บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรเบื้องต้นของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

1.1 คุณสมบัติของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น

เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่เป็น Intermediate starter ของโยเกิร์ต *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ส่วนเชื้อโพรไบโอติค ได้แก่ *Bifidobacterium longum* Bb-46 เชื้อดังกล่าวมีคุณลักษณะแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่13 คุณภาพของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่เป็น Intermediate starter บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เชื้อเริ่มต้น	ความเป็นกรดด่าง (pH)	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ w/v)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น log CFU/g
1. *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus*	3.72±0.02	1.57±0.01	8.97
2. *B. longum* Bb-46	4.50±0.02	1.44±0.01	8.26

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

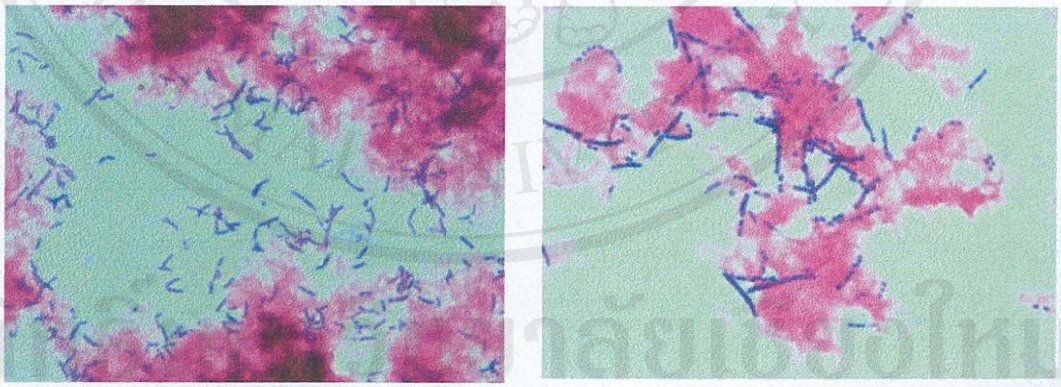
จากการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องพบว่ามีเชื้อ *S.thermophilus* และเชื้อ *L. bulgaricus* รวม 8.97 log CFU/g ส่วนเชื้อ *B. longum* มีปริมาณ 8.26 log CFU/g ถือว่ามีอยู่ปริมาณสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้เชื้อเริ่มต้นในงานวิจัยของ Wang et al (2003) ซึ่งทำการศึกษาปริมาณน้ำตาลและกรดในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองที่หมักด้วยเชื้อ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophillus* และ *Bifidobacterium* spp. พบว่าได้มีการใช้เชื้อเริ่มต้นในนมถั่วเหลืองประมาณ 6-7 log CFU/g ดังนั้นปริมาณเชื้อ *B. longum* และเชื้อ *S. thermophilus*, *L. bulgaricus* เริ่มต้นที่เตรียมได้นี้จึงน่าจะมีปริมาณเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเชื้อ *S. thermophilus* , *L. bulgaricus* และเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นโดยการเพาะเลี้ยงบนอาหาร HHD agarบ่มในสภาพไร้อากาศที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง และย้อมสีแกรมดูลักษณะเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเชื้อที่ใช้มีความบริสุทธิ์ โดยพบโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะ (typical colony) ดังแสดงในภาพที่ 3 และเซลล์มีลักษณะรูปร่าง ดังแสดงในภาพที่ 4 และตารางที่ 14

(1) (2) (3)

ภาพที่ 3 ลักษณะโคโลนีที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร HHD agar ในสภาพไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง(1) *B. longum* (2) *L. bulgaricus* และ (3) *S. thermophilus*



(1) (2)

ภาพที่ 4 ลักษณะรูปร่างเซลล์ที่เจริญในนมที่เตรียมสำหรับใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค (1) *B. longum* (2) เชื้อ *S. thermophilus* ลักษณะเซลล์กลมต่อกันเป็นสาย, *L. bulgaricus* ลักษณะเซลล์เป็นท่อนผอมยาวต่อกันเป็นสายสั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 14 ลักษณะโคโลนี ลักษณะเซลล์และการติดสีแกรมของเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

จุลินทรีย์	ลักษณะโคโลนี	ลักษณะเซลล์และการติดสีแกรม
B. longum	สีขาว	ติดสีแกรมบวก เซลล์ผอมหรือมีปลายเรียวแหลม (pointed end)
L. bulgaricus	สีเขียว-ฟ้า ขอบขาว ผิวด้าน เนื้อหยาบขรุขระ ขอบโคโลนีไม่เรียบ ตรงกลางบุ๋มลงเล็กน้อย ขนาด ϕ 2-3 มม.	ติดสีแกรมบวก เซลล์เป็นท่อนผอมยาว (bacilli) ต่อกันเป็นสายสั้น
S. thermophilus	สีเขียวเข้ม-ฟ้า ผิวเป็นมันเนื้อละเอียด ตรงกลางนูนคล้ายกับไข่ดาว ขนาด ϕ 1-2 มม.	ติดสีแกรมบวก เซลล์กลม (cocci) ต่อกันเป็นสาย

จากการที่เชื้อ *S. thermophilus*, *L. bulgaricus* และ *B. longum* มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน จึงทำให้สามารถตรวจนับปริมาณเชื้อแต่ละชนิดบนอาหาร HHD ได้ง่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคด้วยวิธี Ideal ratio profile ; IRP โดยให้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 12 คน ในการกำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญ โดยใช้แบบทดสอบชิมดังภาคผนวก ข-1 พบว่าลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ต้องการพัฒนา ได้แก่

1. ลักษณะปรากฏ	ผู้ทดสอบชิม	11	คน	บอกว่าควรเป็น สีเหลืองอ่อน
	ผู้ทดสอบชิม	8	คน	บอกว่าควรเป็น ความเป็นเนื้อเดียวกัน
	ผู้ทดสอบชิม	4	คน	บอกว่าควรเป็น การแยกตัวของwhey
2. เนื้อสัมผัส	ผู้ทดสอบชิม	10	คน	บอกว่าควรเป็น ความข้นหนืด
	ผู้ทดสอบชิม	8	คน	บอกว่าควรเป็น ความเรียบเนียน
	ผู้ทดสอบชิม	3	คน	บอกว่าควรเป็น ความลื่นคอ
3. กลิ่นและรสชาติ	ผู้ทดสอบชิม	11	คน	บอกว่าควรเป็น กลิ่นข้าวกล้อง
	ผู้ทดสอบชิม	10	คน	บอกว่าควรเป็น กลิ่นเปรี้ยว
	ผู้ทดสอบชิม	10	คน	บอกว่าควรเป็น รสหวาน
	ผู้ทดสอบชิม	9	คน	บอกว่าควรเป็น รสเปรี้ยว
	ผู้ทดสอบชิม	7	คน	บอกว่าควรเป็น กลิ่นนม
4. การยอมรับโดยรวม	ผู้ทดสอบชิม	12	คน	บอกถึงการยอมรับโดยรวม

จากข้อมูลข้างต้นแสดงว่าลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ผู้ทดสอบชิมร้อยละ 50 หรือมากกว่าให้ความสำคัญได้แก่

1. สี
2. ความเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ความข้นหนืด
4. ความเรียบเนียน
5. กลิ่นข้าวกล้อง
6. กลิ่นเปรี้ยว
7. กลิ่นนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. รสหวาน
9. รสเปรี้ยว
10. การยอมรับโดยรวม

ส่วนการแยกตัวของ whey และความลื่นคอ ผู้ทดสอบชิมให้ความสำคัญร้อยละ 33.33 และร้อยละ 25 ตามลำดับ จึงถือว่าเป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สำคัญ

ข้อมูลจากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคต้นแบบ เมื่อนำมาหาค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ค่าแสดงในตารางที่ 15 นำค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะและค่าสัดส่วนอุดมคติมาสร้างเป็นแผนภาพเค้าโครง (profile) ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม แสดงดังภาพที่ 5

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 5 พบว่า ลักษณะของสีความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเรียบเนียน กลิ่นข้าว กลิ่นนม กลิ่นเปรี้ยว รสเปรี้ยว รสหวาน และการยอมรับโดยรวม มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยน้อยกว่า 1.00 ซึ่งหมายความว่า ลักษณะดังกล่าวมีความจำเป็นต้องมีการเพิ่มความเข้มหรือความรุนแรงให้มากขึ้น ส่วนลักษณะความข้นหนืดมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะของความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นต้องมีการลดความเข้มข้นหรือความรุนแรงของความข้นหนืดให้ลดลง และพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Mean ideal ratio score มีค่าน้อยกว่า 0.5 หมายถึง ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนทั้ง 12 คน มีความเห็นในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคแตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย

เมื่อนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติควิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ แสดงผลดังตารางที่ 16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

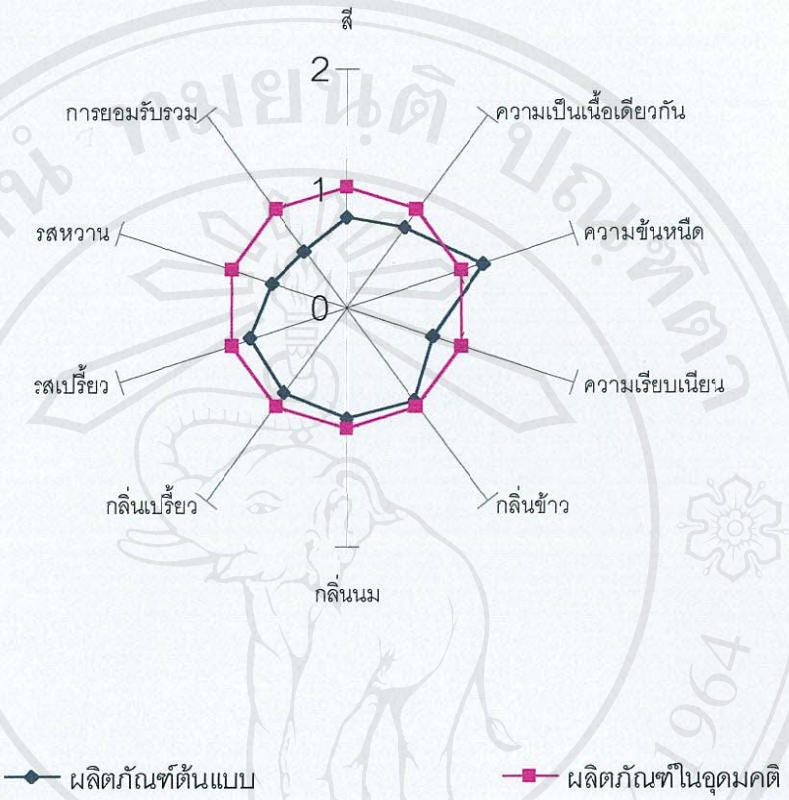
ตารางที่ 15 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ค่า Mean ideal ratio score
สี	0.75*±0.22
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.83*±0.12
ความข้นหนืด	1.29*±0.25
ความเรียบเนียน	0.75*±0.23
กลิ่นข้าวกล้อง	0.95±0.21
กลิ่นนม	0.92±0.33
กลิ่นเปรี้ยว	0.88±0.10
รสเปรี้ยว	0.84±0.22
รสหวาน	0.65*±0.24
การยอมรับโดยรวม	0.58*±0.17

หมายเหตุ: ค่า Mean ideal ratio score ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 12 คน

* แสดงถึง ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า Mean ideal ratio score มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในอุดมคติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ต้นแบบของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

จากตารางที่ 16 พบว่า ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค มีค่าสี L (ความสว่าง) 74.36 ค่าสี a ด้านค่าสี +a –1.06 ส่วนค่าสี b โดยค่าสี +b อยู่ในช่วง 10.37 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคมีสีขาวเหลือง ส่วนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะข้นหนืดจึงทำให้ค่าความข้นหนืด ค่า peak force ค่าคงตัวและค่าต้านทานการไหลค่อนข้างสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาค่าการวิเคราะห์ทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค พบว่ามีปริมาณกรดแลคติคทั้งหมดร้อยละ 0.97 ค่าความเป็นกรดด่าง 4.28 ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยว ส่วนเชื้อเริ่มต้นรวมได้แก่เชื้อ *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* และ *B. longum* มีปริมาณสูงถึง 9.46 log CFU/g และเชื้อ *B. longum* ก็มีปริมาณสูงถึง 9.02 log CFU/g

ตารางที่ 16 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย
ค่าสี L (ความสว่าง)	74.36±0.12
ค่าสี a (สีแดง-สีเขียว)	-1.06±0.05
ค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน)	10.37±0.25
ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	5,256±265
peak force (นิวตัน)	16.42±0.64
ความคงตัว (นิวตัน/วินาที)	132.93±2.38
แรงต้านทานการไหล (นิวตัน/วินาที)	62.06±2.09
ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ w/v)	0.97±0.03
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	4.28±0.02
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด (log CFU/g)	9.46
ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)	9.02

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 2 อัตราส่วนของข้าวกล้องสุกต่อน้ำที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าอัตราส่วนของข้าวกล้องสุกต่อน้ำ มีผลต่อความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากข้าวกล้องมีองค์ประกอบของสตาร์ชอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของน้ำกับสตาร์ช สตาร์ชจะดูดซึมน้ำแล้วเกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชมากขึ้น จนในที่สุดเม็ดสตาร์ชจะแตกออก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะข้นหนืด (อรอนงค์, 2538)

การศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างข้าวกล้องสุกและน้ำ ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ หลังจากหมักผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 16 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 17 ส่วนผลการทดลองทางด้านประสาทสัมผัสในรูปของค่า Mean ideal ratio score แสดงไว้ในตารางที่ 18

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำแตกต่างกัน

จากตารางที่ 17 พบว่าอัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของโยเกิร์ตข้าวกล้อง โดยค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 74.39 ถึง 73.09 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1 :4, 1:6, 1:8 และ 1:10 พบว่า ค่าความสว่างของอัตราส่วน 1:4 มีค่าสูงสุด และมีค่าใกล้เคียงกับ อัตราส่วน 1: 6 โดยที่ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติ ในขณะที่การใช้อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1:8 และ 1:10 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างต่ำกว่าที่อัตราส่วน 1: 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะที่อัตราส่วน 1:4 มีปริมาณเนื้อข้าวกล้องอยู่ในระดับสูงสุดเมื่อเทียบกับที่อัตราส่วน 1:8 และ 1:10 การที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างมาก เนื่องจากข้าวกล้องสุกมีลักษณะเนื้อข้าวกล้องเป็นสีขาวนวล เมื่อใช้ปริมาณข้าวกล้องในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสว่างมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านค่าสี a พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าสี a อยู่ในช่วง –1.12 ถึง –1.06 โดยค่าสีโทนเขียวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P>0.05$) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าองค์ประกอบของส่วนเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เป็นสีโทนเขียวมีอยู่ในปริมาณที่ไม่ต่างกันมากนัก ส่วนค่าสี b ได้ค่าสี b เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ส่วนค่าสี b ที่เป็นลบ แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน จากตารางที่ 18 พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าสี b เป็นบวก อยู่ในช่วง 10.37 ถึง 10.75 ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีเหลืองอ่อน โดยที่อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1:4 มีค่าสีเหลืองต่ำกว่า อัตราส่วน 1:10 ($P\leq0.05$) ซึ่งในสูตรมีการใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนยซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ให้สีเหลืองในปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้นการที่ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองต่างกันจึงน่ามาจากที่อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1:10 มีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการให้สีเหลืองในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง

ในการเปลี่ยนแปลงทางด้านความเนื้อสัมผัส พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 17) โดยอัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1:4 มีค่าความข้นหนืด, ค่า peak force, ค่าความคงตัวและค่าต้านทานการไหลสูงสุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:6, 1:8 และ 1:10 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำสูงขึ้นจะทำให้ความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องลดลง ซึ่งณรงค์ (2538) ได้กล่าวถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในองค์ประกอบของอาหารว่ามีบทบาทมากต่อลักษณะของเนื้อสัมผัส โดยน้ำที่ใส่ลงไปจะมีบางส่วนถูกโปรตีนดูดติดไว้กับโมเลกุล อีกส่วนหนึ่งถูกคาร์โบไฮเดรตเกาะติดไว้ แต่ถ้าใช้น้ำมากเกินพอจะมีส่วนหนึ่งเป็นน้ำอิสระ และเมื่อได้รับความร้อนเม็ดสตาร์ชจะแตกออกทำให้อมัยโลสสานเป็นร่างแหตาข่ายในสามทิศทางและอุ้มน้ำอิสระไว้เรียกว่าเกิดเจล ผลคือทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า ค่าความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว และค่าต้านทานการไหลมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันโดยที่เมื่อค่าความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ค่า peak force ค่าความคงตัวและค่าต้านทานการไหลของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า peak force ค่าความคงตัวและค่าต้านทานการไหลเป็นตัวช่วยสนับสนุนความน่าเชื่อถือของค่าความข้นหนืด

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวกล้องสุกต่อน้ำถึง 1:8 จะเริ่มมีการแยกชั้นของ whey เกิดขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มขึ้นถึงอัตราส่วน 1:10 จะมีการแยกชั้นของ whey อย่างเห็นได้ชัดเจนในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้การแยกชั้นของ whey น่าจะเกิดจากการที่การใช้อัตราส่วน 1:4 และ/หรือ 1:6 มีข้าวกล้องสุกเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อยู่สูงกว่า 1:8 และ 1:10 จึงทำให้จำนวนของเม็ดแป้งที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูงกว่า ทำให้แป้งมีการดูดน้ำได้สูงขึ้นดังนั้นการเกิดการแยกชั้นของ whey ในผลิตภัณฑ์จึงไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ที่อัตราส่วน 1:8 และ 1:10 มีการแยกชั้นของ whey ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการที่ใช้ปริมาณน้ำมากเกินกว่าที่แป้งจะดูดซับไว้ได้ทั้งหมด

2.2 คุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำแตกต่างกัน

ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำนมข้าวกล้องที่อัตราส่วน 1:4 –1:10 อยู่ในช่วง 6.72 - 6.76 และปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ อยู่ในช่วง ร้อยละ 0.25- 0.27 (w/v) เมื่อหมักเป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่าความเป็นกรดด่างลดลงเป็น 4.24 ถึง 4.28 และปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.91 ถึง 0.97 (w/v) การที่ค่าความเป็นกรดด่างลดลงและปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นแสดงว่าเชื้อโยเกิร์ต (*L. bulgaricus*, *S. thermophilus*) และเชื้อ *B. longum* สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีการใช้ข้าวกล้องเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณเชื้ออยู่ในช่วง 8.76- 9.29 log CFU/g สำหรับเชื้อโยเกิร์ต และเชื้อโพรไบโอติคมีปริมาณเชื้ออยู่ในช่วง 8.71-9.02 log CFU/g โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ ปริมาณเชื้อโยเกิร์ตและเชื้อโพรไบโอติคในโยเกิร์ตข้าวกล้องในแต่ละอัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำมีผลแตกต่างกันไม่มาก (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาที่หมักนาน 16 ชั่วโมง โดยใช้อัตราข้าวกล้องสุกต่อน้ำที่แตกต่างกัน

ข้าวกล้องสุก:น้ำ (w/w)	ค่าสี L (ความสว่าง)	ค่าสี a (แดง-เขียว)	ค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน)	Peak force (นิวตัน)	ค่าความคงตัว (นิวตัน/วินาที)	ค่าด้านทานการไหล (นิวตัน/วินาที)
1:4	$74.36^{a}\pm0.12$	$-1.06^{a}\pm0.10$	$10.37^{a}\pm0.25$	$16.42^{a}\pm0.64$	$132.93^{a}\pm2.38$	$62.06^{a}\pm2.09$
1:6	$73.97^{a}\pm0.11$	$-1.07^{a}\pm0.03$	$10.53^{ab}\pm0.09$	$10.78^{b}\pm1.06$	$47.82^{b}\pm4.64$	$24.03^{b}\pm2.41$
1:8	$73.46^{b}\pm0.19$	$-1.12^{a}\pm0.02$	$10.57^{ab}\pm0.11$	$7.23^{c}\pm0.71$	$48.75^{b}\pm2.66$	$22.61^{b}\pm2.23$
1:10	$73.09^{b}\pm0.16$	$-1.11^{a}\pm0.02$	$10.75^{b}\pm0.14$	$6.31^{c}\pm0.62$	$48.83^{b}\pm3.39$	$24.11^{b}\pm2.16$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ข้าวกล้องสุก:น้ำ (w/w)	ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	ปริมาณกรดแลคติค (ร้อยละw/v)	ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH)	ปริมาณเชื้อรวม (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อโยเกิร์ต (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
1:4	5,256^{a}±265	0.97^{a}±0.03	4.28^{a}±0.02	9.46^{a}	9.26^{a}	9.02^{a}
1:6	3,832^{b}±145	0.94^{ab}±0.01	4.24^{c}±0.01	9.41^{a}	9.29^{a}	8.82^{b}
1:8	3,449^{c}±179	0.91^{b}±0.04	4.24^{c}±0.01	8.96^{c}	8.68^{b}	8.69^{d}
1:10	3,348^{c}±145	0.94^{ab}±0.02	4.26^{b}±0.01	9.04^{b}	8.76^{b}	8.71^{cd}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 18 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ก่อนการพัฒนาที่หมักนาน 16 ชั่วโมง โดยใช้อัตราข้าวกล้องสุกต่อน้ำที่แตกต่างกัน

ข้าวกล้องสุก:น้ำ (w/w)	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	กลิ่นข้าวกล้อง
1:4	0.84^{a}±0.28	0.61^{a}±0.29	1.30^{a}±0.48	0.76^{a}±0.40	1.15^{a}±0.34
1:6	0.86^{a}±0.16	0.88^{b}±0.13	1.10^{ab}±0.20	0.96^{a}±0.20	0.99^{a}±0.20
1:8	0.88^{a}±0.11	0.89^{b}±0.10	1.08^{ab}±0.23	0.91^{a}±0.21	0.96^{a}±0.22
1:10	0.84^{a}±0.13	0.87^{b}±0.10	0.93^{b}±0.20	0.87^{a}±0.22	0.96^{a}±0.31

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ข้าวกล้องสุก:น้ำ (w/w)	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับรวม
1:4	0.77^{a}±0.26	0.76^{a}±0.27	0.81^{a}±0.21	0.83^{a}±0.40	0.53^{a}±0.17
1:6	0.81^{b}±0.24	1.06^{b}±0.19	1.09^{b}±0.20	0.89^{a}±0.25	0.67^{b}±0.13
1:8	0.77^{b}±0.28	0.98^{b}±0.23	0.93^{ab}±0.18	0.84^{a}±0.27	0.65^{b}±0.18
1:10	0.80^{b}±0.12	1.07^{b}±0.18	0.94^{ab}±0.09	0.88^{a}±0.32	0.62^{ab}±0.18

หมายเหตุ : ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 10 คน
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำแตกต่างกัน

จากตารางที่ 18 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่มีอัตราส่วนข้าวกล้องสุกต่อน้ำ 1:6 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด โดยสรุปจากคะแนนการยอมรับโดยรวมและเมื่อพิจารณาที่ความข้นหนืด ก็พบว่าความข้นหนืดเป็นที่ยอมรับไม่แตกต่างจาก การใช้ข้าวกล้องสุกต่อน้ำอัตราส่วน 1:8 และ 1:10 ซึ่งมีคะแนนด้านความข้นหนืดเข้าใกล้ผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ (เข้าใกล้ 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค สรุปได้ว่าการใช้ข้าวกล้องต่อน้ำในอัตราส่วน 1:6 จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 3 แนวทางในการพัฒนาสูตรและอิทธิพลของส่วนผสมต่อคุณภาพและการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.1 การกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นกรองหรือคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและสูตรของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ซึ่งได้แก่ส่วนผสมต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้ทดสอบชิม โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งหมดจำนวน 5 ปัจจัย คือนมผงขาดมันเนย น้ำตาลทรายขาว คาราจีแนน เชื้อ *L. bulgaricus, S. thermophilus* และเชื้อโพรไบโอติค ได้แก่ *B. longum* คุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของการใช้ส่วนผสมส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ซึ่งคุณภาพดังกล่าวหลังจากการหมักผลิตภัณฑ์นาน 16 ชั่วโมง ที่ 37 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 19) และส่วนผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในรูปของค่า Mean ideal ratio score ได้แสดงไว้ในตารางที่ 20 และอิทธิพลของปัจจัยการทดลองที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์แสดงในตารางที่ 21 ส่วนอิทธิพลของปัจจัยการทดลองที่มีต่อทางด้านประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 19 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาที่มีส่วนประกอบแตกต่างกัน ที่หมักนาน16 ชม.

สิ่งทดลอง	ค่าสี L (ความสว่าง)	ค่าสี a (แดง-เขียว)	ค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน)	Peak force (นิวตัน)	ค่าความคงตัว (นิวตัน/วินาที)	ค่าต้านทานการไหล (นิวตัน/วินาที)
3.1.1	72.76±0.09	-1.39±0.04	12.20±0.10	13.28±1.17	109.33±1.35	46.26±1.26
3.1.2	75.07±0.19	-1.33±0.05	12.21±0.23	19.88±0.89	144.99±1.96	63.65±0.68
3.1.3	73.22±0.06	-1.50±0.13	11.79±0.07	26.70±1.44	201.47±5.10	91.16±1.19
3.1.4	75.31±0.09	-1.32±0.10	10.58±0.14	6.74±0.71	26.44±1.12	17.04±1.22
3.1.5	76.02±0.11	-1.13±0.08	11.86±0.36	8.17±0.74	46.48±1.78	24.60±0.71
3.1.6	74.28±0.21	-1.54±0.04	10.27±0.17	6.62±0.60	37.90±2.04	17.95±1.89
3.1.7	72.92±0.06	-1.66±0.07	10.62±0.26	8.90±0.32	61.35±2.31	28.66±1.13
3.1.8	76.10±0.06	-1.14±0.03	10.14±0.10	6.78±0.57	56.82±1.64	26.53±1.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 19 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	ปริมาณกรดแลคติค (ร้อยละw/v)	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	ปริมาณเชื้อรวม (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อโยเกิร์ต (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
3.1.1	5,911±37	1.37±0.02	3.88±0.02	10.06	9.71	9.81
3.1.2	5,735±91	1.31±0.03	3.83±0.02	9.83	9.67	9.31
3.1.3	6,624±128	1.26±0.03	3.97±0.02	9.75	9.62	9.18
3.1.4	2,148±28	1.17±0.03	3.89±0.02	9.71	9.38	9.44
3.1.5	2,712±27	1.44±0.02	3.75±0.01	10.09	9.88	9.67
3.1.6	1,657±30	1.06±0.05	3.86±0.02	9.47	9.19	9.16
3.1.7	1,947±37	1.18±0.02	3.95±0.03	9.79	9.54	9.43
3.1.8	1,387±49	1.22±0.02	3.93±0.02	9.52	9.52	8.38

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 20 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาที่มีส่วนประกอบแตกต่างกัน ที่หมักนาน 16 ชั่วโมง

สิ่งทดลอง	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	กลิ่นข้าวกล้อง
3.1.1	1.14±0.20	0.49±0.20	1.26±0.23	0.68±0.23	0.98±0.34
3.1.2	1.15±0.19	0.94±0.08	1.09±0.37	0.96±0.12	0.98±0.20
3.1.3	1.16±0.19	0.46±0.15	1.19±0.43	0.60±0.28	1.04±0.22
3.1.4	0.91±0.22	0.96±0.08	0.87±0.15	1.01±0.09	0.85±0.31
3.1.5	0.99±0.23	0.91±0.12	1.01±0.17	0.84±0.23	0.87±0.34
3.1.6	0.89±0.14	0.81±0.11	1.03±0.22	0.73±0.18	0.99±0.20
3.1.7	0.91±0.21	0.93±0.12	0.93±0.18	0.74±0.25	0.89±0.22
3.1.8	0.89±0.13	0.95±0.11	0.95±0.13	0.89±0.15	0.90±0.31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 20 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับรวม
3.1.1	0.96±0.26	0.90±0.19	0.99±0.32	0.92±0.09	0.55±0.18
3.1.2	0.98±0.24	0.82±0.21	0.91±0.24	0.93±0.09	0.65±0.13
3.1.3	0.93±0.28	0.77±0.25	1.09±0.26	0.70±0.18	0.46±0.15
3.1.4	0.88±0.12	0.90±0.21	1.06±0.32	0.91±0.17	0.72±0.18
3.1.5	1.02±0.26	1.00±0.24	1.10±0.32	0.76±0.21	0.59±0.18
3.1.6	0.78±0.24	0.98±0.17	1.07±0.24	0.76±0.18	0.54±0.15
3.1.7	0.79±0.28	0.98±0.26	0.87±0.26	0.85±0.15	0.63±0.13
3.1.8	0.84±0.12	0.94±0.17	0.99±0.32	0.76±0.14	0.57±0.12

หมายเหตุ : ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 12 คน

3.1.1 ผลของปัจจัยที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

3.1.1.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 21 พบว่านมผงขาดมันเนยมีผลต่อค่าทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อปริมาณนมผงขาดมันเนยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 จะทำให้ค่าความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว ค่าต้านทานการไหล ค่าสีเหลือง (ค่าสี b)ปริมาณเชื้อเริ่มต้น ปริมาณกรดแลคติคเพิ่มสูงขึ้น และค่าความเป็นกรดด่างลดลง ทั้งนี้เนื่องจากนมผงขาดมันเนยเป็นโปรตีนนมซึ่งมีความสามารถในการจับตัวกับน้ำจึงทำให้ความข้นหนืดเพิ่มขึ้นและไม่เกิดการแยกชั้น นอกจากนั้นในโปรตีนนมยังมีองค์ประกอบของน้ำตาลแลคโทสสูง ซึ่งเมื่อน้ำตาลถูกความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง ทางด้านเชื้อจุลินทรีย์นมผงขาดมันเนยช่วยให้การเจริญของเชื้อ *L. bulgaricus, S. thermophilus* และ*B. longum* เพิ่มขึ้นเนื่องจากนมผงขาดมันเนยเป็นอาหารที่เชื้อใช้ในการเจริญ การใช้นมผงขาดมันเนยร้อยละ 10 ก็ยังคงให้อาหารมีเพียงพอกับเชื้อ ดังนั้นจึงพบว่ายังคงมีเชื้ออยู่ในระดับ 10^9-10^{10} CFU/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 21 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่หมักนาน 16 ชั่วโมง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรต้น				
	นมผงขาดมันเนย	น้ำตาล	คาราจีแนน	เชื้อโยเกิร์ต	เชื้อ *B. longum*
ค่าความเป็นกรดด่าง	-3.922^{e}	0.784	5.099^{e}	-5.491^{e}	5.883^{e}
ปริมาณแลคติคทั้งหมด	2.527^{d}	0.168	-0.910	-0.101	0.236
ความข้นหนืด (Viscosity)	4.457^{e}	1.082	1.339	-1.294	-1.052
ค่าสี L	-2.926^{e}	-6.764^{e}	-17.708^{e}	-1.710^{b}	2.014^{c}
ค่าสี a	0.651	-0.868	-3.362^{e}	-0.651	0.868
ค่าสี b	97.045^{e}	22.212^{e}	0.447	4.621^{e}	3.130^{e}
peak force	2.382^{d}	0.032	0.851	-0.067	-1.677^{b}
ค่าความคงตัว	3.303^{e}	-0.009	1.392^{a}	-1.062	-2.519^{d}
ค่าต้านทานการไหล	2.948^{e}	-0.103	1.151	-1.015	-2.294^{d}
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด	2.094^{c}	0.945	-0.135	0.236	0.743
เชื้อโยเกิร์ต	1.897^{c}	0.108	-0.447	0.046	-0.139
เชื้อ *B. longum*	2.045^{c}	2.098^{c}	1.023	0.996	2.334^{d}

หมายเหตุ: ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

a= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 75($P \leq 0.25$) มีค่า = ± 1.301

b= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80($P \leq 0.20$) มีค่า = ± 1.476

c= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85($P \leq 0.15$) มีค่า = ± 1.699

d= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90($P \leq 0.10$) มีค่า = ± 2.015

e= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($P \leq 0.05$) มีค่า = ± 2.571

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 22 พบว่าเมื่อปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 จะทำให้คะแนนความเป็นเนื้อเดียวกันลดลงจาก 0.96 เป็น 0.49 ความเรียบเนียนลดลงจาก 1.01 เป็น 0.68 และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 0.72 เป็น 0.55 โดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนทางด้านความขันหนืดจะเพิ่มขึ้นจาก 0.87 เป็น1.26 โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากนมผงขาดมันเนยมีปริมาณไขมันน้อยมาก เมื่อเกิดการตกตะกอนจะไม่มีเม็ดไขมัน (Fat globules) มาช่วยกระจายโปรตีน ทำให้โปรตีนจับตัวกันแน่น รวมทั้งลักษณะเฉพาะของข้าวกล้องเมื่อได้รับความร้อนก็จะเกิดเจล จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งเป็นก้อน ความหนืดสูง เป็นลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ไม่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ดังนั้นควรมีการศึกษาการใช้นมผงขาดมันเนยในระดับต่ำในช่วงร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 12 เพื่อจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องดีขึ้น

ตารางที่ 22 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่หมักนาน 16 ชั่วโมง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรต้น				
	นมผงขาดมันเนย	น้ำตาล	คาราจีแนน	เชื้อโยเกิร์ต	เชื้อ *B. longum*
สี	5.769[e]	1.236	1.099	-1.099	-1.236
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	-9.200[e]	2.061[c]	-11.606[e]	7.918[e]	-1.193
ความข้นหนืด	4.747[e]	0.421	3.545[e]	-0.661	0.180
ความเรียบเนียน	-2.478[d]	2.819[c]	-8.116[e]	0.769	0.598
กลิ่นข้าวกล้อง	1.142	-0.476	1.427[a]	-0.190	-0.571
กลิ่นนม	11.767[e]	0.784	-5.099[e]	-0.784	1.961[c]
กลิ่นเปรี้ยว	-1.252	-0.364	-0.121	1.091	1.091
รสเปรี้ยว	0.299	-3.483[e]	-1.095	-1.095	4.279[e]
รสหวาน	0.282	5.927[e]	-1.223	0.094	1.035
ยอมรับโดยรวม	-3.103[e]	5.814[e]	-5.217[e]	1.640[b]	1.342

หมายเหตุ: ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

a= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 75($P \leq 0.25$) มีค่า = ± 1.301

b= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80($P \leq 0.20$) มีค่า = ± 1.476

c= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85($P \leq 0.15$) มีค่า = ± 1.699

d= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90($P \leq 0.10$) มีค่า = ± 2.015

e= ค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($P \leq 0.05$) มีคา = ± 2.571

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.1.2 ผลของคาราจีแนนต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 21 พบว่าถ้าใช้ปริมาณของคาราจีแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 เป็นร้อยละ 0.2 ค่าความสว่าง (ค่า L) ลดลงเมื่อค่าความสว่างลดลงหมายถึงผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น และจากตารางที่ 22 ทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าการใช้คาราจีแนนเพิ่มจากร้อยละ 0.1 เป็นร้อยละ 0.2 ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเรียบเนียน และการยอมรับโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนด้านความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คาราจีแนนในปริมาณร้อยละ 0.2 ทั้งนี้เนื่องจากคาราจีแนนเป็นสารจำพวกโพลีแซคคาไร์ช่วยในการเกิดเจล และความข้นหนืดซึ่งถ้าใช้ในปริมาณมากก็จะเกิดการพองตัวมากทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไป จึงควรศึกษาปริมาณคาราจีแนนระดับต่ำลงกว่าร้อยละ 0.2 คือในช่วงร้อยละ0.05 ถึงร้อยละ 0.15 เพื่อจะทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องมีการยอมโดยรวมรับจากผู้ทดสอบชิมเพิ่มขึ้น

3.1.2.3 ผลของน้ำตาลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 21 พบว่ามีผลทางด้านกายภาพและจุลินทรีย์ โดยที่น้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 มีผลทำให้ค่าสีเหลือง (ค่า b) ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลถูกความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง ส่วน ปริมาณเชื้อ *B. longum* เมื่อใช้น้ำตาลร้อยละ 15 ปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.15$) จากตารางที่ 22 พบว่าเมื่อใช้น้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 จะมีผลทำให้รสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ลดลงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนคะแนนด้านรสหวานและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นจาก 0.76 เป็น 0.91 และ 0.59 เป็น 0.72 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์และยังเป็นแหล่งอาหารให้แก่เชื้อ *B. longum, L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ใช้ในการเจริญ โดยเชื้อ *B. longum, L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* สามารถเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโทส แล้วจึงเปลี่ยนจากกลูโคสเป็นกรดแลคติค การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติคโดยเชื้อแบคทีเรียแลคติค ทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ลดลงและทำให้ปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการใช้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ5 เป็นร้อยละ 10 จะทำให้มีน้ำตาลมากพอแก่การเจริญของเชื้อและเหลือปริมาณน้ำตาลจากการใช้ของเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

B. longum, *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้ทดสอบชิมสามารถรับรู้รสหวานได้เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้การยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้น้ำตาลร้อยละ 10 จะส่งผลให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคมีแนวโน้มดีขึ้น

3.1.1.4 ผลของเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 21 พบว่าการใช้เชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ถ้าใช้เชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 จะมีผลให้ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่ค่าความเป็นกรดด่างลดลง เป็นเพราะเกิดกระบวนการหมักและเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ทำให้เกิดการผลิตกรดในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ความเป็นกรดด่างลดลงในผลิตภัณฑ์ ส่วนเชื้อ *B. longum* มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติคได้น้อยกว่าเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ดังจากตารางที่ 21 เห็นได้ว่าเมื่อปริมาณการใช้เชื้อ *B. longum* เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากตารางที่ 22 พบว่าการยอมรับโดยรวมทางด้านประสาทสัมผัสของปริมาณเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* ที่ระดับร้อยละ1 และร้อยละ 2 ไม่มีผลต่อคะแนนทางด้านความข้นหนืด ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเรียบเนียน กลิ่นข้าวกล้อง กลิ่นเปรี้ยว และรสหวานของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ซึ่งจากการศึกษานี้สอดคล้องกับ Rasic and Kurmann, 1983 อ้างโดย Samana et al., 1996 พบว่าการใช้เชื้อโพรไบโอติคชนิด *Bifidobacterium* spp.ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพียงชนิดเดียวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคลดลง เนื่องจาก เกิดการแยกชั้นของ whey ลักษณะเนื้อโยเกิร์ตไม่เรียบเนียน (sandy) เนื้อสัมผัสไม่ดีมีลักษณะเป็นเมือก (slimy texture) รวมทั้งกลิ่นรสเฉพาะของ ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีเพียงเล็กน้อย แต่ถ้ามีการใช้เชื้อโยเกิร์ตร่วมกับเชื้อ *Bifidobacterium* spp.จะช่วยลดระยะเวลาการหมักแล้ว ยังช่วยเพิ่มกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ดี Samona and Robinson (1994) รายงานถึงการใช้เชื้อโยเกิร์ตร่วมกับเชื้อโพรไบโอติคจะมีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติค โดยเชื้อโพรไบโอติคจะเจริญเติบโตลดลง ต่อมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปี 1996 Dave and Shah ได้ศึกษาถึงการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ทางการค้าสำหรับการผลิตโยเกิร์ต พบว่าเชื้อ *Bifidobacterium* spp. มีการแบ่งตัวเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้เชื้อ *L. bulgaricus* ร่วมในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากเกิด symbiosis และ proteolytic โดยที่เชื้อ *Bifidobacterium* spp. ต้องการกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) สำหรับการแบ่งตัวในการผลิตโยเกิร์ต นอกจากนั้นในปี 2002 Shah ทำการศึกษาถึงอิทธิพล proteolytic ของสายพันธุ์ *L. bulgaricus* ที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อโพรไบโอติค และลักษณะของเนื้อสัมผัสโยเกิร์ต พบว่าการเสริมเชื้อ *L. bulgaricus* ในเชื้อเริ่มต้นที่ประกอบด้วยเชื้อ *L. acidophilus*, Bifidobacteria และ *S. thermophilus* จะช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการหมัก ช่วยเพิ่มค่าความแข็ง และเชื้อโพรไบโอติค จะรอดชีวิตได้ดี ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Dave and Shah (1996) ที่ชี้ให้เห็นว่า *L. bulgaricus* เป็น proteolytic ได้ดีกว่า *S. thermophilus* ดังนั้นในการทดลองผลิตโยเกิร์ตจากข้าวกล้องจึงจะเลือกใช้เชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ในปริมาณร้อยละ1 เพื่อที่จะช่วยในการผลิตกลิ่นรสรวมทั้งช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการหมัก และเลือกใช้เชื้อ *B. longum* ในปริมาณร้อยละ 2 เพื่อที่จะสามารถเจริญและแบ่งตัวได้เพิ่มขึ้นในระหว่างการผลิตโยเกิร์ต

3.1.2 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.1.2.1 ปัจจัยหลัก (major factor)

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของนมผงขาดมันเนย น้ำตาล คาราจีแนน เชื้อ *L. bulgaricus* *S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* ที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคในด้านต่างๆ (ตารางที่ 21 และ 22) ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของปัจจัยที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือปัจจัยหลัก ได้แก่ นมผงขาดมันเนย และรองลงมาคือคาราจีแนน ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพด้านกายภาพคือ ค่าความสว่าง สีเขียว-แดง และสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่าสี L a b) ความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว และค่าต้านทานการไหล ส่วนทางด้านเคมี จะมีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างและค่าปริมาณกรดทั้งหมด รวมทั้งมีผลต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสเกือบทุกด้าน ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญในการเลือกนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนมาศึกษาระดับปริมาณการใช้ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.2.2 **ปัจจัยคงที่** (fixed factors)

ปัจจัยถาวรหรือปัจจัยคงที่เป็นปัจจัยที่ถือว่าไม่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้อยมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทำการทดลองขั้นตอนต่อไป จะทำการกำหนดปริมาณของปัจจัยเหล่านี้ให้คงที่ จากผลการทดลองทำให้สามารถกำหนดปัจจัยคงที่ของการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ได้แก่ น้ำตาล เชื้อ *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* เป็นร้อยละของปัจจัยคงที่ดังนี้ น้ำตาลที่ระดับสูง ร้อยละ 10 เชื้อ *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* ที่ระดับต่ำ ร้อยละ1 และเชื้อ *B. longum* ที่ระดับสูง ร้อยละ 2

3.2 การหาระดับที่เหมาะสมของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน

จากผลการศึกษาในข้อ 3.1 เรื่องการกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ทำให้สามารถกลั่นกรองปัจจัยจำคัญที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ได้แก่ นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสม โดยใช้การทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in central composite design (CCD) โดยกำหนดสิ่งที่ทดลองทั้งหมดแสดงในตารางที่ 23 และกำหนดปริมาณของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนดังในตารางที่ 24 ซึ่งปัจจัยคงที่ได้แก่ น้ำตาลร้อยละ10 เชื้อ *B. longum* ร้อยละ 2 และเชื้อ *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* ร้อยละ 1 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ผลทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ ดังผลแสดงในตารางที่ 25 ส่วนการวิเคราะห์ผลทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal ratio profile ได้ผลแสดงดังตารางที่ 26

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 23 สิ่งทดลองของแผนการทดลอง 2^2 Factorial experiment with center points โดยมีนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนเป็นปัจจัยที่ศึกษา

สิ่งทดลอง	รหัส	ปัจจัยที่ศึกษา	
		นมผงขาดมันเนย	คาราจีแนน
3.2.1	1	-1	-1
3.2.2	a	+1	-1
3.2.3	b	-1	+1
3.2.4	ab	+1	+1
3.2.5	+αa	+1.4142	0
3.2.6	-αa	-1.4142	0
3.2.7	+αb	0	+1.4142
3.2.8	-αb	0	-1.4142
3.2.9	CP_1	0	0
3.2.10	CP_2	0	0

หมายเหตุ: (1) หมายถึง ระดับปัจจัยทุกตัวเป็นระดับต่ำ

a หมายถึง ระดับของปัจจัย A เป็นระดับสูง

b หมายถึง ระดับของปัจจัย B เป็นระดับสูง

CP_1และCP_2 หมายถึง ระดับของปัจจัยทุกตัวเป็นระดับกลางหรือจุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 24 ระดับการใช้นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณ (ร้อยละ)				
	-α	-1	0	+1	+α
(A)นมผงขาดมันเนย	7	8	9.5	11	12
(B)คาราจีแนน	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15

หมายเหตุ: 0 หมายถึง ระดับกึ่งกลางของปัจจัย

-1 หมายถึง ระดับต่ำของปัจจัย

+1 หมายถึง ระดับสูงของปัจจัย

-α หมายถึง ระดับต่ำสุดของปัจจัย

+α หมายถึง ระดับสูงสุดของปัจจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 25 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาที่มีส่วนประกอบนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าสี L (ความสว่าง)	ค่าสี a (แดง-เขียว)	ค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน)	Peak force (นิวตัน)	ค่าความคงตัว (นิวตัน/วินาที)	ค่าต้านทานการไหล (นิวตัน/วินาที)
3.2.1	75.03±0.35	-1.09±0.02	10.47±0.10	4.36±0.38	31.38±1.45	13.13±2.09
3.2.2	75.81±0.21	-1.01±0.04	11.54±0.01	6.99±0.41	59.34±1.76	24.54±1.92
3.2.3	74.67±0.17	-1.19±0.02	10.58±0.05	5.32±0.85	48.25±1.32	24.34±1.71
3.2.4	74.24±0.01	-1.26±0.01	11.75±0.04	6.79±0.76	59.44±1.68	32.02±1.39
3.2.5	75.78±0.15	-1.22±0.05	11.77±0.08	8.30±0.86	70.41±1.36	30.62±1.86
3.2.6	74.85±0.07	-1.33±0.02	10.29±0.11	4.30±0.24	42.86±2.01	13.26±2.14
3.2.7	74.79±0.21	-1.31±0.02	11.24±0.29	7.06±0.76	62.68±1.91	27.81±1.22
3.2.8	76.32±0.10	-1.27±0.05	11.47±0.09	6.40±0.55	69.22±1.12	31.10±0.94
3.2.9	75.87±0.15	-1.31±0.02	11.33±0.09	6.85±0.75	67.55±1.18	25.87±1.08
3.2.10	76.00±0.09	-1.25±0.02	11.36±0.04	6.87±0.34	66.41±1.77	25.51±1.66

ตารางที่ 25 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	ปริมาณกรดแลคติค (ร้อยละw/v)	ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อโยเกิร์ต (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
3.2.1	1,630±26	0.99±0.02	3.95±0.03	9.79	9.54	9.43
3.2.2	2,419±91	1.20±0.02	3.93±0.02	9.56	9.52	9.52
3.2.3	2,744±20	0.98±0.02	3.88±0.02	10.06	9.71	9.81
3.2.4	3,304±41	1.23±0.03	3.83±0.02	9.83	9.67	9.31
3.2.5	3,339±96	1.36±0.03	3.97±0.02	9.75	9.62	9.18
3.2.6	1,599±41	0.95±0.03	3.89±0.02	9.71	9.38	9.44
3.2.7	3,099±27	1.18±0.02	3.75±0.01	10.09	9.88	9.67
3.2.8	2,704±29	1.19±0.05	3.86±0.02	9.47	9.19	9.16
3.2.9	3,194±30	1.19±0.02	3.95±0.03	9.79	9.54	9.43
3.2.10	3,154±81	1.20±0.02	3.93±0.01	9.52	9.52	8.38

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 26 ผลทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาที่มีส่วนประกอบนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	กลิ่นข้าวกล้อง
3.2.1	0.84±0.20	0.95±0.20	0.91±0.24	0.96±0.08	0.93±0.20
3.2.2	1.02±0.19	0.92±0.08	1.05±0.20	0.90±0.12	0.90±0.17
3.2.3	0.89±0.19	0.84±0.15	0.95±0.09	0.97±0.11	0.95±0.14
3.2.4	1.07±0.22	0.78±0.08	1.08±0.18	0.89±0.11	0.93±0.14
3.2.5	1.06±0.23	0.88±0.12	1.14±0.13	0.88±0.10	0.96±0.09
3.2.6	0.87±0.14	0.91±0.11	0.88±0.19	0.98±0.08	1.00±0.07
3.2.7	1.01±0.14	0.67±0.14	1.10±0.09	0.95±0.10	0.91±0.13
3.2.8	0.95±0.14	0.95±0.14	0.96±0.15	0.96±0.10	0.95±0.20
3.2.9	0.98±0.21	0.84±0.12	1.03±0.18	0.94±0.15	0.93±0.20
3.2.10	0.91±0.13	0.87±0.11	1.04±0.14	0.96±0.15	0.93±0.15

ตารางที่ 26 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับรวม
3.2.1	0.79±0.25	0.92±0.19	0.94±0.21	0.88±0.09	0.63±0.20
3.2.2	0.93±0.24	0.94±0.10	0.96±0.14	0.90±0.09	0.68±0.14
3.2.3	0.83±0.13	0.91±0.14	0.92±0.22	0.92±0.18	0.66±0.11
3.2.4	0.93±0.12	0.96±0.13	1.02±0.22	0.92±0.17	0.67±0.13
3.2.5	1.02±0.14	0.92±0.10	1.08±0.22	0.99±0.21	0.67±0.12
3.2.6	0.84±0.19	0.87±0.20	0.95±0.23	0.99±0.18	0.67±0.17
3.2.7	0.91±0.12	0.80±0.16	0.94±0.18	0.98±0.14	0.65±0.15
3.2.8	0.88±0.15	0.81±0.19	0.94±0.22	0.95±0.14	0.70±0.14
3.2.9	0.91±0.15	0.85±0.18	0.96±0.16	0.96±0.15	0.65±0.12
3.2.10	0.94±0.10	0.87±0.19	0.95±0.19	0.96±0.14	0.62±0.13

หมายเหตุ : ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 10 คน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค เมื่อแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน (ตารางที่ 24) พบว่า การใช้นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน มีผลต่อค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่าสี b) ความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว ค่าต้านทานการไหล ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด และปริมาณเชื้อ *B. longum* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ซึ่งสามารถแสดงในรูป สมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation)ได้ดังนี้

(3.1) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b) = 11.320 + 0.542 (นมผงขาดมันเนย)- 0.175 (นมผงขาดมันเนย)^2 $R^2 = 0.962$

(3.2) peak force = 6.324 + 1.220 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.812$

(3.3) ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด = 1.147 + 0.130 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.878$

(3.4) ปริมาณเชื้อ *B. longum* = 9.146 + 0.325 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.810$

ส่วนผลการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน มีผลตอบสนองต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องในลักษณะต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าจะเป็น $P \leq 0.05$ โดยสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

(3.5) สี = 0.96 + 0.0789 (นมผงขาดมันเนย) + 0.02311(คาราจีแนน) $R^2 = 0.916$

(3.6) ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 0.861 – 0.0875 (คาราจีแนน) $R^2 = 0.789$

(3.7) ความข้นหนืด = 1.014 + 0.0797 (นมผงขาดมันเนย) + 0.0350 (คาราจีแนน) $R^2 = 0.911$

(3.8) ความเรียบเนียน = 0.949 – 0.03518 (นมผงขาดมันเนย) – 0.0128(นมผงขาดมันเนย)^2 $R^2 = 0.942$

(3.9) กลิ่นนม = 0.898 + 0.06182 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.785$

(3.10) รสเปรี้ยว = 0.941 + 0.3798 (นมผงขาดมันเนย) + 0.0371(นมผงขาดมันเนย)^2 $R^2 = 0.815$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการคำนวณหาระดับปริมาณการใช้ของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนที่เหมาะสมนั้น จะนำเอาสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาว่าสมการถดถอยนั้น ๆ มีความแม่นยำในการคาดคะเนผลเพียงใด มาทำการถอดรหัสของตัวแปรของแต่ละสมการ ทั้งเพื่อให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะที่เป็นลักษณะในอุดมคติของผลิตภัณฑ์มากที่สุด การพิจารณาจะเลือกสมการถดถอยที่มีค่า R^2 สูง ตั้งแต่ 0.750 ขึ้นไป มาทำการถอดรหัส (Decoding) ของตัวแปรของสมการ Codes equation ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำเอาสมการ Coded equation มาแก้สมการ โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ตัวแปรเข้ารหัส} = \frac{\text{ค่าจริง - (ค่าที่ระดับสูงของปัจจัย + ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย)/2}}{\text{(ค่าที่ระดับสูงของปัจจัย - ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย)/2}}$$

จากนั้นเอาปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสไปแทนในสมการ Coded equation และแก้ไขสมการได้เป็นสมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ซึ่งสามารถนำเอาสมการที่ได้นี้ไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นได้ แต่การคาดคะเนจะต้องไม่ทำในช่วงที่เกินจากช่วงระดับสูงต่ำที่ได้กำหนดไว้ในตารางส่วนผสมที่ 24

ผลของสมการที่ถอดรหัสแล้ว แสดงดังต่อไปนี้

(3.11) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b) = 9.26 + 0.2168 (นมผงขาดมันเนย)- 0.175(O.4xนมผงขาดมันเนย-3.8)^2 $R^2 = 0.962$

(3.12) peak force = 1.688 + 0.488(นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.812$

(3.13) ปริมาณกรดแลคติคทั้งหมด= 0.653 + 0.05200 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.878$

(3.14) ปริมาณเชื้อ *B. longum* = 7.911+ 0.13 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.810$

(3.15) สี = 0.6151 + 0.03144 (นมผงขาดมันเนย) + 0.4622 (คาราจีแนน) $R^2 = 0.916$

(3.16) ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 1.0225 – 1.615 (คาราจีแนน) $R^2 = 0.789$

(3.17) ความข้นหนืด = 0.6411 + 0.03188 (นมผงขาดมันเนย) + 0.7 (คาราจีแนน) $R^2 = 0.911$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3.18) ความเรียบเนียน = 1.083 + 0.01407 (นมผงขาดมันเนย) –
0.0128(0.4xนมผงขาดมันเนย - 3.8)^2 $R^2 = 0.942$

(3.19) กลิ่นนม = 0.6631 + 0.02473 (นมผงขาดมันเนย) $R^2 = 0.785$

(3.20) รสเปรี้ยว = 1.24 – 0.07817 (นมผงขาดมันเนย) +
0.004914 (นมผงขาดมันเนย)^2 $R^2 = 0.815$

จากสมการที่ได้จากการถอดรหัสแล้ว(Decoded equation) ได้นำไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นโดยแทนค่าระดับปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน ในช่วงที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 24) เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองของแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ให้มีค่า Mean ideal ratio score เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด คือ เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด ในกรณีของการตอบสนองของลักษณะที่ได้จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ส่วนสมการความสัมพันธ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เช่น ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า b) ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ความข้นหนืด Brookfield Viscometer จะแทนค่าระดับปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน ในช่วงที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองที่จุดที่ดีที่สุดของลักษณะนั้นๆ ค่าการตอบสนองของค่าที่ได้พิจารณาให้สัมพันธ์กับค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจากตารางที่ 26

3.2.1 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.2.1.1 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

จากการหาระดับที่เหมาะสมของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน โดยการคำนวณจากสมการที่ถอดรหัสแล้วด้วยการแทนค่าของปัจจัยทดลองลงไป ซึ่งต้องเป็นค่าที่ทำการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.1.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อค่าสีเหลือง (ค่าสี b)

จากสมการ 3.11 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังต่อไปนี้

f(7) = 10.603

f(8) = 10.931

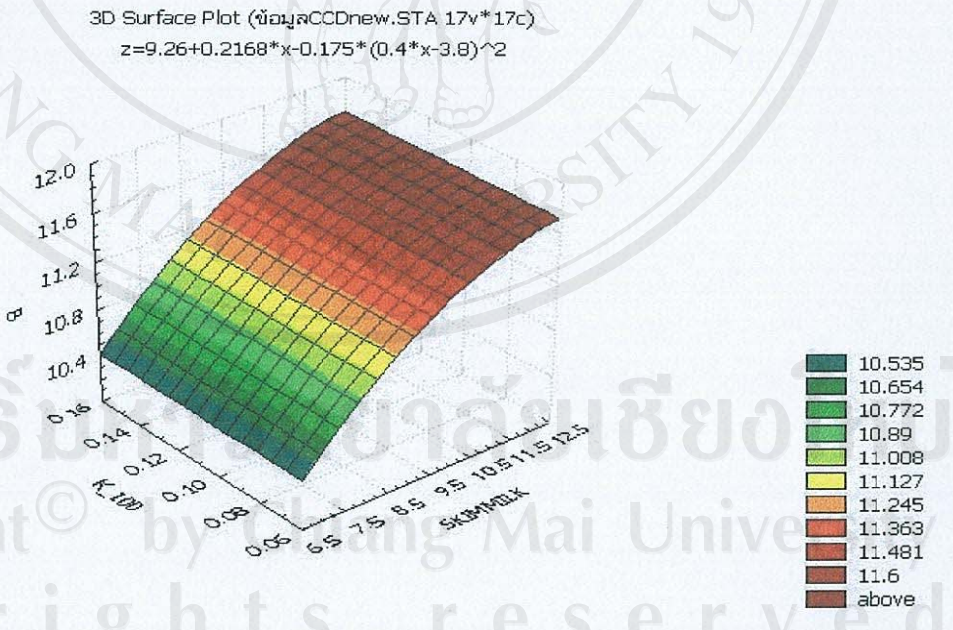
f(9) = 11.204

f(10) = 11.421

f(11) = 11.582

f(12) = 11.687

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนยในสมการ 3.11 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 3.11 ดังภาพที่ 6 พบว่าปริมาณของนมผงขาดมันเนยร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 11 หรือในระดับกลาง จะให้ค่าสีเหลือง (ค่าสี b) ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับคะแนนค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเข้าใกล้ 1 (ตารางที่ 26)



ภาพที่ 6 พื้นที่การตอบสนองของค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่าสี b) เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.1.2 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อสีจากลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากสมการ 3.15 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน) ได้ผลดังนี้

f(10,0.1) = 0.976

f(11,0.1) = 1.007

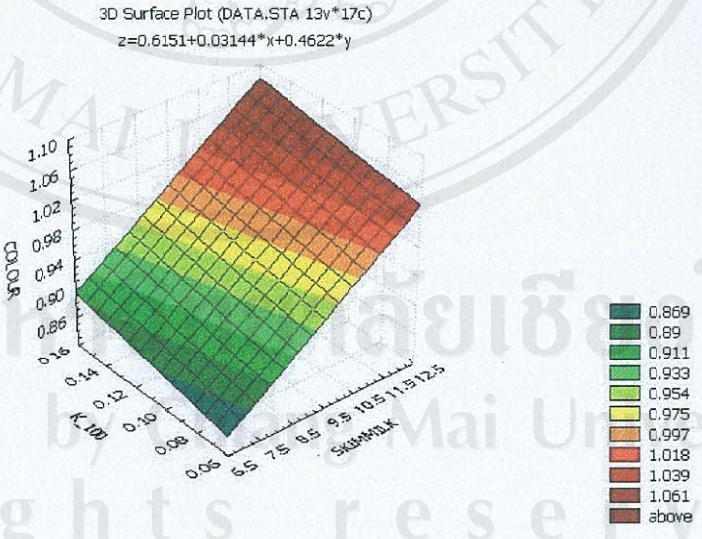
f(11,0.05) = 0.984

f(12,0.05) = 1.015

f(11,0.095) = 1.005

f(11,0.085) = 1.000

จากการสังเกตช่วงของปริมาณการใช้ของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนที่ได้จากภาพที่ 7 แทนค่าในสมการ 3.15 ของสี แสดงให้เห็นว่าการใช้นมผงขาดมันเนยในระดับสูงร้อยละ 11 และคาราจีแนนในระดับกลาง ร้อยละ 0.085 จะทำให้ค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะสีมีค่าเท่ากับ 1 หรือผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนยของค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ที่ได้จากวิเคราะห์ค่าทางภาพของค่าสี ซึ่งมีปริมาณการใช้นมผงขาดมันเนยอยู่ในช่วงระดับกลาง



ภาพที่ 7 พื้นที่การตอบสนองของค่าสี เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.2 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.2.1.2.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อค่า peak force

จากสมการ 3.12 แทนค่า f (นมผงขาดมันเนย) ได้ดังนี้

f(7) = 5.140

f(8) = 5.592

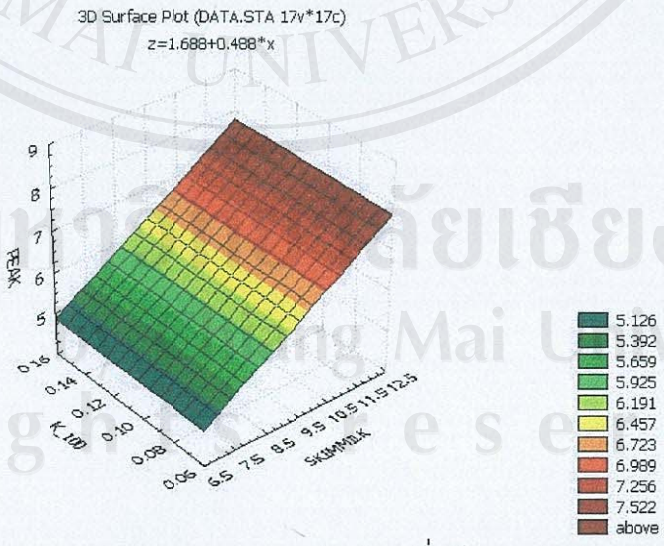
f(9) = 6.08

f(10) = 6.568

f(11) = 7.065

f(12) = 7.544

จากข้อมูลในตารางที่ 25 พบว่า ค่า peak force มีคะแนนสัมพันธ์กับลักษณะความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับ (ตารางที่ 26) โดยคะแนนของค่าความข้นหนืดเข้าใกล้ 1 เมื่อค่า peak force อยู่ในช่วง 5.32- 6.40 นิวตัน จากสมการ 3.12 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 3.12 ดังภาพที่ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของช่วงปริมาณของนมผงขาดมันเนยที่ใช้ในระดับกลางร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 10 ทำให้ได้ผลค่า peak force มีค่าอยู่ในช่วง 5.3-6.4 นิวตัน ของความข้นหนืดที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ



ภาพที่ 8 พื้นที่การตอบสนองของค่า peak force (นิวตัน) เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.2.2 ผลของคาราจีแนนต่อค่าความเป็นเนื้อเดียวกัน

จากสมการ 3.16 แทนค่า f(คาราจีแนน) ได้ผลดังนี้

f(0.15) = 0.78

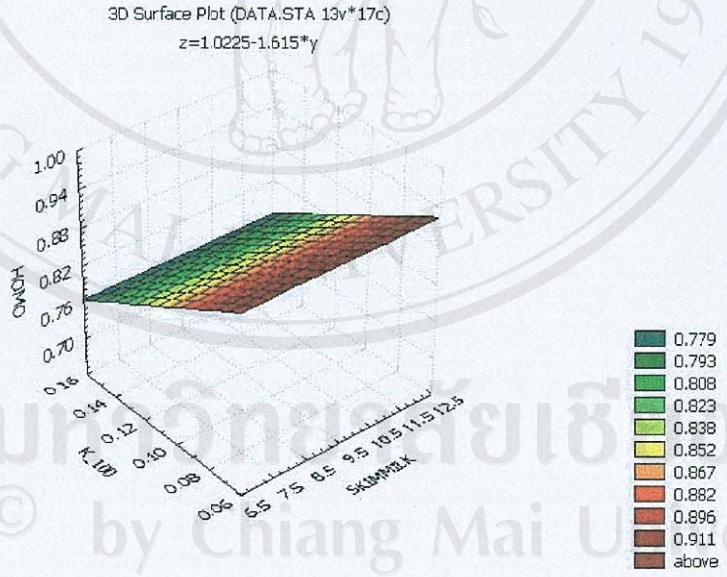
f(0.10) = 0.861

f(0.085) = 0.885

f(0.075) = 0.901

f(0.050) = 0.942

จากการแทนค่าปริมาณคาราจีแนนในสมการ 3.16 และพื้นที่การตอบสนองของลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันตามสมการ 3.16 ดังภาพที่ 9 พบว่าปริมาณของคาราจีแนนร้อยละ 0.05 จะทำให้ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์มีค่าคะแนนทำให้ค่ามี Mean ideal ratio score ของลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 9 พื้นที่การตอบสนองของความเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อมีการแปรผันระดับการใช้คาราจีแนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.2.3 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อค่าความข้นหนืด

จากสมการ 3.17 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน) ได้ผลดังนี้

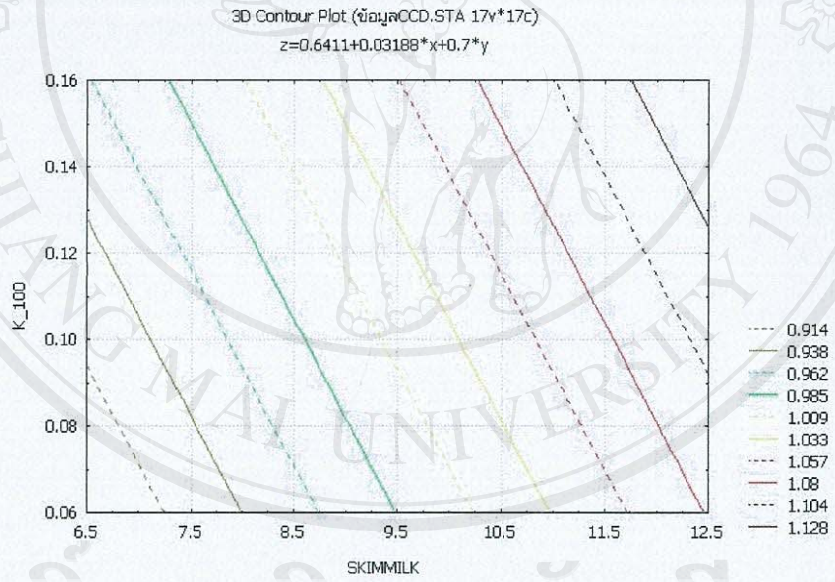
f(7.0,0.1) = 0.934

f(8.0,0.1) = 0.966

f(9.0,0.1) = 0.998

f(9.5,0.1) = 1.014

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนในสมการ 3.17 และพื้นที่การตอบสนองของลักษณะความข้นหนืดตามสมการ 3.17 ดังภาพที่ 10 พบว่าจะมีการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนในระดับกลางร้อยละ 9.0 และร้อยละ 0.1 ตามลำดับ โดยให้ผลการใช้สอดคล้องกับผลทางกายภาพของค่า peak force ซึ่งใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนยในระดับกลางเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 10 พื้นที่การตอบสนองของความข้นหนืดเมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.2.4 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อค่าความเรียบเนียน

จากสมการ 3.18 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังนี้

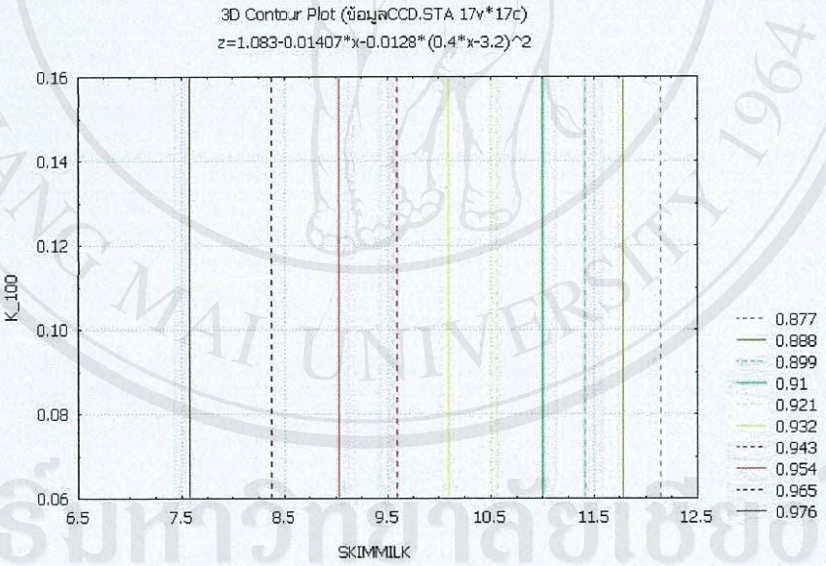
f(7.0) = 0.972

f(7.5) = 0.969

f(8.0) = 0.966

f(10.0) = 0.942

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนยในสมการ 3.18 และพื้นที่การตอบสนองของความเรียบเนียนตามสมการ 3.18 ดังภาพที่ 11 ค่าคะแนนที่ได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากความเรียบเนียนเป็นค่าทางประสาทสัมผัสที่ได้มาจากการทดสอบแบบ Ideal ratio profile จึงจะแสดงว่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการมากที่สุด พบว่าปริมาณนมผงขาดมันเนยร้อยละ 7 จึงจะทำให้ค่าความเรียบเนียนเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.972



ภาพที่ 11 พื้นที่การตอบสนองของความเรียบเนียนกันเมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

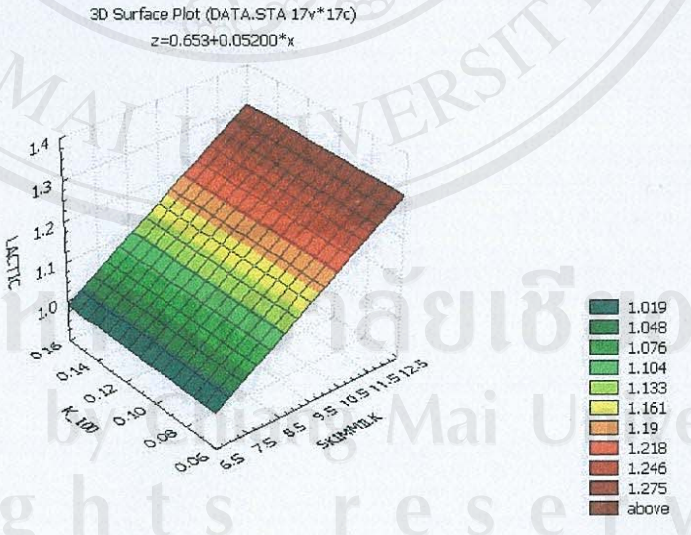
3.2.1.3 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.2.1.3.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อปริมาณกรดแลคติค

จากสมการ 3.13 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังนี้

f(7.0)	=	1.017
f(8.0)	=	1.069
f(9.0)	=	1.121
f(10.0)	=	1.173
f(11.0)	=	1.225
f(12.00)	=	1.277

ข้อมูลตารางที่ 24 ทำให้ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ w/v) มีค่าคะแนนสัมพันธ์กับลักษณะรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับ (ตารางที่ 25) พบว่าค่าปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ ที่ผู้บริโภคให้คะแนนของรสเปรี้ยวเข้าใกล้ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 1.20 -1.23 w/v และจากแทนค่าในสมการ 3.13 และพื้นที่การตอบสอนองปริมาณกรดแลคติคตามสมการ 3.13 ดังภาพที่ 12 พบว่าปริมาณนมผงขาดมันเนยร้อยละ 11 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม



ภาพที่ 12 พื้นที่การตอบสนองของค่าปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรท (ร้อยละw/v) ได้เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.3.2 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อกลิ่นนม

จากสมการ 3.19 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังนี้

f(7.0) = 0.836

f(8.0) = 0.861

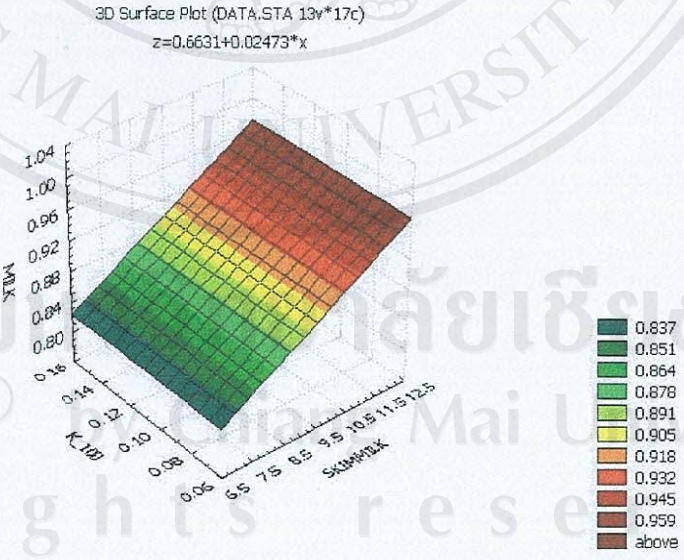
f(9.0) = 0.886

f(10.0) = 0.91

f(11.0) = 0.935

f(12.0) = 0.96

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนยในสมการ 3.19 และพื้นที่การตอบสนองของกลิ่นนมตามสมการ 3.19 ดังภาพที่ 13 ค่าคะแนนที่ได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากกลิ่นนมเป็นค่าทางประสาทสัมผัสที่ได้มาจากการทดสอบแบบ Ideal ratio profile จึงจะแสดงว่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการมากที่สุด ผลจากการแทนค่าในสมการที่ 3.19 พบว่าปริมาณนมผงขาดมันเนยร้อยละ 12 จึงจะทำให้ค่ากลิ่นนมเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.96



ภาพที่ 13 พื้นที่การตอบสนองของกลิ่นนมเมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.3.3 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อรสเปรี้ยว

จากสมการ 3.20 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผงดังนี้

f(7.0) = 0.934

f(8.0) = 0.929

f(9.0) = 0.935

f(10.0) = 0.950

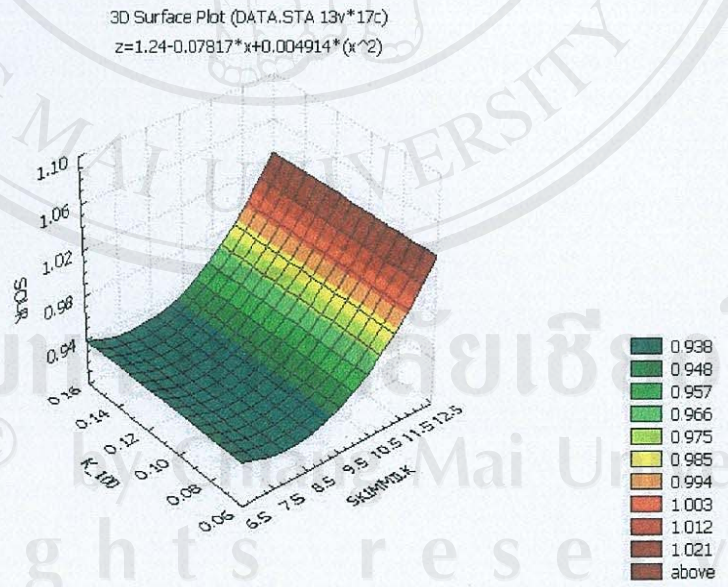
f(11.0) = 0.975

f(11.50) = 0.991

f(11.75) = 1.000

f(12.00) = 1.010

จากการแทนค่าปริมาณนมผงขาดมันเนยในสมการ 3.20 และพื้นที่การตอบสนองของรสเปรี้ยวตามสมการ 3.20 ดังภาพที่ 14 พิจารณาปริมาณของนมผงขาดมันเนยที่ทำให้รสเปรี้ยวมีค่าเท่ากับ 1 หรือ เข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือปริมาณนมผงขาดมันเนยร้อยละ 11.75 จะทำให้ได้รสเปรี้ยวมีค่าเท่ากับ 1



ภาพที่ 14 พื้นที่การตอบสนองของรสเปรี้ยวเมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1.4 ผลของนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนต่อปริมาณเชื้อ *B. longum* ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

3.2.1.4.1 ผลของนมผงขาดมันเนยต่อปริมาณเชื้อ *B. longum*

จากสมการ 3.14 แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังนี้

f(7.0) = 8.821

f(8.0) = 8.951

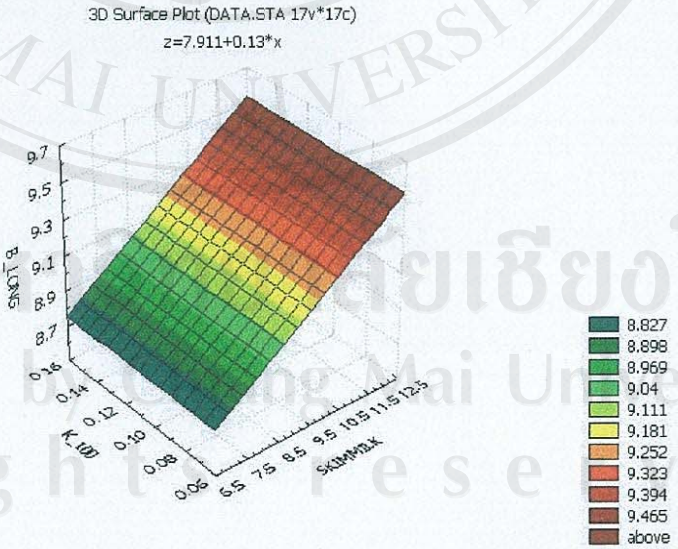
f(9.0) = 9.081

f(10.0) = 9.211

f(11.0) = 9.314

f(12.0) = 9.471

ปริมาณเชื้อ *B. longum* คำนึงถึงปริมาณเชื้อ *B. longum* ที่มีปริมาณเริ่มต้นของ *B. longum* มากที่สุด เพื่อให้เชื้อเหลือรอดอยู่สูงกว่า 10^6 CFU/g ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค เมื่อมีการเก็บรักษาอยู่สภาวะของอุณหภูมิต่ำ จากสมการ 3.14 และพื้นที่การตอบสนองของปริมาณเชื้อ *B. longum* ตามสมการ 3.14 ดังภาพที่ 15 พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณนมผงขาดมันเนยตั้งแต่ร้อยละ 9 จะทำให้มีปริมาณเชื้อ *B. longum* อยู่สูงกว่า 10^9 CFU/g



ภาพที่ 15 พื้นที่การตอบสนองของค่าปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)เมื่อมีการแปรผันระดับการใช้นมผงขาดมันเนย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการวิเคราะห์พบว่า นมผงขาดมันเนยจะระดับกลางและระดับสูง ส่วนคาราจีแนนระดับต่ำและระดับกลาง มีผลมากต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค และนำมาหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 27 เพื่อให้ได้ปริมาณนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนอยู่ในปริมาณที่เป็นที่ยอมรับในทุกด้านของลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส รวมทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์

ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยของปริมาณนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนน

ลักษณะ	นมผงขาดมันเนย (ร้อยละ)	คาราจีแนน (ร้อยละ)
สี	11.00	0.085
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	-	0.05
ความข้นหนืด	9.00	0.1
ความเรียบเนียน	7.00	-
กลิ่นนม	12.00	-
กลิ่นเปรี้ยว	11.75	-
ค่าเฉลี่ย	10.15	0.078

จากการทดลองศึกษาแนวทางในการพัฒนาสูตรโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค พบว่าสูตรของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่คิดเป็นร้อยละขององค์ประกอบหลักเป็นดังนี้

นมผงขาดมันเนย	ร้อยละ 10.15
น้ำตาล	ร้อยละ 10
คาราจีแนน	ร้อยละ 0.078
เชื้อ *B. longum*	ร้อยละ 2
เชื้อ *L. bulgaricus, S. thermophilus*	ร้อยละ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 4 ระยะเวลาการหมักโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เหมาะสม

จากการทดลองพัฒนาสูตรในเบื้องต้นในข้อที่ 2 และ 3 ทำให้สามารถสรุปสูตรของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคได้อย่างเหมาะสม ในการทดลองนี้จะเป็นการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้อง เนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักมีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ต โดยที่เมื่อหมักที่อุณหภูมิต่ำ (30-35 องศาเซลเซียส) จะใช้ระยะเวลาในการหมักนานและมีอัตราการเกิดกรดแลคติคช้า แต่มีผลให้ลักษณะเนื้อโยเกิร์ตเนียนเนื่องจากโปรตีนมีการตกตะกอนแบบ Gelation จากการทำปฏิกิริยากันของโปรตีนและน้ำอย่างสม่ำเสมอ การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่าจะทำให้อัตราการผลิตกรดแลคติคเร็วขึ้น การเกิดตะกอนเกิดเร็ว ซึ่งมีผลให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนแบบ Aggregation จากการทำปฏิกิริยากันของโปรตีนและโปรตีนมากขึ้นทำให้เนื้อไม่เนียน เป็นเม็ดหรือเนื้อสัมผัสหยาบ (Tamime and Robinson, 1985) เนื่องจากเชื้อ *B. longum* สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Gomes and Malcata, 1999) เพื่อให้ได้โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคมีลักษณะเนื้อที่ดี จึงเลือกที่จะศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ในการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค แสดงในตารางที่ 28 และภาพที่ 16 ส่วนทางด้านประสาทสัมผัสแสดงในรูปของค่า Mean ideal ratio score ดังตารางที่ 29

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 28 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

ระยะเวลาที่ใช้หมัก(ช.ม)	ค่าสี L (ความสว่าง)	ค่าสี a (แดง-เขียว)	ค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน)	Peak force (N)	ความคงตัว (N/s)	ต้านทานการไหล(N/s)
4	73.53^{a}±0.20	-0.70^{a}±0.10	11.71^{ab}±0.05	5.85^{a}±0.27	50.25^{a}±3.27	16.47^{a}±0.52
8	73.79^{bc}±0.02	-0.67^{a}±0.03	11.63^{ab} ±0.04	5.93^{a}±0.25	51.60^{a}±1.12	16.46^{a}±1.13
12	73.88^{c}±0.04	-0.64^{a}±0.02	11.57^{a}±0.19	6.16^{ab}±0.40	54.55^{ab}±1.52	19.58^{b}±0.89
16	73.89^{c}±0.10	-0.64^{ab}±0.02	11.77^{ab}±0.17	6.67^{b}±0.22	57.60^{b}±2.78	21.43^{cb}±0.57
20	73.60^{a}±0.06	-0.50^{c}±0.01	11.81^{b}±0.07	6.44^{b}±0.13	58.22^{b}±2.15	21.21^{cb}±1.60
24	73.65^{ab}±0.06	-0.56^{bc}±0.02	11.83^{b}±0.02	7.33^{c}±0.30	58.71^{c}±2.57	22.63^{c}±1.32

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ระยะเวลาที่ใช้หมัก(ช.ม)	ความหนืด (cp)	ปริมาณกรดแลคติค (ร้อยละw/v)	ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อโยเกิร์ต (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
4	1,907^{a}±19	0.44^{a}±0.02	5.59^{a}±0.02	7.71^{a}	7.41^{a}	7.40^{a}
8	1,990^{a}±38	0.82^{b}±0.02	4.82^{b}±0.03	8.79^{b}	8.15^{b}	8.66^{b}
12	2,190^{b}±15	1.04^{c}±0.02	4.27^{c}±0.03	9.49^{c}	9.15^{c}	9.23^{d}
16	2,273^{b}±53	1.14^{d}±0.02	4.12^{d}±0.02	9.60^{d}	9.44^{cd}	9.07^{cd}
20	2,373^{c}±83	1.26^{e}±0.01	3.92^{e}±0.02	9.64^{d}	9.56^{d}	8.87^{b}
24	2,932^{c}±37	1.35^{f}±0.02	3.82^{f}±0.01	9.67^{d}	9.59^{d}	8.88^{bc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 29 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการหมักแตกต่างกัน

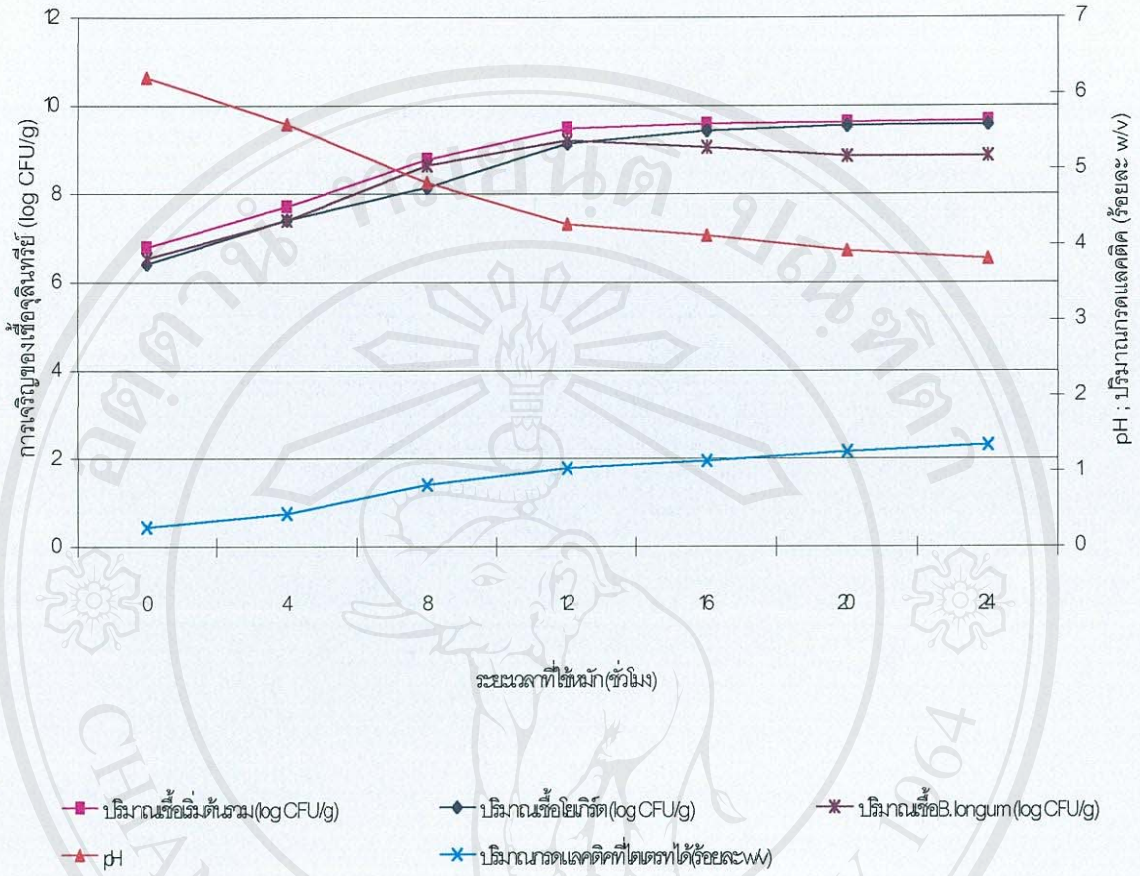
ระยะเวลาที่ใช้หมัก(ช.ม)	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	กลิ่นข้าวกล้อง
4	$1.00^{a}\pm0.10$	$0.84^{a}\pm0.20$	$0.95^{a}\pm0.23$	$1.00^{a}\pm0.06$	$0.98^{a}\pm0.07$
8	$1.03^{a}\pm0.07$	$0.91^{ab}\pm0.10$	$1.05^{b}\pm0.16$	$0.97^{a}\pm0.013$	$0.96^{ab}\pm0.08$
12	$1.02^{a}\pm0.06$	$0.90^{ab}\pm0.11$	$1.04^{b}\pm0.20$	$0.99^{a}\pm0.07$	$0.92^{ab}\pm0.16$
16	$1.02^{a}\pm0.06$	$0.96^{b}\pm0.04$	$1.07^{b}\pm0.15$	$1.00^{a}\pm0.06$	$0.93^{ab}\pm0.15$
20	$1.03^{a}\pm0.07$	$0.90^{b}\pm0.015$	$1.07^{b}\pm0.16$	$0.97^{a}\pm0.10$	$0.91^{b}\pm0.16$
24	$1.02^{a}\pm0.06$	$0.92^{b}\pm0.011$	$1.09^{b}\pm0.17$	$0.98^{a}\pm0.07$	$0.94^{b}\pm0.15$

ตารางที่ 29 **(ต่อ)**

ระยะเวลาที่ใช้หมัก(ช.ม)	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับรวม
4	$0.90^{a}\pm0.13$	$0.70^{a}\pm0.24$	$0.52^{a}\pm0.21$	$1.30^{a}\pm0.24$	$0.53^{a}\pm0.14$
8	$0.89^{a}\pm0.14$	$0.80^{b}\pm0.16$	$0.82^{b}\pm0.20$	$1.10^{b}\pm0.17$	$0.67^{b}\pm0.17$
12	$0.87^{a}\pm0.15$	$0.89^{c}\pm0.16$	$0.97^{c}\pm0.18$	$0.94^{c}\pm0.11$	$0.76^{b}\pm0.15$
16	$0.88^{a}\pm0.14$	$0.96^{c}\pm0.17$	$1.13^{d}\pm0.09$	$0.85^{d}\pm0.12$	$0.69^{b}\pm0.19$
20	$0.87^{a}\pm0.14$	$1.04^{cd}\pm0.17$	$1.29^{e}\pm0.12$	$0.76^{e}\pm0.15$	$0.54^{a}\pm0.18$
24	$0.87^{a}\pm0.14$	$1.07^{de}\pm0.18$	$1.36^{e}\pm0.13$	$0.70^{e}\pm0.20$	$0.52^{a}\pm0.18$

หมายเหตุ : ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 10 คน ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลง pH ปริมาณกรดแลคติค และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค หมักที่ 37 องศาเซลเซียส

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่หมักนาน 0- 24 ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาการหมักที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้อง (ตารางที่ 28) เมื่อพิจารณาค่าสี L (ความสว่าง) พบว่าระยะเวลาการหมักที่ 4 ชั่วโมง จะมีค่าความสว่าง 73.53 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 8, 12, และ 16 ชั่วโมง ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องจะเพิ่มขึ้นเป็น 73.79, 73.88, และ 73.89 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากที่ระยะเวลาการหมักน้อย มีการเกิดการตกตะกอนและการเรียงตัวของโปรตีนนมรวมทั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะการเกิดเจลของโยเกิร์ตข้าวกล้องมีน้อย จึงทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องมีความทึบแสงน้อย เมื่อมีการวัดค่าความสว่างซึ่งแสงมีการตกกระทบผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับแสงได้มากค่าความสว่างจึงมีค่าน้อย แต่เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โปรตีนจะเกิดการตกตะกอนมากขึ้น ทำให้แสงเกิดการผ่านได้น้อยลงเกิดการสะท้อนแสงมากขึ้น ทำให้วัดค่าสี L (ความสว่าง) ได้มากขึ้น ส่วนที่ระยะเวลาการหมักที่ 20 และ 24 ชั่วโมง ค่าสี L (ความสว่าง) ลดลงเหลือ 73.60 และ 73.65 ตามลำดับโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการหมักที่ 12 และ16 ชั่วโมงนั้น น่าจะเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องมีการย่อยโปรตีนเคซีนมากเกินพอดี ทำให้การสะท้อนแสงลดลงได้ ค่าสี a (แดง-เขียว) พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสี a มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของสีแดงหรือน้ำตาลอ่อนซึ่งในผลสอดคล้องกับค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน) โดยพบว่าที่ระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มของสีเหลืองของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงด้านความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว และค่าต้านทานการไหล พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจาก 4 ชั่วโมง เป็น 24 ชั่วโมง ค่าความข้นหนืด ค่า peak force ค่าความคงตัว และค่าต้านทานการไหล มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้อง ซึ่งได้แก่ *L. bulgaricus S. thermophilus* และ *B. longum* มีความสามารถในการผลิตโพลีแซคคาไรด์แล้วขับออกนอกเซลล์ (Expolysaccharide : EPS) หรือไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) (Hassan et al., 1996; Shihata and Shah, 2001) ซึ่ง ESP จะช่วยเพิ่มความหนืด การอุ้มน้ำ และหรือการลดการเกิด Syneresis ของโยเกิร์ต (Duboc and Mollet, 2001) ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเชื้อมีการเจริญและมีการสร้าง ESP เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ลักษณะของความข้นหนืด และเนื้อสัมผัสความเรียบเนียนและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากผลการทดลองให้ผลสอดคล้องกับการรายงานของ Duboc and Mollet (2001) ซึ่งได้กล่าวถึงความแตกต่างของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียที่มีความสามารถสร้าง ESP และไม่สามารถสร้าง ESP ปริมาณความเข้มข้นของ ESP ที่สร้างจากเชื้อ *S. thermophilus* สูงถึง 3000 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2100 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับเชื้อ *L. bulgaricus* ซึ่งปริมาณ ESP ที่เกิดจากจุลินทรีย์แลคติคแบคทีเรียจะช่วยทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (Shihata and Shah, 2002; Madiedo and Zoon, 2003)

4.2 คุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่หมักนาน 0- 24 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องที่มีระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรดด่าง (ตารางที่ 28) โดยค่าปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ เริ่มต้น 0 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 0.26 (w/v) และเพิ่มปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ระยะเวลาการหมักที่ 8 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.82 (w/v) และปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงระยะเวลาการหมักที่ 24 ชั่วโมง เป็นร้อยละ 1.35 (w/v) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้จากระยะเวลาการหมักเริ่มต้นจนถึงระยะเวลาการหมักที่ 24 ชั่วโมงนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 16)

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง มีค่า 6.21 ที่ระยะเวลาเวลาเริ่มต้น 0 ชั่วโมง แล้วลดลงเหลือ 4.82 อย่างรวดเร็วในช่วง 8 ชั่วโมงแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งโยเกิร์ตข้าวกล้องเริ่มเกิดลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (curd) เล็กน้อย จากนั้นค่าความเป็นกรดด่างค่อยๆ ลดลงและเริ่มคงที่หลังบ่มนาน 12 ชั่วโมง โยเกิร์ตข้าวกล้องเกิด curd อย่างสมบูรณ์ หลังหมัก 12 ชั่วโมง และหมักต่อไปอีกจนครบ 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรดด่างลดลงเหลือ 3.82 ส่วนเชื้อปริมาณเริ่มต้นรวมสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วหลังบ่มนาน 12 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากนั้นจะเจริญได้ช้าลง โดย เชื้อโยเกิร์ต (*L. bulgaricus S. thermophilus*) สามารถเจริญได้ดีที่สุด รองลงมาคือเชื้อ *B. longum* ดังแสดงในตารางที่ 28 และภาพที่ 16

จากภาพที่ 16 จะสังเกตเห็นว่าเชื้อ *B. longum* สามารถเจริญได้ดีในระยะเวลาการหมักนานประมาณ 8 -12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงแต่ยังคงมีปริมาณเชื้อเหลืออยู่สูงถึง 8.87 log CFU/g เมื่อใช้ระยะเวลาการหมักนาน 20 ชั่วโมง ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากการที่ค่าของความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องที่ลดต่ำลงเหลือ 3.92 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการรายงานของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Garro et al (2001) ซึ่งมีการรายงานถึงการลดลงของค่าความเป็นกรดด่าง สามารถยับยั้งการเจริญของแลคติคแบคทีเรียได้

จากการทดลองพบว่าที่เชื้อ *B. longum* สามารถเจริญได้ในข้าวน่าจะมาจากการที่ข้าวกล้องเป็นแหล่งของวิตามินบี ซึ่งเชื้อ *B. longum* ใช้ในการเจริญ (Arunachalam, 1999) นอกจากนั้นในข้าวยังมี β- glucans และมีส่วนของเส้นใย (dietary fiber) ที่เชื้อ *B. longum* สามารถใช้ในการเจริญได้ ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Martensson และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของเชื้อโยเกิร์ตที่มีผลต่อการเหลือรอดของเชื้อโพรไบโอติคในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโอต พบว่าเชื้อโพรไบโอติค ซึ่งได้แก่ *B. bifidum* ในผลิตภัณฑ์ข้าวโอตมีปริมาณเชื้อที่เหลือรอดอยู่ประมาณ 10^9 - 10^8 CFU/g นอกจากนั้นการศึกษาการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคยังสอดคล้องกับการรายงานของ Webb et al (2002) ซึ่งได้กล่าวถึงการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารประเภทธัญพืช และหรือส่วนที่เหลือใช้ของของอาหารประเภทธัญพืช อย่างเช่น การใช้เปลือกรำข้าวมาผลิตภัณฑ์อาหารประเภท nondairy product โดยมีการศึกษาในข้าวโอต ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี พบว่า เชื้อ lactobacilli ทำให้ผลิตภัณฑ์ non-dairy product มีค่าความเป็นกรดด่างลดลง โดยมีปริมาณเชื้อสุดท้ายเหลืออยู่สูงถึง 10^9 CFU/g

4.3 คุณสมบัติทางด้านลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่หมักนาน 0- 24 ชั่วโมง

จากตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่แตกต่างกันจะส่งผลทางด้านรสเปรี้ยวและรสหวาน อย่างชัดเจนโดยที่เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเพิ่มขึ้นและความหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ส่วนทางด้านกลิ่นเปรี้ยวที่ระยะเวลาการหมักนาน 12 ชั่วโมง จะให้ค่า Mean ideal ratio score เข้าใกล้ 1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการหมักนาน 16 ชั่วโมง แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการหมักนาน 4 และ 8 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าที่ระยะเวลาการหมักนาน 12 ชั่วโมงจะมีอัตราการเจริญของเชื้อเริ่มต้นทั้งหมดอยู่สูง และการยอมรับของลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคในด้านต่างๆ จะมีค่า Mean ideal ratio score เข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ในการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 5 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

5.1 สูตรผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 สามารถสรุปสูตรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ดังแสดงในตารางที่ 30 โดยใช้อุณหภูมิในการหมักที่ 37 องศาเซลเซียส หมักนาน 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 30 สูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	คำนวณตามส่วนประกอบหลัก	คำนวณตามส่วนประกอบรวมทั้งหมด
<u>หลัก</u>		
น้ำ	85.71	69.56
ข้าวกล้อง	14.29	11.60
<u>อื่นๆ</u>		
นมผงขาดมันเนย	10.15	6.13
น้ำตาลทรายขาว	10.00	8.24
คาราจีแนน	0.078	0.063
หัวเชื้อ *B. longum*	2	1.62
หัวเชื้อโยเกิร์ต (*L. bulgaricus*+*S. themophilus*)	1	0.81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

5.2.1 คุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

จากการศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมต่างๆ ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค และได้ทำการพัฒนาจนได้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมดังตารางที่ 30 แล้วเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านคุณภาพ เคมี และจุลินทรีย์ จะได้ผลดังตารางที่ 31, 32 และ 33 ตามลำดับ

ตารางที่ 31 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

คุณภาพทางกายภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ค่าสีระบบฮันเตอร์	
ค่าสี L (ความสว่าง-มืด)	73.37±0.07
ค่าสี a (สีเขียว-แดง)	-0.67±0.01
ค่าสี b (สีเหลือง-น้ำเงิน)	11.98±0.15
ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	2,376.67±33.56
ค่า peak force (นิวตัน)	5.90±0.75
ค่าความคงตัว (นิวตัน/วินาที)	60.19±6.59
ค่าต้านทานการไหล (นิวตัน/วินาที)	22.28±6.07

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 31 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่พัฒนาได้ ซึ่งหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสีขาวเหลืองและมีความข้นหนืด โดยมีค่าความหนืด 2,376.67 เซนติพอยด์ ค่า peak force 5.90 นิวตัน ค่าความคงตัว 60.19 นิวตัน/วินาที และค่าต้านทานการไหล 22.28 นิวตัน/วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2.2 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนามีค่าทางเคมีแสดงผลในตารางที่ 32 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารเชิงคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 15.75 โปรตีนร้อยละ 1.90 และพบว่ามีปริมาณไขมันร้อยละ 1.75 และพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีร้อยละ 7.33 โดยที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีเพียงร้อยละ 2.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อ *L. bulgaricus S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* ใช้น้ำตาลซูโครสในการเจริญและน้ำตาลซูโครสเปลี่ยนเป็นกลูโคสและฟรุกโทส ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณส่วนผสมเริ่มต้นของน้ำตาลซูโครสที่ใช้ร้อยละ 10 แต่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงเหลือร้อยละ 2.20 และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 5.13 ซึ่งการลดลงของน้ำตาลนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Wang และคณะ (2003) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *S. thermophillus* และ *B. longum* พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลงหลังจากหมักนาน 24 ชั่วโมง จากเริ่มต้น 15.02 มิลลิโมล/ลิตร ลดลงเหลือ 12.43 มิลลิโมล/ลิตร และปริมาณของโมโนแซคคาไรด์ เช่น กลูโคส กาแลคโทส และฟรุคโทสมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อ Bifidobacteria มีความสามารถในการผลิต α- และ β- galactosidase จึงทำให้ปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์ลดลง แต่ปริมาณของโมโนแซคคาไรด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Matsuyama et al., 1992; Hou et al., 2000)

ตารางที่ 32 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

คุณภาพทางเคมี	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)	79.29±0.07
ปริมาณของแข็ง(ร้อยละ)	21.71±0.07
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(ร้อยละ)	15.75±0.09
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(ร้อยละ)	7.33±0.05
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(ร้อยละ)	5.13±0.36

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 32 (ต่อ)

คุณภาพทางเคมี	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณน้ำตาลซูโครส(ร้อยละ)	2.20±0.30
ปริมาณโปรตีน(Nx5.95(ร้อยละ))	1.90±0.03
ปริมาณไขมัน(ร้อยละ)	1.75±0.10
ปริมาณเส้นใย(ร้อยละ)	1.71±0.10
ปริมาณเถ้า(ร้อยละ)	0.61±0.03
ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ w/w)	1.09±0.02
ค่าความเป็นกรดด่าง	4.27±0.03

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

5.2.3 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้ว (ตารางที่ 33) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2523) และฉบับที่ 99 (พ.ศ. 2529) ในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 (ภาคผนวก จ) ซึ่งต้องตรวจไม่พบโคลิฟอร์มในผลิตภัณฑ์นมหมัก ดังนั้นจึงถือว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคมีความปลอดภัยต่อผู้ทดสอบชิม

เมื่อพิจารณาถึงการเจริญของเชื้อ *B. longum* ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติคในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง พบว่ามีอัตราการเจริญอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยมีปริมาณเชื้อเหลือรอดในผลิตภัณฑ์หลังจากการหมักที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงอยู่สูงถึง 10^9 CFU/g ซึ่งทั้งนี้การที่มีปริมาณของเชื้อโพรไบโอติคที่เหลือรอดอยู่สูงกว่า 10^5 -10^6 CFU/g ก็จะให้คุณประโยชน์ต่อผู้บริโภค (Dave and Shah, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 33 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

คุณภาพทางจุลินทรีย์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log CFU/g)	9.46
ปริมาณเชื้อโยเกิร์ต (log CFU/g)	9.17
ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)	9.43
ปริมาณโคลิฟอร์ม (MPN/g)	ต่ำกว่า 3
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)	ต่ำกว่า 10

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

การที่เชื้อ *B. longum* เจริญได้ในโยเกิร์ตข้าวกล้องนั้นน่าจะเป็นเพราะเชื้อ *B. longum* นั้นต้องการ niacin ในการเจริญ ซึ่งในข้าวกล้องที่ใช้สำหรับการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคมีปริมาณของ niacin อยู่ 0.62 มิลลิกรัมในข้าว 100 กรัม (กองโภชนาการ, 2535) ซึ่งทั้งนี้ Hou และคณะ (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของวิตามินในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลืองที่ใช้เชื้อ *B. longum* B6 ร่วมในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตถั่วเหลือง พบว่า ระยะเวลาเริ่มต้นในการหมักที่ 0 ชั่วโมงมีปริมาณ niacin 24.10±0.14 riboflavin 7.36±0.14 และ thiamin 0.33±0.02 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของ riboflavin และ thiamin เพิ่มขึ้น โดยมี riboflavin 8.88±0.11 และ thiamin 0.37±0.04 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในขณะที่ปริมาณของ niacin ลดลงเหลือ 18.49±0.25 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) จึงสรุปได้ว่าเชื้อ *B. longum* ต้องการ niacin ในการเจริญ ดังนั้นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้น่าจะมีคุณประโยชน์ต่อผู้ทดสอบชิม เนื่องจากเชื้อ *B. longum* ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติคนั้นสามารถเจริญได้ดีในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2.4 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการพัฒนา

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้วเมื่อนำมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Ideal ratio profile โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 34 และเมื่อนำค่า Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาสร้างกราฟใยแมงมุม เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาและผลิตภัณฑ์ในอุดมคติของผู้ทดสอบชิม จะได้ผลดังแสดงในภาพที่ 17

จากตารางที่ 34 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ผลิตตามสูตรและกระบวนการผลิตที่ได้รับการพัฒนาแล้วจะได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆ เข้าใกล้ค่าอุดมคติและพบว่าไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในด้านสี ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความข้นหนืด ความเรียบเนียน กลิ่นข้าวกล้อง กลิ่นนม กลิ่นเปรี้ยว รสเปรี้ยว และรสหวาน ส่วนทางด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้ว ถึงแม้จะมีความแตกต่างกับค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้ พบว่ามีค่าคะแนนเข้าใกล้ 1 มากกว่าผลิตภัณฑ์ก่อนการพัฒนา แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์หลังการพัฒนาหรือผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

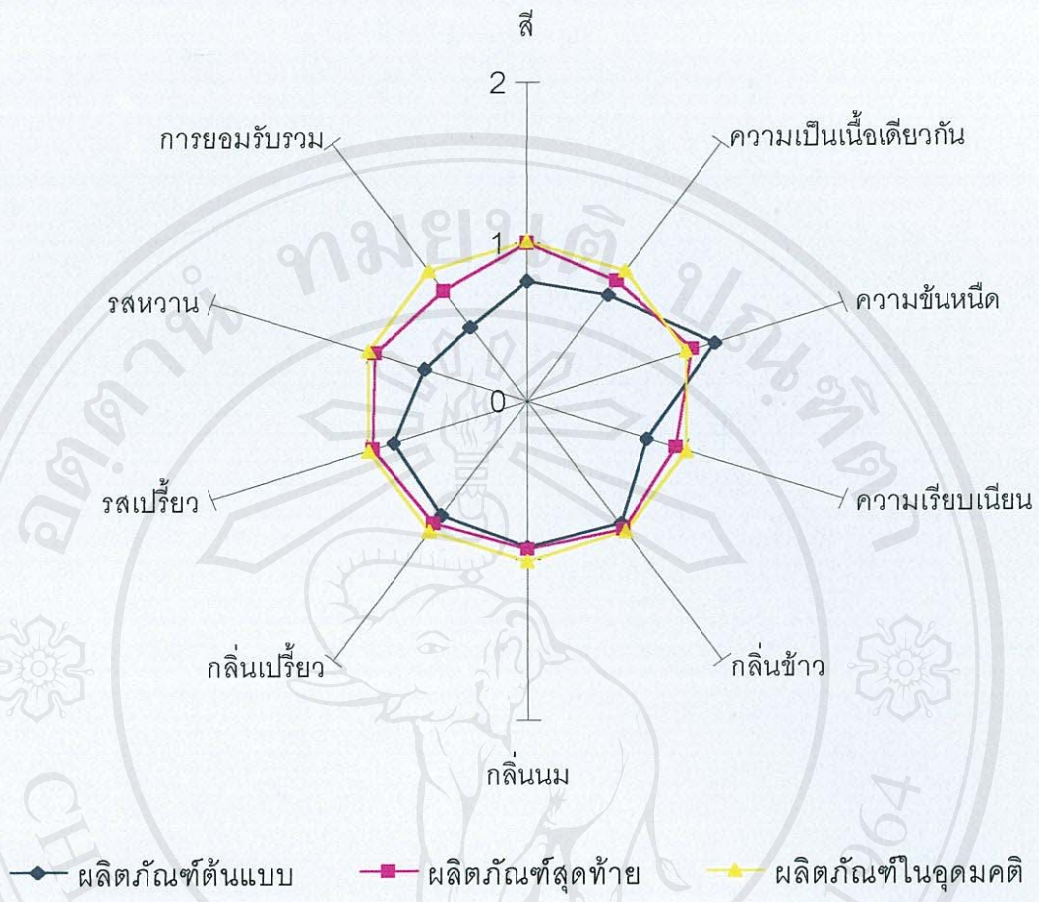
ตารางที่ 34 Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่ได้รับการพัฒนาแล้วจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน

ลักษณะ	Mean ideal ratio score ± Standard deviation
สี	0.99±0.05
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.93±0.08
ความข้นหนืด	1.05±0.08
ความเรียบ- เนียน	0.94±0.07
กลิ่นข้าวกล้อง	0.99±0.16
กลิ่นนม	0.93±0.06
กลิ่นเปรี้ยว	0.96±0.08
รสเปรี้ยว	0.98±0.07
รสหวาน	0.97±0.06
การยอมรับโดยรวม	0.85*±0.08

หมายเหตุ : * หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนามีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ไม่มี* หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 17 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมซื้อโพรไบโอติค ก่อนและหลังการพัฒนาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ

เมื่อนำค่า Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาสร้างกราฟใยแมงมุม ดังภาพที่ 17 พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ผลิตตามสูตรและกระบวนการผลิตที่ได้รับการพัฒนาแล้ว จะมีเค้าโครงผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในอุดมคติมากกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนา เช่น จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่ได้รับการพัฒนาแล้วมีความข้นหนืดลดลงกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคก่อนการพัฒนาโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนั้นลักษณะสี ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเรียบเนียน รสหวาน และการยอมรับโดยรวมก็มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ซึ่งยังมีชีวิตอยู่ เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์มีทั้งแหล่งของคาร์บอนและไนโตรเจนซึ่งเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญ แต่ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w(Water activity) สูง จึงเน่าเสียได้ง่าย จึงจะต้องทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยรักษาคุณภาพให้ยังคงอยู่ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคยังสามารถเสื่อมคุณภาพลงได้ เนื่องจากการปนเปื้อนจากเชื้อยีสต์และรา อีกทั้งการเจริญของเชื้อเริ่มต้นบางสายพันธุ์จะสร้างกรดเพิ่มขึ้นภายหลังกระบวนการหมัก (Post – acidification) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเกิดการสลายตัวของโปรตีน เนื่องจากเอนไซม์ที่เชื้อเริ่มต้นสร้างขึ้นทำให้เกิดรสขมมากขึ้น ที่สำคัญได้แก่การลดลงของปริมาณเชื้อเริ่มต้นบางชนิดขณะเก็บรักษาจะทำให้คุณประโยชน์ที่จะได้จากการบริโภคลดลง ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคในช่วงการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญ โดยได้ทำการกำหนดอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนมและเป็นอุณหภูมิในตู้เย็นโดยทั่วไป เป็นระยะเวลา 30 วัน เนื่องจากโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแบบตักได้จะมีอายุการเก็บประมาณ 21วัน (Tamime and Robinson, 1985)

เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางด้านประสาทสัมผัส

6.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรดด่างในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 35 และภาพที่ 18 โดยปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้หลังจากการผลิตมีค่าร้อยละ 1.09 (w/v) หลัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นเมื่อเก็บเป็นเวลา 5 วัน ค่ากรดแลคติคที่ได้เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 1.11 (w/v) และเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วเมื่อมีการเก็บรักษาจนถึง 30 วัน ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้มีการเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 1.20 (w/v) โดยปริมาณกรดแลคติคที่เพิ่มขึ้นมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดแลคติคในผลิตภัณฑ์หลังการผลิต แสดงให้เห็นว่าเชื้อมีการสร้างกรดแลคติคต่อไปได้เมื่อมีการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

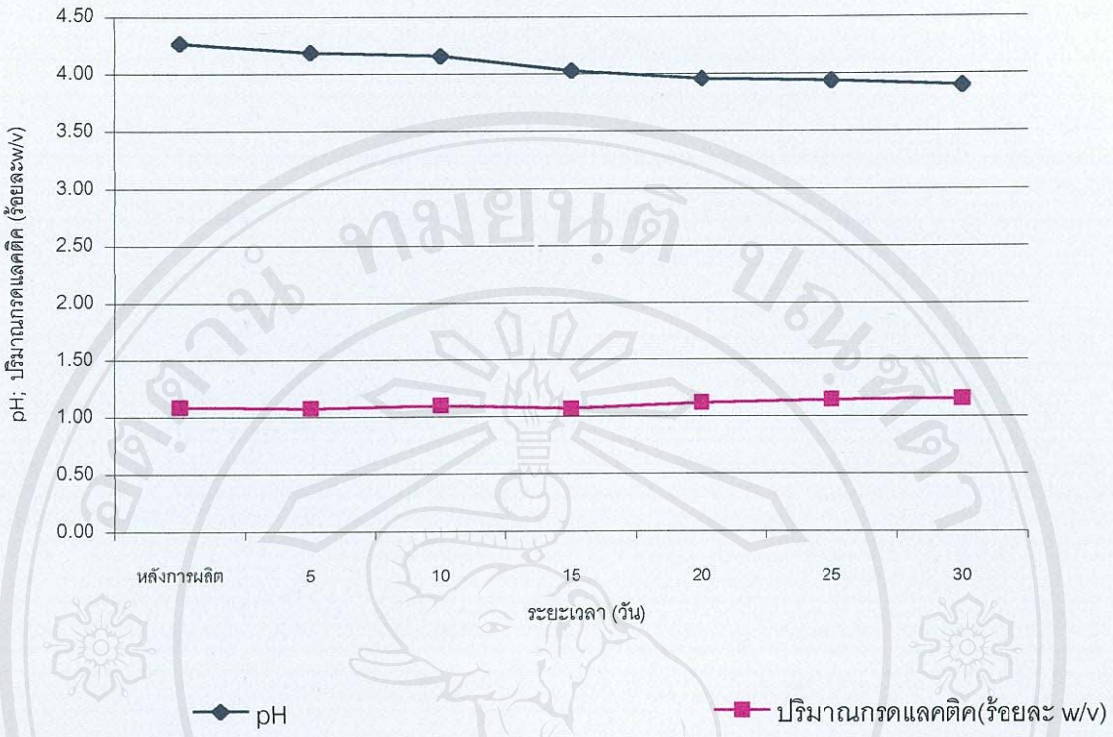
ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการผลิตมีค่า 4.27 หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน สังเกตเห็นว่าค่าความเป็นกรดด่างลดลงอีก ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากเกิดกระบวนการหมักอย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆ เพราะเชื้อยังมี activity อยู่ หลังจากนั้นค่าความเป็นกรดด่างก็จะค่อย ๆ ลดลงจนเก็บรักษานาน 30 วัน ค่าความเป็นกรดด่างลดลงเหลือ 3.9 แสดงดังตารางที่ 35 และ ภาพที่ 17

ตารางที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้และค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

ระยะเวลาการเก็บ(วัน)	ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ w/v)	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
หลังผลิต	$1.09^{a} \pm 0.02$	$4.27^{a} \pm 0.03$
5	$1.11^{ab} \pm 0.02$	$4.19^{b} \pm 0.02$
10	$1.12^{b} \pm 0.01$	$4.16^{b} \pm 0.02$
15	$1.15^{c} \pm 0.02$	$4.03^{c} \pm 0.02$
20	$1.17^{cd} \pm 0.01$	$3.96^{d} \pm 0.02$
25	$1.18^{d} \pm 0.01$	$3.94^{de} \pm 0.03$
30	$1.20^{d} \pm 0.02$	$3.90^{e} \pm 0.01$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรดด่าง หลังการผลิตและเมื่อเก็บรักษาอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค

6.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แสดงผลดังตารางที่ 36 ซึ่งพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ 5 องศาเซลเซียส ความข้นหนืดมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 15 วันแรกของการเก็บรักษา และเริ่มลดลงหลังจากการเก็บรักษานาน 20 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคนาน 30 วัน พบว่าความข้นหนืดลดลงโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่าความข้นหนืด (เซนติพอยส์) และค่าสีที่มีการวัดระบบ Hunter ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

ระยะการเวลาเก็บ (วัน)	ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	ค่าสีระบบฮันเตอร์		
		ค่าสี L (ความสว่าง)	ค่าสี a (เขียว-แดง)	ค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน)
หลังผลิต	2,377±34 ^{a}	73.37±0.07 ^{a}	-0.67±0.01 ^{ab}	11.98±0.15 ^{c}
5	2,604±53 ^{b}	73.67±0.04 ^{c}	-0.62±0.01 ^{c}	11.81±0.03 ^{b}
10	2,774±41 ^{de}	73.64±0.05b ^{c}	-0.64±0.05 ^{abc}	11.78±0.06 ^{ab}
15	2,817±23 ^{e}	73.62±0.03 ^{bc}	-0.62±0.02 ^{bc}	11.80±0.04 ^{ab}
20	2,722±33 ^{cd}	73.56±0.09 ^{b}	-0.67±0.02 ^{a}	11.65±0.06 ^{a}
25	2,712±37 ^{cd}	73.67±0.04 ^{c}	-0.64±0.03 ^{abc}	11.74±0.09 ^{ab}
30	2,687±34 ^{c}	73.67±0.03 ^{c}	-0.63±0.02 ^{abc}	11.79±0.07 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปลี่ยนแปลงของความข้นหนืดมีผลต่อลักษณะของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้อง ซึ่งความข้นหนืดเกิดจากการยึดจับกันของพันธะ electrostatic และ hydrophobic interation ที่ก่อให้ให้เกิดโครงสร้างของเจล โดยการเพิ่มขึ้นของค่าความข้นหนืดน่าจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความแข็งแรงของเจล (ณรงค์ 2538) ส่วนการลดลงของความข้นหนืดเมื่อเก็บรักษานานเกิน 20 วัน อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายโปรตีน (protiolysis) ที่เกิดจากเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่เชื้อเริ่มต้นสร้างขึ้น ในปริมาณที่มากเกินพอ ทำให้ความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องลดลง (Shihata and Shah, 2002)

จากตารางที่ 36 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L (ความสว่าง) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเรียงตัวของตะกอนโปรตีนในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้การสะท้อนแสงเกิดได้มากขึ้นมีผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นได้ ส่วนค่าสี a (แดง-เขียว) และค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน) มีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค นาน 30 วัน

6.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แสดงดังตารางที่ 37 ซึ่งพบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อที่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาต่ำ การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ทางกายภาพที่ผู้ทดสอบชิมสามารถสังเกตการได้โดยทางประสาทสัมผัส จึงไม่แตกต่างกันนัก ยกเว้นทางด้านกลิ่นรสที่ผู้ทดสอบชิมสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องจากการการลดลงของค่าความเป็นกรดด่างและการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณกรดแลคติคในผลิตภัณฑ์มีมากพอที่จะ ทำให้ผู้ทดสอบชิมรับรู้ถึงรสเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	กลิ่นข้าวกล้อง
หลังผลิต	1.00 ^{a}±0.03	0.95 ^{a}±0.08	1.04 ^{a} ±0.08	0.95 ^{a}±0.06	1.01 ^{a}±0.17
5	0.99 ^{a}±0.06	0.94 ^{a}±0.07	1.09 ^{a} ±0.08	0.95 ^{a}±0.07	0.99 ^{a}±0.10
10	1.03 ^{a}±0.07	0.97 ^{a}±0.08	1.13 ^{a} ±0.08	0.93 ^{a}±0.07	1.03 ^{a}±0.07
15	1.02 ^{a}±0.06	0.96 ^{a}±0.09	1.12 ^{a} ±0.08	0.92 ^{a}±0.07	1.01 ^{a}±0.06
20	1.02 ^{a}±0.06	0.96 ^{a}±0.04	1.12 ^{a} ±0.08	0.94 ^{a}±0.07	1.02 ^{a}±0.13
25	1.03 ^{a}±0.13	0.93 ^{a}±0.08	1.08 ^{a} ±0.08	0.86 ^{a}±0.07	0.99 ^{a}±0.05
30	1.02 ^{a}±0.11	0.94 ^{a}±0.07	1.02 ^{a} ±0.08	0.88 ^{a}±0.07	0.99 ^{a}±0.08

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 37 (ต่อ)

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับรวม
หลังผลิต	$0.95^{a}\pm0.05$	$0.96^{a}\pm0.24$	$1.00^{abc}\pm0.06$	$0.99^{a}\pm0.09$	$0.85^{a}\pm0.08$
5	$0.99^{a}\pm0.11$	$0.95^{a}\pm0.24$	$0.95^{a}\pm0.07$	$0.98^{a}\pm0.08$	$0.84^{ab}\pm0.09$
10	$0.96^{a}\pm0.09$	$0.98^{ab}\pm0.16$	$0.98^{ab}\pm0.07$	$0.94^{ab}\pm0.06$	$0.86^{a}\pm0.08$
15	$0.95^{a}\pm0.08$	$0.96^{c}\pm0.16$	$1.01^{abc}\pm0.07$	$0.93^{ab}\pm0.09$	$0.78^{ab}\pm0.10$
20	$1.03^{a}\pm0.09$	$1.04^{ab}\pm0.17$	$1.03^{abc}\pm0.07$	$0.88^{b}\pm0.16$	$0.82^{ab}\pm0.12$
25	$1.04^{a}\pm0.10$	$1.07^{ab}\pm0.17$	$1.07^{bc}\pm0.07$	$0.85^{b}\pm0.11$	$0.76^{b}\pm0.13$
30	$1.02^{a}\pm0.12$	$0.98^{b}\pm0.18$	$1.10^{c}\pm0.07$	$0.89^{b}\pm0.10$	$0.77^{b}\pm0.10$

หมายเหตุ : ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 10 คน ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6.4 การเปลี่ยนแปลงของ *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* และ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงของจำนวนเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ที่เหลือรอดอยู่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคหลังการผลิตและระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แสดงผลในตารางที่ 38 และภาพที่ 19 จำนวนเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* หลังการผลิตมีปริมาณเชื้อรวมประมาณ 9.16 log CFU/g หลังจากนั้น 5 วัน ปริมาณเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย แสดงว่าเชื้อยังสามารถเจริญได้ในระหว่างการที่เก็บรักษา แต่ลักษณะการเจริญจะเป็นไปแบบช้าๆ เนื่องจากอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่างไม่เหมาะแก่การเจริญ โดยสังเกตจากการลดลงของค่าความเป็นกรดด่าง ดังภาพที่ 17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

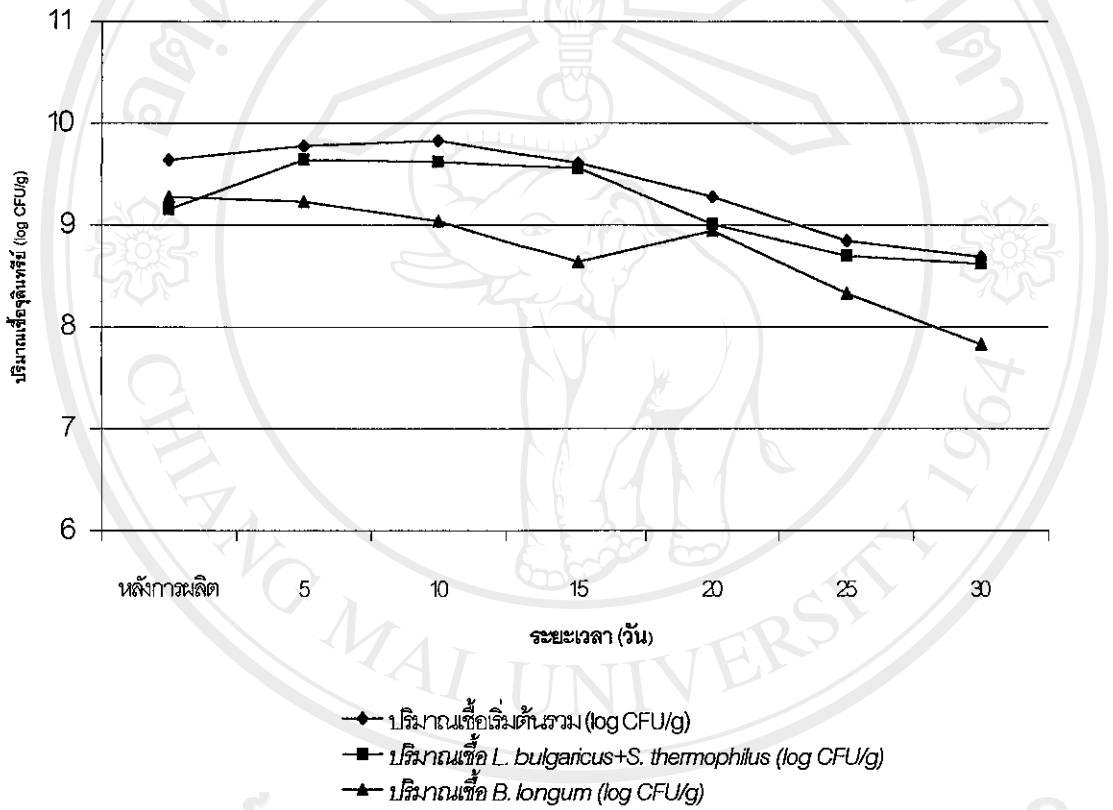
ตารางที่ 38 การเปลี่ยนแปลงจำนวนของเชื้อเริ่มต้นรวม เชื้อ *L. bulgaricus* , *S. thermophilus* และเชื้อ*B. longum* (log CFU/g) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

ระยะการเวลาเก็บ (วัน)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *L. bulgaricus* + *S. themophilus* (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
หลังผลิต	9.46^{b}	9.16^{b}	9.28^{a}
5	9.78^{ab}	9.64^{a}	9.23^{a}
10	9.83^{a}	9.62^{a}	9.04^{a}
15	9.61^{bc}	9.56^{a}	8.64^{a}
20	9.28^{c}	9.01^{b}	8.95^{a}
25	8.85^{d}	8.70^{c}	8.33^{b}
30	8.69^{d}	8.62^{c}	7.83^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อที่เหลือรอดของ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน ซึ่งนับจำนวนเชื้อโดยใช้วิธี Subtraction แสดงผลในตารางที่ 38 และภาพที่ 19 ซึ่งเห็นได้ว่าจำนวนเชื้อ *B. longum* จะค่อยๆ ลดจำนวนลง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P>0.05$) ที่ระยะการเก็บนาน 20 วัน แต่การเก็บนาน 25 และ 30 วันจะทำให้ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากหลังการผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงจำนวนของเชื้อเริ่มต้นรวม เชื้อ *L. bulgaricus*+*S. thermophilus* และเชื้อ *B. longum* (log CFU/g) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องที่พัฒนาแล้วที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณเชื้อ *L. bulgaricus, S. thermophilus* มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 15 วันแรก ส่วน ส่วน *B. longum* มีจำนวนลดลงเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Lanzanova et al (2001) ซึ่งได้รายงานถึงปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการเติมก่อนกระบวนการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยปริมาณเชื้อที่เหลือรอดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ระหว่างการผลิตและการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อที่ใช้ในการเติมก่อนกระบวนการหมักผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยถ้าปริมาณเชื้อที่เติมมากเพียงพอก็จะช่วยลดระยะเวลาในหมักรวมทั้งมีปริมาณเชื้อเหลือรอดในผลิตภัณฑ์จำนวนที่สูง นอกจากนั้นยังมีการรายงานผลการอยู่รอดของเชื้อ Bifidobacteria ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโอต ของ Martensson et al (2002) ซึ่งพบว่าปริมาณเชื้อ Bifidobacteria นั้นจะมีปริมาณลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน มีปริมาณเชื้อ Bifidobacteria เหลือรอดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโอตอยู่สูง 10^6 CFU/g และจากการศึกษาการผลิตโยเกิร์ตจากข้าวโอต (oat-based) พบว่า Bifidobacteria เจริญเหลือรอดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโอตได้เนื่องจาก Bifidobacteria นั้นสามารถใช้ β- glucan ที่มีอยู่ในข้าวโอตได้

จากการศึกษานี้พบว่าเชื้อ *B. longum* มีจำนวนลดลงแต่ยังคงเหลือปริมาณสูงถึง 8.85 log CFU/g ใน 20 วันแรกของการเก็บรักษา ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเชื้อ *B. longum* หลังการผลิต ทั้งนี้น่าจะมีเหตุผลมาจากปริมาณ *B. longum* ที่ใช้ร้อยละ 1.62 มีปริมาณสูงเพียงพอ และอาจเป็นเพราะมีการใช้เชื้อ *B. longum* ร่วมกับเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้อง ซึ่ง Shihata และ Shah (2002) พบว่าเชื้อที่มีคุณสมบัติเป็น proteolyic เช่น *L. bulgaricus* จะช่วยในการอยู่รอดของเชื้อโพรไบโอติค เช่น เชื้อ *L. acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp. ได้ การเพิ่มจำนวนการอยู่รอดของเชื้อ *Bifidobacterium* spp. เนื่องจากเชื้อ *L. bulgaricus* สามารถผลิตกรดอะมิโนจากการการย่อยเคซีน และเชื้อ *Bifidobacterium* spp. จะใช้กรดอะมิโนสำหรับการเจริญ

ต่อมาเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานกว่า 20 วัน พบว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างในผลิตภัณฑ์ลดลง (ตารางที่ 35) ความเป็นกรดด่างซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. longum* (Garror et al., 2001) อย่างไรก็ตามแม้ว่าเชื้อ *B. longum* จะมีปริมาณลดลงเมื่อมีการเก็บรักษานานกว่า 20 วันแต่ก็ถือว่าการลดลงอย่างมีนัยสำคัญเกิดขึ้นเมื่อเวลานานกว่า 20 วัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ผลิตภัณฑ์หมดอายุพอดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6.5 การเปลี่ยนแปลงจำนวนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

จากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน พบว่าปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและปริมาณยีสต์และรา ไม่มีการเจริญหรือการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงผลดังตารางที่ 39

ตารางที่ 39 การเปลี่ยนแปลงจำนวนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)และปริมาณยีสต์และรา (log CFU/g) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน

ระยะการเวลาเก็บ (วัน)	ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)	ปริมาณยีสต์และรา (log CFU/g)
หลังผลิต	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
5	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
10	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
15	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
20	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
25	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10
30	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 10

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะสามารถถนอมคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 30 วัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์มีเพียงเล็กน้อย โดยเชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* รวมเหลือรอดอยู่มากกว่า 10^8 CFU/g และเชื้อ *B. longum* ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติค มีจำนวนเชื้อเหลือรอดมากกว่า 10^7 CFU/g ในระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved