ความหวานแทน ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีการแปรรูปโดยใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลนั้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องมีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคล้ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวาน ตัวอย่างเช่น ในผลิตภัณฑ์ประเภทแยมและเยลลี่นั้น จะไม่มีการเกิดเจล เนื่องจากไม่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ เพื่อแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาจึงต้องมีการเติมวัตถุเจือปนอาหารชนิดที่ช่วยให้มีการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัตถุเจือปนอาหารที่มีการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่กล่าวถึง โดยอาจจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือผสมกัน นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่าง ก็จัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก</u> มีการใช้กัมเป็นวัตถุเจือปนอาหารเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ เช่น ช่วยให้มีลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการจับกัน ความสามารถในการอุ้มน้ำ สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เป็นต้น ป้องกันการเละยุ่ยของลักษณะเนื้อสัมผัส และช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อบดต่างๆ มีการจับตัวกันได้ดียิ่งขึ้น ส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อหรือสัตว์ปีกเยือกแข็งนั้น จะมีการใช้กัมเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการอุ้มน้ำดีขึ้นในระหว่างการทำเยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไขมันและน้ำมัน</u> มักใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำสลัดต่าง ๆ มายองเนส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็น Emulsifier นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ช่วยในการลดโคเรสเตอรอลในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ต้องการให้มีโคเรสเตอรอลต่ำด้วย เพราะสามารถลดปริมาณไข่แดง ที่ต้องใช้เพื่อเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ได้ และช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีการลดปริมาณไข่แดงมีคุณภาพที่สม่ำเสมอได้มาตรฐาน

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในนมและผลิตภัณฑ์นม</u> โดยมีการใช้อย่างแพร่หลายมากในผลิตภัณฑ์นมชนิดต่าง ๆ ซึ่งรวมถึง ไอศกรีม Sherbets เนยแข็ง และผลิตภัณฑ์นมอื่นๆ วัตถุประสงค์ใหญ่เพื่อช่วยให้เกิดความคงตัวและช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เช่น ในไอศกรีมใช้กัมเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียดสม่ำเสมอ ช่วยชลอหรือป้องกันการเกิดเกล็ดน้ำแข็งช่วยป้องกันการแยกตัวของไขมัน และช่วยให้ไขมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และช่วยป้องกันการละลายตัว เป็นต้น

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน</u> เพื่อช่วยในการเกิดเจลนอกจากนี้ยังช่วยชลอการตกผลึกของน้ำตาลทราย ช่วยให้อีมัลชั่นคงตัวและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ช่วยป้องกันการเกิด Syneresis และช่วยให้ฟองมีความคงตัว

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม</u> ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมีลักษณะปรากฏที่น่าบริโภคมากขึ้น ช่วยทำให้มีการกระจายตัวของเนื้อผลไม้หรือผักดีขึ้น ช่วยเพิ่มความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ฟองในเบียร์คงตัว และช่วยให้ไวน์ใสขึ้น

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารว่าง</u> การใช้กัมจะช่วยทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนียนละเอียดสม่ำเสมอ มีการจับตัวกันดีขึ้น เพิ่มความหนืดให้ผลิตภัณฑ์ เพิ่มปริมาตรให้ผลิตภัณฑ์ เพิ่มความกรอบให้ผลิตภัณฑ์ เป็นตัวช่วยให้การเคลือบวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ประเภท Chips และ Nuts มีการจับแน่นติดกับผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น

<u>การใช้พอลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ซีอสและน้ำจิ้ม</u> ช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้มีมาตรฐาน ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ควรจะมีความข้นและหนืดที่สม่ำเสมอ และใกล้เคียงกันในทุกรุ่นที่ผลิตนั้น (ศิวาพร ศิวเวชช ,2535)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 หน้าที่ของกัมในอุตสาหกรรมอาหาร

Function	Application
Adhesive	Bakery glaze
Binding agent	Sausages
Bulking agent	Dietetic foods
Crystallization inhibitor	Ice cream, sugar syrups
Clarifying agent	Beer, wine
Cloud agent	Fruit juice
Coating agent	Confectionery
Emulsifier	Salad dressings
Encapsulating agent	Powdered fixed flavours
Film former	Sausage casings, protective coatings
Flocculation agent	Wine
Foam stabilizer	Whipped toppings, beer
Gelling agent	Puddings, desserts, aspics, mousses
Mould rebase agent	Gumdrops, jelley candies
Protective colloid	Flavour emulsions
Stabilizer	Beer , mayonnaise
Suspending agent	Chocolate milk
Swelling agent	Processes meats
Syneresis inhibitor	Chesse, frozen foods
Thickening agent	Jams, pie fillings, sauces, gravies
Whipping agent	Toppings, icings

ที่มา : Glicksman (1979)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า พอลีแซคคาไรด์สามารถผลิตได้จากทั้งพืช สัตว์และจุลินทรีย์ แต่ปัจจุบันการผลิตพอลีแซคคาไรด์จากจุลินทรีย์เริ่มมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ดีกว่า เช่น Xanthan gum มีคุณสมบัติด้านความหนืด (Viscosity) ความเสถียร (Stability) ในแง่ความเป็นกรดและด่างที่กว้าง มีความทนต่ออุณหภูมิที่สูง (Thermotolerance) และอีกประการที่สำคัญ คือ ในการผลิต EPS จากจุลินทรีย์สามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ได้ โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพดินฟ้าอากาศ ฤดูกาลหรือมลพิษทางทะเล ในขณะที่เราต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เมื่อผลิตพอลีแซคคาไรด์จากพืชหรือสาหร่าย (Rehm and Reed quoted in Lee, 1993)

พอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ (Microbial polysaccharides)

แต่เดิมการศึกษาเกี่ยวกับพอลีแซคคาไรด์ถูกศึกษาโดยพวกนัก Immunologist โดยศึกษาการเกิดแอนติเจน (Antigens) และการก่อโรค (Pathogenicity) โดยในช่วงต้นคาดว่าแบคทีเรียสร้างแคปซูลขึ้นเพื่อป้องกันตัว และเมื่อพบว่าจุลินทรีย์มีการสร้างพอลีแซคคาไรด์จึงมีการตั้นนิษฐานว่าการสร้างแคปซูลอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการป้องกันจึงได้มีการสร้างสารเมือกขึ้นมาเพื่อป้องกันเซลล์ของจุลินทรีย์จากการเกิด Desicating , Phagocytosis , Phage attack, ทำให้ค่า Oxygen tension สูงขึ้น ช่วยในการนำอิออนโลหะเข้าไปในเซลล์ , และพบว่าแบคทีเรียที่เกาะอยู่กับต้นไม้จะมีการสร้างสารเมือกเพื่อช่วยในการยึดเกาะ (Cerning, 1990)

จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตพอลีแซคคาไรด์ได้มีทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อเกิดโรค โดยพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน จะให้การสร้างและหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบ คือ (Paul, 1979) คือ

1. พอลีแซคคาไรด์ที่เป็นโครงสร้างภายในเซลล์ (Intracellular polysaccharides) พอลีแซคคาไรด์ชนิดนี้จะสร้างอยู่ภายในเซลล์ บางส่วนจะรวมเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane) และทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารจำพวกคาร์บอนหรือแหล่งสะสมพลังงานของเซลล์

2. พอลีแซคคาไรด์ที่เป็นโครงสร้าง (Structural polysaccharides) เป็นองค์ประกอบที่แทรกด้วยอยู่ในผนังเซลล์และในบางกรณีอาจรวมตัวกับส่วนประกอบอื่น เช่น ไลปิด (Lipid) เป็นไลพอพอลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharides) และกรดไทโคอิก (Teichoic) เป็นต้น

3. พอลีแซคคาไรด์ที่สร้างภายนอกเซลล์ (Extracellular polysaccharides: EPS) พอลีแซคคาไรด์ชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อโครงสร้างที่ใช้ห่อหุ้มเซลล์ที่เรียกว่า แคปซูล (Capsule) หรือบางชนิดที่สร้างและปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ ละลายอยู่ในอาหารเหลวที่ใช้เลี้ยงจุลชีพนั้น ๆ จึงนิยมนำเชื้อเหล่านี้มาใช้ในการผลิตพอลีแซคคาไรด์ในระดับอุตสาหกรรมมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เพราะง่ายต่อการสกัด และแยกออกจากผนังเซลล์ เช่น *Xanthomonas camprestis*

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกชนิดของพอลีแซคคาไรด์ ออกตามลักษณะประจุไฟฟ้าที่อยู่บนโมเลกุลของพอลีแซคคาไรด์ได้ 3 ชนิด คือ (Margaritis and Pace, 1985)

1. พอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุลบ (Anionic polysaccharides) หรือบางครั้ง เรียกว่า Acidic เช่น Xanthan ที่มีหมู่อะเซทิล (Acetyl) กับไพรูเวท (Pyruvate) อยู่บนโมเลกุล

2. พอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นกลาง (Neutral polysaccharides) ได้แก่ ลีแวน (Levan) พูลลูแลน (Pullulan) เด็กซ์แทรน (Dextran) และสเคลอโรกลูแคน (Scleroglucan)

3. พอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นบวก (Cationic polysaccharides) ได้แก่ พวกที่มีหมู่ NH_3 ฯลฯ หรือมีหมู่ของกรดอมิโนบางตัวต่ออยู่

การจำแนกตามลักษณะของประจุนั้น Pace และ Righelato (1991) ได้กล่าวว่าการสร้าง EPS ของจุลินทรีย์ทำให้สามารถแยกได้ตามลักษณะกลุ่มของพอลีเมอร์ว่าเป็นแบบ Neutral และ Anionic polymers และจัดได้ตามลักษณะของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบรวมทั้งการต่อกันของสายพอลีเมอร์

จากตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างของพอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุกลาง (Neutral polysaccharides) โครงสร้างพื้นฐาน คุณสมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ พบว่า มีพอลีแซคคาไรด์หลาย ๆ ชนิดในการค้าที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยกลูโคสต่อเป็นสายยาวที่เราเรียกว่า Glucan ได้แก่ Dextran , Pullulan ,Curdlan และ Scleroglucan โดยพบว่าถึงแม้ว่าจะมี β (1→3) glucan เช่นเดียวกัน แต่ก็ให้คุณสมบัติต่างกัน เนื่องจาก Scheroglucan มีลักษณะเป็น Regular blanches ในขณะที่ Curdlan เป็น Unbranched polymer ส่วน Dextran ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน ถึงแม้ว่าจะเป็น Dextran เหมือนกัน แต่บางครั้งน้ำหนักโมเลกุลหรือความยาวของพันธะต่างกันก็ให้คุณสมบัติต่างกันเช่นกัน นอกจากนี้พอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ยังมีความสามารถในการต่อเชื่อมโมเลกุลน้ำตาลที่แตกต่างกันถึง 7 ชนิด รวมไปถึงการเชื่อมกับสารประกอบที่ไม่ใช่น้ำตาล เช่น Glycosaminoglycans (Creszenzi, 1995)

ตารางที่ 3 แสดงเอกโซพอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นกลาง (Neutral exopolysaccharides)

Trivial name	Polysaccharide repeating unit	Organism(s)	Special solution properties and (potential uses)
Dextran	- Glc 1→ 6 Glc-	*Acetobacter* spp.	Plastic flow (as source for making dextran
	Some 1→ 2,1→ 3, and 1→ 4 linkages	*Leuconostoc mesenteroides*	derivatives for pharmaceutical uses)
Pullulan	→ 6 (Glc 1→ 4 Glc 1→ 4 Glc) 1 →	*Pullularia pullulans*	Gels on heating , O_2 impermeable films formed , readily biodegradable
Curdlan	-Glc 1→ 3 Glc-	*Agrobacterium*	Gels on heating or acidification (gelled Foods) stable to salt and acids
Scleroglucan	- Glc 1→ 3 Glc - 6 β↓ Glc	*Sclerotium glucanicum*	Highly viscous and pseudoplastic, (drilling muds , latex points)
Cellulose	-Glc 1→ 4 Glc-	*Acetobacter* spp.	Water insoluble
Levan	-Fru 2→ 6 Fru	*Bacillus* spp.	-
		Leuconostoc mesenteroides	
	Glc, Gal, Mann, Hept, Fru, Rha	*Seratia marcescens*	-
	Glc, Gal, Rha, Mann	*Pseudomonas* NCLB 11264	Highly viscous and pseudoplastic

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างของพอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุลบ (Anionic polysaccharides) สำหรับ Curdlan พบว่าระดับความแรงของประจุขึ้นอยู่กับจำนวนของ Polyuronide ของกรด Mannuronic และกรด Guluronic เป็นต้น สำหรับ Succinate ประกอบด้วย Esters , Pyruvate ketals และ Sulphate หรือ Phosphate เป็นต้น สำหรับ Xanthan พบว่าระดับของ Pyruvalation มีผลต่อคุณสมบัติด้านฟิสิกส์ (Physical properties) และพบว่าการเกิดเจลของ Alginates มีผลเนื่องมาจากหมู่อะซีเตท (Acetate groups) บน Mannuronic acid ของกรด Alginic acid จะควบคุมการเกิด Epimerisation ซึ่งทำให้เกิด Guluronic acid residues ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจล (Gelling)

<u>การผลิตพอลีแซคคาไรด์จากจุลินทรีย์ (Microbial polysaccharide production)</u>

เมื่อปี ค.ศ.1813 พบว่าในขั้นตอนการกรองของการผลิตน้ำตาลอ้อยหรือน้ำตาลหัวบีทมีปัญหาเนื่องจากของเหลวมีความหนืดมากทำให้กรองยาก ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1861 Pasteur ได้กล่าวว่าการที่น้ำตาลอ้อยหรือน้ำตาลหัวบีทเกิดมีความหนืดทำให้การกรองยากเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ และในปี ค.ศ. 1878 สามารถตรวจสอบพบว่าเป็นเชื้อจำพวก *Leuconostoc mesenteroides* ซึ่งจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีพบว่าเป็นสารประกอบไปด้วย Glucose เรียกว่า Glucan ต่อมาได้รู้จักกันในชื่อ Dextran ซึ่งพอลีแซคคาไรด์ที่ได้จากจุลินทรีย์ที่ถูกผลิตทางการค้าเป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1920 พบว่าเชื้อ *Streptococcus* ssp. สามารถสร้างพอลีแซคคาไรด์ซึ่งมีความสำคัญเป็น Antigens และ Immunologens ซึ่งมีการใช้ทางการแพทย์

หลังจากที่พบ dextran แล้ว ต่อมาจึงให้ความสำคัญกับพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อโรค (Nonpathogenic polysaccharides) ทำให้เกิดการผลิตอุตสาหกรรมการผลิต EPS ตัวที่สอง คือ Xanthan gum ได้จากเชื้อ *Xanthomonas campestris* ซึ่งได้ค้นคว้าโดย Allen Jeanes ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1950 ถึงตอนต้นของทศวรรษที่ 1960 ที่ The Northern Regional Research Laboratories ในเมือง Peoria มลรัฐ Illinois ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการของกระทรวงเกษตรฯ ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเน้นถึงการคัดเลือกเชื้อเพื่อการผลิตพอลีแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติตามความต้องการทางการค้า และสามารถผลิตเพื่อเป็นอุตสาหกรรมโดยมีการทำการทดลองมากในช่วงทศวรรษที่ 1960 จนกระทั่งสามารถผลิตเป็น

ตารางที่ 4 แสดงเอกโซพอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นลบ (Anionic exopolysaccharides)

Trivial name	Polysaccharide repeating unit	Organism(s)	Special Solution properties and (potential uses)
Alginate	- 4 D - MannA 1→ 4 D - MannA 1-; - 4 L GulA 1→ 4 L - Glu A	*Pseudomonas aeruginosa* *Azotobacter vinelandii*	gels with Ca^{2+} (used in textile printing, food applications)
Xanthan	- Glc 1→ 4 Glc 3 1 Mann 6-Oac 2 1 GlcA 4 1 Mann 4,6 - O Pyruvate	*Xanthomonas campestris*	Highly viscous and pseudoplastic , gels with galactomannans , resistant to acid, alkali, and biodegradation. (used in oil well drilling, food industry)

ที่มา : Pace (1980)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 (ต่อ) แสดงเอกโซพอลีแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นลบ (Anionic exopolysaccharides)

Trivial name	Polysaccharide repeating unit	Organism(s)	Special Solution properties and (potential uses)
	O		
Phosphomannan	→ 4 (Mann) 1- O-P-O-	*Hansenula capsulate*	Thixotrophic at high concentration, gels with
	O	*Hansenula holstii*	borax
-	gal , SO_4 , PO_4	*Physarum polycephalum*	-
-	4 Glc 1→ 4 Glc 1→ 3 Gal 1→ 4 Glc 1 -	*Rhizobium meliloti*	-
	6		
	1		
	Glc 1→ 3 Glc 1→ 3 Glc 1→ 6 Glc		
	4 O O 6		
	H_3 CC COOH		

ที่มา : Pace (1980)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การค้าได้ในปี ค.ศ. 1964 โดยพบว่าในช่วงนั้น Xanthan gum มีบทบาทมากต่ออุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน ต่อมาในปี ค.ศ. 1969 ได้มีการยอมรับให้สามารถใช้ Xanthan gum เป็นวัตถุเจือปน (Food additive) ในอาหารได้โดยองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (The U.S. Food and Drug Administration (FDA)) และล่าสุดในปี ค.ศ.1990 FDA ได้อนุญาตให้มีการใช้ Gellan ในอาหารได้เช่นกัน หลังจากที่ผ่านการพัฒนามาถึง 12 ปี ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาเพิ่มเติมกันมากทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น รวมทั้งประเทศต่างๆ ในแถบยุโรป เพื่อที่จะให้ได้ EPS และ CPS (Capsular polysaccharides) ที่มีคุณสมบัติหลากหลาย (Crescenzi, 1995) ทำให้มีพอลีแซคคาไรด์ผลิตขึ้นได้จากจุลินทรีย์หลากหลายดังแสดงในตารางที่ 5 สามารถนำไปใช้ งานได้ทั้งในอุตสาหกรรมทางเคมี (Chemical) อุตสาหกรรมอาหาร (Food) และอุตสาหกรรมยา (Pharmaceutical) เนื่องจากพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น Gelling agents, Emulsifiers, Stabilizers, Binders, Coagulants, Lubricants, Film formers, Thickening agents และ Suspending agents เป็นต้น (Margaritis and Pace, 1985) โดยแสดงตัวอย่างการนำ Xanthan gum ไปใช้งานดังแสดงในตารางที่ 6 ตัวอย่างของบริษัทที่มีการผลิตทางการค้า และมีการค้นคว้าเกี่ยวกับพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในแถบประเทศทางยุโรป เช่น Unilever, Shell, Rhone-Poulenc, Elf-Aquitaine, Staats - oil, Tate & Lyle, Pharmacia, Sanofi, and Fidia Advanced Biopolymers เป็นต้น สำหรับแนวทางสำหรับการผลิตพอลีแซคคาไรด์เพื่อผลิตเป็นอุตสาหกรรรมควรจะทำดังรูปที่ 1

จากแผนภูมิแนะนำว่าควรจะมีการคัดเลือกเชื้อที่มีความสามารถในการผลิตคงที่โดยทำการศึกษาจุลินทรีย์ทั้งทางด้านชีวเคมีและโครงสร้างพื้นฐาน รวมทั้งจัดจำแนกว่าเป็นเชื้อจำพวกใด รวมไปถึงการปรับปรุงสายพันธุ์โดยใช้เทคนิคทางด้านพันธุวิศวกรรม (Genetic engineering) จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิต EPS โดยศึกษาทางด้าน Biochmical engineering และ Industrial microbiology แล้วตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ EPS ที่ผลิตได้ โดยศึกษาด้าน Carbohydrate chemistry รวมไปถึงการใช้ความรู้ทางด้าน Polymer Science มาช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมี (Physico-chemical properties) เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่มีสามารถนำไปใช้ได้ในอุตสาหกรรม (Crescenzi , 1995)

ตารางที่ 5 แสดงการผลิตเอกโซพอลีแซคคาไรด์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Product	Substrate	Microorganism	Yield	Ref
Alginate	Sucrose	*Azotobacter vinelandii* NCIB 9068	5 % batch	Bucke *et al.*, 1975
			25% batch	Deavin *et al.*, 1977
			45% continuous	Deavin *et al.*, 1977
Polymer of : D-glucose, D-mannose, D-ribose, 6-deoxy-L-mannose	2 % Glucose	*Xanthomonas fuscans*	35%	Konicek et al., 1977
Curdlan sucinoglucan	Glucose	*Alcaligenes faecalis* var *myxogenes* 10C3		Amemura *et al.*, 1977
Curdlan types	Glucose	*Alcaligenes faecalis* var *myxogenes* 10C3 LFO 13140	50%	Harada, 1977
Erwina gum (Zanflo)	Lactose hydrolyzed starch	*Erwina tahitica*	n.a.	Kang *et al.*, 1977

ตารางที่ 5 (ต่อ) แสดงการผลิตเอกโซพอลีแซคคาไรด์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Product	Substrate	Microorganism	Yield	Ref
Polymer of : D-glucose 81.9 % L-rhamnose 14 % L-glucose 0.7 % D-mannose 1.9 % D-galactose 1.5 %	1.0 % w/v Methanol	*Methylocytis parvus* OBBP	62 % fed	Hou *et al.*, 1978
Polysaccharide	4.55 % Methanol	*Methylomonas mucose* NRRL B-5696	45.2 %	Tam and Finn, 1977
Polysaccharide	0.3 % v/v Methanol	*Methylomonas methanolica* M13V mutant		Haggstrom, 1977
Poymer of : galactose glucose, mannose glucuronic acid	1 % Methanol	*Pseudomonas* sp. *viscogena* TS-1004	21 %	Misaki *et al.*, 1979

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 (ต่อ) แสดงการผลิตเอกโซพอลีแซคคาไรด์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Product	Substrate	Microorganism	Yield	Ref
Polymer of : glucose, galactose, rhamnose, mannose, acetatepyruvate	2 % glucose	*Pseudomonas* NCIB 11264	n.a.	Williams and Wimpenny, 1978
PS-60 gum : glucose 41 %, rhamnose, 30 %, uronic acid 29 %		*Pseudomonas* sp.	n.a.	Cottrell, 1980
Levan	2 % sucrose	*Zymomonas mobilis* NCIB 8938	< 2 %	Dawes *et al.*, 1966; Ribbons *et al.*, 1962
Scleroglucan	3 % glucose	*Sclerotium rolfsii* ATCC 15206	1.5-2.2 % w/v	Griffith and Compere, 1978
Scleroglucan	5 % w/v starch	*Sclerotium delphinii, S.glucanicum*	1.4 % w/v, 1.8 % w/v	Compere and Griffith, 1978

ตารางที่ 5 (ต่อ) แสดงการผลิตเอกโซพอลีแซคคาไรด์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Product	Substrate	Microorganism	Yield	Ref
PS-7 gum; glucose 73 % rhamnose 16 % glucuronic acid 11 %	3 % glucose	*Beijerinckia indica* var. *mysogenes*	n.a.	Cottrell, 1980; Kang and McNeely, 1977
Pullulan	5 % sucrose	*Aureobasidium pullulans* S-1	50-60 %	Ono, Yasada and Ueda, 1977
Phosphomannan	Hydrolyzed whey, 4.4 % sugars	*Hansenula holstii* NRRL y-2448	20.0 %	Stauffer and Leeder, 1978
Levan	6 % lactose	*Alcaligenes viscosus* NRRL B-182	2.5 %	Stauffer and Leeder, 1978
Xanthan gum	6 % lactose	*Xanthomonas campestris* NRRL B-1459	38.3 %	Stauffer and Leeder, 1978

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 (ต่อ) แสดงการผลิตเอกโซพอลีแซคคาไรด์โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

Product	Substrate	Microorganism	Yield	Ref
Galactoglucan	6 % lactose	*Zoogloa . ramigera* NRRL B-3669	55.6 %	Stauffer and Leeder, 1978
Polymer of : galactose, glucose, glucuronic acid,	6 % lactose	*Arthrobacter viscosus* MRRL B-1973	0.7 %	Stauffer and Leeder, 1978
O-acetylated acid polysaccharide: glucose, mannose, galactose	10 % v/v C12-C17 n-parra ffin mixture	*Corynebacterium* sp. *Brevibacterium* sp.	n.a.	Kanamaru and Yamatodani, 1969
Gellan gum (S-60 polysaccharide	Carbohydrate	*Pseudomonas elodea* ATCC 31461		Kang and Veeder, 1982; Kang and Veeder, 1983

ที่มา : Margaritis และ Pace (1985)

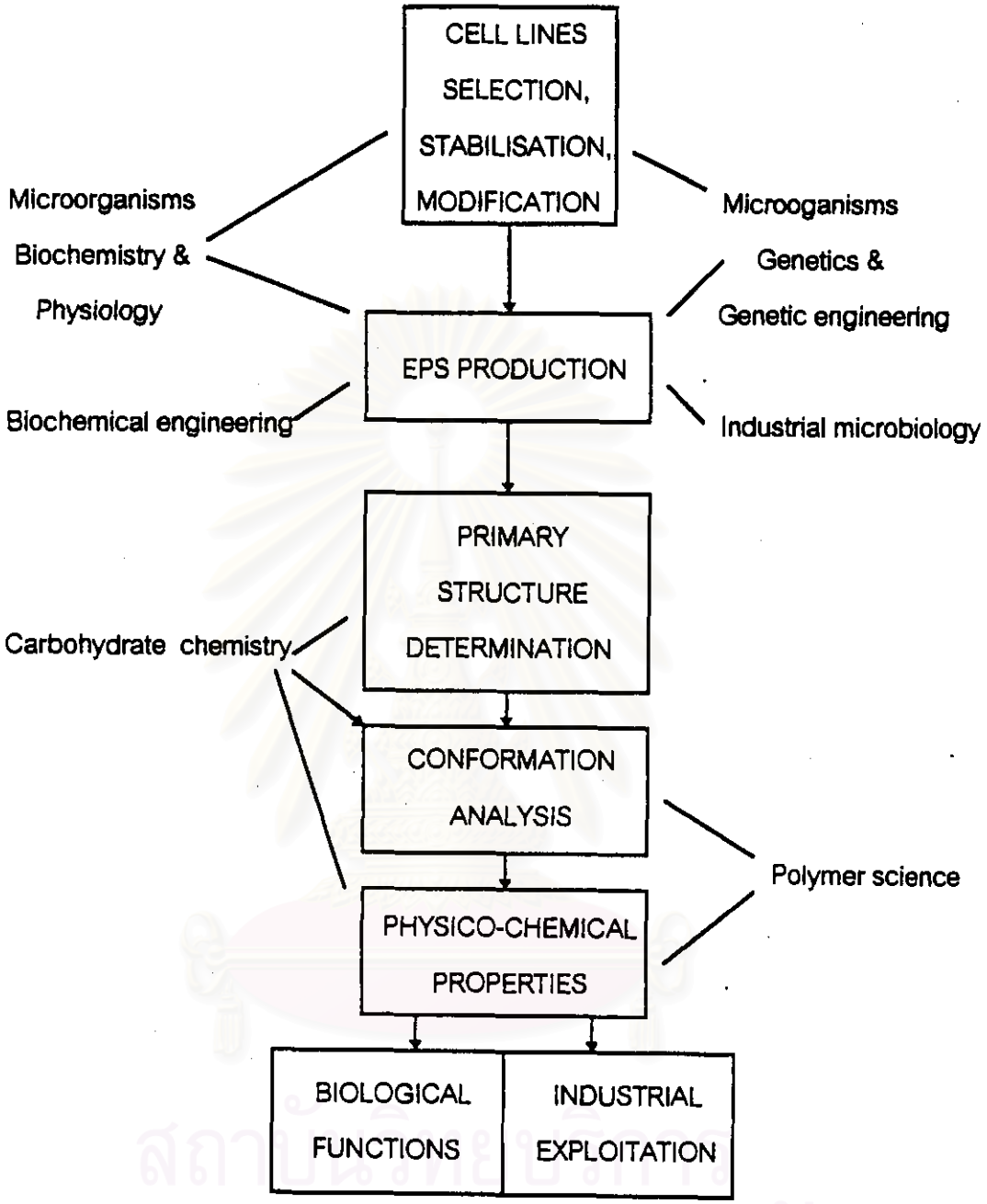
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 แสดงประโยชน์ของ Xanthan gum ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่น ๆ

Food Applications
Dressings (high oil, no oil) ;
Relishes and sauces ; Syrups and toppings;
Starch based products (Canned desserts, sauces, fillings, retort pouches);
Dry mix products (Desserts, gravies, beverages, sauces, dressings);
Farinaceous foods (Cakes);
Beverages; Dairy products (ice cream, shakes, processed cheese spread, cottage cheese); Confectionery .
Industrial Chemical Applications
Flowable pesticides; Liquid feed supplements;
Cleaners, abrasives, and polishes;
Metal working; Ceramics, Foundry coatings; Texturized coatings;
Slurry explosives; Dye and pigment suspensions.
Oil Field Applications
Drilling fluids (muds) ; Workover and completion fluids; Enhanced oil recovery (polymer flooding).

ที่มา : Margaritis and Pace (1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 แสดงแนวทางการศึกษาการผลิต Exopolysaccharides

ที่มา : Crescenzi (1995)

กลไกการสังเคราะห์ Exopolysaccharides

Sutherland (1993) ได้กล่าวว่าพอลีแซคคาไรด์สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการสร้างได้ 4 แบบดังนี้คือ

1. Dextrans และ Levans ถูกสร้างได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด ในจุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตได้ทั้ง Dextran และ Levan เรียก"Mutan" เช่น *Streptococcus Mutans* ผลิต (1→ 3)-α-glucan เป็นต้น
2. Homopolysaccharides ที่นอกเหนือจาก Dextran , Levan และ Mutans
3. Heteropolysaccharides ที่สร้างด้วยระบบ Regular repeating units
4. Heteropolysaccharides ที่สร้างด้วยระบบ Irregular repeating units

โดยการสังเคราะห์ EPS มีการสังเคราะห์ที่เกิดภายนอกเซลล์ (Extracellular process) เช่น Dextran , Levan เป็นต้น และการสังเคราะห์ที่เกิดภายในเซลล์ (Intracellular process) นอกจากนี้ในการสังเคราะห์ยังมีความต้องการ Precursors ที่แตกต่างกัน

1. <u>การผลิตพอลีแซคคาไรด์โดยใช้ Precursors ที่มีความเฉพาะเจาะจง</u>
(Specific substrates)

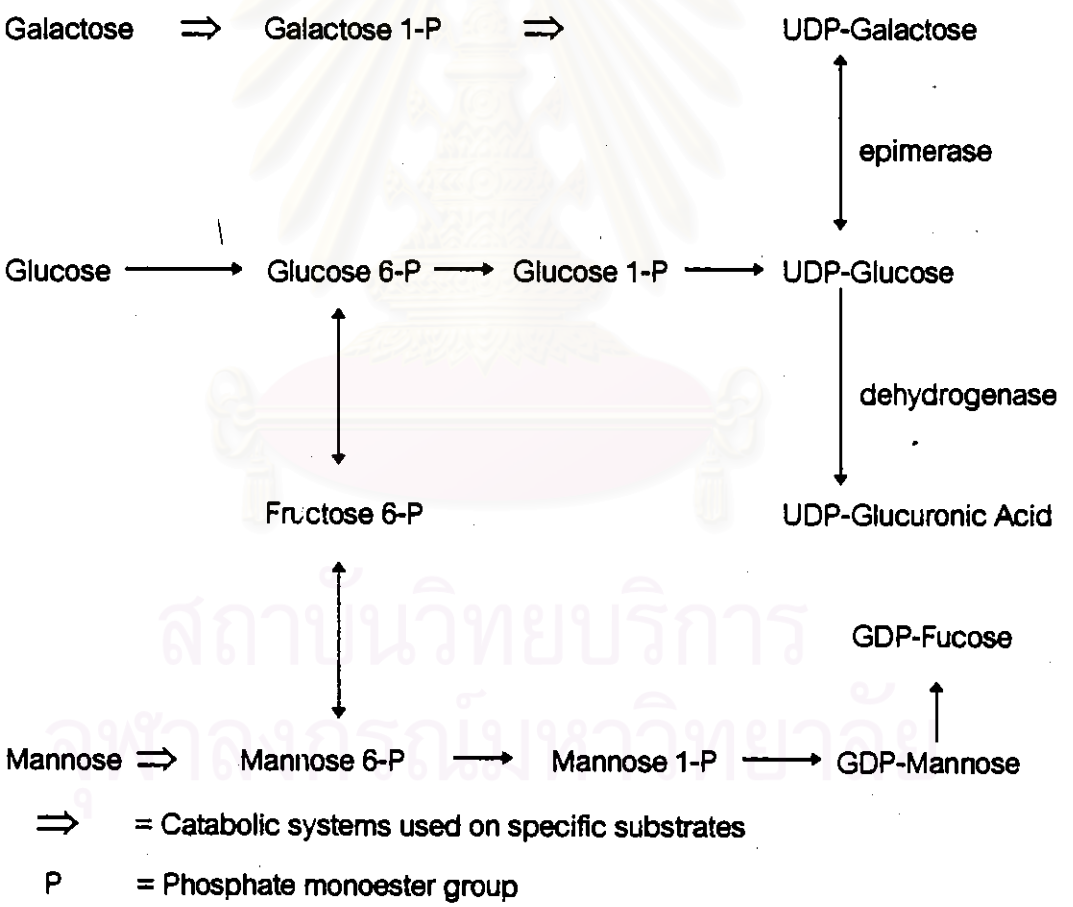
มี EPS เพียงกลุ่มเดียวที่ต้องเป็น Substrates ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการสังเคราะห์ EPS ได้แก่ ในการผลิต Dextran และ Levan โดยพบว่าถ้าไม่ได้รับ Sucrose จะไม่เกิดการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสาร EPS และเป็นการเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยมีการปล่อยเอนไซม์ Dextran sucrase ออกมาเอนไซม์นี้จะไปตัดโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส แล้วปล่อยน้ำตาลฟรุกโตสออกไป และไป Transferring α-D-glucopyranosyl unit ไปยัง Acceptor molecule โดยปฏิกริยาแสดงดังนี้

-(→ 6 α Glcp 1 -) →n + Sucrose → - (→6 α Glcp 1 -) → n-1+ D-fructose

2. <u>การผลิตพอลีแซคคาไรด์โดยใช้ Precursors ที่จำเพาะต่อชนิดของพอลีแซคคาไรด์ที่สร้าง</u>

EPS ชนิดนี้เกิดจากการสร้าง EPS ภายในเซลล์แล้วปล่อย EPS ออกมาภายนอกเซลล์ มีความต้องการ Sugar nucleotides ที่เฉพาะเจาะจง ตามปกติ Nucleoside

diphosphate monosaccharides เป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่กระตุ้น (Activate) พลังงานที่มาจากน้ำตาล และมีความจำเป็นต่อการสร้าง Oligosaccharide repeating unit โดยพบว่าในทุก ๆ การผลิต EPS จำเป็นต้องใช้ Sugar nucleotides เพื่อเติมในส่วนที่สำคัญของกระบวนการ โดยมันจะเป็น Precursor ที่ทำให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมาเชื่อมเกาะกัน เช่น UDP-D-glucose ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูป UDP-D-galactose, UDP-D-glucuronic acid, UDP-D-xylose และน้ำตาลชนิดอื่น ส่วน GDP-D-mannose เป็น precursor ที่ใช้ในการสร้าง GDP-L-fucose และ GDP-D-mannuronicacid โดย Ginsbeurg (quoted in Sutherland, 1993) ได้รายงานถึงวงจรของกลไกในการเกิด Epimerization, Oxidation, Decarboxylation, Reduction และ Rearrangement ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการสังเคราะห์ Exopolysaccharide โดยใช้ Nucleoside diphosphate sugars
ที่มา : Ginsbeurg (quoted in Sutherland, 1993)

โดยพบว่า Sugar nucleotides นี้ เป็นสิ่งที่ต้องการในทุก ๆ การสังเคราะห์ EPS ได้แก่ Lipopolysaccharides , Periplasmic หรือ Low-molecular weight-glycans, membrane-bound Oligosaccharides ใน Gram-negative bacteria และ Wall polysaccharides และ Teichoic and Teichuronic acids ใน Gram-positive bacteria ส่วนพวก Eukaryotic cells , Wall polymer และ Glycogen อาจจะใช้ UDP-D-glucose เป็น precursors ร่วมกันในการผลิต Exopolysaccharides ใน Procaryotes, ADP-D-glucose เป็น precursors สำหรับ Glycogen ที่ซึ่ง UDP-D-glucose ถูกใช้เป็น precursor สำหรับสังเคราะห์สารที่ประกอบด้วย Glucose ทั้งหมด

ในการสังเคราะห์ Alginate มีการตรวจพบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวใน Extracellular polysaccharides ชี้ให้เห็นว่า Sugar nucleotide จำเป็นต่อการสร้าง EPS การสูญเสียคุณสมบัติในการสร้าง Sugar nucletide จะทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการสร้าง EPS เช่นเดียวกัน แต่ยกเว้นในจุลินทรีย์บางชนิดที่เกิดการกลายพันธุ์เมื่อสูญเสีย Sugar nucleotide

3. <u>การผลิต EPS โดยใช้ Acyl เป็น precursor</u>

ในการสังเคราะห์ EPS ในบางชนิดอาจไม่จำเป็นต้องใช้ precursor บางตัวสำหรับการผลิต EPS แต่ในการสร้างสายอาจจำเป็นต้องใช้ เช่น การสร้างหมู่ Acetate , Pyruvate, Succinate และ Phosphate จากการศึกษาพบว่าหมู่ Acetate ได้มาจากการที่มี Acetyl-Co A เป็น Precursor โดย O-acetyl เป็นสารประกอบใน D-mannosyl residues ของ Xanthan ซึ่งก็เช่นเดียวกับ Phosphoenolpyruvate (PEP) ที่เป็น precursor สำหรับการสังเคราะห์ Pyruvate cycle acetal group

โดยแสดงการกลไกการสังเคราะห์ Alginate ซึ่งมีการเกิดขึ้น 2 กลไกคือ การผลิต EPS โดยใช้ Sugar nucleoside diphosphate และการผลิตส่วนของ O-acetyl โดยใช้ Acetyl-Co A เป็น precursur ดังแสดงในรูปที่ 3

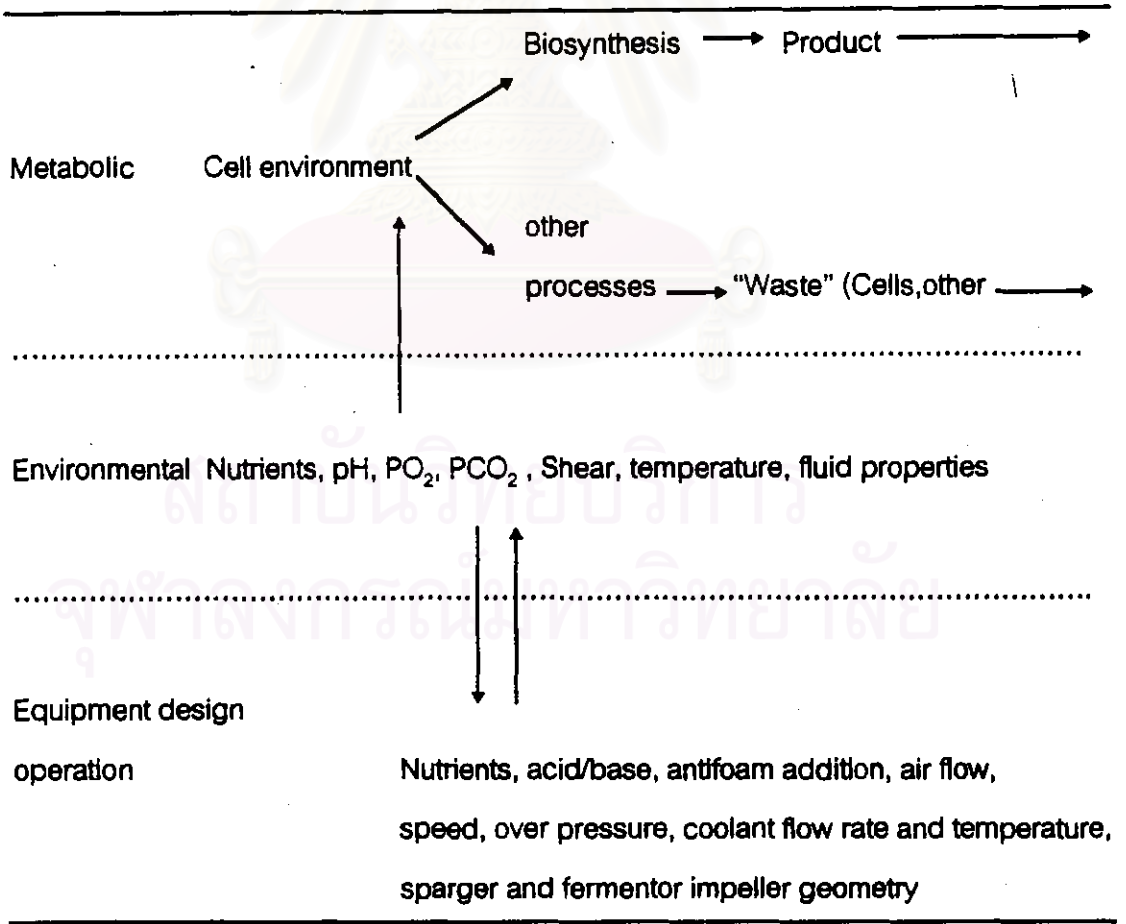
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 แสดงกลไกการผลิต Alginate
ที่มา ; Sutherland (1993)

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต EPS

การที่จะประสบผลสำเร็จในการหมักจุลินทรีย์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ได้กำหนดไว้ ในแง่ของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ (Product concentration) ผลได้ (yield) รวมทั้งคุณสมบัติของพอลีแซคคาไรด์ที่ได้กำหนดไว้ทางด้านการค้า สิ่งที่สำคัญก็คือ ความสามารถของจุลินทรีย์ว่ามีความสามารถในการผลิต EPS ชนิดใดมีกลไกการผลิตอย่างไร นอกจากนี้ยังต้องมีการทำจัดเซลล์อย่างไร และมีผลพลอยได้อะไรจากการสร้าง EPS ซึ่งจะทำให้สามารถทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการผลิต ได้แก่ สารอาหาร pH ปริมาณแร่ธาตุ ความต้องการอากาศ อุณหภูมิ ลักษณะของของเหลว แล้วจึงผลิตภายใต้เครื่องมือที่มีการออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตพอลีแซคคาไรด์ที่กล่าวมา ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการหมัก Exopolysaccharides



ที่มา : Margaritis and Pace (1985)

การแยกและทำให้บริสุทธิ์ (Isolation and purification)

การแยกพอลีแซคคาไรด์เป็นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ การแยกเซลล์ออก การแยกพอลีแซคคาไรด์ การทำแห้ง การบดและบรรจุ ซึ่งมีผลต่อราคาของพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้

1. การแยกเซลล์ออก (Cell Removal)

ในการผลิตพอลีแซคคาไรด์จากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดอาจทำให้อาหารเหลวเกิดความข้นหนืดขึ้นมากได้ ในบางกระบวนการผลิตอาจเพิ่มขั้นตอนการเจือจาง (Diluting) ก่อนการปั่นแยกเซลล์ซึ่งการแยกเซลล์ออกสำคัญ เนื่องจากต้องการให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์มากที่สุด เช่น การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง หรืออุตสาหกรรมอาหาร และหากกำจัดจุลินทรีย์ออกไปไม่หมดอาจจะทำให้เกิดการอุดตัน เช่น การเกิดการอุดตันในท่อขุดเจาะน้ำมันเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมีขั้นตอนที่สะดวกสบายที่จะทำให้การแยกเกิดขึ้นได้ง่าย เช่น การปั่นแยก (Centrifuge) การแยก (Filtration) และการตกตะกอน (Flocculation) ซึ่งอาจมีการใช้เอนไซม์ Alkaline protease เพื่อช่วยในการตกตะกอนเซลล์ โดยในอุตสาหกรรมมักใช้ Novozyme 234 (Novo) ที่ประกอบด้วยเอนไซม์ Mutase (α-1,3 glucosidase), Cellulose, Laminarinase, Xylanase, Chitinase และ Protease ในการผลิต Xanthan gum เพื่อช่วยให้อาหารเลี้ยงเชื้อใสขึ้นและกรองได้ง่าย มักใช้ 0.4-1 กรัมต่อกรัมไนโตรเจน ที่ pH 5.4-5.8 อุณหภูมิ 25-55°C ใช้เวลาประมาณ 4-24 ชั่วโมง (Linton, 1991)

2. การแยกพอลีแซคคาไรด์ออก (Isolation of Exopolysaccharides)

การแยกพอลีแซคคาไรด์สามารถทำได้โดยการใช้สารที่ทำให้การละลายของพอลีแซคคาไรด์ต่ำ เรียกว่า Water miscible solvent ได้แก่ Methanol, Ethanol, Isopropanol, Acetone หรืออาจใช้สารที่พอลีแซคคาไรด์ไม่สามารถละลายได้) หรือ เกลือ(Salt) หรือ กรด (Acid) ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งเมื่อใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการแยก Phase ลงจนกระทั่งเกิดการตกตะกอน ส่วนสารที่นิยมใช้กันมากได้แก่ Alcohol นอกจากนี้การเติมเกลือบางชนิดอาจช่วยให้สามารถลดปริมาณสารที่ใช้ตกตะกอนลดลง เช่น Pace and Righelato (1980) พบว่าการเติม KCl ในการตกตะกอน Xanthan gum ช่วยให้สามารถลดปริมาณ Ethanol ได้ถึง 30 % นอกจากนี้การที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์ควรที่จะศึกษาสูตร

อาหารที่เหมาะสมจะไม่ทำให้มีสิ่งเจือปนมากเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำให้บริสุทธิ์

3. การระเหยน้ำและทำให้แห้ง

การแยกน้ำออกนอกจากจะใช้การปั่นแยกน้ำแล้วยังอาจใช้ความร้อนแต่อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียในด้านคุณภาพ วิธีที่นิยมได้แก่การใช้การอบแห้งแบบ Forced air , Vacuum continuous drier หรือ Vacuum batch drier เป็นต้น ซึ่งการทำแห้งโดยวิธีจะทำให้สามารถรักษาคุณภาพของสี การละลาย คุณสมบัติทางด้านความหนืด เพราะถ้าหากใช้ความร้อนสูงจะนำไปสู่การสลายไป ของสีและการละลายไม่ดี

4. Milling and Packing

ขนาดอนุภาคของพอลีแซคคาไรด์ (Particle size) มีผลต่อความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของพอลีแซคคาไรด์ในน้ำ พอลีแซคคาไรด์ที่มีคุณภาพดีเมื่อละลายในน้ำควรกระจายตัวได้ดีและไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน (Clumping) ตัวอย่างเช่น หากขนาดอนุภาคใหญ่การจะกระจายตัวดีกว่าแต่การละลายไม่ดี ตรงกันข้ามถ้าหากขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้การละลายง่ายแต่ทำให้ยากต่อการกระจายตัว ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุด ในบางครั้งความร้อนที่เกิดจากเครื่องจักรขณะบดอาจทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งต้องระมัดระวังใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุด และควรบรรจุในภาชนะที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ (Low permeability to water) (Margaritis and Pace., 1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 แสดงการใช้วิธีต่างๆ ในการตกตะกอนพอลีแซคคาไรด์

Method	Example	Comments
Alcohol precipitation	Isopropanol	45-60% (w/w) of isopropanol required for xanthan cultures; precipitation conditions and washing can affect subsequent processing and final product (Bouniot, 1976; Roche, 1981)
Salt precipitation	Calcium hydroxide	Insoluble salt of alginate or xanthan formed; required acid titration to form soluble salt of polymers (Mehltretter, 1962; Suitable for most polyanionic polysaccharides.
	Quaternary ammonium compounds	Precipitate washed with methanol to give soluble salt (Albrecht *et al.*, 1965); unlikely to be acceptable for a food grade process.
Acid precipitation	Lower pH with hydrochloric acid	Alginic acid precipitated at pH < 4; used in some commercial processes for extraction of algal alginate

ที่มา ; Margaritis and Pace (1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากแลคติกแอซิดแบคทีเรีย

(Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่ามีเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากสามารถผลิต EPS ได้ เช่น *Xanthomonas camprestis*, *Rhizobium* spp., *klebsiella* spp., *Pseudomonas* spp., *Acetobactor* spp. และ *Escherichia coli* เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย เนื่องจากเป็น Food grade bacteria ที่มีบทบาทมากในอาหารหมักดองต่าง ๆ และสามารถสร้าง EPS ได้ซึ่งพบมากในผลิตภัณฑ์นมหมัก (Van den Berg *et al.*, 1995) จนกระทั่งมีการพัฒนานำสายพันธุ์ที่สามารถผลิตสารเมือกเหนียวได้ (Ropy strains) ไปใช้ในการผลิตนมหมักแถบประเทศสแกนดิเนเวียน (Vedamuthu and Neville, 1986 ; Marshall, 1986) เพื่อแก้ปัญหาการเกิดการแยกตัวของเจลและการแยกตัวของ whey ซึ่งปัจจุบันกำลังเป็นที่ตื่นตัวมากในประเทศฝรั่งเศสและประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยใช้จุลินทรีย์แลคติกแอซิดแบคทีเรียกำลังทำหน้าที่เป็น Thickener และ Viscosifier ในการผลิตโยเกิร์ตโดยที่ไม่ต้องใช้สารเจือปนจำพวก Stabilizers จากพืชหรือจากสัตว์ ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติ 100 % (100 % Natural Food Product) (Schellhaass and Morris., 1985) โดย EPS ที่ผลิตโดยเชื้อแลคติกแอซิด แบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) สามารถสร้าง EPS มีทั้งชนิดที่มีคุณสมบัติเป็น Homopolysaccharides และ Heteropolysaccharides

Homopolysaccharides ได้แก่ Dextran ผลิตโดยเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ Mutan ซึ่งผลิตโดย *Streptococcus mutans* และ *S. sobrinus* ซึ่ง Mutan แตกต่างจาก Dextran เนื่องจาก Mutan มีเปอร์เซ็นต์ของ α-1-3 linkages สูงกว่า Dextran พบว่า EPS ที่มี α-1-6 linkages จะสามารถละลายในน้ำได้ง่าย ในขณะที่หากมี α-1-3 linkages สูงจะทำให้การละลายในน้ำได้ยาก ทำให้มีการใช้คุณสมบัติทางด้านการละลาย (Solubility) และคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ รวมไปถึงอัตราส่วนและชนิดของพันธะ (Linkages) ในการจำแนกชนิดของ α-glucan เชื้อ *S.salivarius* ATCC 9759 และ ATCC 13419 สามารถสังเคราะห์ Fructans ของ Levan ประกอบด้วยพันธะ 2, 6 เชื่อมกับสายของ β-fructofuranoside ในตำแหน่งที่ 1 (15-17 %) และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง $2.7x10^6$ - $21.6x10^6$ เป็นต้น

Sutherland (1977) ได้กล่าวว่าน้ำหนักโมเลกุลของ EPS ขึ้นอยู่กับ Growth rate ของเชื้อโดยพอลีแซคคาไรด์ชนิด Homopolysaccharides นี้ส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำตาลซูโครสโดยมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของอาหาร ระยะเวลาในการเจริญ ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส และการสร้างเอนไซม์ที่ใช้ในการตัดสายพอลีแซคคาไรด์ (Degrading enzymes) บางทีอาจจะมีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างของพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้

Heteropolysaccharides ตัวอย่างได้แก่ EPS ที่ผลิตโดย Thermophilic และ Mesophilic acid bacteria พบว่าเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียกลุ่มนี้ผลิต EPS ได้ต่ำ เช่น *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ผลิต EPS ประกอบด้วย Galactose, Arabionose, Mannose และ Glucose Romaskaya และ Dyment (1982) พบว่า Viscous extracellular polymers ของ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococococcus lactis* subsp. *cremoris* และ *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* เป็นสารพวก Carbohydrate-protein complexs โดยมีองค์ประกอบของ Glucose, Galactose และ Rhamnose Oda และคณะ (1983) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ EPS ที่ผลิตโดย *Lactobacillus helveticus* var.*joghurti* พบว่าประกอบด้วย Glucose และ Galactose ในอัตราส่วน 2 :1 โดยพอลีเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีคุณสมบัติเป็น Antitumor Schellhaass (quoted in Cerining, 1990) ได้คัดแยกเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย ชนิด Mesophilic และ Thermophilic พบว่าเชื้อสามารถผลิต EPS ที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกันคือ Galactose และ Glucose ในอัตราส่วน 2 : 1 และประกอบด้วยสาย α และ β ไม่พบ Uronics , Deoxy และ 3,6- dideoxy sugars หรือ Aminosugars รวมทั้งไม่ปรากฏ 1-6 linkage แต่พบ 2-1 linkage ประมาณโปรตีนต่ำมาก Marcura และ Townsley (1984) ได้แยกพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากเชื้อที่แยกจากภาชนะบรรจุแบบไร้อากาศพบว่าประกอบด้วย Glycoprotein โดยโปรตีนเชื่อมกับ Hexose และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น Methyl pentose และ Sialic acid นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อ *Pedioccoccus* sp. ในอุตสาหกรรมเบียร์และไวน์ มีการสร้าง EPS เป็น β-glucan ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า $2x10^6$ ประกอบด้วยพันธะ β - 1,3 และ β - 1,2 Manca de Nadra และคณะ (quoted in Cerning *et at.*, 1990) ใช้อาหารสังเคราะห์ (Synthetic medium) ในการผลิต EPS โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* โดย EPS ประกอบด้วย Glucose และ Fructose ในอัตราส่วน 1 :1 Cerning และ

i 17335541

คณะ (1986) ศึกษาการผลิต EPS ที่ได้จากเชื้อ Lactobacillus bulgaricus ที่มีองค์ประกอบของ Galactose , Glucose และ Rhamnose ในอัตราส่วน 4:1:1 Marshall (quoted in Cerning *et al.*, 1990) ได้แยก EPS จากโยเกิร์ตพบว่า EPS ที่ได้มีองค์ประกอบของ Galactose, Xylose และ Uronic acid Pidoux (1988) *Lactobacillus brevis* สามารถผลิต EPS จาก Sugary kefir grains โดยพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้เป็นชนิดที่สามารถสร้างเจลได้ (Gel forming) พอลีแซคคาไรด์ พบว่าเป็น Dextran ที่ประกอบด้วยพันธะ 1-3 glucose linkages ในสายหลัก โดย EPS ที่สร้างเจลได้จะมี ratio of branched/total units เท่ากับ 0.19 และ 0.14 และหากมีค่าเท่ากับ 0.07 EPS ไม่สามารถสร้างเจลได้ Cerning (1990) ได้กล่าวว่า น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มักเป็นองค์ประกอบของ EPS ได้แก่ Galactose และ Sucrose ดังแสดงในตารางที่ 9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดงตัวอย่างของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของพอลีแซคคาไรด์

Microorganism	Monomers in EPS								
	Gal	Gluc	Fru	Rha	Man	Xyl	Ara	GalA	Neu
Lb. Delbrueckii	+	+	-	-	+	-	+	-	-
ssp.*bulgaricus*	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	+	+	-	-	-	-	-	-	-
S.*salivarius*	+	+	-	tr b	+	tr	tr	-	-
ssp.*thermophilus*	+	+	-	-	-	-	-	+	-
	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	+	+	-	-	-	+	-	-	+
	+	+	-	tr	tr	-	tr	-	-
Lc. *Lactis*	+	+	-	+	-	-	-	-	-
ssp. *cremoris*	+	+	-	-	-	-	-	-	-

Gal = Galactose, Gluc = Glucose, Fru = Fructose, Rha = Rhamnose, Man = Mannose, Xyl = Xylose, Ara = Arabinose, GalA = Galactose, Neu = Neuramic acid, *tr* = Traces

ที่มา : Cerning (1990)

Cerning และคณะ (1990) พบว่าพอลีแซคคาไรด์ของเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ galactose , glucose และ xylose, arabinose, rhamnose และ mannose เล็กน้อย แล้วพบว่าความสามารถในการสร้างสารพอลีแซคคาไรด์ไม่ตัวสูง เมื่อมีการ Subculture บ่อยครั้ง

Garcia-Garibay และ Marshall (1991) ได้ศึกษาการผลิต EPS จากเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* เมื่อเจริญที่ภาวะต่างๆ กันพบว่าที่อุณหภูมิสูงจะทำให้การสร้าง EPS ต่อเซลล์ต่ำกว่า โดยพบว่าคุณสมบัติในการสร้าง EPS หมดไปที่อุณหภูมิสูง โดยที่การเติม Hydrolysed casein ในอาหาร MRS เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าไม่มีผลต่อ

การเพิ่มขึ้นของการผลิตพอลีแซคคาไรด์ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า EPS มีคุณสมบัติเป็น Glycoprotein

Cerning (1991) ได้คัดแยกและศึกษาคุณสมบัติของพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยเชื้อพวก Slime-Forming Mesophilic Lactic Acid Bacteria พบว่าเชื้อ ที่สามารถสร้างเมือกเหนียว (Ropy strains) เช่น *Lactococcus lactis* ssp.*lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* และ *Lactobacillus casei* ssp. *casei* สร้าง Heteropolysaccharides พบว่าเมื่อเจริญในนมพอลีแซคคาไรด์ที่แยกได้มี Glucose และ Galactose อย่างไรก็ตามก็ยังมี Mannose, Rhamnose และ Pentose โดยสร้างได้ประมาณ 30-600 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 °C เชื้อสามารถผลิต EPS ได้สูงกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C 50-60 % นอกจากนี้การเติม Glucose หรือ Sucrose ลงในน้ำนมหรือหางนมจะมีผลช่วยเสริมการผลิต EPS

Kojic และคณะ (1992) พบว่า Lactobacillus casei CG11 ที่แยกจาก Cheese สามารถผลิตพอลีแซคคาไรด์ในอาหาร Basal minimal medium พบว่าพอลีแซคคาไรด์ที่ได้มีคุณสมบัติประจุเป็นกลาง (Neutral polysaccharides) โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบคือ Glucose และ Rhamnose ในอัตราส่วน 75 และ 15 % ตามลำดับ โดยพบว่าคุณสมบัติที่สามารถสร้างพอลีแซคคาไรด์ได้อยู่บนพลาสมิด

Abbad และคณะ (1995) ได้ศึกษาการผลิต EPS โดยเชื้อ *Bifidobacterium longum* พบว่าเมื่อเชื้อเจริญในอาหารที่มีน้ำตาล lactose เป็นองค์ประกอบเชื้อสามารถผลิต EPS ได้ 140 มลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถสร้างได้มากที่สุดเมื่อมีการใช้แหล่งไนโตรเจนเป็น peptone กับ yeast extract โดยใช้ด่าง NH_4OH ในการควบคุม pH โดยพอลีแซคคาไรด์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุล 1.2 MDa และ 0.36 MDa

Manca de Nadra และ Strasser de Saad (1995) ศึกษาการสร้างพอลีแซคคาไรด์จากเชื้อ *Pediococcus pentosaceus* ที่แยกได้จากอาร์เจนตินาไวน์ พบว่ามีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ Glucose, Fructose และ Galactose ที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 และ α-1,6 glucosidic ในอัตราส่วน 1 :1 โดยประกอบด้วยน้ำตาล Hexose 5500 โมเลกุล

Roberts และคณะ (1995) ได้ศึกษาการสร้าง EPS โดยเชื้อ *Bifidobacterium longum* BB-79 พบว่า พอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติเป็น Acidic extracellular polysaccharide สามารถผลิต EPS ได้สูงบนอาหารแข็ง เมื่อนำพอลีแซคคาไรด์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยเอทธานอล ทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นด้วยการ dialysis แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ Lyophilization ได้ EPS ที่มีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้นเมื่อผ่าน Anion exchange และ Gel - filtration chromatography หลังจากนำไปตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้ GLC-mass spectrography พบว่ามีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 kDa โดยพอลีแซคคาไรด์ที่ได้ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตสเป็นองค์ประกอบ และน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) ที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลกลูโคสอีกเล็กน้อย และประกอบด้วย Carboxyethyl (lactic acid) substituent โดยสามารถผลิต EPS ได้สูงสุดเมื่อเจริญในน้ำตาลแลคโตส

Grobben และคณะ (1995) พบว่า *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* NCFB 2772 สร้างพอลีเมอร์เมื่อเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทราบองค์ประกอบทางเคมี โดยมีน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลแลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าพอลีแซคคาไรด์ที่ได้มีน้ำตาลโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบคือ Glucose , Galactose และ Rhamnose ในอัตราส่วน 1: 6.8 : 0.7 พบว่าที่อุณหภูมิสูงการผลิต EPS ก็จะสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 47 ^{o}C เชื้อจะสูญเสียความสามารถในการผลิต EPS โดยมีลักษณะการผลิตเป็นแบบ Growth - related และการที่มีแหล่งคาร์บอนมากเกินพอก็ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตขึ้น

Van den Berg และคณะ(1995) ศึกษาการผลิต EPS โดยเชื้อ *Lactobacillus sake* 0-1 เมื่อนำมาศึกษาคุณลักษณะพบว่า เมื่อเจริญบนอาหารที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส EPS ที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลแรมโนส ในอัตราส่วน 3 : 2 มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 6x10^{6} Da เมื่อนำ EPS ละลายน้ำด้วยความเข้มข้น 1 % พบว่า EPS ที่ผลิตได้มีความข้นหนืดดีกว่า Xanthan gum เมื่อวัดความหนืดด้วยความเร็วรอบในช่วง 0-300 รอบต่อนาที เมื่อศึกษาการผลิตโดยทำการทดลองแบบ Batch โดยมีอัตราการผลิตสูงสุด 1.4 กรัมต่อลิตร ในภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส pH 5.8 และเมื่อเจริญที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าการผลิต EPS ต่อกรัมของมวลชีวภาพ (biomass) เพิ่มขึ้นจาก 600 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 700 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แต่อัตราการเจริญในช่วง Exponential phase ลดลงจาก 0.16 ถึง 0.03 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง โดย

การผลิต EPS เริ่มผลิตเมื่อเข้าสู่ในช่วงเริ่มต้นของ growth phase และหยุดการเจริญเมื่อเจริญถึงช่วง Stationary phase และเมื่อศึกษาการเจริญโดยใช้แหล่งคาร์บอนต่าง ๆ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลแมนโนส น้ำตาลฟรุคโตส น้ำตาลแลคโตส และน้ำตาลซูโครส โดยที่องค์ประกอบของพอลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้ไม่มีความแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย