บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบชิมใช้ผู้ทดสอบชิม 12 คน เป็นชาย 4 คน หญิง 8 คน ผู้ทดสอบชิมทุกคนเป็นนักศึกษาปริญญาโทที่ลงทะเบียนเรียนและสอบผ่านวิชา Advanced Food Product and Process (FST 751) แล้ว ซึ่งวิชานี้มีการฝึกการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วย

ตัวอย่างโยเกิร์ตตราดัชชี่ขณะทดสอบชิมมีอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส

4.1.1 <u>การสำรวจผู้ทดสอบโดยใช้วิธี QDA ประยุกต์</u>

ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตรสธรรมชาติตรา ดัชชี่ ที่ผู้ทดสอบให้ความสนใจ และเห็นพ้องกันเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่

<u>ลักษณะปรากฏ</u>

- สี คือสีของเนื้อโยเกิร์ตซึ่งมีสีขาวนวลจนถึงสีเหลือง
- ลักษณะเนื้อ คือลักษณะของเนื้อโยเกิร์ตที่สังเกตได้ด้วยสายตาว่ามีความหยาบเป็นเม็ดหรือเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
- การเกิดเวย์ (Whey off) คือลักษณะที่โยเกิร์ตมีน้ำใสๆ แยกชั้นออกมาจากเนื้อโยเกิร์ตส่วนที่เป็นตะกอนนมหรือเคอร์ด (Curd)

<u>เนื้อสัมผัส</u>

- เนื้อโยเกิร์ต คือลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่สัมผัสได้เมื่อเข้าปาก มีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย (Sandy) หรือละเอียด เนียน (Smooth)
- ความรู้สึกในปาก คือความรู้สึกที่สัมผัสได้ขณะที่โยเกิร์ตอยู่ในปากและกำลังถูกกลืนล่วงลำคอลงไป มีลักษณะติดปากติดคอ หรือลื่นคอ
- ความเข้มข้น คือความรู้สึกถึงความเข้มข้นของปริมาณของแข็งในโยเกิร์ตขณะโยเกิร์ตอยู่ในปาก
- ความข้นหนืด คือความรู้สึกถึงเนื้อโยเกิร์ตว่าเหลวหรือข้นหนืด

<u>กลิ่นและรสชาติ</u>

- กลิ่นนม คือกลิ่นของน้ำนมที่เกิดจากองค์ประกอบในน้ำนม
- กลิ่นเปรี้ยว คือกลิ่นของสารให้กลิ่นที่เชื้อเริ่มต้นสังเคราะห์ขึ้น
- รสเปรี้ยว คือรสเปรี้ยวที่เกิดจากการหมักน้ำตาลของเชื้อเริ่มต้นให้เป็นกรด
- รสหวาน คือรสหวานที่รู้สึกได้ได้เมื่อโยเกิร์ตอยู่ในปาก

การยอมรับโดยรวม คือการยอมรับลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยรวมๆ ของผลิตภัณฑ์

4.1.2 ผลการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์

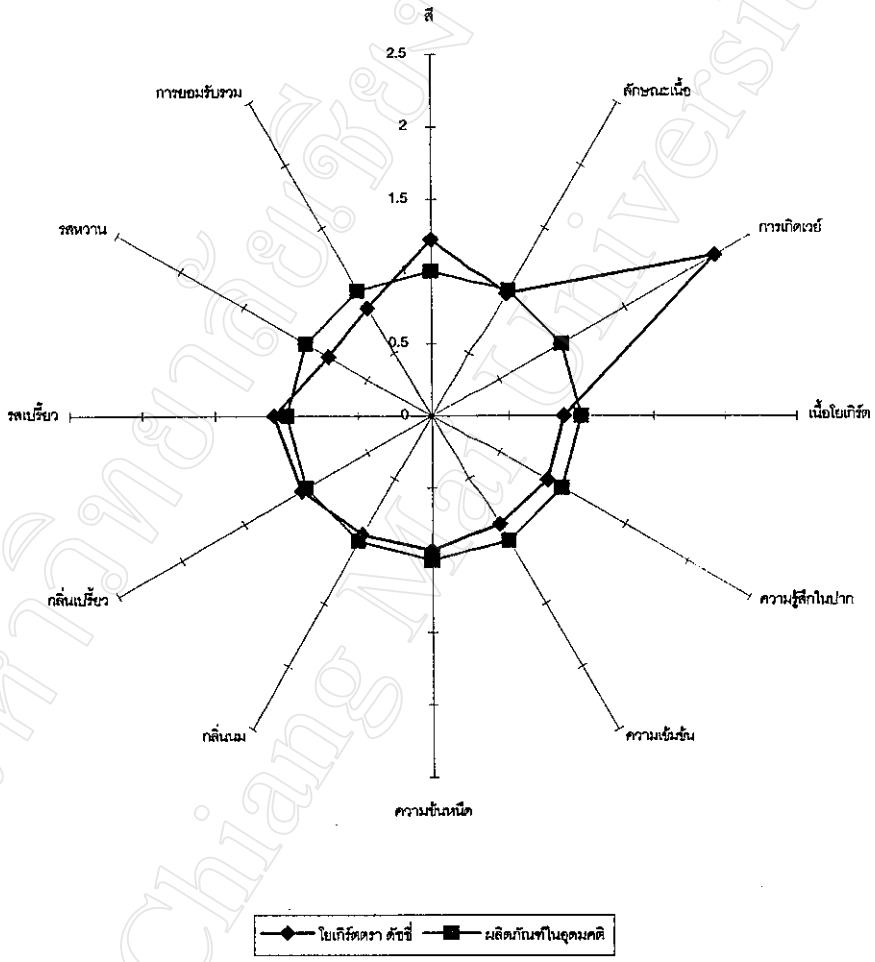
เมื่อได้ลักษณะทางประสาทสัมผัสตามข้อ 4.1.1 แล้ว นำลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าวมาทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี ideal ratio profile technique ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Ideal ratio score ของโยเกิร์ตตรา "ดัชชี่"

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ค่า Mean ideal ratio score
สี	1.22±0.30
ลักษณะเนื้อ	0.97±0.06
การเกิดเวย์	2.66±3.75
เนื้อโยเกิร์ต	0.88±0.18
ความรู้สึกในปาก	0.88±0.28
ความเข้มข้น	0.87±0.21
ความข้นหนืด	0.93±0.15
กลิ่นนม	0.95±0.22
กลิ่นเปรี้ยว	1.04±0.27
รสเปรี้ยว	1.09±0.23
รสหวาน	0.82±0.37
การยอมรับโดยรวม	0.86±0.09

* ค่า Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จากผู้ทดสอบชิม 12 คน

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ควรคำนึงถึงเป็นพิเศษคือ การแยกตัวของน้ำ สี รสหวาน ความรู้สึกในปาก ความเข้มข้น เนื้อโยเกิร์ต และการยอมรับโดยรวม



ภาพที่ 4.1 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ของโยเกิร์ตตรา ดัชชี่

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของโยเกิร์ตดราดัชชี่

คุณภาพ	
ค่าสี L	83.31±0.02*
ค่าสี a	-1.67±0.02
ค่าสี b	10.47±0.03
ความข้นหนืด (cp)	18,720±800
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	1.071±0.008
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.38±0.06
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%w/w)	21.67±0.08
ปริมาณไขมัน (%w/w)	3.39±0.09
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	4.91±0.01
ปริมาณโปรตีน (%w/w)	8.37±0.05
ปริมาณเถ้าทั้งหมด (%w/w)	0.830±0.015
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด (cfu/g)	$2.1x10^{8}$

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 ปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตดราดัชชี่ พบว่าได้มาตรฐานตรงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2523) และฉบับที่ 99 (พ.ศ. 2529) ในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 (ดูภาคผนวก จ) และจากผลรวมของปริมาณไขมัน โปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ และเถ้าเท่ากับร้อยละ 17.50 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เท่ากับร้อยละ 21.67 สันนิษฐานว่าอาจมีการผสมน้ำตาลซูโครสลงไปด้วย เพราะผลิตภัณฑ์มีรสหวาน แต่บนฉลากของผลิตภัณฑ์ไม่ได้ระบุไว้ว่ามีน้ำตาลทรายหรือซูโครสผสมอยู่ด้วย

4.2 พัฒนาสูตรและศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมต่าง ๆต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค

คุณภาพของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น

คุณภาพของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น ที่เป็น Intermediate starter ของ *Lactobacillus acidophilus* La-5, *Lactobacillus casei* Lc-01 และ *Bifidobacterium bifidum* Bb-12 แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น Intermediate starter บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 36 ชั่วโมง

เชื้อเริ่มต้น	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/v)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (cfu/ml)
L. acidophilus La-5	3.85±0.01*	2.39±0.02	8.0×10^9
L. casei Lc-01	4.23±0.01	1.56±0.03	2.1×10^9
B. bifidum Bb-12	4.48±0.02	1.35±0.02	8.5×10^8

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

Tamime and Robinson (1985), p. 1 ได้กล่าวไว้ว่าเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นแบบของเหลว (Liquid starter) ของจุลินทรีย์โยเกิร์ตของ Chr. Hansen's Laboratory Ltd. ซึ่งเป็นบริษัทผลิตเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมที่มีชื่อเสียงทั่วโลกมีปริมาณของเชื้อเริ่มต้นประมาณ 3-5 x 10^8 cfu/ml แสดงว่าเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่เตรียมได้นี้มีคุณภาพดี เหมาะสมที่จะนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงกว่าเชื้อเริ่มต้นของจุลินทรีย์โยเกิร์ตแบบดั้งเดิมที่มีจำหน่าย

4.2.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนนี้เป็นการกลั่นกรอง หรือคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต ซึ่งได้แก่ส่วนผสมต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในสูตรการผลิตที่มีผลกระทบต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้ทดสอบชิม โดยมีปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 8 ปัจจัย ได้แก่ นมผงธรรมดาชนิดละลายทันที นมผงขาดมันเนย เพคติน คาราจีแนน โลคัสต์บีนกัม เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น *B. bifidum*, *L. acidophilus* และ *L. casei*

ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมหมักขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา หลังจากหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 14 ชั่วโมง แสดง

ในตารางที่ 4.4 ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในรูปของค่า Mean ideal ratio score ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตในการทดลอง Plackett and Burmann

หน่วยทดลอง	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ความข้นหนืด (Centipoise)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด (log cfu/g)
1	83.36±0.05*	-1.83±0.01	10.29±0.01	15,293±30	1.90±0.01	4.21±0.00	8.46
2	83.95±0.24	-2.05±0.01	9.50±0.02	6,306±162	1.62±0.01	4.06±0.01	8.92
3	82.87±0.01	-2.38±0.06	10.35±0.04	1,946±140	1.34±0.02	4.42±0.01	8.83
4	82.70±0.20	-2.23±0.01	11.36±0.02	10,667±1,044	1.26±0.01	4.80±0.00	8.34
5	81.46±0.76	-2.58±0.01	11.28±0.03	2,847±122	0.923±0.026	5.26±0.00	8.46
6	82.23±0.11	-2.33±0.01	9.93±0.03	4,707±136	0.807±0.023	4.89±0.01	8.58
7	81.99±0.08	-2.58±0.04	9.74±0.06	1,213±133	1.07±0.005	4.30±0.00	8.60
8	81.79±0.08	-2.52±0.01	9.61±0.05	480±0.00	0.844±0.005	4.55±0.00	8.53
9	82.38±0.11	-2.39±0.02	10.59±0.04	4,000±183	1.60±0.02	4.21±0.01	8.91
10	82.35±0.10	-2.31±0.07	10.36±0.02	4,327±213	1.19±0.01	4.27±0.00	8.58
11	82.28±0.08	-2.24±0.02	10.77±0.02	3,447±42	1.57±0.002	4.30±0.01	8.93
12	83.24±0.01	-2.39±0.01	8.95±0.01	1,467±30	0.909±0.018	4.51±0.00	8.46
เฉลี่ย	**82.55±0.71**	**-2.32±0.22**	**10.23±0.72**	**4725±4306**	**1.25±0.36**	**4.48±0.35**	**8.63±0.21**

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

L = ค่าความสว่าง (Lightness) a = ค่าสีแดง (Redness)

b = ค่าสีเหลือง (Yellowness)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา แสดงให้เห็นว่าปริมาณของส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลองมีผลทำให้แต่ละหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมดนั้นอยู่ในช่วง 10^8 cfu/g ซึ่งเป็นปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่อยู่ในช่วงที่มีการใช้เชื้อเริ่มต้นที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติกในงานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติกและทางเดินอาหาร คืออยู่ในช่วง 10^7-10^{11} cfu/g (Nakazawa and Hosono, 1992, p.1) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นน้อยที่สุดที่สามารถให้คุณประโยชน์แก่ร่างกายได้เท่ากับ 10^5 cfu/g (Dave and Sha, 1996)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตจากการทดลอง Plackett and Burmann โดยใช้วิธี Ideal ratio profile technique ในรูปของ Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์นมหมัก

หน่วยทดลอง	สี	ลักษณะเนื้อ	การเกิดเวย์	เนื้อโยเกิร์ต	ความรู้สึกในปาก	ความเข้มข้น	ความข้นหนืด	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับโดยรวม
1	1.09±0.16*	0.97±0.05	2.22±1.93	0.98±0.03	0.96±0.09	1.00±0.02	1.02±0.05	0.90±0.07	1.15±0.22	1.24±0.22	0.67±0.27	0.71±0.18
2	1.02±0.20	0.99±0.04	3.83±4.97	0.99±0.03	0.95±0.10	0.94±0.07	0.94±0.08	0.91±0.06	1.18±0.25	1.21±0.21	0.73±0.20	0.73±0.12
3	1.29±0.28	0.96±0.10	3.57±3.42	0.87±1.16	0.90±0.15	0.84±0.19	0.78±0.24	0.97±0.10	1.03±0.09	1.01±0.18	0.77±0.23	0.71±0.14
4	1.29±0.18	0.94±0.07	1.78±1.13	0.89±0.15	0.89±0.11	1.00±0.03	1.00±0.06	0.95±0.07	0.99±0.25	0.87±0.22	0.85±0.27	0.78±0.14
5	1.20±0.18	0.98±0.05	3.84±3.79	0.96±0.09	0.96±0.08	0.85±0.15	0.77±0.24	1.02±0.11	0.87±0.27	0.76±0.23	0.86±0.25	0.77±0.16
6	1.12±0.10	0.85±0.15	3.23±3.58	0.91±0.14	1.00±0.10	0.97±0.03	0.96±0.06	0.99±0.13	0.84±0.21	0.77±0.18	0.81±0.26	0.78±0.11
7	1.06±0.12	0.93±0.07	3.24±4.28	0.80±0.15	0.85±0.21	0.93±0.13	0.93±0.10	0.98±0.06	1.09±0.11	1.11±0.13	0.75±0.23	0.75±0.14
8	1.13±0.14	0.90±0.18	4.65±4.52	0.84±0.18	0.99±0.15	0.76±0.20	0.67±0.25	0.97±0.12	0.87±0.20	0.87±0.23	0.78±0.27	0.69±0.15
9	1.19±0.12	0.84±0.17	3.51±3.62	0.73±0.21	0.77±0.18	0.98±0.07	1.02±0.07	0.95±0.11	1.18±0.26	1.15±0.25	0.74±0.25	0.70±0.15
10	1.14±0.15	0.84±0.15	3.61±3.35	0.76±0.18	0.77±0.19	0.96±0.14	1.03±0.09	0.96±0.08	1.07±0.23	1.04±0.22	0.80±0.24	0.74±0.15
11	1.25±0.17	0.83±0.14	2.76±1.96	0.70±0.19	0.78±0.22	1.01±0.06	1.04±0.10	0.95±0.11	1.17±0.16	1.15±0.16	0.72±0.25	0.72±0.16
12	1.03±0.13	1.00±0.02	3.15±3.40	0.99±0.03	1.02±0.17	0.75±0.20	0.73±0.25	0.98±0.13	0.97±0.13	0.92±0.13	0.77±0.23	0.73±0.14
ค่าเฉลี่ย	**1.15±0.09**	**0.92±0.06**	**3.28±0.76**	**0.87±0.10**	**0.90±0.09**	**0.91±0.09**	**0.91±0.13**	**0.96±0.03**	**1.03±0.13**	**1.01±0.17**	**0.77±0.05**	**0.73±0.03**

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

อิทธิพลของของแต่ละปัจจัยที่ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรการผลิตที่มีผลกระทบต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยหลัก (Major factors) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองในลักษณะต่างๆ (Response variables) ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด และปัจจัยรอง (Minor factors) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกัน แต่มีอิทธิพลน้อยกว่าปัจจัยหลัก ทั้งนี้นอกจากจะพิจารณาถึงจำนวนของลักษณะต่างๆ ที่มีผลกระทบแล้ว ยังพิจารณาถึงผลของปัจจัยดังกล่าวนั้นว่ามีความสำคัญต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ เพียงใด โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 75 ($p \leq 0.25$) ขึ้นไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดปัญหาการมองข้ามปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญไปได้ ค่า t-test ที่มีค่าเป็นลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นหมายความว่า เมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยนั้นๆ จะทำให้คุณภาพนั้นๆ ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำลง ค่า t-test ที่มีค่าเป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นหมายความว่า เมื่อเพิ่มระดับปัจจัยนั้นๆมากขึ้น มีผลทำให้คุณภาพนั้นๆของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลอง Plackett and Burmann แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

นมผงธรรมดามีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าสี a ค่าสี b ความข้นหนืด ลักษณะทางประสาทสัมผัส ความละเอียด ความเข้มข้น ความข้นหนืด รสหวาน และการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นจะทำให้ Buffer capacity เพิ่มขึ้น มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นทำให้มีความข้นหนืดสูงขึ้น ในนมผงธรรมดาก็มีไขมันอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณไขมันจะช่วยให้ลักษณะเนื้อของโยเกิร์ตมีความเนียน ละเอียดมากขึ้น ค่าสี a และค่าสี b ที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณไขมัน เพราะไขมันนมโดยทั่วไปจะมีสีเหลืองถึงเหลืองอมส้มเพราะมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ (Fennema, 1985) อยู่ด้วย เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว พบว่าการใช้ปริมาณนมผงธรรมดาเพิ่มขึ้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์นมหมักมีลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณภาพด้านความข้นหนืดดีขึ้น ดั้งนั้นการใช้นมผงธรรมดาที่ระดับสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

นมผงขาดมันเนยมีผลทำให้ปริมาณกรด ค่าสี b ความข้นหนืด ลักษณะทางประสาทสัมผัส สี ความเข้มข้น ความข้นหนืด และกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณของแข็งไม่รวมไขมัน (Solid not fat) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลแลคโตส โปรตีน และแร่ธาตุ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้คืออาหารของเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการเจริญเติบโต และปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันนี้ก็ช่วยเพิ่ม Buffer capacity ให้แก่น้ำนมด้วย ทำให้เชื้อเริ่มต้นสามารถผลิตกรดได้ดีโดยที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่ลดลงมาก ส่วนความละเอียด และความรู้สึกในปากลดลง เป็นเพราะนมผงขาดมันเนยมีไขมันน้อยมาก เมื่อโปรตีนเกิดการตกตะกอนจะไม่มีเม็ดไขมัน (Fat globules) มาช่วยกระจายตัวโปรตีน ทำให้โปรตีนจับตัวกันแน่น และลักษณะการเกิดเวย์ที่ลดลงก็เพราะปริมาณโปรตีนด้วย เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนขึ้นโปรตีนที่เกิดการตกตะกอนก็จะอุ้มน้ำไว้ใน

โครงสร้างได้ดีขึ้น และเป็นการดี เพราะจากการทดสอบผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตดราดัชชี่มีการเกิดเวย์มาก เมื่อพิจารณาดูแล้วควรใช้นมผงขาดมันเนยในระดับที่สูงขึ้น อาจทำให้ลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่า t ที่วิเคราะห์ได้จากผลการทดลอง Plackett and Burmann และระดับนัยสำคัญทางสถิติของผลกระทบของส่วนผสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

Response Variables	Input Variables							
	FCMP	SMP	La-5	Lc-01	Bb-12	Pectin	Carrageenan	LBG
ปริมาณกรดทั้งหมด	0.720	4.604^{e}	1.454^{a}	5.150^{e}	3.713^{e}	0.039	-0.170	-3.472^{e}
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	1.969^{c}	1.017	-1.608^{a}	-4.676^{e}	-2.182^{c}	0.000	-0.377	2.330^{c}
ค่าสี L	1.070	-0.366	0.921	2.300^{c}	0.998	-2.970^{d}	-1.970^{c}	-3.186^{e}
ค่าสี a	2.020^{c}	0.907	0.677	1.285	1.882^{b}	-0.516	-0.585	-2.054^{c}
ค่าสี b	3.118^{d}	7.554^{e}	1.349	-1.234	-1.572^{a}	1.580^{a}	3.195^{e}	1.726^{b}
ความข้นหนืด	2.661^{d}	1.660^{b}	-0.198	0.798	0.991	-0.125	0.002	-1.692^{b}
จำนวนเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด	-1.072	0.574	0.899	1.094	1.375	-0.704	0.379	-0.011
สี	0.832	6.464^{e}	2.678^{d}	-4.117^{e}	-0.325	0.907	4.780^{e}	1.696^{b}
เนื้อโยเกิร์ต	1.204	0.037	-1.216	0.318	-2.997^{d}	-1.473^{a}	-6.429^{e}	-3.250^{e}
การเกิดเวย์	-1.204	-2.037^{c}	0.507	0.286	0.512	0.622	-1.578^{a}	2.745^{d}
ความละเอียด	6.053^{e}	-1.653^{b}	-3.447^{e}	-1.619^{a}	-1.252	-3.550^{e}	-8.907^{e}	-3.242^{e}
ความรู้สึกในปาก	1.125	-1.728^{b}	-1.419	-2.367^{d}	0.274	-1.184	-3.807^{e}	-0.348
ความเข้มข้น	5.682^{e}	4.737^{e}	0.368	4.004^{e}	4.046^{e}	0.381	9.245^{e}	-3.532^{e}
ความข้นหนืด	3.174^{d}	2.123^{c}	0.139	3.216^{e}	2.469^{d}	0.175	6.215^{e}	-2.376^{d}
กลิ่นนม	-1.059	-0.857	-2.023^{c}	-3.121^{d}	-3.445^{e}	0.553	0.228	3.597^{e}
กลิ่นเปรี้ยว	-0.767	1.433^{a}	0.789	3.759^{e}	1.372	0.141	1.060	-2.620^{d}
รสเปรี้ยว	-1.301	1.060	0.864	5.904^{e}	2.785^{d}	1.019	0.368	-3.755^{e}
รสหวาน	1.896^{b}	-0.135	0.739	-3.615^{e}	-3.791^{e}	-1.076	0.932	2.811^{d}
การยอมรับรวม	3.436^{e}	-0.282	-1.037	-1.904^{b}	-2.436^{d}	-0.905	2.003^{c}	-0.393

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่กำกับตัวเลขในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่

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

คำย่อ: FCMP = นมผงธรรมดา; SMP = นมผงขาดมันเนย; LBG = โลคัสต์บีนกัม (Locust bean gum);

La-5 = *L. acidophilus*; Lc-01 = *L. casei*; Bb-12 = *B. bifidum*;

เชื้อเริ่มต้นทั้งสามชนิดนั้นให้ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง ซึ่งเป็นเพราะเชื้อเริ่มต้นทั้งสามชนิดนี้จะหมักน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมให้เกิดกรดแลคติกขึ้นนั่นเอง *L. acidophilus* และ *L. casei* ทำให้ความละเอียดของเนื้อโยเกิร์ตลดลงเมื่อใช้ที่ระดับสูงเนื่องจาก เมื่อใช้เชื้อเริ่มต้นในปริมาณสูง ปริมาณกรดทั้งหมดเริ่มต้นสูง จำนวนเชื้อเริ่มต้นก็สูง ทำให้ปฏิกิริยาการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว มีกรดเกิดขึ้นเร็วทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนแบบ Coagulation มากขึ้น ถ้าปริมาณเชื้อเริ่มต้นน้อย จะทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนแบบ Gelation มากกว่า เพราะอัตราการสร้างกรดต่ำ และปริมาณกรดทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นน้อย (Tamime and Robinson, 1985; Stenby, 1996) แต่ถ้าใช้ในระดับต่ำสุดจะมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้ จึงควรใช้ในระดับกลางๆ คือที่ร้อยละ 0.33 ของแต่ละชนิด

เพคตินมีผลต่อลักษณะต่างๆไม่มากนักได้แก่ ค่าสี L ค่าสี b ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส อีกทั้งลักษณะที่มีผลนั้นเพคตินให้ผลที่เป็นไปในทางลบ คืออาจทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ดี จึงใช้ในระดับต่ำคือไม่ใช้ไม่ใช้เพคตินเป็นสารเสริมความคงตัวในการศึกษาขั้นต่อไป

โลคัสต์บีนกัม (Locust bean gum, LBG) เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด แต่ให้ผลไปในทางลบเป็นส่วนใหญ่ เช่น ทำให้ความข้นหนืดลดลง ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสการเกิดเวย์เพิ่มขึ้น ลักษณะปรากฏของเนื้อโยเกิร์ต ความละเอียด และความเข้มข้นลดลง เป็นต้น อาจเนื่องมาจากโลคัสต์บีนกัมทำให้โปรตีนเคซีน (Casein) ในน้ำนมขาดเสถียรภาพ (Tamime and Robinson, 1985, p.1) จึงไม่ใช้โลคัสต์บีนกัมเป็นสารเสริมความคงตัวในการศึกษาขั้นต่อไป

คาราจีแนน แม้ว่าจะให้ผลในทางลบอยู่หลายลักษณะเช่น การเกิดเวย์ ความละเอียดของเนื้อโยเกิร์ต และความรู้สึกในปากลดลง ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสสี เพิ่มขึ้น และค่าสี L ลดลง ซึ่งหมายถึงทำให้สีเข้มขึ้น แต่ก็มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัส ความเข้มข้น ความข้นหนืด และการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงใช้คาราจีแนนในระดับต่ำกว่าร้อยละ 0.1

จากผลการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์นมหมักในด้านต่างๆจำนวน 8 ปัจจัยดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัสมากที่สุดคือ นมผงธรรมดาชนิดละลายทันที นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านกายภาพคือ สี (ทั้งค่า L, a และ b) และความข้นหนืด ทางด้านเคมี คือ ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง รวมทั้งมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเกือบทุกอย่าง ดังนั้นจึงควรให้ความ

สำคัญอย่างมากต่อการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก และเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

ส่วนเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น *L. acidophilus, L. casei* และ *B. bifidum* นั้นแม้จะมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ แต่ก็เป็นไปในทางลบเป็นส่วนใหญ่ จึงใช้ที่ระดับกลางเพื่อความปลอดภัยในการผลิต เพราะถ้ามีปริมาณเชื้อเริ่มต้นน้อยเกินไป เชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่หลงเหลืออยู่ในนมหรือที่ปนเปื้อนหลังจากการพาสเจอไรส์อาจเจริญแข่งขันกับเชื้อเริ่มต้น และทำให้ผลิตภัณฑ์นมหมักเน่าเสีย หรือด้อยคุณภาพลงได้ อีกทั้งอาจทำให้เกิดโรคจากเชื้อโรคที่เจริญในระหว่างการหมักได้

เพคตินและโลคัสต์บีนกัมจะไม่มีการนำมาใช้ในการทดลองต่อไป เพราะมีอิทธิพลทำให้ผลิตภัณฑ์นมหมักมีคุณภาพต่ำลง

ปัจจัยที่นำมาศึกษาในขั้นต่อไปคือ นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน โดยกำหนดช่วงระดับปริมาณที่ศึกษาใหม่ดังนี้ นมผงธรรมดาชนิดละลายทันที จากเดิมที่ระดับสูง (ร้อยละ 12) กำหนดช่วงใหม่เป็น ร้อยละ 12.5-15.5 นมผงขาดมันเนย จากเดิมที่ระดับสูง (ร้อยละ 8) กำหนดช่วงใหม่เป็นร้อยละ 5-10 เนื่องจากการเพิ่มระดับของนมผงธรรมดาในระดับสูง ถ้าเพิ่มปริมาณนมผงขาดมันเนยมากเกินไปอาจมีผลทำให้ลักษณะปรากฏ และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้อยลง เพราะผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งมากเกินไป คาราจีแนน จากเดิมที่ระดับต่ำเป็นร้อยละ 0 กำหนดช่วงใหม่เป็นร้อยละ 0.05-0.1

4.2.1 ผลของระดับการใช้ส่วนผสมที่เป็นปัจจัยหลักที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก

ผลการทดลองจากการทดลองในข้อ 4.2.1 ทำให้สามารถกลั่นกรองปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ 3 ปัจจัย คือ นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาในรายละเอียด เพื่อหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสม โดยใช้การทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment with central composite

ตารางที่ 4.7 ระดับการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนนในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

ปัจจัยที่ศึกษา	-1	0	+1
นมผงธรรมดา (%w/v)	12.5	14.0	15.5
นมผงขาดมันเนย (%w/v)	5.0	7.5	10.0
คาราจีแนน (%w/v)	0.05	0.075	0.10

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาแสดงในตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตแปรผันระดับการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน

หน่วยทดลอง	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ความข้นหนืด (Centipoise)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
1(l)	83.12±0.05*	-0.58±0.01	10.94±0.01	8,613±201	1.26±0.01	4.28±0.01
2(a)	83.37±0.05	-0.44±0.01	11.07±0.01	18,160±577	1.41±0.01	4.25±0.00
3(b)	82.94±0.08	-0.66±0.00	10.95±0.05	16,986±769	1.49±0.01	4.24±0.01
4(ab)	83.03±0.04	-0.32±0.00	11.32±0.02	39,467±1,379	1.78±0.02	4.29±0.01
5(c)	82.89±0.04	-0.62±0.01	11.13±0.03	5,760±277	1.27±0.01	4.20±0.02
6(ac)	82.87±0.04	-0.42±0.00	11.59±0.04	40,373±2,126	1.72±0.01	4.30±0.02
7(bc)	82.85±0.04	-0.62±0.01	11.12±0.01	38,506±1,240	1.32±0.04	4.54±0.01
8(abc)	83.00±0.06	-0.42±0.00	11.24±0.03	50,427±2,002	1.62±0.02	4.39±0.01
9(CP_1)	83.50±0.01	-0.66±0.02	10.89±0.04	24173±780	1.27±0.01	4.46±0.01
10(CP_2)	83.61±0.03	-0.73±0.01	10.79±0.01	20,133±1,132	1.43±0.01	4.29±0.01
11(CP_3)	83.59±0.01	-0.72±0.01	10.84±0.04	22,693±884	1.56±0.01	4.16±0.01

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

หน่วยทดลอง	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด (log cfu/g)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. acidophilus* (log cfu/g)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. casei* (log cfu/g)
1(l)	8.74	8.48	8.39
2(a)	8.80	8.41	8.57
3(b)	8.70	8.28	8.49
4(ab)	8.93	8.74	8.48
5(c)	8.73	8.56	8.24
6(ac)	8.88	8.66	8.48
7(bc)	8.70	8.59	8.06
8(abc)	8.87	8.79	8.13
9(CP_1)	8.78	8.66	8.16
10(CP_2)	8.70	8.59	8.08
11(CP_3)	8.72	8.57	8.19

หมายเหตุ: *ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

(l) = ระดับต่ำ; a = นมผงธรรมดาที่ระดับสูง; b = นมผงขาดมันเนยที่ระดับสูง;

c = คาราจีแนนที่ระดับสูง; CP = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 4.9 ค่า Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่แปรผันระดับการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน

หน่วยทดลอง	สี	ลักษณะเนื้อ	การเกิดเวย์	เนื้อโยเกิร์ต	ความรู้สึกในปาก	ความเข้มข้น	ความข้นหนืด	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับโดยรวม
1(l)	1.18±0.31*	0.98±0.05	2.39±1.38	0.99±0.04	0.98±0.24	0.73±0.26	0.74±0.23	0.79±0.26	0.95±0.37	1.01±0.15	0.72±0.22	0.63±0.32
2(a)	1.17±0.29	0.92±0.12	1.94±1.23	0.97±0.04	0.93±0.19	0.84±0.23	0.92±0.08	0.88±0.26	0.91±0.34	1.12±0.24	0.75±0.20	0.71±0.29
3(b)	1.19±0.31	0.91±0.16	2.76±2.86	0.95±0.07	0.94±0.09	0.90±0.08	0.85±0.15	0.91±0.14	1.03±0.16	1.08±0.07	0.78±0.18	0.76±0.15
4(ab)	1.29±0.31	0.67±0.27	3.65±6.30	0.80±0.21	0.84±0.23	1.01±0.05	1.03±0.08	0.94±0.07	1.07±0.25	1.13±0.17	0.67±0.30	0.68±0.19
5(c)	1.19±0.31	0.91±0.15	2.80±1.73	0.94±0.07	0.88±0.24	0.77±0.23	0.76±0.25	0.82±0.26	0.94±0.35	1.19±0.26	0.70±0.26	0.63±0.28
6(ac)	1.29±0.30	0.69±0.25	2.59±3.15	0.89±0.06	0.84±0.15	1.03±0.04	1.04±0.04	0.99±0.05	0.97±0.41	1.04±0.21	0.77±0.19	0.57±0.37
7(bc)	1.23±0.27	0.86±0.16	3.51±5.39	0.95±0.06	0.90±0.17	0.93±0.11	0.94±0.06	0.86±0.26	0.89±0.35	0.95±0.13	0.83±0.19	0.81±0.19
8(abc)	1.27±0.32	0.71±0.27	3.89±6.35	0.87±0.12	0.78±0.25	1.03±0.04	1.05±0.06	0.97±0.08	1.02±0.21	1.00±0.11	0.87±0.18	0.88±0.06
9(CP_1)	1.18±0.29	0.95±0.07	2.18±1.24	0.98±0.05	0.99±0.19	0.92±0.09	0.96±0.03	0.97±0.04	0.90±0.33	0.99±0.09	0.85±0.19	0.80±0.17
10(CP_2)	1.19±0.29	0.93±0.08	2.84±3.00	0.97±0.03	0.93±0.17	0.93±0.10	0.95±0.05	0.98±0.06	1.02±0.21	1.04±0.07	0.75±0.27	0.74±0.29
11(CP_3)	1.21±0.28	0.93±0.08	6.86±11.5	0.95±0.04	0.98±0.13	0.97±0.05	0.98±0.09	0.95±0.06	0.98±0.16	1.12±0.33	0.68±0.25	0.69±0.30

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

(l) = ระดับต่ำ; a = นมผงธรรมดาที่ระดับสูง; b = นมผงขาดมันเนยที่ระดับสูง; c = คาราจีแนนที่ระดับสูง; CP = จุดกึ่งกลาง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา (ตารางที่ 4.8) พบว่าการใช้ปัจจัยทั้งสามอย่าง คือ นมธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน มีผลต่อค่าสี L a b ความข้นหนืด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด และปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. casei* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

(1) ค่าสี L = 83.566-0.557(นมผงธรรมดา)^2-0.105(คาราจีแนน); R^2=0.8256

(2) ค่าสี a = -0.703+0.109(นมผงธรรมดา)+ 0.193(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.9018

(3) ค่าสี b = 10.840+0.133(นมผงธรรมดา)+0.101(คาราจีแนน)- 0.0787(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)- 0.0725(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)+ 0.328(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.9682

(4) ความข้นหนืด = 25,935+9,820(นมผงธรรมดา)+9,060(นมผงขาดมันเนย)+ 6,480(คาราจีแนน)-4,453(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย) (คาราจีแนน); R^2=0.9008

(5) ปริมาณกรดทั้งหมด = 1.467 +0.150(นมผงธรรมดา); R^2=0.4636

(6) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด = 8.733+0.0762(นมผงธรรมดา)+ 0.0604(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.7541

(7) ปริมาณ *L. casei* = 8.143-0.127(คาราจีแนน)+0.212(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.5589

ในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าระดับการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน มีผลตอบสนองต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆ โดยสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

(8) ลักษณะเนื้อ = 0.937-0.0821(นมผงธรรมดา)-0.104(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.5310

(9) เนื้อโยเกิร์ต = 0.935-0.0358(นมผงธรรมดา); R^2=0.2528

(10) ความเข้มข้น = 0.915+0.0724(นมผงธรรมดา)+0.0614(นมผงขาดมันเนย); R^2=0.6723

(11)กลิ่นนม = 0.965+0.0497(นมผงธรรมดา)-0.0698(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.5697

(12) การยอมรับโดยรวม= 0.727+0.0642(นมผงขาดมันเนย)+
0.03876(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน); R^2=0.6123

ในการคำนวณหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จะนำเอาสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาว่าสมการถดถอยนั้นๆมีความแม่นยำในการคาดคะเนผลเพียงใด มาทำการถอดรหัสของตัวแปรของแต่ละสมการ ทั้งเพื่อให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะที่เป็น Ideal ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด การพิจารณาจะเลือกสมการถดถอยที่มีค่า R^2 สูง (มีค่าเข้าใกล้ 1) มาทำการถอดรหัส (Decoding) ของตัวแปรของสมการ Coded equation ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำเอาสมการ Coded equation มาแก้สมการโดยมีสูตรคำนวณดังนี้

ตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัส = ค่าจริง-(ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น+ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น)/2
(ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น-ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น)/2

จากนั้นเอาปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสไปแทนในสมการ Coded equation และแก้ไขสมการได้เป็นสมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ซึ่งสามารถนำเอาสมการที่ได้นี้ไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นได้ แต่การคาดคะเนจะต้องไม่ทำในช่วงที่เกินจากช่วงระดับสูงต่ำที่ได้จากการทดลองเท่านั้น

ผลของสมการที่ถอดรหัสแล้วแสดงดังต่อไปนี้

(13) ค่าสี L = 33.360-0.248(นมผงธรรมดา)^2+6.931(นมผงธรรมดา)-
4.200(คาราจีแนน); R^2=0.8256

(14) ค่าสี a = 2.986-0.563(นมผงธรรมดา)+0.0214(นมผงธรรมดา)^2;
R^2=0.9018

(15) ค่าสี b = 17.797-1.0308(นมผงธรรมดา)-5.762(คาราจีแนน)+
1.0383(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)-
0.0779(นมผงขาดมันเนย)-
0.0967(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)+
0.00725(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)+
0.725(นมผงธรรมดา)(คาราจีแนน)+
0.0364(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.9682

(16) ความข้นหนืด = 3558.61-66.647(นมผงธรรมดา)-4422.56(นมผงขาดมันเนย)-493861.4(คาราจีแนน)-5937.72(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)+445.33(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)+44532.9(นมผงธรรมดา)(คาราจีแนน)+83128.08(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน); R^2=0.9008

(17) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม= 9.693-0.163(นมผงธรรมดา)+0.00671(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.7541

(18) ลักษณะความเข้มข้น = 0.485+0.0241(นมผงธรรมดา)+0.0123(นมผงขาดมันเนย); R^2=0.6723

(19) การยอมรับโดยรวม= 0.805-0.0104(นมผงขาดมันเนย)+0.310(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)-2.325(คาราจีแนน); R^2=0.6123

สมการที่ได้จากการถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) สามารถนำไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นโดยแทนค่าระดับปริมาณการใช้ของนมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนนในช่วงที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองของแต่ละลักษณะให้มีค่า Mean ideal ratio score เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด คือเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด ในกรณีของการตอบสนองของลักษณะที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ส่วนสมการความสัมพันธ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เช่นค่าสี L a b ที่ได้จากการวัดสี ความข้นหนืดที่ได้จากการวัดความข้นหนืด จะแทนค่าระดับปริมาณการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนนในช่วงที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองที่จุดที่ดีที่สุดของลักษณะนั้นๆ ค่าการตอบสนองของค่าที่ได้จะพิจารณาให้สัมพันธ์กับค่าตอบสนองที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำสมการที่ถอดรหัสแล้วมาแทนค่าระดับการใช้นมผงธรรมดาในช่วงที่ทำการศึกษา คือ ร้อยละ 12.5-15.5 นมผงขาดมันเนย ร้อยละ 5-10 และคาราจีแนน ร้อยละ 0.05-0.1 เพื่อคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

(13) ค่าสี L = 71.585-0.0619(นมผงธรรมดา)^2+1.734(นมผงธรรมดา)-4.212(คาราจีแนน); R^2=0.8256

แทนค่า f(นมผงธรรมดา,คาราจีแนน) ได้ผลดังนี้

f(12.5,0.05) = 83.11

f(12.5,0.075) = 83.01

f(12.5,0.1) = 83.90

f(14,0.05) = 83.67

f(14,0.075) = 83.57

f(14,0.1) = 83.46

f(15.5,0.05) = 83.11

f(15.5,0.075) = 83.01

f(15.5,0.1) = 83.90

ข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.8 และ 4.9) ทำให้ทราบถึงค่าสี L ที่ดีที่สุดที่สัมพันธ์กับลักษณะสีของผู้บริโภค พบว่าค่าสีที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 83.37 ดังนั้นระดับการใช้นมผงธรรมดาและคาราจีแนนที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสี L ที่มีค่าเข้าใกล้ค่าดีที่สุด คือการใช้คาราจีแนนที่ระดับสูง และการใช้นมผงธรรมดาที่ระดับกลาง

(14) ค่าสี a = 2.986-0.563(นมผงธรรมดา)+0.0214(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.9018

แทนค่า f(นมผงธรรมดา) f(12.5) = -0.71

f(14) = -0.70

f(15.5) = -0.60

ข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.8 และ 4.9) ทำให้ทราบถึงค่าสี a ที่ดีที่สุดที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยลักษณะสีของผู้บริโภค พบว่าค่าสี a ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ –0.44 ดังนั้นระดับการใช้นมผงธรรมดาที่น่าจะเหมาะสมที่ทำให้ค่าสี a ที่มีค่าเข้าใกล้ค่าดีที่สุด คือการใช้นมผงธรรมดาที่ระดับสูง

(15) ค่าสี b = 17.797-1.0308(นมผงธรรมดา)-5.762(คาราจีแนน)+
1.0383(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)-
0.0779(นมผงขาดมันเนย)-
0.0967(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)+
0.00725(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)+
0.725(นมผงธรรมดา)(คาราจีแนน)+
0.0364(นมผงธรรมดา)^2; R^2=0.9682

แทนค่า f(นมผงธรรมดา,นมผงขาดมันเนย,คาราจีแนน) ได้ผลดังนี้

f(12.5,5,0.05)	=	10.79
f(12.5,7.5,0.05)	=	10.80
f(12.5,10,0.05)	=	10.81
f(12.5,5,0.075)	=	10.85
f(12.5,5,0.1)	=	10.92
f(12.5,7.5,0.075)	=	10.85
f(12.5,7.5,0.1)	=	10.91
f(14,5,0.05)	=	10.77
f(14,7.5,0.05)	=	10.79
f(14,10,0.05)	=	10.81
f(14,5,0.075)	=	10.84
f(14,5,0.1)	=	10.91
f(14,7.5,0.075)	=	10.84
f(14,7.5,0.1)	=	10.89
f(15.5,5,0.05)	=	10.91
f(15.5,7.5,0.05)	=	10.94
f(15.5,10,0.05)	=	10.97
f(15.5,5,0.075)	=	10.99
f(15.5,5,0.1)	=	11.07
f(15.5,7.5,0.075)	=	10.99
f(15.5,7.5,0.1)	=	11.04
f(15.5,10,0.075)	=	10.99
f(15.5,10,0.1)	=	11.01

ข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.8 และ 4.9) ทำให้ทราบถึงค่าสี b ที่ดีที่สุดที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยลักษณะสีของผู้ทดสอบชิมพบว่าค่าสี b ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 11.07 ดังนั้น ระดับการใช้ปัจจัยที่ น่าจะเหมาะสมที่ทำให้ค่าสี b ที่มีค่าเข้าใกล้ค่าดีที่สุด คือการใช้นมผงธรรมดาที่ระดับสูง (ร้อยละ 15.5) นมผงขาดมันเนยที่ระดับต่ำ (ร้อยละ 5) และคาราจีแนนที่ระดับสูง (ร้อยละ 0.1)

(16) ความข้นหนืด = 3558.61-66.647(นมผงธรรมดา)-4422.56(นมผงขาดมันเนย)-
493861.4(คาราจีแนน)-
5937.72(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)+
445.33(นมผงธรรมดา)(นมผงขาดมันเนย)+
44532.9(นมผงธรรมดา)(คาราจีแนน)+
83128.08(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน); R^2=0.9008

แทนค่า f(นมผงธรรมดา,นมผงขาดมันเนย,คาราจีแนน) ได้ผล มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ ดังนี้

f(12.5,5,0.05)	=	13,812
f(12.5,7.5,0.05)	=	17,786
f(12.5,10,0.05)	=	21,759
f(12.5,5,0.075)	=	16,496
f(12.5,5,0.1)	=	19,179
f(12.5,7.5,0.075)	=	21,026
f(12.5,7.5,0.1)	=	24,266
f(14,5,0.05)	=	18,166
f(14,7.5,0.05)	=	22,696
f(14,10,0.05)	=	27,226
f(14,5,0.075)	=	21,406
f(14,5,0.1)	=	24,646
f(14,7.5,0.075)	=	25,936
f(14,7.5,0.1)	=	29,176
f(15.5,5,0.05)	=	22,519
f(15.5,7.5,0.05)	=	27,606
f(15.5,10,0.05)	=	32,693
f(15.5,5,0.075)	=	26,316
f(15.5,5,0.1)	=	30,112
f(15.5,7.5,0.075)	=	30,846
f(15.5,7.5,0.1)	=	34,086
f(15.5,10,0.075)	=	35,376
f(15.5,10,0.1)	=	38,059

จากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.8 และ 4.9) ทำให้ทราบว่าค่าความข้นหนืดที่ดีที่สุดที่การยอมรับของผู้ทดสอบชิมในลักษณะความข้นหนืด (เข้าใกล้ 1มากที่สุด) มีค่าเท่ากับ 39,467 เซนติพอยส์ และจากการแทนค่าในสมการถดถอยของความข้นหนืด (16) พบว่าระดับการใช้ที่น่าจะเหมาะสมที่จะทำให้ความข้นหนืดมีค่าใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดคือการใช้นมผงธรรมดาที่ระดับสูง (ร้อยละ 15.5) นมผงขาดมันเนยที่ระดับสูง (ร้อยละ 10) และคาราจีแนนที่ระดับสูง (ร้อยละ 0.1)

(17) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม= 9.693-0.163(นมผงธรรมดา)+0.00671(นมผงธรรมดา)^2;
R^2=0.7541

แทนค่า f(นมผงธรรมดา) ได้ผล (มีหน่วยเป็น log CFU/g) ดังนี้

f(12.5) = 8.71
f(14) = 8.73
f(15.5) = 8.79

ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวมนี้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์กับลักษณะทางประสาทสัมผัสใดได้ แต่ถ้าคำนึงถึงปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่มากที่สุดแล้ว การใช้นมผงธรรมดาที่ระดับสูง (ร้อยละ 15.5) น่าจะเป็นระดับการใช้ที่เหมาะสม

(18) ลักษณะความเข้มข้น= 0.485+0.0241(นมผงธรรมดา)+0.0123(นมผงขาดมันเนย);
R^2=0.6723

แทนค่า f(นมผงธรรมดา,นมผงขาดมันเนย) ได้ผลดังนี้

f(12.5,5) = 0.85
f(12.5,7.5) = 0.88
f(12.5,10) = 0.91
f(14,5) = 0.89
f(14,7.5) = 0.91
f(14,10) = 0.95
f(15.5,5) = 0.92
f(15.5,7.5) = 0.95
f(15.5,10) = 0.98

จากการแทนค่าในสมการของความเข้มข้น (18) แสดงให้เห็นว่าการใช้นมผงธรรมดาและนมผงขาดมันเนยที่ระดับสูง (ร้อยละ 15.5 และ 10 ตามลำดับ) จะทำให้ค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะความเข้มข้นเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

(19) การยอมรับโดยรวม= 0.805-0.0104(นมผงขาดมันเนย)+
0.310(นมผงขาดมันเนย)(คาราจีแนน)-2.325(คาราจีแนน);
R^2=0.6123

แทนค่า f(นมผงขาดมันเนย,คาราจีแนน)

f(5,0.05)	=	0.71
f(5,0.075)	=	0.69
f(5,0.1)	=	0.69
f(7.5,0.05)	=	0.73
f(7.5,0.075)	=	0.73
f(7.5,0.1)	=	0.73
f(10,0.05)	=	0.75
f(10,0.075)	=	0.76
f(10,0.1)	=	0.77

จากการแทนค่าระดับการใช้นมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนในสมการของการยอมรับโดยรวม (19) รวมพบว่าระดับการใช้ที่น่าจะเหมาะสมคือนมผงขาดมันเนยและคาราจีแนนควรใช้ที่ระดับสูง (ร้อยละ 10 และ 0.1 ตามลำดับ)

ผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยส่วนใหญ่ของนมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนนจะดีเมื่อใช้ในระดับสูง แต่จากการทดลองในข้อ 4.2.1 คาราจีแนนอาจมีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสหลายอย่างในทางลบ เช่นการเกิดเวย์ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปาก เป็นต้น หากใช้ในปริมาณสูงเกินไป ประกอบกับคาราจีแนนมีราคาแพง คือราคากิโลกรัมละกว่า 900 บาท จึงลดระดับการใช้ลงอยู่ที่ระดับกลาง สรุปได้ว่า

นมผงธรรมดา ควรใช้ที่ระดับสูง คือ ร้อยละ 15.5
นมผงขาดมันเนย ควรใช้ที่ระดับสูง คือ ร้อยละ 10
คาราจีแนน ควรใช้ที่ระดับกลาง คือ ร้อยละ 0.075

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

จากการทดลองพัฒนาสูตรในเบื้องต้น ทำให้สามารถสรุปสูตรการผลิตของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตได้อย่างเหมาะสม ในการทดลองนี้จะเป็นการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก เนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เช่นกัน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการหมัก เนื่องจากเชื้อเริ่มต้นทั้งสามชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน คือ *B. bifidum* และ *L. acidophilus* เป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) ส่วน *L. casei* เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกิน 37 องศาเซลเซียส (Mesophilic bacteria) ดังนั้นอุณหภูมิจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเริ่มต้นแต่ละชนิดด้วย

ในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต อุณหภูมิและเวลาในการหมักมีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ต โดยที่ เมื่อหมักที่อุณหภูมิต่ำ (30-35 องศาเซลเซียส) ใช้เวลานานจะทำให้อัตราการเกิดกรดแลคติกช้า มีผลให้ลักษณะเนื้อโยเกิร์ตเนียน โปรตีนมีการตกตะกอนแบบ Gelation (Protein-water interaction) อย่างสม่ำเสมอ การเกิดเวย์น้อย ถ้าใช้อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 37 องศาเซลเซียส) และเวลาไม่นาน อัตราการผลิตกรดแลคติกเร็ว การตกตะกอนเกิดเร็ว ซึ่งมีผลให้เกิดการตกตะกอนแบบ Aggregation (Protein-protein interaction) มากขึ้น ทำให้ลักษณะเนื้อไม่เนียน เป็นเม็ดหรือเนื้อสัมผัสหยาบ

การทดลองนี้ใช้การทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with central composite แผนการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ระดับของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหมักผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

ปัจจัยที่ศึกษา	-1	0	1
อุณหภูมิหมัก (^{o}C)	35	37	39
เวลาหมัก (ชั่วโมง)	12	13	14

เหตุที่กำหนดเวลาหมักให้เร็วขึ้นเนื่องจากในการทดลองที่ผ่านมา ลักษณะทางประสาทสัมผัส รสเปรี้ยวมีค่า Mean ideal ratio score สูงกว่า 1.00 หลายหน่วยทดลอง รวมทั้งผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่มีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวมากเกินไป

ตารางที่ 4.11 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ใช้อุณหภูมิและเวลาหมักแตกต่างกัน

หน่วยทดลอง	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ความข้นหนืด (Centipoise)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
1(l)	81.76±0.13*	-0.97±0.03	12.576±0.04	5,833±200	0.73±0.01	5.54±0.01
2(x)	82.80±0.08	-0.77±0.01	11.72±0.02	29,263±1574	1.27±0.01	4.84±0.03
3(y)	81.47±0.08	-1.15±0.01	12.91±0.07	13,097±241	0.96±0.04	5.24±0.03
4(xy)	83.36±0.11	-0.86±0.01	11.20±0.08	28,787±578	1.63±0.01	4.40±0.01
5(CP_1)	83.21±0.11	-1.04±0.01	11.30±0.05	28,353±1362	1.27±0.01	4.85±0.01
6(CP_2)	82.99±0.31	-1.07±0.02	11.32±0.17	26,053±1437	1.23±0.01	4.91±0.01
7(CP_3)	83.31±0.11	-1.00±0.02	11.34±0.06	26,896±1769	1.31±0.02	4.87±0.03

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

หน่วยทดลอง	ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log cfu/g)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. acidophilus* (log cfu/g)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. casei* (log cfu/g)
1(l)	8.91	8.72	8.66
2(x)	8.91	8.79	8.00
3(y)	8.71	8.64	8.65
4(xy)	8.61	8.89	8.33
5(CP_1)	8.69	8.88	8.15
6(CP_2)	8.79	8.70	8.08
7(CP_3)	8.76	8.79	8.18

หมายเหตุ: *ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

(l) = ระดับต่ำ; x = อุณหภูมิหมักที่ระดับสูง; y = เวลาหมักที่ระดับสูง; CP = จุดกึ่งกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 4.12 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ใช้อุณหภูมิและเวลาหมักแตกต่างกัน

หน่วยทดลอง	สี	ลักษณะเนื้อ	การเกิดเวย์	เนื้อโยเกิร์ต	ความรู้สึกในปาก	ความเข้มข้น	ความข้นหนืด	กลิ่นนม	กลิ่นเปรี้ยว	รสเปรี้ยว	รสหวาน	การยอมรับโดยรวม
1(l)	1.27±0.41*	1.02±0.03	3.15±3.10	1.00±0.07	1.04±0.19	0.79±0.23	0.73±0.28	1.01±0.10	0.67±0.33	0.70±0.31	0.83±0.31	0.65±0.27
2(x)	1.20±0.38	0.81±0.21	2.59±3.70	0.79±0.18	0.80±0.21	1.05±0.05	1.10±0.12	1.08±0.13	0.85±0.28	0.86±0.23	0.77±0.29	0.73±0.26
3(y)	1.31±0.36	0.98±0.06	3.59±2.59	0.99±0.06	0.97±0.08	0.90±0.06	0.91±0.13	1.02±0.14	0.74±0.31	0.76±0.24	0.80±0.29	0.76±0.18
4(xy)	1.07±0.17	0.86±0.10	3.81±2.94	0.90±0.07	0.88±0.10	1.02±0.04	1.04±0.06	0.98±0.09	1.08±0.35	1.21±0.23	0.62±0.28	0.67±0.27
5(CP_1)	1.07±0.30	0.91±0.06	1.94±1.33	0.92±0.06	0.95±0.13	1.01±0.05	1.06±0.07	1.00±0.09	0.87±0.26	0.93±0.21	0.75±0.26	0.79±0.17
6(CP_2)	1.10±0.18	0.84±0.24	2.37±1.69	0.93±0.05	0.96±0.08	0.99±0.05	1.03±0.04	1.03±0.10	0.89±0.31	0.95±0.17	0.74±0.29	0.81±0.21
7(CP_3)	1.07±0.17	0.83±0.26	1.70±0.68	0.92±0.09	0.90±0.19	1.01±0.04	1.04±0.07	1.01±0.07	0.91±0.29	0.94±0.15	0.75±0.27	0.82±0.13

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

(l) = ระดับต่ำ; x = อุณหภูมิหมักที่ระดับสูง; y = เวลาหมักที่ระดับสูง; CP = จุดกึ่งกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา (ตารางที่ 4.10) พบว่าการใช้ปัจจัยทั้งสองอย่าง คือ อุณหภูมิหมักและเวลาหมัก มีผลต่อค่าสี L a b ความข้นหนืด ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้งหมด และปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. casei* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

(20) ค่าสี L = $83.171+0.733(\text{อุณหภูมิหมัก})-0.826(\text{อุณหภูมิหมัก})^2+0.214(\text{อุณหภูมิหมัก})(\text{เวลาหมัก})$; $R^2=0.9611$

(21) ค่าสี a = $-0.980+0.127(\text{อุณหภูมิหมัก})$; $R^2=0.5451$

(22) ค่าสี b = $11.322-0.636(\text{อุณหภูมิหมัก})-0.0425(\text{เวลาหมัก})+0.773(\text{อุณหภูมิหมัก})^2-0.216(\text{อุณหภูมิหมัก})(\text{เวลาหมัก})$; $R^2=0.9992$

(23) ความข้นหนืด = $27,067.7+9,780.3(\text{อุณหภูมิหมัก})-7,822.9(\text{อุณหภูมิหมัก})^2$; $R^2=0.9147$

(24) ปริมาณกรดทั้งหมด= $1.270+0.303(\text{อุณหภูมิหมัก})+0.147(\text{เวลาหมัก})-0.123(\text{อุณหภูมิหมัก})^2$; $R^2=0.9695$

(25) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง= $4.880-0.385(\text{อุณหภูมิหมัก})-0.185(\text{เวลาหมัก})+0.125(\text{อุณหภูมิหมัก})^2$; $R^2=0.9804$

(26) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม= $8.767-0.123(\text{เวลาหมัก})$; $R^2=0.7929$

(27) ปริมาณ *L. acidophilus*= $8.773+0.080(\text{อุณหภูมิหมัก})$; $R^2=0.3960$

(28) ปริมาณ *L. casei* = $8.137-0.245(\text{อุณหภูมิหมัก})+0.273(\text{อุณหภูมิหมัก})^2$; $R^2=0.7905$

ในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าอุณหภูมิหมักและเวลาหมักมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าจะเป็น $p \leq 0.05$ โดยสามารถแสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

(29) ลักษณะสี = $1.083-0.0792(\text{อุณหภูมิหมัก})-0.0242(\text{เวลาหมัก})+0.129(\text{อุณหภูมิหมัก})^2-0.0422(\text{อุณหภูมิหมัก})(\text{เวลาหมัก})$; $R^2=0.9680$

(30) ลักษณะเนื้อ = $0.895-0.0815(\text{อุณหภูมิหมัก})$; $R^2=0.6417$

(31) การเกิดเวย์ = $2.004+0.416(\text{เวลาหมัก})+1.284(\text{อุณหภูมิหมัก})^2$; $R^2=0.8409$

(32) เนื้อโยเกิร์ต = $0.925-0.0741(\text{อุณหภูมิหมัก})+0.0263(\text{เวลาหมัก})+0.0277(\text{อุณหภูมิหมัก})(\text{เวลาหมัก})$; $R^2=0.9850$

(33) ความรู้สึกในปาก = 0.929-0.0812(อุณหภูมิหมัก)+
0.0378(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.8983

(34) ความเข้มข้น = 0.968+0.0938(อุณหภูมิหมัก); R^2=0.6705

(35) ความข้นหนืด = 0.988+0.127(อุณหภูมิหมัก); R^2=0.5881

(36) กลิ่นนม = 1.019-0.0235(เวลาหมัก)-0.0282(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก);
R^2=0.8094

(37) รสเปรี้ยว = 0.858+0.130(อุณหภูมิหมัก)+0.0749(เวลาหมัก); R^2=0.8097

(38) รสหวาน = 0.752-0.0590(อุณหภูมิหมัก)-0.0458(เวลาหมัก)-
0.0327(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

(39) การยอมรับโดยรวม = 0.806+0.0117(เวลาหมัก)-0.102(อุณหภูมิหมัก)^2-
0.0456(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

ในการคำนวณหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จะนำเอาสมการที่มีผลค่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาว่าสมการถดถอยนั้นๆมีความแม่นยำในการคาดคะเนผลเพียงใด มาทำการถอดรหัสของตัวแปรของแต่ละสมการ ทั้งเพื่อให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะที่เป็น Ideal ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด การพิจารณาจะเลือกสมการถดถอยที่มีค่า R^2 สูง (มีค่าเข้าใกล้ 1) ในที่นี้จะพิจารณาสมการถดถอยที่มีค่า R^2 ที่มีค่ามากกว่า 0.8000 มาทำการถอดรหัส (Decoding) ของตัวแปรของสมการ Coded equation ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำเอาสมการ Coded equation มาแก้สมการโดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ตัวแปรที่ยังไม่ได้ถอดรหัส} = \frac{\text{ค่าจริง}-(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น}+\text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}{(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น}-\text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}$$

จากนั้นเอาปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสไปแทนในสมการ Coded equation และแก้ไขสมการได้เป็นสมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ซึ่งสามารถนำเอาสมการที่ได้นี้ไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นได้ แต่การคาดคะเนจะต้องไม่ทำในช่วงที่เกินจากช่วงระดับสูงต่ำที่ได้จากการทดลองเท่านั้น

ผลของสมการที่ถอดรหัสแล้วแสดงดังต่อไปนี้

(40) ค่าสี L = 18.587+3.655(อุณหภูมิหมัก)-0.0516(อุณหภูมิหมัก)^2+
0.0267(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)-0.989(เวลาหมัก);
R^2=0.9611

(41) ค่าสี b = 70.647-3.384(อุณหภูมิหมัก)+0.978(เวลาหมัก)+ 0.0483(อุณหภูมิหมัก)^2-0.027(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9992

(42) ความข้นหนืด = -732,748+38626(อุณหภูมิหมัก)-488.93(อุณหภูมิหมัก)^2; R^2=0.9147

(43) ปริมาณกรดทั้งหมด= -12.968+0.642(อุณหภูมิหมัก)+0.0737(เวลาหมัก)- 0.00766(อุณหภูมิหมัก)^2; R^2=0.9695

(44) ความเป็นกรดเป็นด่าง= 20.339-0.674(อุณหภูมิหมัก)-0.0925(เวลาหมัก)+ 0.00781(อุณหภูมิหมัก)^2; R^2=0.9804

(45) ลักษณะสี = 10.471-0.548(อุณหภูมิหมัก)+0.183(เวลาหมัก)+ 0.00806(อุณหภูมิหมัก)^2-5.277(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9680

(46) การเกิดเวย์ = 109.18+0.208(เวลาหมัก)+0.0803(อุณหภูมิหมัก)^2- 5.939(อุณหภูมิหมัก); R^2=0.8409

(47) เนื้อโยเกิร์ต = 3.103-0.0635(อุณหภูมิหมัก)-0.115(เวลาหมัก)+ 0.00346(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9850

(48) ความรู้สึกในปาก = 4.479-0.0959(อุณหภูมิหมัก)+ 0.00473(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)-0.175(เวลาหมัก); R^2=0.8983

(49) กลิ่นนม = -0.523+0.119(เวลาหมัก)- 0.00352(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)+0.0458(อุณหภูมิหมัก); R^2=0.8094

(50) รสเปรี้ยว = -0.588+0.0325(อุณหภูมิหมัก)+0.0187(เวลาหมัก); R^2=0.8097

(51) รสหวาน = -0.370+0.0384(อุณหภูมิหมัก)+0.128(เวลาหมัก)- 0.00409(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

(52) การยอมรับโดยรวม= -10.748+0.216(เวลาหมัก)-0.00638(อุณหภูมิหมัก)^2+ 0.546(อุณหภูมิหมัก)-0.00571(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

สมการที่ได้จากการถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) สามารถนำไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นโดยแทนค่าระดับของอุณหภูมิหมัก และเวลาหมัก ในช่วงที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองของลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละลักษณะให้มีค่า Mean ideal ratio score เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด คือเข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด ในกรณีของการตอบสนองของลักษณะที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ส่วนสมการความสัมพันธ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เช่นค่าสี L a b ที่ได้จากการวัดสี ความข้นหนืดที่ได้จากการวัดความข้นหนืด จะแทนค่าระดับปริมาณการใช้นมผงธรรมดา นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนนในช่วงที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองที่จุดที่ดีที่สุดของลักษณะนั้นๆ ค่าการตอบสนองของค่าที่ได้จะพิจารณาให้สัมพันธ์กับค่าตอบสนองที่ได้จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการทดลองที่ผ่านมา

นำสมการที่ถอดรหัสแล้วมาแทนค่าระดับของอุณหภูมิหมักในช่วงที่ทำการศึกษา คือ 35-39 องศาเซลเซียส และเวลาหมัก คือ 12-14 ชั่วโมง เพื่อคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

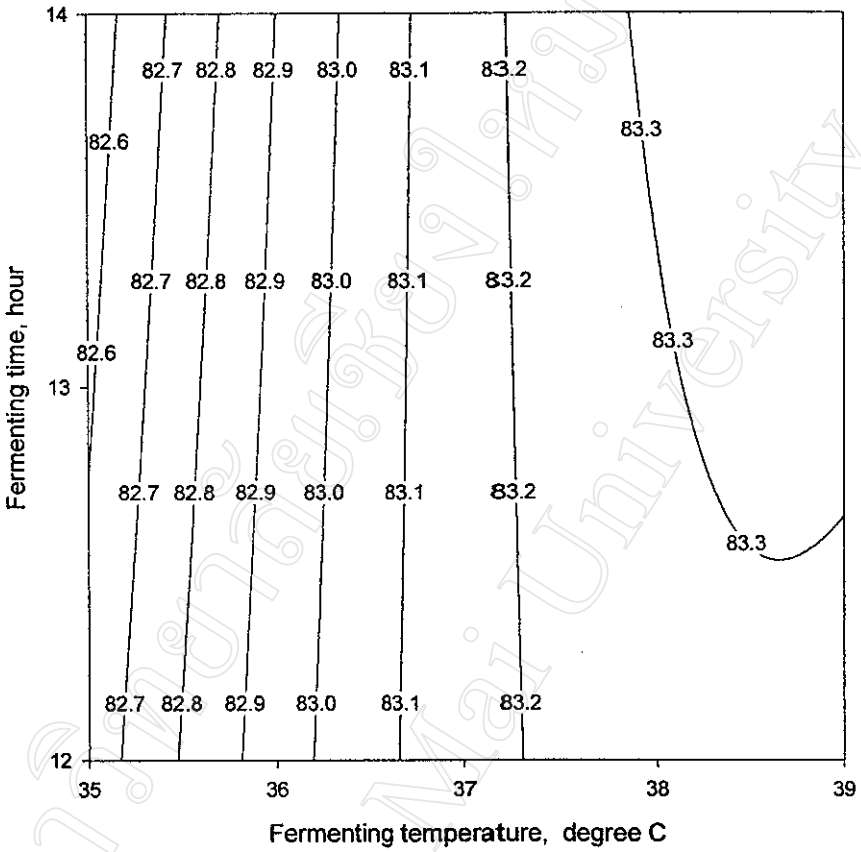
(40) ค่าสี L = 18.587+3.655(อุณหภูมิหมัก)-0.0516(อุณหภูมิหมัก)^2+ 0.0267(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)-0.989(เวลาหมัก); R^2=0.9611

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก)

f(35,12)	=	82.65
f(39,12)	=	83.28
f(35,14)	=	82.54
f(39,14)	=	83.38
f(37,13)	=	83.17
f(37,12)	=	83.17
f(37,14)	=	83.17
f(35,13)	=	82.60
f(39,13)	=	83.33

จากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.11 และ 4.12) ค่าสี L ที่ดีที่สุดที่ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสสีมีค่าเข้าใกล้ 1.00 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83.29 เมื่อพิจารณาจากการแทนค่าใน

สมการที่ 40 ระดับของอุณหภูมิและเวลาหมักที่น่าจะเหมาะสมคือ ใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับสูง (39 องศาเซลเซียส) และใช้เวลาหมักที่ระดับกลาง (13 ชั่วโมง) หรือที่ระดับสูง (14 ชั่วโมง) ก็ได้



ภาพที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อค่าสี L

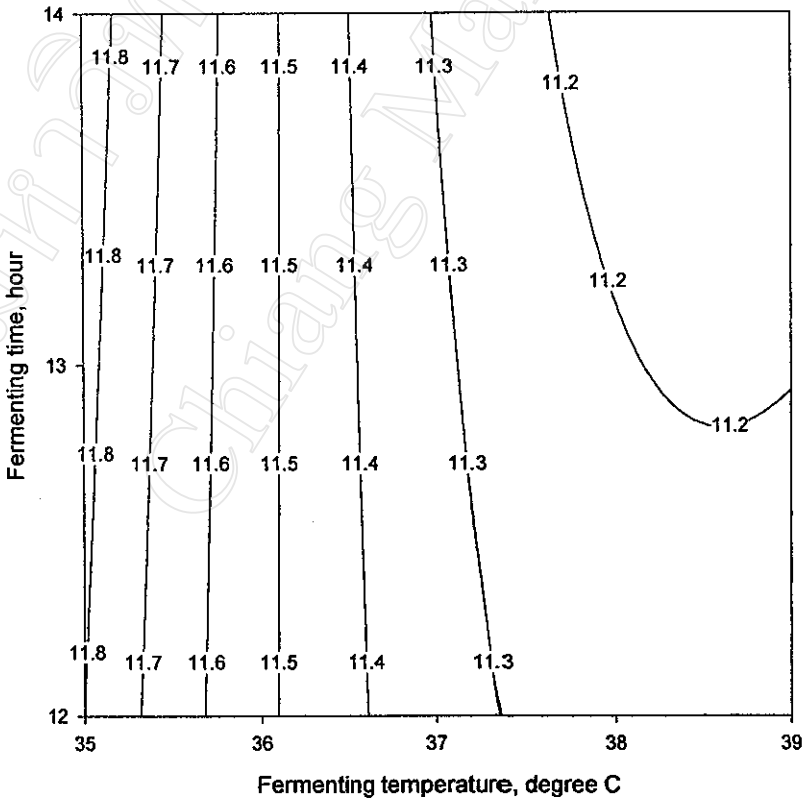
จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการใช้ปัจจัยทั้งสองที่ระดับต่ำ ค่าสี L หรือความสว่างจะมีค่าต่ำอาจเนื่องมาจากการหมักที่อุณหภูมิต่ำ หรือเวลาน้อยทำให้การตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนมมีน้อยทำให้ผลิตภัณฑ์นมหมักมีความทึบแสงน้อย เมื่อแสงตกกระทบผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะดูดซับแสงได้มาก เมื่อหมักที่อุณหภูมิสูงขึ้นหรือเวลามากขึ้นแล้วโปรตีนก็ตกตะกอนมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีความทึบแสง แสงผ่านได้น้อยเกิดการสะท้อนของแสงมากขึ้นทำให้วัดค่าสี L ได้มากขึ้น

(41) ค่าสี b = 70.647-3.384(อุณหภูมิหมัก)+0.978(เวลาหมัก)+ 0.0483(อุณหภูมิหมัก)^2-0.027(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9992

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก)

f(35,12)	=	11.80
f(35,13)	=	11.83
f(35,14)	=	11.87
f(37,12)	=	11.34
f(37,13)	=	11.32
f(37,14)	=	11.30
f(39,12)	=	11.27
f(39,13)	=	11.20
f(39,14)	=	11.12

จากการทดลองที่ผ่านมาค่าสี b ที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่าลักษณะสีเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.28 จากการแทนค่าในสมการที่ (41) ค่าสี b ที่ใกล้เคียงกับ 11.28 คือ การใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับสูง (39 องศาเซลเซียส) และใช้เวลาหมักที่ระดับต่ำ (12 ชั่วโมง) น่าจะเป็นการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่เหมาะสมสำหรับค่าสี b



ภาพที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักต่อค่าสี b

จากสมการของค่าสี b และภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่ระดับต่ำค่าสี b จะสูง ซึ่งเนื่องจากที่ระดับดังกล่าวโปรตีนในนมตกตะกอนน้อย ทำให้แสงที่ตกกระทบผลิตภัณฑ์โดนดูดซับได้มาก ทำให้สีเข้ม (สีเหลืองเข้มขึ้น) เมื่อใช้ที่ระดับสูงขึ้นการตกตะกอนของโปรตีนนมเพิ่มขึ้นเพราะเชื้อเริ่มต้นเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและผลิตกรดได้มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ทึบแสงมากขึ้น แสงที่ตกกระทบจะสะท้อนออกมามากขึ้นทำให้ค่าสี b มีค่าต่ำลง (มีสีเหลืองอ่อนลง)

(42) ความข้นหนืด = -732,748+38626(อุณหภูมิหมัก)-488.93(อุณหภูมิหมัก)^2;
R^2=0.9147

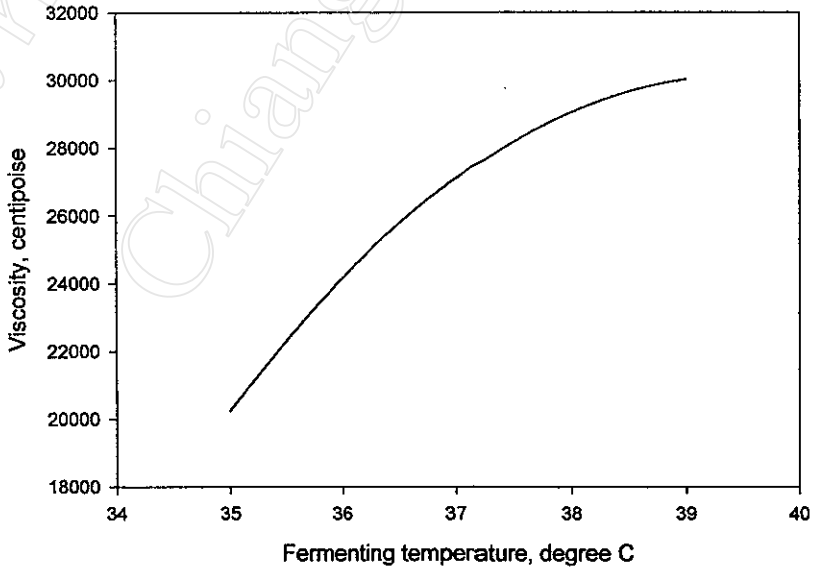
แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก) ในสมการ ผลลัพธ์มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์

f(35) = 20,222

f(37) = 27,068

f(39) = 30,002

จากการทดลองที่ผ่านมาค่าความข้นหนืดที่ดีที่สุดที่ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความข้นหนืดเป็นที่ยอมรับมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 26,053 เซนติพอยส์ และจากการแทนค่าในสมการที่ (42) พบว่าการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส) ทำให้ความข้นหนืดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความข้นหนืดที่ดีที่สุด การหมักผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจึงน่าจะเป็นระดับของอุณหภูมิหมักที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิหมักต่อความข้นหนืด

จากสมการที่ (42) และภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิหมักมีผลกระทบต่อความข้นหนืด โดยความข้นหนืดแปรผันตามอุณหภูมิหมัก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหมัก ความข้นหนืดจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเนื่องจากที่อุณหภูมิหมักสูงขึ้นเชื้อเริ่มต้นเจริญเติบโตได้ดีขึ้น กิจกรรมการหมักเกิดเร็วขึ้น อัตราการสร้างกรดเร็วขึ้น เมื่อเกิดกรดเร็วขึ้น โปรตีนนมเกิดการ ตกตะกอนได้มากขึ้น ความข้นหนืดจึงสูงขึ้น

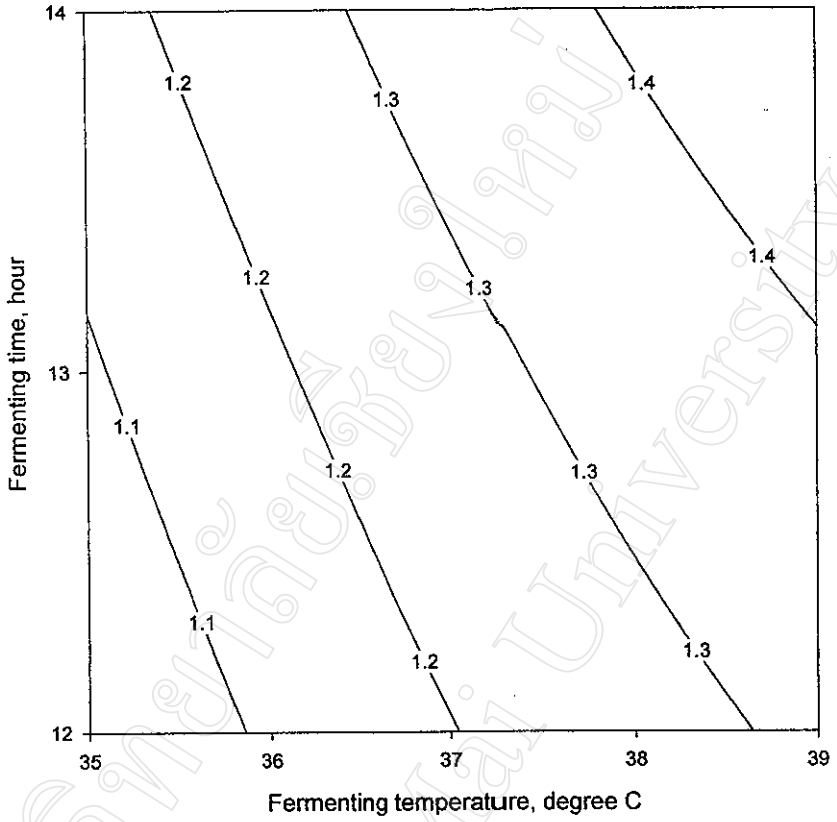
(43) ปริมาณกรดทั้งหมด= -12.968+0.642(อุณหภูมิหมัก)+0.0737(เวลาหมัก)-0.00766(อุณหภูมิหมัก)^2; R^2=0.9695

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ผลลัพธ์มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

f(35,12)	=	1.01
f(35,13)	=	1.09
f(35,14)	=	1.16
f(37,12)	=	1.20
f(37,13)	=	1.27
f(37,14)	=	1.34
f(39,12)	=	1.32
f(39,13)	=	1.39
f(39,14)	=	1.46

จากการทดลองที่ผ่านมาปริมาณกรดทั้งหมดที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ค่า Mean ideal ratio ของลักษณะทางประสาทสัมผัส รสเปรี้ยว ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุดคือที่ร้อยละ 1.23 และจากการแทนค่าในสมการพบว่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่น่าจะเหมาะสมที่สุดคือที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส และ 13 ชั่วโมงตามลำดับ)

จากสมการของปริมาณกรดทั้งหมดและภาพที่ 4.5 พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดแปรผันตามอุณหภูมิหมักและเวลาหมัก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหมักและเวลาหมักปริมาณกรดก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งก็เป็นธรรมดาของการหมักผลิตภัณฑ์นมหมักทั่วไป เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหมักขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อเริ่มต้นก็เพิ่มขึ้น อัตราการสร้างกรดก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น การสร้างกรดของเชื้อเริ่มต้นก็มากขึ้นด้วย และอาจเป็นการยืนยันได้ว่าเชื้อเริ่มต้นสองชนิดคือ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* เป็นเชื้อที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง เพราะที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ยังมีการเจริญเติบโต



ภาพที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อปริมาณกรดทั้งหมด

(44) ความเป็นกรดเป็นด่าง= 20.339-0.674(อุณหภูมิหมัก)-0.0925(เวลาหมัก)+ 0.00781(อุณหภูมิหมัก)^2; R^2=0.9804

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก)ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12) = 5.20

f(35,13) = 5.10

f(35,14) = 5.01

f(37,12) = 4.97

f(37,13) = 4.88

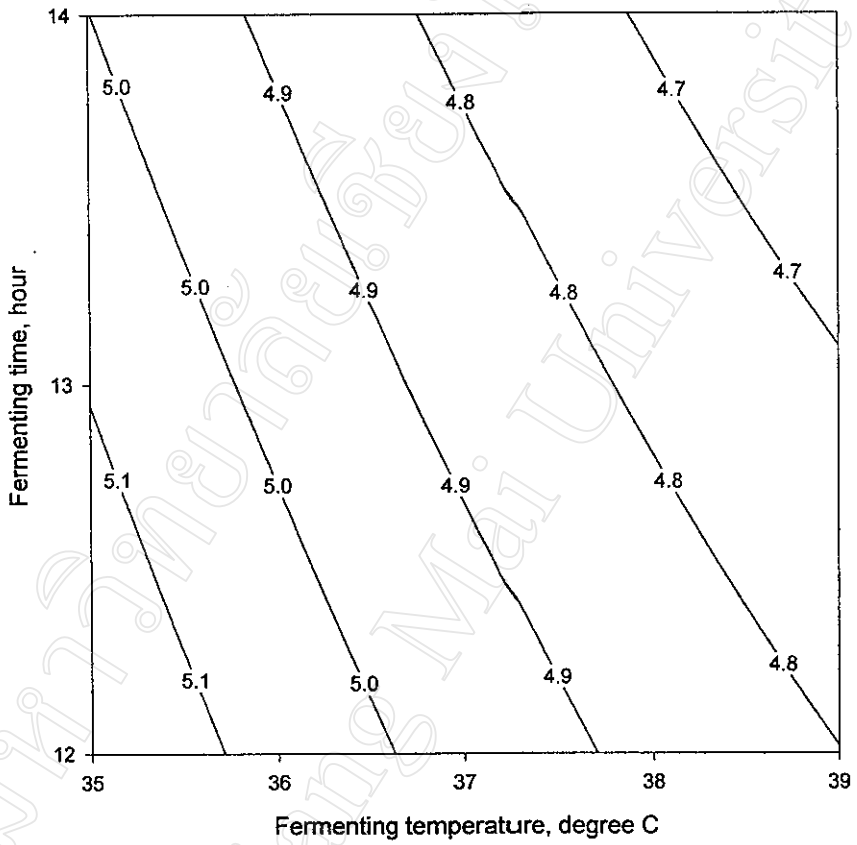
f(37,14) = 4.79

f(39,12) = 4.81

f(39,13) = 4.72

f(39,14) = 4.63

จากการทดลองที่ผ่านมาค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะทางประสาทสัมผัส รสเปรี้ยว ที่เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุดคือที่ 4.91 และจากการแทนค่าในสมการที่ (44) พบว่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่น่าจะเหมาะสมที่สุดคือที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส และ 13 ชั่วโมงตามลำดับ)



ภาพที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างแปรผกผันกับอุณหภูมิหมักและเวลาหมัก เพราะเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง

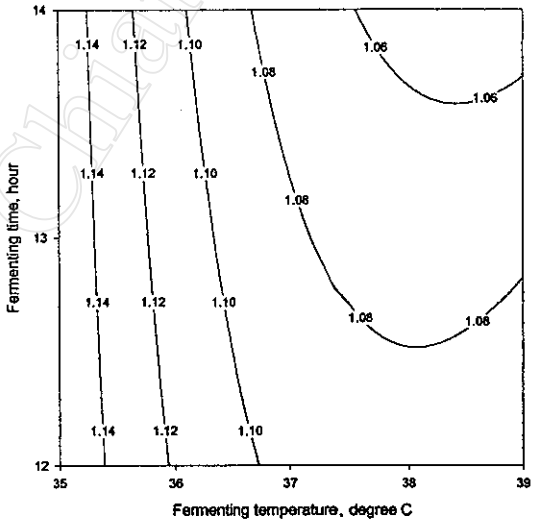
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

(45) ลักษณะสี = 10.471-0.548(อุณหภูมิหมัก)+0.183(เวลาหมัก)+ 0.00806(อุณหภูมิหมัก)^2-5.277(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9680

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการได้ผลดังนี้

f(35,12)	=	1.16
f(35,13)	=	1.15
f(35,14)	=	1.15
f(37,12)	=	1.09
f(37,13)	=	1.08
f(37,14)	=	1.07
f(39,12)	=	1.10
f(39,13)	=	1.08
f(39,14)	=	1.05

จากการแทนค่าในสมการที่ (45) พบว่าค่า Mean ideal ratio score ที่ดีที่สุดคือการหมักที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส (ระดับสูง) เป็นเวลา 14 ชั่วโมง (ระดับสูง) ซึ่งสอดคล้องกับสมการของค่าสี L (40) และสมการของค่าสี b (41) และอาจเนื่องมาจากเหตุผลเดียวกันคือ เมื่อหมักผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน โปรตีนนมก็จกตะกอนมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทึบแสงมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ดูดซับแสงได้น้อยลง แต่สะท้อนแสงมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีสีขาวมากขึ้น และถ้าดูจากภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อลักษณะสีคล้ายคลึงกับค่าสี L และค่าสี b



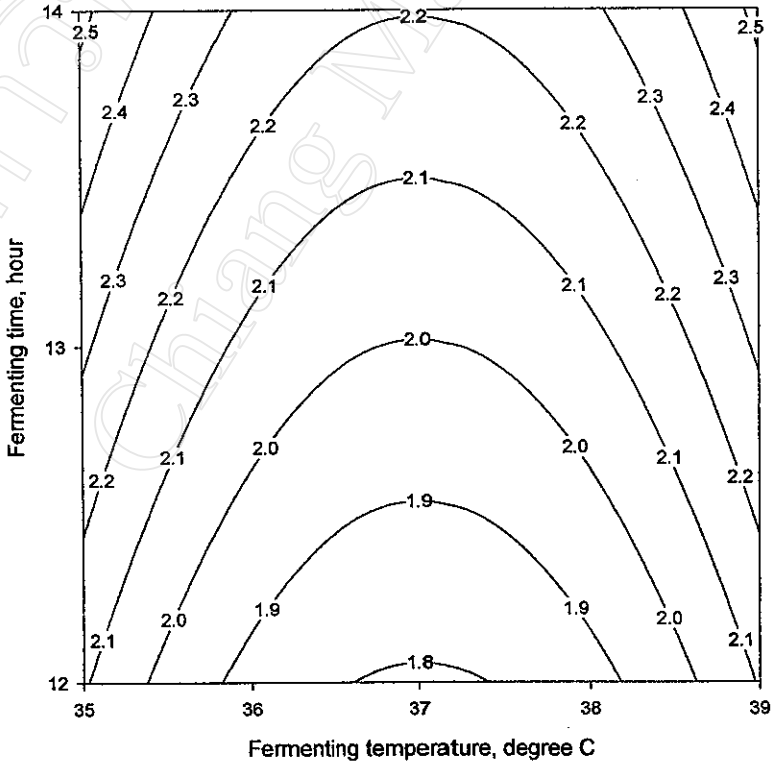
ภาพที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักต่อลักษณะสี

(46) การเกิดเวย์ = 109.18+0.208(เวลาหมัก)+0.0803(อุณหภูมิหมัก)^2-5.939(อุณหภูมิหมัก); R^2=0.8409

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12) = 2.12
f(35,13) = 2.33
f(35,14) = 2.53
f(37,12) = 1.79
f(37,13) = 2.00
f(37,14) = 2.21
f(39,12) = 2.12
f(39,13) = 2.33
f(39,14) = 2.53

จากการแทนค่าในสมการที่ (46) พบว่าการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส) และเวลาหมักที่ระดับต่ำ (12 ชั่วโมง) ให้ค่า Mean ideal ratio score ของการเกิดเวย์เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด



ภาพที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักต่อการเกิดเวย์

จากสมการของการเกิดเวย์และภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่ระดับต่ำทำให้การเกิดเวย์สูง เนื่องมาจากที่อุณหภูมิหมักต่ำกิจกรรมของเชื้อเริ่มต้นเกิดน้อย การสร้างกรดน้อย ทำให้โปรตีนตกตะกอนไม่มากนัก ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะเหลว เมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยทั้งสองขึ้นถึงระดับกลาง กิจกรรมของเชื้อเริ่มต้นสูงขึ้น การสร้างกรดของเชื้อเริ่มต้นมากขึ้นทำให้การตกตะกอนของโปรตีนดีขึ้น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเจลมากขึ้น และที่ระดับนี้การตกตะกอนของโปรตีนอาจเกิด Gelation ขึ้นมาก (โปรตีนมี Interaction กับน้ำ) น้ำถูกอุ้มไว้ในโครงสร้างของเจลของโปรตีนได้มาก จึงมีการเกิดเวย์น้อยลง แต่เมื่อเพิ่มระดับสูงขึ้นไปอีก กิจกรรมของเชื้อเริ่มต้นอาจมีมากเกินไป ตะกอนของโปรตีนบีบรัดตัวกันแน่นขึ้นเพราะปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น (โปรตีนเกิด Interaction กับโปรตีนเองมากขึ้น) จึงปล่อยน้ำออกมาเป็นอิสระ การเกิดเวย์จึงกลับสูงขึ้น

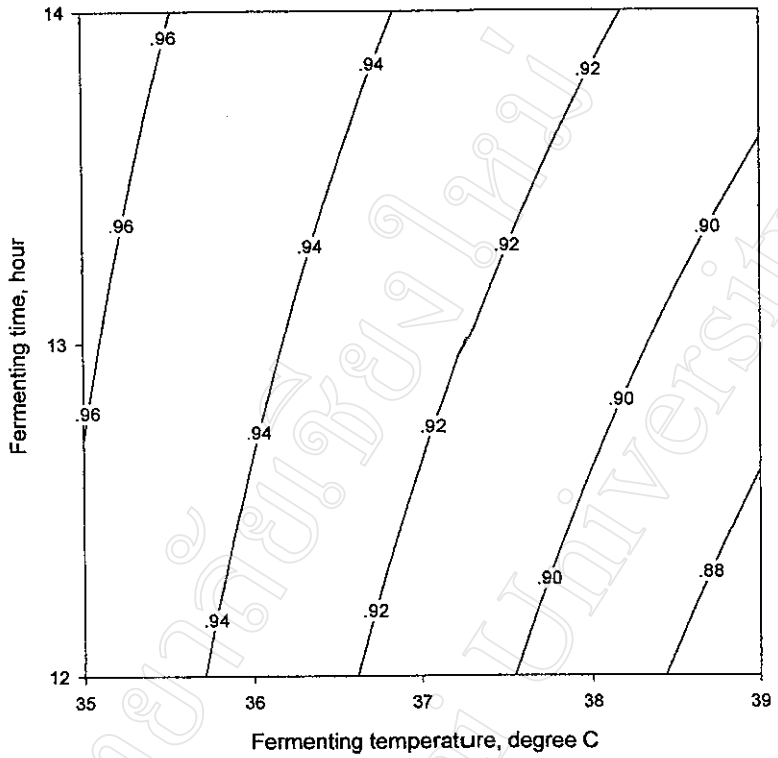
(47) เนื้อโยเกิร์ต = 3.103-0.0635(อุณหภูมิหมัก)-0.115(เวลาหมัก)+
0.00346(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9850

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ได้ผลดังนี้

f(35,12)	=	0.96
f(35,13)	=	0.96
f(35,14)	=	0.97
f(37,12)	=	0.91
f(37,13)	=	0.93
f(37,14)	=	0.94
f(39,12)	=	0.87
f(39,13)	=	0.89
f(39,14)	=	0.91

จากการแทนค่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักในสมการของเนื้อโยเกิร์ต (47) พบว่า ระดับการใช้ปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่า Mean ideal ratio score ของเนื้อโยเกิร์ตที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ (35 องศาเซลซียส) เวลาหมักที่ระดับสูง (14 ชั่วโมง)

จากสมการที่ (47) และภาพที่ 4.9 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำให้ลักษณะเนื้อโยเกิร์ตที่ดี เป็นเพราะที่อุณหภูมิหมักต่ำเชื้อเริ่มต้นมีกิจกรรมน้อย อัตราการสร้างกรดต่ำทำให้การตกตะกอนโปรตีนเป็นไปแบบช้าๆ และสม่ำเสมอกว่าการหมักที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อใช้เวลาหมักที่ระดับสูงขึ้นจะทำให้เนื้อโยเกิร์ตดีขึ้น อาจเป็นเพราะที่เวลาสั้น การหมักยังไม่เกิดขึ้นมาก ลักษณะเนื้อจึงดูค่อนข้างเหลว



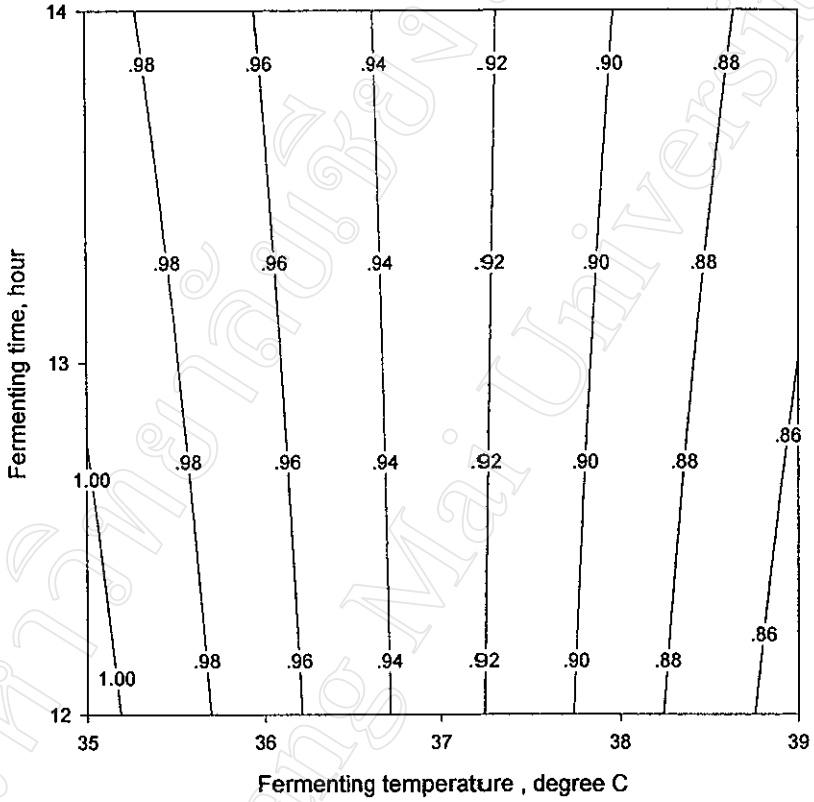
ภาพที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิหมักเวลาหมักต่อเนื้อโยเกิร์ต

(48) ความรู้สึกในปาก = 4.479-0.0959(อุณหภูมิหมัก)+
0.00473(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)-0.175(เวลาหมัก);
R^2=0.8983

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12)	=	1.01
f(35,13)	=	1.00
f(35,14)	=	0.99
f(37,12)	=	0.93
f(37,13)	=	0.93
f(37,14)	=	0.93
f(39,12)	=	0.85
f(39,13)	=	0.86
f(39,14)	=	0.87

จากการแทนค่าในสมการที่ (48) มีระดับการใช้ปัจจัยอยู่ 3 คู่ที่ให้ผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกัน คือการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ เวลาหมักที่ระดับต่ำ การใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ เวลาหมักที่ระดับกลาง และการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ เวลาหมักที่ระดับสูง ดังนั้นระดับการใช้ปัจจัยทั้งสองที่น่าจะเหมาะสมคือการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ (35 องศาเซลเซียส) และเวลาหมักที่ระดับสูง กลาง หรือต่ำก็ได้



ภาพที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อความรู้สึกในปาก

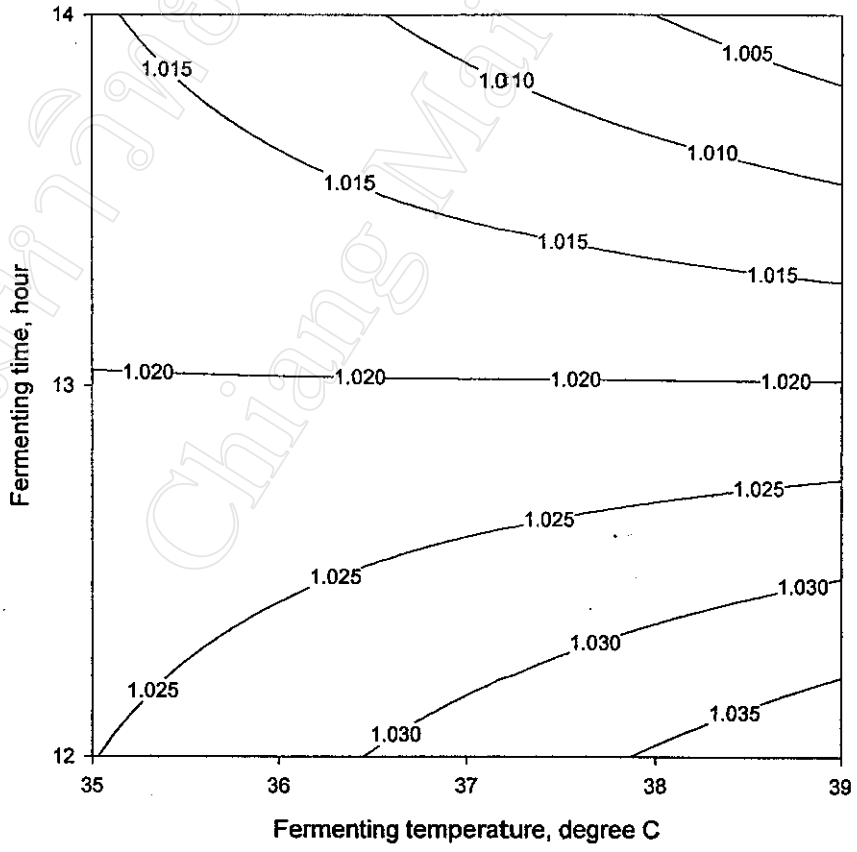
จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิหมักมีผลต่อความรู้สึกในปากค่อนข้างมากถ้าเทียบกับเวลาหมัก อาจเป็นเพราะการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะค่อนข้างเหลว กลืนง่ายทำให้ค่า Mean ideal ratio score ของความรู้สึกในปากสูง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับสูงขึ้น อัตราการสร้างกรดเร็วขึ้นทำให้โปรตีนนมตกตะกอนมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะข้น กลืนยากขึ้นทำให้ค่า Mean ideal ratio score ของความรู้สึกในปากลดลง

(49) กลิ่นนม = -0.523+0.119(เวลาหมัก)-
0.00352(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก)+0.0458(อุณหภูมิหมัก);
R^2=0.8094

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12) = 1.02
f(35,13) = 1.02
f(35,14) = 1.02
f(37,12) = 1.03
f(37,13) = 1.02
f(37,14) = 1.01
f(39,12) = 1.04
f(39,13) = 1.02
f(39,14) = 1.00

จากการแทนค่าระดับของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักลงในสมการที่ (49) พบว่าค่า Mean ideal ratio score ของกลิ่นนมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าที่ดีที่สุดได้จากการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่ระดับสูง (39 องศาเซลเซียส และ 14 ชั่วโมงตามลำดับ)



ภาพที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิและเวลาหมักต่อกลิ่นนม

จากสมการที่ (49) และภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าค่า Mean ideal ratio score ของกลิ่นนมมีค่าตั้งแต่ 1.00 ขึ้นไป อาจเป็นเพราะปริมาณนมผงธรรมดาและนมผงขาดมันเนยมีมาก ทำให้กลิ่นนมแรง เมื่อใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่ระดับสูงจะได้ค่า Mean ideal ratio score ของกลิ่นนมเข้าใกล้ 1.00 เพราะเมื่อหมักที่อุณหภูมิสูง เชื้อเริ่มต้นมีกิจกรรมมาก มีการสร้างสารให้กลิ่นขึ้นมากทำให้กลบกลิ่นนมลงไป และเมื่อใช้เวลาหมักนานขึ้น เชื้อเริ่มต้นก็สร้างสารให้กลิ่นสะสมมากขึ้นตามเวลาที่นานขึ้นนั่นเอง

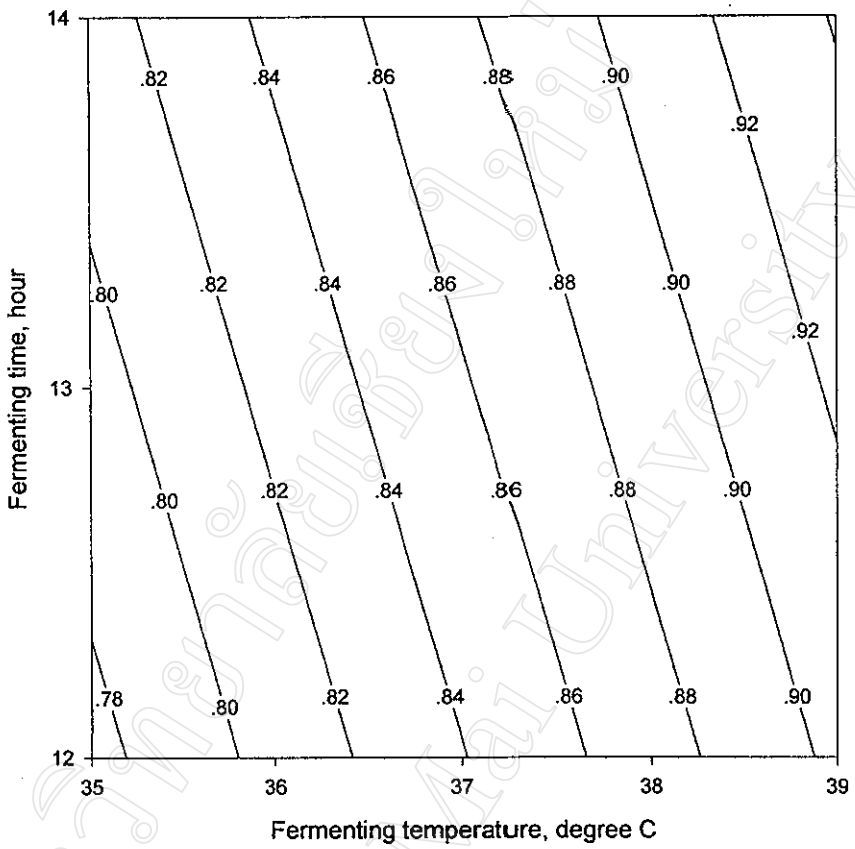
(50) รสเปรี้ยว = -0.588+0.0325(อุณหภูมิหมัก)+0.0187(เวลาหมัก);
R^2=0.8097

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12)	=	0.77
f(35,13)	=	0.79
f(35,14)	=	0.81
f(37,12)	=	0.84
f(37,13)	=	0.86
f(37,14)	=	0.88
f(39,12)	=	0.90
f(39,13)	=	0.92
f(39,14)	=	0.94

จากการแทนค่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักในสมการที่ (50) พบว่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักที่น่าจะเหมาะสมคือที่ระดับสูง (39 องศาเซลเซียส) และระดับการใช้เวลาหมักที่น่าจะเหมาะสมคือที่ระดับสูง (14 ชั่วโมง)

จากสมการที่ (50) และภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมัก ค่า Mean ideal ratio score ของรสเปรี้ยวก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิหมักสูง กิจกรรมของเชื้อเริ่มต้นสูง อัตราการสร้างกรดสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดสูง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ ทำให้ผู้ทดสอบชิมรับรสเปรี้ยวได้มาก และเมื่อใช้เวลาหมักนานขึ้น เชื้อเริ่มต้นก็จะสร้างกรดสะสมตามเวลาที่นานขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างก็ลดลงด้วย ทำให้ผู้ทดสอบสามารถรับรสเปรี้ยวได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน



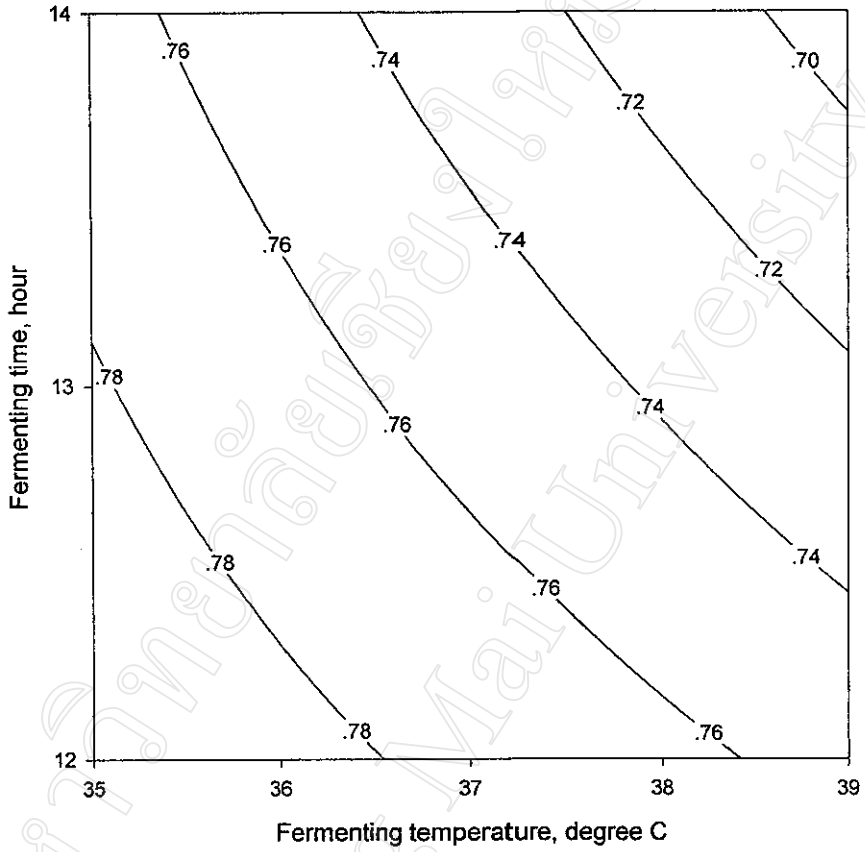
ภาพที่ 4.12 ผลตอบสนองของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่มีต่อ รสเปรี้ยว

(51) รสหวาน = -0.370+0.0384(อุณหภูมิหมัก)+0.128(เวลาหมัก)-
0.00409(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12) = 0.80
f(35,13) = 0.78
f(35,14) = 0.77
f(37,12) = 0.77
f(37,13) = 0.75
f(37,14) = 0.73
f(39,12) = 0.76
f(39,13) = 0.72
f(39,14) = 0.69

จากการแทนค่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักในสมการที่ (51) พบว่าระดับที่น่าจะเหมาะสมที่สุดที่ให้ค่า Mean ideal ratio score ของรสหวานที่ดีที่สุดคือการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับต่ำ (35 องศาเซลเซียส) และเวลาหมักที่ระดับต่ำ (12 ชั่วโมง) เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.13 ผลตอบสนองของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่มีต่อ รสหวาน

จากสมการที่ (51) และภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าระดับของอุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า Mean ideal ratio score ของรสหวานลดลง เป็นเพราะปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น แล้วไปกลบรสหวาน

(52)การยอมรับโดยรวม = -10.748+0.216(เวลาหมัก)-0.00638(อุณหภูมิหมัก)^2+ 0.546(อุณหภูมิหมัก)-0.00571(อุณหภูมิหมัก)(เวลาหมัก); R^2=0.9779

แทนค่า f(อุณหภูมิหมัก,เวลาหมัก) ในสมการ ได้ผลดังนี้

f(35,12) = 0.76

f(35,13) = 0.78

f(35,14) = 0.80

f(37,12) = 0.80

f(37,13) = 0.81

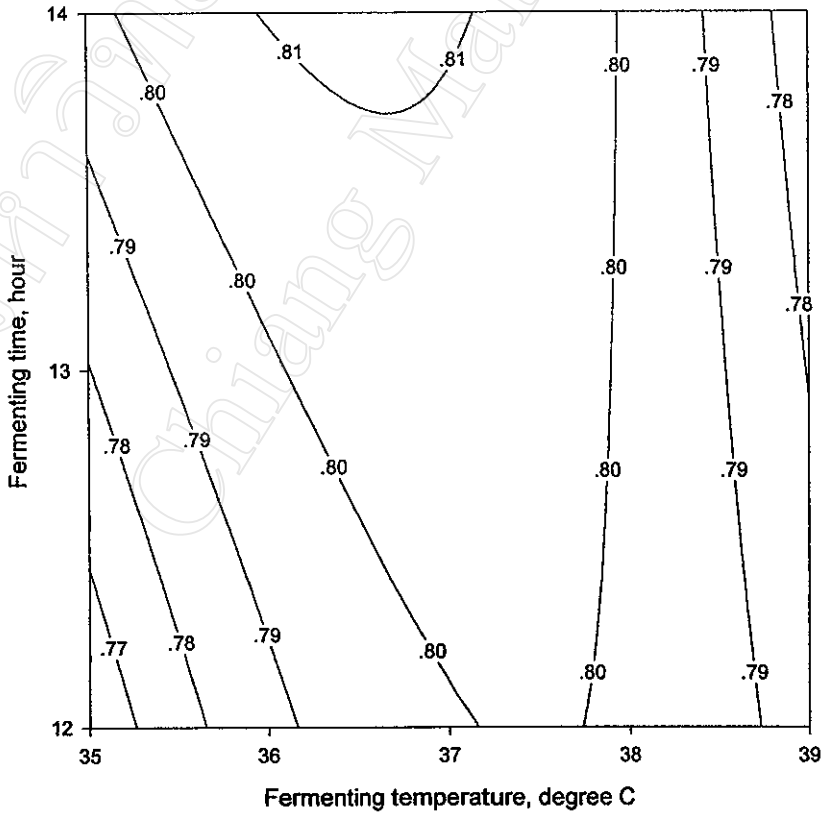
f(37,14) = 0.81

f(39,12) = 0.79

f(39,13) = 0.78

f(39,14) = 0.77

จากการแทนค่าระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักในสมการที่ (52) พบว่ามีระดับการใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมัก 2 ค่าที่ให้ค่า Mean ideal ratio score ของการยอมรับโดยรวมที่ดีที่สุด คือการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส) เวลาหมักที่ระดับกลาง (13 ชั่วโมง) และการใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส) เวลาหมักที่ระดับสูง (14 ชั่วโมง) ดังนั้นระดับการใช้ที่น่าจะเหมาะสมคือ อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง (37 องศาเซลเซียส) และเวลาหมักที่ระดับกลางหรือสูง (13 หรือ 14 ชั่วโมง) ก็ได้



ภาพที่ 4.14 ผลอุณหภูมิและเวลาหมักต่อการยอมรับโดยรวม

จากสมการของการยอมรับโดยรวม (52) และภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชิมยอมรับลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิหมักและเวลาหมักที่ระดับกลางๆอาจเป็นไปได้ว่าที่ระดับต่ำลักษณะของผลิตภัณฑ์อาจเหลวเกินไป รสชาติจืดเกินไป และที่ระดับสูงผลิตภัณฑ์อาจมีความข้นหนืดสูงเกินไป หรือมีรสเปรี้ยวมากเกินไป เป็นต้น

เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว อุณหภูมิหมักมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละอย่างแตกต่างกัน จึงใช้อุณหภูมิหมักที่ระดับกลาง เพื่อเป็นการถัวเฉลี่ยให้ลักษณะต่างๆโดยรวมพอเป็นที่ยอมรับได้ ส่วนเวลาหมักใช้ที่ระดับสูงเพราะผลตอบสนองของเวลาหมักต่อลักษณะต่างๆจะเป็นที่ระดับสูงเป็นส่วนใหญ่ จึงสรุปได้ว่า

อุณหภูมิหมัก	ควรใช้ที่ระดับกลาง	37 องศาเซลเซียส
เวลาหมัก	ควรใช้ที่ระดับสูง	14 ชั่วโมง

จากประสบการณ์ของผู้เขียน ในการผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมจริงนั้นเวลาหมักอาจมีการแปรผันได้ (คลาดเคลื่อนได้ประมาณ ± 2 ชั่วโมง) เพื่อให้ได้คุณภาพทางเคมี โดยเฉพาะค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดให้คงที่สม่ำเสมอในแต่ละชุดการผลิต กล่าวคือ เมื่อควบคุมคุณภาพของนมที่เป็นวัตถุดิบและคุณภาพของเชื้อเริ่มต้นให้ได้คุณภาพที่กำหนดแล้ว จะขึ้นกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณกรดทั้งหมดด้วย เมื่อคุณภาพดังกล่าวได้มาตรฐานแล้ว คุณภาพด้านอื่นๆจะใกล้เคียงกัน

4.4 สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

4.4.1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.2 สามารถสรุปสูตรการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และมีการยอมรับสูงที่สุดดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.13 สูตรการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
นมผงธรรมดาชนิดละลายทันที (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	15.5
นมผงขาดมันเนย (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	10.0
คาราจีแนน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	0.075
เชื้อเริ่มต้น *L. acidophilus* (ร้อยละโดยปริมาตร)	0.33
เชื้อเริ่มต้น *L. casei* (ร้อยละโดยปริมาตร)	0.33
เชื้อเริ่มต้น *B. bifidum* (ร้อยละโดยปริมาตร)	0.33

4.4.2 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมแห้ง คือ นมผงธรรมดาชนิดละลายทันที นมผงขาดมันเนย และคาราจีแนน ตามสูตรในตารางที่ 4.13 เช่น เตรียมนม 1 ลิตร ชั่งนมผงธรรมดา 155 กรัม นมผงขาดมันเนย 100 กรัม คาราจีแนน 0.75 กรัม แบ่งนมผงขาดมันเนยส่วนหนึ่งคลุกกับคาราจีแนนในอัตราส่วนคาราจีแนนต่อนมผงขาดมันเนยเท่ากับ 1:5 ละลายนมผงธรรมดา คาราจีแนน และนมผงขาดมันเนยลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสปริมาตรประมาณร้อยละ 70 ของปริมาตรที่กำหนด เช่นเตรียมนม 1 ลิตร ควรใช้น้ำร้อนในการละลาย 700 มิลลิลิตร นำไปปั่นในเบลนเดอร์ที่ระดับ High นาน 1 นาที ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนดในบีกเกอร์สเตนเลสที่ใช้หมัก นำไปพาสเจอไรส์โดยแช่บีกเกอร์ในน้ำเดือดในหม้ออะลูมิเนียมขนาด 15 ลิตรที่ตั้งบนเตาแก๊ส เพิ่มอุณหภูมินมให้ได้ 85 องศาเซลเซียส ลดไฟลง ควบคุมให้ได้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส คงไว้ 30 นาที นำบีกเกอร์ไปแช่ในอ่างน้ำผสมน้ำแข็ง ลดอุณหภูมิลงเหลือ 37 องศาเซลเซียส เพาะเชื้อเริ่มต้นทั้งสามชนิดลงไปตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 4.13 เช่น นม 1 ลิตร เพาะเชื้อเริ่มต้นชนิดละ 3.3 มิลลิลิตร นำไปบ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่หมักได้ออกจากตู้บ่มเชื้อแช่ในอ่างน้ำผสมน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิลงเหลือ 15 องศาเซลเซียส นำไปแช่ตู้เย็นที่ 5 องศาเซลเซียส

4.4.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

จากการศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมต่างๆในผลิตภัณฑ์นมหมัก และได้ทำการพัฒนาจนได้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.20 ตามลำดับ เตรียมผลิตภัณฑ์ตามสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์นมหมักมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม

ตารางที่ 4.14 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ค่าสีระบบฮันเตอร์	
ค่าสี L	82.41±0.21
ค่าสี a	-0.67±0.04
ค่าสี b	12.43±0.21
ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	28,777±367

* ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.15 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%w/w)	22.60±0.03*
ปริมาณไขมัน (%w/w)	3.59±0.10
ปริมาณโปรตีน (Nx6.38, %w/w)	10.75±0.30
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	8.31±0.01
ปริมาณเถ้า (%w/w)	1.72±0.02
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	1.38±0.01
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.67±0.03

* ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.16 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

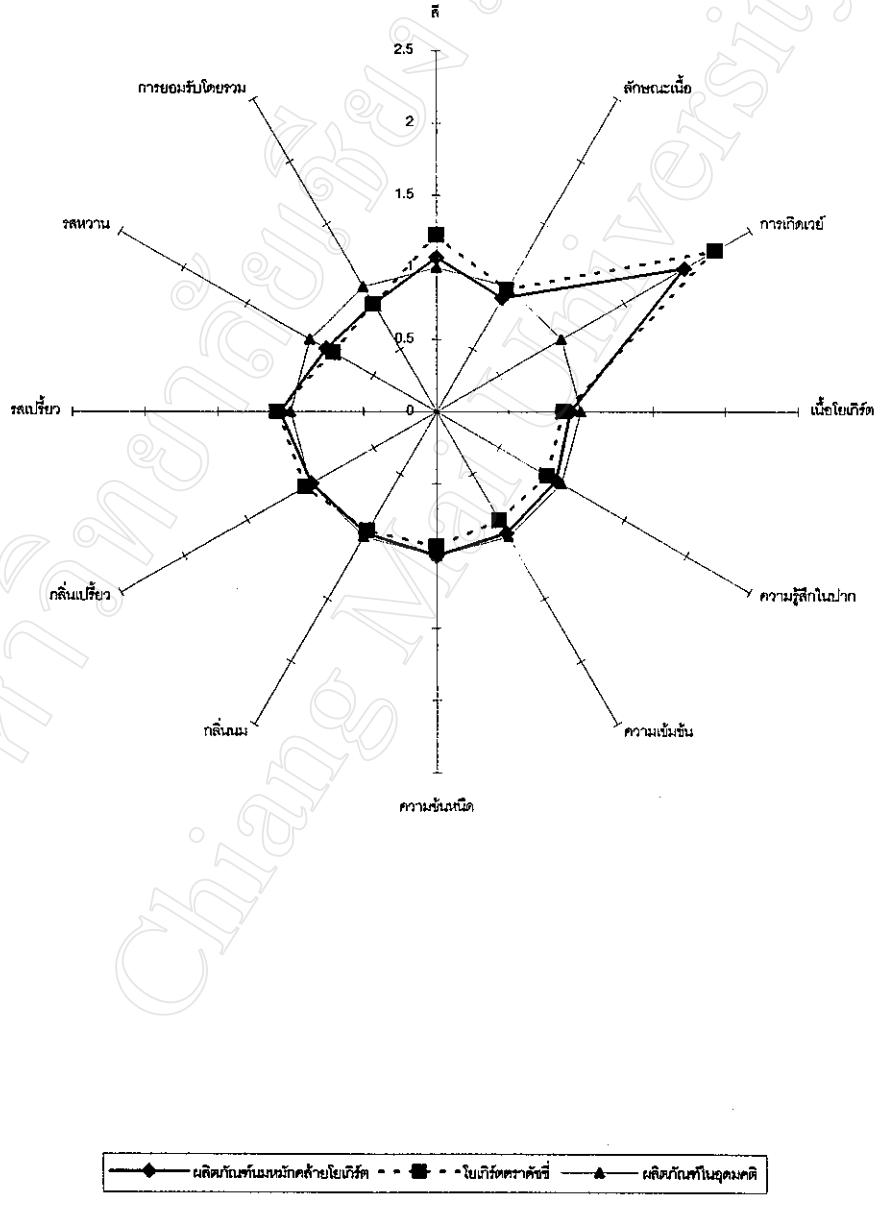
ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (cfu/g)	2.03×10^{9}
ปริมาณ *L. acidophilus* (cfu/g)	1.18×10^{9}
ปริมาณ *L. casei* (cfu/g)	1.95×10^{8}
ปริมาณ *B. bifidum* (cfu/g)	6.85×10^{8}
ปริมาณโคลิฟอร์ม (MPN/g)	ต่ำกว่า 3
ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ต่ำกว่า 10

ตารางที่ 4.17 ค่า Mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ลักษณะ	Mean ideal ratio score$\pm$Standard deviation
สี	1.07 ± 0.09*
ลักษณะเนื้อ	0.91 ± 0.07
การเกิดเวย์	1.98 ± 1.17
เนื้อโยเกิร์ต	0.93 ± 0.06
ความรู้สึกในปาก	0.96 ± 0.04
ความเข้มข้น	0.97 ± 0.05
ความข้นหนืด	1.00 ± 0.15
กลิ่นนม	0.97 ± 0.05
กลิ่นเปรี้ยว	0.99 ± 0.13
รสเปรี้ยว	1.07 ± 0.07
รสหวาน	0.87 ± 0.15
การยอมรับโดยรวม	0.86 ± 0.09

* จากผู้ทดสอบชิม 10 คน

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต พบว่ามีคุณภาพตรงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2523) และฉบับที่ 99 (พ.ศ. 2529) ในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 (ดูภาคผนวก จ)



ภาพที่ 4.15 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต และโยเกิร์ตตรา ดัชชี่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ผลิตตามสูตรผสมและกระบวนการผลิตที่ได้รับการพัฒนาแล้วจะมีเค้าโครงผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับโยเกิร์ตตรา ดัชชี่ แต่มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติมากกว่า เช่น ลักษณะปรากฏ สี เนื้อโยเกิร์ต ความรู้สึกในปาก ความเข้มข้น และความข้นหนืด การเกิดเวย์ลดลงกว่าโยเกิร์ตตราดัชชี่เล็กน้อย เมื่อพิจารณาจากเค้าโครงผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต ผู้เขียนมีความเห็นว่าน่าจะผลิตจำหน่ายได้

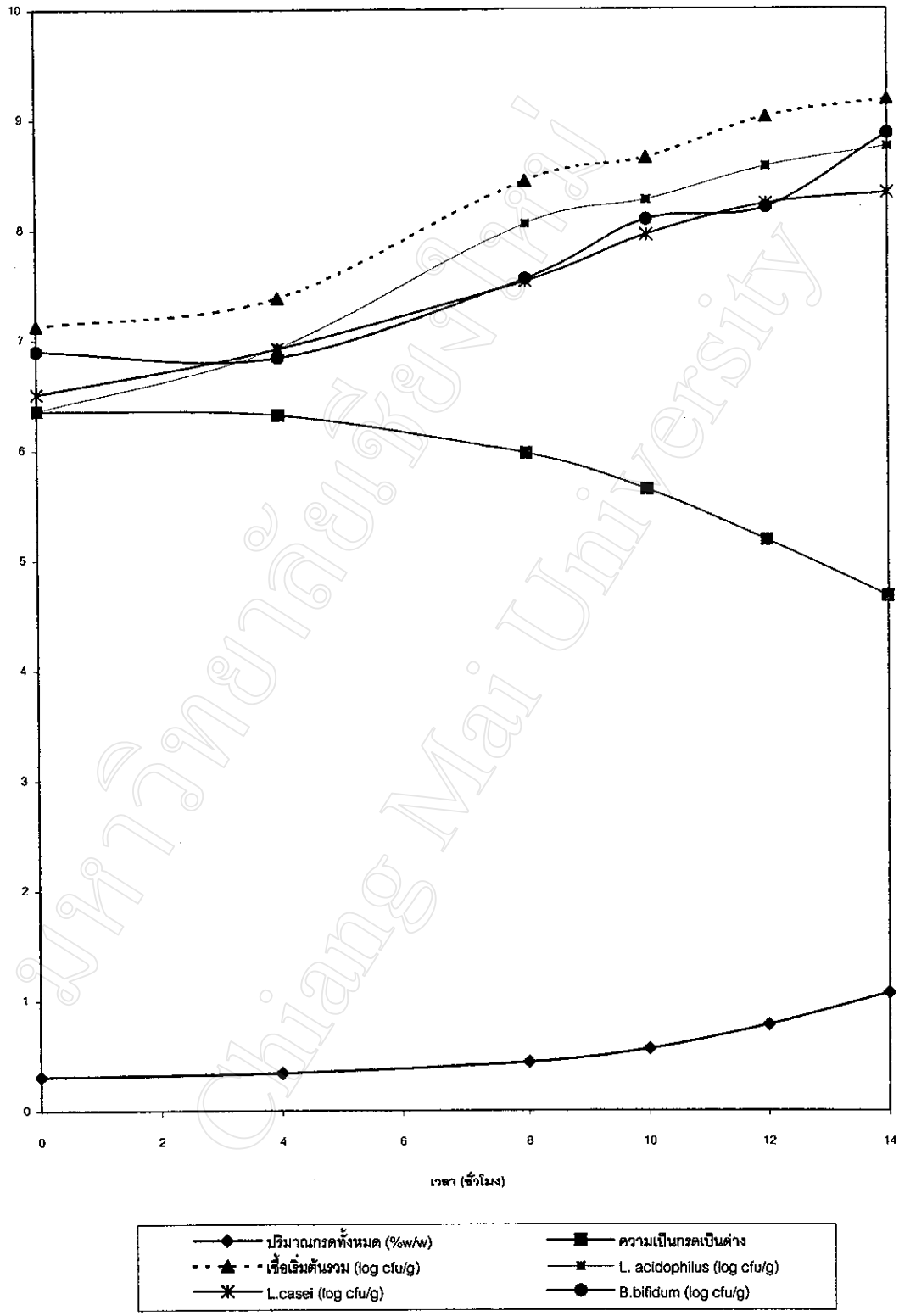
4.4.4 การเจริญเติบโตของเชื้อเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณกรด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณเชื้อเริ่มต้นในระหว่างการเจริญเติบโตในผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต ที่ 37 องศาเซลเซียส 14 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	เชื้อเริ่มต้นรวม (log cfu/g)	*L. acidophilus* (log cfu/g)	*L.casei* (log cfu/g)	*B.bifidum* (log cfu/g)
0	0.31	6.36	7.13	6.36	6.51	6.90
4	0.34	6.32	7.38	6.93	6.92	6.84
8	0.44	5.97	8.44	8.05	7.53	7.55
10	0.56	5.64	8.65	8.27	7.95	8.09
12	0.78	5.18	9.02	8.57	8.23	8.20
14	1.07	4.67	9.18	8.75	8.33	8.87

จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง แสดงว่าเชื้อเริ่มต้นมีการเจริญเติบโต เมื่อดูที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นแต่ละชนิดจะเห็นได้ว่าเชื้อเริ่มต้นทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโต โดยเฉพาะเชื้อเริ่มต้น *B. bifidum* ซึ่งปกติจะเจริญในน้ำนมได้ไม่ดี บางครั้งไม่เจริญเลย แต่เมื่อมีเชื้อเริ่มต้นที่เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกชนิดอื่นเจริญร่วมด้วย *B. bifidum* จึงมีการเจริญเติบโตตามไปด้วยดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.16

ในการนับจำนวนเชื้อเริ่มต้น ควรบ่มจานเลี้ยงเชื้อที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 96 ชั่วโมง จะให้ผลการคำนวณปริมาณเชื้อเริ่มต้น *B. bifidum* ดีกว่าการบ่มนาน 72 ชั่วโมง เพราะการคำนวณจะให้ผลเป็นบวกทุกหน่วยทดลอง ขณะที่การบ่มที่ 72 ชั่วโมง *B. bifidum* อาจมีการเจริญไม่เต็มที่ ยังไม่เห็นเป็นรูปร่างโคโลนีด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณเชื้อเริ่มต้นระหว่างกระบวนการหมักผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่ 37 องศาเซลเซียส 14 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

ผลิตภัณฑ์นมหมักเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตผสมอยู่ด้วย อีกทั้งยังมีค่า A_w (Water activity) สูง เน่าเสียได้ง่าย และต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อรักษาคุณภาพหลังจากการหมักให้ยังคงอยู่ ผลิตภัณฑ์นมหมักสามารถเสื่อมคุณภาพลงได้เนื่องจากการปนเปื้อนจากเชื้อยีสต์และรา การเจริญเติบโตของเชื้อเริ่มต้นบางสายพันธุ์และสร้างกรดเพิ่มขึ้นหลังการหมัก (Post-acidification) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น การสลายตัวของโปรตีนเนื่องจากเอนไซม์ที่เชื้อเริ่มต้นสร้างขึ้นทำให้เกิดรสขมขึ้น และการลดลงของปริมาณเชื้อเริ่มต้นบางชนิดขณะเก็บรักษา ทำให้คุณประโยชน์ที่จะได้จากการบริโภคลดลง การทดลองนี้จะศึกษาสภาวะการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นมหมักที่อุณหภูมิสองระดับ คือ 5 และ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในตู้เย็นโดยทั่วไป เป็นเวลา 4 สัปดาห์

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นมหมักที่อุณหภูมิแตกต่างกันพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งผลการทดลองแสดงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมัก

จากตารางที่ 4.19 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม ปริมาณ *L. acidophilus* และ ปริมาณ *L. casei* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ส่วนปริมาณของ *B. bifidum* นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด จนอายุการเก็บรักษาที่ 4 สัปดาห์มีจำนวนลดลงจนน้อยเกินไปที่จะสามารถนับได้ที่การเจือจางมากๆ (น้อยกว่า 10^7 cfu/g) ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณกรดที่สูง และค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ

ส่วนการเก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ของปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณเชื้อเริ่มต้น *L. acidophilus* โดยที่ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง และปริมาณของ *L. acidophilus* ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nighswonger et al. (1996) ที่ทดลองเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มี *L. acidophilus* หลายสายพันธุ์และ *L. casei* GG ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ต พวกเขาพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มี *L. acidophilus* La-5 ผสมอยู่มีปริมาณลดลง

ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเกิดการสร้างกรดภายหลังการหมัก (Post-acidification) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเชื้อเริ่มต้น *L. casei* ซึ่งสามารถเจริญได้ช้าๆที่อุณหภูมิต่ำ และยังมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้วย ส่วนปริมาณของ *B. bifidum* ก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณเชื้อเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่เก็บรักษาที่ 5 และ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์

สภาวะการเก็บรักษา	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์
เก็บรักษาที่ 5 °C			
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	1.83±0.03*[a]	1.89±0.01[a]	1.85±0.02[a]
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.26±0.03[a]	4.35±0.02[a]	4.33±0.02[a]
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log cfu/g)	9.20[a]	9.07[a]	8.73[a]
ปริมาณ *L. acidophilus* (log cfu/g)	9.02[a]	8.96[a]	8.76[a]
ปริมาณ *L. casei* (log cfu/g)	8.29[a]	8.26[a]	8.28[a]
ปริมาณ *B. bifidum* (log cfu/g)[1]	8.53	7.79	ต่ำกว่า 7.00
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3
ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10
เก็บรักษาที่ 8 °C			
ปริมาณกรดทั้งหมด (%w/w)	1.85±0.06[a]	2.35±0.05[b]	2.45±0.12[b]
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.25±0.02[a]	4.05±0.05[b]	3.93±0.03[b]
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นรวม (log cfu/g)	9.31[a]	8.94[a]	8.73[a]
ปริมาณ *L. acidophilus* (log cfu/g)	9.12[a]	8.83[b]	8.76[b]
ปริมาณ *L. casei* (log cfu/g)	8.27[a]	7.93[a]	8.09[a]
ปริมาณ *B. bifidum* (log cfu/g)[1]	8.74	8.02	ต่ำกว่า 7.00
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3
ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10

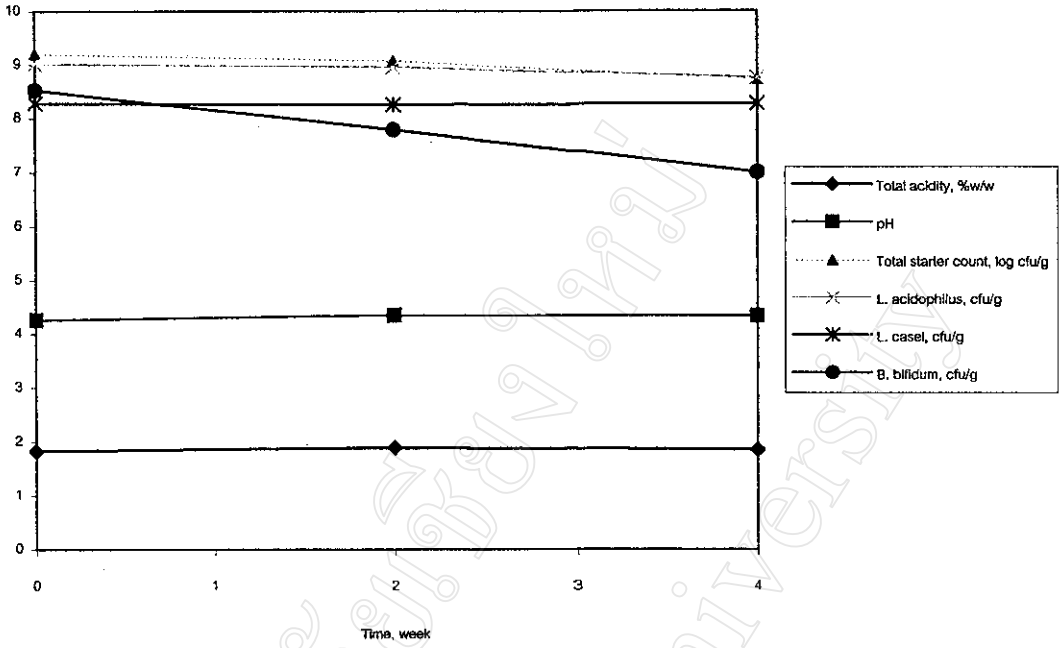
หมายเหตุ * หมายถึง ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[1] หมายถึง คำนวณโดยวิธี Substraction

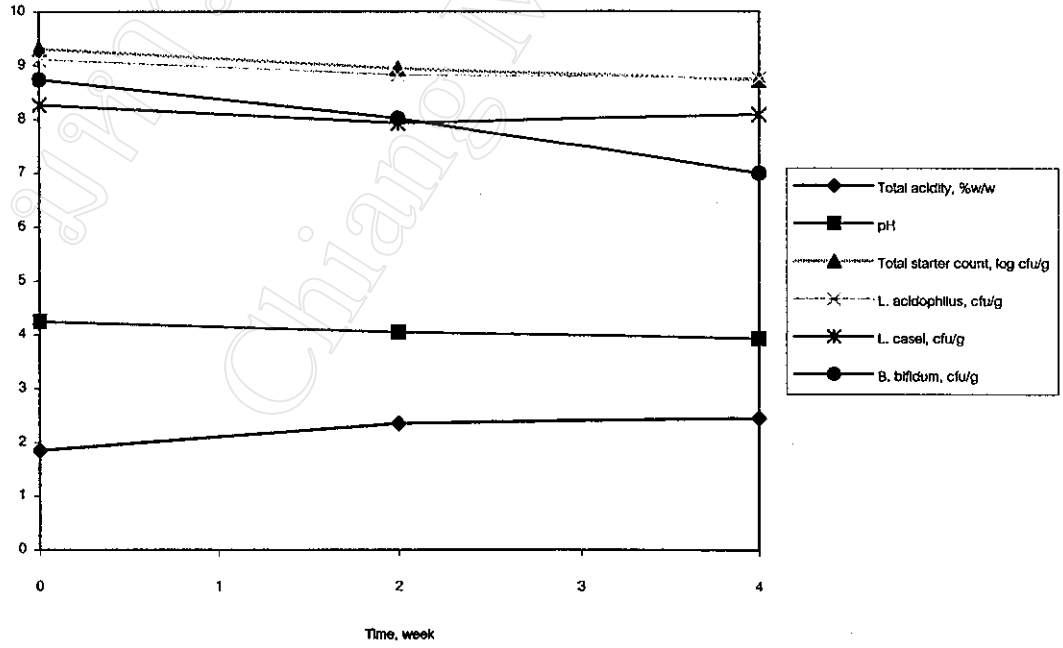
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวและคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 2 สัปดาห์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดจากสัปดาห์เริ่มต้น แต่จากสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลของปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและปริมาณเชื้อยีสต์และรา พบว่าในผลิตภัณฑ์ไม่มีการเจริญหรือการปนเปื้อนของเชื้อยีสต์และรารวมทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางเคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความข้นหนืด และค่าสี Hunter ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ต

สภาวะการเก็บรักษา	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์
เก็บรักษาที่ 5 °C			
ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	8,363±1,020*[a]	8,027±581[a]	6,185±318[b]
ค่าสี L	82.51±0.25[a]	83.29±0.02[a]	82.89±0.13[a]
ค่าสี a	-0.67±0.04[b]	-0.48±0.03[a]	-0.64±0.01[b]
ค่าสี b	12.29±0.13[a]	11.99±0.06[a]	11.94±0.13[a]
เก็บรักษาที่ 8 °C			
ความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	7,920±509[a]	8,263±762[a]	6,900±469[a]
ค่าสี L	83.00±0.01[b]	83.36±0.15[a]	83.01±0.03[b]
ค่าสี a	-0.77±0.01[b]	-0.38±0.06[a]	-0.65±0.02[b]
ค่าสี b	12.23±0.01[a]	11.87±0.03[c]	12.05±0.01[b]

หมายเหตุ * หมายถึง ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

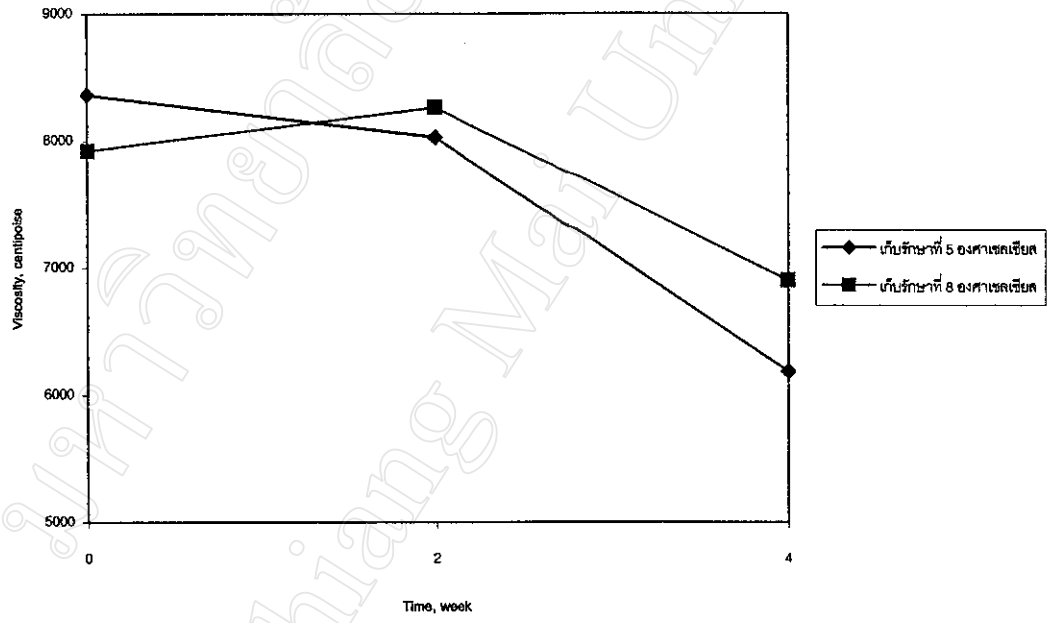
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวและคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ความข้นหนืดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ อุณหภูมิที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ความข้นหนืดมีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 4 อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายโปรตีน (Protiolysis) ที่เกิดจากเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่เชื้อเริ่มต้นสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก ส่วนที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ความข้นหนืดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเป็นเพราะการสร้างกรดเพิ่มขึ้นภายหลังการหมักของเชื้อเริ่มต้น ทำให้โปรตีนรัดตัวกันแน่นขึ้น ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ

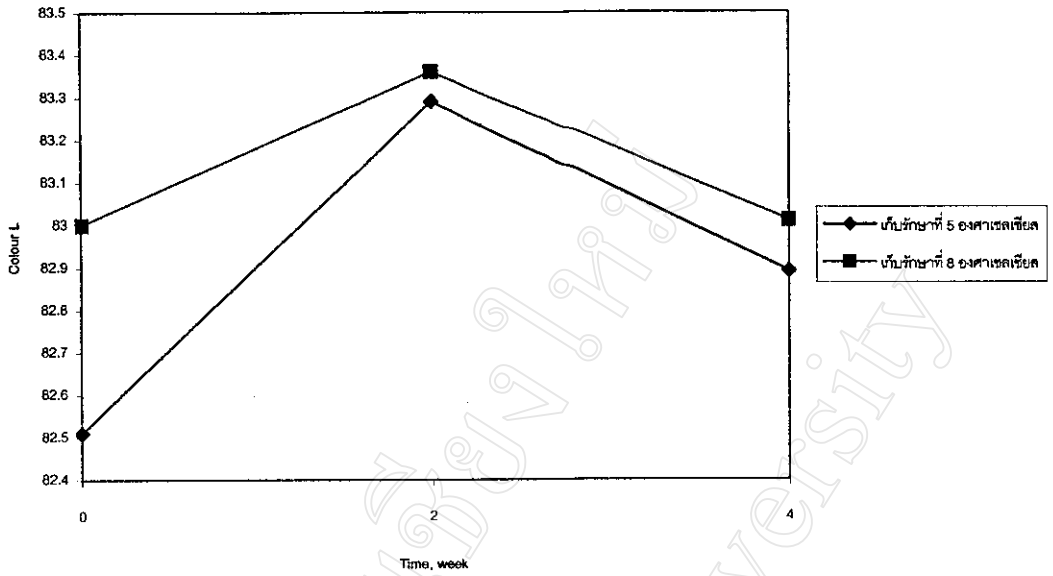
การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L พบว่า ค่าสี L มีค่าเพิ่มขึ้นในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แล้วลดลงในสัปดาห์ที่ 4 อาจเกิดจากการตกตะกอนของโปรตีนมีมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ทึบแสง ทำให้ความสว่างเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 แต่หลังจากนั้นการย่อยสลายโปรตีนมีมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ทึบแสงน้อยลง ความสว่างจึงลดลง ส่วนการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

การเปลี่ยนแปลงของค่าสี a ของทั้งสองอุณหภูมิพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ลดลง แล้วเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 อาจเกิดจากโปรตีนเช่นเดียวกัน ที่สัปดาห์ที่ 2 โปรตีนตกตะกอนเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทึบแสงมากขึ้น ทำให้สีอ่อนลงจากเมื่อเริ่มต้นเพราะความสว่างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 โปรตีนถูกย่อยสลายมากขึ้น ทำให้ความสว่างลดลง สีจึงเข้มขึ้น

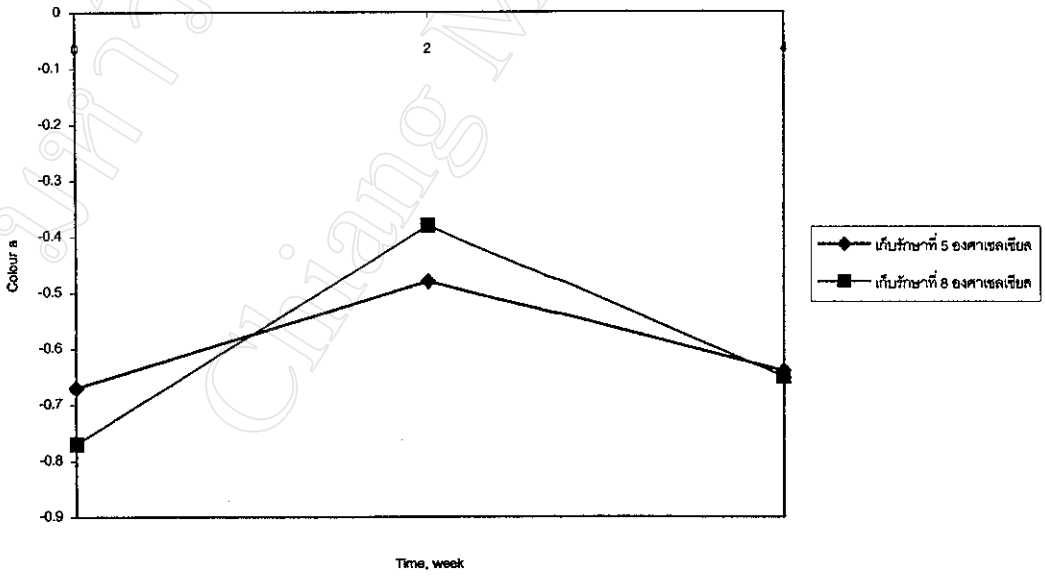
การเปลี่ยนแปลงของค่าสี b ของผลิตภัณฑ์นมหมักที่เก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ เหตุผลคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L และค่าสี a คือที่สัปดาห์ที่ 2 การสร้างกรดเพิ่มขึ้นภายหลังการหมักทำให้โปรตีนตกตะกอนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความทึบแสงมากขึ้น สะท้อนแสงได้มากขึ้น สีจึงอ่อนลง แต่เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 เกิดการย่อยสลายโปรตีนมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์นมหมักทึบแสงน้อยลง ทำให้สีเข้มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าสี b ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



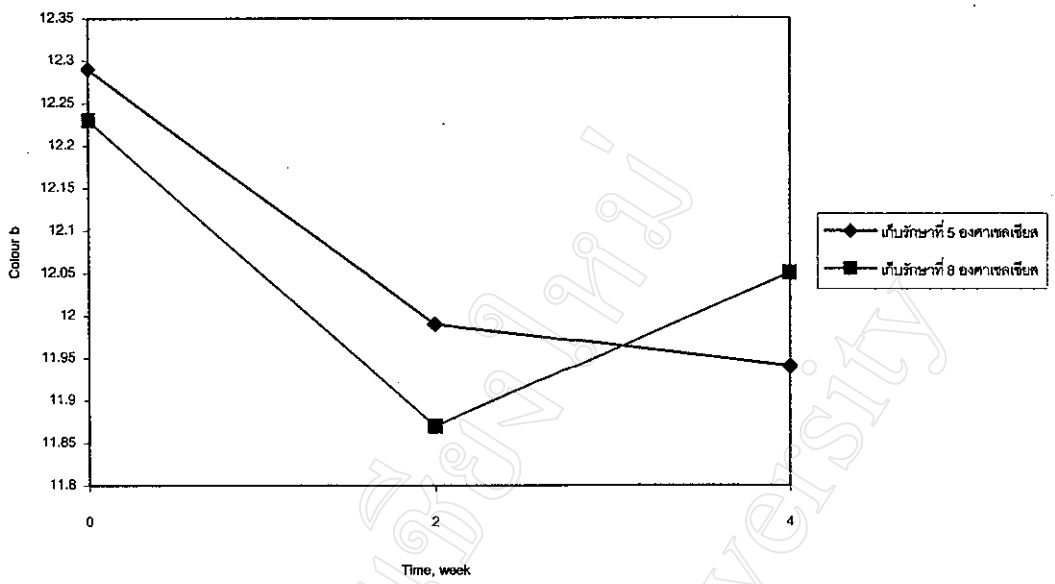
ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 และ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 และ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 และ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 และ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมหมัก

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์

ลักษณะ	เริ่มต้น	อายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์	อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์
สี	1.05±0.09*[a]	1.05±0.11[a]	1.08±0.17[a]
ลักษณะเนื้อ	0.92±0.06[a]	0.94±0.08[a]	0.94±0.05[a]
การเกิดเวย์	1.89±1.33[a]	1.64±1.13[a]	1.44±1.63[a]
เนื้อโยเกิร์ต	0.94±0.07[a]	0.99±0.05[a]	0.97±0.03[a]
ความรู้สึกในปาก	0.95±0.05[a]	0.95±0.07[a]	0.95±0.05[a]
ความเข้มข้น	0.98±0.06[b]	1.02±0.03[a]	1.03±0.06[a]
ความข้นหนืด	1.00±0.13[c]	1.03±0.05[b]	1.09±0.12[a]
กลิ่นนม	0.97±0.04[a]	0.99±0.05[a]	0.98±0.07[a]
กลิ่นเปรี้ยว	1.01±0.13[a]	1.09±0.13[a]	1.17±0.16[a]
รสเปรี้ยว	1.10±0.11[a]	1.05±0.07[a]	1.15±0.18[a]
รสหวาน	0.88±0.13[a]	0.88±0.12[a]	0.90±0.05[a]
การยอมรับโดยรวม	0.86±0.11[a]	0.87±0.09[a]	0.85±0.10[a]

หมายเหตุ * หมายถึง Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวและคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.21 พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์นมหมักไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ซึ่งเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต่ำ การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆมีน้อย ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงรับรู้ได้ไม่แตกต่างกันนัก ยกเว้น ความเข้มข้น และความข้นหนืด

ความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น เจลของผลิตภัณฑ์นมหมักอาจเกิด Gel maturation ซึ่งเจลจะมีการปรับปรุงคุณลักษณะดีขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาในช่วงแรกๆ (Tamime and Robinson, 1985) แต่ถ้าเกิดจากการระเหยของน้ำ เป็นไปได้น้อย เพราะภาชนะบรรจุเป็นภาชนะแก้วปิดสนิทแบบขวดแยม

ความข้นหนืดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับความข้นหนืดที่ได้จากการใช้เครื่องวัดความข้นหนืด ที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจาก Gel maturation เช่นเดียวกับความเข้มข้น ผู้ทดสอบชิมอาจเห็นว่าลักษณะของเจลดีขึ้น มีความคงตัวมากขึ้นทำให้รู้สึกว่ามีความข้นหนืดมากขึ้นก็เป็นได้

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบค่า Mean ideal ratio score ของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส 4 สัปดาห์

ลักษณะ	เริ่มต้น	อายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์	อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์
สี	$1.05 \pm 0.09^{*a}$	1.04 ± 0.08^{a}	1.08 ± 0.19^{a}
ลักษณะเนื้อ	0.89 ± 0.09^{a}	0.93 ± 0.09^{a}	0.92 ± 0.06^{a}
การเกิดเวย์	1.83 ± 1.22^{a}	1.64 ± 1.17^{a}	1.44 ± 1.63^{a}
เนื้อโยเกิร์ต	0.93 ± 0.07^{a}	0.95 ± 0.09^{a}	0.97 ± 0.03^{a}
ความรู้สึกในปาก	0.97 ± 0.04^{a}	0.96 ± 0.06^{a}	0.92 ± 0.07^{b}
ความเข้มข้น	0.98 ± 0.08^{b}	1.02 ± 0.05^{a}	1.04 ± 0.05^{a}
ความข้นหนืด	1.00 ± 0.11^{a}	1.05 ± 0.06^{a}	1.07 ± 0.10^{a}
กลิ่นนม	0.96 ± 0.05^{a}	0.95 ± 0.05^{a}	0.89 ± 0.09^{a}
กลิ่นเปรี้ยว	1.02 ± 0.12^{b}	1.14 ± 0.19^{b}	1.33 ± 0.22^{a}
รสเปรี้ยว	1.08 ± 0.10^{c}	1.19 ± 0.12^{b}	1.30 ± 0.26^{a}
รสหวาน	0.91 ± 0.09^{a}	0.85 ± 0.12^{a}	0.75 ± 0.13^{a}
การยอมรับโดยรวม	0.87 ± 0.09^{a}	0.82 ± 0.11^{a}	0.72 ± 0.13^{a}

หมายเหตุ * หมายถึง Mean ideal ratio score±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวและคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ คือ ความรู้สึกในปาก ความเข้มข้น กลิ่นเปรี้ยว และรสเปรี้ยว

ความรู้สึกในปากมีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากการตกตะกอนของโปรตีนเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการสร้างกรดเพิ่มขึ้นภายหลังการหมัก เช่นเดียวกับความเข้มข้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ก็อาจเนื่องมาจากสาเหตุนี้ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส

กลิ่นเปรี้ยวและรสเปรี้ยวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)เนื่องจากมีการสร้างกรดภายหลังการหมัก ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง นอกจากสร้างกรดแล้ว เชื้อเริ่มต้นยังสร้างกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้นทำให้ผู้ทดสอบรับรู้กลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้นด้วย

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสแล้วพบว่าอุณหภูมิที่น่าจะเหมาะสมที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมหมักคล้ายโยเกิร์ตคือที่ 5 องศาเซลเซียส เพราะคุณภาพส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ในระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

แต่จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่น่าจะเหมาะสมคือที่ 5 องศาเซลเซียส เพราะการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเริ่มต้นส่วนใหญ่ คือ *L. acidophilus* และ *L. casei* มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ($p \leq 0.05$) ยกเว้นเชื้อเริ่มต้น *B. bifidum* ที่มีจำนวนลดลงอย่างมากจนสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณต่ำกว่า 10^7 cfu/g จากปริมาณเชื้อเริ่มต้น *B. bifidum* ที่ลดลงอย่างมากในระหว่างการเก็บรักษา จึงเห็นว่าอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมน่าจะเป็น 2 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ *B. bifidum* ยังมีปริมาณมากกว่า 10^7 cfu/g