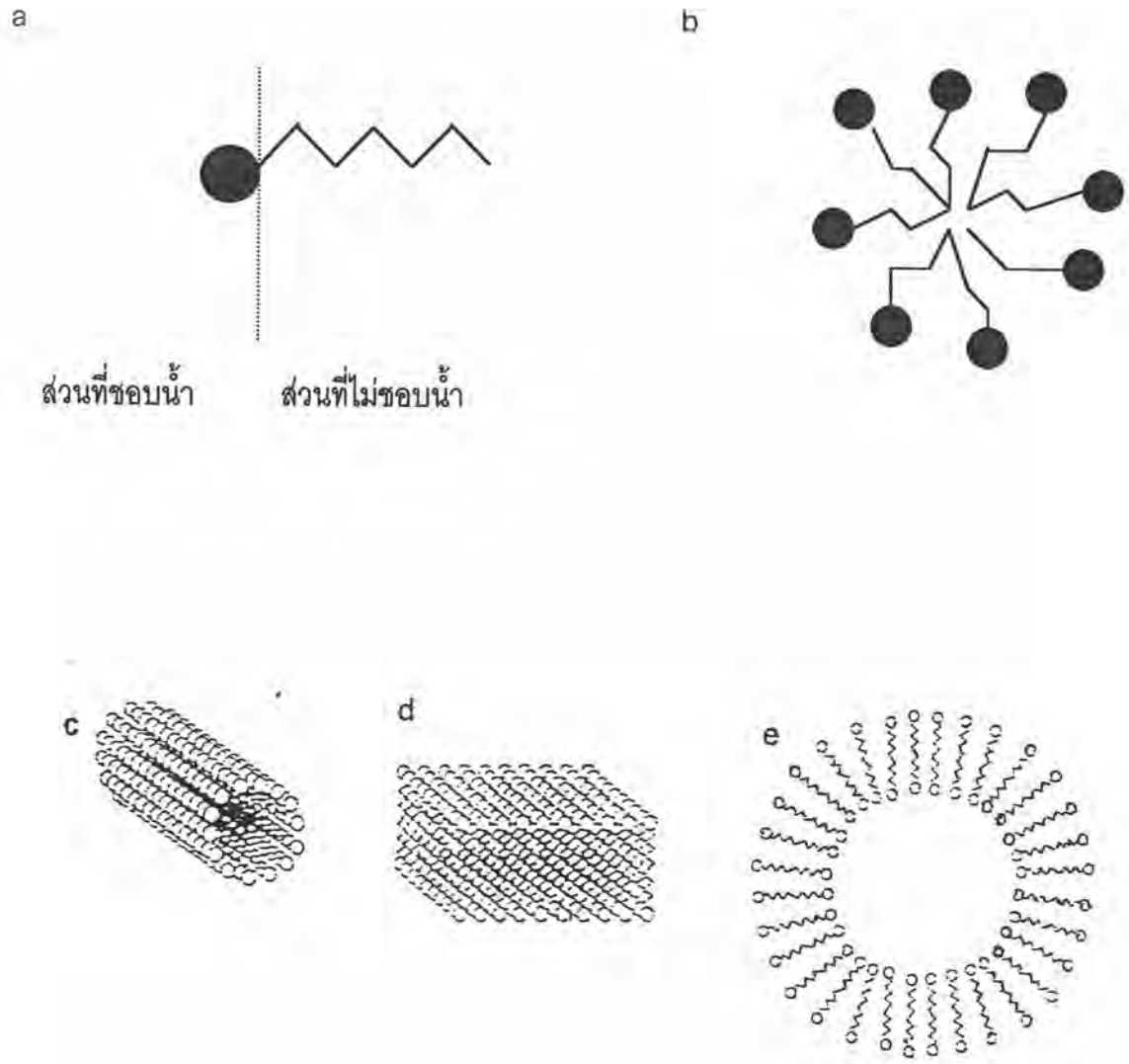
บทที่ 1

บทนำ

Biosurfactant (BS) หมายถึง สารชีวโมเลกุลที่มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (surface-active substance) ซึ่งสร้างจากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์บางชนิด สารลดแรงตึงผิวชีวภาพของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างแตกต่างกัน แต่มีลักษณะโมเลกุลหลักที่มีโครงสร้างเป็น amphipathic คือ มีส่วน hydrophobic และ hydrophilic ดังรูปที่ 1a โดยส่วนไม่ชอบน้ำ(hydrophobic) จะเป็นสายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันจับกับหมู่ non-polar และส่วนชอบน้ำ(hydrophilic) จับกับกลุ่มที่มีขั้ว(polar group) เช่น น้ำ (Fiechter, 1992; Kosaric, 1993; Desai and Banat, 1997)

จากสมบัติพิเศษของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีโครงสร้างเป็น amphipathic ทำให้เมื่ออยู่ในตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิวจะมาสะสมกันอยู่บริเวณผิว (surface) ของตัวทำละลาย และทำให้เกิดการลดค่าแรงตึงผิวของตัวทำละลาย โดยเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงในตัวทำละลาย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันเอาส่วนชอบน้ำออกสู่ด้านนอก และส่วนไม่ชอบน้ำเข้าหากัน เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelles) ดังรูปที่ 1b และสามารถเปลี่ยนกลับจากไมเซลล์เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆได้ เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในตัวทำละลายลดลง ไมเซลล์เองสามารถเปลี่ยนรูปเป็น rod-shaped micelles bilayers และ vesicles ดังรูปที่ 1c-e ตามลำดับ(Fiechter, 1992) เมื่อมีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างสองพื้นผิวที่ประจันกันได้ เช่น ลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำ,อากาศกับน้ำ ,และน้ำกับดิน เป็นต้น ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกันนี้เรียกว่าค่า interfacial tension



รูปที่ 1 รูปแบบต่างๆของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว (Fiechter, 1992)

(a) โมเลกุลสารลดแรงตึงผิว ส่วนหัวคือส่วนที่ชอบน้ำและส่วนหางคือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

(b) ไมเซลล์รูปวงกลม (circular micelle)

(c) ไมเซลล์รูปท่อน (rod-shaped micelle)

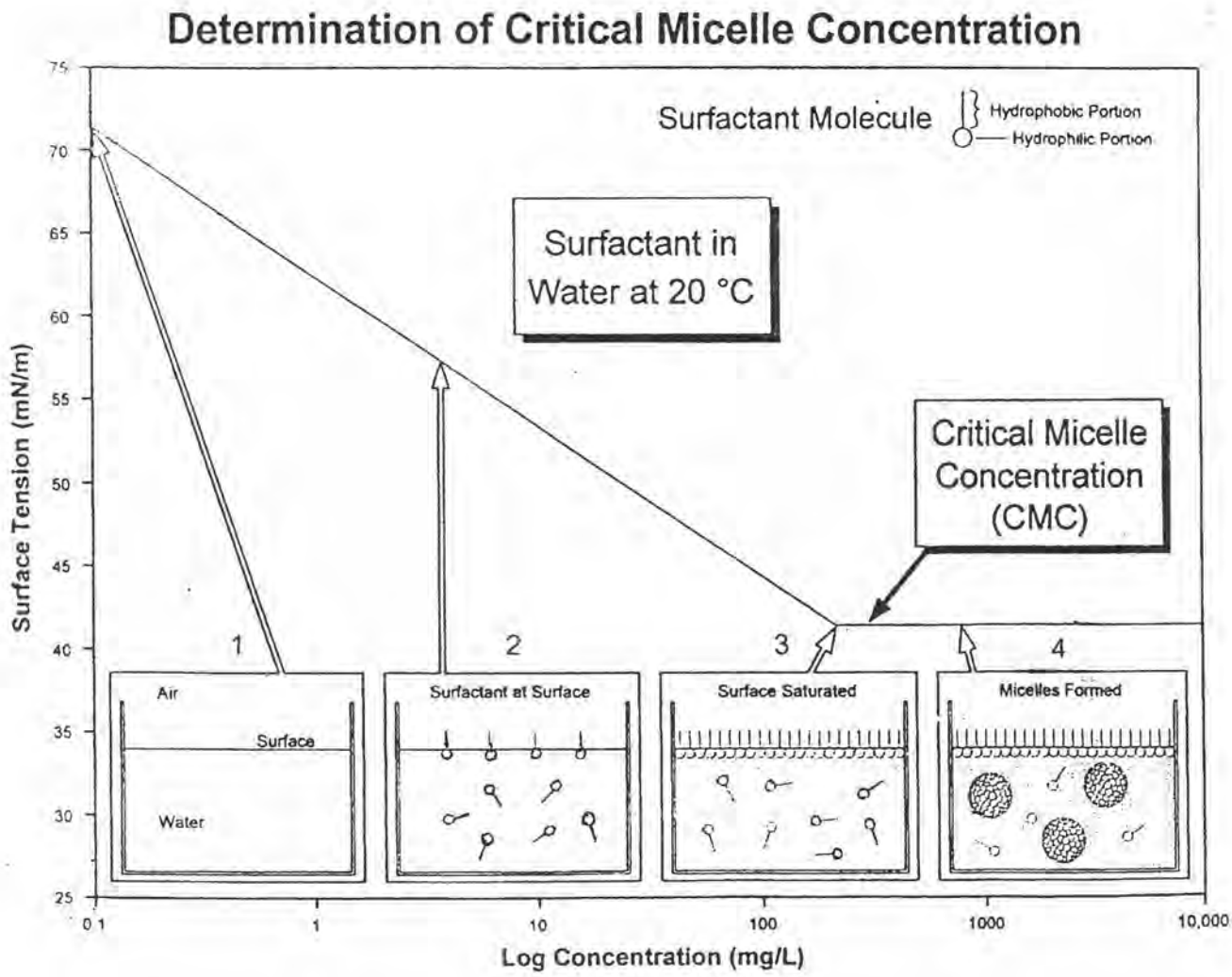
(d) ไมเซลล์เป็นชั้น (micellar layer)

(e) ไมเซลล์เป็นรูปถุง (vesicle representation)

การตรวจวัดกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Estimation of Biosurfactant activity)

กิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพสามารถตรวจวัดได้หลายวิธีได้แก่ การวัดค่าแรงตึงผิว (surface tension) ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกัน(interfacial surface) ความคงตัวของอิมัลชัน และค่าการกระจายตัวของน้ำมัน (oil displacement activity) (Morikawa และคณะ, 1993)

1.การวัดค่าแรงตึงผิว การวัดค่าแรงตึงผิวที่อยู่ระหว่างผิวน้ำกับอากาศ และการวัดค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดค่าแรงตึงผิวระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับเฮกซาเดกเคน ทำได้โดยใช้ Tensiometer ค่าแรงตึงผิวที่ได้ มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m) หรือ ดายน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) ซึ่งค่าแรงตึงผิวของน้ำกลั่นมีค่าเท่ากับ 72 mN/m แต่เติมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพลงไปจะทำให้ลดค่าแรงตึงผิวของน้ำลดลงต่ำกว่า 30 mN/m และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพถึงระดับหนึ่งจะเกิดลักษณะที่คล้ายไมเซลล์ และค่าแรงตึงผิวจะคงที่ แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพลงไปอีกเท่าใดก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2 หมายเลข 1 เป็นภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว แต่มีแรงตึงผิวระหว่างน้ำและอากาศ ซึ่งภาวะนี้น้ำมีค่าแรงตึงผิว 72 mN/m และเมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ดังหมายเลข 2 สารลดแรงตึงผิวจะมาสะสมอยู่ที่ผิวน้ำโดยหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกสู่ผิวน้ำ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะมีบทบาทไปลดค่าแรงตึงผิวของน้ำกับอากาศได้โดยดูจากค่าแรงตึงผิวที่ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นค่า แรงตึงผิวก็ลดลงเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งและมีค่าคงที่ ตรงจุด CMC ซึ่งจุดนี้เป็นจุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ต่ำที่สุดที่ก่อเกิดไมเซลล์นี้ เรียกว่า จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC) และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ก็ไม่สามารถลดแรงตึงผิวของสารละลายได้อีก เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวก่อตัวเป็นไมเซลล์แล้ว ดังหมายเลข 4 ซึ่งไมเซลล์ไม่มีบทบาทในการลดแรงตึงผิวของสารละลายได้ ค่า CMC เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้เป็นอย่างดี มีหน่วยเป็นความเข้มข้นของสาร เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร(mg/l) โมลาร์(M) และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร(%v/v) ซึ่งถ้าสารลดแรงตึงผิวใดมีค่า CMC ต่ำๆ แสดงว่านำสารไปใช้เพียงเล็กน้อยก็สามารถลดแรงตึงผิวของสารละลายได้ต่ำสุด แต่ถ้าสารใดมีค่า CMC สูง แสดงว่าจะต้องใช้สารปริมาณมากในการลดแรงตึงผิวของสารละลาย



รูปที่ 2 การหาจุดวิกฤตของความเข้มข้น (Critical Micelle Concentration: CMC) โดยการวัดค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ จุดที่ความเข้มข้นของสารละลายต่ำสุดที่ ทำให้สารละลายมีค่าแรงตึงผิวต่ำสุดและคงที่ คือ จุดวิกฤตของความเข้มข้น (Gilman, 1993)

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิว</u> (Clint, 1992)

ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1.ขนาดของความเป็นขั้วหรือขนาดของส่วนที่ชอบน้ำ เช่น ถ้าในโมเลกุลของสารมีหมู่ฟอสเฟต จะมีค่า CMC สูง ถ้ามีกลุ่ม nonionic จะทำให้มีค่า CMC ต่ำ

2.อิทธิพลของ counterions ถ้ามีสารที่มีประจุตรงข้ามในสารละลายมาก ค่า CMC จะลดลง เกลือแคลเซียมของสารซัลโฟเนต (sulphonate) จะมีค่า CMC น้อยกว่าเมื่อเป็นเกลือโซเดียม

3.การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลท์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โปแทสเซียมคลอไรด์ ลงในสารลดแรงตึงผิว จะทำให้ค่า CMC ที่ได้ต่ำลง

4.ค่าพีเอช (pH) ของสารละลาย ค่าพีเอชจะมีผลต่อสารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ที่มีขั้วในโมเลกุล เช่น $-NH_2$ และ -COOH ค่า CMC จะมีค่าสูง เมื่อในสารละลายมีค่าพีเอชตรงกับหมู่ที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว เช่น พีเอชต่ำๆ สารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ $-NH_2$ จะมีค่า CMC สูง และที่พีเอชสูงๆ สารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ -COOH มีค่า CMC สูง เป็นต้น และ ค่า CMC จะต่ำเมื่ออยู่ในสารละลายเป็นกลาง

5.ความยาวโซ่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ความยาวของโซ่กิ่งหรือหมู่อัลคิลในโมเลกุลส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ถ้ามีจำนวนหมู่อัลคิล ($-CH_2$) หรือ จำนวนคาร์บอนอะตอมมากจะมีผลทำให้มีค่า CMC ต่ำ

6. ผลของอุณหภูมิต่อสารลดแรงตึงผิวพวก non-ionic ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าCMC ของสารลดแรงตึงผิวพวกนอน-ไอออนิกจะลดลง

2.ดรรชนีการก่อเกิดอิมัลชัน (Emulsification Index) คือ ค่าที่บอกถึงความเสถียรของอิมัลชัน ซึ่งอิมัลชันเกิดจากการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายเข้ากันเช่น น้ำกับน้ำมัน เมื่อผสมกันอยู่โมเลกุลของน้ำมันจะแตกเป็นหยดเล็กๆกระจายอยู่ในน้ำ ลักษณะปรากฏดังกล่าวจะเรียกว่า อิมัลชัน สารลดแรงตึงผิวชีวภาพอาจก่อให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรหรือไม่เสถียรก็ได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพนั้นๆในการทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดที่มีโครงสร้างต่างกันเป็นหยดเล็กๆกระจายในน้ำได้ ซึ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างทั้งที่เป็นโซ่ตรงหรือโซ่กิ่งและมีจำนวนคาร์บอนต่างกัน ทำให้มีความเป็นขั้วของสารต่างๆกัน ดังนั้นจึงมีผลต่อการก่อเกิดอิมัลชันของสารลดแรงตึงผิว การวัดความสามารถของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพในการก่อให้เกิดอิมัลชันทำได้โดยการนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมาผสมกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น hexadecane – 2 – methylnaphthalene mixture (Rosenberg และคณะ, 1979) หรือ คีโรซีน ตั้งทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงหรือ 1 เดือน จึงวัดความยาวของส่วนที่เป็นอิมัลชันที่มีลักษณะสีขาวเป็นครีมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวของของเหลวทั้งหมด ถ้าเปอร์เซ็นต์ของอิมัลชันมีค่าสูงและมีความเสถียรอยู่ได้นาน 24 ชั่วโมงและ 1 เดือน แสดงว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดนั้น เป็นสารก่อเกิดอิมัลชันที่ดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผสมสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำหรือสารประกอบที่มีขั้วต่างกันได้เป็นอย่างดี (Patel และ Desai, 1993)

3. ค่าการกระจายตัวของน้ำมัน (Morikawa และคณะ, 1993) เป็นการวัดความสามารถของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพในการทำให้แผ่นฟิล์มของน้ำมันบนผิวน้ำเป็นวงใส (clear zone) โดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่วงใส คำนวณหาพื้นที่ตามสูตร πr^2 มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร โดยกำหนด 1 ตารางเซนติเมตรของการกระจายตัวของน้ำมันดิบ เท่ากับ 1 หน่วย นอกจากการวัดค่าการกระจายตัวของน้ำมันจะใช้วัดส่วนน้ำใสที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแล้ว ยังเป็นวิธีที่เหมาะสมในการวัดกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ โดยวิธีนี้จะใช้สารในการวิเคราะห์เพียง 10 ไมโครลิตร จึงเหมาะกับสารที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ซึ่งปกติแล้วจะมีปริมาณน้อยมาก

<u>การจัดจำแนกสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ</u> (Biosurfactant Classification)

สามารถจำแนกสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทางเคมี ตามหมู่ที่มีขั้วในสูตรโครงสร้างได้ แต่สำหรับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจะจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมีและชนิดของจุลินทรีย์ที่สร้างสารลดแรงตึงผิวนั้นๆ ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ(hydrophilic moeity) อันได้แก่ กรดอะมิโนหรือเพพไทด์ที่เป็นประจุบวกหรือลบ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่หรือเป็นสายยาว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic moeity)ได้แก่ สารประกอบของไขมันทั้งไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถจัดจำแนกสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้เป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้ (Desai และ Banat, 1997)

1.ไกลโคลิปิด (glycolipids)

2.ไลโพเพพไทด์และไลโพโปรตีน (lipopeptides and lipoproteins)

3.ฟอสโฟลิปิดและกรดไขมัน (phospholipids and fatty acid)

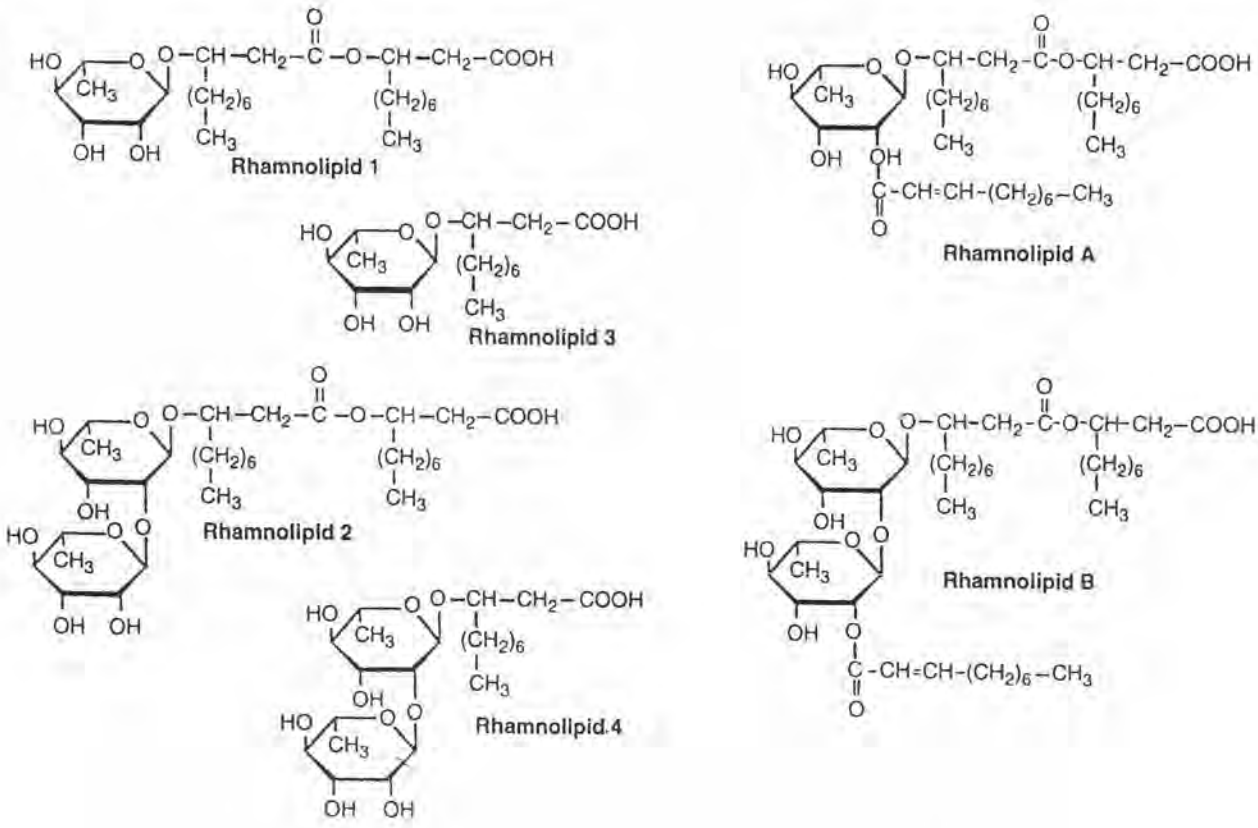
4.เซอร์แฟกแตนท์ชนิดพอลิเมอร์ (polymeric surfactants)

5.เซอร์แฟกแตนท์ชนิดอนุภาค (particulate surfactants)

1.ไกลโคลิปิด (glycolipids)

สารลดแรงตึงผิวชนิดไกลโคลิปิดเป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่รู้จักกันมากประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตกับกรดอะลิฟาติก(aliphatic acid) ทั้งที่เป็นสายยาวและหมู่ไฮดรอกซี ซึ่งไกลโคลิปิดชนิดที่รู้จักกันดีได้แก่ แรมโนลิปิด ทรีฮาโรลิปิด และ โซโฟโรลิปิด

1.1 แรมโนลิปิด (rhamnolipid) เป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ประกอบด้วย แรมโนส 1 หรือ 2 โมเลกุลต่ออยู่กับ 1 หรือ 2 โมเลกุลของ β - hydroxydecanoic acid แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแรมโนลิปิดมีสูตรโครงสร้างต่างกัน 6 แบบที่มีจำนวนแรมโนสและส่วน β- hydroxydecanoic acid แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1 แรมโนลิปิดเป็นไกลโคลิปิดที่มีการศึกษาวิจัยกันมากที่สุด ซึ่งการผลิตไกลโคลิปิดที่มีแรมโนสเป็นองค์ประกอบโดย *Pseudomonas aeruginosa* มีการรายงานเป็นครั้งแรกโดย Jarvis และ Johnson ในปีค.ศ. 1949 (Jarvis และ Johnson, 1949 อ้างถึงใน Desai และ Banat, 1993)



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างของแรมโนลิปิด ชนิด R 1 , R 2 , R 3 , R 4 , A และ B ที่ผลิตโดย *Pseudomonas aeruginosa* (Lang และ Wullbrandt, 1999)

ตารางที่ 1 น้ำหนักโมเลกุลของสารแรมโนลิปิดแต่ละชนิด

ชนิดของแรมโนลิปิด*	ส่วนประกอบของโครงสร้าง		น้ำหนักโมเลกุล** (ดาลตัน)
	แรมโนส	กรดไขมัน	
R1	1	2	504
R2	1	1	334
R3	2	2	650
R4	2	1	480
RA	1	3	655
RB	2	4	816

*อ้างอิงจาก Lang และ Wullbrandt, 1994

**น้ำหนักโมเลกุลคำนวณจากสูตรโครงสร้าง

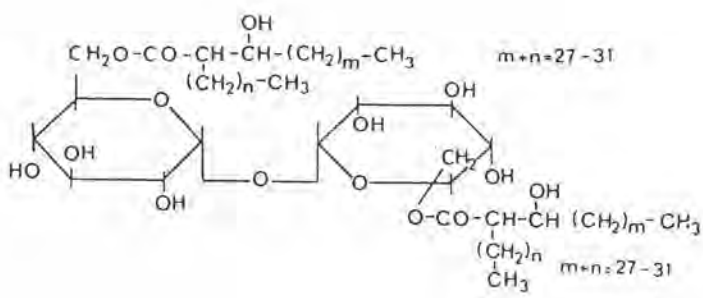
แรมโนลิปิด 2 ต่างจากแรมโนลิปิด 1 ตรงที่มีแรมโนส 2 หน่วย โดยแรมโนลิปิด 2 ประกอบด้วย กรดไขมัน 2 ตัว และแรมโนส 2 ตัว ซึ่งมีชื่อเรียกทางเคมีว่าL-α-rhamnopyranosyl-L-α-rhamnopyranosyl-β-hydroxydecanoyl-β-hydroxydecanoate ดังแสดงในรูปที่ 3 พบแรมโนลิปิด 2 จากการเลี้ยง *P. aeruginosa* S_7B_1 บนเฮกซาเดกเคนและพาราฟิน (C14–C18) (Hisatsuka และคณะ, 1971) สำหรับแรมโนลิปิด A และ B เกิดจากการเติมหมู่เมทิลเอสเทอร์ (methyl esters) ตรงหมู่ไฮดรอกซีของแรมโนสของแรมโนลิปิดแต่ละชนิดตามลำดับ ทำให้มีหมู่ β-hydroxydecanoyl เพิ่มขึ้นมา 1 หน่วย ส่วนแรมโนลิปิด 3 และ แรมโนลิปิด 4 ผลิตโดย *Pseudomonas* sp. DSM 2874 ในระยะพักของเซลล์ (resting cells) (Syldatk และคณะ, 1985 อ้างถึงใน Lang และ Wullbrandt, 1999) สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3

โดยส่วนใหญ่แรมโนลิปิดที่ผลิตโดย *Pseudomonas* spp. ที่ให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารต่อเฮกซาเดกเคนเท่ากับ 1 mN/m ค่าแรงตึงผิว เท่ากับ 25 - 30 mN/m (Guerra – Santos,Kappeli, and Fiechter, 1984) สามารถก่อเกิดอิมัลชันกับสารพวกอัลเคนได้และกระตุ้นให้ *Pseudomonas aeruginosa* เจริญในภาวะที่มีเฮกซาเดกเคนได้ (Hisatsuka และคณะ, 1971)

ในปีค.ศ.1993 Van Dyke และคณะ รายงานว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพชนิดแรมโนลิปิดที่ผลิตโดย *Pseudomonas aeruginosa* UG2 ช่วยส่งเสริมการแยกสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compounds) ออกจากดินได้เช่น แนพทาลีน(napthalene) แอนทาซีน

(anthracene) ฟรีแนนทรีน (phenanthrene) และฟลูออรีน (fluorene) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

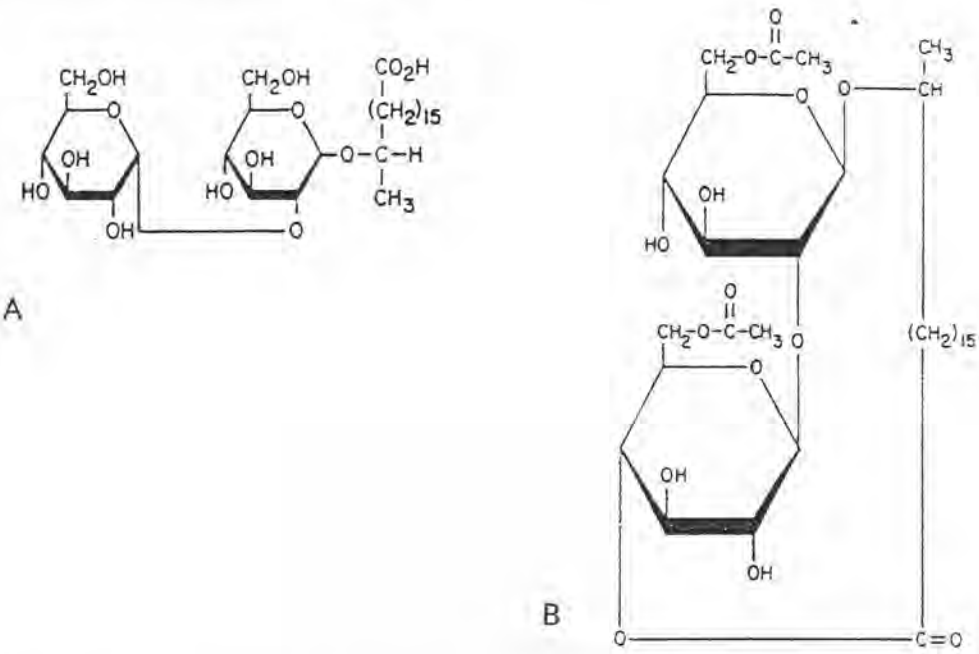
1.2ทรีฮาโรลิปิด(trehalolipid)โครงสร้างโดยทั่วไปของทรีฮาโรลิปิดประกอบด้วย disacchraride trehalose เชื่อมต่อกับกรดไมโคลิก (mycolic acid) ที่ตำแหน่ง C – 6 และ C – 6'-OH ซึ่งผลิตโดย *Mycobacterium* , *Nocardia* , และ *Corynebacterium* กรดไมโคลิกมีโครงสร้างเป็นสายยาวของ α-branched β - hydroxycarboxylic acids (สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 4)



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างของ Trehalose dimycolate จาก *Rhodococcus erythropolis* (Ristau และ Wagner , 1993)

ทรีฮาโรลิปิดที่ผลิตจากสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันจะมีขนาดและโครงสร้างของกรดไมโคลิกต่างกัน ซึ่งต่างกันที่จำนวนอะตอมของคาร์บอนและระดับความแรงของประจุของสารทรีฮาโรลิปิดจาก *R. erythropolis* และ *Arthrobacter* sp. ให้ค่าแรงตึงผิวต่ำสุดอยู่ในช่วง 25 – 40 mN/m และค่าแรงตึงผิวระหว่างสารกับเฮกซาเดกเคนอยู่ในช่วง 1 – 5 mN/m

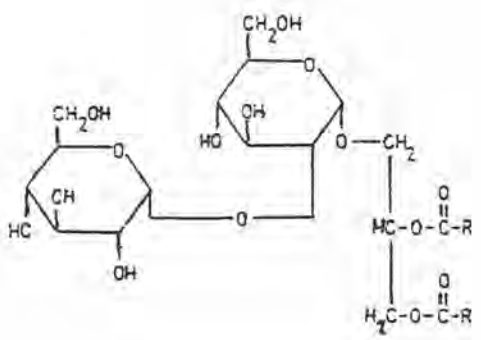
1.3 โซโฟโรลิปิด (sophorolipids) เป็นไกลโคลิปิดที่คล้ายกับแรมโนลิปิดผลิตโดยเชื้อจุลินทรีย์พวกยีสต์ เช่น *Torulopsis bombicpla* (Inoue และ Itoh, 1982) และ *T. petrophilum* (Cooper และ Paddock, 1983) ประกอบด้วยไดเมอริกโซโฟโรสเชื่อมต่อกับสายยาวของ hydroxy fatty acid ที่ตำแหน่ง C-6 และ C-6′ ด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งจะแตกต่างจากแรมโนลิปิด สูตรโครงสร้างแสดงใน รูปที่ 5 (Cutler และ Light, 1979 อ้างถึงใน Desai และ Banat, 1997) รายงานว่า *Candida bogoriensis* ผลิตไกลโคลิปิดที่มีน้ำตาลโซโฟโรสเชื่อมอยู่กับ docosanoic acid diacetate *T. petrophilum* ผลิตโซโฟโรลิปิดได้โดยใช้สารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบพวกอัลเคนน้ำมันพืช (Cooper และ Paddock, 1983) ทั้ง lactonic และ acidic sophorollipids จะให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างสารกับเฮกซาเดกเคนจาก 40 mN/m เป็น 5 mN/m และการยังคงตัวอยู่ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิสูงหรือต่ำลง



รูปที่ 5 โซโฟโรลิปิด จาก *Torulopsis bombicala* (Inoue และ Itoh, 1982) (A)
และโครงสร้าง Lactone ของโซโฟโรลิปิด จาก *Torulopsis* sp. (Cooper และคณะ, 1979 อ้างถึงในCooper และ Zajic, 1980)(B)

1.4 ไดไกลโคซิล ไดกลีเซอไรด์ (diglycosyl diglycerides) เป็นไกลโคลิปิดชนิดที่พบทั่วไปในจุลินทรีย์ มีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยไดไกลโคซิลกับไดกลีเซอร์ไรด์ ที่แตกต่างกัน 5 หมู่ คือ แอลฟา–ไดกลูโคซิลไดกลีเซอไรด์ (α - diglucosyldiglyceride แสดงในรูปที่ 6) บีตา – ไดกลูโคซิล-

(β - diglucosyl-) ไดแมนโนซิล- (dimannosyl-) ไดกาแลคโตซิล –(digalactosyl-)และกาแลคโต-ซิลกลูโคซิลไดกลีเซอไรด์ (galactosylglucosyldiglycerides) สมบัติของสารไกลโคซิลไดกลี-เซอร์ไรด์ยังไม่ค่อยได้รับการศึกษามากนัก อย่างไรก็ตาม Brundish และคณะ (1967 อ้างถึงใน Cooper และ Zajic,1980) ได้เสนอว่าสารนี้จัดเป็นสารลดแรงตึงผิว เพราะโมเลกุลของสารมีส่วนที่มีขั้ว(ส่วนหัว) ละลายน้ำได้ และมีส่วนที่ชอบไขมัน (ส่วนหาง) เป็นหมู่อัลคิล 2 หมู่ นอกจากนี้ Wicken และ Know (1970) รายงานว่า สารไกลโคซิลไดกลีเซอไรด์ที่แยกได้จาก *Lactobacillus fermenti* สามารถก่อรูปเป็นไมเซลล์ได้



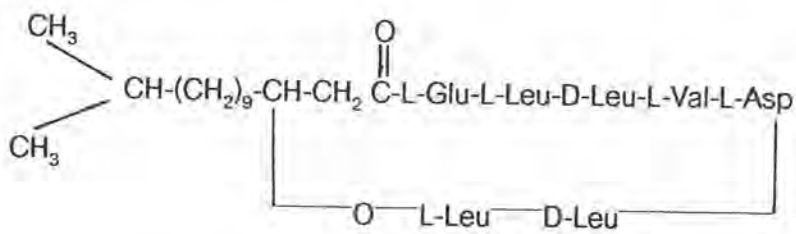
รูปที่ 6 สูตรโครงสร้างของ α- diglucosyldiglyceride R = หมู่อัลคิล
(Cooper และ Zajic, 1980)

1.5 สารประกอบพอลิแซคคาไรด์ - ลิปิด (Polysaccharide – lipid complex)

Kappeli และ Fiechter (1977) พบว่าสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ - ลิปิด จับกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารตั้งต้นของยีสต์ *Candida tropicalis* ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้แยกได้จากผนังเซลล์ของยีสต์ และพบว่าสามารถก่อเกิดอิมัลชันกับเฮกซาเดกเคนได้ ในการผลิตสารนี้เมื่อใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารตั้งต้นจะให้ผลผลิตถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์ แต่เมื่อใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นจะให้ผลผลิตเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์ ส่วนที่เป็นไขมันของสารประกอบเชิงซ้อนมีทั้งที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 14 16 และ 18 อะตอม

2.ไลโพเพพไทด์และไลโพโปรตีน (lipopeptides and lipoproteins)

ไลโพเพพไทด์ เป็นสารที่แยกได้จากแบคทีเรียและยีสต์หลายชนิด แต่มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าไลโพเพพไทด์ที่ผลิตโดย *Bacillus subtilis* เป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีชื่อเรียกทางเคมีว่า เซอร์แฟกติน (surfactin) หรือ ซับซิไลซิน (subtilysin) (Arima และคณะ,1968 และ Bernheimer and Avigad, 1970 อ้างถึงใน Cooper และ Zajic, 1980 ตามลำดับ) สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 7

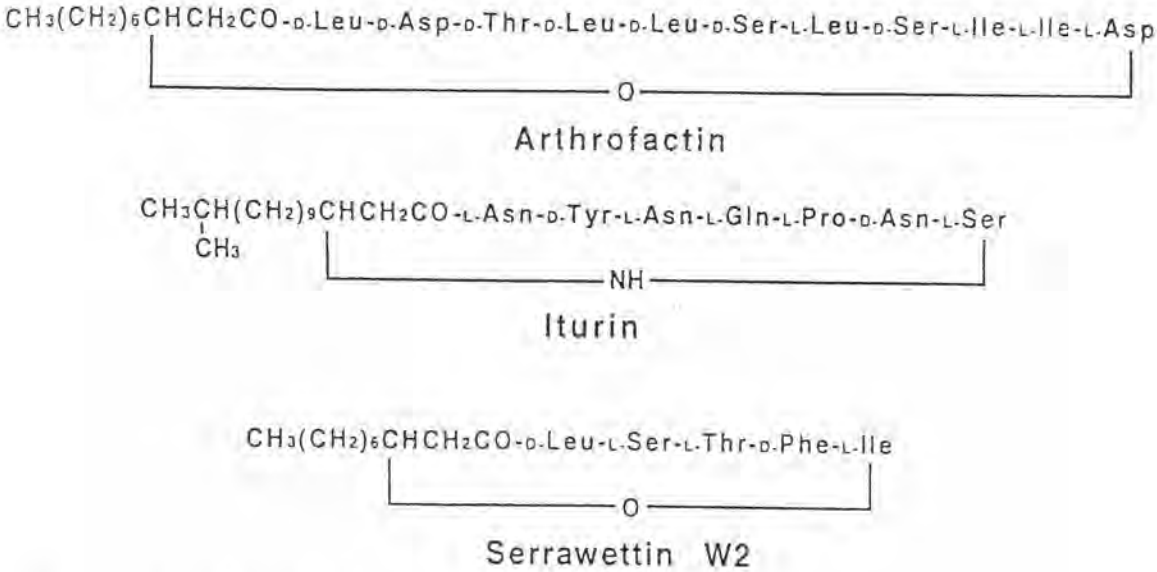


รูปที่ 7 โครงสร้างของเซอร์แฟกตินจาก *Bacillus subtilis* (Cooper และ Zajic, 1980)

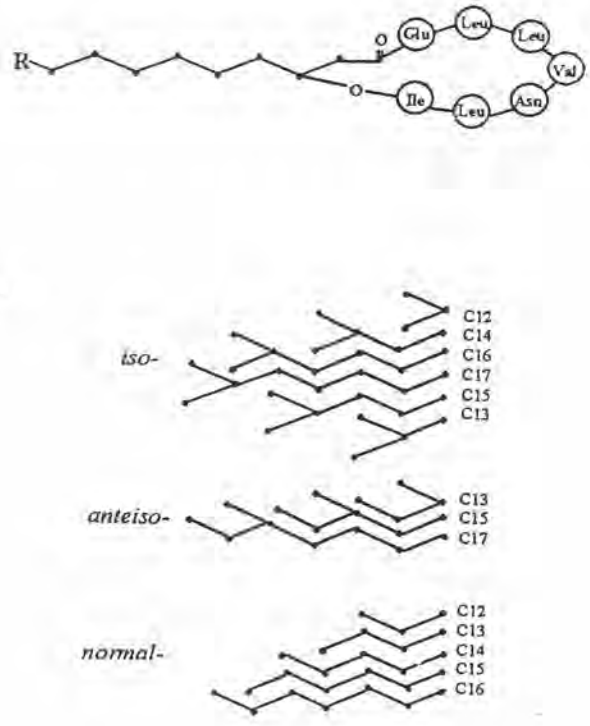
โครงสร้างของเซอร์แฟกตินประกอบด้วยกรดอะมิโนยาว 7 ตัว เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนท์ ปลายข้างหนึ่งเชื่อมต่อกับกลุ่มคาร์บอกซิลและปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับกลุ่มไฮดรอกซิลของหมู่บีตา – ไฮดรอกซีของกรดไขมัน เซอร์แฟกตินเป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้นเพียง 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถลดแรงตึงผิวของสารละลาย 0.1 M$NaHCO_3$ จาก 71.6 mN/m เป็น 27.9 mN/m นอกจากนี้เซอร์แฟกตินยังมีสมบัติยับยั้ง การแข็งตัวของเลือดโดยจะยับยั้งการจับตัวกันของไฟบริน (fibrin clot) ในระบบธรอมบิน ไฟบริโนเจนทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการจับตัวกันจะนานขึ้น (Arima และคณะ, 1968 อ้างถึงใน Cooper และ Zajic, 1980)และสามารถทำให้เม็ดเลือดแดง เซียสโรพลาสต์(spheroplast) และโปรโตพลาสต์ของแบคทีเรียแตกได้ จากกิจกรรมการทำให้เม็ดเลือดแดงแตกนี้ทำให้สามารถใช้เป็นวิธีการในการคัดเลือกเชื้อที่สามารถผลิตสารเซอร์แฟกตินได้

นอกจากนี้ *B. licheniformis* ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพประเภทไลโพเพพไทด์ได้หลายชนิดที่มีความเสถียรต่อพีเอช อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ดี เช่น สารลดแรงตึงผิว BL-86 ที่ผลิตโดย *B. licheniformis* 86 สามารถลดค่าแรงตึงผิวได้ต่ำสุด 27 mN/m และค่าแรงตึงผิวระหว่างสารกับเฮกซาเดกเคน 0.36 mN/m (Horowitz, Gilbert, และ Griffin, 1990)

Morikawa และคณะ (1993) ได้รายงานว่า พบสารลดแรงตึงผิวชีวภาพชนิดใหม่คือ อาร์โทรแฟกติน(arthrofactin) ซึ่งผลิตโดย *Arthrobacter* sp. MIS 38 มีโครงสร้างเป็น 3-hydroxydecanosyl-D-leucyl-D-asparagyl-D-threonyl-D-leucyl-D-leucyl-D-seryl-L-leucyl-D-seryl-L-isoleucyl-L-isoleucyl-L-asparagyl lactone สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเซอร์แฟกติน 5 – 7 เท่า มีค่า CMC 1.0×10^{-5} M ขณะที่เซอร์แฟกตินมีค่า CMC 7.0×10^{-5} M ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวได้ต่ำสุด 24 mN/m เมื่อวัดสมบัติการกระจายตัวของน้ำมันจะให้ค่าที่สูงกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ไทรทอน เอกซ์ –100(Triton X – 100) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต(sodium dodecyl sulfate:SDS) Yakimov และคณะ (1995) ได้แสดงให้เห็นว่า สามารถผลิตไลโพเพพไทด์ชนิดใหม่ได้ คือ lichenysin A ผลิตโดย *B. lichenisformis* BAS-50 ซึ่งมีส่วนประกอบของ β - hydroxy fatty acid ที่เป็นสายยาว สามารถลดแรงตึงผิวได้ต่ำสุด 28 mN/m มีค่า CMC 12×10^{-6} M (ในการทดลองนี้ CMC ของเซอร์แฟกติน 24×10^{-6} M) สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 9

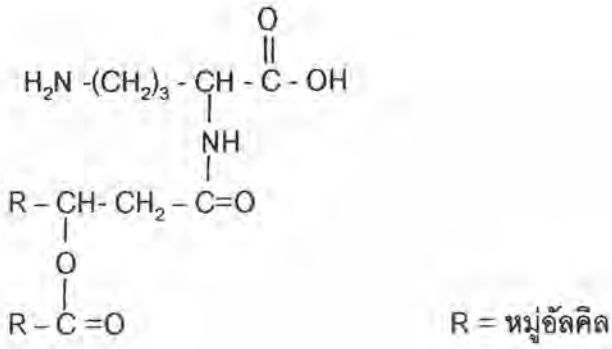


รูปที่ 8 สูตรโครงสร้างของไลโพเพพไทด์ชนิดต่างๆ (Morikawa และคณะ, 1993)

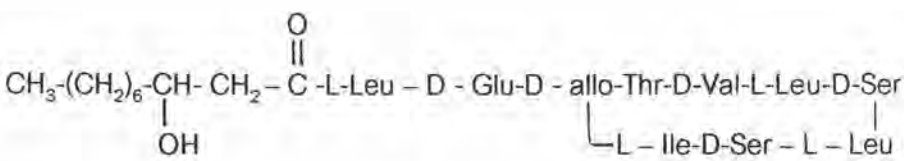


รูปที่ 9 สูตรโครงสร้างของ lichenysin A (Yakimov และคณะ, 1995)

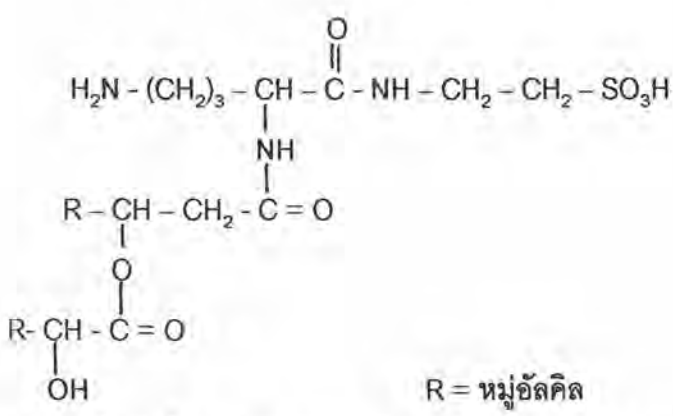
ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวอื่นในกลุ่มนี้ ได้แก่ ornithine containing lipid ผลิตโดย *Pseudomonas rubescens* สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 10 วิสโคซิน (viscosin) ผลิตโดย *Pseudomonas fluorescens* สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 11 Serrawetting W2 ผลิตโดย *Serratia marcesens* สูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 8 (Morikawa และคณะ, 1993) lysin - containing lipid ผลิตโดย *Agrobacterium tumefaciens* และ ornithine - taurine lipid (cerilipin) ผลิตโดย *Gluconobacter cerinus* สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 12 (Knoche และ Shively, 1972)



รูปที่ 10 สูตรโครงสร้างของ ornithine-containing lipid จาก *Pseudomonas rubescens* (Cooper และ Zajic, 1980)

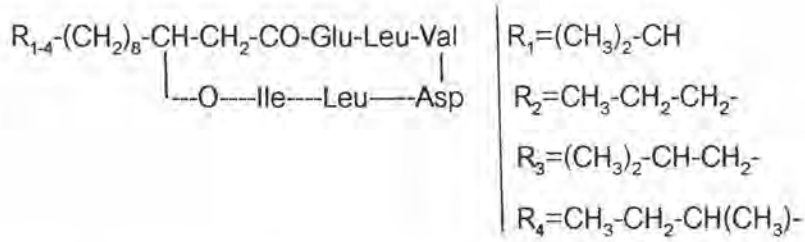


รูปที่ 11 สูตรโครงสร้างของ viscosin จาก *Pseudomonas fluorescens*



รูปที่ 12 สูตรโครงสร้างของ cerilipin จาก *Gluconobacter cerinus* (Cooper และ Zajic, 1980)

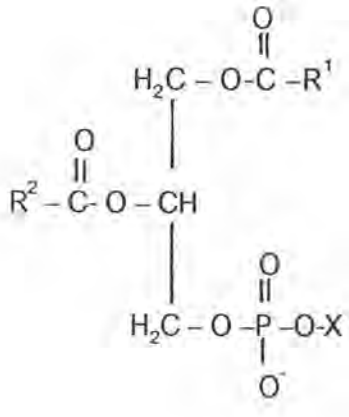
นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซอร์แฟกตินซึ่งผลิตโดย *Bacillus licheniformis* โครงสร้างประกอบด้วย lipophilic fatty acid เชื่อมกันด้วยพันธะแลคโตน (Lactone linkage) กับ hydrophilic peptide ที่มีโครงสร้างรูปวงแหวน (ring structure) ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 โครงสร้างของ surface-active lipopeptide ที่ผลิตโดย *B. licheniformis* (Jenny, Deltrieu, และ Kappelli, 1993 อ้างถึงใน Kosaric, 1993)

3.ฟอสโฟลิปิด กรดไขมันและนิวทรัลลิปิด (phospholipid , factty acid and neutral lipids)

ฟอสโฟลิปิด พบในจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยทั่วไปมีสูตรโครงสร้าง แสดงในรูปที่ 14 ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลเชื่อมต่อกับกรดไขมัน 2 หมู่ และ ฟอสเฟต 1 หมู่ แบคทีเรียและยีสต์ที่ย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ สามารถสร้างกรดไขมันและฟอสโฟลิปิดระหว่างการเจริญในภาวะที่มีอัลเคนเป็นสารตั้งต้น โดยกรดไขมันและฟอสโฟลิปิดเหล่านี้มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (Cirigliano และ Carman, 1985; Robert และคณะ,1989) Kappeli และ Finnerty (1979) รายงานว่า *Acinetobacter* sp.สายพันธุ์ HO1-N ผลิตฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีน (phosphatidylethanolamine)ได้เมื่อเจริญอยู่ในอาหารที่มีเฮกซาเดกเคนเป็นแหล่งพลังงาน สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 15



R^1 และ R^2 = หมู่อัลคิล

X = H , phosphatidic acid

X = $CH_2CH(NH_2)$-COOH ,

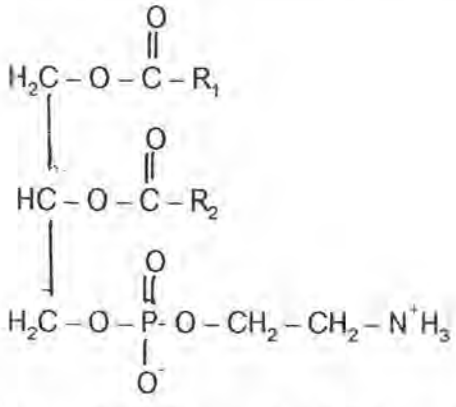
phosphatidylserine

X =-$CH_2CH_2N(CH_3)_3$,

phosphatidyl choline(lecithin)

X = inositol , phosphatidylinositol

รูปที่ 14 สูตรโครงสร้างของฟอสโฟลิปิด (Shaw, 1974 อ้างถึงใน Cooper และ Zajic, 1980)



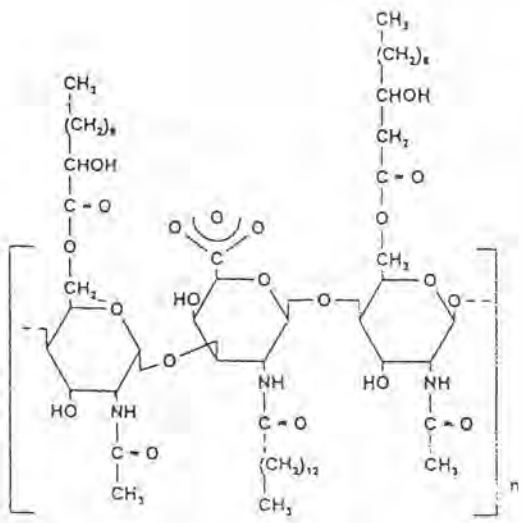
รูปที่ 15 สูตรโครงสร้างของฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีน(phosphatidylethanolamine) จาก *Acinetobacter* sp.

R_1 ,R_2 = สายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน (Kappeli และ Finnerty, 1979)

นอกจากนี้ยังพบว่ามีจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ผลิตฟอสโฟลิปิดได้ เช่น *Aspergillus* spp. (Kappeli และ Finnerty, 1979) และ *Thiobacillus thiooxidases* (Beebe และUmbreit, 1971) เมื่อเลี้ยงเชื้อในเฮกซาเดกเคนและน้ำมันมะกอก(olive oil) นอกจากนี้พบว่า *R. erythropolis* ผลิตฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีน ได้เมื่อเลี้ยงเชื้อในอัลเคน ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างสารกับเฮกซาเดกเคนได้ต่ำสุด 1 mN/m และมีค่า CMC 30 mg/l (Kretschmer, Bock และ Wagner, 1982)

4. เซอร์แฟกแตนท์ชนิดพอลิเมอร์ (Polymeric biosurfactant)

ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ อิมัลแซน (emulsan) ไลโพแซน (liposan) แมนโนโปรตีน (mannoprotein) และสารประกอบเชิงซ้อนของพอลิแซคคาร์ไรด์กับโปรตีนชนิดอื่นๆ Rosenberg และคณะ (1979) รายงานว่า *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 ผลิต polyanionic amphipathic heteropolysaccharide bioemulsifer หรือที่เรียกว่า อิมัลแซน สูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 16 สาย heteropolysaccharide ที่เป็นสายหลักประกอบด้วยหน่วยของกลีเซอร์ไรด์ซ้ำๆกัน 3 ชนิด คือ N-acetyl-D-galactosamine , N-acetylgalactosamine uronic acid และ unidentified N-acetyl amino sugar (Zukerberg และคณะ, 1979) โดยมีกรดไขมันเชื่อมต่อกับพอลิแซคคาร์ไรด์ด้วยพันธะ o-ester อิมัลแซนเป็นสารที่ก่อเกิดอิมัลชัน (emulsifying agent)ได้เป็นอย่างดี สำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำโดยใช้เพียง 0.001 - 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้อิมัลชันที่คงตัวมากที่สุดเท่าที่ทราบในปัจจุบัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายต่อน้ำมันท่ากับ 1 : 4 (Belsky, Gutnick และ Rosenberg, 1979) ถ้าตั้งอิมัลชันไว้นานๆหลังจากผสมสารแล้วอิมัลชันจะแยกเป็น 2 ชั้นโดยชั้นบนจะมีลักษณะเป็นครีมที่เรียกว่า อิมัลแซนโนโซล(emulsanosal)ประกอบด้วยน้ำมัน 70 - 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด



รูปที่ 16 สูตรโครงสร้างของอิมัลแซน จาก *Acinetobacter calcoaceticus* (Rosenberg และคณะ, 1979)

ไบโอดีสเพอร์แซน (biodispersan) เป็นสารที่ *A. calcoaceticus* A2 สร้างขึ้นเป็น anionic heteropolysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 51,400 ดาลตัน ประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ 4 ชนิด ได้แก่ กลูโคซามีน (glucosamine) 6 – เมทิลลามิโนเฮกโซส (6-metylamino hexose) กรดกาแลคโตซีนยูโรนิก (galactosine uronic acid) และ unidentified amino sugar ในปีค.ศ. 1995 Novonvenezia และคณะ รายงานว่าสามารถแยก อะลาแซน (alasan; anionic alanune – containing heteropolysaccharide-protein) ได้จาก *A. radioresistens* KA-53 ซึ่งพบว่าสามารถทำงานได้ดีขึ้น 2.5 - 3 เท่า เมื่อให้ความร้อน 100 ^{o}ซ ในภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง ส่วนไลโบแซนเป็นสารก่อเกิดอิมัลชันที่สังเคราะห์โดย *Candida lipolytica* (Kappeli และ Fiechter, 1977)ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 83 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ซึ่งส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นสายของ heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วย กลูโคส กาแลคโตส กาแลคโตซามีน และ กรดกาแลคโทโรนิก Cameron, Cooper, และNeufeld (1988) รายงานว่า *Saccharomyces cerevisiae* สามารถผลิตแมนโนโปรตีนได้ ซึ่งเป็นโปรตีนที่ก่อเกิดอิมัลชันได้ดีกับน้ำมัน อัลเคน และตัวทำละลายสารอินทรีย์ เมื่อทำให้บริสุทธิ์พบว่าประกอบด้วย แมนโนส 44 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ Hisatsuka และคณะ (1972) ได้ทำงานวิจัยแยก protein-like activator จาก *P.aeruginosa* S_7B_1ได้และนำมาปรับปรุงใช้เป็นสารก่อเกิดอิมัลชันกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีน้ำหนักโมเลกุล 14,300 ดาลตัน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 147 ตัว เป็นเซอรีน (serine) และทรีโอนีน(threonine) 51 ตัว

Koronelli, Komavova และ Denisov (1983 อ้างถึงใน Desai และ Banat, 1997) พบว่า *P.aeruginosa* P-20 ผลิตเพพทิโดไกลโคลิปิด (peptidoglycolipid) ซึ่งประกอบด้วย กรดอะมิโน 52 ตัว กรดไขมัน 11 ตัว และมีส่วนที่เป็นน้ำตาลด้วย Desai, A.J., Patel และDesai, J.D. (1988 อ้างถึงใน Desai และBanat,1997) ได้อธิบายว่าการผลิตสารก่อเกิดอิมัลชันทางชีวภาพ (bioemulsifier)โดย *P. fluorescens* ระหว่างที่เลี้ยงเชื้อในแก๊สโซลีน ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 50 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 19.6 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นทรีฮาโลสและไขมันส่วนใหญ่เป็นพวก lipid-o-dialkyl monoglycerides เป็นส่วนประกอบหลัก

5.เซอร์แฟกแตนชนิดอนุภาค (Particulate biosurfactant)

เป็นส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรนบน vesicle ที่สามารถก่อเกิดไมโครอิมัลชันกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการนำอัลเคนเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ vesicle ของ *Acinetobacter* sp.HO1-N มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 – 50 นาโนเมตร ประกอบด้วยโปรตีน ฟอสโฟลิปิด และ ไลโพพอลิแซกคาร์ไรด์ (Kappeli และ Finnerty, 1979) ในปี ค.ศ. 1997 Burd และ Ward รายงานว่า *Pseudomonas marginalis* สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชนิดอนุภาคที่มีชื่อว่า PM-factor ไปพร้อมกับการเจริญของเซลล์

<u>การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้</u>

(Screening of potential biosurfactant –producing microorganism)

ในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวได้มีหลายวิธี เนื่องจากปัจจุบันได้มีการพัฒนาศึกษาความรู้เกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพกันอย่างกว้างขวาง การคัดเลือกเชื้อและวิธีการตรวจสอบศักยภาพของเชื้อในการผลิตสารลดแรงตึงผิวก็เป็นไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่เดิมในปีค.ศ. 1984 Mulligan, Cooper, และNeufeld ได้ทำการทดลองคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวได้ โดยตรวจหาเชื้อที่มีกิจกรรมทำให้เม็ดเลือดแดงของแกะแตกได้บนอาหาร sheep blood agar plate จากนั้นนำเชื้อไปเลี้ยงในอาหารเหลว เพื่อตรวจวัดค่าแรงตึงผิวเปรียบเทียบหาเชื้อที่มีศักยภาพที่สุด คือ เชื้อที่สามารถผลิตสารที่มีค่าแรงตึงผิวและค่า CMC ต่ำ

นอกจากนี้ Carrilio และคณะ (1996) ก็ใช้วิธีนี้ในการคัดเลือกเชื้อ เพื่อผลิตสารลดแรงตึงผิวเช่นเดียวกัน Morikawa และคณะ (1993) คัดเลือกแบคทีเรียได้ 2 ชนิด ซึ่งสามารถผลิตเซอร์แฟกตินได้ โดยการนำสารละลายตัวอย่างดินมาแผ่บนอาหารแข็งที่มีน้ำมันดิบปกคลุมอยู่บนผิวหน้า สังเกตได้จากโคโลนีที่มีบริเวณใสรอบๆโคโลนี ซึ่งแสดงว่าเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวได้ โดยลดแรงตึงผิวของน้ำมันดิบที่ปกคลุมบนผิวหน้าของอาหาร

<u>จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้</u>

จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้มีทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราที่สร้างสายใย (filamentous fungi) แสดงดังตารางที่ 2 (Desai และ Banat,1997)

ตารางที่ 2 สารลดแรงตึงผิวกลุ่มต่างๆที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถผลิตได้และสมบัติของสาร

ชนิดของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ	จุลินทรีย์	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่า CMC	ค่าแรงตึงระหว่างผิวของสารกับเฮกซาเดกเคน (mN/m)
1.Glycolipids				
Rhamnolipids	*P. aeruginosa*	29	ND	0.25
	Pseudomonas spp.	25-30	0.1-10	1
Treharolipids	*R. erythropolis*	32-36	4	14-17
	N. erythropolis	30	20	3.5
	Mycobacterium sp.	38	0.3	15
Sophorolipids	*T. bombicola*	33	ND	1.8
	T. apicola	30	ND	0.9
	T. pretrohihum			
Cellobiolipids	*U. zeae* ,*U. maydis*			
2.Lipopeptides and lipoproteins				
Peptide lipid	*B. licheniformis*	27	12-20	0.1-0.3
Serrawettin	*S. marcescens*	28-33	ND	ND
Vicosin	*P.fluorescens*	26.5	150	ND
Surfactin	*B. subtilis*	27-32	23-160	1
Gramicidins	*B. brevis*			
Polymyxins	*B. polymyxa*			
3.Fatty acids , neutral lipids , and phospholipids	*C. lepus*	30	150	2
	N. erythropolis	32	ND	3
	T. thiooxidans			

ตารางที่ 2 (ต่อ) สารลดแรงตึงผิวกลุ่มต่างๆที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถผลิตได้และสมบัติของสาร

ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ชีวภาพ	จุลินทรีย์	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่า CMC	ค่าแรงตึงระหว่างผิวของสาร กับเฮกซาเดกเคน (mN/m)
4.polymeric surfactant emulsan biodispersan mannan-lipid-protein liposan carbohydrate-protein-lipid protein PA	 *A.calcoaceticus* *A. calcoaceticus* *C. tropicalis* *C. lipolytica* *P. fluorescens* *D. polymorphus* *P. aeruginosa*	 27 	 10 	ND
5.Particulate biosurfactant vesicles and fimbriae whole cells	 *A. calcoaceticus* Variety of microbes			ND

ND : Not determinative

ที่มา Desai และ Banat (1997)

การเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวชีวภาพกับสารลดแรงตึงผิวทางเคมี

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่ามีจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ และมีสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงตึงผิว และค่า CMC กับสารลดแรงตึงผิวทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่า ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ มีค่าต่ำกว่า ซึ่งแสดงว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีประสิทธิภาพดีกว่า นำสารไปใช้เพียงเล็กน้อยก็สามารถลดแรงตึงผิวได้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าแรงตึงผิวและค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์บางชนิด (Kosaric, 1993)

สารลดแรงตึงผิว	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่า CMC (mg/l)
เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ		
R. erythropolis	37	15
P. aeruginosa	29	15
T . bombicola	37	82
B. subtilis	27	11 (0.01 mM)
สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ชนิดที่มีประจุลบ		
-Detergent alkylate dodecylbenzene (LABS)	47	590 (1.2 mM)
-Sodium lauryl sulfate (SLS or SDS)	37	2023 – 2890 (7 – 10 mM)

ปัจจุบันมีการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ โดยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และได้จดสิทธิบัตรเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 4 (Kosaric, 1993)

ตารางที่ 4 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีการจดสิทธิบัตรแล้ว

ผลิตภัณฑ์	จุลินทรีย์	สิทธิบัตร
Emulsan	*Arthobacter* sp. ATCC 31012	Biotechnol. Aktienges., US 4,276,094 (1981)
Biosurfactant	*Corynebacterium hydrocarblastus* NRRL-B-5631	Canadian Patents and Development Ltd.,US 3,997,398 (1976)
Biosurfactant	*Athrobacter,Bacillus,Corynebacterium. Nocardia, Pseudomonas*	Canadian Patents and Development Ltd., CA 1,114,759 (1981)
Biosurfactant	*Arthrobacter* sp. RAG-1	Gutnick. D., Rosenberg, E. DE 2,415,897 (1987)
Lipopeptide	*Methylomonas clara* ATCC 31226	Hoescht AG, DE 3,312,166 (1984)
Biosurfactant	*Penicillium spiculisporum*	Inoue-Japax Research Inc.,Jpn Kokai 7837, 189 (1987)
Sophorose lipid	*Torulopsis bombicola*	Kao Soap Co.,Ltd. DE 2,834,118 (1979),DE 2,938,383(1980),Jpn. Kokai Tokkyo Koho 8192. 786 (1981), EP 0005004(1983)
Glycolipids (trehalose lipids)	*Arthrobacter paraffincus* ATCC 15591 *Corynebacterium hydrocarblastus* ATCC 15592	Kyowa Hakko Kogyo Co. Ltd. DE 1,905,472(1970),US 3,637,461 (1972)
Fructose lipid	*Arthrobacter paraffineus* ATCC 15591	Kyowa Hakko Kogyo Co. Ltd. DE 2,440,942 (1975)
Surfactin	*Bacillus subtilis* ATCC 21331	Takeda Chemical Ind. Ltd,US 3,687,926 (1972)
Trehalose lipid	*Rhodococcus erythroposis* DSM 43215	Wintershall AG,DE 3,248,167 (1984)

จลนศาสตร์การหมักสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Kinetics of fermentative production)

จลนศาสตร์การหมักสารลดแรงตึงผิวชีวภาพนั้นมีหลายรูปแบบตามการแปรผันของระบบที่ใช้ในการหมัก ซึ่งสรุปได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

1.การผลิตสารลดแรงตึงผิวควบคู่กับการเจริญของเซลล์

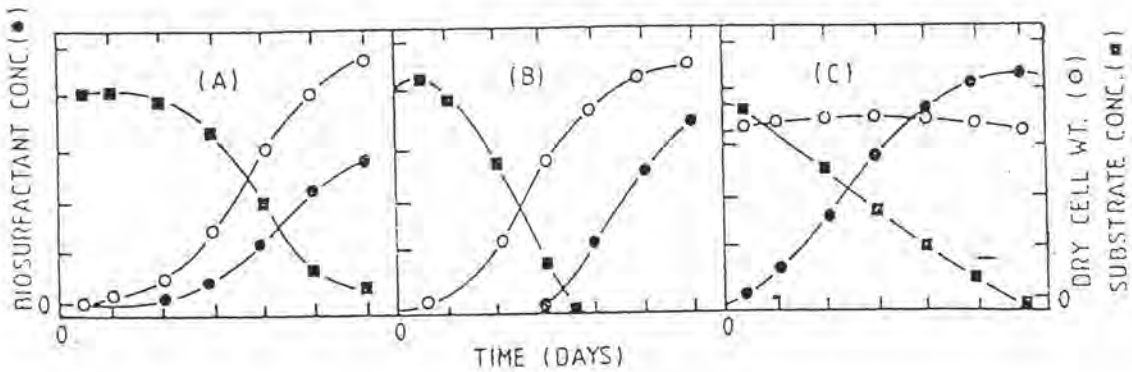
(Growth – associated production)

โดยการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพนั้นจะควบคู่ไปกับการเจริญของจุลชีพ ดังรูปที่ 17A ตัวอย่างการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแบบนี้ได้แก่ การผลิตแรมโนลิปิดโดย *Pseudomonas* spp. (Robert และคณะ, 1989) การผลิตไกลโคโปรตีน AP-6 โดย *P. fluorescens* 378 (Persson และคณะ, 1988) การผลิตสารลดแรงตึงผิว โดย *B. cereus* IAF 346 และการผลิตไบโอดีสเพอร์แซนโดย *Bacillus* sp.strain IAF-343 (Cirigliano และ Carman , 1985; Cooper และ Golddenberg, 1987) แต่มีรายงานว่า การผลิตอิมัลแซนโดย *A. calcoaceticus* RAG -1 มีรูปแบบการผลิต 2 รูปแบบผสมกัน คือ ควบคู่กับการเจริญและไม่ควบคู่กับการเจริญ (Goldman และคณะ, 1982) โดยอิมัลแซนที่ผลิตมาในระยะทวีคูณ(exponential)ของการเจริญจะจับกับสารตั้งต้นสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเชื้อแล้วจึงปล่อยออกมาสู่อาหาร ในขณะที่มีการสังเคราะห์โปรตีนลดลง

2.การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพในภาวะจำกัดการเจริญ

(Growth – limiting condition)

การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพภายใต้ภาวะเลี้ยงเชื้อที่มีการจำกัดสารตั้งต้น เช่น แหล่งไนโตรเจน โดยเมื่อสารตั้งต้นเหล่านั้นถูกใช้โดยเชื้อจุลินทรีย์หมดลงการผลิตสารลดแรงตึงผิวก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 17B ตัวอย่างเช่น การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพของ *Pseudomonas* spp. เมื่อเลี้ยงเชื้อเจริญมาถึงระยะหนึ่งจนการเจริญคงที่ ปริมาณของไนโตรเจนและแร่เหล็กลดลงจนเกือบหมด แล้วจึงมีการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Guerra-Santos, Kappeli, และ Fiechter, 1986; Mulligan และ Gibbs, 1989) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าการเลี้ยงแบคทีเรีย แกรมลบในที่มีปริมาณฟอสเฟตต่ำๆจะช่วยกระตุ้นให้เชื้อสร้างสารก่อเกิดอิมัลชันมากขึ้น เมื่อใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้น (Palejwala และ Desai, 1989) ความเข้มข้นของแร่ธาตุมีอิทธิพล อย่างมากต่อการผลิตแรมโนลิปิดโดย *P. aeruginosa* ซึ่งผลผลิตจะเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า เมื่อนำเซลล์ที่ได้จากการเลี้ยงในอาหารที่มีแร่เหล็ก 36 μM ไปเลี้ยงในอาหารที่มีแร่เหล็ก 18 μM ซึ่งมีการจำกัดปริมาณแร่เหล็กน้อยลง ภาวะนี้เป็นภาวะที่น่าสนใจมาก ซึ่งไม่มีผลเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของเซลล์ด้วย (Guerra-Santos และคณะ, 1984; Guerra-Santos และคณะ, 1986)



รูปที่ 17 รูปแบบการเจริญของเชื้อแบบต่างๆ

A) การผลิตสารควบคู่กับการเจริญ (Growth-associated production)

B) การผลิตสารภายใต้ภาวะที่มีการจำกัดการเจริญ (Production under growth limited condition)

C) การผลิตสารโดยใช้เชื้อในระยะพักหรือเซลล์ตรึง (Production by resting or immobilized cells)

3.การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพในช่วงระยะพักของเซลล์

(resting cells or immobilized cells)

เป็นภาวะการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพโดยใช้เชื้อที่อยู่ในระยะพักเป็นหัวเชื้อ ในขณะที่เชื้อยังสามารถใช้แหล่งคาร์บอนและสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ โดยการเจริญของเชื้อจะคงที่และรักษาระดับอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการเลี้ยงเชื้อ รูปแบบการเจริญแสดงดังรูปที่ 17C ตัวอย่างการผลิตเช่น การผลิตแรมโนลิปิดโดย *Pseudomonas* spp. และ *P. aeruginosa* CFTR-6 (Ramana และ Karanth,1989(a)) การผลิตโซโฟโรลิปิดโดย *Torulopsis bombicala* (Inoue และ Itoh, 1982) และ *Candida apicola* (Hommel และ Huse, 1993) และการผลิต mannosylerythritol lipid โดย *Candida antarcticus* strain T-34 (Kitamoto และคณะ ,1992) เป็นต้น

4.การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพโดยมีการเติมสารตั้งต้น

(precursor supplementation)

เป็นการเติมสารตั้งต้นสำหรับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อเพิ่มการผลิตสารลดแรงตึงผิว โดยทำให้ผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและคุณภาพ เช่น การเติมสารประกอบไลโพฟิลิกลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ *T. bombicola* (Cooper และ Paddock, 1984) มีผลทำให้มีการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ได้ 120 – 150 กรัมต่อลิตร (Lee และ Kim, 1993) ซึ่งมีค่ามากขึ้นจากเดิม เป็นต้น

ความสำคัญของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์โดยวิธีทางเคมี มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในทางเภสัชกรรม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้สารนี้เป็นตัวช่วยในการผสมสารในกระบวนการผลิตให้เข้ากันดีเกิดผลิตภัณฑ์ได้มาก (พิมลพรรณ, 2533) อย่างไรก็ตาม การใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแทนสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ โดยวิธีทางเคมีมีข้อดีคือสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) มีความเป็นพิษต่ำ และสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นที่มีแหล่งมาจากทรัพยากรที่นำกลับมาใช้ใหม่ (renewable - resource substrates) แต่การใช้สารลดแรงตึงผิวนี้ก็มีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้ เพราะยังไม่สามารถผลิตเพื่อจำหน่ายตามท้องตลาดได้ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูงจึงไม่มีการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ทั้งทางด้านสรีรวิทยา พันธุศาสตร์ และทางชีวเคมี เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม และลดต้นทุนการผลิต

ในทางอุตสาหกรรมมีความต้องการใช้สารลดแรงตึงผิวสูงทางตลาดของสบู่และดีเทอร์เจนต์มีมูลค่าถึง 12.8×10^9 เหรียญสหรัฐ ในปีค.ศ.1990 (Fiechter,1992) ซึ่งปีต่อมามีค่าเพิ่มขึ้นถึง 5.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสารลดแรงตึงผิว มีค่า 3.9×10^9 เหรียญสหรัฐ มีการประมาณการณ์ว่าในอนาคตช่วงปลายศตวรรษที่ 20 จะมีความต้องการสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ หรือเป็นมูลค่า 5.3×10^9 เหรียญสหรัฐ สารลดแรงตึงผิวทางเคมีจะใช้มากในการสังเคราะห์สารเคมีที่มีน้ำมันปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบ แต่สารลดแรงตึงผิวชีวภาพไม่สามารถเข้าไปแข่งขันทางการค้ากับสารลดแรงตึงผิวทางเคมี เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตสูงจึงส่งผลให้ราคาของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีค่าสูง ถึงแม้ว่าเชื้อที่มีความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้จะมีราคาต่ำ แต่จำเป็นต้องใช้สารตั้งต้นที่มีราคาแพง ดังนั้นสิ่งสำคัญที่เราควรจะทราบเพื่อหาวิธีการพัฒนาการ

ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ช่วยลดต้นทุนได้โดย 1) พัฒนาความรู้ความเข้าใจและสามารถที่จะปรับปรุงเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์ในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเช่นการศึกษาการใช้สารตั้งต้นที่มีราคาถูกลง เป็นต้น 2) พัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตและการเก็บผลผลิตให้รวดเร็วและได้ผลผลิตมากที่สุด

ปัจจุบัน (ค.ศ. 1999) มีความรู้เกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพกว้างขวางมากขึ้น การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ดียังคงมีอยู่ การมีความรู้ความเข้าใจทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี จะนำไปสู่หนทางที่จะประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้ และมีการศึกษาอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพให้มีปริมาณมากขึ้น

<u>กระบวนการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ</u>

การผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเป็นกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยาก ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ได้แก่ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แร่ธาตุบางชนิด และปริมาณอาหารที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี เช่น อัตราการให้อากาศ อุณหภูมิ ค่าพีเอช และปัจจัยที่สำคัญ คือ สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ต้องเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีที่สุดที่ภาวะเหมาะสมภาวะหนึ่ง การเปลี่ยนแหล่งอาหารจะส่งผลให้โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเปลี่ยน และส่งผลให้สมบัติของการเป็นสารลดแรงตึงผิวเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นจึงต้องเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับเชื้อแต่ละชนิดด้วย เช่น *Arthrobacter* sp. เลี้ยงใน Arthrobacter cultures จะสร้าง trehalose lipids ซึ่งเป็น sucrose lipids ตัวหนึ่ง เมื่อในอาหารมีน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้แหล่งคาร์บอนยังมีผลต่อสารลดแรงตึงผิวชีวภาพด้วยว่าจะเป็นสารที่ปล่อยสู่นอกเซลล์(extracellular)หรือถูกขังอยู่ในเซลล์ (intracellular) แหล่งไนโตรเจน (N-source) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ก็มีผลต่อการผลิตเช่นกัน นอกจากนี้ในการผลิตแรมโมลิปิดโดยเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* จะต้องมีธาตุเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม และเกลือโพแทสเซียม ผสมในอาหารกำหนดสูตร (Defined media) (Ramana และ Karanth,1989(a) ; Guerra-Santos, Kappeli และ Fiechter,1984) ดังนั้นประสิทธิภาพการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

ประโยชน์และการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ

ปัจจุบันมีผู้สนใจนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพทำหน้าที่ได้หลายประการ ได้แก่

- สารก่อเกิดอิมัลชัน (emulsification) เป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดอิมัลชันหรือทำให้สารที่มีขั้วต่างกันผสมกันได้ดีขึ้น
- สารแยกเฟส (phase separation) เป็นสารที่ช่วยแยกเฟสสองเฟสที่ต่างกันแยกออกจากกัน
- สารเปียก (wetting agent) เป็นสารที่ช่วยให้มีความเปียกชื้นอยู่เสมอ
- สารก่อฟอง (foaming agent) เป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดฟองในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง
- สารช่วยเพิ่มการละลาย (solubilisation) เป็นสารที่ช่วยทำให้สารบางชนิดเกิดการละลายได้ดีขึ้น
- สารลดการเกิดสนิม (corrosion - inhibition) เป็นสารที่ช่วยยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดจากสนิม
- สารลดความหนืด (viscosity – reduction) เป็นสารที่ช่วยลดความหนืดของสาร

จะเห็นว่าสามารถใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพทำหน้าที่แทนสารลดแรงตึงผิวทางเคมีได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีข้อดีหลายประการ ได้แก่

(Fiechter, 1992; Kosaric, 1993; Desai และ Banat, 1997)

1.สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตโดยจุลินทรีย์มีโครงสร้างหลากหลายสามารถเลือกนำไปให้เหมาะสมกับงานได้โดยง่าย

2.สารลดแรงตึงผิวชีวภาพสามารถผลิตจากสารตั้งต้นที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (renewable substrate)

3.สามารถปรับปรุงสายพันธุ์ของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมศาสตร์ (genitic engineering) หรือ เทคนิคทางชีวเคมี เพื่อให้เชื้อมีความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

4.ที่สำคัญสารลดแรงตึงผิวชีวภาพสลายตัวได้ง่ายไม่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมหรือผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งถ้าเป็นสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์โดยวิธีทางเคมีสารพวกนี้จะสลายตัวยาก จึงอาจเกิดปัญหาเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

ถึงแม้ว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจะมีข้อดีหลายประการ แต่ทางอุตสาหกรรมก็สามารถใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้อย่างจำกัด เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีราคาสูง อุตสาหกรรมที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพกันมากก็คือ อุตสาหกรรมปิโตรเลียม กระบวนการผลิตน้ำมันโดยใช้จุลินทรีย์ (Microbially enhanced oil recovery: MEOR) เช่น มีการใช้อิมัลแซน (emulsan) ในการทำความสะอาดภาชนะที่เลอะคราบน้ำมันดิบ ประเทศคูเวตนำไปใช้ล้างถังเก็บน้ำมัน ใส่ในท่อส่งน้ำมันดิบ เพราะอิมัลแซนสามารถลดความหนืดของน้ำมันดิบได้ ทำให้ขนส่งน้ำมันได้รวดเร็วและเสียค่าใช้จ่ายน้อยลง และใช้ทำความสะอาดคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนตามชายฝั่งทะเล (Banat, 1995) อิมัลแซนเป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตโดย *Acinetobacter* sp. ส่วนโซโฟโรลิปิดที่ผลิตได้จาก *Torulopsis bombicala* ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยผสมในแชมพูและครีมทาผิว(Fiechter, 1992)

ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ใช้เป็นตัวทำให้เกิดอิมัลชันในการทำสารปรุงแต่งในอาหารในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ โดยกระบวนการทำให้เกิดอิมัลชันนั้นมีบทบาททำให้อาหารเหนียวข้นและดูมีเนื้อมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพในการผลิตเบเกอรี่และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพทำให้แป้งมีลักษณะเหนียวข้น และทำให้เกิดอิมัลชันของเนื้อสัตว์ที่มีไขมัน (fat tissue)

ในทางเกษตรกรรม สารลดแรงตึงผิวชีวภาพช่วยทำให้ดินที่แห้งมากๆ มีความชุ่มชื้นสามารถปลูกพืชต่างๆได้เจริญงอกงามดี ในตลาดประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องสำอางและผสมในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดห้องน้ำ ในปี ค.ศ.1989 ทั่วโลกมีความต้องการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพถึง 1.0×10^7 เหรียญสหรัฐ และมีแนวโน้มว่าจะมีความต้องการสูงขึ้นในอนาคต (Ainsworth, 1990 อ้างถึงใน Fiechter, 1992)

สรุปจะเห็นว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีประโยชน์หลายด้าน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพให้เป็นสินค้าที่มีขายในท้องตลาดได้ในราคาที่ไม่แพงเกินไป ทั้งนี้ถ้ามีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแทนสารลดแรงตึงผิวทางเคมีมากขึ้นเท่าใด ก็จะเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมของโลกเราให้ไม่เป็นพิษทำให้มนุษย์และสัตว์มีสุขภาพที่ดี