บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอศกรีม (Ice cream)

ไอศกรีมเป็นของหวานและเย็นที่ผู้คนทุกเพศ ทุกวัย ชื่นชอบ เนื่องจากรับประทานง่าย ย่อยง่าย และมีมากมายหลายรสหลายแบบให้เลือก ที่สำคัญสามารถประยุกต์ให้เข้ากับความนิยมของแต่ละชาติได้อย่างหลากหลาย ไอศกรีมมาจากคำภาษาอังกฤษว่า Ice cream อย่างไรก็ตามแม้มีรากคำมาจากภาษาอังกฤษแต่ไอศกรีมมีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศแถบตะวันออก โดยเกิดขึ้นจากการนำหิมะบนยอดเขามาผสมกับน้ำผลไม้และกินในขณะที่หิมะยังไม่ละลายดี ในปลายศตวรรษที่ 13 มาร์โคโปโล ได้เดินทางกลับจากตะวันออกไกล พร้อมด้วยตำราทำอาหารเหมือนพวกเชอร์เบท ขณะเดินทางมีการเติมนมลงไป กลายเป็นสูตรของเขาโดยเฉพาะ ในปี ค.ศ. 1700 ได้มีหนังสือที่ไม่ได้เปิดเผยเพียงแต่ให้คำนำหน้าว่า เป็นศิลปะของการทำอาหารประเภทไอศกรีมเกิดขึ้น ถูกตีพิมพ์กรุงในปารีสประเทศฝรั่งเศส จากนั้นได้แพร่หลายไปในอิตาลี จนถึงประเทศอังกฤษ คนอิตาลีถือว่าตนเองเป็นต้นตำหรับไอศกรีมแบบที่นำมาปั่นให้เย็นจนแข็ง เรียกว่า เจลาตินแล้วแพร่หลายไปในฝรั่งเศสช่วงศตวรรษที่ 16 ข้ามไปอเมริกา ในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 กลายเป็นที่ชื่นชอบของคนอเมริกันมาก ในประเทศไทยไอศกรีมเข้ามาช่วงไหนไม่มีหลักฐานแน่ชัด แต่คาดว่าหลังสมัยรัชกาลที่ 5 ซึ่งมีการผลิตน้ำแข็งรับประทานเอง ไอศกรีมตอนนั้นทำจากน้ำหวานหรือน้ำผลไม้นำไปปั่นเย็นจนแข็ง ไม่มีนมหรือครีมผสมด้วย เรียกว่า ไอติม ใช้แรงคนในการปั่นโดยมีหม้อทองเหลือง เส้นผ่าศูนย์กลาง 50-60 ซม.สูง 30 ซม.ภายในมีรูคล้ายรังถึงสำหรับเสียบกระบอกโลหะทรงกลมที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. บรรจุน้ำผลไม้หรือน้ำหวาน สำหรับทำให้ไอศกรีมเป็นแท่ง (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

1. ชนิดของไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งที่ประกอบด้วย นม น้ำตาล ไขมัน และอากาศ โดยนำส่วนประกอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วไปปั่นเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้อากาศเข้าไป และทำให้เกิดรูปร่างข้นหนืดอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้แล้วอาจเติมสารเพิ่มความคงตัวลงไป เพื่อช่วยในการรักษาโครงร่างฟองอากาศของไอศกรีม สารเหล่านี้ ได้แก่ สารให้ความหวาน (Sweetener) กัม(Gum) แคลเซียมซัลเฟต (Calcium sulfate) และเลซิติน (Lecithin) เป็นต้น โดยไอศกรีมจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆหลายชนิด ดังนี้ (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

1.1 Plain ice cream คือไอศกรีมที่ประกอบด้วยสารที่ให้สีและกลิ่นรสเพียงอย่างเดียว ในปริมาณที่น้อยกว่า 5% ของส่วนผสมของไอศกรีม เช่น ไอศกรีมวานิลา สตรอเบอรี่ และกาแฟ

1.2 Chocolate ice cream คือไอศกรีมที่เติมผงโกโก้ หรือ ช็อคโกแลต

1.3 Fruit ice cream คือไอศกรีมที่ประกอบด้วยผลไม้ อาจมีการเติมสีหรือกลิ่นของผลไม้บรรจุกระป๋อง หรือ ผลไม้เชื่อม- แช่อิ่ม ผลิตภัณฑ์นี้ไม่มีนมเป็นส่วนผสม

1.4 Nut ice cream คือไอศกรีมที่ประกอบด้วยผลไม้เนื้อแข็ง เช่น almond, walnuts, ถั่วลิสง เป็นต้น อาจเติมสีหรือกลิ่นเพิ่มเติม

1.5 Frozen custard, French ice cream, French custard ice cream คือไอศกรีมที่ประกอบด้วยไข่ มีปริมาณเนื้อไข่แดงไม่น้อยกว่า 1.4% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์

1.6 Ice milk คือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน 2-7% มีของแข็งในนมไม่รวมไขมัน 12-15% โดยมีการเติมสาให้ความหวาน กลิ่น และมีการแช่แข็งเหมือนไอศกรีม

1.7 Fruit sherbet เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากน้ำผลไม้ น้ำตาล สารให้ความคงตัว และผลิตภัณฑ์นม มีลักษณะคล้ายน้ำแข็ง แต่ใช้นมแทนที่จะใช้น้ำอย่างเดียว

1.8 Ice คือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากน้ำผลไม้ น้ำตาล สารให้ความคงตัว อาจมีการเติมกรดผลไม้ สี กลิ่น หรือน้ำ แล้วนำไปแช่แข็ง โดยทั่วไปประกอบด้วยน้ำตาล 28-30% และมีค่า overrun 20-25% ไม่เติมนม

1.9 Confection คือไอศกรีมที่มีกลิ่น รส ตามต้องการ มีชิ้นลูกกวาดในผลิตภัณฑ์

1.10 Pudding คือไอศกรีมที่มีผลไม้ผสม นัท ลูกเกด มีการเติมเหล้า เครื่องเทศ หรือไข่

1.11 Mousse คือไอศกรีมที่ทำจากครีม น้ำตาล สี กลิ่น และนำไปแช่แข็ง บางครั้งใช้นมข้น

1.12 Variegated ice cream คือไอศกรีมวานิลาธรรมดาที่มีน้ำเชื่อม หรือของเหลวข้น ๆ เช่น ช็อคโกแลต บัตเตอร์สกอต ซึ่งทำให้ไอศกรีมมีลายคล้ายหินอ่อน

1.13 Fanciful name ice cream คือไอศกรีมที่มักประกอบด้วยส่วนผสมที่ให้กลิ่นต่าง ๆ กัน

1.14 Neapolitan คือไอศกรีมที่มีสองรสในภาชนะเดียว

1.15 New York หรือ Philadephia คือไอศกรีมวานิลลาธรรมดาที่มีการเติมสีเข้ม ๆ อาจเติมไขมันและไข่มากกว่าสูตรไอศกรีมทั่วๆไป

1.16 Soft serve ice cream หรือ Ice milk เป็นผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ไม่ต้องการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผ่านขั้นตอนฮาร์ดเดนนิ่ง (Hardening) คือ ไม่ผ่านกรรมวิธีที่ทำให้ส่วนของน้ำในส่วนผสมไอศกรีมกลายเป็นผลึกน้ำแข็งทั้งหมด การจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไม่ใช้การตัก แต่จะไขออกจากเครื่องปั่นไอศกรีมโดยตรง

1.17 Rainbow ice cream เป็นไอศกรีมสายรุ้ง ทำได้จากการเติมสีตั้งแต่ 6 สีขึ้นไป จนทำให้มองเห็นเป็นสีสายรุ้ง เวลาจำหน่ายก็จะไขออกจากเครื่องปั่น

2. หน้าที่ของส่วนผสมในไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีส่วนผสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนผสมที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนมและนมระเหย เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารเพิ่มความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และ สี เป็นต้น (Marshall & Arbuckle, 1996) องค์ประกอบของไอศกรีมแตกต่างกันไปตามความต้องการของตลาด โดยเฉลี่ยแล้วไอศกรีมที่จัดว่ามีคุณภาพดีประกอบด้วยไขมัน 12%, ของแข็งไม่รวมไขมัน(Milk Solid Non Fat, MSNF) 11% น้ำตาล 15% สารเพิ่มความคงตัว และ อิมัลซิไฟเออร์ 0.3% และปริมาณของแข็งทั้งหมด 38.3% โดยองค์ประกอบในไอศกรีมอาจอยู่ในช่วงกว้าง ดังนี้ ไขมัน 8-20% MSNF 8-15% น้ำตาล 13-20% สารเพิ่มความคงตัว และ อิมัลซิไฟเออร์ 0-0.7% และปริมาณของแข็งทั้งหมด 38.3%

2.1 ไขมัน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับไอศกรีม ช่วยให้ส่วนผสมมีความสมดุล ให้โครงสร้างและเนื้อสัมผัส ทำให้ไอศกรีมมีรสชาติและความมัน ไขมันควรมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอศกรีมอ่อนตัวเมื่ออยู่ในปาก ได้แก่ น้ำนมสด ครีม เนย นมผง นมข้น หรือไอศกรีมบางชนิดมีการใช้ไขมันจากพืช เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531; พรหทัย พุทธวัน, 2550)

2.2 ของแข็งไม่รวมไขมัน (Milk Solid Non Fat, MSNF) ปริมาณไขมันนมในไอศกรีมจะต้องสมดุลกับปริมาณ MSNF ด้วย หากมีปริมาณไขมันนมที่เพิ่มขึ้น ปริมาณของ MSNF จะต้องลดลง การมีปริมาณ MSNF สูงเกินไปจะทำให้น้ำตาลแลคโทสเกิดการตกผลึก เนื้อไอศกรีมจะมีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย (Sandiness) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากผลึกของน้ำตาลแลคโทสในไอศกรีม ซึ่งเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การใช้ครีมหรือน้ำนมสดเป็นส่วนผสมของไอศกรีมจะทำให้ MSNF ต่ำเกินไป นิยมเติมนมผง นมข้น หรือ เวย์โปรตีนผงลงไป เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณ MSNF ทำให้ได้เนื้อไอศกรีมมากขึ้น MSNF ซึ่งเป็นโปรตีนนมซึ่งมีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำทำให้ลักษณะเนื้อของไอศกรีมดีขึ้น นอกจากนั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ยังช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู (% Overrun) สูงขึ้นโดยไม่ทำให้ลักษณะเนื้อไอศกรีมเสีย และช่วยทำให้ไอศกรีมละลายช้าลงด้วย (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

2.3 สารให้ความหวาน ในไอศกรีมจะมีสารให้ความหวานเป็นองค์ประกอบประมาณ 10-18% โดยพบว่าระดับความหวานที่ทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่พอใจคือ 13-16% สารให้ความหวานช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดให้สูงขึ้น สารที่นิยมใช้ คือ น้ำตาลทราย เดกโทรส หรือกลูโคส นอกจากนั้นแล้วสารเหล่านี้ยังช่วยลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมให้ต่ำลง ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำมาก ขนาดของเม็ดน้ำแข็งในไอศกรีมมีขนาดเล็กและป้องกันการเกิดการรวมตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งที่ละลาย (Recrystallization) ของไอศกรีม โดยสารให้ความหวานเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความหนืดในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีม (Goff, McCurdy, & Fulford, 1990)

2.4 อิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวระหว่าอนุภาคเม็ดไขมันให้น้อยลง ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันกระจายตัวอยู่ได้ทั่วส่วนผสมเกิดเป็นอิมัลชันที่คงตัว ป้องกันไม่ให้อนุภาคของไขมันจับตัวรวมกันและแยกออกจากส่วนผสม นอกจากนี้ยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมขึ้นฟูดี เมื่อตีให้เกิดฟองอากาศจะทำให้ได้ % Overrun ตามต้องการ และยังช่วยให้เนื้อไอศกรีมแห้งและเกาะตัวกัน สารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำไอศกรีมมี 2 ชนิด คือ กลีเซอรอลเอสเทอร์ และ โพลีออกซีเอทธิลีน ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเฮกซะไฮดริกแอลกอฮอลล์ไกลคอล และ ไกลคอล เอสเทอร์ (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

2.5 สารเพิ่มความคงตัว นิยมใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารช่วยดูดน้ำและเพิ่มความหนืด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจล และน้ำอิสระมีการเคลื่อนที่ลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ระหว่างที่ไอศกรีมแข็งตัว ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะแห้ง ไม่หยาบ ไม่ละลาย คงตัวในรูปทรงที่ต้องการ (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

2.6 กลิ่น การเติมกลิ่นอาจใช้ผลไม้ หรือน้ำผลไม้ หรือสารให้กลิ่นสังเคราะห์ นิยมเติมในขณะที่ทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

2.7 สี ในไอศกรีมบางชนิดมีการเติมสีลงไปเพื่อให้ไอศกรีมมีความน่ารับประทาน อาจจะเป็นสีที่ได้จากผลไม้หรือการสังเคราะห์ (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

ไอศกรีมนอกจากประกอบด้วยส่วนผสมต่าง ๆ แล้ว ยังต้องมีอากาศผสมอยู่ด้วย น้ำหนักของไอศกรีมขึ้นกับน้ำหนักของส่วนผสมที่ใช้ แต่อากาศที่อยู่ในไอศกรีมขึ้นกับปริมาตรของส่วนผสม การผสมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาตร อากาศต้องเป็นฟองเล็ก ๆ แทรกตัวกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อไอศกรีมช่วยทำให้เนื้อไอศกรีมไม่แน่น ไม่แข็ง และไม่เย็นเกินไปเมื่ออยู่ในปาก (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

กระบวนการผลิตไอศกรีม แสดงดังภาพที่ 2-1 โดยสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2541; Goff, 1997)

3.1 การเตรียมส่วนผสม (Blending) เป็นการนำส่วนผสมต่างๆที่เป็นของเหลวมาผสมรวมกันในถังผสม ปรับอุณหภูมิให้ได้ 43 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาลและส่วนผสมแห้งอื่น ๆ ลงไป อุ่นส่วนผสมละลายให้หมด

3.2 การพาสเจอร์ไรเซชัน (Pasteurization) เป็นการนำส่วนผสมทั้งหมดไปให้ความร้อน โดยนิยมใช้แบบ HTST คือ อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น ที่อุณหภูมิ 82-87 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 วินาที เพื่อทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคทั้งหมดที่มีอยู่ในส่วนผสม และลดจำนวนแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ลง

3.3 การโฮโมจิไนเซชัน (Homogenization) เป็นกระบวนการที่ลดขนาดของเม็ดไขมันลง ทำให้อนุภาคไขมันแตกกระจายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ส่วนผสมจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพอิมัลชันและผสมเข้ากันกับอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อดีขึ้น การโฮโมจิไนซ์มักทำที่อุณหภูมิ 62.8 – 76.7 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ควรใช้ให้เหมาะสม โดยส่วนมากพบว่าความดันที่นิยมใช้คือ 2500 psi (First stage) และ 500 psi (Second stage)

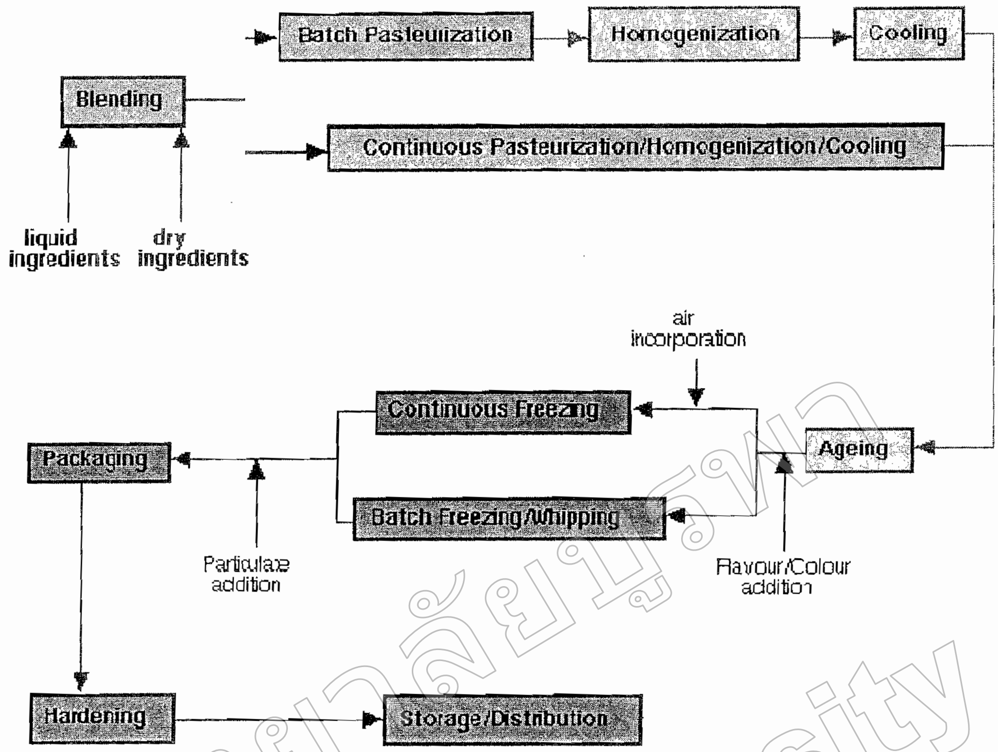
3.4 การบ่ม (Aging) คือการปล่อยทิ้งส่วนผสมทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นานประมาณ 24 ชั่วโมง ขณะบ่มอนุภาคไขมันจะตกผลึกกลายเป็นไขมันแข็งล้อมรอบไขมันเหลว สารเพิ่มความคงตัว และโปรตีนจะพองตัวรวมกับน้ำ ทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น

3.5 การปั่น (Wipping) ต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เนื้อไอศกรีมหยาบและฟองอากาศจะต้องเล็กมาก เพื่อให้เกิดโฟมที่คงตัว

3.6 การทำให้แข็ง (Freezing) เป็นการทำให้ไอศกรีมที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุจะมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็ง ต้องลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ -18 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปเก็บไว้ที่ห้องแช่แข็ง ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ -20 ถึง -25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอศกรีมแข็งตัว

3.7 การเก็บรักษา (Storage) ไอศกรีมที่ผ่านการบรรจุแล้วจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 ถึง -25 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลานาน หากเก็บรักษาเวลาสั้น ๆ หรือว่าระหว่างการขนส่งจะใช้อุณหภูมิ -13 ถึง -18 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

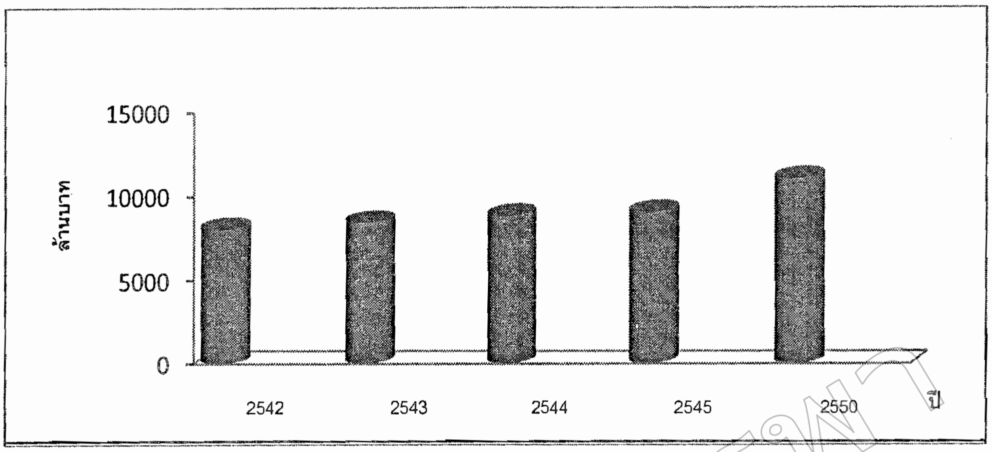


ภาพที่ 2–1 กระบวนการผลิตไอศกรีม (Goff, 1997)

4.ข้อมูลทางการตลาดของไอศกรีม

แนวโน้มทางการตลาดของไอศกรีมในประเทศไทยมีอัตราขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้จากมูลค่าการตลาดไอศกรีมในประเทศไทยในปี พ.ศ.2550 จะมีมูลค่าเท่ากับ 11,000 ล้านบาท หรือเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นประมาณ 5% และมูลค่าตลาดของไอศกรีมมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10% จากเดิมทุกปี ซึ่งนับว่าเป็นการอัตราการขยายตัวของตลาดอยู่ในเกณฑ์สูง ทั้งนี้ตลาดไอศกรีมในประเทศไทยยังมีโอกาสขยายตัวได้อีกมากถึงแม้ว่าจะมีการแข่งขันที่รุนแรง นอกจากนี้ธุรกิจไอศกรีมในประเทศไทยยังมีช่องว่างทางการตลาดเปิดกว้าง มูลค่าทางการตลาดของไอศกรีมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 – 2552 แสดงดังภาพที่ 2-2 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2550)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-2 มูลค่าทางการตลาดของไอศกรีมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 – 2552 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2550)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

พรีไบโอติก

Gibson and Roberfroid (1995) ให้คำจำกัดความของพรีไบโอติกไว้ว่า เป็นสารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหาร แต่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์หรือสัตว์โดยไปกระตุ้นการเจริญ และ/หรือ กิจกรรมของจุลินทรีย์บางกลุ่ม หรือไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีผลทำให้สุขภาพของมนุษย์หรือสัตว์นั้นๆมีสุขภาพดี กลุ่มของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacterium) และ แลคโตบาซิลไล (Lactobacilli) (Roberfroid, 2001) โดยคุณสมบัติสำคัญของสารพรีไบโอติกมีดังนี้ (Gibson, 2004)

1. ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร
2. ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็กและส่งผ่านไปที่ลำไส้ใหญ่
3. ส่งเสริมการเจริญแก่จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ใหญ่

1. ประโยชน์ของสารพรีไบโอติก

ประโยชน์ของพรีไบโอติกนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกันกับประโยชน์ของโพรไบโอติก กล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่มการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่มนี้แล้วทั้งแบคทีเรียเองและสารที่เกิดจากกระบวนการในการใช้พรีไบโอติกเป็นแหล่งคาร์บอนก็จะมีบทบาทต่อผู้บริโภค โดยประโยชน์ของพรีไบโอติกที่มีต่อร่างกายได้แก่

1.1 ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหาร

ภายในลำไส้ใหญ่มีจุลินทรีย์อยู่หลายกลุ่มทั้งก่อโรค และกลุ่มที่มีประโยชน์ คือ

เป็นแบคทีเรียโพรไบโอติก ซึ่งสามารถสร้างสารมายับยั้งแบคทีเรียก่อโรคได้ ดังนั้นการรับประทานสารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบติกซึ่งเลือกส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียดังกล่าว จึงเป็นการส่งเสริมการผลิตสารยับยั้งด้วย นอกจากนี้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสารประกอบพรีไบโอติกยังส่งผลให้ค่าpH ภายในลำไส้ต่ำลง จึงทำให้มีการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคได้อีกทางหนึ่ง (Palframan et al., 2002)

1.2 การป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่

การเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่มีโอกาสเกิดขึ้นสูงและมากกว่าที่ลำไส้เล็กถึง 10 เท่า (Morotomi et al., 1990) แต่มีการพิสูจน์แล้วว่า พรีไบโอติกมีความสามารถในการป้องกันมะเร็งได้ (Hylla et al., 1998) นอกจากนี้สารที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ยังเป็นสารก่อมะเร็งได้ ดังนั้นแนวทางในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่จึงเจาะจงไปที่พรีไบโอติกซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย โดยบทบาทของพรีไบโอติกในการป้องกันมะเร็งมีดังนี้

1.2.1 เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารที่มีบทบาทในการป้องกันการเกิดมะเร็ง โดยกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งมีรายงานว่า บิวทาเรตสามารถช่วยในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการอะพอพโทซิส (Apoptosis) ของเซลล์ในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังถูกใช้ในการเจริญของเซลล์ได้อีกด้วย โดยบทบาทของบิวทาเรตและกรดไขมันสายสั้นชนิดอื่น ๆ คือ โพรพิโอนิค (Propionic) และ อะซีติก (Acetic) จะส่งผลโดยตรงต่อเซลล์ลำไส้ใหญ่ในการป้องกันมะเร็ง (Scheppach et al., 1995)

1.2.2 เปลี่ยนแปลงกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ให้เป็นไปในแนวทางที่จะลดการเกิดสารที่ส่งผลเสียต่อร่างกาย เช่น เมแทบอลิซึมของไขมัน และโปรตีนจะทำให้เกิดสารก่อมะเร็งขึ้น โดยอาจจะเปลี่ยนเมแทบอลิซึมของแบคทีเรีย *Clostridia* และ *Bacteroides* จากการเกิดโปรติโอไลซิส (Proteolysis) ไปเป็นแซคคาโรไลติค (Saccharolytic) นอกจากนี้พรีไบโอติกยังมีบทบาทในการส่งเสริมให้แบคทีเรียแลคติกผลิตสารที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียที่ผลิตสารก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้ และยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า พรีไบโอติกยังมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็ง เช่น อะโซรีดักเตส (Azoreductase) ไนโตรรีดักเตส (Nitroreductase) และ เบต้ากลูโคโรนิเดส (β-glucuronidase) เป็นต้น (Reddy, 1998)

1.3 เพิ่มการดูดซึมของแคลเซียม

พรีไบโอติกสามารถเพิ่มการดูดซึมของสารอาหารโดยเฉพาะการดูดซึมของแคลเซียมถึงแม้ว่า การดูดซึมของแคลเซียมจะเกิดขึ้นเป็นหลักในลำไส้เล็กแต่ยังคงมีการดูดซึมภายในลำไส้ใหญ่อยู่และยังคงได้รับความสนใจ ซึ่งกลไกในการเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียมในลำไส้ใหญ่มีดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.3.1 จากกระบวนการหมักของพรีไบโอติกจะทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้น ซึ่งทำให้ pH ในลำไส้ใหญ่ลดลง จึงทำให้แคลเซียมละลายได้ดีและเกิดการดูดซึมที่ดีขึ้นด้วย

1.3.2 สารที่อยู่ในกลุ่มไฟเตท (Phytate) เช่น ไมโออินนอซิทอล เฮกซะฟอสเฟส (Myoinositol hexaphosphate) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในพืช โดยสารดังกล่าวเป็นสารที่มีความเสถียรสูงและไม่ละลายน้ำ ทำให้เมื่อไปจับกับแคลเซียม ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมแคลเซียมได้ และจากกระบวนการหมักของไฟเตทโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ทำให้แคลเซียมถูกปลดปล่อยออกมาเป็นอิสระ และมีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้

1.3.3 เกิดกลไกในการแลกเปลี่ยนแคลเซียมภายในลำไส้ โดยเกิดจากการแลกเปลี่ยนโปรตอนระหว่าง แคลเซียม และ กรดไขมันสายสั้น ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่

1.4 ลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในเลือด

โดย *L. acidophillus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียประจำถิ่นในลำไส้จะช่วยย่อยสลายคลอเรสเตอรอล และยับยั้งการดูดซึมคลอเรสเตอรอลผ่านผนังลำไส้ Fook et al. (1999) พบว่า ผู้ที่รับประทานโยเกิร์ตที่มี *L. acidophilus* และมีส่วนผสมของ FOS สามารถลดระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดได้

2. ประเภทของสารพรีไบโอติก

2.1 โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides)

พรีไบโอติกในกลุ่มนี้ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์จัดเป็นโพลีแซคคาไรด์สายสั้น ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 3 ถึง 10 หน่วย มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ได้แก่ ราฟิโนส (Raffinose) สตาร์ชิโอส (Stachyose) พาลาทิโนส (Palatinose) ไซโล-โอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo-oligosaccharides) และฟรุคโต-โอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo-oligosaccharides; FOS) ซึ่งจัดเป็นโอลิโกแซคคารด์ที่ไม่สามารถย่อยได้ (non-digestible oligosaccharides) ที่สามารถจัดเป็นพรีไบโอติกได้ด้วย สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.1.1 แลคทูโลส (Lactulose) จัดเป็นน้ำตาลไดแซคคาไรด์ที่แยกได้จากน้ำนม ไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ แต่สามารถถูกย่อยได้ด้วยจุลินทรีย์ในกลุ่มแลกติกแอซิค ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันสายสั้น ทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ลดต่ำลง จนไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มจำนวน *Bifidobacteria Lactobacillus* และ *Streptococcus* (Ross, 1999)

2.1.2 ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo-oligosaccharide; FOS) เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเชิงซ้อนของ เบต้าฟรุคแตน (β-D-fructans) สายโซ่สั้นและปานกลาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เป็นสิ่งที่นักวิจัยให้ความสำคัญและมุ่งพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยสารพรีไบโอติกที่พบในธรรมชาติที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ อินนูลิน และ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์

อินนูลินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ที่พืชเก็บไว้เป็นอาหารซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กประกอบด้วยโพลิเมอร์ฟรุคโตสที่มีสายโซ่ยาว 3-60 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ α,1-2 และ β,2-1 โครงสร้างประกอบด้วย Gluα1 – 2 [β Fru (2-1) $]_n$ n = 10 และ Fru β2-1Fru_n โดยปกติจะพบหน่วยของกลูโคสต่ออยู่ที่ส่วนท้าย

ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นสารที่มี DP ตั้งแต่ 3 ไปจนถึง 7/10 และมีหน่วยของกลูโคสต่ออยู่ที่ส่วนปลายเช่นเดียวกันกับอินนูลิน ซึ่งกล่าวได้ว่า การย่อยอินนูลินบางส่วนด้วยเอนไซม์จะทำให้ได้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เกิดขึ้น

อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก แต่บางส่วนถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ อินนูลิน และ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ สามารถละลายน้ำได้ดีโดยเฉพาะในน้ำร้อน (Tanya, 2002) อุณหภูมิประมาณ 80 °C (Kim & Wang, 2001) แต่ละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำเย็นและแอลกอฮอล์ (Paul, 1999) และมีความคงตัวสูง ไม่มีผลข้างเคียงต่อระบบประสาทสัมผัส รสชาติหวานเล็กน้อย จึงมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในลักษณะต่าง ๆ เช่น นำไปปรับปรุงรสชาติและเนื้อสัมผัส นอกจากอินนูลินถูกจัดเป็นใยอาหารแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกด้วย เนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ โดยพบว่า อาสาสมัครที่ได้รับอินนูลิน15 กรัมต่อวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* เพิ่มขึ้น 10% และจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง (Paul, 1999)

จากตารางที่ 2 - 1 พบว่า พืชที่มีปริมาณอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์สูงเหมาะสมในการนำมาสกัดสารพรีไบโอติก ได้แก่ แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) ชิคกอรี่ (Chicory) กระเทียม (Garlic) และ อาติโชค (Artichoke) เป็นต้น

Thammasatwasik et al. (2007) ศึกษาสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกในพืชที่พบในประเทศไทยทั้งหมด 14 ชนิด คือ กล้วย กระเจี๊ยบเขียว ขนุน ข้าว เงาะ ปาล์ม จำปาดะ มันสีส้ม ทุเรียน มะขาม มะพร้าวอ่อน ลูกก่อ ลูกตาลอ่อน และ มะม่วงสุก พบว่า พืชที่มีปริมาณ Indigestible polysaccharides สูงที่สุด 10 อันดับแรก แสดงดังตารางที่ 2 - 3

เมื่อนำมาทดสอบความเป็นพรีไบโอติกกับเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก *L. plantarum*, *L. acidophilus*, และ *L. acidophilus* พบว่า พืชทุกชนิดส่งเสริมการเจริญของ *L. plantarum* ขนุน (เปลือก, เม็ด, เนื้อ) เงาะ จำปาดะ มะพร้าวอ่อน ปาล์ม (เอ็มบริโอ, เนื้อ) ส่งเสริมการเจริญของ *L. acidophilus* และ ขนุน (เนื้อ) มะพร้าวอ่อน ปาล์ม (เนื้อ) ส่งเสริมการเจริญของ *B. bifidum*

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วีระพงศ์ พรสมิทกุล และคณะ (2551) ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกจากเปลือกด้านในขนุนด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล 95% โดยทำการสกัดแบบต่อเนื่องใช้หน่วยสกัดจำนวน 3 หน่วยแต่ละหน่วยประกอบด้วย ถังสกัด ถังพักสารละลาย และชุดระเหยสุญญากาศ พบว่าอุณหภูมิ 50 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยระยะเวลาในการสกัดควรนานกว่า 15 นาที และใช้สัดส่วนน้ำกลั่นต่อเปลือกขนุนอบแห้ง 15:1 การใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลายจะได้ปริมาณพรีไบโอติกสูงขึ้น และการสกัดด้วยเปลือกขนุนสดยิ่งได้พรีไบโอติกมากขึ้น แต่การใช้เปลือกขนุนอบแห้งมีข้อได้เปรียบที่สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าซึ่งเหมาะกับการผลิตในปริมาณมาก

สุพจน์ นวลละออง และคณะ (2551) สกัดพรีไบโอติกจากเปลือกลูกตาลด้วยน้ำกลั่นและเอทธานอล 95% ในสภาวะต่าง ๆ เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ เวลาในการสกัด อัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาลกับตัวทำละลาย ชนิดของตัวทำละลาย และทดสอบการเจริญของโพรไบโอติก พบว่าสารที่สกัดได้มีความเป็นพรีไบโอติกโดยสามารถส่งเสริมการเจริญของ *Lactobacillus plantarum* ได้

ผลงานวิจัยเบื้องต้นโดย Wichienchot and Jatupornpipat (2009) ทำการสกัดสารพรีไบโอติกจากแก้วมังกรเนื้อแดงและแก้วมังกรเนื้อขาว พบว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง และ พันธุ์เนื้อขาวให้ปริมาณสารพรีไบโอติกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (8.9% และ 8.6% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ) แต่เนื่องจากแก้วมังกรเนื้อขาวมีการปลูกและบริโภคในปริมาณที่มากกว่า เป็นผลให้ราคาของแก้วมังกรเนื้อขาวถูกกว่า การนำแก้วมังกรเนื้อขาวมาใช้ประโยชน์จึงมีศักยภาพมากกว่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลจากการวิจัยคุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาว พบว่า สามารถทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในสภาวะจำลองปาก โดยมีค่าการย่อยที่ pH 4 -8 เป็น 2.09%, 3.08%, 3.28%, 6.88%, และ 11.18% ตามลำดับ มีความสามารถต้านทนการย่อยด้วยสภาวะกรดจำลองในกระเพาะอาหาร โดยมีอัตราการย่อยที่ pH 1 2 3 4 และ 5 เป็น 4.07% 2.43% 1.66% 0.85% และ 0.02% ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถต้านทานการย่อยได้ดีกว่าอินนูลินซึ่งเป็นพรีไบโอติกทางการค้าที่ใช้เปรียบเทียบ สามารถส่งเสริมการเจริญของโพรไบโอติกสายพันธุ์ *L. delbrueckii* BCC 13296 ได้ดี อย่างไรก็ตามผลการทดลองดังกล่าวทำโดยทดสอบกับเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งในความเป็นจริงการรับประทานเนื้อแก้วมังกรจะเกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ที่มีในลำไส้ใหญ่ที่มีความซับซ้อนมากกว่า เนื่องจากมีจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่แตกต่างกันมากกว่า 400 สายพันธุ์

Tatdao and Frank (2009) ทำการสกัดอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากแก่นตะวัน พบว่า สามารถสกัดสารพรีไบโอติกได้ โดยการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 98-99°C เป็นเวลา 10 นาที กรองโดยใช้ผ้ามัสลิน และทำการระเหยน้ำออกไป50% จากนั้นนำมาแยกสิ่งเจือปนออก โดยการตกตะกอนด้วย 5% Calcium hydroxide ทำการกรองตะกอนออกและฟอกสีสารละลายด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Activated carbon จากนั้นกรองและทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 12 องศาบริกซ์ จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสาระลายและตะกอนออกจากกันอีกครั้ง จากนั้นนำอินนูลินที่สกัดได้ไปทำแห้งผ่านกระบวนการ Spray-dried จากนั้นนำอินนูลินที่สกัดได้มาทำการทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติก โดยนำมาทดสอบการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก 3 ชนิด คือ *L.acidophilus L. casei* และ *B. bifidum* พบว่า อินนูลินที่สกัดได้สารมารถทำให้เชื้อโพรไบโอติกทุกชนิดเจริญและอยู่รอดได้ไม่แตกต่างจากการใช้อินนูลินทางการค้า

ตารางที่ 2-1 แสดงปริมาณอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบในพืช

พืช	อินนูลิน (% fresh weight)	ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (% fresh weight)
Onion	2-6	2-6
Jerusalem artichoke	16-20	10-15
Chicory	15-20	5-10
Leek	3-10	2-5
Garlic	9-16	3-6
Artichoke	3-10	< 1
Banana	0.3-0.7	0.3-0.7
Barley	0.5-1.5	0.5-1.5
Yacon	3-19	3-19
Salsify	4-11	4-11
Wheat	1-4	1-4
Asparagus	1-30	5-10

ที่มา: Van et al. (1995)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สร้างเอนไซม์ β-fructofuranosidase มาย่อยพันธะในภายใน Fructooligosaccharide ได้ เป็นต้น ในขณะที่ พรีไบโอติกที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลสูงจะสามารถถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียได้น้อยลงหรืออาจกล่าวได้ว่าพรีไบโอติกที่ดีควรที่จะมีขนาดเล็ก (Degree of polymerization) ซึ่งสารพรีไบโอติกดังกล่าวสามารถพบได้ในผักและผลไม้หรืออาจจะได้จากการสังเคราะห์โดยการย่อยสารในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์หรือการสังเคราะห์โดยการใช้เอนไซม์ซึ่งชนิดและโครงสร้างของของพรีไบโอติกที่มีการให้ในปัจจุบันได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบทางเคมีของพรีไบโอติกกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์

Oligosaccharide (example)	Chemical composition
Fructo-oligosaccharides (Raftilose P95)	95% oligosaccharides β (2-1) fructan; 60% glucose, $fructose_{(n)}$, 40% $fructose_{(n)}$ dp 2-8, average 4-5
Inulin	>99% oligosaccharides β (2-1) fructan; average dp 10-12
Pyrodextrins	Complex mixture of glucose-containing oligosaccharides
Transgalactosylated oligosaccharides (Oligomate 55)	Mainly 6' galactosyllactose, dp of oligosaccharide fraction 2-5 (primarily dp 3); 55% pure
Galacto-oligosaccharides	Oligogalactose (85%), small amounts of glucose, galactose, and lactose
Soya oligosaccharides	Stachyose (fructose, galactose, galactose, glucose) and raffinose (fructose, galactose, glucose), dp 3-4
Xylo-oligosaccharides	β (1-4) linked xylose; 70% pure, dp of oligosaccharide fraction 2-4
Isomalto-oligosaccharides	Mixture of α (1-6) linked glucose oligomers (isomaltose, panose, isomaltotriose)
Lactolose	Galactose and fructose-containing disaccharide

ที่มา : George et al. (1999)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. การทดสอบสมบัติความเป็นพรีไบโอติก

การกล่าวอ้างคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของอาหารจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ที่ชัดเจน โดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในการศึกษาสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส่วนใหญ่แล้วเกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ที่พบในทางเดินอาหาร ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่มีอยู่หลายแบบดังนี้ (Gibson & Wang, 1994)

1. การใช้เชื้อบริสุทธิ์ (Pure culture) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการศึกษาสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของสาร โดยการใช้แบคทีเรียบริสุทธิ์ที่เลือกมาศึกษามาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อพื้นฐานที่มีการเติมสารอาหารที่ต้องการทดสอบแล้วนำมาวัดการเจริญในช่วงเวลาต่างๆของการบ่มเชื้อเปรียบเทียบการเจริญกับเชื้อที่เลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติมสารอาหารที่ทดสอบ

2. การใช้เชื้อผสม (Mixed culture) จัดเป็นวิธีสามัญที่ใช้ในการวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ แต่วิธีนี้ทำในระบบปิดที่มีสารอาหารจำกัดจึงเหมาะสมกับการศึกษาระยะสั้น ซึ่งแตกต่างกับสภาวะจริงในลำไส้ใหญ่ที่มีสารอาหารใหม่ผ่านอยู่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบหมักที่มีการเติมสารอาหารใหม่เข้าสู่ระบบหมักอย่างต่อเนื่อง โดยควบคุมอัตราการไหลเข้า-ออกและตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการหมักในลำไส้

3. ระบบลำไส้ใหญ่จำลอง (*In vitro* colon model) ในการพัฒนาระบบลำไส้ใหญ่จำลองต้องเลียนแบบส่วนต่าง ๆ ของลำไส้ใหญ่ที่มีค่าตัวแปรต่างกัน ข้อมูลที่ได้จากระบบจำลองนี้สามารถสะท้อนสภาวะที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ได้จริง จึงสามารถนำมาใช้ในการประเมินความเป็นพรีไบโอติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การใช้สัตว์ทดลอง (Animal trials) โดยมากมักใช้หนูในการทดสอบการเป็นพรีไบโอติกของสาร ซึ่งมีข้อเสียคือสัตว์ทดลองมีลักษณะทางสรีระวิทยาของทางเดินอาหารที่แตกต่างไปจากมนุษย์

5. การทดลองกับมนุษย์ (Human trials) ซึ่งมักเป็นในลักษณะการให้อาสาสมัครรับประทานสารที่ต้องการทดสอบ แล้วตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาในอุจจาระ ซึ่งเป็นวิธีเดียวที่จะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงในลำไส้ได้ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือต้องมีการวิเคราะห์ตัวอย่างอุจจาระทันทีรอไม่ได้ เนื่องจากสภาวะการเก็บสามารถเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในอุจจาระไปจากเดิมได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการตรวจสอบที่ใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุลในการตรวจสอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Adriano et al. (2009) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเป็นอาหารที่มีศักยภาพสูงมากที่จะเป็นแหล่งของโพรไบโอติกได้ เนื่องจากผู้บริโภคทุกเพศ ทุกวัย และทุกสังคมต่างชื่นชอบไอศกรีม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อย่างไรก็ตามการจะผลิตไอศกรีมให้มีปริมาณโพรไบโอติกเพียงพอควรต้องมีการเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมและมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ การเลือกใช้สายพันธุ์เชื้อ ความเข้มข้นของปริมาณเชื้อที่เติม ขั้นตอนในการเติมเชื้อ การเข้มงวดกับกระบวนการผลิต การเคลื่อนย้าย และการเก็บรักษา

Ranadheera et al. (2009) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการนำสารพรีไบโอติกมาใช้ในผลิตภัณฑ์ Dairy Product ประเภท ไอศกรีม โยเกิร์ต และ นมเปรี้ยว พบว่า สารพรีไบโอติกนั้นมีประโยชน์โดยช่วยส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก และช่วยทำให้เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก สามารถดำรงชีวิตอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ดี ประโยชน์ของสารพรีไบโอติกต่อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหารแสดงดังตารางที่ 2-4

นอกจากนั้นแล้วจากการรวบรวมข้อมูล ยังพบว่าในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมการเติมสารพรีไบโอติกลงไป นอกจากมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกแล้ว ยังพบว่าสารพรีไบโอ-ติกที่เติมลงไปนั้น สามารถทดแทนส่วนประกอบต่าง ๆ ในไอศกรีมได้อีกด้วย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2-5

Schaller – Povolony and Smith (1999) ศึกษาการใช้อินนูลินทดแทนน้ำตาลคอร์นไซรัปในไอศกรีมไขมันต่ำ โดยแปรปริมาณอินนูลินที่ทดแทนเป็น50% และ 100% จากนั้นนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้าน ความเป็นผลึกน้ำแข็ง (Iciness) การเคี้ยว (Chewiness) กลิ่นรสวานิลา (Vanilla flavor) และ ความหวาน (Sweetness) โดยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive analysis) และการทดสอบความเข้มของคุณลักษณะ (Attribute intensity scaling) พบว่า การใช้อินนูลินทั้งสองระดับ ช่วยลดการสร้างผลึกน้ำแข็งใหม่ระหว่างการเก็บรักษา เพิ่มความหนืด และลดความหวาน

Nagar et al. (2002) ทำการศึกษาการใช้อินนูลินทดแทนสารเพิ่มความคงตัว ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต พบว่าการเติมอินนูลิน จะช่วยเพิ่มความหนืดและความแน่นแข็งและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ต

Kowittaya et al. (2007) ศึกษาการใช้อินนูลินทดแทนไขมันในไอศกรีมไขมันต่ำ โดยแปรชนิด (สายสั้นและสายยาว) และปริมาณ (3%, 6%, และ 9%) ของอินนูลินเพื่อเติมในไอศกรีมไขมันต่ำ (ไขมัน 3%) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ในด้านความหนืด % overrun Hardness และอัตราการละลาย พบว่า การใช้อินนูลินสายสั้นและสายยาวผสมกัน ในปริมาณเท่ากันคือ 3% ช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมให้คล้ายกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมัน 9%) มากที่สุด และพบว่าการใช้อินนูลินช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีมลงได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-4 ประโยชน์ของสารพรีไบโอติกต่อเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร

Food	**Prebiotics**	**Probiotics**	**Effect**	**Reference**
Ice Cream	Inulin	*L. acidophilus* *B. lactic*	Viability	Akin et al. (2007)
Yoghurt	Hi-maize/ Resistant Starch	*L. acidophilus* *L. casei*	Growth and viability	Dondor et al. (2007)
	Inulin	*L. acidophilus* *L. casei* *L. rhamnosus* *L. reuteri* *Bifidobaceterium*	Growth and viability	Hekmat, Soltani, and Reid (2009) Aryana and McGrew (2007) Donkor et al. (2007) Capela et al. (2006)
	Fructooligosaccharides	*L. acidophilus* *L. casei* *L. rhamnosus* *Bifidobaceterium* *B. animalis* *B. longum*	Viability and fatty acid production	Akalin, Tokusoglu, Gonc, and Aycan (2007) Akalin, Fenderya, and Akbulut (2004) Capela et al. (2006)
Fermented milk	Polydextose	*L. acidophilus* *L. rhamnosus* *B. animalis sub sp. lactic*	Growth, viability and fatty acid production	Oliveira et al. (2009)
	Oligofructose	*L. acidophilus* *L. rhamnosus* *B. animalis subsp. lactic*	Growth, viability and fatty acid production	Oliveira et al. (2009)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ตารางที่ 2-5 การศึกษาการใช้สารพรีไบโอติกทางการค้าเพื่อทดแทนส่วนผสมบางชนิดในไอศกรีม

Type of ice cream	Prebiotic	Probiotic	Properties	Ref.
Low fat	inulin	--	Sweetener	Schaller – Povolony and Smith (1999)
	inulin	--	Reduce fat	Kowittaya et. al. (2007)
	inulin	*L. Acidophilus* *B. animalis*	Reduce fat	Akalin and Erisir, (2008)
	inulin	--	Stabilizer	Nagar et. al. (2002)
Yoghurt	Fructooligosaccharides (FOS)	*Lc. Lactis spp. Cremoris*	Increase viability	Puttawan (2007)

Puttawan (2007) ศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติก (Fructooligosaccharide, FOS) และ สารป้องกันอันตรายจากความเย็น ที่ส่งผลต่อการเหลือรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก (*Lc. Lactis spp. Cremoris*) ในไอศกรีมโยเกิร์ต โดยแบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 3 สิ่งทดลอง คือ ไอศกรีมโยเกิร์ตที่ไม่มีการเติมพรีไบโอติก และ สารป้องกันอันตรายจากความเย็น(ควบคุม) ไอศกรีมโยเกิร์ตที่มีการเติมพรีไบโอติก ชนิด Raftilose^{R} 95 1.5% (Fructooligosaccharide) และไอศกรีมโยเกิร์ตที่มีการเติมสารป้องกันอันตรายจากความเย็น ชนิด Unipectine ™ RS 150 2.5%

ผลการศึกษา พบว่า การเติม FOS ทำให้จุลินทรีย์โพรไบโอติก L. *lactis ssp. Cremoris* มีปริมาณการเหลือรอดไม่ต่างจากตัวอย่างที่เติมสารป้องกันอันตรายจากความเย็น

Akalin and Erisir (2008) ศึกษาการใช้อินนูลินในไอศกรีมเสริมโพรไบโอติกไขมันต่ำ โดยทำการวิเคราะห์ผลของอินนูลินต่อคุณสมบัติทางกายภาพในด้านFirmness และ ทำการวิเคราะห์การเจริญของชื้อโพรไบโอติก *L. acidophilus* (La-5), *B. animalis* (Bb-12) พบว่า การเติมอินนูลิน 4% ส่งเสริมการอยู่รอดของ *L. acidophilus* และ *B. animalis* ได้ และช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

323068

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโพรไบโอติกและพรีไบโอติก เพื่อให้ได้ประโยชน์ต่อสุขภาพจะต้องตระหนักถึงปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เหลือรอดอยู่ในไอศกรีม โดยควรมีปริมาณเชื้อโพรไบโอติกไม่ต่ำกว่า 10^5-10^6 cfu/g ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลมีหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ชนิดของโพรไบโอติก กระบวนการผลิต ความเป็นกรดของอาหาร การสร้างกรดระหว่างการเก็บรักษา ความเข้มข้นของน้ำตาล ความไวของเชื้อต่อสารปฏิชีวนะ และปริมาณสารอาหารในนม (Dave & Shah, 1996) นอกจากนี้ปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งได้แก่ ด้านสภาวะการแช่แข็งและการเก็บรักษาซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Gilliland and Lara (1988) พบว่า แบคทีเรียแลกติกมีอัตราการอยู่รอดสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ Helmat and McMahon (1992) ศึกษาการอยู่รอดของ *L.acidophilus* และ *B.bifidum* ในไอศกรีมเหลวและไอศกรีมโยเกิร์ตเป็นเวลา 17 สัปดาห์ พบว่า *L.acidophilus* และ *B.bifidum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในไอศกรีมเหลวและสามารถอยู่รอดได้ในระหว่างการแช่แข็ง โดย *L.acidophilus* ลดลงจาก 1.5 x10^8 เป็น 4 x10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ส่วน *B.bifidum* ลดลงจาก 2.5 x10^8 เป็น 1 x10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อจำนวนเชื้อที่อยู่รอด

Ravula and Shah (1998) ศึกษาความสามารถในการเจริญของโพรไบโอติกในไอศกรีมโยเกิร์ต พบว่า *Lb. acidophilus* และ *B. bifidum* ถูกทำลายโดยกระบวนการแช่แข็งเพียงเล็กน้อย โดยการลดลงของ *Lb. acidophilus* ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อส่วน *B. bifidum* มีปริมาณลดลง 10 % ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ 5.6-5.8 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Modler and others (1990) ที่พบว่าการเก็บรักษาไอศกรีมโยเกิร์ตในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 70 วัน ทำให้บิฟิโดแบคทีเรียอยู่รอดได้ 90 %

Capela and others (2005) ได้ศึกษาผลการใช้สารป้องกันอันตรายจากความเย็น พรีไบโอติก และการทำให้เกิดสารห่อหุ้มเซลล์ ในโยเกิร์ต พบว่า การใช้สารป้องกันกันตรายจากความเย็นชนิด Unipectin ที่ 2.5 % สามารถเพิ่มการอยู่รอดของ *Bifidobacterium longum* ได้ประมาณ 80 % และเพิ่มการอยู่รอดของ *Lactobacillus* spp. ได้ประมาณ 30 % และการใช้พรีไบโอติกชนิดฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณ 1.5 % จะช่วยเพิ่มการเหลือรอดชีวิตของโพรไบโอติกได้ดีที่สุด โดยมีจำนวนประมาณ 8.7 log cfu/g และในการทำให้เกิดการห่อหุ้มเซลล์ของโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งพบว่า หลังจาก 6 เดือน ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 21 องศาเซลเซียส เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกมีการเหลือรอดเพิ่มมากขึ้น

โพรไบโอติก (Probiotic)

Parker (1974) ได้ให้ความหมายของคำว่า โพรไบโอติก (Probiotic) ไว้ว่า หมายถึง จุลินทรีย์หรือสารที่ช่วยในเรื่องความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ต่อมา Fuller (1989) ได้ให้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความหมายของคำว่าโพรไบโอติกใหม่ว่า เป็นอาหารเสริมพวกจุลินทรีย์มีชีวิตที่มีประโยชน์ต่อสัตว์ โดยไปส่งเสริมความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยมีจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตในปริมาณที่เพียงพอ (ไม่น้อยกว่า$10^5 - 10^6$ โคโลนีต่อกรัม) ต่อการทำหน้าที่ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร เรียกว่า อาหารโพรไบโอติก

จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ จุลินทรีย์ในสายพันธุ์ *Bifidobacterium* ssp. และ *Lactobacillus* ssp. โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์นมหมัก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการใช้มานาน และพบว่ามีความปลอดภัยต่อสุขภาพ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541)

1. *Bifidobacterium* spp.

Bifidobacteria แยกได้ครั้งแรกจากอุจจาระของทารกในปี ค.ศ. 1899-1900 โดย Tissier ปัจจุบันประกอบด้วยสมาชิก 30 สปีชีส์ (Gomes & Malcata, 1999) มีสมบัติสำคัญ คือ แบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ไม่ให้เอนไซม์คะทะเลส เคลื่อนที่ด้วยตัวเองไม่ได้ และไม่สร้างสปอร์ ไม่เจริญในสภาพที่มีออกซิเจน ช่วงอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ คือ 25-28 °C อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้คือ 43-45 °C แบคทีเรียนี้เจริญได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0-8.0 (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2540) สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดอะซิติก และกรดแลคติกในอัตราส่วน 3:2 ไม่สังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะผลิตกรดแลกติกในรูป L(+) ซึ่งร่างกายใช้ในระบบเมแทบอลิซึมได้มากกว่า กรดแลคติกในรูป L(-) (อิศรา วัฒนนภาเกษม, 2545)

2. *Lactobacillus ssp.*

พวกนี้มีรูปร่างเป็นท่อนค่อนข้างยาวมักเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ เป็นพวกต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ (Microaerophiclic) แต่มีบางชนิดเป็นพวกแอนแอโรบ ไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลส ย้อมติดสีแกรมบวก สลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (Homofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเกือบทั้งหมด มีกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่น ๆ บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นพวกเฮตเทอโร-เฟอร์เมนเททีฟ (eterofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้สารระเหยได้รวมทั้งแอลกอฮอล์ในปริมาณมากใกล้เคียงกับกรดแลคติก ตัวอย่างของโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ และเฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-6

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-6 การแบ่งกลุ่มของ Lactobacilli ตามชนิดของผลผลิตและอุณหภูมิที่เหมาะสม

อุณหภูมิที่เหมาะสม	โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ	เฮตเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ
ไม่ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	*L. acidophilus* *L. bularicus*	*L. fermentum*
	L. helveticus *L. lictis*	
	L. thermophilus *L.delbrueckii*	
ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	*L. plantanum* *L. leichmanii*	*L. brevis* *L. bruchmeri*
	L. casei	*L. pastorianus* *L. hilgardii*
		L. trichodes

ที่มา: (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541)

1. คุณสมบัติของโพรไบโอติก

โพรไบโอติกเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งส่งเสริมสุขภาพของเจ้าบ้านให้ดีขึ้น ดังนั้นการที่แบคทีเรียโพรไบโอติกสามารถเจริญและผ่านลงไปในลำไส้ใหญ่ต้องมีคุณสมบัติหลายประการเพื่อสามารถทนต่อสภาวะที่รุนแรงในทางเดินอาหารส่วนบนและผ่านลงไปเจริญในลำไส้ใหญ่ได้ ซึ่งแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1.1 สามารถทนต่อกรดในกระเพาะอาหารได้ดี ร่างกายมีการหลั่งของกรดไฮโดรคลอริกเพื่อช่วยในการย่อยอาหารทำให้พีเอชในกระเพาะอาหารค่อนข้างต่ำ จะอยู่ในช่วง 1-3 ดังนั้นแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ดีต้องมีความสามารถในการทนต่อพีเอชในช่วงนี้ จึงจะสามารถเหลือรอดไปสู่ทางเดินอาหารส่วนลำไส้ได้ (Kontula et al., 1998)

1.2 สามารถทนต่อเกลือน้ำดีได้ เนื่องจากในทางเดินอาหารส่วนต้นโดยเฉพาะบริเวณลำไส้เล็กจะมีเกลือน้ำดีที่หลั่งจากตับอ่อนเข้ามาช่วยในการย่อยอาหารจำพวกไขมัน ซึ่งจะมีความเข้มข้นของเกลือน้ำดี 0.15% 0.30% (Erkkila & Pctaja, 2000) ความสามารถในการทนเกลือน้ำดีจะทำให้โพรไบโอติกสามารถผ่านและเจริญในลำไส้ได้

Hyronimus et al. (2000) ศึกษาผลของเกลือน้ำดีต่อการเจริญของ spore-forming lactic acid bacteria ที่ความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, และ 0.3% พบว่า *B. racemilacticus* และ *B. coagulans* สามารถทนต่อเกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 0.3% ได้

Shirota (1962 อ้างโดย Gibson & Anngus, 2000) ศึกษาการทนต่อเกลือน้ำดีของโพรไบโอติกที่แยกจากสัตว์น้ำ พบว่า Lactobacillus สายพันธุ์ที่ทนต่อเกลือน้ำดีได้สูง ได้แก่ *L.*

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

bulgaricus, *L. fermenti*, *L. casei*, และ *L. acidophilus* ทนเกลือน้ำดีที่ความเข้มข้น 2% 4% 10% และ 12 % ตามลำดับ

1.3 สามารถแข่งขันกับเชื้อก่อโรคในการยึดเกาะผนังลำไส้ ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียก่อโรคเข้าเกาะและต่อต้านการเคลื่อนที่ของลำไส้ที่มีการบีบตัวให้อาหารเคลื่อนที่ในลักษณะลูกคลื่น (Peristalsis) ซึ่งการเกาะของโพรไบโอติกนี้จะช่วยในการ colonization ของโพรไบโอติกได้ และยังช่วยให้การย่อยอาหาร และการดูดซึมเป็นไปอย่างปกติ (Fuller, 1993)

ตารางที่ 2-7 กลุ่มของเชื้อแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก

Lactobacillus sps	**Bifidobacterium species**	**Other lactic acid Bacteria**	**Other microorganism**
L. acidophilus	*B. adolescentis*	*Enterococcus faecalis*	*Propionibacterium fredenreicgii*
L. amylouorus	*B. animalis*	*Enterococcus feacium*	*Saccharomyces cerevisiae*
L. casei	*B. bifidum*	*Lactococus lactis*	*Saccharomyces boulardii*
L. crispatus,	*B. breve*	*Leuconostoc mesenteroides*	*Propionibacterium fredenreicgii*
L. gallinarumm	*B. infantis*	*Pediococus acidilactici*	
L. gasseri,	*B. lactis*	*Sporolactobacillus inulinus*	
L. johaonii,	*B. longum*	*Streptococcus thermophilus*	
L. paracasei			
L. plantarum			
L. reuteri,			
L.rhamnosus			
L.salivarius			

ที่มา : Holzapfel et al. (1998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ประโยชน์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติก

2.1 ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในทางเดินอาหาร เนื่องจากกรดแลคติกซึ่งเป็นสารหลักที่แบคทีเรียผลิตออกมามีผลทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย นอกจากกรดแลคติกแล้วยังมีสารอื่น เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิกและกรดเบนโซอิก แม้มีปริมาณไม่มากแต่ในสภาวะที่เป็นกรด กรดเหล่านี้สามารถยับยั้งจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมลบที่ทำให้เกิดโรค นอกจากนี้ยังให้สารที่มีสมบัติทางปฏิชีวนะ เรียกว่า แบคเทอริโอซินส์ (Bacteriocins) สามารถยับยั้งแบคทีเรียในลำไส้ที่ทำให้เกิดโรค เช่น Salmonella และ Shigella ได้ด้วย (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

2.2 ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด มีงานวิจัยพบว่า *L. acidophilus* สามารถย่อยและลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลได้ (Kalantzopoulos, 1997) นอกจากนี้ Abd EL-Ganwad et al. (2005) ยังพบว่าการให้หนูบริโภคอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงร่วมกับโยเกิร์ตนมควาย และโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่มีเชื้อ *B.fidobacterium lactis* (Bb 12) หรือ *B.fidobacterium longum* (Bb 46) จะช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด คอเลสเตอรอลชนิด VLDL (Very low-density lipoprotein) และคอเลสเตอรอลชนิด LDL (Low-density lipoprotein) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.3 สร้างระบบภูมิคุ้มกันต้านเซลล์มะเร็ง โดยก่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเซลล์มะเร็งโดยตรง หรือกำจัดเซลล์ที่จะกลายเป็นเซลล์มะเร็งต่อไป ช่วยลดระดับของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากโปรคาร์ซิโนเจน (Procarcinogens) ไปเป็นคาร์ซิโนเจน (Carcinogens) จึงลดความเสี่ยงในการเกิดเซลล์มะเร็ง จากการศึกษาของ Goldin and Gorbach (1984) พบว่าเมื่อคนบริโภคนมที่มีเชื้อ *L. acidophilus* จะมีผลต่อกิจกรรมของแบคทีเรียในลำไส้ มีผลทำให้ระดับของเอนไซม์เบต้า-กลูคูโรนิเดส (β-glucuronidase) เอนไซม์อะโซรีดักเทส (Azoreductase) และเอนไซม์ในโตรรีดักเทส (nitroreductase) ในอุจจาระลดลงประมาณ 2 ถึง 4 เท่า และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งเซลล์ของแบคทีเรียแลคติกหรือชิ้นส่วนของผนังเซลล์สามารถกระตุ้นเม็ดเลือดขาวในร่างกายได้ พบว่า *L. acidophilus* *L. Bulgaricus* และ Bifidobacterium ชักนำให้เกิดสารแอลฟาอินเทอเฟอรอน ซึ่งมีหน้าที่ต้านไวรัสและต้านการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์แปลกปลอม

2.4 แก้ไขปัญหาการแพ้น้ำตาลแลคโตส เนื่องจากแลคติกแอซิดแบคทีเรียสามารถผลิตเอนไซม์เบต้า-กาแลคโตซิเดสขึ้นมาเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส กับกาแลคโตส จากนั้นน้ำตาลกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ทำให้ผู้บริโภคที่ไม่มีเอนไซม์แลคเตสสามารถบริโภคนมได้โดยไม่มีอาการท้องเสีย (นพวรรณ พร้อมชื่นชม, 2548)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.5 เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน โดยกรดแลคติกที่แบคทีเรียสร้างขึ้นในนมหมักมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของตะกอนเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากในนม จะช่วยให้การย่อยเคซีนง่ายขึ้น ช่วยให้มีการหลั่งน้ำลายและเอนไซม์ในกระเพาะอาหารและตับอ่อน ช่วยให้การเคลื่อนไหวของลำไส้ดีขึ้น นอกจากนี้ที่แบคทีเรียผลิตออกมายังช่วยย่อยโปรตีนให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก (เปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ) ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

2.6 เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดย *B. bifidum* สามารถสังเคราะห์วิตามินบีได้ และเพิ่มการดูดซึมแคลเซียม

3. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อโพรไบโอติก

แบคทีเรียแลคติกที่สมควรได้รับการพิจารณาคัดเลือก เพื่อนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกควรมีลักษณะดังนี้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

3.1 มีสมบัติเป็นโพรไบโอติกที่มีหลักฐานเป็นเอกสารเชื่อถือได้

3.2 มีสมบัติคล้ายกับสมบัติของเชื้อที่ใช้หมักนมแบบพื้นบ้าน เช่น เกิดกรดแลคติกเร็วโดยลำพังตัวของแบคทีเรียนั้น ๆ หรือเกิดร่วมกับเชื้ออื่น ๆ

3.3 ควรเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ง่ายในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก และทนต่อกรดแลคติคที่เกิดขึ้นเพื่อจะได้มีชีวิตรอดในระหว่างการเก็บรักษานมหมัก

3.4 สายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ควรเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรส สมบัติทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.5 มีบทบาทที่ต้องการในลำไส้ คือ เป็นสายพันธุ์ที่รอดชีวิตได้เมื่อผ่านกระเพาะอาหาร สามารถเพิ่มจำนวนในลำไส้เล็ก และทนต่อเกลือน้ำดีขณะอยู่ในลำไส้เล็กส่วนปลาย

แก้วมังกร

แก้วมังกร หรือ Dragon fruit มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus undatus* จัดเป็นต้นไม้ประเภทเลื้อยอยู่ในวงศ์ Caetaceae หรือ กระบองเพชร มีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาและเอเชีย นิยมปลูกมากในประเทศเวียดนามและต่อมาได้มีการนำมาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2537 โดยมีการศึกษาและเผยแพร่จนทำให้คนไทยมีความคุ้นเคยมากขึ้น (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2545)

1. ลักษณะทางพฤกษาศาสตร์

แก้วมังกรเป็นพืชตระกูลเดียวกับกระบองเพชร รูปร่างและลักษณะของลำต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คล้ายกระบองเพชรที่คนไทยคุ้นหู ลำต้นมีลักษณะเป็นสีเขียวเข้ม ยกเว้นต้นอ่อนที่เป็นสีเขียวอ่อน จะแยกเป็น 3 แฉก มีหยักโดยตลอด รากของแก้วมังกรจะอยู่ลึกลงไปในดินโดยจะเกาะตัวกันมองดูไม่เป็นระเบียบ บางครั้งอาจเห็นรากของแก้วมังกรเลื้อยตามวัตถุที่อยู่ใกล้ เนื่องจากรากแก้วมังกรสามารถที่จะเลื้อยเกาะไปในบริเวณที่รากพืชแสวงหาอาหารได้ ก่อนหน้านี้พบว่าแก้วมังกรสามารถอยู่กับพืชบริเวณใกล้เคียงได้ทั้งหมด โดยอยู่ในลักษณะการเกาะเหมือนกาฝาก ดูดน้ำเลี้ยงจากพืชที่มันเกาะอยู่เพื่อเป็นอาหาร จนพืชเหล่านั้นต้องตายในที่สุดเนื่องจากขาดอาหารในการหล่อเลี้ยงต้นที่เพียงพอ เมื่อนับระยะเวลาในการออกดอกตั้งแต่เริ่มปลูกในแปลงจนมีดอกใช้เวลาประมาณ 8-12 เดือน ตุ่มดอกจะขึ้นที่บริเวณปลายกิ่ง มีสีเขียวอ่อน โดยจะใช้เวลาประมาณ 14 วันในการกลายเป็นดอกแก้วมังกร ซึ่งดอกนั้นจะมีความยาวประมาณ 30 ซม. ลักษณะของดอกเวลาบานเต็มที่จะมีลักษณะคล้ายแตรปากบาน บานตอนหัวค่ำหรือตอนกลางคืนและถ้ามีแสงโผล่เข้ามาก็จะหุบไปโดยธรรมชาติ ส่วนผลอ่อนมีสีเขียว ทรงกระบอก มีสัณฐานรูปร่างคล้ายลูกยอ เมื่อติดผลแล้วไม่เกิน 5 สัปดาห์ผลอ่อนแก้วมังกรจะสุก ลักษณะผลของแก้วมังกรเมื่อมองจากภายนอกจะมีรูปร่างเป็นวงรี เปลือกมีสีชมพูอมแดงบางสายพันธ์อาจจะเป็นสีเหลืองทอง ภายนอกจะมีกลีบเลี้ยงอยู่ประมาณ 5-10 กลีบ โดยประมาณ เมื่อผ่าครึ่งออกเป็นสองซีกจะพบว่า เนื้อมีลักษณะโดยรอบเป็นวงกลมคล้ายส้ม มีสีขาว เหลือง แดง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ภายในเนื้อแก้วมังกรจะมีเมล็ดคล้ายเมล็ดงาหรือเมล็ดแมงลักติดอยู่โดยทั่วไป

2.พันธุ์ของแก้วมังกร

พันธุ์ของแก้วมังกรที่นิยมปลูกอยู่ในโลกมีเพียง 2 ชนิด คือ พันธุ์เนื้อขาว และพันธุ์เนื้อแดง ส่วนสายพันธุ์อื่น ๆ ใช้เป็นเพียงแม่พันธุ์ในการปรับปรุงเพื่อให้ได้ลักษณะที่ดีขึ้น สกุล Hylocereus มีอยู่ 18 ชนิด และพบว่า ปัจจุบันชนิดของพันธุ์แก้วมังกรที่ปลูกเพื่อการค้าในประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์เวียดนามซึ่งเป็นพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัย พันธุ์ไทย และพันธุ์ไต้หวัน ซึ่งทั้ง 3 พันธุ์มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-8

3. คุณค่าทางอาหาร

ข้อมูลการวิเคราะห์คุณค่าของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงที่สุกเต็มที่แสดงในตารางที่ 2-9 โดยพบว่าแก้วมังกรเนื้อขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด นอกจากนี้พบว่าแก้วมังกรทั้งสองชนิดมีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน (รภัสสา จันทาศรี, 2545)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-8 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสีย ของแก้วมังกรที่ปลูกเพื่อการค้าในประเทศไทย

พันธุ์ของแก้วมังกร	ข้อดี	ข้อเสีย
พันธุ์เวียดนาม	1.ผลมีขนาดใหญ่ มีกลีบเลี้ยงบนผลจำนวนน้อย น้ำหนักผลมาก เปลือกผลหนา 2.ทนต่อการขนส่งในระยะทางไกล	1.รสชาติจืด 2.เนื้อเละง่าย 3.สีผลไม่ค่อยสวย
พันธุ์ไทย	1.รสชาติหวานอร่อย 2.สีผลสวย	1.ผลขนาดเล็ก 2.ไม่ทนต่อการขนส่ง 3.เปลือกบาง เน่าเละง่าย
พันธุ์ไต้หวัน	1.ผลมีขนาดปานกลาง รสชาติหวานมาก 2.สีผลสวย	1.ไม่ทนต่อการขนส่ง 2.เปลือกบาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-9 คุณค่าทางอาหารของผลแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวและพันธุ์เนื้อแดงต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
	แก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาว	แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	11.20	-
โปรตีน (กรัม)	1.10	0.16 – 0.23
ไขมัน (กรัม)	0.57	0.21 – 0.61
เถ้า (กรัม)	0.56	-
ความชื้น (กรัม)	85.30	82.5 – 83.0
เส้นใยรวม (กรัม)	1.34	0.7 – 0.9
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	67.70	-
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	3.0	8.0 – 9.0
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	2.8	-
วิตามินเอ (มิลลิกรัม)	0.01	-
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.20	6.3 – 8.8
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.37	0.55 – 0.65
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	38.90	-
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	27.50	30.2 – 36.1
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	272.00	-
โซเดียม (มิลลิกรัม)	8.90	-
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.35	-
แคโรทีน (มิลลิกรัม)	-	0.005 – 0.012
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	-	0.28 – 0.043
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	-	0.043 – 0.045
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	-	0.297 – 0.43

ที่มา: รภัสสา จันทาศรี (2545)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชัน

จากปัญหาการลดจำนวนของจุลินทรีย์ที่อยู่รอดในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำได้มีการหาแนวทางการปรับปรุงการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ ทำได้โดยการใช้เทคนิคไมโครเอน-แคปซูเลชัน ซึ่งหมายถึง กระบวนการที่เซลล์ถูกห่อหุ้มไว้ภายในเยื่อหุ้ม (Encapsulating membrane) เพื่อลดการบาดเจ็บของเซลล์หรือการสูญเสียของเซลล์จากสภาวะแวดล้อม วิธีไมโครเอนแคปซูเลชันได้ถูกประยุกต์ใช้ในการเคลือบเซลล์โพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์นมหมัก หรือการผลิตมวลเซลล์ (Biomass production) สามารถเพิ่มการรอดชีวิตของโพรไบโอติกเพิ่มขึ้นถึง 80-95 % (Krasaekoopt et al., 2003) ดังนั้นการเคลือบเซลล์นี้จึงเป็นเทคโนโลยีในการปกป้องตัวเซลล์ไว้ภายในเม็ดเจลไฮโดรคอลลอยด์ช่วยรักษาความคงตัวและรักษาระดับจำนวนจุลินทรีย์โพรไบโอติกภายในผลิตภัณฑ์และระบบทางเดินอาหาร (Rao et al., 1989)

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากการเคลือบเซลล์ด้วยสารไฮโดร-คอลลอยด์เช่น แคลเซียมอัลจิเนต แคปปาคาราจีแนน เจแลนกัม หรือ เจลาติน เป็นการทำให้เซลล์ถูกรักษาไว้ในวัสดุที่ห่อหุ้ม เพื่อลดการบาดเจ็บและการตายของเซลล์ ทำให้เซลล์ทนต่อกรดและน้ำดีในทางเดินอาหารได้ดีขึ้น มีรายงานว่า เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันช่วยป้องกันเซลล์จากสภาวะที่มีออกซิเจนสูง ช่วยป้องกันเซลล์จากการแช่เข็ง และป้องกันเซลล์ระหว่างการส่งผ่านเข้าไปในลำไส้ (Champagne & Cote, 1978)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. ประเภทของเทคนิคที่ใช้เคลือบเซลล์ (Krasaekoopt et al., 2003)

เทคนิคที่ใช้ในการเคลือบเซลล์แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ เทคนิคเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) และเทคนิคอิมัลชัน (Emulsion) แสดงดังแผนภาพที่ 2-3

1.1 เทคนิคเอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการสร้างแคปซูลด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยมีการเตรียมสารละลายไฮโดรคอลลอยด์แล้วเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไป และอัดส่วนผสมรวมกัน จากนั้นใช้กระบอกฉีดยาดูดสารละลายผสมฉีดผ่านรูเข็มลงในสารละลายที่ใช้เก็บเกี่ยว ขนาดและรูปร่างของเม็ดบีททที่ได้ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเข็มและระยะทางในการตก วิธีการนี้ส่วนใหญ่จะได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย ราคาถูก และสามารถรักษาการเหลือรอดของเซลล์ได้ในปริมาณสูง

1.2 เทคนิคอิมัลชัน (Emulsion) เป็นการห่อหุ้มเซลล์ในโครงสร้างตาข่ายของเจลพอลิเมอร์ ซึ่งมีขั้นตอนที่เริ่มจากการผสมกันระหว่างวัฏภาค 2 ชนิด โดยชนิดหนึ่งเป็นหยดของเหลว (Droplets) ของสารผสมระหว่างเซลล์กับสารละลายพอลิเมอร์ที่ทำให้กระจายตัวในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เป็นตัวกลาง (Medium) ซึ่งคือน้ำมันพืช จากนั้นเป็นการเติมสารเชื่อมไขว้เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของหยด

สารละลายพอลิเมอร์ให้เป็นเม็ดเจลที่ห่อหุ้มเซลล์โดยการสร้างพันธะไอออนิก การเติมอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สามารถช่วยในการเกิดอิมัลชันที่ดีเนื่องจากสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสได้ เป็นผลทำให้ได้ทรงกลมที่มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ สารอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ Tween 80 ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการปกป้องเซลล์จากการถูกทำลายจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของพอลิเมอร์ ชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมไขว้ และเวลาของการเกิดเจล เทคนิคนี้เหมาะกับการเคลือบเซลล์แบคทีเรียแลคติก

นอกจากนี้แล้วยังพบว่า สารที่ใช้เคลือบเซลล์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการปกป้องเซลล์จากสภาพแวดล้อม สารที่ใช้เคลือบเซลล์โพรไบโอติกส่วนมากเป็นโพลีแซคคาไรด์จากธรรมชาติ ได้แก่ อัลจิเนต คาร์ราจีแนน เจลแลนกัม กัมอาราบิค แซนแทนกัม เซลลูโลส และแป้งข้าวโพดดัดแปร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ เจลาติน เวย์โปรตีน ไขมันนม และไคโตซานได้

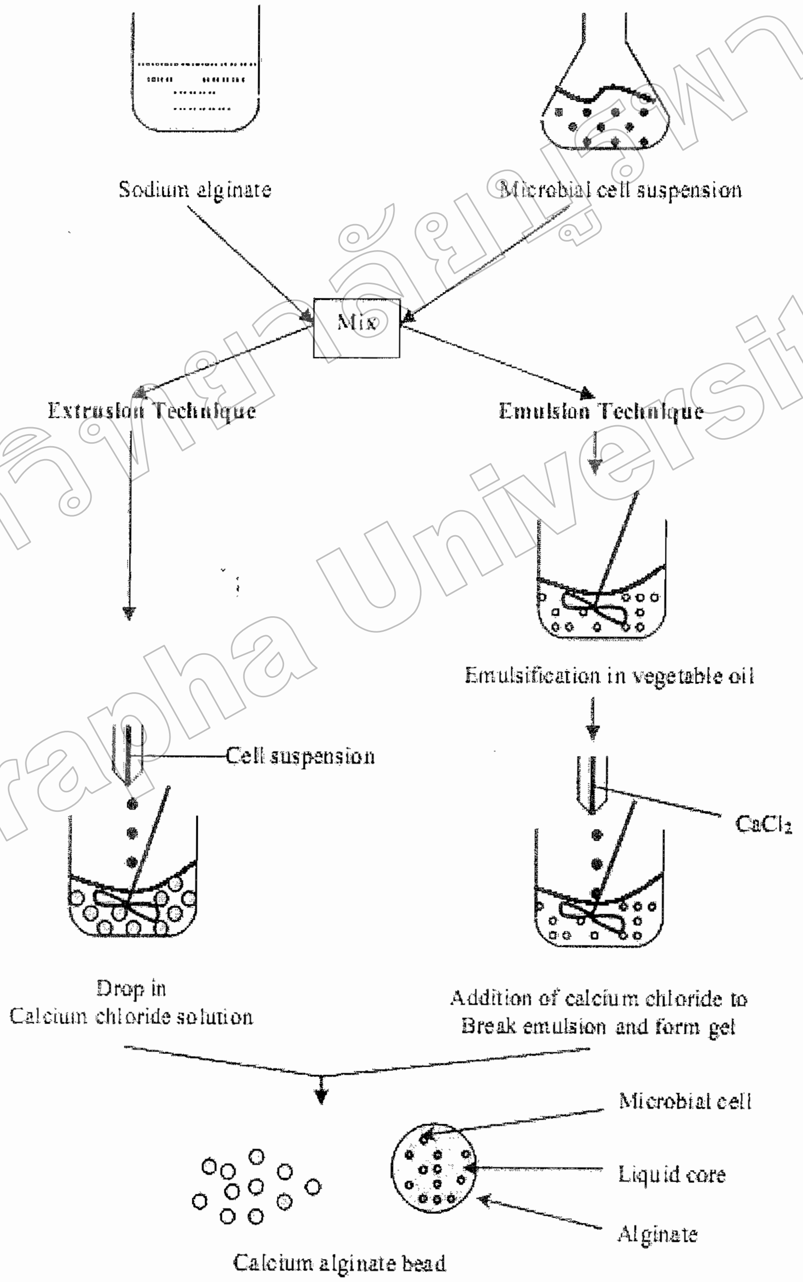
Sultana et al. (2000) ศึกษาการเคลือบเซลล์ *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp. ด้วยอัลจิเนตและกลีเซอรอลร่วมกับแป้งข้าวโพด (Hi-maize resistance starch) โดยเทคนิคอิมัลชันในโยเกิร์ตที่ได้รับการบ่มเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ -20 °C พบว่า เซลล์ที่ได้รับการเคลือบมีอัตราการสร้างกรดต่ำกว่าเซลล์อิสระ และ สามารถเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของเซลล์ได้มากกว่า

Myllarinen et al. (2002) ศึกษาการห่อหุ้มเซลล์ *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53109) และ *Lactobacillus lactis* (VTT E-90414) ภายในเม็ดสตาร์ชมันฝรั่ง ที่ถูกย่อยให้เป็นรูพรุนด้วยแอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) บรรจุเซลล์โพรไบโอติกไว้ภายใน จากนั้นเคลือบด้วยอะไมโลสอีกครั้ง แล้วทำให้เป็นผงด้วยวิธีการแช่แข็งแบบระเหิด (freeze-dried) พบว่า จำนวนเชื้อโพรไบโอติกที่รอดชีวิตไม่น้อยกว่า 109 เซลล์ต่อกรัม และมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

Lian et al. (2003) ทำการเคลือบเซลล์โพรไบโอติกผสมระหว่าง *Bifidobacterium* longum B6 และ *Bifidobacterium* infantis CCRC14633 ด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เจลาติน น้ำแป้ง (soluble starch) หางนม (skim milk) และ กัมอาราบิค โดยวิธีสเปรย์ดราย (spray drying) เปรียบเทียบอัตราการรอดชีวิตของเซลล์ที่ได้รับการเคลือบเซลล์กับเซลล์อิสระในสภาวะระบบทางเดินอาหารจำลอง (pH = 2, 3) และเกลือน้ำดี (ความเข้มข้น 0.5% และ 2.0%) พบว่า การเคลือบเซลล์ด้วยสารเคลือบทุกชนิดทำให้เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตในสภาวะทั้งสองแบบได้ยาวนานกว่าเซลล์อิสระ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Chávarri et al. (2010) ศึกษาการเคลือบเซลล์ *Lactobacillus gasseri* และ *Bifidobacterium bifidum* ด้วยอัลจิเนตร่วมกับไคโตซาน เมื่อทำการทดสอบในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง (gastric conditions) pH = 2.0 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า เซลล์ที่ได้รับการเคลือบมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าเซลล์อิสระ



ภาพที่ 2-3 เทคนิคการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีเอกซ์ทรูชันและอิมัลชัน (Krasaekoopt et al., 2003)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Plackett and Burman design (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2554)

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อการกลั่นกรองหรือคัดเลือกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระบบ เป็นวิธีที่สามารถกลั่นกรองปัจจัยจำนวนมาก ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อระบบที่กำลังทดลอง ในการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตอาหารเป็นไปอย่างชัดเจนและราบรื่นขึ้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการคัดเลือกตัวแปร โดยอาศัยหลักทางสถิติสามารถคัดเลือกตัวแปรหรือปัจจัย N-1 ตัว จากการทำการทดลอง N ครั้ง ตัวอย่างเช่น ทำการทดลอง11 ครั้ง เมื่อต้องการคัดเลือกตัวแปรหรือปัจจัย 10 ตัว การออกแบบการทดลองแบบนี้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลของตัวแปรอิสระซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถหาอิทธิพลร่วมของตัวแปรได้ซึ่งกล่าวได้ว่า Plackett and Burman Design เป็นเพียงการกลั่นกรองเฉพาะตัวแปรหรือปัจจัยสำคัญที่อิทธิพลร่วมยังไม่มีความสำคัญกับการทดลองนี้

1.การสร้างตัวแบบการทดลองสำหรับ Plackett and Burman

ตัวแบบของการทดลองจะสร้างในรูปของ Matrix โดยกำหนดเครื่องหมายเป็นแถว โดยให้เครื่องหมายลบ (-) แทนการใช้ปัจจัยนั้นในระดับต่ำ และให้เครื่องหมายบวก (+) แทนการใช้ปัจจัยนั้นในระดับสูง แถวแรกของ Matrix ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานตามจำนวนการทดลอง (N) ดังนี้

- ถ้า N=8; แถวแรกของmatrix คือ + + + - + - -
- ถ้า N=12; แถวแรกของmatrix คือ + + - + + + - - - + -
- ถ้า N=16; แถวแรกของmatrix คือ + + + + - + - + + - - + - - -
- ถ้า N=20; แถวแรกของmatrix คือ + + - - + + + + - + - + - - - - + + -
- ถ้า N=24; แถวแรกของmatrix คือ + + + + + - + - + + - - + + - - + - + - - - -

ส่วนในแถวต่อมาของ Matrix จะสร้างขึ้นจากการเลื่อนแถวไปทางซ้ายมือ N-2 ครั้ง (เมื่อ N คือจำนวนครั้งของการทดลอง) ทำการสร้าง Matrix ขึ้นมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงแถวสุดท้ายของ Matrix ให้กำหนดเป็นเครื่องหมายลบทั้งหมด รูปแบบ Matrix การทดลองสำหรับ Plackett and Burman สำหรับการศึกษาปัจจัยจำนวน 7 ปัจจัย 8 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 2-10

จากตารางที่ 2-10 มีการทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง ในการศึกษาปัจจัย A-G ความหมายคือ

- สิ่งทดลองที่ 1 ประกอบด้วยปัจจัย A B C E ในระดับสูงและปัจจัย D F G ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 2 ประกอบด้วยปัจจัย A B D G ในระดับสูงและปัจจัย C E F ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 3 ประกอบด้วยปัจจัย A C F G ในระดับสูงและปัจจัย B D E ในระดับต่ำ

- สิ่งทดลองที่ 4 ประกอบด้วยปัจจัย B E F G ในระดับสูงและปัจจัย A C D ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 5 ประกอบด้วยปัจจัย A D E F ในระดับสูงและปัจจัย B C G ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 6 ประกอบด้วยปัจจัย C D E G ในระดับสูงและปัจจัย A B F ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 7 ประกอบด้วยปัจจัย B C D F ในระดับสูงและปัจจัย A E G ในระดับต่ำ
- สิ่งทดลองที่ 8 ประกอบด้วยปัจจัย A B C D E F G ในระดับต่ำ

ตารางที่ 2-10 รูปแบบ Matrix ของการจัดสิ่งทดลองแบบ Placket and Burman เมื่อจำนวนปัจจัยเท่ากับ 7 (A-G) โดยมี 8 การทดลอง (Placket and Burman N = 8)

Exp.	A	B	C	D	E	F	G
1	+	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+
5	+	-	-	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	-	+
7	-	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	-	-	-	-

<u>หมายเหตุ</u> เครื่องหมาย + แทนการใช้ปัจจัยนั้นในระดับสูง
เครื่องหมาย - แทนการใช้ปัจจัยนั้นในระดับต่ำ

2.การเลือกแผนการทดลอง Plackett and Burman

โดยทั่วไปการเลือกแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman ให้เหมาะสม ขึ้นอยู่กับจำนวนปัจจัยที่ต้องการกลั่นกรองเป็นสำคัญและควรเลือกแผนที่สามารถกลั่นกรองปัจจัยได้ทั้งหมด ปัจจัยที่เหลือเป็นปัจจัยที่เรียกว่า Dummy variables หรือ Dummy factors ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่มีตัวตนจริงแต่จำเป็นต้องมีในแผนเพื่อใช้ในการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยควรมีDummy variables มากกว่า 1 ตัว อย่างน้อยควรเป็น 2 ตัว เพราะจะมีผลต่อการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ตัวอย่าง เช่น ในการทดลองต้องการกลั่นกรองปัจจัย 9 ตัว ก็ควรทำการเลือกแผน N=12 (สามารถคัดเลือกปัจจัย 11 ตัว)ซึ่งจะทำให้สามารถกลั่นกรองปัจจัยได้ครบ 9 ตัว ส่วนที่เหลือ อีก 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวจะเป็น Dummy variables ถ้ามีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 7 ตัว ก็ไม่ควรเลือกแผน N=8 เพราะจะไม่มี Dummy variables ให้คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเลย จึงควรเลือกแผนแบบ N=12 ซึ่งจะทำให้มี Dummy variables 4 ตัวที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานได้

3.การวิเคราะห์ผล

3.1 การคำนวณหาอิทธิพลของปัจจัย

สามารถคำนวณหาอิทธิพลของปัจจัยได้โดยการหาผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของผลที่เกิดขึ้นจากการใช้ปัจจัยในระดับสูงกับค่าเฉลี่ยผลรวมของผลที่เกิดจากการใช้ปัจจัยในระดับต่ำ ตัวอย่างเช่น กรณีการทดลองแผน N= 8 มีปัจจัยที่กลั่นกรองจำนวน 7 ตัว ดังนั้นต้องคำนวณหาอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด 7 ตัว (A-G) เพื่อให้ง่ายกับการพิจารณาว่าต้องใช้ผลของการทดลองใดควรพิจารณาจากตาราง Matrix สำหรับปัจจัย A เห็นว่ามีการทดลองที่ใช้ปัจจัย A ในระดับสูง คือการทดลองที่ 1 2 3 และ 5 ส่วนการทดลองที่ใช้ปัจจัย A ในระดับต่ำ คือการทดลองที่ 4 6 7 และ 8 ดังนั้นอิทธิพลของปัจจัย A คำนวณได้ดังนี้

- อิทธิพลของปัจจัย A หรือ Effect (A) หรือ $E_A = \left(\frac{(1)+(2)+(3)+(5)}{4}\right) - \left(\frac{(4)+(6)+(7)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 2 3 5 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 4 6 7 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย A

- อิทธิพลของปัจจัย B หรือ Effect (B) หรือ $E_B = \left(\frac{(1)+(2)+(4)+(7)}{4}\right) - \left(\frac{(3)+(5)+(6)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 2 4 7 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 3 5 6 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย B

- อิทธิพลของปัจจัย C หรือ Effect (C) หรือ $E_C = \left(\frac{(1)+(3)+(6)+(7)}{4}\right) - \left(\frac{(2)+(4)+(5)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 3 6 7 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 2 4 5 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย C

- อิทธิพลของปัจจัย D หรือ Effect (D) หรือ $E_D = \left(\frac{(2)+(5)+(6)+(7)}{4}\right) - \left(\frac{(1)+(3)+(4)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 2 5 6 7 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 3 4 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย D

- อิทธิพลของปัจจัย E หรือ Effect (E) หรือ $E_E = \left(\frac{(1)+(4)+(5)+(6)}{4}\right) - \left(\frac{(2)+(3)+(7)+(8)}{4}\right)$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 4 5 6 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 2 3 7 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย E

- อิทธิพลของปัจจัย F หรือ Effect (F) หรือ $E_F = \left(\frac{(3)+(4)+(5)+(7)}{4}\right) - \left(\frac{(1)+(2)+(6)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 3 4 5 7 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 2 6 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย F (เป็น Dummy effect)

- อิทธิพลของปัจจัย G หรือ Effect (G) หรือ $E_G = \left(\frac{(2)+(3)+(4)+(6)}{4}\right) - \left(\frac{(1)+(5)+(7)+(8)}{4}\right)$

หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 2 3 4 6 และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 1 5 7 8 แล้วนำมาหาผลต่างได้เป็นอิทธิพลของปัจจัย G (เป็น Dummy effect)

3.2 การคำนวณความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ใช้ในการทดสอบผลเนื่องจากปัจจัยหลัก (Real effect) โดยนำค่าของ Dummy effect (E_{dummy}) มาหาค่า Standard error (S.E.) ดังสูตร

$$S.E.(effect) = \sqrt{V_{eff}}$$

$$V_{eff} = \frac{\sum (E_{dummy})^2}{n}$$

เมื่อ E_{dummy} = Dummy effect

n = จำนวนของ Dummy effect

3.3 การคำนวณค่า t

การคำนวณ ค่า t (t value) เป็นการหาว่าผลของปัจจัยหลักมีความสำคัญต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยคำนวณดังสูตร

$$t\ value = \frac{Effect}{S.E.(effect)}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นำ t value จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับค่า t table โดยในการเปิดตารางให้เปิดที่ df เท่ากับจำนวนของ Dummy effect ที่ใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ตามระดับนัยสำคัญที่ทดสอบ ทั้งนี้พิจารณา t value โดยไม่ดูเครื่องหมาย

ถ้า t value น้อยกว่า t table แสดงว่า ปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อระบบ

ถ้า t value มากกว่า t table แสดงว่า ปัจจัยนั้นมีผลต่อระบบ

แผนการทดลองแบบ Central-Composite Design (CCD)

การจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียลในบางครั้งพบว่าเกิดปัญหาคือ มีสิ่งทดลองในการทดลองเป็นจำนวนมาก อาจใช้เวลาและต้นทุนสูงในการดำเนินการตามแผน โดยเฉพาะการทดลองแบบ 3^n จะได้จำนวนการทดลองมาก ตัวอย่างเช่น $n = 3$ จะได้สิ่งทดลอง 27 สิ่งทดลอง แต่การจัดสิ่งทดลองแบบ CCD เป็นการจัดสิ่งทดลองลักษณ์เป็น 2^k แฟคทอเรียลเป็นพื้นฐานและมีจุดอื่นประกอบด้วย (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; อิศรพงษ์ พงศ์ศิริกุล, 2544; วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ, 2548)

1. การจัดสิ่งทดลองแบบหุ่นกำลังสอง (Second Order Model)

สิ่งทดลองแบบหุ่นกำลังสอง มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1.1 เป็นแผนแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล ซึ่งประมาณค่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยได้

1.2 เป็นแผนการทดลองที่มี Star หรือ Axial ซึ่งเชื่อมต่อกับส่วนประกอบอีกสองส่วน เพื่อช่วยในการประมาณเทอมกำลังสอง (Quadratic Term)

1.3 มีจุดของค่าสังเกต ณ จุดกึ่งกลางซึ่งสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนได้ และยังช่วยให้การประมาณความโค้งของพื้นผิวมีความคงตัว (Stability) มากขึ้น

Star หรือ axial ในแผนแบบการทดลอง CCD คือ จุดที่เพิ่มเข้าไปในการทดลอง ซึ่งจุดเหล่านี้จะอยู่บนแกนนอนและแกนตั้งของแต่ละปัจจัย โดยมีระยะห่างจากศูนย์กลางของการทดลองเท่ากับ P_s (Star Point) ทั้งด้านบวกและด้านลบ โดยหา P_s ได้จาก

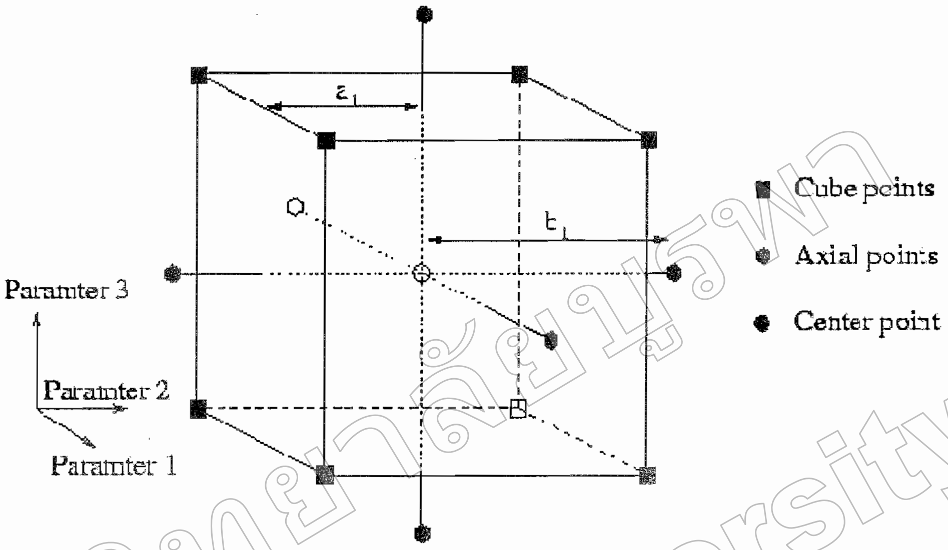
$$P_S = \pm 2^{n/4}$$

เมื่อ n คือ จำนวนปัจจัย

สำหรับการทดลองที่มี k ปัจจัย จะมี 2k Star Point จากที่เราสังเกตเห็นแล้วว่าการเพิ่มชุดของจุดกึ่งกลางในการทดลอง จะทำให้เราสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำซ้ำได้ จำนวนซ้ำ ณ จุดกึ่งกลางที่เหมาะสม คือ 2-4 ซ้ำ หรืออาจใช้เกณฑ์ว่า จำนวนซ้ำที่เหมาะสมอย่างน้อยจะเท่ากับจำนวนปัจจัยที่ศึกษาแบบแผนการทดลอง CCD แสดงดังภาพที่ 2-4 จะเห็นได้ว่าจุดที่อยู่ที่มุมของรูปสี่เหลี่ยมแสดงถึงแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล และจุดที่อยู่บนแกนนอน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

และแกนตั้งแสดงถึง Star Point และมีจุดหนึ่งจุดหรือมากกว่าอยู่ที่กึ่งกลางของแผนการทดลอง (0,0) ทรีทเมนต์ร่วมของส่วนประกอบทั้งสามส่วน ทำให้เกิดเป็น CCD โดยแต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัย 5 ระดับ คือ $-P_s$, -1, 0 +1 $+P_s$ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ, 2548)



ภาพที่ 2-4 Central composite design สำหรับ 3 ปัจจัย (อิศรพงษ์ พงศ์ศิริกุล, 2544)

การวิเคราะห์รีเกรสชัน (Regression Analysis)

การวิเคราะห์รีเกรสชันเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองชนิด คือ ตัวแปรตามหรือผลลัพธ์ y (Dependent Variable or Response Variable) และตัวแปรอิสระ x (Independent Variable) โดยที่ตัวแปรตามมีเพียงตัวเดียว ส่วนตัวแปรอิสระนั้นมีกี่ตัวก็ได้ $(x_1, x_2, \ldots, x_3)$ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชนิดนี้สามารถแสดงได้ในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_3)$$

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่จะทราบฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงผู้ทดลองต้องเลือกฟังก์ชันที่เหมาะสมเพื่อประมาณ f สมการโพลีโนเมียลเป็นสมการที่ใช้ในการประมาณ f อย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปในการวิเคราะห์สมการรีเกรสชันจะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ไม่ได้มีการวางแผน เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกต หรือการบันทึกข้อมูลในอดีต อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สมการรีเกรสชันมีประโยชน์มากเกี่ยวกับการวางแผนการทดลอง โดยหลังจากที่ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วและทราบว่าปัจจัยใดที่มีความสำคัญบ้าง แล้วจะใช้การวิเคราะห์สมการรีเกรสชันในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ระหว่างปัจจัยที่สำคัญนั้นและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยด้านอาหารเราสามารถใช้การวิเคราะห์สมการรีเกรสชันในการทดลองเกี่ยวกับการทดสอบอายุของผลิตภัณฑ์ เพื่อประมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามฟังก์ชันของเวลา และประมาณอายุของผลิตภัณฑ์ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; Franklin & Hariharan, 1994)

ในการพิจารณาความเหมาะสมของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination) สัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเป็นค่าที่ใช้วัดว่าตัวแบบถดถอยนั้นมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด มีสัญลักษณ์คือ R^2 ค่านี้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยคำนวณได้จากสูตร R^2 = SSR/ SST ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่าง ความผกผันในส่วนที่ตัวแบบถดถอยอธิบายได้ต่อความผกผันแปรรวมทั้งหมดของค่าตอบสนอง สมการที่มีความน่าเชื่อถือควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 แต่หากสูงมากกว่า 0.90 จะถือว่าสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือมาก (Richard, 1990) นอกจากนี้การพิจารณาความเหมาะสมของสมการจะพิจารณาจากค่า RMS (Root Mean Square) ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำ แสดงว่าค่าที่ทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยโดยกำหนดว่าค่า RMS ควรน้อยกว่า 20 (Julian, 2004) ซึ่งค่า RMS คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$RMS = 100\sqrt{\frac{\sum[(Y_{ex} - Y_{pred})/Y_{pred}]^2}{N}}$$

Y_{ex} คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง

Y_{pred} คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

การพิจารณาความเหมาะสมของสมการอาจพิจารณาได้จากการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยพิจารณาค่า Significance หรือ p-value ของการทดสอบการแปรปรวน (Analysis of Variances) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยเป็นค่าที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนอง (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; Franklin & Hariharan, 1994; Julian, 2004; Richard, 1990)

การสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM)

วิธีการสร้างภาพพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เป็นเทคนิคทางสถิติอย่างหนึ่งสามารถแสดงภาพพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่เป็นที่สนใจของนักวิจัย ผลที่ตามมา คือ นักวิจัยสามารถที่จะหา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จุดที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้ เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อม ๆ กัน โดยความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้ คือ การวางแผนการทดลอง การวิเคราะห์สมการรีเกรสชัน และความรู้ในการใช้โปรแกรมที่สร้างภาพ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; อนุวัติ แจ้งชัด, 2545; วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ, 2548)

1. วัตถุประสงค์ในการใช้ RSM

1.1 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตหรือผลลัพธ์สูงที่สุด

1.2 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของกระบวนการผลิต

1.3 เพื่อหาเงื่อนไขของการผลิตใหม่ที่พัฒนาคุณภาพของผลผลิตจากระดับเดิม

1.4 หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงปริมาณและผลผลิต

RSM เป็นวิธีการที่เราใช้ในการหาทรีทเมนต์ร่วมระหว่างปัจจัยที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สูงที่สุด การทดลองในกระบวนการของ RSM มักเป็นการทดลองแบบต่อเนื่องเป็นขั้น ๆ โดยการทดลองแต่ละขั้นมีเป้าหมายเพื่อสร้างการทดลองที่จะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยและ Response surface plot ด้วย ซึ่งผลที่ได้จะเป็นแนวทางในการทดลองครั้งต่อไป เพื่อจะบอกได้ว่าการทดลองนั้นเสร็จสมบูรณ์แล้ว นั่นคือ จะได้ค่าที่ดีที่สุดนั่นเอง

2. ขั้นตอนของการทำ RSM

ขั้นตอนของการทำ RSM สามารถสรุปได้ ดังนี้

2.1 เลือกแผนการทดลองสมการรีเกรสชันสำหรับการทดลอง

2.2 สร้างแผนการทดลองจากสมการรีเกรสชัน

2.3 ทำการทดลองตามแผนที่สร้างไว้

2.4 สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลลัพธ์และวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการ

2.5 สร้าง Response surface plot จากสมการถดถอยที่หาได้ เพื่อดูจุดที่ดีที่สุดของผลลัพธ์

2.6 หาค่าระดับของปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.7 ทวนสอบความน่าเชื่อถือของสมการ โดยทำการทดลองภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว

2.8 ถ้าสมการไม่เหมาะสมให้สร้างสมการใหม่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University