บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตดั้งเดิม คือ เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และเชื้อโพรไบโอติก 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *Lactobacillus acidophilus* และเชื้อ *Bifidobacterium bifidum* เมื่อตรวจนับจำนวนเชื้อด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 agar, Bile-MRS agar และ LP-MRS agar ตามลำดับ พบว่าปริมาณเชื้อ *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ *B. bifidum* เท่ากับ 10.48 log cfu/g ($3.04x10^{10}$ cfu/g), 9.71 log cfu/g ($5.58x10^{9}$ cfu/g) และ 11.03 log cfu/g ($1.06x10^{11}$ cfu/g) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณเชื้อทั้งหมด (total cell count) ที่บริษัทผู้ผลิตตรวจวิเคราะห์ได้มีปริมาณเท่ากับ 11.26 log cfu/g ($1.8x10^{11}$ cfu/g) และค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ ≥ 10.70 log cfu/g ($5x10^{10}$cfu/g) (ภาคผนวก จ) โดยสาเหตุที่ปริมาณเชื้อที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีค่าแตกต่างจากของบริษัทผู้ผลิต อาจเนื่องจากชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อ สารละลายเจือจาง และสภาวะที่ใช้ในการบ่มเชื้อมีความแตกต่างกัน แต่ปริมาณเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. acidophilus* ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด ส่วนปริมาณเชื้อ *B. bifidum* มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัยของ Wang *et. al.* (2003) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำตาล และกรดอินทรีย์ของนมถั่วเหลืองในระหว่างการหมักด้วยเชื้อ *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ Bifidobacterium spp. โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 6-7 log cfu/ml ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้น่าจะมีปริมาณเชื้อเหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

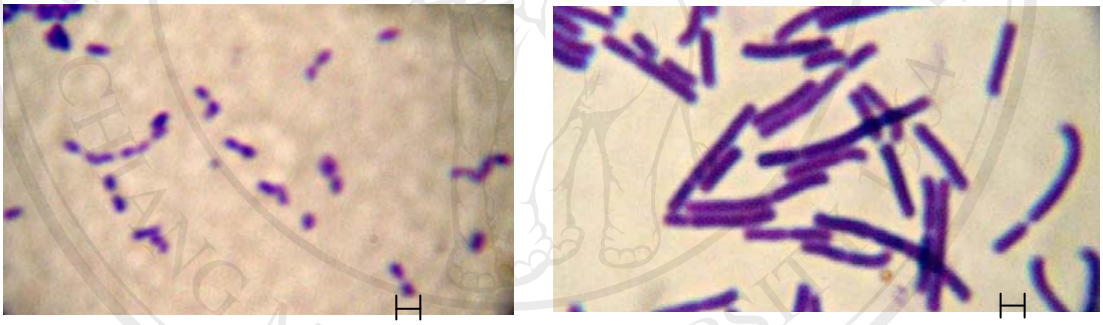
เมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นโดยการเพาะเลี้ยงเชื้อ *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ *B. bifidum* ด้วยอาหารอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 agar Bile -MRS agar และ LP-MRS agar ตามลำดับ และย้อมสีแกรมดูลักษณะเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเชื้อที่ใช้ไม่มีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดยโคโลนีของเชื้อ *S. thermophilus* มีสีขาว ทรงรี ขณะที่ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* มีโคโลนีสีขาว ทรงกลม (ภาพที่ 4.1) และเซลล์ของเชื้อ *S. thermophilus* มีรูปร่างกลม (cocci) ส่วนเชื้อ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* มีรูปร่างเป็นท่อน (bacilli) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ซึ่ง Tamime and Robinson (1999) ศึกษาพบว่าเซลล์ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

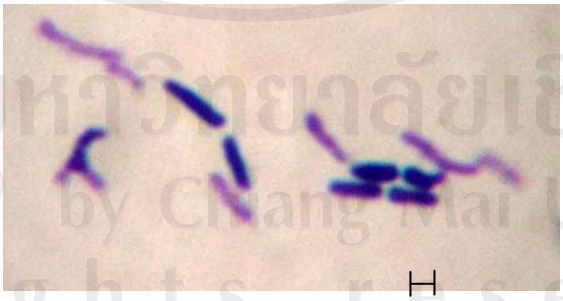
เชื้อ *S. thermophilus*, *L. acidophilus* และ *B. bifidum* มีขนาดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร, 0.6x 6 ไมโครเมตร และ 0.5x1.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ

(a) (b) (c)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะโคโลนีของ (a) เชื้อ *S. thermophilus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ M17 agar
(b) เชื้อ *L. acidophilus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Bile-MRS agar และ
(c) เชื้อ *B. bifidum* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ LP-MRS agar



(a) (b)



(c)

ภาพที่ 4.2 ลักษณะรูปร่างเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นย้อมสีแกรม กำลังขยาย 1,000 เท่า
(a) เชื้อ *S. thermophilus* (b) เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 และ
(c) เชื้อ *B. bifidum* BB-12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 ลักษณะโคโลนี ลักษณะเซลล์ และการติดสีแกรมของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

จุลินทรีย์	ลักษณะโคโลนี	ลักษณะเซลล์และการติดสีแกรม
S. thermophilus	สีขาว ทรงรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร	ติดสีแกรมบวก เซลล์กลม (cocci) อยู่รวมกัน เป็นสายโซ่ หรือเป็นคู่
L. acidophilus	สีขาว ทรงกลม ผิวด้าน ขอบโคโลนีไม่เรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร	ติดสีแกรมบวก ลักษณะเซลล์เป็นท่อนยาว ปลายมน จับเป็นคู่ หรือรวมตัวกันเป็นสายโซ่สั้นๆ
B. bifidum	สีขาว ทรงกลม ผิวเป็นมันวาว ขอบโคโลนีเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร	ติดสีแกรมบวก ลักษณะเซลล์เป็นท่อนสั้น ปลายมน

4.2 คุณภาพน้ำนมถั่วเหลือง

4.2.1 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลือง

เมื่อนำเมล็ดถั่วเหลืองแห้งซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 39.67±0.60 ของน้ำหนัก และไขมันร้อยละ22.79±0.38ของน้ำหนัก มาปั่นกับน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องแยกกาก โดยใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองแห้งต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 5 จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี ดังตารางที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลือง

ลักษณะคุณภาพ	ผลวิเคราะห์
ค่าความสว่าง (lightness, L)	84.83 ± 0.35
ค่าความเข้มสี (chroma, C)	13.85 ± 0.33
เฉดสี (hue, h^o)	102.7 ± 0.92
ปริมาณน้ำ (%w/w)	90.11 ± 0.07
ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	9.89 ± 0.07
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	8.8 ± 0.05
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.67 ± 0.07
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติก (%w/w)	0.13 ± 0.00
โปรตีน (%w/w)	4.94 ± 0.04
ไขมัน (%w/w)	2.56 ± 0.08
คาร์โบไฮเดรต (%w/w)*	1.81 ± 0.21
เถ้า (%w/w)	0.53 ± 0.01
ใยอาหาร (%w/w)	0.06 ± 0.01

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. * ได้จากการคำนวณ

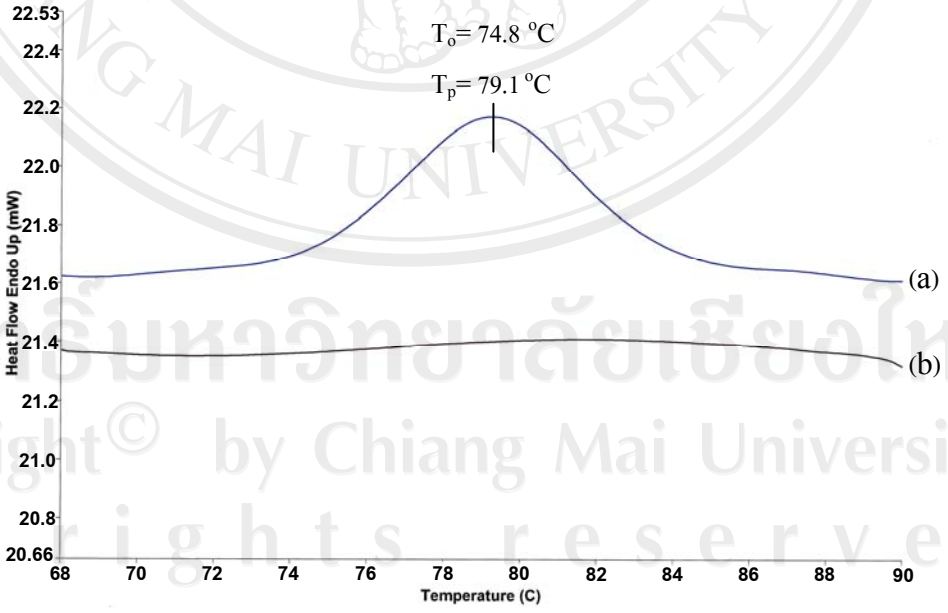
คาร์โบไฮเดรต= 100-%ปริมาณน้ำ-%ไขมัน-%โปรตีน-%เถ้า-%เส้นใยอาหาร

น้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมได้ มีค่าสี L 84.83 ค่าสี C 13.85 และค่าสี h^o 102.7 จึงทำให้น้ำนมมีสีเหลืองอ่อน มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักคือร้อยละ 90 ของน้ำหนัก จึงมีปริมาณของแข็งเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาคุณภาพทางเคมีพบว่า น้ำนมถั่วเหลืองมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างเป็นกลางและมีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยมาก นอกจากนี้น้ำนมถั่วเหลืองยังมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับน้ำนมวัวซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.9 ไขมันร้อยละ 3.3 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4.5 และเถ้าร้อยละ 0.7 (Liu, 1997) โดยน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมได้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแต่มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าต่ำกว่า เนื่องจากนมวัวมีปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และโซเดียมสูงกว่านมถั่วเหลืองจึงทำให้มีปริมาณเถ้าสูงกว่านมถั่วเหลือง (Liu, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 การเสียสภาพของโปรตีนถั่วเหลือง

เมื่อนำน้ำนมถั่วเหลืองดิบ และน้ำนมถั่วเหลืองพาสเจอร์ไรส์มาวิเคราะห์การเสียสภาพของโปรตีนในนมถั่วเหลืองด้วยเครื่อง differential scanning calorimetry (DSC) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.3 ซึ่งพบว่าโปรตีนในนมถั่วเหลืองดิบ (a) แสดงพีคของโปรตีนเพียงพีคเดียว โดยมีค่า onset denaturation temperature (T_o) เท่ากับ 74.82±0.12 องศาเซลเซียส ค่า peak denaturation temperature (T_p) เท่ากับ 79.12±0.03 องศาเซลเซียส และการเปลี่ยนแปลงของ enthalpy (ΔH) เท่ากับ 0.45±0.02 จูลต่อกรัม เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Petruccelli and Añón, 1996; Renkema and Vliet, 2002; Renkema *et al*., 2002) พบว่าพีคของโปรตีนที่วัดได้ควรเป็นพีคของ 11S fraction โปรตีน ส่วน 7S fraction อาจมีการเสียสภาพไปในระหว่างการเตรียมนมถั่วเหลืองซึ่งมีการแช่เมล็ดถั่วเหลืองที่ลอกเปลือกแล้วในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (พีเอช 9) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามด้วยการปั่นแยกกากด้วยน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่า T_o (ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส) ของเบต้า-คอนไกลซินิน และโซเดียมไบคาร์บอเนตยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ (Nelson *et al*., 1976) จึงไม่แสดงพีคในเทอร์โมแกรมของการวัดด้วยเครื่อง DSC



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมของโปรตีนในนมถั่วเหลือง (a) นมถั่วเหลืองดิบ (b) นมถั่วเหลืองผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่น้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) ไม่แสดงพีคของโปรตีน แสดงว่าโปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) หรือเกิดการแข็งตัวกลายเป็นเจล (coagulation) ซึ่งการพาสเจอร์ไรส์เป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมส่วนผสมสำหรับผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง ถ้าโปรตีนเกิดการเสียสภาพจะทำให้สมบัติของโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การละลายลดลง ความหนืดเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2545) มีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมโดยเฉพาะค่าโอเวอร์รัน เนื่องจากส่วนผสมกักเก็บอากาศในระหว่างการปั่นไอศกรีมได้น้อย ส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

4.3 การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองโดยใช้เจลาตินเป็นสารเพิ่มความคงตัว

4.3.1 การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองต้นแบบโดยใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นนักศึกษาปริญญาโท และเอกที่ผ่านการฝึกฝนการทดสอบทางประสาทสัมผัส จำนวน 15 คน ในการกำหนดคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญ ด้วยวิธี Ideal ratio profile technique โดยใช้แบบทดสอบชิมดังภาคผนวก ก-1 พบว่าคุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่ผู้ทดสอบชิมต้องการให้มีการพัฒนา ได้แก่

1. ลักษณะปรากฏ	มีผู้ทดสอบชิม 15 คน (ร้อยละ 100)	บอกว่าควรเป็น สีเหลือง
	มีผู้ทดสอบชิม 5 คน (ร้อยละ 33.3)	บอกว่าควรเป็น ความเนียน
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น ความเป็นเนื้อเดียวกัน
2. กลิ่นและรสชาติ	มีผู้ทดสอบชิม 15 คน (ร้อยละ 100)	บอกว่าควรเป็น กลิ่นถั่วเหลือง
	มีผู้ทดสอบชิม 15 คน (ร้อยละ 100)	บอกว่าควรเป็น รสเปรี้ยว
	มีผู้ทดสอบชิม 13 คน (ร้อยละ 86.7)	บอกว่าควรเป็น กลิ่นโยเกิร์ต
	มีผู้ทดสอบชิม 13 คน (ร้อยละ 86.7)	บอกว่าควรเป็น รสหวาน
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น กลิ่นหมัก
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น กลิ่นนม
	มีผู้ทดสอบชิม 1 คน (ร้อยละ 6.7)	บอกว่าควรเป็น ความมัน

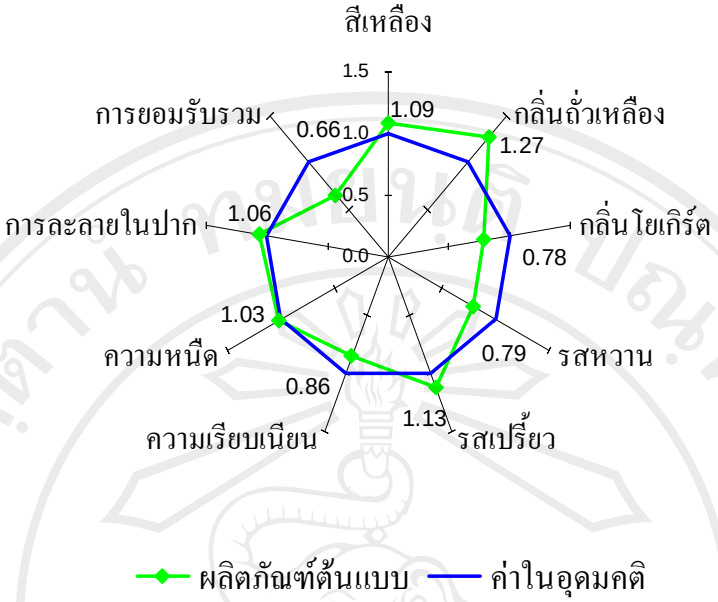
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ลักษณะเนื้อสัมผัส	มีผู้ทดสอบชิม 14 คน (ร้อยละ 93.3)	บอกว่าควรเป็น	ความเรียบเนียน
	มีผู้ทดสอบชิม 5 คน (ร้อยละ 33.3)	บอกว่าควรเป็น	การละลายในปาก
	มีผู้ทดสอบชิม 4 คน (ร้อยละ 100)	บอกว่าควรเป็น	ความเป็นเนื้อเดียวกัน
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น	ความแข็ง
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น	เกล็ดน้ำแข็ง
	มีผู้ทดสอบชิม 2 คน (ร้อยละ 13.3)	บอกว่าควรเป็น	ความมัน
	มีผู้ทดสอบชิม 1 คน (ร้อยละ 6.7)	บอกว่าควรเป็น	ความแน่นเนื้อ
	มีผู้ทดสอบชิม 1 คน (ร้อยละ 6.7)	บอกว่าควรเป็น	ความหนืด
4. การยอมรับรวม	มีผู้ทดสอบชิม 15 คน (ร้อยละ 100)	บอกว่าควรเป็น	การยอมรับรวม

ดังนั้นคุณลักษณะสำคัญที่จำนวนผู้ทดสอบชิมตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปต้องการให้มีการพัฒนาต่อไป คือ สีเหลือง กลิ่นถั่วเหลือง กลิ่นโยเกิร์ต ความหวาน ความเปรี้ยว ความเรียบเนียน และการยอมรับรวม ส่วนคุณลักษณะการละลายในปาก และความหนืดถึงแม้ว่าจำนวนผู้ทดสอบชิมที่ให้ความสำคัญไม่ถึงร้อยละ 50 แต่เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของไอศกรีมที่ต้องปรับปรุง (Prindiville *et al*., 1999)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ ด้วยการหาค่าสัดส่วน (S/I) โดยนำค่าคะแนนของตัวอย่าง (S) หารด้วยค่าคะแนนของอุดมคติ (I) จากนั้นนำค่าสัดส่วนของคุณลักษณะเดียวกันที่ได้จากผู้ทดสอบชิมแต่ละคนมาหาค่าสัดส่วนเฉลี่ย ซึ่งค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะและค่าสัดส่วนอุดมคติสามารถนำมาสร้างเป็นแผนภาพเค้าโครงในรูปแบบกราฟใยแมงมุม ดังภาพที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.4 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองต้นแบบ

จากภาพที่ 4.4 พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ต้องมีการเพิ่มความเข้มให้มากขึ้นคือ กลิ่นโยเกิร์ต รสหวาน ความเรียบเนียน และการยอมรับรวม เนื่องจากมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยน้อยกว่า 1.00 ส่วนลักษณะของสีเหลือง กลิ่นถั่วเหลือง รสเปรี้ยว ความหนืด และการละลายในปากต้องมีการลดความเข้มลง เนื่องจากมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยมากกว่า 1.00 นอกจากนี้ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง คือ กลิ่นถั่วเหลือง กลิ่นโยเกิร์ต รสหวาน รสเปรี้ยว ความเรียบเนียน และการยอมรับรวม เนื่องจากคุณลักษณะดังกล่าวมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองต้นแบบมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าสี L 85.44 ค่าสี C 14.84 และค่าสี h^{o} 92.1 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองมีสีเหลืองแต่มีความเข้มของสีมากกว่านมถั่วเหลือง (ค่าสี C 13.85) เนื่องจากในส่วนผสมมีการเติมนมผงขาดมันเนย และเนยสดซึ่งมีสีเหลืองจึงทำให้ความเข้มของสีเพิ่มขึ้น ส่วนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าโยเกิร์ตที่เตรียมได้มีลักษณะข้นหนืดจึงทำให้ค่าความหนืดค่อนข้างสูง ทำให้ค่าโอเวอร์รันต่ำ ค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแข็งค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ทางเคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 26.29 ของน้ำหนัก อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.54 ปริมาณกรดแลคติกทั้งหมดร้อยละ 1.15 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยว ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ได้แก่ เชื้อ *S. thermophilus* มีปริมาณสูงถึง 8.94 log cfu/g และปริมาณเชื้อโพรไบโอติก *L. acidophilus* และ *B. bifidum* มีปริมาณ 7.32 และ 7.48 log cfu/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองต้นแบบ

ลักษณะคุณภาพ	ผลการวิเคราะห์
- คุณภาพทางกายภาพ	
ความหนืดของโยเกิร์ต (centipoise)	8,457±156
ค่าความสว่าง (lightness, L)	85.44±1.24
ค่าความเข้มสี (chroma, C)	14.84±0.59
เฉดสี (hue, h^o)	92.1±0.76
ค่าโอเวอร์รัน (%w/w)	23.11±1.38
อัตราการหลอมเหลวต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (g/min)	0.143±0.01
ค่าความแข็ง (N)	21.843±0.44
- คุณภาพทางเคมี	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%w/w)	26.29±0.04
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	20.6±0.00
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.54±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดแลคติก (%w/w)	1.15±0.02
- คุณภาพทางจุลชีววิทยา	
S. thermophilus (log cfu/g)	8.94±0.03
L. acidophilus (log cfu/g)	7.32±0.03
B. bifidum (log cfu/g)	7.48±0.05

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 การกลั่นกรองปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นกรองหรือคัดเลือกปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง ซึ่งได้แก่ส่วนผสมต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรจำนวน 4 ปัจจัย คือ นมผงขาดมันเนย น้ำตาลทรายขาว เนยสด และเจลาติน โดยวางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman Design แบบ N= 8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของส่วนผสมในสูตรจะมีผลต่อคุณภาพทางด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์หลังจากการหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมเป็นเวลา 20 นาที แสดงดังตารางที่ 4.4 และ4.5 ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในรูปของค่าสัดส่วนเฉลี่ย (ตารางที่ 4.6) และอิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman

หน่วยทดลอง	ค่าสี L	ค่าสี C	ค่าสี h^o	ความหนืด (centipoise)	โอเวอร์รัน (%w/w)	อัตราหลอมเหลว (g/min)	ความแข็ง (N)	ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)
1	82.98±1.83	14.04±1.30	92.2±1.01	10,028±17	14.79±2.16	0.095±0.002	29.774±1.57	31.23±0.04	24.07±0.23	4.74±0.01	1.14±0.00
2	80.93±1.25	15.44±0.64	92.8±0.93	9,048±130	9.93±2.00	0.066±0.01	29.575±3.81	28.91±0.05	23.27±0.12	4.57±0.01	1.30±0.04
3	82.80±0.93	16.12±0.67	93.0±0.75	14,782±383	11.67±0.34	0.073±0.004	52.525±1.71	25.95±0.13	18.20±0.00	4.62±0.01	1.32±0.07
4	83.11±0.66	13.75±0.52	93.6± 0.15	7,085±211	17.75±2.07	0.163±0.02	38.402±1.08	24.95±0.05	19.67±0.12	4.27±0.01	1.10±0.04
5	81.48±0.28	17.47±1.27	91.9±0.40	14,452±150	13.38±1.03	0.031±0.01	48.333±1.05	24.27±0.06	20.90±0.12	4.39±0.01	1.55±0.02
6	83.41±0.50	13.43±0.09	94.4±0.35	6,641±52	20.25±0.57	0.049±0.01	56.223±1.88	22.00±0.06	13.50±0.12	4.32±0.01	1.00±0.02
7	84.56±0.56	12.98±0.22	94.7±0.35	6,809±115	17.86±1.13	0.074±0.01	34.701±2.11	26.74±0.03	19.60±0.00	4.23±0.01	1.00±0.02
8	84.17±1.42	12.66±0.20	95.5±0.59	6,922±188	14.17±1.18	0.190±0.02	68.540±1.22	19.68±0.02	12.20±0.00	4.18±0.01	1.14±0.01

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman

หน่วยทดลอง	*S. thermophilus* (log cfu/g)	*L. acidophilus* (log cfu/g)	*B. bifidum* (log cfu/g)
1	8.91±0.05	6.90±0.05	7.21±0.06
2	8.97±0.12	6.87±0.04	7.23±0.04
3	8.99±0.09	7.26±0.01	7.67±0.03
4	8.76±0.12	6.56±0.04	7.07±0.06
5	8.72±0.05	8.08±0.02	7.47±0.12
6	8.23±0.04	7.41±0.03	7.42±0.06
7	8.60±0.20	7.38±0.02	7.11±0.03
8	8.58±0.01	6.98±0.06	6.72±0.25

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในแผนการทดลอง Plackett and Burman

หน่วยทดลอง	สีเหลือง	กลิ่นถั่วเหลือง	กลิ่นโยเกิร์ต	รสหวาน	รสเปรี้ยว	ความเรียบเนียน	ความหนืด	การละลายในปาก	การยอมรับรวม
1	0.87±0.25	1.04±0.33	0.84±0.20	0.83±0.20	1.11±0.22	0.96±0.08	0.89±0.26	1.02±0.14	0.72±0.09
2	0.97±0.28	1.09±0.26	0.77±0.26	0.91±0.16	0.99±0.24	0.91±0.11	0.97±0.15	1.05±0.13	0.70±0.19
3	0.92±0.28	1.16±0.33	0.72±0.25	0.53±0.27	1.37±0.21	0.90±0.10	0.90±0.34	0.87±0.34	0.43±0.21
4	0.83±0.31	1.23±0.35	0.76±0.27	0.91±0.16	1.01±0.20	0.91±0.14	0.67±0.24	0.65±0.25	0.70±0.17
5	1.04±0.33	0.99±0.38	0.83±0.25	0.70±0.24	1.10±0.24	0.92±0.10	0.95±0.26	0.93±0.28	0.60±0.18
6	0.82±0.28	0.98±0.24	0.78±0.29	0.63±0.23	1.24±0.18	0.87±0.13	0.76±0.32	0.84±0.28	0.54±0.17
7	0.81±0.30	0.98±0.30	0.80±0.27	0.96±0.12	0.93±0.26	0.92±0.10	0.96±0.21	0.92±0.25	0.71±0.08
8	0.89±0.31	1.10±0.39	0.83±0.22	0.69±0.19	1.16±0.24	0.84±0.18	0.62±0.29	0.71±0.36	0.50±0.18

หมายเหตุ : ค่าสัดส่วนเฉลี่ยจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ค่า t ที่วิเคราะห์จากผลการทดลอง Plackett and Burman และระดับนัยสำคัญทางสถิติของผลกระทบของปัจจัยทดลองต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ตัวแปรตาม	ค่า t ของแต่ละปัจจัยทดลอง			
	นมผงขาดมันเนย	น้ำตาลทรายขาว	เนยสด	เจลาติน
ค่าสี L	-3.679^{d}	-0.146	2.116^{b}	-1.397
ค่าสี C	3.398^{d}	-1.151	-0.911	0.912
ค่าสี h	-3.356^{d}	-0.607	0.202	-0.202
ความหนืด	3.430^{d}	-1.617	0.124	-0.307
ความแข็ง	-3.875^{d}	-9.586^{d}	-1.196	-2.100^{b}
อัตราการหลอมเหลว	-3.823^{d}	1.010	-2.885^{c}	-5.409^{d}
ค่าโอเวอร์รัน	-2.775^{c}	0.118	1.279	0.416
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	24.971^{d}	29.292^{d}	11.921^{d}	0.159
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	4.941^{d}	5.019^{d}	-0.154	0.721
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.680^{d}	1.291	2.152^{b}	-1.291
ปริมาณกรดทั้งหมด	4.570^{d}	-2.012^{b}	-2.694^{c}	0.631
S. thermophilus	3.732^{d}	1.892^{a}	-0.788	-1.892^{a}
L. acidophilus	0.780	-2.019^{b}	0.460	2.039^{b}
B. bifidum	1.773^{a}	-0.929	1.294	0.788
สีเหลือง	8.593^{d}	-3.650^{d}	-5.932^{d}	2.434^{c}
กลิ่นถั่วเหลือง	-0.035	0.478	-1.116	-2.178^{b}
กลิ่นโยเกิร์ต	-0.045	0.045	-0.295	0.159
รสหวาน	-1.859^{a}	8.959^{d}	-2.197^{b}	2.028^{b}
รสเปรี้ยว	1.244	-4.462^{d}	2.102^{b}	-2.102^{b}
ความเรียบเนียน	2.115^{b}	2.393^{c}	1.002	0.167
ความหนืด	3.752^{d}	1.394	1.608	3.002^{c}
การละลายในปาก	4.049^{d}	1.572	1.658^{a}	2.649^{c}
การยอมรับรวม	0.000	4.826^{d}	-0.635	1.270

