บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพผงโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกร

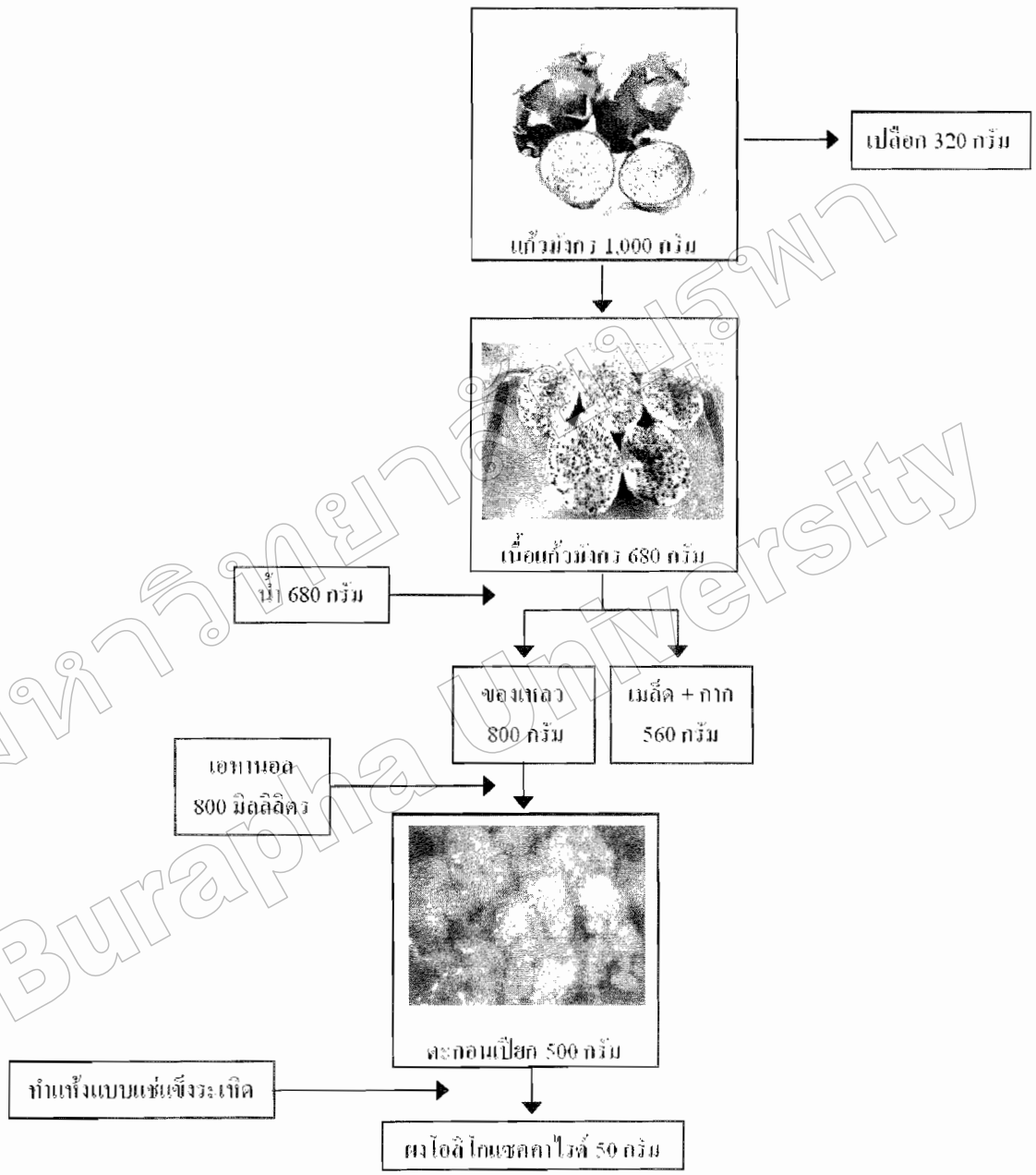
ผลการคำนวณปริมาณผลได้ (%Yield) พบว่า แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวทั้งผลน้ำหนักสด 1,000 กรัม สกัดได้ผงแห้งโอลิโกแซคคาไรด์ 50 ± 2 กรัม ดังนั้น %Yield ในการผลิตโอลิโกแซคคาไรด์ผงจากแก้วมังกรทั้งผล เท่ากับ 5.0 ± 0.2 % ทั้งนี้สมดุลมวล (Mass balance) ในการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรแสดงดังภาพที่ 4-1 พบว่า ผลแก้วมังกรสด 1,000 กรัม มีส่วนเปลือก 320 กรัม เมื่อนำส่วนเนื้อมาสกัดแยกส่วนโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้น้ำและเอทานอล ได้ตะกอนเปียก 500 กรัม และเมื่อนำมาทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด (ความชื้นไม่เกิน 5.00%) พบว่าได้ผงโอลิโกแซคคาไรด์ 50 กรัม เมื่อนำผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากแก้วมังกรมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ได้ผลดังตารางที่ 4-1 พบว่าผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล (ภาพที่ 4-2) โดยมีค่าสี L* เท่ากับ 81.01 ค่าสี a* เท่ากับ 0.93 และค่าสี b* เท่ากับ 12.76 มีค่าดัชนีการละลายน้ำ (46.40%) สูงกว่าค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (3.39%) เมื่อนำมาเตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้น 30% ให้ค่าความหนืดเท่ากับ 142.67 cP โดยผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.21%

2. ผลการพัฒนาสูตรไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสได้ผลแสดงในตารางที่ 4-2 พบว่า ไอศกรีมนมสูตรพื้นฐานมีสีขาวอมเหลือง (ภาพที่ 4-3) 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 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางเคมีของไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน พบว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 34.73 °Brix และค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.46 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ พบว่าไอศกรีมสูตรพื้นฐานได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.2 – 7.4 หมายถึงมีระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลาง ทั้งนี้ได้รับความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.6 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย – ปานกลาง เช่นกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-1 สมดุลมวลในการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกร

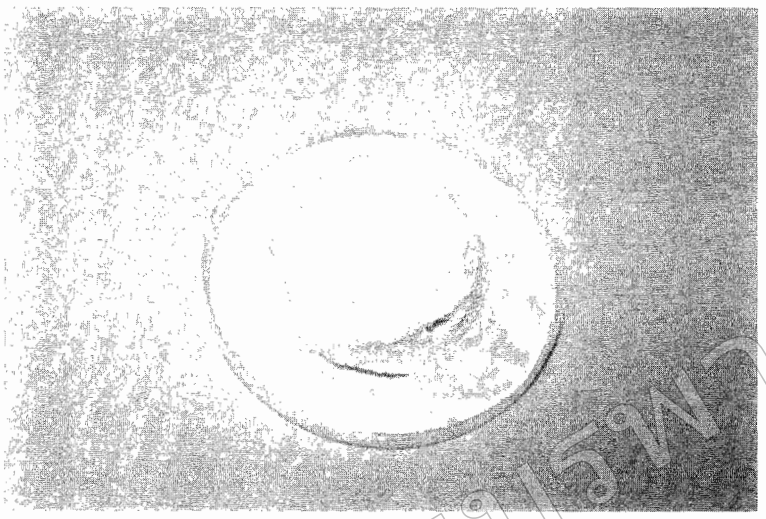
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของโอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกร

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD
ค่าความหนืด (cP)	142.67 ± 0.96
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	46.40 ± 1.27
ดัชนีการดูดซับน้ำ (%)	3.39 ± 0.11
ค่าสี L*	81.01 ± 0.05
a*	0.93 ± 0.09
b*	12.76 ± 0.30
ความชื้น (%)	4.21 ± 0.25

ภาพที่ 4-2 ผงโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเนื้อแก้วมังกร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-3 ไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน

2.2 ผลการกลั่นกรองปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่มีความสำคัญต่อคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

ขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นกรองปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่มีความสำคัญหรือมีผลกระทบต่อคุณภาพของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งได้แก่ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ปริมาณน้ำตาลทรายขาว ปริมาณครีม และ ปริมาณหางนมผง เมื่อวางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman แบบ N = 8 ได้ไอศกรีม 8 สิ่งทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ทั้ง 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-3 และ 4-4 พบว่า ค่าความหนืดของไอศกรีมเหลวที่วัดได้อยู่ในช่วงกว้างจาก 15.90 – 224.33 cP โดยไอศกรีมเหลวที่มีความหนืดสูงที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 1 มีค่า 224.33 cP ซึ่งมีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ในระดับสูง คือ 6 % w/w สิ่งทดลองที่มีความหนืดน้อยที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 8 มีค่า 15.90 cP มีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ในระดับต่ำ คือ 2 % w/w เมื่อนำไอศกรีมเหลวไปตีปั่นให้ขึ้นฟู พบว่าแต่ละสิ่งทดลองใช้เวลาในการขึ้นฟูต่างกัน อยู่ในช่วง 45 – 90 นาที มีการขึ้นฟูอยู่ใช่วง 20.46 – 67.81 % สิ่งทดลองที่มีการขึ้นฟูมากที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 4 ไอศกรีมที่มีการขึ้นฟูต่ำที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 5.87 – 6.93 เมื่อนำไปวัดค่าสี พบว่า ค่าสี L* มีค่าอยู่ในช่วง 78.17 -86.85 ค่าสี a* มีค่าอยู่ในช่วง -1.34 – 0.54 และค่าสี b* มีค่าอยู่ในช่วง 9.03 – 14.33 เมื่อพิจารณาผลด้านอัตราการละลายพบว่าไอศกรีมทุกสิ่งทดลองอัตราการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และมีอัตราการละลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่เวลา 10 นาที – 30 นาทีโดยอัตราการละลายที่นาทีที่ 10 มีค่าอยู่ในช่วง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

0.33 – 4.36 % แต่เมื่อทดสอบที่นาทีที่ 40 พบว่า ไอศกรีมส่วนที่ละลายไม่หยดออกจากตะแกรง สังเกตเห็นการหนืดยึดติดกับตะแกรง เป็นผลให้อัตราการละลายที่วัดได้นั้นลดลง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman ทั้ง 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่า ความชอบด้านสีได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.4 – 7.2 คะแนน สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 4 ความชอบด้านกลิ่นได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.8 – 6.8 คะแนน สำหรับความชอบรสหวาน พบว่า ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.3 – 6.8 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.4 – 6.3 คะแนน ไอศกรีมทั้ง 8 สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.1 – 7.2 คะแนน โดยสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 7

ค่า t จากการเปิดตารางสถิติ t ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 และDegree of freedom (df) เท่ากับ 2 มีค่าเท่ากับ 2.920 จึงสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยทดลองที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพเคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman แสดงดังตารางที่ 4-5 พบว่า ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไอศกรีมในด้านความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง เวลาในการขึ้นฟู และค่าสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ปริมาณสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อคุณภาพด้านความหนืด เวลาในการขึ้นฟู และค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ปริมาณน้ำตาลทรายขาวและครีมมีผลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) หางนมผงมีผลต่อค่าความหนืดและค่าสี L*

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลต่อความชอบทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ปริมาณน้ำตาลทรายขาวมีผลต่อความชอบด้านรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ส่วนปริมาณครีมมีผลต่อความชอบด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) สำหรับปริมาณหางนมผงมีผลต่อความชอบด้านรสหวาน

หากพิจารณาถึงจำนวนค่าคุณภาพไอศกรีมที่ปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมมีผลมากที่สุด ได้แก่ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว ปริมาณครีม และปริมาณหางนมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่กลั่นกรองได้ว่ามีความสำคัญที่สุดจำนวน 3 ปัจจัย ต่อค่าคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ได้แก่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (มีผลต่อค่าคุณภาพ 11 ค่า) ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (มีผลต่อค่าคุณภาพ 3 ค่า) และปริมาณน้ำตาลทรายขาว (มีผลต่อค่าคุณภาพ 2 ค่า) ดังนั้นปัจจัยที่จะเลือกมาศึกษาระดับปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในขั้นตอนต่อไป คือ โอลิโกแซคคาไรด์ สารเพิ่มความคงตัว และน้ำตาลทรายขาว

2.3 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

จากผลการทดลองในข้อ 2.2 ทำให้สามารถกลั่นกรองปัจจัยด้านปริมาณส่วนผสมที่มีความสำคัญที่สุด จำนวน 3 ปัจจัยคือ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) และปริมาณน้ำตาลทรายขาว (X_3) นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาโดยจัดสิ่งทดลองแบบ CCD (Central composite design) โดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับโดยมีค่ารหัส (Code value)ได้แก่ -1.682, -1, 0, 1 และ 1.682 โดยแต่ละระดับของปัจจัยกำหนดให้ใช้ปริมาณส่วนผสมที่มีรายละเอียดและมีรหัสแสดงดังตารางที่ 4-6 ทำให้ได้การทดลองทั้งหมด 18 สิ่งทดลอง ประกอบด้วย จุดกึ่งกลาง (Center point) จำนวน 4 สิ่งทดลอง จุดขอบ (Axial point) จำนวน 6 สิ่งทดลอง และ Factorial point จำนวน 8 สิ่งทดลอง รูปแบบมาตรฐานการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสอง ตามมาตรฐานOctagon เมื่อมีปัจจัยที่ศึกษาจำนวน 3 ปัจจัย (X_1 X_2 และ X_3) แสดงดังตารางที่ 4-7

ผลิตไอศกรีมและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านความหนืด อัตราการขึ้นฟู ค่าสี และอัตราการละลายที่นาทีที่ 10 คุณภาพทางเคมีด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง และประสาทสัมผัส แล้วสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพที่วัดได้ โดยวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions) แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 การกำหนดปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในแต่ละระดับของปัจจัยที่จัดสิ่งทดลองแบบ CCD

ปัจจัย	ค่าจริง (%w/w)				
	-1.682	-1	0	1	1.682
X_1: ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์	2.00	2.81	4.00	5.19	6.00
X_2: ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว	0.20	0.32	0.50	0.68	0.80
X_3: ปริมาณน้ำตาลทรายขาว	8.00	8.81	10.00	11.19	12.00

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-3 ค่าความหนืด ค่าการขึ้นฟู ค่าความเป็นกรด—ด่าง ค่าเวลาที่ใช้ในการขึ้นฟู ค่าสี และอัตราการละลาย (%) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman

สิ่งทดลองที่	ความหนืด (cP)	การขึ้นฟู (%w/w)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เวลาที่ใช้ในการขึ้นฟู (นาที)	ค่าสี		
					L*	a*	b*
1	224.33 ± 0.38	50.39 ± 2.81	5.98 ± 0.01	90 ± 5	79.24 ± 0.13	0.30 ± 0.30	13.46 ± 0.39
2	158.33 ± 0.72	67.81 ± 3.69	5.87 ± 0.01	60 ± 5	82.44 ± 0.20	0.29 ± 0.04	12.96 ± 0.28
3	115.70 ± 1.37	20.46 ± 2.21	5.74 ± 0.01	90 ± 15	79.79 ± 0.11	0.54 ± 0.12	14.33 ± 0.43
4	114.69 ± 0.44	60.87 ± 2.96	6.93 ± 0.02	45 ± 5	83.45 ± 0.68	-1.25 ± 0.07	11.24 ± 0.24
5	90.64 ± 1.27	37.23 ± 0.77	5.96 ± 0.02	90 ± 10	78.17 ± 0.53	0.23 ± 0.03	15.55 ± 0.01
6	37.89 ± 1.07	35.87 ± 2.35	6.83 ± 0.01	90 ± 10	79.86 ± 0.40	-0.93 ± 0.08	13.02 ± 0.41
7	119.74 ± 0.64	29.65 ±0.47	6.51 ± 0.03	45 ± 5	86.85 ± 0.24	-1.12 ± 0.16	11.72 ± 0.66
8	15.9 ± 0.18	44.16 ± 2.47	6.91 ± 0.01	60 ± 5	83.23 ± 0.48	-1.34 ± 0.08	9.03 ± 0.87

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

สิ่งทดลองที่	% อัตราการละลายที่เวลาต่างๆ (นาที)					
	10	20	30	40	50	60
1	2.65 ± 0.40	29.72 ± 0.14	40.82 ± 0.39	20.48 ± 0.10	-	-
2	0.33 ± 0.44	10.76 ± 0.61	29.01 ± 0.67	30.16 ± 0.29	21.95 ± 0.57	23.37 ± 0.23
3	0.42 ± 0.10	5.44 ± 0.59	27.52 ± 0.04	29.38 ± 0.05	22.68 ± 0.15	21.69 ± 0.26
4	1.01 ± 0.86	19.42 ± 2.71	23.44 ± 3.41	21.04 ± 0.53	15.61 ± 2.54	11.29 ± 0.06
5	1.00 ± 0.31	23.50 ± 0.69	33.09 ± 1.21	27.92 ± 1.83	17.70 ± 2.10	-
6	2.83 ± 0.62	19.45 ± 0.39	21.88 ± 0.96	12.95 ± 0.18	15.94 ± 0.25	-
7	0.84 ± 0.57	10.59 ± 0.91	28.71 ± 0.73	24.40 ± 0.98	24.35 ± 0.95	17.23 ± 0.27
8	4.36 ± 0.39	15.38 ± 2.71	16.95 ± 2.51	13.38 ± 2.15	10.56 ± 0.49	6.68 ± 0.94

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากไอศกรีมละลายหมดก่อนถึงกำหนดเวลา และยึดติดอยู่บนผิวตะแกรง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman

สิ่งทดลองที่	ความชอบด้านสี	ความชอบด้านกลิ่น	ความชอบด้านรสหวาน	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	5.4 ± 1.72	5.8 ± 1.68	4.3 ± 1.77	4.4 ± 1.81	5.1 ± 1.54
2	5.7 ± 1.56	6.1 ± 1.46	5.1 ± 1.92	5.4 ± 1.98	5.6 ±2.08
3	5.9 ± 1.61	6.1 ± 1.67	5.2 ± 2.31	5.2 ± 2.08	5.6 ±1.90
4	7.2 ± 1.30	6.2 ± 1.22	5.8 ± 1.60	5.7 ± 1.62	6.4 ±1.25
5	5.7 ± 1.57	6.5 ± 1.43	5.0 ± 1.82	5.7 ± 1.84	5.7 ± 1.79
6	7.1 ± 1.36	6.8 ± 1.41	6.6 ± 1.83	6.1 ± 1.56	6.9 ±1.52
7	7.1 ± 1.12	6.7 ± 1.24	6.8 ± 1.19	6.3 ± 1.44	7.2 ± 1.06
8	6.8 ± 1.71	6.3 ± 1.56	6.2 ± 1.68	6.0 ± 1.54	6.3 ± 1.39

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-5 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกร ในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman

ค่าคุณภาพ	ค่า t-value ของแต่ละปัจจัยทดลอง				
	โอลิโกแซคคาไรด์	สารเพิ่มความคงตัว	น้ำตาลทรายขาว	ครีม	หางนมผง
ความหนืด (cP)	17.47^{sig}	20.71^{sig}	6.85^{sig}	-3.71^{sig}	3.36^{sig}
การขึ้นฟู (%)	0.137	1.815	-1.884	-0.136	0.570
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	-11.46^{sig}	-0.50	-1.89	-0.26	2.14
เวลาในการขึ้นฟู (นาที)	4.24^{sig}	-4.24^{sig}	2.83	0.00	2.83
ค่าสี L*	-4.86^{sig}	3.87^{sig}	-0.55	0.57	-4.10^{sig}
a*	14.51^{sig}	-0.68	2.08	0.53	-0.05
b*	4.05^{sig}	-0.91	1.34	1.86	1.87
อัตราการละลาย (นาทีที่ 10)	-0.77	-0.63	0.01	-0.57	0.26
ความชอบด้านสี	-6.11^{sig}	-0.11	0.11	0.33	0.11
ความชอบด้านกลิ่น	-4.17^{sig}	-2.50	0.83	4.72^{sig}	0.28
ความชอบด้านรสหวาน	-11.37^{sig}	-1.96	3.92^{sig}	1.57	-3.14^{sig}
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	-4.81^{sig}	-1.70	-1.13	3.11^{sig}	-1.40
ความชอบโดยรวม	6.66^{sig}	-0.28	1.11	2.77	-0.83

หมายเหตุ ^{sig} หมายถึง ปัจจัยทดลองมีผลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 (ค่า t ตารางที่ df = 2 เท่ากับ 2.92)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-7 รูปแบบมาตรฐานการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสอง ตามมาตรฐาน Octagon เมื่อมีปัจจัยที่ศึกษาจำนวน 3 ปัจจัย (X_1 X_2 และ X_3)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง (%w/w)		
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	-1	2.81	0.32	8.81
2	-1	-1	1	2.81	0.32	11.19
3	-1	1	-1	2.81	0.68	11.19
4	-1	1	1	2.81	0.68	11.19
5	1	-1	-1	5.19	0.68	8.81
6	1	-1	1	5.19	0.68	11.19
7	1	1	-1	5.19	0.68	8.81
8	1	1	1	5.19	0.68	11.19
9	-1.682	0	0	2.00	0.50	10.00
10	1.682	0	0	6.00	0.50	10.00
11	0	-1.682	0	4.00	0.20	10.00
12	0	1.682	0	4.00	0.80	10.00
13	0	0	-1.682	4.00	0.50	8.00
14	0	0	1.682	4.00	0.50	12.00
15	0	0	0	4.00	0.50	10.00
16	0	0	0	4.00	0.50	10.00
17	0	0	0	4.00	0.50	10.00
18	0	0	0	4.00	0.50	10.00

เมื่อ X_1 = ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ X_2 = ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว X_3 = ปริมาณน้ำตาลทรายขาว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-8 ผลการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพโดยวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions)

คุณภาพ	สมการ	R^2	Model significant
1. ความหนืด (Y_1)	$Y_1 = 139.795 + 51.752X_1 + 53.119X_2$	0.700	0.042
2. ค่าสี L* (Y_2)	$Y_2 = 82.686 - 2.302X_1 + 2.348X_2 + 2.809X_1X_2$	0.809	0.081
3. ค่าสี a* (Y_3)	$Y_3 = -0.347 - 0.572X_1X_2$	0.583	0.528
4. ค่าสี b* (Y_4)	$Y_4 = 13.016 + 5.77X_1$	0.477	0.750
5. อัตราการขึ้นฟู่ (Y_5)	$Y_5 = 11.273 - 4.685X_1 + 3.327X_1^2$	0.788	0.108
6. อัตราการละลาย (Y_6)	$Y_6 = 13.881 - 3.26X_1 + 2.24X_2^2$	0.562	0.576
7. ค่าความเป็นกรดด่าง (Y_7)	$Y_7 = 6.332 + 0.096X_1^2$	0.775	0.128
8. ความชอบด้านสี (Y_8)	$Y_8 = 6.606 - 0.608X_1 - 0.286X_1^2$	0.975	0.009
9. ความชอบด้านกลิ่น(Y_9)	$Y_9 = 5.659 + 0.179X_2X_3$	0.840	0.248
10. ความชอบรสหวาน (Y_{10})	$Y_{10} = 6.08 + 0.87X_2X_3 - 1.081X_1^2$	0.921	0.076
11. ความชอบเนื้อสัมผัส (Y_{11})	$Y_{11} = 6.922 - 0.237X_1 - 0.657X_1^2$	0.933	0.057
12. ความชอบโดยรวม (Y_{12})	$Y_{12} = 7.268 + 0.591X_2X_3 - 1.13X_1^2$	0.955	0.027

เมื่อ X_1=ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ X_2= สารเพิ่มความคงตัว X_3=น้ำตาลทรายขาว

ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมกับค่าคุณภาพของไอศกรีม ดำเนินการโดยใช้ค่ารหัส (Code value) โดยการสร้างสมการถดถอยแบบพหุ จากตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 ที่มีค่าสูง และค่า Model significant ที่มีค่าต่ำกว่า 0.05 พบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีความน่าเชื่อถือคือสมการของคุณภาพด้านความหนืด (Y_1) ความชอบด้านสี (Y_8) และค่าความชอบรวม (Y_{12}) โดยสมการความหนืด (Y_1) มีความสัมพันธ์กับปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) และปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) ในเชิงเส้นตรง สมการความชอบด้านสี (Y_8) มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) และปริมาณสารเพิ่มความ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คงตัว (X_2) ในเชิงสมการกำลังสอง และ สมการความชอบโดยรวม (Y_{12}) มีความสัมพันธ์กับปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) และปริมาณน้ำตาล (X_3)

เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ที่น่าเชื่อถือดังกล่าว มาพิจารณาสร้างเป็นภาพพื้นผิวการตอบสนอง ด้วยวิธี Response surface methodology (RSM) ได้ผลดังภาพที่ 4-4 ถึง 4-5 ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลของปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) และปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) ต่อค่าความหนืด (Y_1) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ตามสมการ

$$\text{ความหนืด } (Y_1) = 139.795 + 51.752X_1 + 53.119X_2$$

จากภาพที่ 4-4 พบว่า การเพิ่มปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) และปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) ทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดมากขึ้น การใช้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ตั้งแต่ระดับ -1.682 ถึง 1.682 ร่วมกับการใช้ปริมาณสารเพิ่มความคงตัวตั้งแต่ระดับ -1.682 ถึง 1.682 ทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดอยู่ในช่วง ประมาณ 50 – 350 cP

2. ผลของปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) ต่อคะแนนความชอบด้านสี (Y_8) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ตามสมการ

$$\text{ความชอบด้านสี } (Y_8) = 6.606 - 0.608X_1 - 0.286X_1^2$$

เนื่องจากสมการของความชอบด้านสี (Y_8) เป็นผลมาจากปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถแสดงเป็นภาพพื้นผิว RSM ได้ แต่จากสมการสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง

3. ผลของปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) สารเพิ่มความคงตัว (X_2) และน้ำตาลทรายขาว (X_3) ต่อคะแนนความชอบโดยรวม (Y_{12}) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ตามสมการ

$$\text{ความชอบโดยรวม } (Y_{12}) = 7.268 + 0.591X_2X_3 - 1.13X_1^2$$

เนื่องจากสมการของความชอบโดยรวม (Y_{12}) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 3 ตัว การสร้างภาพพื้นผิว RSM สามารถสร้างได้ครั้งละ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรที่เหลือเป็นค่าคงที่ใด ๆ ในกรณีนี้จึงกำหนดให้ใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) คงที่ในระดับ 0 -1.682 และ 1.682 ดังนั้นเมื่อแทนค่า X_1 ตามกำหนดในสมการ ได้สมการใหม่ที่ใช้สร้างภาพพื้นผิว RSM ดังนี้คือ

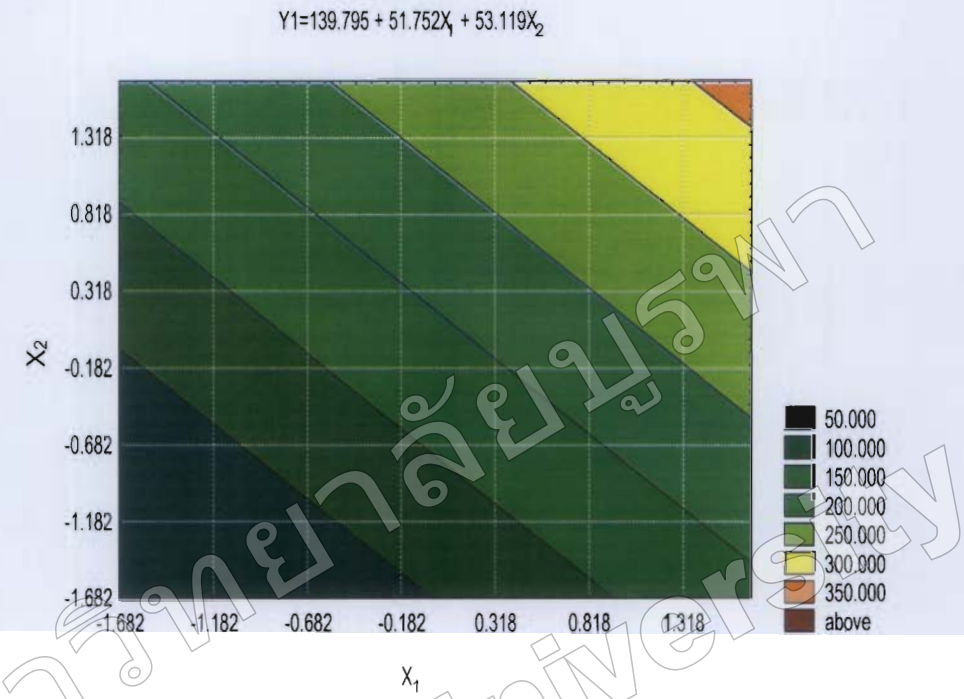
เมื่อ $X_1 = 0$; ความชอบโดยรวม $(Y_{12}) = 7.268 + 0.591X_2X_3$

เมื่อ $X_1 = -1.682$; ความชอบโดยรวม $(Y_{12}) = 10.4649 + 0.591X_2X_3$

เมื่อ $X_1 = 1.682$; ความชอบโดยรวม $(Y_{12}) = 4.0771 + 0.591X_2X_3$

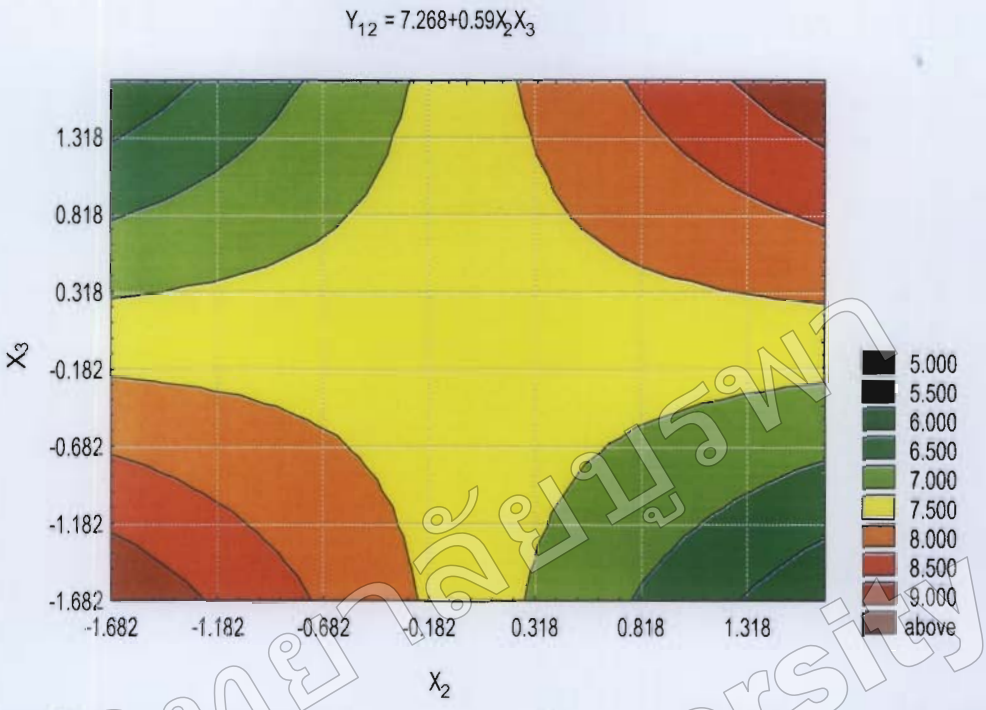
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อนำสมการข้างต้นมาสร้างภาพพื้นผิว RSM ได้ผลดังภาพที่ 4-5, 4-6 และ 4-7



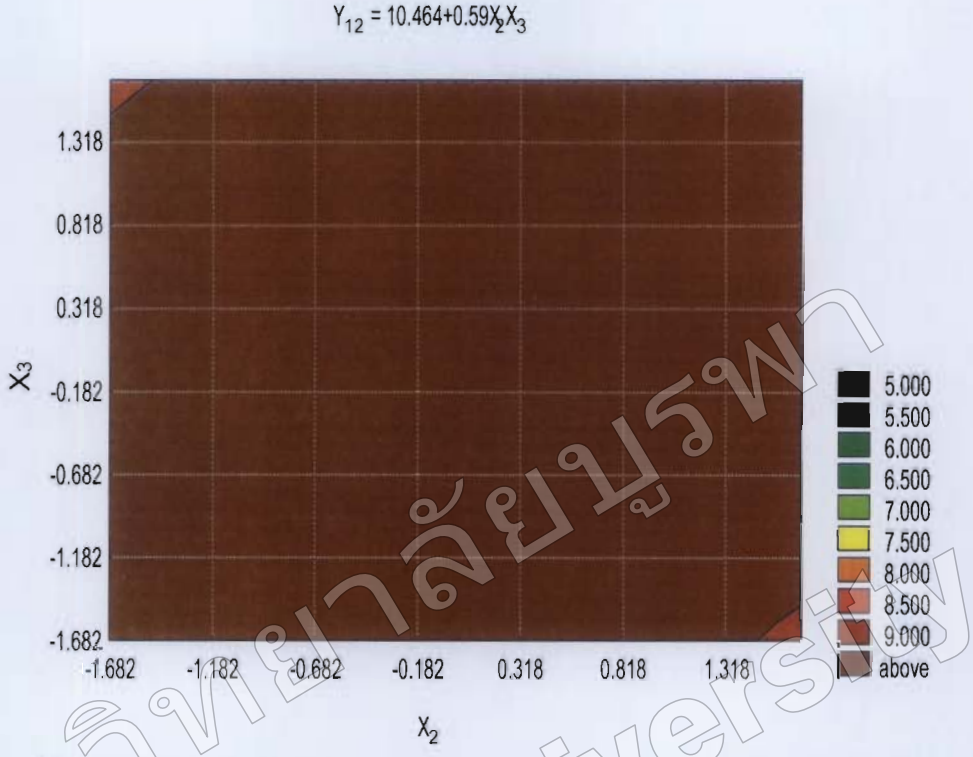
ภาพที่ 4-4 พื้นที่การตอบสนองของค่าความหนืดของไอศกรีมเหลว เมื่อแปรระดับการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ X_1 (-1.682 ถึง 1.682) และสารเพิ่มความคงตัว X_2 (-1.682 ถึง 1.682)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



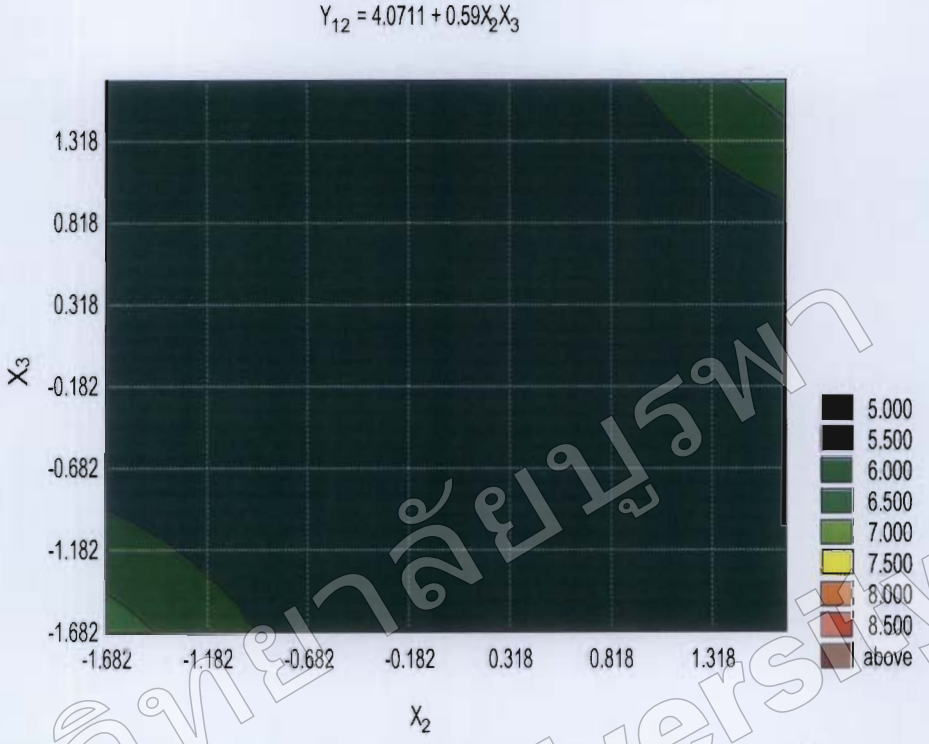
ภาพที่ 4-5 พื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวม เมื่อแปรระดับปริมาณการใช้สารเพิ่มความคงตัว X_2 (-1.682 ถึง 1.682) และน้ำตาลทราย X_3 (-1.682 ถึง 1.682) โดยโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (0)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-6 พื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวม เมื่อแปรระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว X_2 (-1.682 ถึง 1.682) และน้ำตาลทราย X_3 (-1.682 ถึง 1.682) โดยโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (-1.682)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-7 พื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวม เมื่อแปรระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว X_2 (-1.682 ถึง 1.682) และน้ำตาลทราย X_3 (-1.682 ถึง 1.682) โดยโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (1.682)

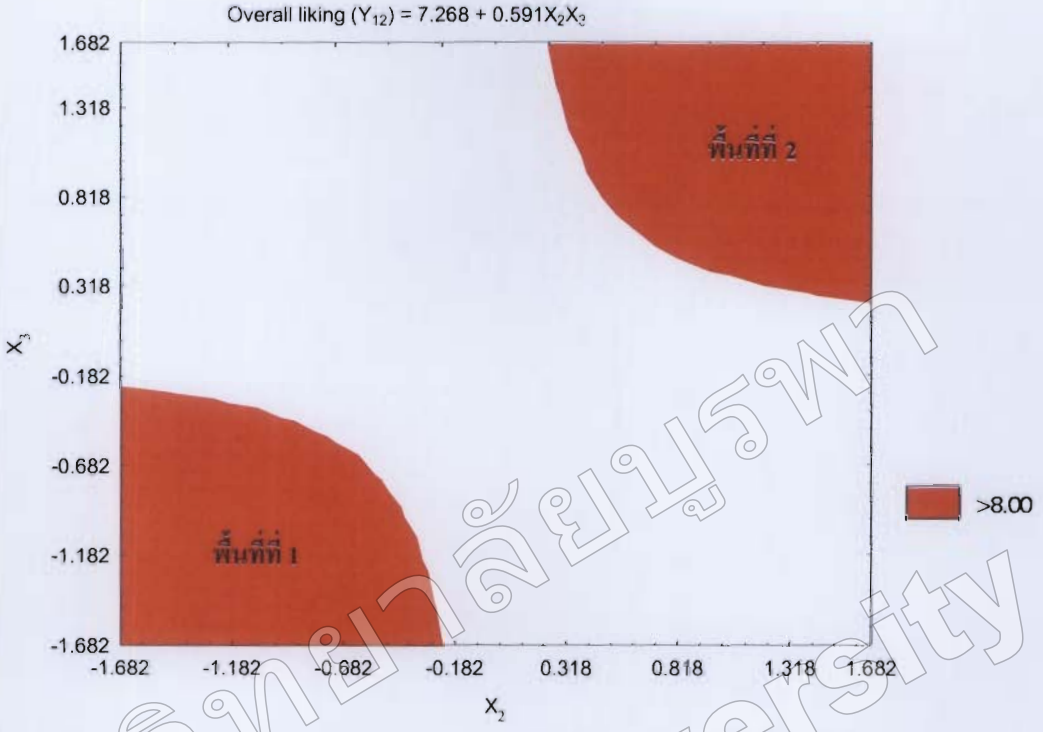
จากภาพที่ 4-5 พบว่าเมื่อปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (0) ค่าความชอบโดยรวมจะมีค่าสูงคือมากกว่า 8 คะแนน (จาก 9 คะแนน) ในบริเวณพื้นที่โทนสีส้ม และจากภาพสังเกตได้ว่าคะแนนความชอบโดยรวมจะมีค่าสูงเมื่อมีการใช้ปริมาณ X_2 และ X_3 ในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้ามีการใช้ปริมาณ X_2 มาก ปริมาณของ X_3 จะต้องมากด้วย ในทางกลับกันถ้าใช้ส่วนผสมไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันชนิดหนึ่งปริมาณมาก อีกชนิดหนึ่งปริมาณน้อย จะทำให้ค่าความชอบโดยรวมตกอยู่ในพื้นที่โทนสีเขียว มีค่า 6-7 คะแนน ดังนั้นจากการทำนายของสมการและจากภาพ RSM ทำให้สรุปได้ว่า เมื่อกำหนดให้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (0) ส่วนผสมอีก 2 ชนิดคือ สารเพิ่มความคงตัว (X_2) ต้องอยู่ในช่วง(-1.682) – (-0.238) และ (0.230) – (1.682) สำหรับน้ำตาลทรายขาว (X_3) ต้องอยู่ในช่วง(-1.682) – (-0.235) และ (0.235) – (1.682) จึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ 8 คะแนน (จาก 9 คะแนน)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อพิจารณาภาพ RSM ของสมการค่าความหนืด (ภาพที่ 4-4) ค่าความชอบโดยรวม (ภาพที่ 4-5 ถึง 4-7) พบว่า สมการที่เป็นตัวแทนที่ดีในการคัดเลือกช่วงของปริมาณส่วนผสมคือ สมการคะแนนความชอบโดยรวม (Y_{12}) เนื่องจาก เป็นสมการที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาครบทั้ง 3 ปัจจัย (X_1, X_2, X_3) และเป็นสมการค่าความชอบโดยรวมซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญที่บ่งบอกการยอมรับผลิตภัณฑ์ สำหรับกรณีสมการค่าความหนืด พบว่าสมการสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยได้เพียง 2 ปัจจัยเท่านั้น ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาได้ครบทุกปัจจัย โดยเมื่อพิจารณาภาพ RSM ของสมการความชอบโดยรวมแล้วพบว่า การใช้ปริมาณโอลิโกแซคคาร์ไรด์ที่ระดับ -1.682 ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด รองลงมาการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ที่ระดับ 0 และ 1.682 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแนวโน้มระดับคะแนนความชอบโดยรวมเมื่อใช้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ที่ระดับ -1.682 และระดับ 0 ยังคงทำให้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน (จาก 9 คะแนน) ตามที่กำหนดไว้ ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ที่ระดับ 1.682 ไม่สามารถให้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนตามที่กำหนด ทั้งนี้ในงานวิจัยมีความมุ่งหมายที่จะเติมโอลิโกแซคคาไรด์ลงไปในผลิตภัณฑ์ให้ได้มากที่สุด จึงเลือกสมการความชอบโดยรวมที่กำหนดปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 0 มาใช้ในการคัดเลือกช่วงของปริมาณส่วนผสมต่อไป ดังนั้นดำเนินการหาช่วงของการใช้ปริมาณส่วนผสม (ปัจจัยที่ศึกษา) ที่จะทำให้ได้ไอศกรีมที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กำหนดให้ต้องได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน) เมื่อกำหนดให้ได้คะแนนความชอบโดยรวมตามเกณฑ์ได้ภาพพื้นที่การตอบสนอง RSM ดังภาพที่ 4-8

จากภาพที่ 4-8 พบว่า พื้นที่ของภาพ RSM ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน) เกิดขึ้นได้ใน 2 พื้นที่ พื้นที่ที่1 ได้แก่ การใช้ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) ตั้งแต่ -1.682 ถึง -0.283 ร่วมกับการใช้ปริมาณน้ำตาลทรายขาว (X_3) ตั้งแต่ -1.682 ถึง -0.235 พื้นที่ที่ 2 ได้แก่ การใช้ปริมาณ สารเพิ่มความคงตัว (X_2) ตั้งแต่ 0.230 ถึง 1.682 ร่วมกับการใช้ปริมาณน้ำตาลทรายขาว (X_3) ตั้งแต่ 0.235 ถึง 1.682 โดยทั้ง 2 พื้นที่ กำหนดให้ใช้โอลิโกแซคคาไรด์ที่ค่ารหัสเท่ากับ 0 (เท่ากับค่าจริง 4.00 %w/w) ทั้งนี้รายละเอียดค่ารหัสและค่าจริงของช่วงปริมาณสารเพิ่มความคงตัว (X_2) และ น้ำตาลทราย (X_3) แสดงดังตารางที่ 4-9

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-8 พื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวมที่ได้รับคะแนนความชอบรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน) เมื่อแปรระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว X_2 (-1.682 ถึง 1.682) และน้ำตาลทราย X_3 (-1.682 ถึง 1.682) โดยโอลิโกแซคคาไรด์คงที่ (0)

ตารางที่ 4-9 ปริมาณการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) สารเพิ่มความคงตัว (X_2) และ น้ำตาลทรายขาว (X_3) ที่ทำให้ได้ไอศกรีมที่ได้รับคะแนนความชอบรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 8 (จาก 9 คะแนน)

พื้นที่	ปัจจัย	ค่ารหัส	ค่าจริง (%w/w)
1	X_1: ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์	0	4.00
	X_2: ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว	(-1.682) – (-0.238)	0.20 – 0.46
	X_3: ปริมาณน้ำตาลทรายขาว	(-1.682) – (-0.235)	8.00 – 9.72
2	X_1: ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์	0	4.00
	X_2: ปริมาณสารเพิ่มความคงตัว	(0.230) – (1.682)	0.54 – 0.80
	X_3: ปริมาณน้ำตาลทรายขาว	(0.235) – (1.682)	10.28 – 12.00

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.4 ผลการคัดเลือกสูตรไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสมและทวนสอบผลจากการทำนาย

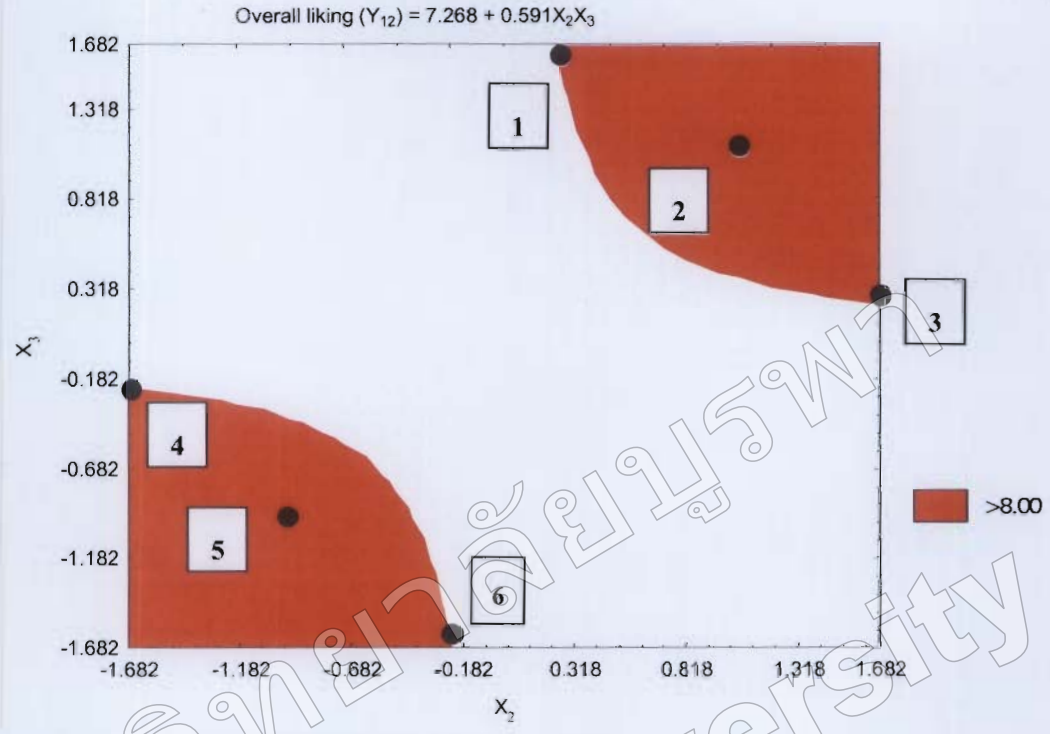
2.4.1 ผลการคัดเลือกสูตรไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสม

จากผลการทดลองในข้อ 2.3 ทำให้ได้พื้นที่ของภาพ RSM และการทำนายปริมาณการใช้สารเพิ่มความคงตัว (X_2) ปริมาณน้ำตาลทรายขาว (X_3) เมื่อกำหนดให้ใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) คงที่ที่ค่ารหัสเท่ากับ 0 ในการคัดเลือกสูตรดำเนินการกำหนดตำแหน่งบนพื้นที่ที่จุดขอบเขตและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ภาพ RSM ทำให้ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4-9 และ ตารางที่ 4-10

เมื่อนำมาผลิตไอศกรีมและวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน ได้ผลดังตารางที่ 4-11 และ 4-12 โดยพบว่า ไอศกรีมเหลวทุกสิ่งทดลองมีความหนืดแตกต่างกับไอศกรีมเหลวของสูตรพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ไอศกรีมเหลวสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าความหนืดสูงกว่าสูตรพื้นฐาน ในขณะที่ไอศกรีมเหลวสิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 มีค่าความหนืดต่ำกว่าสูตรพื้นฐาน แต่สิ่งทดลองที่มีความหนืดใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานมากที่สุดคือสิ่งงทดลองที่ 1 มีค่า 129.16 cP สำหรับค่าการขึ้นฟูพบว่า ทุกสิ่งทดลองแตกต่างกับสูตรพื้นฐาน($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันใน 6 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองที่มีค่าการขึ้นฟูใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน (29.58 %) มากที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 3 (27.27 %) อัตราการละลายพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกับสูตรพื้นฐาน($p \leq 0.05$) โดยทั้งสองสิ่งทดลองมีอัตราการละลาย (12.15 – 16.70 %) สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น (2.28 – 8.65 %) เมื่อพิจารณาค่าสี L* a* และ b* พบว่า สิ่งทดสองที่ 6 มีค่า L* ใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานและมีค่า a* และ b* ไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน โดยสิ่งทดลองทั้ง 6 ที่คัดเลือกมีค่า L* a* และ b* มีแนวโน้มน้อยกว่าสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 4-12 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 เป็นสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับสูตรพื้นฐานในทุกด้าน ($p > 0.05$) และเป็นสิ่งทดลองที่ได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุดและสูงกว่าสูตรพื้นฐาน ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมได้คือ สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ สารเพิ่มความคงตัวและน้ำตาลทราย เท่ากับ 4.0, 0.54 และ 12.0 %w/w สรุปส่วนผสมของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ได้ดังนี้ โอลิโกแซคคาไรด์ 4.0% สารเพิ่มความคงตัว 0.54% น้ำตาลทรายขาว 12.0% ครีม 20.0% หางนมผง 8.0% และน้ำ 50.0%

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-9 ตำแหน่งบนพื้นที่ที่จุดขอบเขตและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ภาพ RSM

ตารางที่ 4-10 ปริมาณการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) สารเพิ่มความคงตัว (X_2) และน้ำตาลทรายขา
(X_3) ในการผลิตไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ค่าจริง			ค่ารหัส		
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
1	4.00	0.54	12.00	0	0.230	1.682
2	4.00	0.69	11.19	0	1.058	1.00
3	4.00	0.80	10.28	0	1.682	0.235
4	4.00	0.20	9.72	0	-1.682	-0.235
5	4.00	0.33	8.81	0	-0.960	-1.00
6	4.00	0.46	8.00	0	-0.238	-1.682

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-11 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของไอศกรีมที่แปรปริมาณการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) สารเพิ่มความคงตัว (X_2) และน้ำตาลทรายขาว (X_3) เพื่อการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ความหนืด (cP)	การขึ้นฟู (%)	อัตรา		ค่าสี	
			การละลาย (%)	L*	a*	b*
พื้นฐาน	108.61^{d} ± 0.50	29.58^{a} ± 0.60	16.70^{a} ± 0.10	96.26^{a} ± 0.42	- 0.93^{a} ± 0.07	9.69^{ab} ± 0.34
1	129.16^{c} ± 0.87	26.03^{b} ± 1.00	12.15^{a} ± 0.10	83.67^{b} ± 0.20	-1.72^{d} ± 0.03	9.47^{b} ± 0.30
2	160.97^{b} ± 0.84	26.68^{b} ± 0.90	8.65^{c} ± 0.20	82.12^{c} ± 0.60	-1.71^{d} ± 0.02	8.48^{c} ± 0.50
3	173.23^{a} ± 0.17	27.27^{b} ± 0.80	4.51^{f} ± 0.70	82.22^{c} ± 0.60	-1.77^{e} ± 0.04	8.59^{c} ± 0.50
4	66.47^{g} ± 1.32	26.68^{b} ± 0.70	7.92^{d} ± 0.30	80.82^{d} ± 0.30	-1.85^{f} ± 0.01	7.78^{d} ± 0.10
5	90.46^{f} ± 0.92	27.11^{b} ± 1.50	6.77^{e} ± 0.70	82.29^{c} ± 0.30	-1.63^{c} ± 0.03	9.38^{b} ± 0.20
6	95.44^{e} ± 0.42	27.05^{b} ± 0.90	2.28^{g} ± 0.20	83.86^{b} ± 0.10	-1.41^{a} ± 0.05	10.10^{a} ± 0.10

$^{a-g}$ ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-12 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่แปรปริมาณการใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (X_1) สารเพิ่มความคงตัว (X_2) และน้ำตาลทรายขาว (X_3) ทั้ง 6 สิ่งทดลอง เปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน

สิ่งทดลอง	ความชอบด้านสี	ความชอบกลิ่น	ความชอบรสหวาน	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรพื้นฐาน	$7.40^{a} \pm 1.33$	$6.20^{ab} \pm 1.52$	$6.50^{ab} \pm 1.66$	$6.30^{a} \pm 1.95$	$6.60^{b} \pm 1.30$
1	$6.63^{ab} \pm 1.30$	$6.57^{a} \pm 1.33$	$6.90^{a} \pm 1.12$	$6.30^{c} \pm 0.75$	$7.70^{a} \pm 1.06$
2	$6.43^{b} \pm 1.41$	$5.80^{ab} \pm 1.45$	$5.93^{b} \pm 1.80$	$6.33^{a} \pm 0.92$	$7.30^{a} \pm 0.82$
3	$6.17^{b} \pm 1.72$	$6.40^{a} \pm 1.30$	$5.37^{d} \pm 1.94$	$6.00^{ab} \pm 0.87$	$7.10^{a} \pm 0.99$
4	$6.53^{b} \pm 1.33$	$5.70^{ab} \pm 1.66$	$5.10^{d} \pm 1.75$	$5.73^{ab} \pm 1.44$	$6.50^{b} \pm 0.71$
5	$6.37^{b} \pm 1.54$	$5.37^{b} \pm 1.75$	$5.63^{c} \pm 1.54$	$5.27^{b} \pm 1.57$	$6.20^{c} \pm 0.79$
6	$6.43^{b} \pm 1.36$	$5.27^{b} \pm 1.84$	$5.37^{d} \pm 1.76$	$5.47^{b} \pm 1.68$	$6.50^{b} \pm 0.71$

$^{a-c}$ ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.4.2 ผลการทวนสอบผลจากการทำนาย

จากการดำเนินการผลิตไอศกรีมสูตรที่จะใช้ในการคัดเลือกจำนวน 6 สิ่งทดลอง และนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม โดยวิธี 9 point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และเมื่อนำมาคำนวณค่า Root mean square พบว่า มีค่า RMS เท่ากับ 12.21% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 20% แสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ทำนายมีความคลาดเคลื่อนต่ำ มีความน่าเชื่อถือในการนำสมการไปใช้ที่เหมาะสมที่สามารถผลิตได้จริง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-13 ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) และค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง(Y_{ex}) จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ของไอศกรีมที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			Y_{pred}	Y_{ex}
	X_1	X_2	X_3		
1	0	0.230	1.682	7.505	7.70
2	0	1.058	1.00	7.893	7.30
3	0	-1.682	0.235	7.502	7.10
4	0	-1.682	-0.235	7.502	6.50
5	0	-0.960	-1.00	7.859	6.20
6	0	-0.238	-1.682	7.505	6.50

เมื่อ X_1 =ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ X_2 = สารเพิ่มความคงตัว และ X_3 =น้ำตาลทรายขาว

3. ผลการศึกษาวิธีการเติมโพรไบโอติกในไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

โพรไบโอติกที่เลือกใช้คือ *Lactobacillus rhamnosus* TISTR 327 เนื่องจาก มีรายงานว่าสามารถทนต่อสภาวะกรดในกระเพาะอาหาร และน้ำดีได้ เมื่อเติมลงในไอศกรีม พบว่า ไม่มีผลต่อค่าการขึ้นฟู และอัตราการละลายของไอศกรีม (Christina et al., 2005) โดยแปรวิธีการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ก่อนเติมลงในไอศกรีม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหารเหลว De Man Rogosa and Sharpe (MRS) และการเคลือบเซลล์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน

3.1 การเตรียมโพรไบโอติก *L. rhamnosus* TISTR 372

3.1.1 การเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS (Christina et al., 2005)

เมื่อนำจุลินทรีย์ *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่อยู่ในรูปผงแห้งมาเลี้ยงในอาหารเหลว MRS และอาหารแข็ง MRS จากนั้นเขี่ยเชื้อที่มีลักษณะเป็นโคโลนีเดี่ยวใส่ในอาหารเหลว MRS อีกครั้งและนำไปบ่ม จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เกิดตะกอนสีขาวขุ่นที่ก้นหลอด (ภาพที่ 4-10) สามารถปรับความขุ่นได้ตามต้องการ โดยให้มีปริมาณเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 10^8 - 10^9 CFU/ml ก่อนนำมาใช้งานจะรินสารละลายส่วนใสทิ้งให้เหลือเฉพาะตะกอนเซลล์ แล้วนำไปเติมในไอศกรีมต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเชื้อ พบว่า สามารถเตรียมเซลล์ให้มีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ 10^8 - 10^9 CFU/g

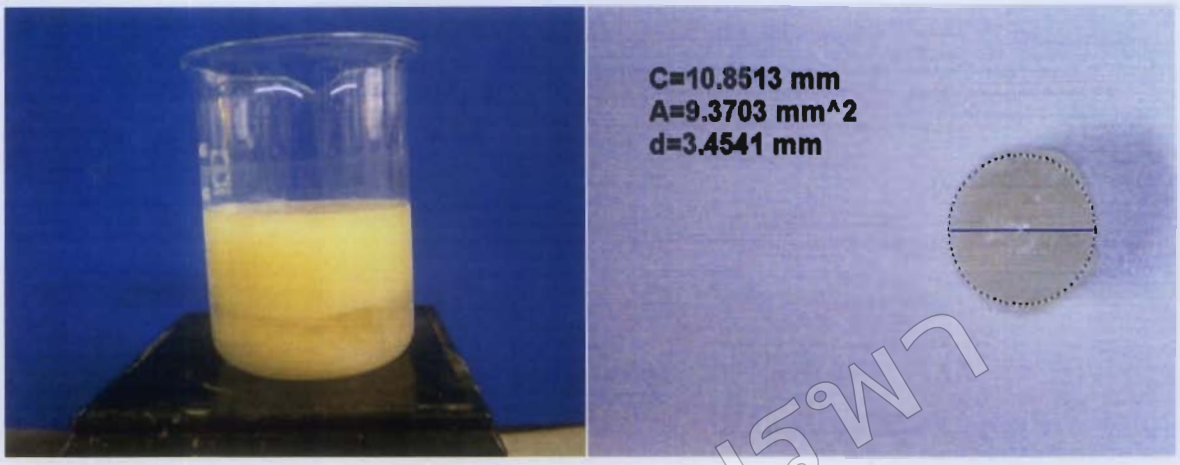
ก) ข)

ภาพที่ 4-10 ก) ลักษณะโคโลนีเดี่ยวของเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 และ ข) ลักษณะของอาหาร MRS ที่เลี้ยงโพรไบโอติก *L. rhamnosus* TISTR 372

3.1.2 การเคลือบเซลล์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน

เมื่อนำโพรไบโอติกที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.1.1 มาทำการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันโดยการเติมลงในสารละลายผสมของโซเดียมอัลจิเนต และไฮเมซรีซิสแทนสตาร์ช จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่มี Tween 80 ลงไป คนอย่างรวดเร็ว แล้วเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น จะเกิดเป็นเม็ดอัลจิเนตสีขาว ขนาดเล็ก นำไปปั่นเหวี่ยงรินสารละลายส่วนใสทิ้งให้เหลือเฉพาะเม็ดอัลจิเนตที่เคลือบเซลล์อยู่ สำหรับนำไปเติมในไอศกรีม จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เซลล์ที่ถูกเคลือบมีทรงกลม สีขาวขุ่น ขนาดเล็ก (ภาพที่ 4-11) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อ พบว่า สามารถเตรียมเซลล์ให้มีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ 10^8-10^9 CFU/g ได้เช่นกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ก) ข)

ภาพที่ 4-11 ก) ลักษณะเม็ดอัลจิเนตของเซลล์เชื้อจุลินทรีย์ *L. rhamnosus* TISTR 372 ก่อนปั่นเหวี่ยง และ ข) ลักษณะของเซลล์เชื้อจุลินทรีย์ *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่ผ่านการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน เมื่อถ่ายโดยใช้กล้องดิจิตอล กำลังขยาย10 เท่า โดยมีเส้นรอบวง (C) เท่ากับ 100.8513 มม. พื้นที่ (A) เท่ากับ 9.3703 มม^2. และเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) เท่ากับ 3.4541 มม.

3.2 ผลการศึกษาการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในไอศกรีมหลังการแช่แข็งและระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณเชื้อโพรไบโอติกเริ่มต้นก่อนการนำไปผลิตไอศกรีมที่เตรียมได้จากการเลี้ยงเชื้อโพรไบโอติกในอาหาร MRS และ การเคลือบเซลล์เชื้อโพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน แสดงดังตารางที่ 4-14 พบว่าปริมาณ *L. rhamnosus* TISTR 372 เริ่มต้นก่อนใส่ลงในไอศกรีมจากการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS มีค่าเท่ากับ 9.86 log cfu/g เมื่อผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีม *L. rhamnosus* TISTR 372 ลดลงเหลือ 8.84 log cfu/g คิดเป็นอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 89.66% ในขณะที่ ปริมาณ *L. rhamnosus* TISTR 372 เริ่มต้นก่อนใส่ลงในไอศกรีมของการเคลือบเซลล์เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันมีค่าเท่ากับ 9.62 log cfu/g เมื่อผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีม *L. rhamnosus* TISTR 372 ลดลงเหลือ 9.41 log cfu/g คิดเป็นอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 97.82% แสดงให้เห็นว่าการเตรียมจุลินทรีย์โดยการเคลือบเซลล์ *L. rhamnosus* TISTR 372 วิธีไมโครเอนแคปซูเลชันทำให้อัตราการรอดชีวิตของ *L. rhamnosus* TISTR 372 สูงกว่าการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อนำไอศกรีมมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 1 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเชื้อโพรไบโอติกและคำนวณหาอัตราการรอดชีวิต ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-15 พบว่า อัตราการรอดชีวิตของ *L. rhamnosus* TISTR 372 จากการเตรียมทั้งสองวิธีลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บไอศกรีมนานขึ้น โดยตลอดการเก็บรักษาพบว่า *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าการเตรียมโดยวิธีการเลี้ยงในอาหารเหลว MRS เมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ พบว่า *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีการเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหาร MRS มีอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 81.33% ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น โดยมีเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 เหลือ 7.19 log cfu/g ในขณะที่ปริมาณเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่เตรียมโดยการเคลือบเซลล์เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน มีอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 89.37% ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น โดยมีเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 เหลือ 8.41 log cfu/g แสดงให้เห็นว่าเชื้อ *L. rhamnosus* TSSTR 372 ที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 ที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีการเลี้ยงในอาหารเหลว MRS ดังนั้นจึงเลือกวิธีการเตรียมเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 ด้วยการเคลือบเซลล์ด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันก่อนเติมลงในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-14 ปริมาณ *L. rhamnosus* TISTR 372 (log cfu/g) และอัตราการอยู่รอด (% survival) ก่อนและหลังการผลิตไอศกรีม จากการเตรียมเชื้อด้วยวิธีการเลี้ยงในอาหาร MRS และการเคลือบวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน

ขั้นตอน	การเลี้ยงในอาหาร MRS		การเคลือบด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน	
	log cfu/g	Survival (%)	log cfu/g	Survival (%)
ก่อนการผลิตไอศกรีม	9.86 ± 0.13	100.00	9.62 ± 0.05	100.00
หลังการผลิตไอศกรีม	8.84 ± 0.24	89.66	9.41 ± 0.05	97.82

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-15 ปริมาณเชื้อ *L. rhamnosus* TISTR 372 (log cfu/g) และอัตราการอยู่รอด (%) ในไอศกรีม จากการเตรียมเชื้อด้วยวิธีการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร MRS และการเคลือบเซลล์เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

เวลา	การเลี้ยงในอาหาร MRS		การเคลือบด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน	
(สัปดาห์)	log cfu/g	Survival (%)	log cfu/g	Survival (%)
0	$8.84^{a} \pm 0.24$	100.00^{a}	$9.41^{a} \pm 0.05$	100.00^{a}
1	$8.41^{b} \pm 0.35$	95.14^{b}	$9.24^{b} \pm 0.35$	98.19^{b}
2	$8.09^{c} \pm 0.54$	91.51^{c}	$8.64^{c} \pm 0.71$	91.82^{c}
3	$7.39^{d} \pm 0.77$	83.60^{d}	$8.49^{d} \pm 0.77$	90.22^{d}
4	$7.19^{e} \pm 0.94$	81.33^{e}	$8.41^{e} \pm 0.41$	89.37^{e}

$^{a-c}$ ค่าในแนวตั้งเดียวกันตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.การทดสอบผู้บริโภค

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์และจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่พัฒนาได้ โดยการสอบถามผู้บริโภคจำนวน 60 คน ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีดังนี้ เพศหญิง 83.33% และเพศชาย 16.67% โดยส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 18-24 ปี มีการศึกษาระดับปริญญาตรี เป็นนิสิตนักศึกษา พนักงานของรัฐ มีรายได้ต่อเดือนต่ำกว่า 5,000 และ 5,001 – 10,000 บาท รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-16

ผลการสำรวจทัศนคติและพฤติกรรมผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแสดงดังตารางที่ 4-17 พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ 78.33% ชอบรับประทานไอศกรีม มีความถี่ในการรับประทาน 1 -3 ครั้ง/สัปดาห์ 58.33% ปริมาณไอศกรีมที่ทาน/ครั้ง เท่ากับ 1-2 สกู๊ป คิดเป็น 55.00 % เหตุผลในการเลือกรับประทานส่วนใหญ่เนื่องจากรสชาติ 38.33% รองลงมาได้แก่ คุณค่าทางอาหาร (23.33%) ลักษณะปรากฏ (16.67%) ราคา (11.67%) และอื่นๆ (10.00 %) ตามลำดับ

ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยให้ผู้บริโภคทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่พัฒนาได้ พบว่า ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีค่าเท่ากับ 7.59 7.14 7.53 6.98 และ 7.47

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก และเมื่อสอบถามด้านการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่ามีผู้บริโภคตัดสินใจซื้อ 56.67% ไม่แน่ใจ 30.00% และไม่ซื้อ 13.33% กรณีไม่ซื้อผู้บริโภคบางคนให้เหตุผลว่า ขอพิจารณาการรับรองความปลอดภัยในการบริโภคจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ เช่น องค์การอาหารและยารายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-19

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางที่ 4-16 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		%
เพศ	ชาย	16.67
	หญิง	83.33
อายุ		
	น้อยกว่า 18 ปี	6.67
	18 – 24 ปี	81.67
	25 – 31 ปี	5.00
	32 – 38 ปี	3.33
	39 – 45 ปี	3.33
ระดับการศึกษา		
	มัธยมศึกษาหรือ ปวช.	5.00
	อนุปริญญาหรือ ปวส.	10.00
	ปริญญาตรี	80.00
	สูงกว่าปริญญาตรี	5.00
อาชีพ		
	นิสิต/ นักศึกษา	83.33
	ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ	8.33
	พนักงานบริษัทเอกชน	1.67
	ธุรกิจส่วนตัว	1.67
	อื่นๆ	5.00
รายได้ต่อเดือน		
	ต่ำกว่า 5,0000 บาท	43.33
	5,001 – 10,000 บาท	30.00
	10,001 – 15,000 บาท	13.33
	15,001 – 20,000 บาท	6.67
	มากกว่า 20,000 บาท	6.67

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-17 ข้อมูลทัศนคติและพฤติกรรมผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	%
ความชอบการรับประทานไอศกรีม	
ชอบ	78.33
ไม่ชอบ	10.00
เฉย ๆ	11.67
ความถี่ในการรับประทานไอศกรีม	
น้อยกว่า 1 ครั้ง/ สัปดาห์	21.67
1 – 3 ครั้ง/ สัปดาห์	58.33
4 – 6 ครั้ง/ สัปดาห์	20.00
ปริมาณไอศกรีมที่ทานในแต่ละครั้ง	
1- 2 สกู๊ป/ ครั้ง	55.00
3-4 สกู๊ป/ ครั้ง	31.67
5-6 สกู๊ป/ ครั้ง	13.33
เหตุผลในการเลือกรับประทานไอศกรีม	
คุณค่าทางอาหาร	23.33
ราคา	11.67
รสชาติ	38.33
ลักษณะปรากฏ	16.67
อื่น ๆ	10.00

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-18 คะแนนความชอบของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่พัฒนาได้ของผู้บริโภค

คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
ความชอบด้านสี	ความชอบกลิ่น	ความชอบรสหวาน	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
7.59± 0.90	7.14 ± 0.98	7.53 ± 0.90	6.98 ± 1.12	7.47 ± 0.90

ตารางที่ 4-19 ข้อมูลการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์จากแก้วมังกรและจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่พัฒนาได้ของผู้บริโภค

การตัดสินใจ	%
ซื้อ	56.67
ไม่ซื้อ	13.33
ไม่แน่ใจ	30.00

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University