บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

1.ผลการวิเคราะห์คุณภาพผงโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกร

การสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรในงานวิจัยนี้ ใช้หลักการสกัดด้วยน้ำ ซึ่งโอลิโกแซคคาไรด์เป็นน้ำตาลที่สามารถละลายในน้ำได้ดี ในกระบวนการสกัดมีการใช้เทคนิคการแช่แข็งสารสกัดซึ่งทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำและเอทานอล และทำให้โอลิโกแซคคาไรด์แยกตัวลอยเป็นฟิล์มชัดเจนขึ้น จึงสามารถแยกส่วนโอลิโกแซคคาไรด์ออกมาได้ มีรายงานว่าแก้วมังกรเนื้อแดงและเนื้อขาวมีปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบอยู่ 8.9 % และ 8.6 % ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามลำดับ (Wichienchot & Jatupornpipat, 2009)

จากผลการทดลอง พบว่า การสกัดผงโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวให้ปริมาณผลได้เท่ากับ 5.00% ± 2.00 โดยน้ำหนักสด ทั้งนี้คิดเทียบกับน้ำหนักแก้วมังกรทั้งผล เมื่อพิจารณาจากสมดุลมวลที่เกิดขึ้นในการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกร พบว่ามีการสูญเสียมวลไปในส่วนของเปลือก เมล็ด กาก และน้ำ ทั้งนี้ปริมาณผลได้ที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับความผันแปรของวัตถุดิบและประสิทธิภาพของเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด และหากเปรียบเทียบกับปริมาณผลได้ของการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากพืชชนิดอื่น เช่น แก่นตะวัน พบว่า มีปริมาณผลได้ต่ำกว่ามาก โดยวิภาวี ศรีคำภา (2551) รายงานว่าปริมาณผลได้ของการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์ในรูปของอินนูลินจากแก่นตะวันโดยใช้การใช้น้ำร้อน (100 °C) และทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิดอยู่ในช่วง 21.01% – 22.36% โดยน้ำหนักสด แม้ว่าแก่นตะวันจะให้ปริมาณผลได้สูงกว่าแต่มีข้อจำกัดด้านการจัดหาและปริมาณวัตถุดิบ ทำให้ความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ยังมีข้อจำกัดอยู่ ส่วนแก้วมังกรเป็นพืชที่สามารถจัดหาวัตถุดิบได้ง่ายกว่า มีการปลูกอย่างแพร่หลายและผลผลิตมีตลอดปี ทำให้แก้วมังกรมีโอกาสนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้มากกว่า

ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้ สามารถละลายน้ำได้ โดยในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ความสามารถด้านการละลายน้ำ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการสร้างพันธะของอาหารผงกับน้ำ รายงานเป็นค่าดัชนีการละลายน้ำและวิเคราะห์ความสามารถด้านการดูดซับน้ำ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการดูดน้ำไว้ในโมเลกุล รายงานเป็น ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ ผลการทดลองพบว่า ดัชนีการละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 46.40% ซึ่งสูงกว่าค่าดัชนีในการดูดซับน้ำที่มีค่าเท่ากับ 3.39% แสดงให้เห็นว่า ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้มีความสามารถในการจับตัวกับน้ำได้ดีกว่าการดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุล ซึ่งสอดคล้องกับที่ Nelson et al. (2001) กล่าวไว้ว่า สารพวก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติในการจับกับน้ำ (Hydration properties) Gorinstein et al. (2001) รายงานว่า โครงสร้างความเป็นรูพรุนของอาหารผงมีผลต่อสมบัติการละลายน้ำ หากอาหารผงมีความเป็นรูพรุนมากทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนนั้นได้มาก จึงสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี มีโอกาสให้ค่าดัชนีการละลายน้ำสูง ทั้งนี้ในขั้นตอนการเตรียมผงโอลิโกแซคคาไรด์ใช้กระบวนการทำแห้งแช่แข็งแบบระเหิด ซึ่งสารสกัดต้องผ่านการแช่แข็งก่อนแล้วจึงนำไประเหิดน้ำแข็งให้เป็นไอน้ำ โดยไอน้ำที่ระเหิดจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารตามช่องว่างระหว่างผลึกน้ำแข็ง ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนเปิดจึงมีความสามารถในการละลายน้ำมาก (สิงหนาท พวงจันทร์แดง, 2544) โอลิโกแซคคารด์สามารถกระจายตัวในน้ำได้ (dispersible) สามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ แต่บางครั้งอาจจับตัวเป็นก้อนได้เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี (hygroscopic characteristic) เพราะมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลอยู่สูง ดังนั้นเมื่อเตรียมไอศกรีมเหลวควรผสมโอลิโกแซคคาไรด์กับน้ำตาลทรายหรือหางนมผงให้เข้ากันก่อนเพื่อช่วยในการกระจายตัวของสารให้เข้ากันดี (Silva,1996) เมื่อนำผงโอลิโกแซคคาไรด์มาละลายน้ำพบว่าสามารถให้ความหนืดได้ โดยสารละลายความเข้มข้น 30% w/w มีความหนืดเท่ากับ 142.67 cP ทั้งนี้มีสมบัติคล้ายกับโอลิโกแซคคาไรด์พวกอินนูลินซึ่งเป็นพรีไบโอติกชนิดหนึ่งที่สามารถให้ความหนืดได้เมื่อละลายน้ำ แต่พบว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้มีความหนืดสูงกว่ามาก โดยสารละลายอินนูลินความเข้มข้น 30% มีความหนืด 7.75 cP เท่านั้น (วิภาวี ศรีคำภา, 2551) จากสมบัติที่สามารถให้ความหนืดได้จึงมีประโยชน์สำหรับการนำมาใช้ในอาหารเพื่อทดแทนสารเพิ่มความคงตัวโดย Nagar et al. (2002) รายงานว่าสามารถใช้อินนูลินในไอศกรีมโยเกิร์ตเพื่อทดแทนสารเพิ่มความคงตัวได้ โดยทำการศึกษาการใช้อินนูลินทดแทนสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต พบว่าการเติมอินนูลินช่วยเพิ่มความหนืดและความแน่นแข็งและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ต

ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล โดยมีค่า L* a* และ b*เท่ากับ 81.01 0.93 และ12.76 ตามลำดับ มีสีที่ไม่คล้ำมากซึ่งเกิดจากการได้รับความร้อนในขั้นตอนการสกัดทำให้น้ำตาลเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Caramelization) ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้สามารถเข้ากันได้กับส่วนผสมในอาหารโดยไม่ทำให้สีของอาหารเปลี่ยนแปลงไปมากนัก และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.21 % ซึ่งหากเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เทียบเคียง คือเส้นใยอาหารผงที่ผลิตทางการค้า ซึ่งกำหนดไว้ว่า ควรมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 9% (Larrauri, 1999) ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จริงมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่า ผงโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรที่สกัดได้สามารถดูดความชื้นได้เร็วมากจนมีโอกาสทำให้ผงโอลิโกแซคคาไรด์จับกันเป็นก้อน ดังนั้นแนวทางในการเก็บรักษาเพื่อป้องกันการดูดความชื้นนั้นทำได้โดยนำ

ผงโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรที่สกัดได้มาบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟลอยด์จากนั้นดูดเอาอากาศออกแล้วปิดผนึกปากถุง แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C

งานวิจัยตอนนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถสกัดโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบการผลิตอาหารได้ และจากผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากแก้วมังกรเนื้อสีขาวแสดงให้เห็นว่า ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้ มีสมบัติละลายน้ำได้และสามารถให้ความหนืดได้ ซึ่งมีสมบัติที่คล้ายคลึงกับสารเพิ่มความคงตัวจึงมีศักยภาพที่เอื้อต่อการใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีมได้ โอลิโกแซคคาไรด์ คือคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ตั้งแต่ 2 ถึง 10 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ซึ่งมีสมบัติเป็นใยอาหารและเป็นสารพรีไบโอติก เนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ จากการวิจัยของ Paul (1999) พบว่า อาสาสมัครที่ได้รับโอลิโกแซคคาไรด์ 15 กรัมต่อวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์บิฟีโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) และ แลคโตบาซิลไล (Lactobacilli) เพิ่มขึ้น 10% และจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง จากรายงานของ Wichienchot and Jatupornpipat (2009) ซึ่งสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรสีขาวและสีแดงซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง และ พันธุ์เนื้อสีขาวให้ปริมาณสารพรีไบโอติกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (8.9 % และ 8.6% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด) โดยสามารถส่งเสริมการเจริญของโพรไบโอติกสายพันธุ์ *L. delbrueckii* BCC 13296 ได้ดี แสดงให้เห็นว่าโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรสามารถส่งเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้

2. ผลการพัฒนาสูตรไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพไอศกรีมสูตรพื้นฐาน

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีส่วนผสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนผสมที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนม และนมระเหย เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารเพิ่มความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และ สี เป็นต้น (Marshall & Arbuckle, 1996) องค์ประกอบของไอศกรีมแตกต่างกันไปตามชนิดและความต้องการของตลาด โดยเฉลี่ยแล้วควรมีไขมัน 8-20% ของแข็งไม่รวมไขมันเนย (MSNF) 8-15% น้ำตาล 13-20% สารเพิ่มความคงตัว 0-0.7% ซึ่งเมื่อพิจาณาส่วนผสมของไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่ามีองค์ประกอบตามเกณฑ์ที่แนะนำไว้โดยไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับไอศกรีม ช่วยให้ส่วนผสมมีความสมดุล ให้โครงสร้างและเนื้อสัมผัส ทำให้ไอศกรีมมีรสชาติและความมัน ปริมาณไขมันนมในไอศกรีมต้องสมดุลกับปริมาณ MSNF ด้วย หากมีปริมาณไขมันนมที่เพิ่มขึ้น ปริมาณของ MSNF ต้องลดลง การมีปริมาณ MSNF สูงเกินไปจะทำให้น้ำตาลแลคโทสในนมเกิด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การตกผลึก เนื้อไอศกรีมจะมีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย หากปริมาณMSNF ต่ำเกินไป นิยมเติมหางนมผงลงไปเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณ MSNF ทำให้ได้เนื้อไอศกรีมมากขึ้น และถือเป็นการเพิ่มโปรตีนนมที่มีสมบัติช่วยอุ้มน้ำ ช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้มีค่าการขึ้นฟู สูงขึ้น และช่วยทำให้ไอศกรีมละลายช้าลงด้วย (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531) น้ำตาลทำหน้าที่เป็นสารให้ความหวาน ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดให้ ลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมให้ต่ำลง ทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำมาก ขนาดของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมมีขนาดเล็กและป้องกันการเกิดการรวมตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งที่ละลาย (Recrystallization) ของไอศกรีม และช่วยเพิ่มความหนืดในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีม (Goff, McCurdy, & Fulford, 1990) สำหรับสารเพิ่มความคงตัวเป็นสารช่วยดูดน้ำและเพิ่มความหนืด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจลและน้ำอิสระมีการเคลื่อนที่ลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ระหว่างที่ไอศกรีมแข็งตัว ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะแห้ง ไม่หยาบ ไม่ละลาย คงตัวในรูปทรงที่ต้องการ (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531) จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการที่จะผลิตไอศกรีมให้มีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จะต้องคำนึงถึงหน้าที่ของส่วนผสมและปรับใช้ในปริมาณที่เหมาะสมรวมถึงต้องใช้เทคนิคในการผลิตไอศกรีมที่สอดคล้องกับกลไกการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมที่เกิดขึ้นด้วย

ดังนั้นเพื่อให้การดำเนินการพัฒนาสูตรไอศกรีมในขั้นตอนต่อไปมีทิศทางที่ชัดเจนและลดความผิดพลาดด้านเทคนิค รวมถึงความเชี่ยวชาญในการผลิตไอศกรีม จึงได้ดำเนินการผลิตไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานและเมื่อนำ มาวิเคราะห์คุณภาพพบว่า ไอศกรีมเหลวมีความหนืด 108.61 cP ใช้เวลาในการขึ้นฟูเท่ากับ 20 นาที และมีค่าการขึ้นฟูใกล้เคียงกับที่เคยรายงานไว้ (ปิ่นนรี ชินวรรธนวงศ์, 2551) เมื่อนำไอศกรีมมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานที่ผลิตได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.2 – 7.4 หมายถึง มีระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลาง และได้รับความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.6 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลาง จึงสามารถยืนยันได้ว่าสามารถผลิตไอศกรีมสูตรที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ และจากขั้นตอนนี้สามารถนำผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของไอศกรีมสูตรพื้นฐานมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการพัฒนาสูตรไอศกรีมในขั้นต่อไป

2.2 ผลการกลั่นกรองปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่มีความสำคัญต่อคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

ในการทดลองขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นกรองปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่มีความสำคัญหรือมีผลกระทบต่อคุณภาพของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งการกลั่นกรองปัจจัยมีความสำคัญคือ สามารถจำแนกปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อระบบของการทดลองก่อนทำให้ปัจจัยในการทดลองลดจำนวนลง โดยการออกแบบการทดลองแบบ Plackett and Burman Design เป็นวิธีที่มี

ประสิทธิภาพสูงในการคัดเลือกตัวแปร โดยอาศัยหลักทางสถิติในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรอิสระแล้วคำนวณค่าสถิติ t สามารถคัดเลือกตัวแปรหรือปัจจัย N-1 ตัว จากการทำการทดลอง N ครั้ง โดยจัดสิ่งทดลองตามรูปแบบมาตรฐาน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถหาอิทธิพลร่วมของตัวแปรได้ (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2554)

ปัจจัยที่กลั่นกรองคือ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ปริมาณน้ำตาลทรายขาว ปริมาณครีม และ ปริมาณหางนมผง โดยกำหนดช่วงของแต่ละปัจจัยเพื่อนำมาจัดสิ่งทดลองตามรูปแบบมาตรฐาน Plackett and Burman N=8 ทำให้ได้ไอศกรีมทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวที่วัดได้อยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 15.90 – 224.33 cP ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไอศกรีมเหลวที่ได้มีความหนืดต่ำกว่าและมากกว่าค่าความหนืดของไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน (108.61 cP) โดยสิ่งทดลองที่มีความหนืดสูงที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ในระดับสูง คือ 6 % w/w สิ่งทดลองที่มีความหนืดน้อยที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 8 มีค่า 15.90 cP ซึ่งมีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ในระดับต่ำ คือ 2% w/w เมื่อนำไอศกรีมเหลวไปตีปั่นให้ขึ้นฟู พบว่าแต่ละสิ่งทดลองใช้เวลาในการขึ้นฟูต่างกัน (45-90 นาที) มีการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 20.46 – 67.81 % ซึ่งพบข้อสังเกตว่าใช้เวลาในการขึ้นฟูนานขึ้นแต่มีแนวโน้มให้ค่าการขึ้นฟูสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรพื้นฐาน สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 5.87 – 6.93 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ (สุพัฒน์ ใต้เวชศาสตร์, 2546) อัตราการละลายที่นาทีที่ 10 มีค่าอยู่ในช่วง 0.33 – 4.36 % ซึ่งมีแนวโน้มน้อยกว่าอัตราการละลายของไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน ทั้งนี้อาจเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการที่สิ่งทดลองที่มีความหนืดของไอศกรีมเหลวสูงและมีการขึ้นฟูสูงนั่นเอง และพบข้อสังเกตว่า อัตราการละลายของไอศกรีมที่เวลา 40 นาทีเป็นต้นไปมีอัตราการละลายที่ช้าลง เนื่องจากในการวัดค่าอัตราการละลายพิจารณาวัดไอศกรีมที่ละลายแล้วไหลผ่านรูตะแกรง แต่พบว่าไอศกรีมที่ละลายในเวลาดังกล่าวยังคงเกาะอยู่บนผิวหน้าของตะแกรง ไม่หยดผ่านรูตะแกรงลงไป เนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์ที่เติมลงไปมีสมบัติเป็นใยอาหาร ช่วยเพิ่มความหนืดจึงทำให้ไอศกรีมที่ละลายแล้วยังคงมีความหนืดอยู่มากหยดผ่านรูตะแกรงได้ยาก เมื่อพิจารณาค่าสีของไอศกรีม พบว่า ไอศกรีมมีสีขาวอมเหลืองเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า มีสีไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน โดยไอศกรีมจากสิ่งทดลองมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 78.17 -86.85 ค่าสี a* อยู่ในช่วง -1.34 – 0.54 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 9.03 – 14.33

จากตารางที่ 4-4 พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านสีอยู่ในช่วง 5.4 – 7.2 คะแนน สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 4 ความชอบด้านกลิ่นได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.8 – 6.8 คะแนน สำหรับความชอบรสหวาน พบว่า ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.3 – 6.8 คะแนน ด้านความชอบเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 4.4 – 6.3

คะแนน ไอศกรีมทั้ง 8 สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.1 – 7.2 คะแนน สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 7

จากผลการพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมในตารางที่ 4-5 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไอศกรีมในด้านความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง เวลาในการขึ้นฟู และค่าสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติในการจับน้ำ สามารถละลายน้ำและดูดซับน้ำได้ นอกจากนี้จัดเป็นใยอาหารประเภทที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) เมื่อละลายน้ำแล้วดูดซับน้ำไว้ได้สามารถให้ความหนืด มีผลให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดสูง การตีปั่นเพื่อเอาอากาศเข้าไปในโครงสร้างเพื่อให้เกิดการขึ้นฟูจึงยากขึ้น มีแนวโน้มให้ใช้เวลาในการขึ้นฟูมากขึ้น และเนื่องจากผงโอลิโกแซคคาไรด์มีสีเหลืองอมน้ำตาลจึงทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง

เนื่องจากสารเพิ่มความคงตัวเป็นสารช่วยดูดน้ำและเพิ่มความหนืด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจล และน้ำอิสระมีการเคลื่อนที่ลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ระหว่างที่ไอศกรีมแข็งตัว (วรรณนา ตั้งเจริญชัย, 2531) จากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้ปริมาณสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อค่าความหนืด และเวลาในการขึ้นฟูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) โดยหากไอศกรีมเหลวมีความหนืดสูง การตีปั่นเพื่อเอากาศเข้าไปในโครงสร้างเพื่อให้เกิดการขึ้นฟูจึงยากขึ้นดังที่กล่าวไปข้างต้น

ปริมาณน้ำตาลทรายขาวมีผลต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากของแข็งที่เป็นองค์ประกอบในน้ำตาลจะไปแทนที่น้ำในส่วนผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น และสามารถช่วยลดปริมาณน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้ (Marshall & Arbukle, 1996)

ปริมาณครีมมีผลต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากมีหน้าที่ช่วยให้โฟมมีความคงตัวซึ่งทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเหมือนครีม และปริมาณหางนมผงมีผลต่อค่าความหนืดและค่าสี L*อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากหางนมผงมีปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันเนยอยู่สูง ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน 37% น้ำตาลแลคโตส 55% และแร่ธาตุ 8% โปรตีนในของแข็งไม่รวมไขมันเนยและน้ำตาลมีสมบัติให้ความหนืดได้ และช่วยให้โครงสร้างอิมัลชั่นในส่วนผสมคงตัวเข้ากัน มีความเรียบเนียนมากขึ้นป้องกันการอ่อนตัว การเกิดเนื้อสัมผัสที่หยาบ และต้านทานต่อการหลอมเหลว และจากการสังเกตเห็นว่า หางนมผงมีสีขาวอมเหลือง จึงทำให้มีผลต่อความสว่างของไอศกรีมที่ผลิตได้

ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในความชอบทุกด้าน ได้แก่ ความชอบสี ความชอบกลิ่น ความชอบรสหวาน ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์มีสีน้ำตาลอมเหลืองเมื่อเติมลงในไอศกรีมจึงส่งผลต่อความชอบด้านสี และนอกจากนี้โอลิโกแซคคาไรด์สามารถให้ความหนืดได้ รวมถึงมีรสหวานเล็กน้อย การเติมในไอศกรีมจึงมีผลต่อการปั่นผสมไอศกรีมให้ขึ้นฟู ทำให้ส่งผลต่อความสามารถในการจับกลิ่นในผลิตภัณฑ์ รสหวานและเนื้อสัมผัสด้านความฟูและเรียบเนียนของไอศกรีม จึงมีผลต่อความชอบทุกด้านที่ทดสอบ

ปริมาณน้ำตาลมีผลต่อความชอบด้านรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากน้ำตาลทำหน้าที่หลักเป็นสารให้ความหวานให้กับไอศกรีม ส่วนปริมาณครีมมีผลต่อความชอบด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัส เนื่องจากสามารถช่วยชะลอการหลอมเหลวของไอศกรีม และเป็นตัวพากลิ่นรสที่ละลายในไขมันแต่ไม่ละลายน้ำได้ (Clarke, 2004) สำหรับปริมาณหางนมผงมีผลต่อความชอบด้านรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เนื่องจากในหางนมมีปริมาณน้ำตาลแลคโตสอยู่มาก (ประมาณ 55%) ทำให้ผู้ทดสอบอาจสามารถสัมผัสรับรสหวานได้มากขึ้น (Marshall & Arbukle, 1996)

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้ พบว่า แต่ละปัจจัยมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีม หากพิจารณาด้านจำนวนค่าคุณภาพของไอศกรีมที่ปัจจัยด้านส่วนผสมมีผลกระทบพบว่า ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลต่อคุณภาพไอศกรีม(11 ค่า) จำนวนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สารเพิ่มความคงตัว (3 ค่า) ครีม (3 ค่า) หางนมผง (3 ค่า) และน้ำตาลทรายขาว (2 ค่า) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญที่สุดไปดำเนินการศึกษาต่อนั้น มิได้พิจารณาผลด้านจำนวนค่าคุณภาพเท่านั้น แต่ควรพิจารณาถึงผลกระทบ (Impact) ที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญด้วย

เลือกปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในขั้นตอนต่อไป คือ โอลิโกแซคคาไรด์ สารเพิ่มความคงตัว และน้ำตาลทรายขาวด้วยเหตุผลดังนี้คือ

1. เลือกโอลิโกแซคคาไรด์ เนื่องจาก เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพไอศกรีมจำนวนมากที่สุดถึง 11 ค่า จากค่าคุณภาพไอศกรีมที่วิเคราะห์ทั้งหมด 13 ค่า และคุณภาพแต่ละด้านล้วนมีผลกระทบที่สำคัญกับคุณลักษณะที่ดีของไอศกรีม แสดงให้เห็นว่าโอลิโกแซคคาไรด์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไอศกรีมมาก

นอกจากนี้การเติมโอลิโกแซคคาไรด์มีผลดีต่อร่างกายโดย โอลิโกแซคคาไรด์จัดเป็นพรีไบโอติกที่โมเลกุลของโอลิโกแซคคาร์ไรด์ประกอบด้วยพันธะ ß – D (2 ⟶1) fructofuranosyl ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยพันธะนี้ เมื่อโอลิโกแซคคาไรด์ผ่านทางเดินอาหาร ได้แก่ ปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร้างไป

เมื่อโอลิโกแซคคาร์ไรด์ผ่านทางเดินอาหารเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ซึ่งเป็นบริเวณที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่เป็นจำนวนมากและเกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacteria ซึ่งจัดเป็นจุลินทรีย์กลุ่มโพรไบโอติก ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายทำให้เกิดกรดแลกติก กรดไขมันสายสั้น (Short Chain Fatty Acids, SCFA) เช่น อะซิเตต โพรไพโอเนต บิวทิเรต และก๊าซบางชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน กรดที่เกิดขึ้นทำให้ความเป็นกรด – ด่างของลำไส้ลดลง 1– 2 หน่วย มีผลให้การละลายของเกลือของแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น และบิวทิเรตที่เกิดขึ้นช่วยกระตุ้นให้เซลล์เยื่อบุลำไส้แผ่กระจายทั่ว จึงทำให้ความสามารถในการดูดซึมของเซลล์เยื่อบุลำไส้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นระหว่างกระบวนการหมักสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโอลิโกแซคคาไรด์และแร่ธาตุสลายลงทำให้แร่ธาตุถูกปล่อยออกมาจึงสามารถดูดซึมได้ดี (Roberfroid, 1993)

2. เลือกสารเพิ่มความคงตัว เนื่องจาก เป็นปัจจัยมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมจำนวนมากรองลงมาจากปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ คือ 3 ค่า ได้แก่ ค่าความหนืด เวลาในการขึ้นฟู และค่าสี L* โดยคุณภาพแต่ละด้านมีผลกระทบที่สำคัญต่อคุณภาพของไอศกรีม และหากพิจารณา ค่า t คำนวณแต่ละค่า พบว่ามีค่าสูงมาก (3.87-20.71) แสดงถึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไอศกรีมมาก นอกจากนี้สารเพิ่มความคงตัวยังเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างไอศกรีม เป็นตัวทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นเจล น้ำอิสระในไอศกรีมมีการเคลื่อนที่ลดน้อยลงทำให้ไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ระหว่างที่ไอศกรีมแข็งตัว ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะแห้ง ไม่หยาบ

3. เลือกน้ำตาลทรายขาว ถึงแม้ปริมาณน้ำตาลทรายขาวเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนคุณภาพน้อยที่สุด (2 ค่า) ได้แก่ ความหนืด และความชอบด้านรสหวาน แต่คุณภาพดังกล่าวมีผลกระทบที่สำคัญต่อคุณภาพของไอศกรีม โดยเฉพาะด้านความชอบด้านรสหวาน เนื่องจากโดยทั่วไปผู้บริโภคให้ความสำคัญกับรสชาติมากกว่ากลิ่นและเนื้อสัมผัสและไอศกรีมจัดเป็นอาหารหวาน การยอมรับในรสหวานจึงเป็นผลกระทบที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของไอศกรีมมาก นอกจากนี้น้ำตาลสามารถช่วยลดปริมาณน้ำแข็งที่จะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้ (Marshall & Arbukle, 1996)

ในการผลิตไอศกรีมในขั้นตอนต่อไปจึงกำหนดให้ ครีม และหางนมผงเป็นปัจจัยคงที่ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถกำหนดระดับการใช้ครีม และหางนมผงในการทดลองขั้นต่อไปได้เท่ากับ 20.0% และ 8.0% ตามลำดับ ซึ่งเป็นปัจจัยในระดับต่ำที่กำหนดไว้ตามแบบ Plackett and Burman ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่ใช้ในสูตรไอศกรีมพื้นฐาน

2.3 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การสร้างสมการความสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนอง ซึ่งหากมีตัวแปรอิสระตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเรียกว่า สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regression) โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถใช้ทำนายค่าตอบสนองจากการระบุค่าตัวแปรอิสระซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้มาของสมการได้ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; Franklin & Hariharan, 1994) สามารถพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการได้จาก ค่า R^2 (Coefficient of determination) หมายถึงผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในการทำนาย สมการที่มีความน่าเชื่อถือควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.70 แต่หากมากกว่า 0.90 จะถือว่าสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือมาก (Richard, 1990) และพิจารณาร่วมกับค่า Model significant คือ ค่าที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนอง หากค่า Model significant น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (เช่น 0.05) หมายถึงตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนองมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญดังกล่าวนั้น (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544; Franklin & Hariharan, 1994; Julian, 2004; Richard, 1990)

จากการสร้างสมการความสัมพันธ์ทั้ง 12 สมการ (ตารางที่ 4-6) พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีความน่าเชื่อถือคือ สมการของคุณภาพด้านความหนืด ความชอบด้านสี และค่าความชอบรวม ($R^2 > 0.70$ และ ค่า Model significance < 0.05) เมื่อพิจารณากราฟ RSM พบว่าสมการที่เป็นตัวแทนที่ดีในการคัดเลือกช่วงของปริมาณส่วนผสมคือ สมการคะแนนความชอบโดยรวม (Y_{12}) เนื่องจาก เป็นสมการที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาครบทั้ง 3 ปัจจัย (X_1, X_2, X_3) และเป็นสมการค่าความชอบโดยรวมซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญที่บ่งบอกการยอมรับผลิตภัณฑ์ เมื่อนำสมการค่าความชอบโดยรวมมาสร้าง Response surface plot ด้วยวิธี RSM ทำให้ได้ช่วงของปริมาณส่วนผสมที่จะทำให้ได้ไอศกรีมที่ได้รับคะแนนความชอบรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน) ซึ่งเป็นการใช้เกณฑ์กำหนดและวิธีการเช่นเดียวกับงานวิจัยของ ปิ่นนรี ชินวรรธนวงศ์ (2551) ศึกษาระดับที่เหมาะสมของปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนย และ น้ำตาลทรายขาว ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองด้วยวิธี RSM

2.4 ผลการคัดเลือกสูตรไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสมคือสิ่งทดลองที่ 1 มีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์สารเพิ่มความคงตัวและน้ำตาลทราย เท่ากับ 4, 0.54 และ 12 %w/w เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสพบว่า ไอศกรีมเหลวของสิ่งทดลองที่เหมาะสมมีความหนืดเท่ากับ 129.16 cP ซึ่งมีค่าสูงกว่าสูตรพื้นฐาน เนื่องจากการนำโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีคุณสมบัติในการให้ความหนืดมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไอศกรีมจะทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gel-Nagar et al. (2002) ที่พบว่า การเติมโอลิโกแซคคาไรด์พวก

อินนูลินซึ่งมีส่วนของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไข่แดง ทำให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างใยอาหาร และองค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำ สำหรับค่าการขึ้นฟูพบว่า สูตรที่เหมาะสมมีอัตราการขึ้นฟูเท่ากับ 26.13% ดังนั้นกล่าวได้ว่าการเติมโอลิโกแซคคาไรด์ในการผลิตไอศกรีมทำให้ไอศกรีมอัตราการขึ้นฟูลดลง เนื่องจาก โอลิโกแซคคาไรด์ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้การตีปั่นเอาอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมทำได้น้อยลง (Clarke, 2004) นอกจากนั้นสูตรที่เหมาะสมยังมีอัตราการละลายลดลงจากสูตรพื้นฐาน เพราะโอลิโกแซคคาไรด์มีสมบัติในการจับกับน้ำและเป็นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ (Nelson, 2001; Elleuch et al., 2011) เมื่อใยอาหารดูดน้ำในส่วนผสม จะทำให้น้ำที่จะกลายเป็นน้ำแข็งมีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้การนำความร้อนของไอศกรีมเกิดขึ้นช้า (Garcia et al.,1995) ไอศกรีมจึงมีอัตราการละลายลดลง อัตราการละลายเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อผลิตภัณฑ์จำพวกไอศกรีมซึ่งมีผลโดยตรงต่อการยอมรับจากผู้บริโภค ไอศกรีมที่มีคุณภาพด้านการละลายที่ดีนั้นควรมีการละลายไม่ช้าหรือเร็วเกินไป ไอศกรีมที่มีการละลายที่ช้าอาจเป็นเพราะการเติมส่วนผสมที่มีสมบัติให้ความหนืดมากเกินไป ทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดสูง ความสามารถในการขึ้นฟูลดลง ซึ่ง Wilbey et al. (1998) กล่าวว่าการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ลดลง ทำให้ความแข็งของไอศกรีมเพิ่มขึ้น มีผลต่อเนื้อสัมผัส และเนื่องจากผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้มีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเติมลงในไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีค่าความสว่างลดลง นอกจากนั้นฟองอากาศยังมีผลต่อค่าสีของไอศกรีม เนื่องจากฟองอากาศสะท้อนแสงได้ ดังนั้นไอศกรีมที่มีฟองอากาศมากหรือมีอัตราการขึ้นฟูสูง จะมีสีสว่างกว่าไอศกรีมที่มีฟองอากาศน้อยกว่าหรือมีอัตราการขึ้นฟูต่ำ (Clarke, 2004) แม้ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี แสดงให้เห็นความแตกต่างจากไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานแต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสมที่เลือกได้ที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับสูตรพื้นฐานในทุกด้าน และเป็นสิ่งทดลองที่ได้รับความชอบรวมสูงที่สุดและสูงกว่าสูตรพื้นฐาน

2.5 ผลการทวนสอบผลจากการทำนาย

การทวนสอบผลจากการทำนายคือ การทดสอบความถูกต้อง แม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น สามารถยืนยันได้ว่าสมการนั้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากความจริงมากน้อย เพียงใดจากการทวนสอบผลจากการทำนายสูตรที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบค่าการตอบสนองคือคะแนนความชอบโดยรวมที่ได้จากทดลอง (Y_{pre}) กับค่าการตอบสนองคือคะแนนความชอบรวมที่ทำนายจากสมการ (Y_{ex}) และพิจารณาค่า RMS ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ซึ่งมีแนวทางกำหนดไว้ว่าถ้าค่า RMSต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อน

จากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) จากการทวนสอบผลจากการทำนายพบว่าค่า RMS เท่ากับ 12.21% แสดงว่า สมการที่ใช้เพื่อทำนายสูตรที่เหมาะสมมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย

3. ผลการศึกษาวิธีการเติมเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

จากปัญหาการลดจำนวนลงของจุลินทรีย์ที่อยู่รอดในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ ได้มีการหาแนวทางการปรับปรุงการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ โดยการใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันซึ่งหมายถึง กระบวนการที่เซลล์ถูกห่อหุ้มไว้ภายในเยื่อหุ้ม (Encapsulating membrane) เพื่อลดการบาดเจ็บของเซลล์หรือการสูญเสียของเซลล์จากสภาวะแวดล้อม ในงานวิจัยนี้เชื้อโพรไบโอติกที่เลือกใช้คือ *Lactobacillus rhamnosus* TISTR 372 โดยแปรวิธีการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ก่อนเติมลงในไอศกรีม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS และการเคลือบเซลล์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน

3.1 ผลการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก *L. rhamnosus* TISTR 372 อภิปรายผลได้ดังนี้

3.1.1 การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหารเหลว MRS

เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่อยู่ในรูปผงแห้งมาเลี้ยงในอาหารเหลว MRS พบว่า สามารถเลี้ยงให้เชื้อเจริญขึ้นได้ โดยสามารถเตรียมเชื้อให้มีปริมาณ 10^8-10^9 cfu/ml ตามกำหนดได้ แสดงให้เห็นว่าโพรไบโอติกได้รับสารอาหารจากอาหารเหลวทำให้แจริญและมีความแข็งแรง โดยอาหารเหลว MRS จัดเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อประเภท Selective media คือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อที่ไม่ต้องการ โดยสารที่เติมลงไปนั้นจะไม่มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อที่ต้องการ

3.1.2 การเคลือบเซลล์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากการเคลือบเซลล์ด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แคลเซียมอัลจิเนต แคปปาคาราจีแนน เจแลนกัม หรือ เจลาติน เป็นการทำให้เซลล์ถูกรักษาไว้ในวัสดุที่ห่อหุ้ม เพื่อลดการบาดเจ็บและการตายของเซลล์ ทำให้เซลล์ทนต่อกรดและน้ำดีในทางเดินอาหารได้ดีขึ้น มีรายงานว่า เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันช่วยป้องกันเซลล์จากสภาวะที่มีออกซิเจนสูง ช่วยป้องกันเซลล์จากการแช่แข็ง และป้องกันเซลล์ระหว่างการส่งผ่านเข้าไปในลำไส้ (Champagne & Cote, 1978)

จากการเตรียมโพรไบไอติกด้วยการเคลือบเซลล์วิธีไมโครเอนแคปซูเลชันแบบอิมัลชัน โดยเตรียมสารไฮรคอลลอยด์จากแคลเซียมอัลจิเนต พบว่าเซลล์ที่เคลือบได้มีลักษณะเป็นทรงกลม สีขาวขุ่น ขนาดเล็ก ตามหลักการของเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน กล่าวไว้ว่าตัวเซลล์

เชื้อจุลินทรีย์ถูกปกป้องจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยถูกหุ้มด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ สารที่ใช้เคลือบเซลล์โพรไบโอติกส่วนมากเป็นโพลีแซคคาไรด์จากธรรมชาติ ได้แก่ อัลจิเนต คาร์ราจีแนน เจลแลนกัม กัมอาราบิค แซนแทนกัม เซลลูโลส และแป้งข้าวโพดดัดแปร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ เจลาติน เวย์โปรตีน ไขมันนม และไคโตซานได้ เช่น จากงานวิจัยของSultana 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 เซลล์โพรไบโอติกไว้ภายใน จากนั้นเคลือบด้วยอะไมโลสอีกครั้ง ทำให้เป็นผงด้วยวิธีการแช่แข็งแบบระเหิดพบว่าจำนวนเชื้อโพรไบโอติกที่รอดชีวิตไม่น้อยกว่า 10^9 เซลล์ต่อกรัม และมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ Krasaekoopt et al. (2003) กล่าวว่า ขนาดของเม็ดเจลจะถูกควบคุมโดยความเร็วในการกวน และสามารถผันแปรได้ระหว่าง 25 ไมโครเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร และเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับแบคทีเรียประเภทแลคติก อย่างไรก็ตามการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีอิมัลชันนี้อาจก่อให้เกิดแรงเฉือนจากการกวนผสม ซึ่งทำให้เซลล์บาดเจ็บและส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเคลือบลดลงได้ (Picot & Lacroix, 2004) ดังนั้นในการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีอิมัลชันจึงควรศึกษาสภาวะและวัตถุดิบที่เหมาะสมในการเคลือบเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

3.2 ผลการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในไอศกรีมหลังการแช่แข็งและระหว่างการเก็บรักษา

ผลการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในไอศกรีมหลังการแช่แข็งพบว่า เมื่อผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีม เชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันมีอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์สูงกว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ได้เคลือบเซลล์ เนื่องจากวิธีการเอนแคปซูเลชันสามารถช่วยรักษาความคงตัว รักษาระดับจำนวนจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ดีกว่าและช่วยให้เซลล์โพรไบโอติกทนต่อสภาวะที่รุนแรงในกระบวนการผลิตไอศกรีมได้ (Rao et al., 1989) สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Champagne and Cote (1987) ที่รายงานว่า ปัจจัยที่ทำให้เซลล์อยู่รอดได้ดียิ่งขึ้นนอกจากจะเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อการทนกรดแล้ว ยังเป็นผลจากการที่เซลล์ได้รับการป้องกันจากวัสดุห่อหุ้มที่ใช้

จากการศึกษาการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในไอศกรีมระหว่างการเก็บรักษาพบว่าอัตราการรอดชีวิตของ *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่ผ่านการเตรียมทั้ง 2 วิธีลดลงเมื่อระยะเวลาใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเก็บไอศกรีมนานขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการการเก็บรักษา เนื่องจากในระหว่างการแช่แข็งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายในเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์บาดเจ็บเนื่องจากการฉีกขาดของเซลล์เพราะถูกผลึกน้ำแข็งทิ่มแทง (Davison et al., 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hekmat and McMahon (1992) ซึ่งศึกษาการอยู่รอดของ *Lb.acidophilus* และ *B.bifidum* ในไอศกรีมเหลวและไอศกรีมโยเกิร์ตเป็นเวลา 17 สัปดาห์ พบว่า *Lb.acidophilus* และ *B.bifidum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในไอศกรีมเหลวและสามารถอยู่รอดได้ในระหว่างการแช่แข็ง โดย *Lb.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 นอกจากนั้นแล้วเชื้อจุลินทรีย์ *L. rhamnosus* TISTR 372 เป็นเชื้อโพรไบโอติกที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ แต่ในการะบวนการผลิตไอศกรีมมีการตีปั่นเอาออกซิเจนเข้ามา นอกจากนี้ยังมีออกซิเจนส่วนหนึ่งที่กระจายอยู่ในนม ออกซิเจนเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์ลดจำนวนลง (Ishibashi & Shimamura, 1993) เชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันมีอัตราการรอดชีวิตของจุลินทรีย์สูงกว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ได้เคลือบเซลล์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Hou et al. (2003) ที่พบว่าแบคทีเรียที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลชันในน้ำมันงาซึ่งเก็บไว้ที่ 4 °C เป็นเวลา 16 วัน มีอัตราการอยู่รอดเพิ่มขึ้น จาก 0.023% เป็น 5.45% นอกจากนี้ Capela and others (2005) รายงานว่าการใช้สารห่อหุ้มเซลล์ ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็ง พบว่า หลังจาก 6 เดือนของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 21 °C เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกมีการเหลือรอดเพิ่มมากขึ้น

เมื่อโพรไบโอติกเข้าสู่ร่างกายและผ่านลงไปเจริญในลำไส้ใหญ่จะไปแข่งขันกับเชื้อก่อโรคในการยึดเกาะผนังลำไส้ ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียก่อโรคเข้ายึดเกาะผนังลำไส้ ส่งผลให้การย่อยอาหารและการดูดซึมเป็นไปอย่างปกติ (Fuller, 1993) กรดแลคติกที่แบคทีเรียโพรไบโอติกชนิดแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) ผลิตออกมามีผลทำลายและยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน โดยกรดแลคติคที่แบคทีเรียสร้างขึ้นมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของตะกอนเคซีน ช่วยให้ร่างกายย่อยเคซีนได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การได้รับพรีไบโอติกและโพรไบโอติกเข้าสู่ร่างกายร่วมกัน มีผลทำให้โพรไบโอติกเจริญอยู่ในลำไส้ได้ดีเนื่องจากจุลินทรีย์มีสารอาหารคือพรีไบโอติกสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต และการดำรงชีวิตรอดอยู่ในร่างกายได้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณโพรไบโอติกที่เหลือรอดในไอศกรีมเมื่อเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 4 สัปดาห์ อยู่ในช่วง 8-9 log cfu/g ซึ่งยังอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่แนะนำให้มีปริมาณโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์นมที่จะให้ประโยชน์ทางโภชนบำบัดคือ 6 – 7 log cfu/g (Guler & Akin, 2007) ดังนั้นไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จาก

แก้วมังกรและจุลินทรีย์โพรไบโอติกจึงเป็นลิตภัณฑ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค ที่ต้องการบริโภคอาหารสุขภาพที่เป็นแหล่งของพรีไบโอติกและโพรไบโอติก

4.การทดสอบผู้บริโภค

ผลจากการสำรวจทัศนคติ พฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและโพรไบโอติก จากผู้บริโภคจำนวน 60 คน พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรับประทานไอศกรีม มีความถี่ในการรับประทาน 1 -3 ครั้ง/ สัปดาห์ ปริมาณที่ทานในแต่ละครั้ง เท่ากับ 1-2 สกู๊ป โดยเหตุผลสำคัญในการเลือกรับประทานส่วนใหญ่เนื่องจากรสชาติ คุณค่าทางอาหาร ลักษณะปรากฏ และราคา ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบ 9 point hedonic scale เมื่อพิจารณาแต่ละคุณลักษณะได้ผลการทดลองดังนี้

คะแนนความชอบด้านสีอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.59 คะแนน ด้านกลิ่น พบว่า มีค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 7.14 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง ด้านรสหวาน มีค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 7.53 คะแนน ด้านเนื้อสัมผัส มีค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 6.08 คะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย ด้านความชอบโดยรวม ค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 7.47 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับคะแนนความชอบของไอศกรีมสูตรพื้นฐานที่เคยได้ทดสอบไว้พบว่า ความชอบสีไม่มีความแตกต่างจากสูตรพื้นฐานที่ได้รับคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ 7.4 คะแนน แสดงว่าการเติมโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากแก้วมังกรปริมาณ 4.00% ลงในผลิตภัณฑ์ ไม่มีผลต่อความชอบด้านสี คะแนนความชอบด้านกลิ่นของไอศกรีมที่พัฒนาได้รับคะแนนสูงกว่าสูตรพื้นฐานที่ได้รับคะแนนความชอบเพียง 6.2 คะแนน สำหรับคะแนนความชอบด้านรสหวานได้รับคะแนนมากกว่าสูตรพื้นฐานที่ได้รับคะแนนความชอบด้านรสหวานเพียง 6.5 คะแนน ในขณะที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสนั้นสูตรที่พัฒนาได้ ได้รับคะแนน 6.98 คะแนนซึ่งน้อยกว่าสูตรพื้นฐาน (7.4 คะแนน) อาจเนื่องจากขนาดของเม็ดอัลจิเนตทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเม็ดทราย

ผลจากการสอบถามการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่าหากมีผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและโพรไบโอติกมาวางจำหน่ายผู้บริโภคส่วนใหญ่ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่พัฒนาได้ 56.67% แสดงถึงผู้บริโภคว่ามีแนวโน้มยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ แต่ผู้บริโภคที่ไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ 13.33% อาจเนื่องมาจากผู้บริโภคยังไม่มั่นใจในคุณค่าทางโภชนาการและต้องการพิจารณาการรับรองจากหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ โดยแนวทางในการแก้ปัญหาคือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การให้ข้อมูลที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถืออย่างครบถ้วนแก่ผู้บริโภค เช่น เชื้อพรีไบโอติก *L. rhamnosus* TSSTR 327 ที่นำมาผลิตไอศกรีมนั้นได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาแล้วว่าเป็นเชื้อที่มีความปลอดภัย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เป็นต้น

สรุปผลการทดลอง

1. สามารถผลิตผงโอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรได้ โดยใช้การสกัดด้วยน้ำและเอทธานอลร่วมกับการทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด คิดเป็นปริมาณผลได้ 5.00% ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน โดยมีค่าสี L* เท่ากับ 81.01 ค่าสี a* เท่ากับ 0.93 และค่าสี b* เท่ากับ 12.76 มีความชื้น 4.21% มีค่าดัชนีการละลายน้ำ 46.40% ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ 3.39% เมื่อนำมาเตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้น 30% ให้ค่าความหนืดเท่ากับ 142.67 cP

2. ผลิตไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบคุณภาพไอศกรีมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่า ไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานมีสีขาวอมเหลือง โดยมีค่าสี L* เท่ากับ 96.26 ค่าสี a* เท่ากับ 0.93 และค่าสี b* เท่ากับ 9.69 ไอศกรีมเหลวที่เตรียมได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 108.61 cP ใช้เวลาในการขึ้นฟู 20 นาที และทำให้ได้ไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูเท่ากับ 29.58% เมื่อวัดอัตราการละลายพบว่า มีอัตราการละลายสูงที่สุดเท่ากับ 23.78% ที่เวลา 30 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 34.73 °Brix และค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.46 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่าไอศกรีมสูตรพื้นฐานได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.2 – 7.4 หมายถึงมีระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลาง ทั้งนี้ได้รับความชอบรวมเท่ากับ 6.6 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลางเช่นกัน

3.การพัฒนาสูตรไอศกรีมโดยเสริมโอลิโกแซคคาไรด์โดยการกลั่นกรองปัจจัยด้านส่วนผสมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ วางแผนการทดลองวิธี Plackett and Burman ปัจจัยที่กลั่นกรองคือ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (2.0 - 6.0 %w/w) ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (0.2 - 0.8 %w/w) ปริมาณน้ำตาลทราย (8.0-16.0 %w/w) ปริมาณครีม (20.0 – 30.0 %w/w) และ ปริมาณหางนมผง (8.0 – 12.0 %w/w) สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของไอศกรีมมากที่สุดซึ่งนำมาศึกษาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป คือ โอลิโกแซคคาไรด์ (2.0 - 6.0 %w/w) สารเพิ่มความคงตัว (0.2 - 0.8 %w/w) และน้ำตาลทรายขาว (8.0-12.0 %w/w) สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ จัดสิ่งทดลองแบบ Central composite design ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีความน่าเชื่อถือคือสมการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ของคุณภาพด้านความหนืด ความชอบด้านสี และค่าความชอบรวม ($R^2 > 0.70$ และ ค่า Model significance < 0.05) และจากการนำสมการค่าความชอบรวมมาสร้าง พื้นผิวตอบสนองด้วย Response surface methodology ทำให้ได้ช่วงของปริมาณส่วนผสมที่จะทำให้ได้ไอศกรีมที่ได้รับคะแนนความชอบรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน) คือ การใช้โอลิโกแซคคาไรด์ 4.00 %w/w สารเพิ่มความคงตัวในช่วง 0.20 - 0.46 หรือ 0.54 – 0.80 %w/w และน้ำตาลทรายขาวในช่วง 8.00-9.72 หรือ 10.28-12.00 %w/w แปรปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ สารเพิ่มความคงตัว และน้ำตาลทรายขาวตามช่วงที่ได้ ทำให้ ได้ไอศกรีม 6 สิ่งทดลอง คัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม จากการพิจารณาค่าคุณภาพต่างๆของไอศกรีมที่ใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานมากที่สุดและได้รับคะแนนความชอบรวมมากที่สุด พบว่าสูตรที่เหมาะสมคือสูตรที่ใช้โอลิโกแซคคาไรด์ สารเพิ่มความคงตัว และน้ำตาลทรายขาว เท่ากับ 4, 0.54 และ 12 %w/w ตามลำดับ และจากการทวนสอบผลจากการทำนายพบว่าสมการที่ใช้มีค่า RMS เท่ากับ 12.21% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ในการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย

4. สามารถเตรียมเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก *L. rhamnosus* TSSTR 327 โดยวิธีการเลี้ยงในอาหารเหลว (MRS broth) และวิธีการเอนแคปซูเลชัน ให้มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นอยู่ในช่วง 10^8 - 10^9 cfu/ml ได้ และไอศกรีมที่มีการเติมโพรไบโอติกจากการเอนแคปซูเลชันเซลล์ทำให้โพรไบโอติกมีอัตราการอยู่รอด (89.37%) สูงกว่าการเลี้ยงในอาหารเหลว (81.33%) โดยการเคลือบเซลล์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน มีเชื้อ *L. rhamnosus* TSSTR 327 เหลือ 8.41 log cfu/g ส่วนการเตรียมโดยวิธีการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS มีปริมาณเชื้อ *L. rhamnosus* TSSTR 327 เหลือ 7.19 log cfu/g เมื่อเก็บไอศกรีมที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

5. จากการทดสอบผู้บริโภค พบว่า ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและโพรไบโอติกที่พัฒนาได้นั้น ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.47 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง และผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่พัฒนาได้ 56.67%

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University