หมายเหตุ : ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน แสดงว่ามีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากันโดยที่

a = ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($P \leq 0.20$) มีค่า = ±1.638

b = ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 ($P \leq 0.15$) มีค่า = ±1.924

c = ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P \leq 0.10$) มีค่า = ±2.353

d = ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) มีค่า = ±3.182

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.7 พบว่านมผงขาดมันเนยมีผลต่อค่าทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และทางด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพิ่มปริมาณนมผงขาดมันเนยทำให้ค่าสี C ความหนืดของโยเกิร์ต ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมด เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่มีผลให้ค่าสี L ค่าสี h^o ความแข็ง อัตราการหลอมเหลว และค่าโอเวอร์รันลดลง เนื่องจากนมผงขาดมันเนยมีปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนย (milk solid non-fat) อยู่สูง ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 37 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 55 และแร่ธาตุร้อยละ 8 โปรตีนในของแข็งไม่รวมมันเนยจะช่วยให้ไอศกรีมจับตัวกันได้ดี และมีความเรียบเนียนมากขึ้น จึงป้องกันการอ่อนตัว (weak body) และการเกิดเนื้อสัมผัสที่หยาบ (coarse texture) นอกจากนี้ปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนยยังทำให้ไอศกรีมมีความหนืดและการต้านทานต่อการหลอมเหลวเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนยในส่วนผสมควรอยู่ในช่วงร้อยละ 15.6-18.5 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ถ้าปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนยมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดผลึกของน้ำตาลแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษาได้ทำให้เนื้อไอศกรีมมีลักษณะคล้ายเนื้อทราย (sandiness texture) (Marshall and Arbukle, 1996) นอกจากนี้นมผงขาดมันเนยยังช่วยเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อ *S. thermophilus* และ *B. bifidum* ปริมาณน้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่มากในนมผงขาดมันเนยเป็นแหล่งคาร์บอนของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติก จึงทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่องค์ประกอบอื่นๆในนมผง เช่น โปรตีน ฟอสเฟต ซิเตรท และแลคเตต มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย (Tamime and Robinson, 1999)

สำหรับข้อมูลทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า การเติมนมผงขาดมันเนยทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของสีเหลือง ความเรียบเนียน ความหนืด และการละลายในปากมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของรสหวานลดลง ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนยในระดับสูง คือ ร้อยละ 14 ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากช่วยเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ผลึกน้ำแข็งเล็ก จึงช่วยปรับความเรียบเนียนของผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้นมผงยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมส่งผลให้อัตราการหลอมเหลวลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2.2 ผลของน้ำตาลทรายขาวต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

การเติมน้ำตาลทรายขาวลงในส่วนผสมไอศกรีมมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทางด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.7) โดยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และเชื้อ *S. thermophilus* แต่มีผลทำให้ความแข็ง ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* ลดลง น้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวานที่ผลิตจากน้ำตาลอ้อย มีลักษณะเป็นผลึก มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 99.9 ปริมาณของแข็งจะแทนที่น้ำในส่วนผสม ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น จึงช่วยลดปริมาณน้ำแข็ง (frozen water) ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Marshall and Arbukle, 1996) โดยหลังการแช่แข็งไอศกรีมที่เติมน้ำตาลทรายขาวจะมีผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่าการเติมคอร์นไซรัป (Muse and Hartel, 2004) นอกจากนี้ Güven and Karaca (2002) พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตรสวานิลลาจากร้อยละ 18 เป็นร้อยละ 22 ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ลดลงจาก 40 เป็น 28.60 ^{o}SH เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจะลดหรือยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในขณะที่ค่าระยะทางที่เจาะได้ (penetrometer value) เพิ่มขึ้นจาก 4.28 เป็น 5.83 มิลลิเมตร แสดงว่าไอศกรีมโยเกิร์ตมีโครงสร้างที่นุ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น

ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของรสหวาน ความเรียบเนียน และการยอมรับรวมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของสีเหลือง และรสเปรี้ยวมีค่าลดลง เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำตาลที่เหลือจากการใช้ของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบชิมได้รับรสหวานมากขึ้น จึงรู้สึกถึงรสเปรี้ยวน้อยลง ดังนั้นการใช้น้ำตาลในระดับสูง คือ ร้อยละ 16 จะส่งผลให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองมีแนวโน้มดีขึ้น

4.3.2.3 ผลของเนยสดต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เนยสดมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อปริมาณเนยสดในส่วนผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่าสี L ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันจะลดอัตราการหลอมเหลว และปริมาณกรดทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.10$) แสดงว่าเนยสดมีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เนยสดเป็นไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม โดยช่วยให้โฟมมีความคงตัวซึ่งทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเหมือนครีม (creamy texture) ช่วยชะลอการหลอมเหลวของไอศกรีม และเป็นตัวพากลิ่นรสที่ละลายในไขมันแต่ไม่ละลายในน้ำ (Clarke, 2004) นอกจากนี้เนยสดยังมีผลต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยของสีเหลือง รสหวาน รสเปรี้ยว และการละลายในปาก ดังนั้นจึงเลือกใช้เนยสดในระดับต่ำ คือ ร้อยละ 2

4.3.2.4 ผลของเจลาตินต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

เจลาตินมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ จุลชีววิทยาและทางด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.7) เมื่อปริมาณเจลาตินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็ง และอัตราการหลอมเหลวของไอศกรีมลดลง เจลาตินเป็นสารที่ผลิตได้จากโปรตีนคอลลาเจน และประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดเดียวกับคอลลาเจน โดยกรดอะมิโนที่มีมากได้แก่ ไกลซีน โพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีน เจลาตินจะเกิดการพองตัวเมื่อแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องแต่จะอยู่ในลักษณะที่เป็น random coils เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงกว่า 35-40 องศาเซลเซียส และเกิดการรวมตัวกันเป็นเจลเมื่อสารละลายเย็นตัวลง โดยส่วนที่เรียกว่า pyrolidine-rich regions ในสายโซ่ของเจลาติน โดยเฉพาะลำดับของ ไกลซีน-โพรลีน-โพรลีน (หรือ ไฮดรอกซีโพรลีน) จะเปลี่ยนเป็น praline-L-proline II helix และรวมตัวกันเป็นเกลียวแบบ triple helix ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็น gel junction zones ขึ้น (Phillips and Williams, 2000) ซึ่งน้ำจะถูกดูดซับอยู่ใน junction zones ทำให้ปริมาณน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้อัตราการหลอมเหลวและความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง แต่ช่วยเพิ่มปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* นอกจากนี้ยังมีผลเพิ่มค่าสัดส่วนเฉลี่ยบางคุณลักษณะคือ สีเหลือง ความหนืด และการละลายในปาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.10$) ดังนั้นจึงเลือกใช้เจลาตินในระดับสูง คือ ร้อยละ 0.6

4.3.2.5 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในด้านต่างๆ (ตารางที่ 4.7) พบว่านมผงขาดมันเนย น้ำตาลทรายขาว เนยสด และเจลาตินมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ 18, 11, 9 และ10 คุณลักษณะ ตามลำดับ ดังนั้นปัจจัยหลักหรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มากได้แก่ นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว โดยทั้งสองปัจจัยจะถูกเลือกมาศึกษาระดับปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโย-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิร์ตนมถั่วเหลืองในขั้นตอนต่อไป ส่วนเนยสด และเจลาตินเป็นปัจจัยคงที่เนื่องจากมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสองปัจจัยแรก ซึ่งจากผลการทดลองสามารถกำหนดระดับการใช้ของเนยสด และเจลาตินในการทดลองขั้นต่อไปได้เท่ากับ ร้อยละ 2.0 และ 0.6 ของปริมาตรนมถั่วเหลือง ตามลำดับ

4.3.3 ศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 ทำให้สามารถกลั่นกรองปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ 2 ปัจจัย คือ นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาในรายละเอียดเพื่อหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 4 center points โดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับและมีรหัส คือ ระดับต่ำใช้รหัสเป็น (-1) จุดกึ่งกลางหรือระดับกลาง ใช้รหัสเป็น (0) และระดับสูง ใช้รหัสเป็น (+1) ซึ่งระดับกลางของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวได้จากผลการทดลองในข้อ 4.3.2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 14 และ 16 ตามลำดับ ส่วนระดับต่ำ และระดับสูงได้จากการขยายค่าของระดับกลางในช่วงที่เท่ากัน (ตารางที่ 4.8) โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.8 ระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
A : นมผงขาดมันเนย (% w/v)	12 (a_1)	14 (a_2)	16 (a_3)
B : น้ำตาลทรายขาว (% w/v)	14 (b_1)	16 (b_2)	18 (b_3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาว

หน่วยทดลอง	ค่าสี L	ค่าสี C	ค่าสี h^o	ความหนืด (centipoise)	โอเวอร์รัน (%w/w)	อัตราหลอมเหลว (g/min)	ความแข็ง (N)	ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดแลคติก (% w/w)
a_1b_1	81.71±0.37	17.04±0.74	90.2±0.20	8,384±42	16.89±0.80	0.051±0.013	28.176±0.94	27.47±0.08	27.1±0.83	4.47±0.01	1.18±0.01
a_3b_1	81.52±0.88	18.61±1.58	88.9±0.35	9,048±130	14.80±1.24	0.042±0.0075	22.258±2.05	29.57±0.02	27.7±1.10	4.78±0.01	1.15±0.02
a_1b_3	83.64±0.04	15.35±0.31	91.2±0.50	8,341±335	20.37±0.63	0.080±0.002	16.208±0.60	30.74±0.07	23.9±0.46	4.66±0.01	1.01±0.01
a_3b_3	82.80±0.47	16.79±0.54	90.1±0.12	7,945±68	14.77±1.78	0.059±0.011	17.106±1.80	31.67±0.02	25.7±0.50	4.97±0.02	1.03±0.02
a_2b_2	82.85±0.42	17.42±1.33	90.6±0.26	8,281±108	20.66±1.28	0.062±0.016	25.843±0.70	30.79±0.04	27.3±1.27	4.68±0.00	1.04±0.00
a_2b_2	82.00±0.35	16.92±0.94	90.9±0.99	9,168±98	18.82±3.35	0.066±0.004	24.668±2.74	29.77±0.08	26.3±0.64	4.60±0.01	1.15±0.02
a_2b_2	81.73±0.82	16.98±0.95	90.7±0.44	8,808±167	20.22±1.75	0.061±0.006	24.680±0.21	29.77±0.04	25.2±0.53	4.59±0.01	1.11±0.01
a_2b_2	81.27±0.49	17.05±1.67	91.1±0.70	8,460±136	20.31±0.33	0.059±0.008	24.313±1.84	30.52±0.04	24.5±0.64	4.66±0.01	1.07±0.03

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาว

หน่วยทดลอง	*S. thermophilus* (log cfu/g)	*L. acidophilus* (log cfu/g)	*B. bifidum* (log cfu/g)
a_1b_1	8.70±0.12	7.26±0.12	7.35±0.05
a_3b_1	8.83±0.01	7.17±0.03	7.45±0.04
a_1b_3	8.72±0.09	6.91±0.05	7.37±0.05
a_3b_3	8.66±0.05	7.03±0.03	7.42±0.05
a_2b_2	8.70±0.06	6.84±0.04	7.25±0.07
a_2b_2	8.76±0.13	6.90±0.21	7.24±0.11
a_2b_2	8.83±0.12	6.84±0.16	7.26±0.09
a_2b_2	8.85±0.19	7.06±0.12	7.45±0.08

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาว

หน่วยทดลอง	สีเหลือง	กลิ่นถั่วเหลือง	กลิ่นโยเกิร์ต	รสหวาน	รสเปรี้ยว	ความเรียบเนียน	ความหนืด	การละลายในปาก	การยอมรับรวม
a_1b_1	1.11±0.17	1.07±0.26	0.83±0.18	0.82±0.20	1.10±0.19	0.96±0.07	0.71±0.28	0.70±0.28	0.69±0.16
a_3b_1	1.16±0.19	1.10±0.21	0.90±0.22	0.92±0.18	0.97±0.16	0.99±0.09	0.99±0.23	0.95±0.24	0.73±0.13
a_1b_3	0.91±0.19	1.08±0.21	0.89±0.16	1.09±0.18	0.93±0.22	0.97±0.08	1.00±0.18	0.93±0.15	0.70±0.14
a_3b_3	1.06±0.19	1.06±0.16	0.85±0.18	1.08±0.17	0.81±0.17	0.97±0.05	1.09±0.19	1.01±0.27	0.70±0.12
a_2b_2	0.93±0.20	1.03±0.19	0.84±0.17	0.93±0.21	0.97±0.12	0.99±0.04	1.01±0.18	1.04±0.18	0.76±0.10
a_2b_2	0.95±0.19	1.09±0.19	0.77±0.21	0.94±0.24	0.99±0.16	0.97±0.07	1.03±0.20	1.00±0.19	0.75±0.07
a_2b_2	1.07±0.22	1.07±0.27	0.86±0.12	0.98±0.14	0.97±0.14	0.94±0.09	0.96±0.25	0.95±0.27	0.75±0.14
a_2b_2	1.04±0.10	1.07±0.21	0.88±0.10	0.97±0.16	0.94±0.13	0.97±0.06	0.92±0.25	0.94±0.24	0.74±0.13

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.11 ไปวิเคราะห์ทางสถิติหาสมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0 ด้วยวิธี multiple linear regression แบบ enter ได้สมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (coded equation) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (coded variables) จากนั้นทำการคำนวณหาระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว โดยนำเอาสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสที่มีค่า R^2 สูง ($R^2 \geq 0.80$) ซึ่งมีความแม่นยำในการคาดคะเนผลลัพธ์มาก มาทำการถอดรหัส (decoding) ของตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัสให้เป็นตัวแปรเดิมซึ่งเป็นตัวแปรที่บอกระดับที่ใช้จริงของปัจจัย สามารถทำได้โดยการแก้สมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสด้วยสูตรความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัส ดังนี้

$$\text{ตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัส} = \frac{\text{ตัวแปรเดิม} - (\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัย} + \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย})/2}{(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัย} - \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย})/2}$$

จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัสเติมลงในสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส และแก้สมการได้เป็นสมการที่ถอดรหัสแล้ว (decoded equation) ซึ่งสามารถนำสมการที่ได้ไปคาดคะเนผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น แต่การคาดคะเนต้องไม่ทำเกินช่วงระดับสูงต่ำที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสมการที่ถอดรหัสแสดงในตารางที่ 4.12

สมการที่ได้จากการถอดรหัสสามารถนำไปคาดคะเนผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นโดยแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในช่วงที่ทำการศึกษา คือ นมผงขาดมันเนยร้อยละ 12-16 และน้ำตาลทรายขาวร้อยละ 14-18 โดยการเติมสมการที่ถอดรหัสแล้วในโปรแกรม Mathcad version 7.0 และระบุระดับของนมผงขาดมันเนย (x) และน้ำตาลทรายขาว (y) ในรูป f (x, y) เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าตอบสนองที่ได้จากแต่ละสมการออกมา และนำสมการถดถอยที่ถอดรหัสมาออกแบบพื้นที่การตอบสนองด้วยโปรแกรม STATISTICA version 5.0 (ตัวอย่างการคำนวณ และวิธีการสร้างพื้นที่การตอบสนองดูได้จากภาคผนวก ค)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อได้ค่าตอบสนอง และภาพพื้นที่การตอบสนองของแต่ละสมการแล้ว ทำการพิจารณาหาระดับที่เหมาะสมของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว โดยเลือกระดับของปัจจัยที่ให้ค่าตอบสนองหรือค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะทางประสาทสัมผัสเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด ในกรณีของสมการถดถอยที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ส่วนสมการความสัมพันธ์ต่อ

คุณภาพทางกายภาพ และเคมี เช่น ค่าสี C อัตราการหลอมเหลว และค่าความเป็นกรด- ด่าง เป็นต้น ให้ได้ค่าการตอบสนองที่จุดที่ดีที่สุดโดยพิจารณาให้สัมพันธ์กับค่าตอบสนองที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.12 สมการถดถอยที่ถอดรหัส ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่แปรผันตามระดับของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

คุณลักษณะ	สมการถดถอยที่ถอดรหัส	R^2
ทางกายภาพและทางเคมี		
1) ค่าสี C	= 7.753 + 0.506 (นมผง) + 0.8348 (น้ำตาล) – 0.03625 (น้ำตาล)^2 – 0.008125 (นมผงxน้ำตาล)	0.973
2) ค่าสี h^o	= 47.03 – 0.5 (นมผง) + 5.9 (น้ำตาล) – 0.1813 (น้ำตาล)^2+ 0.01250 (นมผงxน้ำตาล)	0.962
3) อัตราการหลอมเหลว	= –0.4015 + 0.00825 (นมผง) + 0.04825 (น้ำตาล) – 0.001(น้ำตาล)^2 – 0.00075 (นมผงxน้ำตาล)	0.969
4) ค่าโอเวอร์รัน	= –233.5 + 2.551 (นมผง) + 29.86 (น้ำตาล) – 0.8238 (น้ำตาล)^2 – 0.2195 (นมผงxน้ำตาล)	0.956
5) ค่าความแข็ง	= –88.771 – 7.4435 (นมผง) + 23.408 (น้ำตาล) – 0.98475 (น้ำตาล)^2+ 0.426 (นมผงxน้ำตาล)	0.989
6) ปริมาณของแข็งทั้งหมด	= –24.58 + 1.547 (นมผง) + 4.493 (น้ำตาล) – 0.0875 (น้ำตาล)^2 – 0.073 (นมผงxน้ำตาล)	0.925
7) ค่าความเป็นกรด- ด่าง	= 8.387 + 0.0775 (นมผง) – 0.6525 (น้ำตาล)+ 0.02188 (น้ำตาล)^2	0.962
ทางประสาทสัมผัส		
8) รสหวาน	= –0.1665 + 0.1213 (นมผง) – 0.02975 (น้ำตาล) + 0.005625 (น้ำตาล)^2 – 0.006875 (นมผงxน้ำตาล)	0.969
9) รสเปรี้ยว	= 1.245 – 0.04125 (นมผง) + 0.07 (น้ำตาล) – 0.00375 (น้ำตาล)^2+ 0.000625 (นมผงxน้ำตาล)	0.971
10) ค่าการยอมรับรวม	= –2.72 + 0.045 (นมผง) + 0.3925 (น้ำตาล) – 0.01125 (น้ำตาล)^2 – 0.0025 (นมผงxน้ำตาล)	0.961

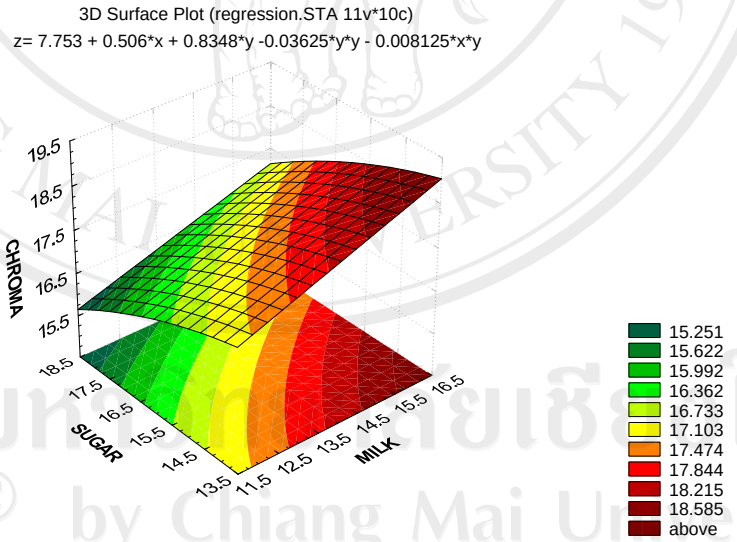
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3.1 ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

(1) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าสี C ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

1) ค่าสี C $= 7.753 + 0.506(\text{นมผง}) + 0.8348(\text{น้ำตาล}) - 0.03625(\text{น้ำตาล})^2 - 0.008125(\text{นมผง x น้ำตาล})$ $R^2 = 0.973$

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในสมการค่าสี C และพื้นที่การตอบสนองของสมการค่าสี C (ภาพที่ 4.5) พบว่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในระดับต่ำถึงระดับกลาง คือ ร้อยละ 12-15 และร้อยละ 14-17 ตามลำดับ จะให้ค่าสี C ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะสีเหลืองของผู้ทดสอบชิมเข้าใกล้ 1 (ตารางที่ 4.11)



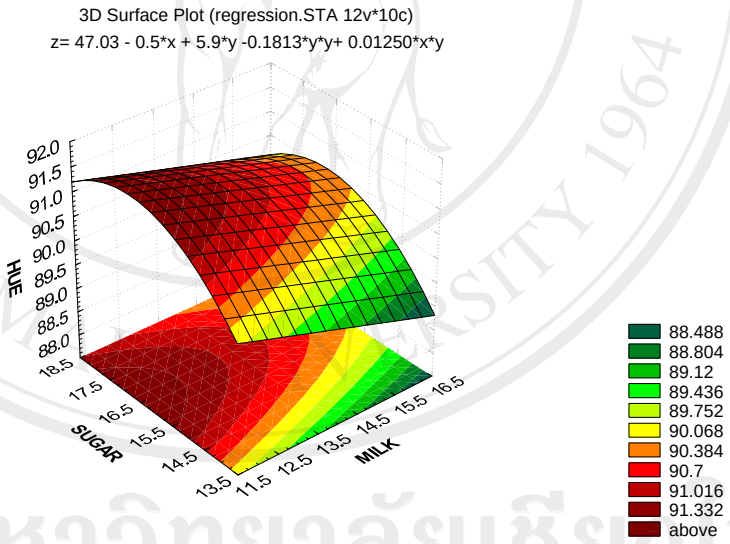
ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองของค่าสี C เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าสี h^o ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

2) ค่าสี h^o $= 47.03 - 0.5(\text{นมผง}) + 5.9(\text{น้ำตาล}) - 0.1813(\text{น้ำตาล})^2 + 0.01250(\text{นมผง x น้ำตาล})$ $R^2 = 0.962$

จากตารางที่ 4.9 และ 4.11 พบว่าค่าสี h^o และค่าสัดส่วนเฉลี่ยของสีเหลืองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลในสมการค่าสี h^o และพื้นที่การตอบสนองของสมการค่าสี h^o (ภาพที่ 4.6) พบว่าปริมาณนมผงขาดมันเนยในระดับต่ำถึงระดับกลางคือ ร้อยละ 13-14 และน้ำตาลในระดับกลางถึงระดับสูง คือ ร้อยละ 16-18 ตามลำดับ จะให้ค่าสี h^o ของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะสีเหลืองของผู้ทดสอบชิมเข้าใกล้ 1



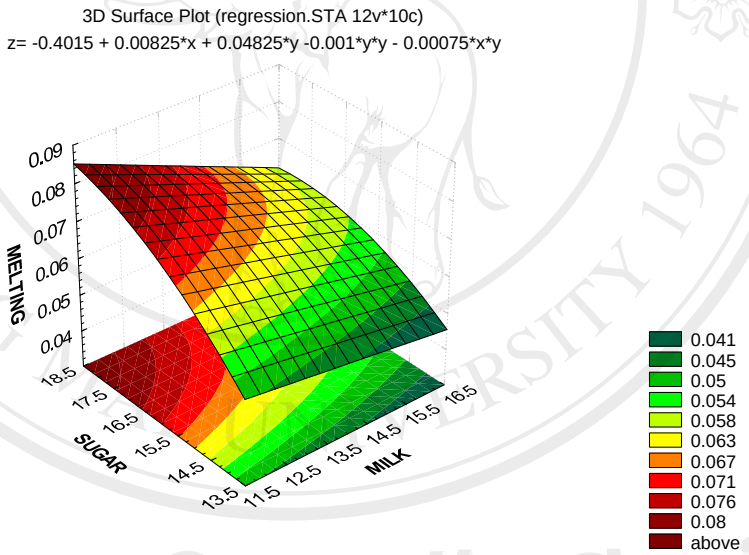
ภาพที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองของค่า hue เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าอัตราการหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

3) อัตราการหลอมเหลว = –0.4015 + 0.00825(นมผง) + 0.04825 (น้ำตาล) – 0.001(น้ำตาล)^2 – 0.00075(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.969

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และ 4.11 จะเห็นว่าค่าอัตราการหลอมเหลวที่ทำให้ค่าการละลายในปากของผู้ทดสอบชิมเข้าใกล้ 1 มากที่สุด อยู่ในช่วง 0.059-0.066 กรัมต่อนาที ดังนั้นจากการแทนค่าสมการอัตราการหลอมเหลว และภาพพื้นที่การตอบสนอง (ภาพที่ 4.7) พบว่าการใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนยร้อยละ 12-16 หรือในระดับต่ำถึงระดับสูง และปริมาณน้ำตาลทรายขาวร้อยละ 15-18 หรือในระดับกลางถึงระดับสูง เป็นช่วงที่เหมาะสม



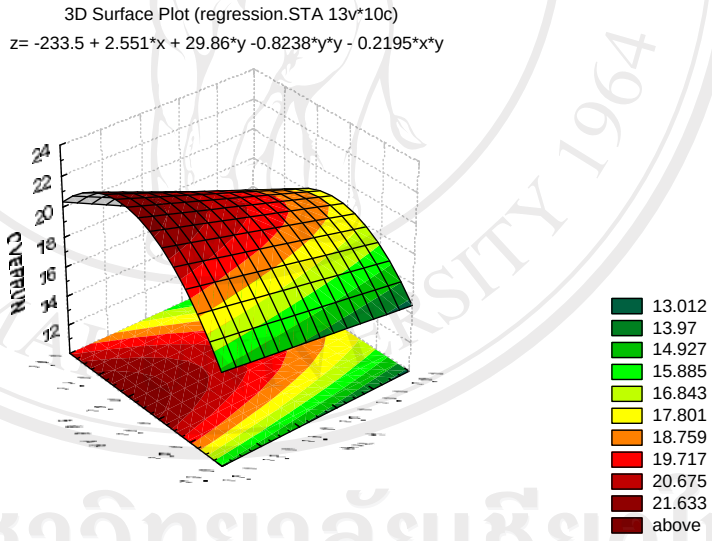
ภาพที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองของค่าอัตราการหลอมเหลว เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(4) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

4) ค่าโอเวอร์รัน = –233.5 + 2.551(นมผง) + 29.86 (น้ำตาล) – 0.8238(น้ำตาล)^2 – 0.2195(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.956

จากผลการทดลองในตาราง 4.9 แสดงให้เห็นว่า ค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยการยอมรับรวมของผู้ทดสอบชิม (ตาราง 4.11) เข้าใกล้ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 18.82-20.66 เมื่อแทนที่ ปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวลงในสมการที่ 4 และพื้นที่การตอบสนองของค่าโอเวอร์รันดังภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าช่วงของปริมาณนมผงขาดมันเนยที่ใช้อยู่ในระดับต่ำถึงระดับกลาง คือ ร้อยละ 12-15 และช่วงของปริมาณน้ำตาลทรายขาวที่ใช้อยู่ในระดับกลาง คือ ร้อยละ 15-16



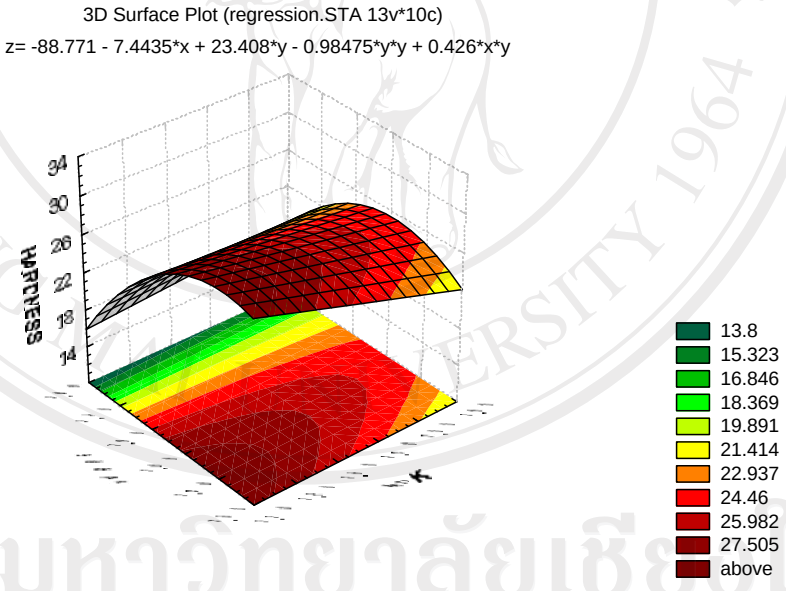
ภาพที่ 4.8 พื้นที่การตอบสนองของค่าโอเวอร์รัน เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(5) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

5) ค่าความแข็ง = –88.771 – 7.4435(นมผง) + 23.408(น้ำตาล) – 0.98475(น้ำตาล)^2+ 0.426(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.989

จากผลการทดลองในตาราง 4.9 พบว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยการยอมรับรวมของผู้ทดสอบชิม (ตาราง 4.11) เข้าใกล้ 1 อยู่ในช่วง 24.668-25.843 นิวตัน เมื่อแทนที่ปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวลงในสมการข้างต้น และพื้นที่การตอบสนองของค่าความแข็งดังภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าช่วงของปริมาณนมผงขาดมันเนยที่ใช้อยู่ในระดับต่ำถึงระดับสูง คือ ร้อยละ 13-15 และช่วงของปริมาณน้ำตาลทรายขาวที่ใช้อยู่ในระดับต่ำถึงระดับกลาง คือ ร้อยละ 14-16



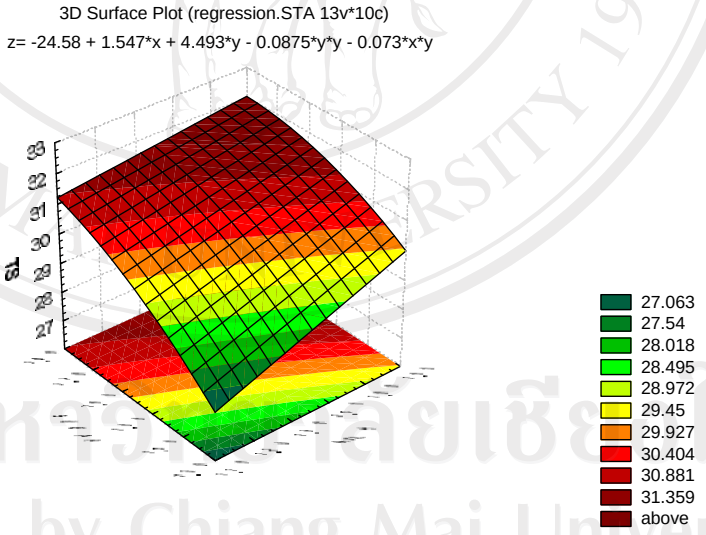
ภาพที่ 4.9 พื้นที่การตอบสนองของค่าความแข็ง เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(6) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

6) ปริมาณของแข็งทั้งหมด = –24.58 + 1.547(นมผง) + 4.493(น้ำตาล) – 0.0875(น้ำตาล)^2 – 0.073(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.925

จากผลการทดลองในตาราง 4.9 และ 4.11 พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับลักษณะความหนืด และการละลายในปาก ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะความหนืด และการละลายในปากจะมีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อปริมาณของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 29.57-30.79 เมื่อแทนที่ปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวลงในสมการที่ 6 และพื้นที่การตอบสนองของสมการปริมาณของแข็งทั้งหมดดังภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าช่วงของปริมาณนมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาวที่ใช้อยู่ในระดับต่ำถึงระดับสูง คือ ร้อยละ 12-16 และร้อยละ 14-18 ตามลำดับ



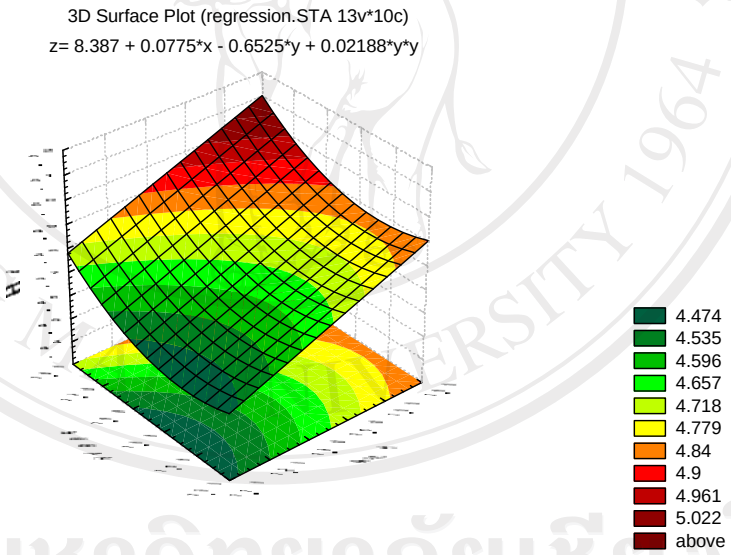
ภาพที่ 4.10 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณของแข็งทั้งหมด เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(7) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

7) ค่าความเป็นกรด-ด่าง = 8.387 + 0.0775(นมผง) – 0.6525(น้ำตาล)+ 0.02188(น้ำตาล)^2 R^2= 0.962

จากผลการทดลองที่ผ่านมา (ตาราง 4.9 และ4.11) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสัมพันธ์กับลักษณะความเปรี้ยวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.60 ทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของรสเปรี้ยวมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้นระดับของนมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 13-14 และร้อยละ 14-17 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อนำสมการถดถอยนี้ไปสร้างเป็นกราฟสามมิติในรูปของพื้นที่การตอบสนอง (ภาพที่ 4.11)



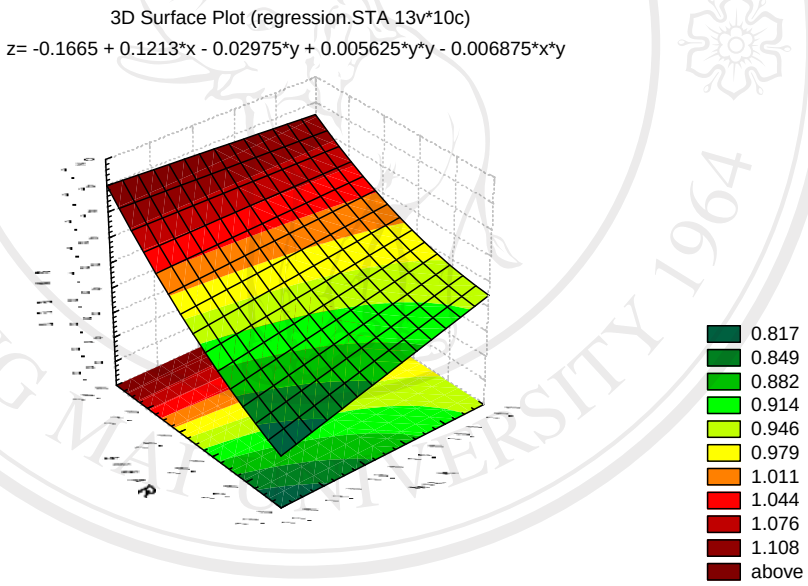
ภาพที่ 4.11 พื้นที่การตอบสนองของค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(8) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยของคุณลักษณะรสหวานของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

8) รสหวาน $= -0.1665 + 0.1213(\text{นมผง}) - 0.02975(\text{น้ำตาล}) + 0.005625(\text{น้ำตาล})^2 - 0.006875(\text{นมผง x น้ำตาล})$ $R^2 = 0.969$

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในสมการรสหวาน และจากกราฟแสดงพื้นที่การตอบสนอง (ภาพที่ 4.12) พบว่าการใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนย ร้อยละ 12 และน้ำตาลทรายขาว ร้อยละ 17 จะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของรสหวานมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากขึ้น



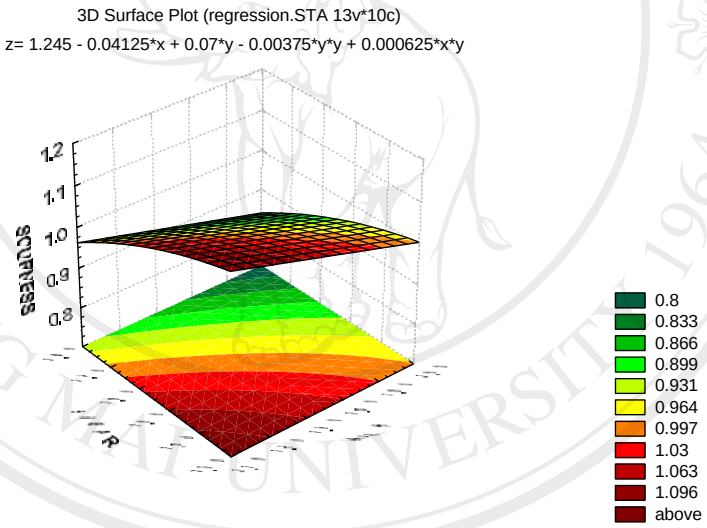
ภาพที่ 4.12 พื้นที่การตอบสนองของค่ารสหวาน เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(9) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยของคุณลักษณะรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

9) รสเปรี้ยว = 1.245 – 0.04125(นมผง) + 0.07(น้ำตาล) – 0.00375(น้ำตาล)^2 + 0.000625(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.971

เมื่อทำการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวลงในสมการรสเปรี้ยวแล้ว พบว่าการใช้นมผงขาดมันเนยที่ระดับต่ำ คือ ร้อยละ 13 และน้ำตาลทรายขาวที่ระดับกลางคือ ร้อยละ 16 จะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของลักษณะรสเปรี้ยวเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อนำสมการถดถอยนี้ไปสร้างกราฟสามมิติในรูปของพื้นที่การตอบสนอง (ภาพที่ 4.13)



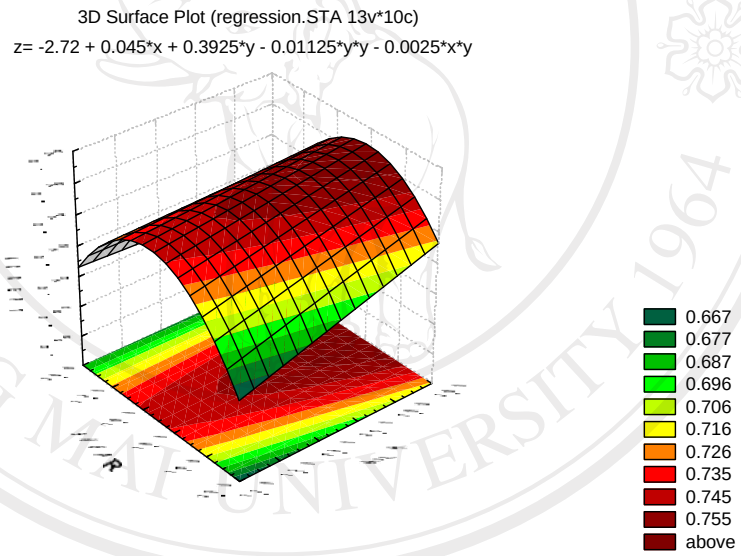
ภาพที่ 4.13 พื้นที่การตอบสนองของค่ารสเปรี้ยว เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(10) ผลของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวต่อค่าสัดส่วนเฉลี่ยของคุณลักษณะการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

10) ค่าการยอมรับรวม = –2.72 + 0.045(นมผง) + 0.3925(น้ำตาล) – 0.01125(น้ำตาล)^2 – 0.0025(นมผงxน้ำตาล) R^2= 0.961

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวในสมการค่าการยอมรับรวม จะเห็นว่านมผงขาดมันเนยระดับสูง และน้ำตาลทรายขาวระดับกลาง (ร้อยละ 16) จะทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของค่าการยอมรับรวมมีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถสร้างกราฟสามมิติแสดงพื้นที่การตอบสนองได้ดังนี้



ภาพที่ 4.14 พื้นที่การตอบสนองของค่าการยอมรับรวม เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

จากผลการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวลงในสมการถดถอยทั้งหมดจำนวน 10 สมการ ที่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นโค้ง (quadratic) พบว่าส่วนใหญ่จะใช้นมผงขาดมันเนยในระดับต่ำและระดับกลาง ส่วนน้ำตาลทรายขาวจะใช้ในระดับกลางและระดับสูง จึงนำระดับของนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวที่ทำให้ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของคุณลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับรวมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาวที่เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.13) และได้สูตรพื้นฐานสำหรับผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองคิดเป็นร้อยละขององค์ประกอบหลัก (นมถั่วเหลือง) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณนมผงขาดมันเนย และน้ำตาลทรายขาว

คุณลักษณะ	นมผงขาดมันเนย (ร้อยละ)	น้ำตาลทรายขาว (ร้อยละ)
รสหวาน	12	17
รสเปรี้ยว	13	16
การยอมรับรวม	16	16
ค่าเฉลี่ย	13.7	16.3

ตารางที่ 4.14 สูตรพื้นฐานสำหรับการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
นมถั่วเหลือง	400 มิลลิลิตร
นมผงขาดมันเนย	54.8 กรัม
น้ำตาลทรายขาว	65.2 กรัม
เนยสด	8 กรัม
เจลาติน	2.4 กรัม
เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น	0.8 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองสูตรพื้นฐานกับผลิตภัณฑ์สูตรตั้งต้น

เมื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองจากสูตรพื้นฐานจากข้อที่ 4.3.3 ดังตารางที่ 4.14 โดยใช้อุณหภูมิในการหมักที่ 43 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากสูตรพื้นฐานมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ได้ผลดังตารางที่ 4.15 และค่าทางประสาทสัมผัสแสดงในภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมจากสูตรพื้นฐาน

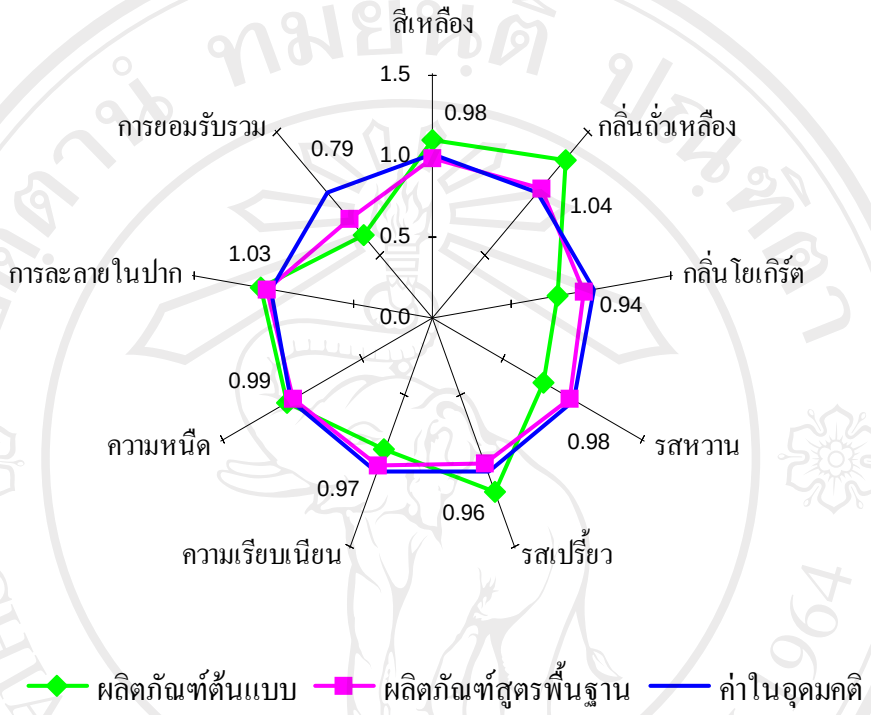
ลักษณะคุณภาพ	ผลการวิเคราะห์
- คุณภาพทางกายภาพ	
ความหนืดของโยเกิร์ต (centipoise)	7,368±389
ค่าความสว่าง (lightness, L)	83.00±1.24
ค่าความเข้มสี (chroma, C)	16.20±1.60
เฉดสี (hue, h^o)	93.6±0.69
ค่าโอเวอร์รัน (%w/w)	22.04±3.14
อัตราการหลอมเหลวต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (g/min)	0.055±0.006
ค่าความแข็ง (N)	22.320±3.811
- คุณภาพทางเคมี	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%w/w)	26.29±0.04
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	24.1±0.44
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.57±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดแลคติก (%w/w)	1.07±0.01
- คุณภาพทางจุลชีววิทยา	
S. thermophilus (log cfu/g)	8.92±0.25
L. acidophilus (log cfu/g)	7.12±0.12
B. bifidum (log cfu/g)	7.32±0.06

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่ได้จากสูตรพื้นฐานมีลักษณะสีเหลืองอ่อน มีค่าความหนืดของโยเกิร์ต ค่าโอเวอร์รัน ค่าความแข็ง ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบซึ่งเตรียมจากสูตรตั้งต้น (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่อัตราการหลอมเหลวลดลงจาก 0.143 เป็น 0.055 กรัมต่อนาที และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก 20.6 เป็น 24.1 องศาบริกซ์ เนื่องจากส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสูตรพื้นฐานมีการเติมปริมาณนมผงขาดมันเนยและน้ำตาลทรายขาวเพิ่มขึ้นโดยส่วนผสมทั้งสองชนิดมีผลต่ออัตราการหลอมเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เหลือรอดในผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง โดยอยู่ในช่วง 10^7- 10^8 cfu/g ซึ่งระดับต่ำสุดของปริมาณเชื้อโพรไบโอติกใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์นมหมักที่จะให้ประโยชน์ทางโภชนบำบัด(therapeutic benefits) คือ 10^6- 10^7 cfu/ml (Güler-Akin and Serdar Akin, 2006)



ภาพที่ 4.15 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองต้นแบบและสูตรพื้นฐาน เปรียบเทียบกับค่าในอุดมคติ

เมื่อพิจารณาค่าทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่ได้จากสูตรพื้นฐาน (ภาพที่ 4.15) พบว่าค่าคะแนนของลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มีค่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติ โดยค่าคะแนนของสีเหลือง กลิ่นถั่วเหลือง กลิ่นโยเกิร์ต รสเปรี้ยว ความเรียบเนียน ความหนืด และการละลายในปาก ไม่มีความแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) สำหรับค่าคะแนนของรสหวานและการยอมรับรวมถึงแม้ว่าจะแตกต่างจากค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แต่เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนเฉลี่ยแล้วพบว่ามีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากสูตรพื้นฐานได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวจากกัมต่อคุณภาพไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

หลังจากได้สูตรพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง (ข้อ 4.3) นำสูตรที่ได้มาทำการศึกษาผลของสารเพิ่มความคงตัวจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลคัสบีนกัม และคาราจีแนน โดยมีอัตราการเติม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.05 0.1 และ0.2 และวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ซึ่งผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.1 ถึง 4.4.3

4.4.1 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวจากกัมต่อคุณภาพทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลคัสบีนกัม และคาราจีแนนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสี L ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองมีค่าลดลง แต่ทำให้ค่าสี C เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี h^o ของทุกระดับการเติมมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อยู่ในช่วง 90.8-92.9 และมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม จึงทำให้ทุกตัวอย่างยังคงมีสีเหลืองแต่มีระดับความเข้มของสีแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ความหนืดของโยเกิร์ตจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจนจาก 21,499±434 เป็น 559±2 เซนติพอยส์เมื่อปริมาณคาราจีแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.05 เป็นร้อยละ 0.2 แคปปา-คาราจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากสาหร่ายแดง เมื่อให้ความร้อนสารละลายจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในสภาวะที่มีอนุภาคประจุบวก (cation) เช่น โพแทสเซียมไอออนและแคลเซียมไอออน จะได้เจลที่มีลักษณะแข็ง (rigid) และเกิดการ syneresis (Nussinovitch, 1997) นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับโปรตีนนมโดยจับกับกรดอะมิโนที่มีประจุบวกบริเวณผิวหน้าของอนุภาคเคซีน (kappa-casein) เกิดเป็น weak gel (Phillips and Williams, 2000) ซึ่งในส่วนผสมไอศกรีมซึ่งประกอบด้วยนมถั่วเหลืองและนมผงขาดมันเนยมีปริมาณของโพแทสเซียมไอออน แคลเซียมไอออน และโปรตีนเคซีนในปริมาณจำกัด ดังนั้นเมื่อเติมคาราจีแนนมากเกินไปจึงทำให้เกิดการก่อเจลน้อยลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณโลคัสบีนกัมจะทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้น โลคัสบีนกัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดไม่มีประจุ เมื่ออยู่ในน้ำโมเลกุลของโลคัสบีนกัมจะเกิดการพองตัวและสายโพลีแซคคาไรด์จะจับกันด้วยน้ำตาลกาแลคโตสในโมเลกุล (self-association) เป็นโครงสร้าง 3 มิติ (Phillips and Williams, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 คุณภาพทางกายภาพไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามชนิดและระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว

ชนิด	ปริมาณ (% w/v)	ค่าสี L	ค่าสี C	ค่าสี h^o	ความหนืด (centipoise)	โอเวอร์รัน (%w/w)	อัตราหลอมเหลว (g/min)	ความแข็ง (N)	T_g (^oC)	T_m (^oC)
Control	-	86.04±1.13^{e}	14.19±1.13^{a}	92.9±1.05^{d}	46,518±1,441^{f}	32.86±0.88^{f}	0.089±0.020^{b}	13.685±3.251^{ab}	-33.25±0.15^{cd}	2.85±0.90
CMC	0.05	86.10±1.30^{e}	15.15±1.57^{ab}	92.1±0.68^{c}	42,983±2,076^{e}	22.16±1.99^{e}	0.083±0.018^{b}	12.209±2.083^{a}	-33.07±0.12^{d}	3.31±0.51
	0.1	86.21±1.71^{e}	16.12±1.71^{bc}	90.8±0.85^{a}	38,840±1,320^{d}	23.91±3.01^{e}	0.088±0.021^{b}	15.007±5.121^{bc}	-33.52±0.06^{bc}	2.56±0.83
	0.2	84.94±1.53^{d}	16.33±1.70^{cd}	92.3±2.16^{cd}	19,660±207^{c}	20.79±1.46^{e}	0.078±0.011^{ab}	15.784±3.236^{cd}	-33.69±0.18^{ab}	2.43±0.20
LBG	0.05	85.31±1.32^{de}	15.44±1.59^{bc}	90.8±0.77^{a}	103,333±577^{g}	22.08±3.03^{e}	0.096±0.016^{b}	12.692±2.919^{a}	-33.38±0.16^{c}	2.20±0.20
	0.1	83.22±1.21^{c}	18.09±1.73^{e}	91.5±0.93^{b}	111,000±1,732^{h}	15.20±2.83^{cd}	0.084±0.033^{b}	18.598±3.052^{e}	-33.03±0.15^{d}	3.09±0.26
	0.2	80.72±1.19^{a}	19.82±1.55^{f}	92.3±0.27^{cd}	150,000±1,732^{i}	9.41±2.00^{a}	0.057±0.008^{a}	25.771±4.489^{g}	-33.03±0.24^{d}	2.93±0.10
CAR	0.05	85.34±1.53^{de}	17.20±1.75^{de}	92.9±0.70^{d}	21,499±434^{c}	16.86±3.45^{d}	0.059±0.014^{a}	16.790±3.236^{de}	-33.85±0.18^{a}	2.53±0.17
	0.1	83.27±1.51^{c}	19.58±1.70^{f}	92.7±0.36^{cd}	4,052±113^{b}	13.14±2.66^{bc}	0.082±0.012^{b}	22.534±2.629^{f}	-33.87±0.19^{a}	2.82±0.19
	0.2	82.11±1.52^{b}	20.45±1.40^{f}	92.8±0.30^{d}	559±2^{a}	10.03±1.66^{ab}	0.077±0.012^{ab}	21.260±3.316^{f}	-33.44±0.13^{bc}	2.20±0.36

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. CMC : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส LBG : โลคัสบีนกัม CAR : คาราจีแนน

3. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

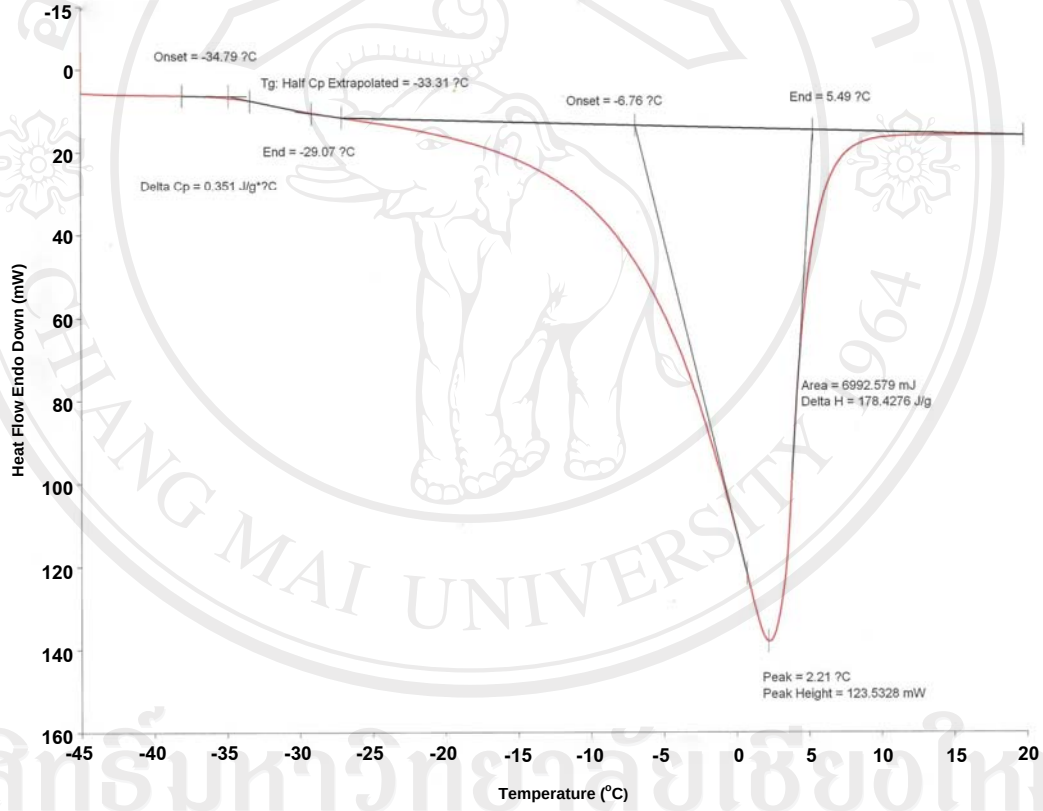
ดังนั้นเมื่อปริมาณโลคัสบีนกัมเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลง ความหนืดของโยเกิร์ตจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการหลอมเหลวและค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ โดยค่าอัตราการหลอมเหลวและค่าโอเวอร์รันจะมีค่าลดลงเมื่อความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น (Marshall and Arbuckle,1996) โดยจากผลการทดลองพบว่าการเติมสารเพิ่มความคงตัวในส่วนผสมไอศกรีมทำให้ค่าโอเวอร์รันมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ได้เติมสารเพิ่มความคงตัว มีผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและราคาของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าโอเวอร์รันสูงกว่าโลคัสบีนกัม และคาราจีแนน ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณของโลคัสบีนกัมทำให้ค่าอัตราการหลอมเหลวและค่าโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากโลคัสบีนกัมมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี และโยเกิร์ตที่ได้มีความหนืดสูง ซึ่งส่วนผสมที่มีความหนืดสูงมีผลทำให้อัตราการตีช้าลง (Kailasapathy and Sellepan, 1998) ในระหว่างการทำให้ส่วนผสมแข็งตัวด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม อากาศจึงเข้าไปในส่วนผสมน้อยลง และผลิตภัณฑ์ที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.2 และคาราจีแนนร้อยละ 0.05 มีอัตราการหลอมเหลวน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เหลือมีค่าอัตราการหลอมเหลวไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

จากตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่อระดับของสารเพิ่มความคงตัวทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยโลคัสบีนกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับโอเวอร์รันของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต (r= 0.926) ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Muse and Hartel (2004) ซึ่งศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างที่มีผลต่อความแข็งของไอศกรีม พบว่าค่าโอเวอร์รันมีผลต่อความแข็งของไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีค่าโอเวอร์รันสูงจะมีโครงสร้างที่นุ่ม ดังนั้นเมื่อค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะทางที่เจาะลงในเนื้อไอศกรีมมีค่าเพิ่มขึ้นหรือความแข็งของไอศกรีมลดลง ซึ่งปริมาตรของ a compressible dispersed phase ที่มาก ทำให้ความต้านทานต่อแรงกระทำลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนเฟสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง DSC พบว่าสารเพิ่มความคงตัวมีผลเปลี่ยนแปลงค่า glass transition temperature (T_g) และ melting temperature (T_m) ของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย โดยค่า T_g ของทุกตัวอย่างปรากฏที่อุณหภูมิประมาณ -33 องศาเซลเซียส และค่า T_m ปรากฏที่อุณหภูมิ 2-3 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.16) ค่า T_g คือ อุณหภูมิที่ของแข็ง หรือ amorphous material เปลี่ยนสถานะเป็นยาง (rubbery) หรือ

ของเหลวเมื่อได้รับความร้อน โดยวัดได้จากจุดกลางของเส้น baseline ที่เคลื่อนออกไป (shift) (Sichina, 2000) ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของไอศกรีมในระหว่างการเก็บรักษา (Rao and Hartel, 1998) ส่วน T_m เป็นอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์เกิดการหลอมละลาย (ภาพที่ 4.16) ถ้าผลิตภัณฑ์มีค่า T_m สูงจะสามารถคงสภาพของไอศกรีมได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่า T_m ต่ำ (อรุณี, 2549) โดยผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตที่เติมโลคัสบีนกัมจะมีค่า T_g สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และคาราจีแนน ซึ่งไอศกรีมโยเกิร์ตที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.1-0.2 มีค่า T_g สูงที่สุด ดังนั้นการเติมโลคัสบีนกัมลงในส่วนผสมจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต และสามารถคงสภาพได้ดีในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.16 ค่า glass transition temperature และ melting temperature ของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่เติมคาราจีแนนร้อยละ 0.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 คุณภาพทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามชนิดและระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว

ชนิด	ปริมาณ (%w/v)	ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)
Control	-	28.85±0.64^{a}	24.0±0.58^{abc}	4.28±0.02^{ab}	1.46±0.13^{bc}
CMC	0.05	29.18±0.39^{ab}	24.1±0.52^{c}	4.33±0.01^{b}	1.40±0.03^{bc}
	0.1	29.74±0.09^{cd}	24.0±0.67^{bc}	4.27±0.02^{ab}	1.44±0.04^{bc}
	0.2	29.77±0.05^{cd}	23.8±1.23^{abc}	4.28±0.04^{ab}	1.45±0.03^{bc}
LBG	0.05	29.44±0.26^{bc}	22.9±0.96^{ab}	4.28±0.04^{ab}	1.45±0.01^{bc}
	0.1	29.37±0.02^{bc}	22.7±1.07^{a}	4.25±0.01^{a}	1.48±0.05^{c}
	0.2	30.04±0.06^{d}	24.0±1.27^{bc}	4.62±0.10^{c}	1.21±0.08^{a}
CAR	0.05	29.72±0.13^{cd}	24.5±0.71^{c}	4.30±0.03^{ab}	1.42±0.03^{bc}
	0.1	29.35±0.03^{bc}	22.9±0.53^{a}	4.27±0.03^{ab}	1.39±0.02^{b}
	0.2	29.74±0.10^{cd}	23.8±0.22^{abc}	4.31±0.08^{ab}	1.47±0.08^{bc}

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. CMC : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส LBG : โลคัสบีนกัม CAR : คาราจีแนน

3. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.2 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวจากกัมต่อคุณภาพทางเคมี

จากตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการเติมสารเพิ่มความคงตัวมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 22.7-24.5 องศาบริกซ์ และผลิตภัณฑ์ที่เติมโลคัสบีนกัมในอัตราร้อยละ 0.2 ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ มีค่าแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งน้ำและสารอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลแลคโตส น้ำตาลซูโครส และกรดอะมิโน จะถูกดูดซับไว้ในโมเลกุลของโลคัสบีนกัม จึงทำให้ปริมาณสารอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ได้ลดลง โดยเฉพาะน้ำตาลแลคโตสและน้ำตาลซูโครส ดังนั้นปริมาณกรดแลคติก และกรดอะซิติกที่เชื้อจุลินทรีย์ผลิตออกมาจึงมีปริมาณน้อยลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามชนิดและระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว

ชนิด	ปริมาณ (% w/v)	*S. thermophilus* (log cfu/g)	*L. acidophilus* (log cfu/g)	*B. bifidum* (log cfu/g)
Control	-	8.58±0.06	6.71±0.30	7.00±0.06[a]
CMC	0.05	8.70±0.06	6.93±0.51	6.82±0.20[a]
	0.1	8.56±0.04	6.68±0.48	6.85±0.27[a]
	0.2	8.67±0.05	6.92±0.84	6.98±0.21[a]
LBG	0.05	8.56±0.12	6.68±0.45	7.00±0.12[a]
	0.1	8.59±0.15	6.66±0.16	7.01±0.15[a]
	0.2	8.65±0.09	6.80±0.24	7.29±0.11[b]
CAR	0.05	8.75±0.08	6.92±0.11	6.96±0.08[a]
	0.1	8.57±0.08	7.12±0.02	6.89±0.10[a]
	0.2	8.73±0.17	7.05±0.07	6.89±0.13[a]

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. CMC : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส LBG : โลคัสบีนกัม CAR : คาราจีแนน

3. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.3 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวจากกัมต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา

จากตารางที่ 4.18 พบว่าชนิดและปริมาณสารเพิ่มความคงตัวไม่มีผลต่อปริมาณของเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. acidophilus* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีปริมาณเชื้อไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว แต่ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อปริมาณเชื้อ *B. bifidum* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยตัวอย่างที่มีการเติมโลคัสบีนกัมที่ระดับร้อยละ 0.2 มีปริมาณเชื้อเหลือรอดสูงที่สุด เนื่องจากตัวอย่างนี้มีค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 9.41 จึงมีปริมาณอากาศในโครงสร้างน้อยทำให้เชื้อ *B. bifidum* ซึ่งเป็นเชื้อที่ไม่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโตสามารถอยู่รอดได้ดี ในขณะที่เชื้อ *S. thermophilus* เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีอากาศ และเชื้อ *L. acidophilus* สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ (สุมณฑา, 2549) ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวจึงไม่มีผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อปริมาณเชื้อทั้งสองชนิดนี้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของเชื้อโพรไบโอติกของทุกสิ่งทดลองยังอยู่ในระดับที่มีผลต่อสุขภาพ คือ 10^6- 10^7 cfu/ml (Güler-Akin and Serdar Akin, 2007)

4.5 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่เติมสารเพิ่มความคงตัวจากกัมในระดับต่างๆ กัน จากข้อที่ 4.4 จะถูกนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยวางแผนการทดสอบชิมแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ด้วยวิธี Hedonic scoring test 9 points ซึ่งวิธีนี้จะวัดการยอมรับอย่างแท้จริงของผู้บริโภคในเทอมของระดับความชอบและไม่ชอบของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ภายใต้สภาวะที่กำหนดไว้ (ไพโรจน์, 2545)

จากตารางที่ 4.19 พบว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวไม่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคในคุณลักษณะสีเหลือง กลิ่นถั่วเหลือง ความเรียบเนียน และการละลายในปากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เนื่องจากปริมาณสารเพิ่มความคงตัวที่เติมมีปริมาณน้อยมาก (ร้อยละ 0.05-0.2 ของนมถั่วเหลือง) เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่นๆ จึงทำให้ค่าสี ความแข็ง และอัตราการหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความคงตัวมีผลต่อความชอบของผู้บริโภคในคุณลักษณะกลิ่นโยเกิร์ต รสหวาน รสเปรี้ยว ความหนืด และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อพิจารณาแต่ละคุณลักษณะได้ผลการทดลองดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 ค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองซึ่งผันแปรตามชนิดและระดับการใช้สารเพิ่มความคงตัว

ชนิด	ปริมาณ (% w/v)	สีเหลือง	กลิ่นถั่วเหลือง	กลิ่นโยเกิร์ต	รสหวาน	รสเปรี้ยว	ความเรียบเนียน	ความหนืด	การละลายในปาก	การยอมรับรวม
Control	-	6.9±1.3	6.2±1.4	6.4±1.2^{bc}	6.1±1.8^{b}	6.4±1.7^{bc}	6.6±1.5	6.7±1.1^{ab}	6.8±1.2	6.7±1.2^{abc}
CMC	0.05	7.2±1.1	6.6±1.6	6.5±1.3^{bc}	5.5±1.7^{a}	5.4±1.8^{a}	6.7±1.1	6.2±1.2^{a}	6.6±1.2	6.3±1.3^{a}
	0.1	7.1±1.2	6.3±1.6	6.6±1.3^{bc}	6.1±1.6^{b}	5.9±1.8^{ab}	6.9±1.3	6.2±1.3^{a}	6.7±1.4	6.4±1.2^{ab}
	0.2	7.0±1.1	6.3±1.4	6.3±1.3^{bc}	5.9±1.5^{ab}	5.4±1.9^{a}	6.7±1.2	6.3±1.3^{a}	6.6±1.3	6.2±1.3^{a}
LBG	0.05	7.0±1.1	6.4±1.6	6.5±1.2^{bc}	6.7±1.4^{c}	6.7±1.3^{c}	6.9±1.0	6.6±1.2^{ab}	6.8±1.3	6.8±1.2^{bc}
	0.1	7.1±1.2	6.4±1.4	6.3±1.5^{abc}	6.0±1.7^{ab}	6.0±1.6^{ab}	6.6±1.3	6.7±1.2^{ab}	6.8±1.2	6.6±1.0^{abc}
	0.2	6.5±1.2	6.1±1.5	5.8±1.4^{a}	6.8±1.5^{c}	6.3±1.6^{bc}	6.7±1.6	6.7±1.4^{ab}	6.9±1.3	6.4±1.5^{ab}
CAR	0.05	7.1±1.1	6.4±1.5	6.5±1.5^{bc}	6.1±1.6^{b}	6.1±1.7^{bc}	6.9±1.4	6.5±1.4^{ab}	6.9±1.2	6.6±1.2^{abc}
	0.1	7.0±1.3	6.3±1.4	6.2±1.3^{ab}	6.1±1.5^{b}	6.3±1.7^{bc}	6.6±1.5	6.6±1.1^{ab}	6.9±1.2	6.7±1.1^{abc}
	0.2	6.8±1.3	6.7±1.5	6.7±1.2^{c}	6.7±1.5^{c}	6.7±1.5^{c}	7.1±1.4	6.8±1.6^{b}	6.9±1.5	7.0±1.3^{c}

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. CMC : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส LBG : โลคัสบีนกัม CAR : คาราจีแนน

3. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีเหลือง มีค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 6.5-7.2 โดยตัวอย่างที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.05 มีค่าคะแนนความชอบมากที่สุด ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบน้อยที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าสี L หรือความสว่างน้อย (80.72) และมีค่าสี C หรือความเข้มสีมาก (19.82)

กลิ่นถั่วเหลือง คะแนนความชอบของตัวอย่างที่เติมสารเพิ่มความคงตัวมีค่าไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าการเติมสารเพิ่มความคงตัวไม่ช่วยลดกลิ่นถั่วเหลืองของผลิตภัณฑ์ โดยความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และมีค่าความคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.1- 6.7 นอกจากนี้ทุกตัวอย่างมีค่าคะแนนความชอบมากกว่าตัวอย่างควบคุมยกเว้นตัวอย่างที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบน้อยที่สุด

กลิ่นโยเกิร์ต พบว่าค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 5.8 -6.7 โดยตัวอย่างที่เติมคาราจีแนนร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบมากที่สุด และตัวอย่างที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบน้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดสูงมาก ทำให้ปริมาณสารอาหาร ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และกรดอะมิโนเมไทโอนีน (methionine) ที่เชื้อจุลินทรีย์จะนำไปใช้เปลี่ยนเป็นสารที่ให้กลิ่นโยเกิร์ต ได้แก่ อะเซทตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และ ไดอะเซทิล (diacetyl) มีปริมาณน้อยลง (Bibek, 1996) ซึ่งมีผลทำให้ตัวอย่างนี้มีกลิ่นถั่วเหลืองสูงกว่าตัวอย่างอื่นด้วย

รสหวาน มีค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 5.5 -6.8 โดยตัวอย่างที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.05 มีค่าคะแนนความชอบน้อยที่สุด ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะรสหวานมีความสัมพันธ์แบบแปรผันกับค่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะรสเปรี้ยว ($r=0.803$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) นั่นคือค่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะรสหวานจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น

รสเปรี้ยว สารเพิ่มความคงตัวที่ให้ค่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะรสเปรี้ยวจากน้อยไปมาก ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลคัสบีนกัม และคาราจีแนน โดยตัวอย่างที่เติมโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.1 และคาราจีแนนร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเรียบเนียน ค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยอยู่ในช่วง 6.6-7.1 ซึ่งทุกตัวอย่างมีค่าคะแนนความชอบเท่ากับหรือมากกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย และตัวอย่างที่มีค่าคะแนนความชอบมากที่สุด ได้แก่ คาราจีแนนร้อยละ 0.2

ความหนืด พบว่าค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 6.2-6.8 และค่าคะแนนความชอบของตัวอย่างที่เติมคาราจีแนนร้อยละ 0.2 มีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การละลายในปาก ตัวอย่างที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัวมีค่าคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.6-6.9 เนื่องจากค่าอัตราหลอมเหลวของตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 0.057-0.096 กรัมต่อนาที ทำให้ผู้ทดสอบชิมแยกความแตกต่างไม่ได้ ค่าคะแนนความชอบจึงมีค่าใกล้เคียงกัน

การยอมรับรวม ค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วง 6.2-7.0 ดังนั้นความชอบของผู้บริโภคอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยตัวอย่างที่มีค่าคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่เติมคาราจีแนนร้อยละ 0.2 เป็นสารเพิ่มความคงตัว นอกจากนี้ค่าคะแนนการยอมรับรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าคะแนนความชอบของคุณลักษณะรสเปรี้ยว (r=0.883) ความหนืด (r=0.778) และการละลายในปาก (r=0.749) เพิ่มขึ้น

4.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองที่เติมคาราจีแนนร้อยละ 0.2 ซึ่งผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด จะถูกนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วัน โดยทำการตรวจสอบคุณภาพทันทีหลังการผลิต และหลังจากนั้นทุก 15 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วัน

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วัน

ระยะเวลาการเก็บ	ค่าสี			ความแข็ง
(วัน)	L	C	h^o	(N)
0	78.59±0.53 ^{a}	17.66±0.54 ^{b}	91.7±0.40 ^{a}	24.075±3.565 ^{a}
15	80.25±0.41 ^{b}	16.73±0.20 ^{a}	92.3±0.30 ^{b}	24.311±3.819 ^{a}
30	79.99±0.75 ^{b}	17.47±0.58 ^{b}	92.3±0.40 ^{b}	25.329±5.250 ^{a}
45	78.78±0.37 ^{a}	18.22±0.39 ^{c}	92.3±0.30 ^{b}	25.968±3.903 ^{ab}
60	78.78±0.37 ^{a}	18.22±0.39 ^{c}	92.3±0.30 ^{b}	28.443±3.946 ^{b}

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.20 พบว่าค่าสีและความแข็งของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งค่าสี C มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสี L และค่าสี h^o มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส แต่การเปลี่ยนแปลงไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าหลังผลิตและค่าหลังสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยค่าสี L และค่าสี h^o มีค่าอยู่ระหว่าง 78.59-80.25 และ 91.7-92.3 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์จึงยังให้สีเหลืองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนความแข็งของผลิตภัณฑ์มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต โดยค่าความแข็งเพิ่มจาก 24.075 นิวตัน เป็น 28.443 นิวตัน เมื่อครบ 60 วัน เนื่องจากอุณหภูมิยูเทคติกสุดท้าย หรืออุณหภูมิที่ผลึกของสารละลายแต่ละชนิดสมดุลกับของเหลวที่ยังไม่แข็งตัวและน้ำแข็ง (final eutectic temperature) ของไอศกรีมเท่ากับ -55 องศาเซลเซียส (วิไล, 2545) และค่า T_g ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ -33.44 องศาเซลเซียส ดังนั้นการแช่แข็งไอศกรีม (hardening) ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส จึงมีน้ำที่ยังไม่แข็งตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยมีปริมาณน้ำแข็งอยู่ร้อยละ 75-80 (Hagiwara and Hartel, 1996) มีขนาดของผลึกน้ำแข็งประมาณ 45-50 ไมโครเมตร (Flores and Goff, 1999) ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาโมเลกุลของน้ำที่ไม่แข็งตัวจึงเคลื่อนที่เข้าหาผลึกน้ำแข็งทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น โดย Miller-Livney and Hartel (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลทรายขาวเป็นสารให้ความหวานและคาราจีแนนเป็นสารเพิ่มความคงตัวมีขนาดผลึกน้ำแข็งเพิ่มจาก 37 ไมโครเมตร เป็น 70 ไมโครเมตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 สัปดาห์ ($5.5\ d^{0.33}$) ส่วน Guven *et.al* (2003) พบว่าค่าระยะทางที่เจาะลงในเนื้อไอศกรีม (penetrometer values) มีค่าลดลง จาก 5.7 mm เหลือ 2.6 mm ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน นอกจากนี้ในระหว่างการแช่เยือกแข็งความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มของสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4.6.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่การเปลี่ยนแปลงมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดแลคติก ไม่มีความแตกต่างในระหว่างการเก็บรักษาระยะเวลา 60 วัน ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส แสดงว่าเชื้อ *S. thermophilus L. acidophilus* และ *B. bifidum* ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา เนื่องจากการแช่เยือกแข็งมีผลลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ (สุมณฑา, 2549) ทำให้โปรตีนสำคัญในเซลล์เสียสภาพ และจุลินทรีย์เกิดการบาดเจ็บเนื่องจากผลึกน้ำแข็ง (วิลาวัณย์, 2539)

ตารางที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาระยะเวลา 60 วัน ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ของแข็งทั้งหมด (%w/w)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^oBrix)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)
0	29.11±0.03 [a]	22.2±0.2 [a]	4.33±0.02	1.31±0.02
15	29.37±0.03 [c]	23.1±0.1 [c]	4.33±0.01	1.34±0.01
30	29.73±0.03 [d]	22.1±0.1 [a]	4.34±0.01	1.33±0.02
45	29.26±0.05 [b]	24.3±0.1 [d]	4.33±0.01	1.32±0.00
60	29.39±0.02 [c]	22.9±0.1 [b]	4.32±0.01	1.32±0.01

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 วัน

จากตารางที่ 4.22 พบว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หลังการผลิตมีค่าเท่ากับ 3.76 log cfu/g หรือ $5.78x10^3$ cfu/g ซึ่งอาจปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการผลิต และเป็นแบคทีเรียชนิด aerobic mesophilic เนื่องจากอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ที่ใช้ในการเพาะเชื้อเป็นอาหารที่ใช้ในการนับจำนวนเชื้อชนิดนี้ (มณธิดา, 2546) โดยปริมาณที่ตรวจพบมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 พ.ศ.2544 เรื่อง ไอศกรีม (ภาคผนวก ง) ซึ่งกำหนดให้ไอศกรีมมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดได้ไม่เกิน $6.0x10^5$ cfu/g และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองระหว่างการเก็บรักษาระยะเวลา 60 วัน ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (log cfu/g)	*S. thermophilus* (log cfu/g)	*L. acidophilus* (log cfu/g)	*B. bifidum* (log cfu/g)
0	3.76±0.05 [b]	8.84±0.05	7.51±0.07 [d]	6.96±0.01 [b]
15	3.73±0.07 [b]	8.77±0.09	7.13±0.04 [c]	6.89±0.02 [b]
30	3.47±0.00 [a]	8.71±0.03	6.94±0.05 [ab]	6.86±0.02 [b]
45	3.57±0.00 [a]	8.80±0.15	6.80±0.04 [a]	6.88±0.08 [b]
60	3.40±0.12 [a]	8.73±0.06	6.96±0.07 [b]	6.46±0.18 [a]

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
2. ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อ *S. thermophilus* ในระหว่างการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* และเชื้อ *B. bifidum* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* และเชื้อ *B. bifidum* หลังการทำให้แข็งในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24

ชั่วโมง มีค่า 7.51 log cfu/g ($3.3x10^7$cfu/g) และ 6.96 log cfu/g ($9.2x10^6$cfu/g) ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บรักษาครบ 60 วัน ปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* ลดลงร้อยละ 72.4 ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น เหลือ 6.96 log cfu/g ($9.1x10^6$cfu/g) และปริมาณเชื้อ *B. bifidum* ลดลงร้อยละ 66.3 ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น เหลือ 6.46 log cfu/g ($3.1x10^6$cfu/g) แสดงว่าอัตราการลดลงของปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* สูงกว่าเชื้อ *B. bifidum* หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เชื้อ *B. bifidum* มีอัตราการเหลือรอดสูงกว่าเชื้อ *L. acidophilus* โดยมีอัตราการเหลือรอดร้อยละ 33.7 และ 27.6 ของปริมาณเชื้อเริ่มต้นตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Hekmat and Mcmahon (1992) ที่รายงานเกี่ยวกับปริมาณเชื้อเหลือรอดของเชื้อ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตซึ่งมีพีเอช 4.9 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 17 สัปดาห์ พบว่าปริมาณเชื้อ *L. acidophilus* ลดลง 2 log cycles เหลือ 3×10^6 cfu/ml จากเดิม 1.5×10^8 cfu/ml ในขณะที่ปริมาณเชื้อ *B. bifidum* มีค่าลดลง 1 log cycle เหลือ 1×10^7cfu/ml จากเดิม 2.5×10^8 cfu/ml นอกจากนี้ Kebary (1996) ได้ศึกษาการเหลือรอดของเชื้อ *B. bifidum* ในโยเกิร์ตซาบาดีแช่แข็ง (frozen zabady) ซึ่งหมักด้วย 1.0% *B. bifidum* (BB12)+ 2.0% จุลินทรีย์โยเกิร์ต และ 1.5% *B. bifidum* (BB12)+ 1.5% จุลินทรีย์โยเกิร์ตในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ โดยพบว่าปริมาณเชื้อ *B. bifidum* มีอัตราลดลงร้อยละ 65 และร้อยละ 50 ของปริมาณเชื้อเริ่มต้น ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองยังอยู่ในระดับต่ำสุดของปริมาณเชื้อโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์นมหมักที่จะให้ประโยชน์ทางโภชนบำบัด คือ 6-7 log cfu/ml (Güler-Akin and Serdar Akin, 2007) ดังนั้นไอศกรีมโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองจึงเป็นแหล่งที่ดีในการนำเชื้อโพรไบโอติกไปสู่ผู้บริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved