บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลศึกษาชนิดและปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง

4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือโลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนเป็นปัจจัยศึกษาที่ระดับการใช้ต่างกัน 3 ระดับ แสดงดังตาราง 4.1

ค่าสีในระบบฮันเตอร์: ผลการวัดค่าสีในระบบฮันเตอร์ของแต่ละสิ่งทดลอง (L a และ b) ค่าสี L แสดงถึงระดับความสว่างของตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่าสี a เป็นค่าสีแดง (ค่าเป็นบวก) - สีเขียว (ค่าเป็นลบ) และค่าสี b เป็นค่าสีเหลือง (ค่าเป็นบวก) – สีน้ำเงิน (ค่าเป็นลบ) (HunterLab, 1997) พบว่า ค่าสี L และค่าสี a ของแต่ละสิ่งทดลอง (สิ่งทดลองที่1-9) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยค่าสี L อยู่ในช่วง 61.57-69.26 และค่าสี a อยู่ระหว่าง 1.63-3.11 ส่วนค่าสี b มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง คือสิ่งทดลองที่ 4 มีค่าสี b มากที่สุดเป็น 15.21 แต่ไม่มีความแตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 5 ที่มีค่าสี b อยู่ระหว่าง 13.94-14.54 ส่วนสิ่งทดลองที่ 9 มีค่าสี b น้อยที่สุดเป็น 12.54 ซึ่งไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 1, 3, 5, 6, 7 และ 8 ที่มีค่าสี b ในช่วง 12.70-13.94

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้โลคัสต์บีนกัม (a_1, a_2, a_3) และระดับการใช้คาร์ราจีแนน (b_1, b_2, b_3) พบว่า ในแต่ละระดับการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดไม่มีผลกระทบต่อค่าสี L และค่าสี a อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนค่าสี b พบว่า การใช้โลคัสต์บีนกัมระดับกลาง (0.075%) ให้ค่าสี b โดยเฉลี่ยสูงที่สุดเป็น 14.07 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) กับการใช้ระดับสูง (0.15%) ซึ่งมีค่าสี b โดยเฉลี่ยต่ำที่สุดเป็น 12.72 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้ระดับต่ำ (0%) ในขณะที่ผลของคาร์ราจีแนนต่อค่าสี b ในแต่ละระดับการใช้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตาราง 4.1 สมบัติทางกายภาพของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดเป็นปัจจัยศึกษาที่ต่างกัน 3 ระดับ

ปัจจัย	ค่าสีในระบบฮันเตอร์			ลักษณะเนื้อสัมผัส
	L	a	b	แรงเจาะทะลุ (นิวตัน)
โลคัสต์บีนกัม (A)				
-ระดับต่ำ (0%) (a_1)	67.31±0.79*	2.50±0.39	13.72±0.94^{ab}	9.12±1.92^{b}
-ระดับกลาง (0.075%) (a_2)	65.50±1.40	2.50±0.53	14.07±1.10^{a}	9.83±2.62^{b}
-ระดับสูง (0.15%) (a_3)	65.66±3.87	2.01±0.36	12.72±0.19^{b}	12.88±4.18^{a}
คาร์ราจีแนน (B)				
-ระดับต่ำ (0%) (b_1)	67.67±0.79	2.36±0.74	13.56±1.45	7.48±0.89^{b}
-ระดับกลาง (0.1%) (b_2)	66.62±0.79	2.34±0.30	13.80±0.67	11.89±1.58^{a}
-ระดับสูง (0.2%) (b_3)	64.17±2.64	2.51±0.52	13.16±0.71	12.46±3.78^{a}
A×B				
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	66.87±1.97	2.33±0.71	12.70±1.12^{c}	6.90±0.08^{e}
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	68.22±3.94	2.66±0.60	14.54±0.62^{ab}	10.18±0.99^{cd}
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_1b_3)	66.84±5.18	3.10±1.46	13.94±0.06^{abc}	10.28±1.63^{cd}
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_1)	66.89±7.76	3.11±0.74	15.21±0.96^{a}	7.02±1.05^{e}
-สิ่งทดลองที่ 5 (a_2b_2)	65.50±2.81	2.30±0.13	13.94±1.09^{abc}	12.20±0.86^{bc}
-สิ่งทดลองที่ 6 (a_2b_3)	64.10±0.76	2.10±0.46	13.02±0.09^{bc}	10.27±0.06^{cd}
-สิ่งทดลองที่ 7 (a_3b_1)	69.26±0.89	1.63±0.16	12.71±0.23^{c}	8.50±1.26^{de}
-สิ่งทดลองที่ 8 (a_3b_2)	66.16±6.25	2.06±0.35	12.92±0.79^{c}	13.30±1.53^{b}
-สิ่งทดลองที่ 9 (a_3b_3)	61.57±0.23	2.34±0.05	12.54±0.32^{c}	16.83±1.25^{a}

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1. L = ค่าความสว่าง; a = ค่าสีแดง; b = ค่าสีเหลือง
2. ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ลักษณะเนื้อสัมผัส: เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลองต่างๆ โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร (Instron) วัดในรูปของแรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุ (Penetration force) มีหน่วยวัดเป็นนิวตัน ซึ่งสามารถแสดงถึง Hardness ของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองหรือ Gel strength ของโปรตีนถั่วเหลืองได้ (Beddows, 1987; Snyder and Kwon, 1987)

พบว่า สิ่งทดลองที่ 9 (a_3b_3) มีค่าแรงเจาะทะลุมากที่สุด 16.83 นิวตันและแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \le 0.05$ ทั้งนี้สิ่งทดลองที่มีค่าแรงเจาะทะลุสูงแสดงว่ามีเนื้อสัมผัสที่แน่นกว่าสิ่งทดลองที่มีค่าแรงน้อยกว่าหรือแสดงว่าลักษณะเนื้อสัมผัสมีรูพรุนอยู่น้อยกว่าหรือเหนียวมากก็ได้ สำหรับสิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1) มีค่าแรงเจาะทะลุต่ำที่สุดเป็น 6.90 นิวตัน และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_1) และ 7 (a_3b_1) ซึ่งเติมเฉพาะโลคัสต์บีนกัม โดยมีค่าแรงเจาะทะลุเป็น 7.02 และ 8.50 นิวตันตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้โลคัสต์บีนกัม (a_1, a_2, a_3) จะเห็นได้ว่า ถ้าใช้โลคัสต์บีนกัมในปริมาณสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าแรงเจาะทะลุเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การใช้โลคัสต์บีนกัมระดับสูง (0.15%) สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างจากระดับการใช้อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \le 0.05$) อาจเป็นเพราะว่าการใช้โลคัสต์บีนกัมจะช่วยเพิ่มความหนืด (Fennema, 1996) ทำให้สิ่งทดลองมีลักษณะเหนียวและเกาะตัวกันดีขึ้นโดยเฉพาะหลังจากอัดให้น้ำออกจากลิ่มนม ดังนั้นการใช้โลคัสต์บีนกัมระดับสูงก็สามารถทำให้แรงเจาะทะลุมีค่าสูงขึ้นด้วย

ส่วนผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้คาร์ราจีแนน (b_1, b_2, b_3) พบว่า ค่าแรงเจาะทะลุมีแนวโน้มเพิ่มตามปริมาณการใช้คาร์ราจีแนนที่สูงขึ้น โดยการใช้คาร์ราจีแนนในระดับสูง (0.2%) ทำให้สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงสุดเป็น 12.46 นิวตัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \le 0.05$) จากการใช้ระดับต่ำ (0%) ที่มีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ย 7.48 นิวตัน แต่ไม่แตกต่างจากการใช้คาร์ราจีแนนในระดับกลาง (0.1%) ที่มีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ย 11.89 นิวตัน ทั้งนี้คาร์ราจีแนนเป็น Sulfated polysaccharides อาจช่วยให้นมถั่วเหลืองแข็งตัวเป็นเจลมากขึ้น นอกเหนือจากการตกตะกอนของโปรตีนถั่วเหลืองที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ Isoelectric point (pI) ของโปรตีน เพราะว่า

(1) คาร์ราจีแนนที่ละลายในน้ำ เมื่อเย็นตัวจะเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติที่มี Junction zone เกาะตัวกันและแข็งตัวเป็นเจล (Fennema, 1996)

(2) ถ้า pH มากกว่า pI ของโปรตีนสามารถเกิด Interaction ระหว่างประจุลบบนโมเลกุลของโปรตีนและคาร์ราจีแนน โดยผ่านแคลเซียมอิออนที่มีอยู่ในนมถั่วเหลือง (CEAMSA, 1999-2000)

(3) ถ้า pH ลดลงต่ำกว่า pI ของโปรตีนสามารถเกิด Electrostatic interaction ระหว่างประจุลบบนโมเลกุลของคาร์ราจีแนนและหมู่ประจุบวกบนโมเลกุลของโปรตีน

(4) ถ้า pH ลดลงเท่ากับ pI ของโปรตีนสามารถเกิด Ion--dipole interaction ระหว่างโปรตีนกับคาร์ราจีแนน (CEAMSA, 1999-2000)

เมื่อลิ่มนมมีโครงร่างเจลที่หนาแน่นหรือมีการรวมตัวของโปรตีนจนมีขนาดใหญ่มากจะมีความสัมพันธ์กับความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองเช่นเดียวกับในกรณีของเต้าหู้ (Saio, 1979) คือ ถ้าโครงร่างเจลมีความหนาแน่นสูง ทำให้เต้าหู้มีความแข็งสูงด้วย ดังนั้นการใช้คาร์ราจีแนนซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณเจลโปรตีน สามารถทำให้สิ่งทดลองมีความแข็งเพิ่มขึ้นได้หลังอัดให้น้ำออกจากลิ่มนมแล้ว ซึ่งการใช้ไฮโดรคอลลอยด์สองชนิดร่วมกัน อาจช่วยเสริมให้เจลแข็งแรงมากขึ้นเพราะโครงสร้างหลักของโลคัสต์บีนกัมเป็นโพลีเมอร์สายยาวและมีแขนงเล็กน้อยสามารถรวมตัวกับคาร์ราจีแนนได้แน่น (Williams and Langdon, 1996; Nussinovitch, 1997) ดังนั้นโปรตีนที่ตกตะกอนจึงมีเนื้อแน่นและทำให้สิ่งทดลองมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยมีผลต่อค่าแรงเจาะทะลุต่างกันตามอัตราส่วนที่ใช้

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้

ปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield of products) ในค่าร้อยละของน้ำหนักสิ่งทดลองที่ได้ (กรัม) ต่อน้ำหนักของนมถั่วเหลืองที่ใช้ (กรัม) แสดงดังตาราง 4.2 พบว่า ในแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 4.68-6.00% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิต Hard Cheese ซึ่งใช้นมโค 12.5 กิโลกรัม ได้ผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัมหรือคิดเป็น 8% โดยน้ำหนัก (Foundation Baron Michael Fossizza, No date) จะเห็นได้ว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองมีปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยกว่าเนยแข็งจากนมโค อาจเป็นเพราะวัตถุดิบที่ใช้มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ในนมถั่วเหลืองมีโปรตีนหลักเป็น 7 S และ 11 S globulin (Snyder and Kwon, 1987) ส่วนโปรตีนในนมโคที่สำคัญ ได้แก่ Casein Lactoalbumin และ Lactoglobulin (นิธิยา, 2543) ทำให้ความสามารถในการตกตะกอนต่างกัน

สำหรับผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้โลคัสต์บีนกัม (a_1, a_2, a_3) พบว่า ปริมาณผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการใช้

คาร์ราจีแนนทั้ง 3 ระดับ (b_1, b_2, b_3) อย่างไรก็ตามการใช้คาร์ราจีแนนในระดับสูงทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ยมากที่สุด

ตาราง 4.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้ เมื่อมีไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดเป็นปัจจัยศึกษาที่ต่างกัน 3 ระดับ

ปัจจัย	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% โดยน้ำหนัก)	ปัจจัย	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% โดยน้ำหนัก)
โลคัสต์บีนกัม (A)		คาร์ราจีแนน (B)	
-ระดับต่ำ (0%) (a_1)	4.98±0.44*	-ระดับต่ำ (0%) (b_1)	5.27±0.44
-ระดับกลาง (0.075%) (a_2)	4.97±0.62	-ระดับกลาง (0.1%) (b_2)	5.22±0.69
-ระดับสูง (0.15%) (a_3)	4.99±0.43	-ระดับสูง (0.2%) (b_3)	5.56±0.39
A×B		A×B	
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	4.78±1.12	-สิ่งทดลองที่ 6 (a_2b_3)	5.92±0.74
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	4.98±0.18	-สิ่งทดลองที่ 7 (a_3b_1)	5.62±0.73
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_1b_3)	5.63±0.50	-สิ่งทดลองที่ 8 (a_3b_2)	6.00±0.74
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_1)	5.40±0.35	-สิ่งทดลองที่ 9 (a_3b_3)	5.14±0.08
-สิ่งทดลองที่ 5 (a_2b_2)	4.68±0.35		

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณผลผลิตที่ได้ คิดจากค่าร้อยละของน้ำหนักสิ่งทดลองที่ได้ (กรัม) ต่อน้ำหนักของนมถั่วเหลืองที่ใช้ (กรัม)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือโลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนเป็นปัจจัยศึกษาที่ต่างกัน 3 ระดับ แสดงดังตาราง 4.3

ปริมาณความชื้น: ผลการศึกษา พบว่า สิ่งทดลองที่ 9 (a_3b_3) มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเป็น 56.21% และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลองที่ 5 (a_2b_2), 7 (a_3b_1) และ 8 (a_3b_2) ที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 57.54-58.38% ส่วนสิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1) มีปริมาณความชื้นเป็น 60.42% ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2), 3 (a_1b_3), 4 (a_2b_1) และ 6 (a_2b_3) ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 61.48-62.57 %

ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้โลคัสต์บีนกัม (a_1, a_2, a_3) จะเห็นได้ว่า ถ้าใช้โลคัสต์บีนกัมในปริมาณสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ทั้งนี้การใช้โลคัสต์บีนกัมระดับสูงทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดเป็น 57.42% ซึ่งมีความแตกต่างจากระดับการใช้อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่การใช้โลคัสต์บีนกัมในระดับกลางและระดับต่ำให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้คาร์ราจีแนน (b_1, b_2, b_3) พบว่า การใช้คาร์ราจีแนนระดับกลาง (0.1%) ทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดเป็น 58.93% ส่วนการใช้ระดับสูง (0.2%) สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ย 59.99% ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ระดับกลางและระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

การที่ปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีค่าต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นผลการศึกษาที่ขัดแย้งกับหน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นตัวอุ้มน้ำ (Fennema, 1996) ซึ่งน่าจะทำให้เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณความชื้นสูงเหมือนกับผลการศึกษาของ Bullens et al. (1994) ซึ่งพบว่าการเติมคาร์ราจีแนนช่วยปรับปรุงความสามารถในการรวมตัวกับน้ำของโปรตีนเคเซอีนและได้ปริมาณเนยแข็งเพิ่มขึ้น 10% เทียบกับสิ่งทดลองควบคุม (Control)

ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่าง : ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติก พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดของแต่ละสิ่งทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.082-0.098% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนความเป็นกรด-ด่างของแต่ละสิ่งทดลองลดลงจาก 6.6 (ค่าพีเอชของนมถั่วเหลือง) มาอยู่ในช่วง 4.87-5.05 สาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าทั้งสองของแต่ละสิ่งทดลองใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลจากมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้หมักเหมือนกัน คือ มาจากน้ำตาลในนมถั่วเหลืองเท่านั้นโดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส (Sucrose) สตาคีโอส (Stachyose) และแรฟฟีโนส (Raffinose) (William and Akiko, 1979) ทำให้เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus fermentum* ผลิตกรดแลกติคได้ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระดับการใช้โลคัสต์บีนกัม (a_1, a_2, a_3) พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.089-0.092% และ 4.89-4.99 ตามลำดับ

ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เช่นเดียวกับในระดับการใช้คาร์ราจีแนน (b_1, b_2, b_3) ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยเป็น 0.088-0.094% และ 4.91-5.02 ตามลำดับ

ตาราง 4.3 สมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดเป็นปัจจัยศึกษาที่ต่างกัน 3 ระดับ

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณความชื้น (%)
โลคัสต์บีนกัม (A)			
-ระดับต่ำ (0%) (a_1)	0.090±0.003*	4.89±0.06	61.16±0.64[a]
-ระดับกลาง (0.075%) (a_2)	0.089±0.009	4.97±0.09	60.80±2.83[a]
-ระดับสูง (0.15%) (a_3)	0.092±0.003	4.99±0.05	57.42±1.11[b]
คาร์ราจีแนน (B)			
-ระดับต่ำ (0%) (b_1)	0.088±0.005	5.02±0.04	60.46±2.10[a]
-ระดับกลาง (0.1%) (b_2)	0.094±0.004	4.91±0.04	58.93±2.28[b]
-ระดับสูง (0.2%) (b_3)	0.089±0.006	5.01±0.04	59.99±3.30[ab]
A×B			
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	0.088±0.003	5.04±0.00	60.42±0.46[ab]
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	0.094±0.003	4.92±0.24	61.56±0.52[a]
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_1b_3)	0.088±0.002	4.98±0.09	61.48±1.92[a]
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_1)	0.082±0.002	5.05±0.01	62.57±0.21[a]
-สิ่งทดลองที่ 5 (a_2b_2)	0.098±0.014	4.87±0.04	57.54±1.36[c]
-สิ่งทดลองที่ 6 (a_2b_3)	0.084±0.020	5.00±0.11	62.29±0.23[a]
-สิ่งทดลองที่ 7 (a_3b_1)	0.092±0.009	4.98±0.16	58.38±0.26[bc]
-สิ่งทดลองที่ 8 (a_3b_2)	0.089±0.005	4.96±0.02	57.68±1.49[c]
-สิ่งทดลองที่ 9 (a_3b_3)	0.095±0.002	5.05±0.01	56.21±0.74[c]

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

การที่ปริมาณความชื้นและค่าแรงเจาะทะลุตอบสนองต่อปริมาณการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดไปพร้อมๆกัน สามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวจากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ Linear regression analysis แสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

ค่าแรงเจาะทะลุ = 11.893 + 1.878 (โลคัสต์บีนกัม) + 2.491 (คาร์ราจีแนน)
-1.193 (คาร์ราจีแนน)^2+ 1.238 (คาร์ราจีแนน) (โลคัสต์บีนกัม)
$R^2 = 0.8428$

ปริมาณความชื้น = 60.802 - 1.868 (โลคัสต์บีนกัม) - 1.511 (โลคัสต์บีนกัม)^2
- 0.809 (คาร์ราจีแนน) (โลคัสต์บีนกัม)
$R^2 = 0.5711$

ในการคำนวณหาผลการตอบสนองที่เกิดขึ้นจากแต่ละปัจจัยศึกษา ได้นำเอาสมการที่มีผลต่อคุณลักษณะต่างๆมาถอดรหัสของตัวแปรของแต่ละสมการ โดยพิจารณาเลือกสมการถดถอยที่มีค่า R^2 สูง (มีค่าเข้าใกล้ 1) มาทำการถอดรหัส (Decoding) ของตัวแปรของสมการ Coded equation (แสดงดังภาคผนวก ฉ) เมื่อแก้ไขสมการเรียบร้อยแล้วจะได้สมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ซึ่งสามารถนำไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น โดยแทนค่าระดับปริมาณการใช้ของโลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนในช่วงที่ทำการศึกษา คือ โลคัสต์บีนกัม 0-0.15% และคาร์ราจีแนน 0-0.2% อย่างไรก็ตามการคาดคะเนต้องไม่ทำในช่วงที่เกินจากช่วงระดับสูงต่ำที่ได้จากการทดลอง ผลของสมการที่ถอดรหัสแล้วและผลการคาดคะเนแสดงได้ดังนี้

ค่าแรงเจาะทะลุ = 7.569 + 36.388 (คาร์ราจีแนน) - 119.275 (คาร์ราจีแนน)^2
+ 8.544 (โลคัสต์บีนกัม) + 165 (คาร์ราจีแนน) (โลคัสต์บีนกัม)
$R^2 = 0.8428$

แทนค่าระดับการใช้จริงของตัวแปรทั้งสองเข้าไปคือ f = (โลคัสต์บีนกัม, คาร์ราจีแนน)

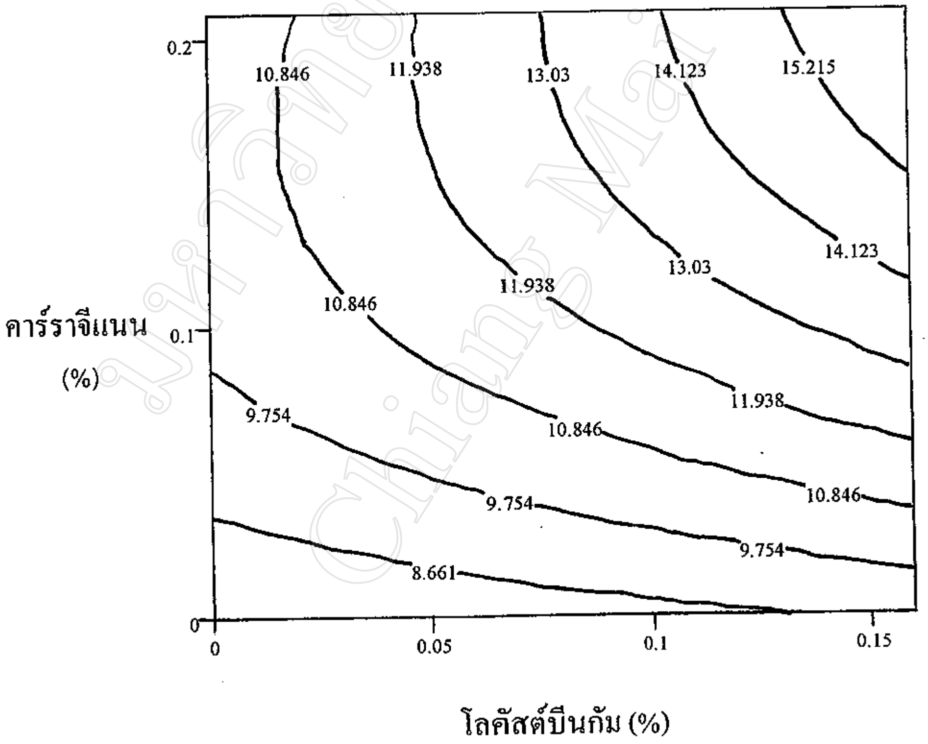
f (0, 0) = 7.569	f (0.075, 0) = 8.210	f (0.15, 0) = 8.851
f (0, 0.1) = 10.015	f (0.075, 0.1) = 11.893	f (0.15, 0.1) = 13.772
f (0, 0.2) = 10.076	f (0.075, 0.2) = 13.191	f (0.15, 0.2) = 16.307

ปริมาณความชื้น = 60.350 + 26.172 (โลคัสต์บีนกัม) - 268.592 (โลคัสต์บีนกัม)^2
+ 8.088 (คาร์ราจีแนน) – 107.833 (คาร์ราจีแนน) (โลคัสต์บีนกัม)
R^2 = 0.5711

แทนค่าระดับการใช้จริงของตัวแปรทั้งสองเข้าไปคือ f = (โลคัสต์บีนกัม, คาร์ราจีแนน)

f (0, 0) = 60.350	f (0.075, 0) = 60.802	f (0.15, 0) = 58.232
f (0, 0.1) = 61.158	f (0.075, 0.1) = 60.802	f (0.15, 0.1) = 57.423
f (0, 0.2) = 61.967	f (0.075, 0.2) = 60.802	f (0.15, 0.2) = 56.615

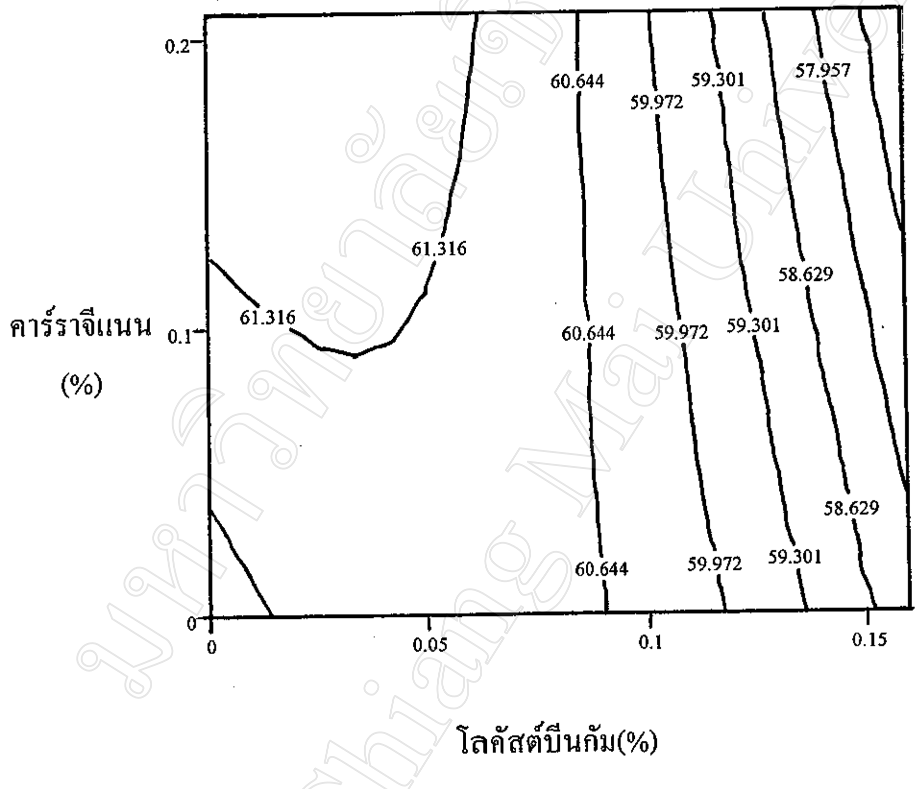
การแสดงทิศทางหรือแนวโน้มของค่าแรงเจาะทะลุและปริมาณความชื้น เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์สองชนิดต่างๆกัน ทำได้โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology แสดงผลดังภาพ 4.1 และ 4.2



ภาพ 4.1 ภาพ Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเจาะทะลุกับปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

จากภาพ 4.1 เมื่อพิจารณาถึงบริเวณที่ทำให้สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุสูงสุดหรือต่ำสุด จะพิจารณาแต่ละแนวเส้นที่มีตัวเลขกำกับ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าสังเกตน้อยกว่าหรือมากกว่าหรือเท่ากับตัวเลขที่กำหนดไว้ จากทุกจุดบนเส้นดังกล่าวเมื่อลากกลับไปยังแกน X และ Y จะทำให้ทราบปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนซึ่งเป็นสัดส่วนที่ทำให้ได้ค่าแรงเจาะทะลุเท่ากับตัวเลขบนเส้นนั้น จะเห็นได้ว่า บริเวณที่มีค่าแรงเจาะทะลุสูงสุดตรงกับปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนในช่วงที่ทำการทดลองจริง คือ 0.15 และ 0.2% ตามลำดับ ส่วนบริเวณที่มีค่าแรงเจาะทะลุต่ำสุดจะไม่มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าแรงเจาะทะลุเพิ่มขึ้น



ภาพ 4.2 ภาพ Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนน

จากภาพ 4.2 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดตรงกับปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนในช่วงที่ทำการทดลองจริง คือ 0.15 และ 0.2% ตามลำดับ ส่วนบริเวณที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดตรงกับปริมาณการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนในช่วงที่ทำการทดลองจริง คือ 0 และ 0.2% ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้โลคัสต์บีนกัมเพิ่มมากขึ้นมี

แนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ส่วนการใช้คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นแนวโน้มของปริมาณความชื้นยังไม่ชัดเจน

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาเพื่อคัดเลือกปริมาณการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม คือ ผลิตภัณฑ์ควรมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งหรือมีปริมาณความชื้นน้อย เพราะว่าความแข็งมากหรือน้อย นอกจากหมายถึงความเหลวหรือปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์แล้วยังหมายถึงปริมาณโปรตีนด้วย ยกตัวอย่างในผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน คือ เต้าหู้ ถ้าเป็นเต้าหู้แข็งจะมีโปรตีนสูงกว่าเต้าหู้อ่อน ส่วนเต้าฮวยซึ่งมีโปรตีนน้อยที่สุดจะมีลักษณะเหลวที่สุด (Shi and Ren, 1993) นอกจากนี้ความแข็งยังมีความสัมพันธ์ทางตรงกับปริมาณแร่ธาตุด้วย ดังนั้นเมื่อต้องการให้เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองเป็นอาหารเพื่อสุขภาพจึงควรมีโปรตีนสูง ซึ่งหมายความว่าควรมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์น้อยหรือมีความแข็งมาก (ใช้แรงเจาะทะลุสูง) เช่นเดียวกับเต้าหู้ เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมด พบว่า การใช้โลคัสต์บีนกัมระดับสูงทำให้สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงที่สุดและปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้โลคัสต์บีนกัมในระดับกลางและต่ำ (ตาราง 4.1 และ 4.3) ส่วนการใช้คาร์ราจีแนนระดับกลางทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ส่วนค่าแรงเจาะทะลุก็มีค่าสูงและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากการใช้ในระดับสูงซึ่งมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ประกอบกับคาร์ราจีแนนมีราคาแพง คือราคากิโลกรัมละ 1,100 บาท (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด, 2543) การใช้ระดับกลางจึงเหมาะสมอย่างยิ่ง สรุปได้ว่าโลคัสต์บีนกัมควรใช้ในระดับสูง คือ 0.15% และคาร์ราจีแนนควรใช้ในระดับกลาง คือ 0.1%

4.2 ผลศึกษาขั้นตอนการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเนยแข็ง ทำให้นมมีส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงไป และมีผลต่อการรวมตัวของโปรตีน (Bullens et al., 1994) ดังนั้นจึงศึกษาขั้นตอนการผลิตเมื่อเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงไป ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ผลศึกษาการให้ความร้อนในการแยกเวย์จากลิ่มนมถั่วเหลือง

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีอุณหภูมิ 3 ระดับและเวลา 2 ระดับเป็นปัจจัยศึกษา แสดงดังตาราง 4.4

ค่าสีในระบบฮันเตอร์: ผลการศึกษา พบว่าค่าสีในระบบฮันเตอร์ของแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ค่าสี L a และ b อยู่ในช่วง 59.45-63.34, 1.96-2.26 และ 12.06-13.28 ตามลำดับ

ลักษณะเนื้อสัมผัส: ผลการเปรียบเทียบด้านเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลอง พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกันทำให้สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 6 (a_3b_2) มีค่าแรงเจาะทะลุมากที่สุดเป็น 15.60 นิวตัน และมีความแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ แสดงว่า สิ่งทดลองนี้มีเนื้อสัมผัสแข็งและแน่นกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 (a_3b_1) มีค่าแรงเจาะทะลุสูงรองลงมา คือ 12.41 นิวตัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีค่าระหว่าง 10.80-11.36 นิวตัน สำหรับสิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1) มีค่าแรงเจาะทะลุต่ำที่สุด 10.20 นิวตัน และไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 2, 3 และ 4

จากตาราง 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าแรงเจาะทะลุจากอิทธิพลของอุณหภูมิ (A) ในแต่ระดับที่ใช้ พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิระดับสูงมีแนวโน้มทำให้แรงเจาะทะลุสูงขึ้น โดยอุณหภูมิระดับสูง (a_3) สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.00 นิวตันและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใช้อุณหภูมิระดับกลาง (a_2) และต่ำ (a_1) ซึ่งมีค่าแรง

เจาะทะลุโดยเฉลี่ย 11.08 และ 10.78 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าแรงเจาะทะลุจากอิทธิพลของเวลา (B) ในแต่ระดับที่ใช้ จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เวลาระดับสูง (b_2) สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงกว่าการใช้เวลาระดับต่ำ (b_1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ย 12.75 และ 11.14 นิวตัน ตามลำดับ

การที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าแรงเจาะทะลุ เพราะว่านอกจากความร้อนจะทำให้ลิ่มนมมีการหดตัวและปล่อยเวย์ออกมาแล้ว (SCIMAT, 2000) การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จะทำให้ผิวนอกของลิ่มนมแข็งตัวได้ ซึ่งทำให้เนยแข็งมีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาสั้น (Scott, 1981)

ตาราง 4.4 สมบัติทางกายภาพของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีอุณหภูมิ 3 ระดับและเวลา 2 ระดับเป็นปัจจัยศึกษา

ปัจจัย	ค่าสีในระบบฮันเตอร์			ลักษณะเนื้อสัมผัส
	L	a	b	แรงเจาะทะลุ (นิวตัน)
อุณหภูมิ (A)				
-ระดับต่ำ (55°ซ) (a_1)	61.83±2.14*	2.23±0.04	12.94±0.24	10.78±0.78^{b}
-ระดับกลาง (65°ซ) (a_2)	61.35±2.69	2.20±0.08	12.67±0.86	11.08±0.40^{b}
-ระดับสูง (75°ซ) (a_3)	62.28±0.89	2.15±0.26	12.87±0.16	14.00±2.26^{a}
เวลา (B)				
-ระดับต่ำ (45นาที) (b_1)	62.75±0.95	2.28±0.04	13.12±0.15	11.14±1.14^{b}
-ระดับสูง (60นาที) (b_2)	60.89±1.80	2.11±0.13	12.53±0.41	12.75±2.46^{a}
A×B				
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	63.34±0.81	2.26±0.23	13.11±0.54	10.20±0.08^{c}
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	60.31±0.25	2.21±0.07	12.77±0.09	11.30±0.99^{bc}
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1)	63.25±2.87	2.26±0.13	13.28±0.34	10.80±1.63^{bc}
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2)	59.45±0.03	2.15±0.17	12.06±0.48	11.36±1.05^{bc}
-สิ่งทดลองที่ 5 (a_3b_1)	61.65±2.63	2.33±0.17	12.98±0.26	12.41±0.86^{b}
-สิ่งทดลองที่ 6 (a_3b_2)	62.91±2.53	1.96±0.06	12.76±0.59	15.60±0.06^{a}

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

การที่ค่าแรงเจาะทะลุได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและเวลาไปพร้อมๆกัน สามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวจากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ Linear regression analysis แสดงในรูปสมการถดถอยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ได้ดังนี้

ค่าแรงเจาะทะลุ = 9.00693 + 0.979 (อุณหภูมิ) (เวลา)

$R^2 = 0.7484$

เมื่อทำการถอดรหัสของตัวแปรของแต่ละสมการเหมือนการทดลอง 4.1 ได้สมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) ซึ่งสามารถนำไปคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นโดยแทนค่าระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในช่วงที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิ 55-75 °ซ และเวลา 45-60 นาที ผลของสมการที่ถอดรหัสแล้วและผลการคาดคะเน แสดงได้ดังนี้

ค่าแรงเจาะทะลุ = 53.551-0.848(เวลา)-0.685(อุณหภูมิ)+0.0131(อุณหภูมิ)(เวลา)

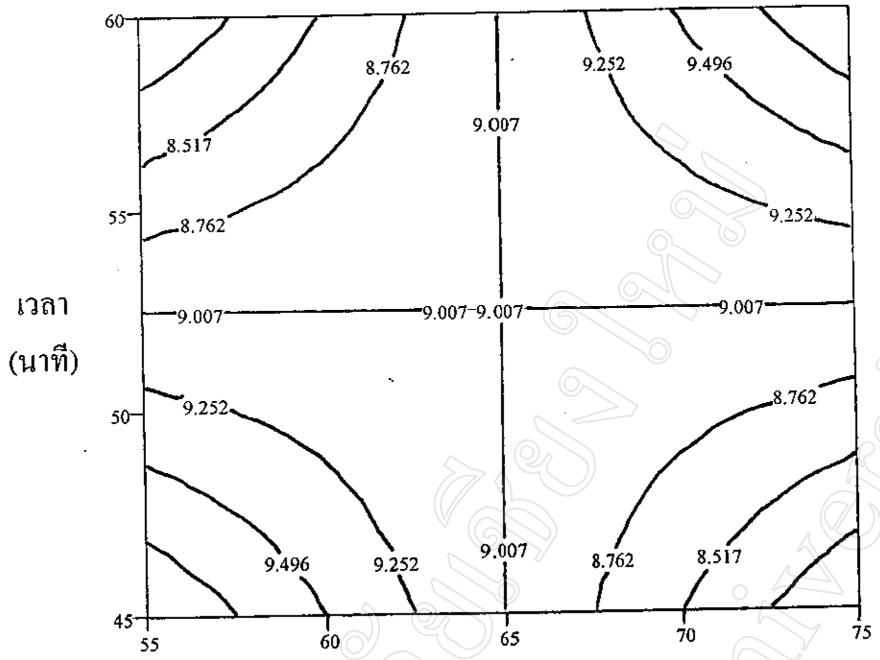
$R^2 = 0.7484$

แทนค่าระดับการใช้จริงของตัวแปรทั้งสองเข้าไปคือ f = (อุณหภูมิและเวลา)

f (55, 45) = 9.986	f (65, 45) = 9.007	f (75, 45) = 8.028
f (55, 60) = 8.028	f (65, 60) = 9.007	f (75, 60) = 9.986

การแสดงทิศทางหรือแนวโน้มของค่าแรงเจาะทะลุ เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆกัน ทำได้โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology แสดงผลดังภาพ 4.3

จากภาพ 4.3 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่มีค่าแรงเจาะทะลุสูงสุดตรงกับการใช้อุณหภูมิและเวลาในช่วงที่ทำการทดลองจริง คือ อุณหภูมิ 75 °ซ เป็นเวลา 60 นาทีและอุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 45 นาที ส่วนบริเวณที่มีค่าแรงเจาะทะลุต่ำที่สุดตรงกับการใช้อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 60 นาทีและอุณหภูมิ 75 °ซ เป็นเวลา 45 นาที



ภาพ 4.3 ภาพ Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้

ตาราง 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield) พบว่า ระดับการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับและระดับการใช้เวลาที่ต่างกัน 2 ระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองรวมทั้งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าดังกล่าว โดยสิ่งทดลองต่างๆมีปริมาณผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วง 5.55-6.30% โดยน้ำหนักซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและปริมาณของแข็ง (Total solid content) ของนมถั่วเหลือง (Watanabe, 1967) เมื่อใช้นมถั่วเหลืองจากแหล่งเดียวกันและมีขั้นตอนการผลิตเหมือนกันทำให้ปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกัน

ตาราง 4.5 ปริมาณผลผลิตที่ได้ เมื่อมีอุณหภูมิ 3 ระดับและเวลา 2 ระดับเป็นปัจจัยศึกษา

ปัจจัย	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% โดยน้ำหนัก)	ปัจจัย	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% โดยน้ำหนัก)
อุณหภูมิ (A)		เวลา (B)	
-ระดับต่ำ (55°ซ) (a_1)	6.22±0.12*	-ระดับต่ำ (45นาที) (b_1)	6.04±0.43
-ระดับกลาง (65°ซ) (a_2)	5.83±0.40	-ระดับสูง (60นาที) (b_2)	6.13±0.02
-ระดับสูง (75°ซ) (a_3)	6.22±0.08		
A×B		A×B	
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	6.30±0.32	-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2)	6.11±0.07
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	6.13±0.40	-สิ่งทดลองที่ 5 (a_3b_1)	6.28±0.36
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1)	5.55±0.38	-สิ่งทดลองที่ 6 (a_3b_2)	6.16±0.32

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณผลผลิตที่ได้ คิดจากค่าร้อยละของน้ำหนักสิ่งทดลองที่ได้ (กรัม) ต่อน้ำหนักของนมถั่วเหลืองที่ใช้ (กรัม)

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีอุณหภูมิ 3 ระดับและเวลา 2 ระดับเป็นปัจจัยศึกษา แสดงดังตาราง 4.6

ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่าง: ผลการศึกษา พบว่า ระดับการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับและระดับการใช้เวลาที่ต่างกัน 2 ระดับ ไม่มีความแตกต่างด้านปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติคและความเป็นกรด-ด่างของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง รวมทั้งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าทั้งสอง โดยปริมาณกรดทั้งหมดของแต่ละสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 0.082-0.115% และความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 5.10-5.35 ซึ่งค่าทั้งสองขึ้นอยู่กับกระบวนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้สภาวะการหมักเดียวกัน คือ 37 °ซ เป็นเวลา 1 คืนและใช้จำนวนหัวเชื้อเท่ากัน คือ 5% โดยปริมาตรต่อน้ำหนักนมถั่วเหลือง ทำให้ค่าทั้งสองในแต่ละสิ่งทดลองใกล้เคียงกัน

ตาราง 4.6 สมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีอุณหภูมิ 3 ระดับและเวลา 2 ระดับเป็นปัจจัยศึกษา

ปัจจัย	ปริมาณกรดทั้งหมด(%)	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณความชื้น (%)
อุณหภูมิ (A)			
-ระดับต่ำ (55°ซ) (a_1)	0.099±0.022*	5.23±0.07	62.24±0.06
-ระดับกลาง (65°ซ) (a_2)	0.093±0.015	5.34±0.01	62.02±1.35
-ระดับสูง (75°ซ) (a_3)	0.010±0.002	5.16±0.08	61.21±1.44
เวลา (B)			
-ระดับต่ำ (45นาที) (b_1)	0.088±0.009	5.28±0.06	61.82±2.10
-ระดับสูง (60นาที) (b_2)	0.106±0.006	5.21±0.13	61.82±2.28
A×B			
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	0.084±0.001	5.28±0.13	62.28±2.04
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	0.115±0.042	5.18±0.06	62.20±1.92
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1)	0.082±0.003	5.33±0.07	62.98±0.37
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2)	0.103±0.002	5.35±0.06	61.07±0.59
-สิ่งทดลองที่ 5 (a_3b_1)	0.098±0.018	5.22±0.09	60.20±0.33
-สิ่งทดลองที่ 6 (a_3b_2)	0.101±0.007	5.10±0.14	62.23±0.57

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณความชื้น: ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณความชื้นของแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 60.20-62.98% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ทั้งนี้การให้ความร้อนแก่ลิ่มนมทำเพื่อช่วยลดปริมาณน้ำในลิ่มนม โดยอาจเริ่มต้นจากตัดลิ่มนมให้เล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้ปล่อยเวย์จากลิ่มนมได้ดีขึ้น แล้วคนลิ่มนมในเวย์ให้นานพอสมควรและ/หรือใช้อุณหภูมิสูง (Chapman and Sharpe, 1990) อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองซึ่งน่าจะได้รับอิทธิพลจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าผลการพิจารณาถึงอิทธิพลของแต่ละปัจจัย (Main effect) พบว่า การใช้อุณหภูมิในระดับสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ในขณะที่เวลาการให้ความร้อนในระดับต่ำและสูง ทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ย

เท่ากัน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chumchuere (1998) ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองมีแนวโน้มลดลงถ้าใช้อุณหภูมิเพื่อแยกเวย์จากลิ่มนมสูงขึ้นในช่วง 55-70 °ซ แต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ส่วนการพิจารณาคัดเลือกสภาวะการให้ความร้อนต่อการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง ยังคงใช้เกณฑ์เหมือนการทดลองตอนที่ 4.1 คือ ผลิตภัณฑ์ควรมีปริมาณความชื้นต่ำหรือมีความแข็งสูง เมื่อพิจารณาผลของอิทธิพลหลัก (Main effect) ของแต่ละปัจจัยศึกษา พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิและเวลาในระดับสูง สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงสุด (ตาราง 4.4) แม้ว่าผลการคาดคะเนปริมาณความชื้นจากอุณหภูมิและเวลาในช่วงที่ทำการศึกษา (ภาพ 4.3) พบว่าการใช้อุณหภูมิ 75 °ซ เป็นเวลา 60 นาที ทำให้สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุสูงสุดเท่ากับการใช้อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 45 นาที แต่การใช้อุณหภูมิสูงมีความเหมาะสมกว่าเพราะว่าลิ่มนมจากการตกตะกอนโปรตีนนมถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคมีอนุภาคขนาดเล็กและมีความละเอียดสูง (Hang and Jackson, 1967a) โดยเฉพาะหลังจากตัดลิ่มนมแล้วให้ความร้อนพร้อมกับการคน ซึ่งในการผลิตเนยแข็งถ้าลิ่มนมมีขนาดเล็กการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้กำจัดน้ำออกได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เพราะทำให้โปรตีนตกตะกอนแยกออกจากเวย์จากลิ่มนมได้ดีและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแน่นเนื้อกว่า (Cheesemakers Association Wales, 2001) นอกจากนี้การใช้สภาวะการให้ความร้อนสูง ยังจะช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่อาจปะปนขณะทำการหมักได้ดีจึงสรุปว่า อุณหภูมิควรใช้ในระดับสูง คือ 75 °ซ และเวลาควรใช้ในระดับสูง คือ 60 นาที

4.2.2 ผลศึกษาการเติมเกลือในการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง

การเติมเกลือบนผิวนอกของเนยแข็ง วัตถุประสงค์เพื่อช่วยควบคุมการผลิตกรดในเนยแข็ง ปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัสและกลิ่นให้ดีขึ้น (Foundation Baron Michael Fossizza, No date; นรินทร์, 2531) ซึ่งเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์สองชนิดลงไปเหมือนกัน เมื่อใช้ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และวิธีเติมเกลือที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัส ดังนี้

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาด้านลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปค่าแรงเจาะทะลุของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อใช้ปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา แสดงดังตาราง 4.7

ลักษณะเนื้อสัมผัส: ผลการเปรียบเทียบค่าแรงเจาะทะลุของแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2) ใช้แรงเจาะทะลุมากที่สุดเป็น 13.26 นิวตัน แต่ไม่มีความแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ซึ่งมีค่าแรงเจาะทะลุอยู่ระหว่าง 11.37-11.45 นิวตัน

ปริมาณเกลือที่เติมลงไปในเนยแข็งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส เพราะถ้าเติมน้อยเกินไปจะทำให้เนื้อเนยแข็งเหลว (Weak and pasty body) การบ่มผิดปกติและมีการหดตัวมาก แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้เนื้อเนยแข็งแห้ง เปราะและแตกง่าย (นิธิยา, 2539) อย่างไรก็ตาม ผลของปริมาณเกลือทั้งสองระดับและวิธีเติมเกลือทั้งสองแบบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปของค่าแรงเจาะทะลุไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระดับเกลือที่ใช้ พบว่า การใช้เกลือในระดับต่ำ (1%) สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยมากกว่าการใช้เกลือในระดับสูง (2%) เล็กน้อย ส่วนวิธีเติมเกลือแบบ Rubbing สิ่งทดลองมีค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธีเติมเกลือแบบ Sprinkling ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chumchuere (1998) ซึ่งพบว่า การเติมเกลือทำให้เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองมีความแข็ง (Hardness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและในปริมาณเกลือที่เท่ากันวิธีเติมเกลือแบบ Sprinkling เนยแข็งมีความแข็งน้อยกว่าแบบ Rubbing แต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$)

ตาราง 4.7 ค่าแรงเจาะทะลุของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา

ปัจจัย	ค่าแรงเจาะทะลุ (นิวตัน)	ปัจจัย	ค่าแรงเจาะทะลุ (นิวตัน)
เกลือโซเดียมคลอไรด์ (A)		วิธีเติมเกลือ (B)	
-ระดับต่ำ (1%) (a_1)	12.36±1.28*	-แบบ Sprinkling (b_1)	11.52±0.10
-ระดับสูง (2%) (a_2)	11.48±0.16	-แบบ Rubbing (b_2)	12.32±1.34
A×B		A×B	
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	11.45±1.32	-สิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1)	11.59±1.51
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	13.26±0.56	-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2)	11.37±1.80

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลศึกษาสมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อใช้ปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา แสดงดังตาราง 4.8

ค่าความเป็นกรด-ด่าง: ผลการศึกษา พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของแต่ละสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 5.19-5.35 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยการใช้เกลือระดับสูงและต่ำ สิ่งทดลองมีความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 5.34 และ 5.24 ตามลำดับ เช่นเดียวกับวิธีเติมเกลือแบบ Sprinkling และ Rubbing ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยเป็น 5.31 และ 5.27 ตามลำดับ

ปริมาณความชื้น: ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่า ในแต่ละสิ่งทดลองมีความชื้นอยู่ในช่วง 58.05-60.41% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แม้ว่าเกลือสามารถช่วยให้เกิดการปล่อยเวย์ออกจากลิ่มนมได้มากขึ้น (Scott, 1981) แต่ผลของปริมาณเกลือที่ใช้ทั้งสองระดับต่อปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่าการใช้เกลือระดับสูง (a_2) สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าการใช้เกลือในระดับต่ำ (a_1) เล็กน้อย คือมีค่า 59.18 และ 60.23% ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่ามีการผันแปรปริมาณเกลือไม่แตกต่างกันมาก สำหรับวิธีเติมเกลือแบบ Rubbing (b_2) ทำให้สิ่งทดลอง

Chiang Mai University

มีปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธี Sprinkling (b_1) เล็กน้อย คือ 60.19 และ 59.23% ตามลำดับ แต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ตาราง 4.8 สมบัติทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง เมื่อมีปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา

ปัจจัย	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณเกลือ (%)
เกลือโซเดียมคลอไรด์ (A)			
-ระดับต่ำ (1%) (a_1)	5.24±0.07*	60.23±0.07	0.82±0.03[b]
-ระดับสูง (2%) (a_2)	5.34±0.01	59.18±0.01	1.35±0.26[a]
วิธีเติมเกลือ (B)			
-แบบ Sprinkling (b_1)	5.31±0.03	59.23±1.67	1.19±0.49[a]
-แบบ Rubbing (b_2)	5.27±0.11	60.19±0.18	0.99±0.26[b]
A×B			
-สิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1)	5.29±0.13	60.41±0.76	0.84±0.04[c]
-สิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2)	5.19±0.06	60.06±0.93	0.80±0.06[c]
-สิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1)	5.33±0.07	58.05±2.07	1.54±0.11[a]
-สิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2)	5.35±0.06	60.32±0.22	1.17±0.06[b]

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ปริมาณเกลือ: ผลการเปรียบเทียบปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ของแต่ละสิ่งทดลอง พบว่าสิ่งทดลองที่ 3 (a_2b_1) มีปริมาณเกลือมากที่สุดเป็น 1.54% และมีความแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) รองลงไป คือสิ่งทดลองที่ 4 (a_2b_2) มีปริมาณเกลือ 1.17% ซึ่งทั้งสองสิ่งทดลองมีปริมาณเกลือมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (a_1b_1) และสิ่งทดลองที่ 2 (a_1b_2) ที่มีปริมาณเกลือ 0.84 และ 0.80% ตามลำดับ

สำหรับผลวิเคราะห์ปริมาณเกลือที่ใช้ในแต่ละระดับและวิธีเติมเกลือในแต่ละแบบต่อปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่า ถ้าเติมเกลือปริมาณสูงทำให้สิ่งทดลองมีปริมาณเกลืออยู่สูง โดยการเติมเกลือระดับสูง (1%) มีปริมาณเกลือในสิ่งทดลองโดยเฉลี่ย 0.82% ส่วนการเติมเกลือ

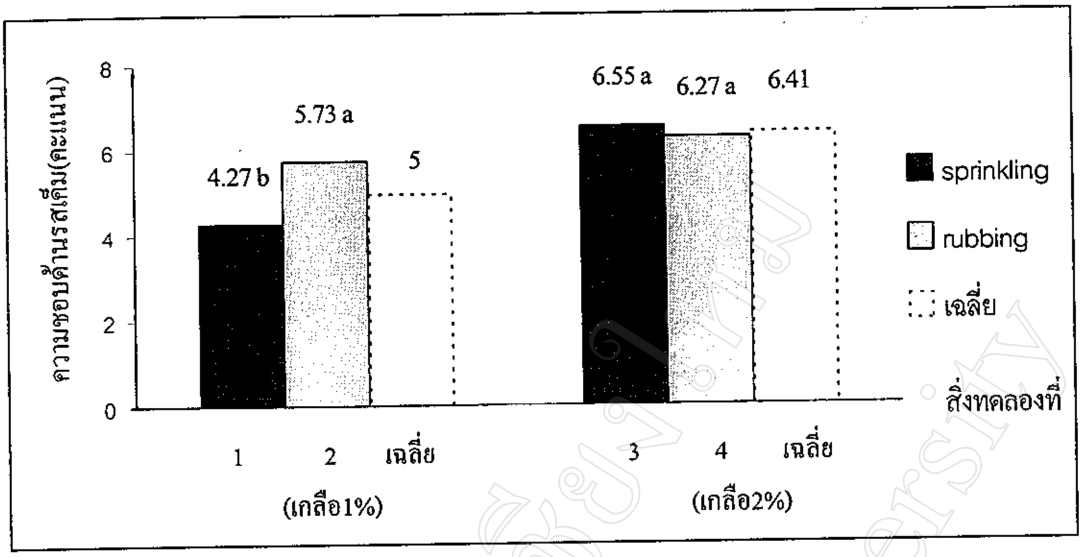
ระดับต่ำ (2%) มีปริมาณเกลือในสิ่งทดลองโดยเฉลี่ย 1.35% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ สำหรับวิธีเติมเกลือ พบว่า วิธี Sprinkling มีปริมาณเกลือในสิ่งทดลองโดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธี Rubbing อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เพราะว่าวิธีเติมเกลือแบบ Sprinkling เกลือกระจายตัวในลิ่มนมอย่างทั่วถึงและเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปอัด ส่วนวิธี Rubbing อัดลิ่มนมให้เกิดรูปร่างก่อนแล้วนำเกลือมาทาบนผิวนอกแล้วอัดซ้ำ เกลือจึงถูกดูดซึมสู่ด้านในได้ช้า อีกทั้งการเติมเกลือในลักษณะของแข็ง (Dry form) ลิ่มนมที่มีความชื้นมากกว่าจะมีการดูดซึมของเกลือได้ดีกว่าลิ่มนมที่แห้ง (Scott, 1981) ซึ่งวิธีเติมเกลือแบบ Sprinkling จะโรยเกลือก่อนอัดทำให้ลิ่มนมยังคงมีน้ำอยู่สูง ส่วนวิธี Rubbing ลิ่มนมถูกอัดให้เกิดรูปร่างก่อนซึ่งน้ำบางส่วนจะถูกกำจัดออกไปลิ่มนมจึงอยู่ในสภาพที่แห้งกว่า นอกจากนี้วิธี Rubbing เกลือที่ทาบริเวณผิวนอกจะมีโอกาสหลุดออกได้ง่ายกว่าวิธี Sprinkling โดยเฉพาะในขั้นตอนการอัด ทำให้เหลือปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์น้อย

4.2.2.3 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

รสเค็ม

ภาพ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนความชอบ (Preference test) ด้านรสเค็มโดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale scoring test จากผู้ทดสอบชิม 11 ท่าน ซึ่งผู้ทดสอบชิมสามารถให้ความพอใจของตนด้วยการแสดงออกมาในรูปความชอบและไม่ชอบสิ่งทดลองจากสเกลที่กำหนด (ไพโรจน์, 2536) พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 (2% Sprinkling) และสิ่งทดลองที่ 4 (2% Rubbing) ได้คะแนนความชอบสูงสุดเป็น 6.55±0.51 และ 6.27±0.64 ตามลำดับจากคะแนนชอบมากที่สุดเท่ากับ 9 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 1 (1% Sprinkling) ที่ได้คะแนน 4.27±0.51 แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 2 (1% Rubbing) ที่ได้คะแนน 5.73±0.26

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระดับที่ใช้ในแต่ละปัจจัยศึกษา (Main effect) พบว่า คะแนนความชอบด้านรสเค็มได้รับอิทธิพลจากปริมาณเกลือที่ใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือถ้าเติมเกลือระดับต่ำสิ่งทดลองได้คะแนนโดยเฉลี่ยน้อยกว่าระดับสูง คือ 5.00 และ 6.41 ตามลำดับ ส่วนวิธีเติมเกลือไม่มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แม้ว่าวิธีเติมเกลือแบบ Rubbing ทำให้สิ่งทดลองมีคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยมากกว่าแบบ Sprinkling คือ 6.00 และ 5.41 ตามลำดับ



หมายเหตุ: (1) คะแนนรสเค็มได้จากการทดสอบความชอบ (Preference) โดยชอบมากที่สุดมีคะแนนเป็น 9 และไม่ชอบมากที่สุดมีคะแนนเป็น 1

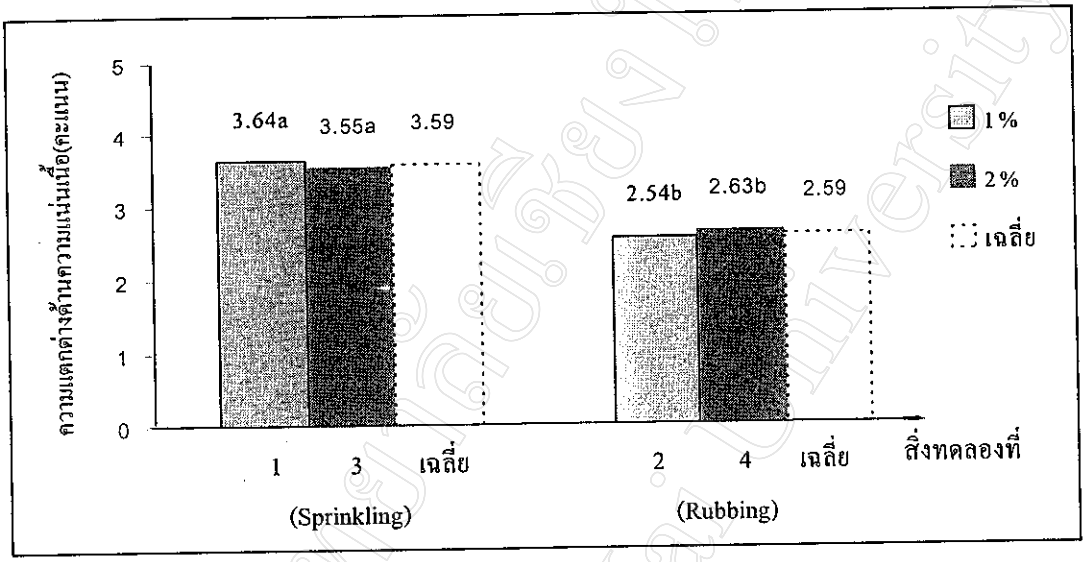
(2) ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.4 กราฟแท่งแสดงคะแนนความชอบด้านรสเค็ม เมื่อมีปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา

ความแน่นเนื้อ

ภาพ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนความแตกต่าง (Difference test) ด้านความแน่นเนื้อ โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic scale scoring test มีผู้ทดสอบชิม 11 ท่าน ซึ่งผู้ทดสอบชิมไม่อนุญาตให้ทดสอบตามความรู้สึกของตนเองว่าชอบหรือไม่ชอบตัวอย่างที่กำลังทดสอบนั้น อิทธิพลจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบชิมถูกกำจัดไป เพื่อทดสอบหาความแตกต่างที่ปรากฏระหว่างตัวอย่างที่กำลังทดสอบเท่านั้น (ไพโรจน์, 2536) ผลการทดลองถูกนำมาเปลี่ยนเป็นคะแนนโดยคะแนนดีที่สุดเท่ากับ 1 และคะแนนไม่ดีมากเท่ากับ 6 พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 (1% Rubbing) มีคะแนนเป็น 2.54 ± 0.64 ประเมินว่าความแน่นเนื้ออยู่ระหว่างดี-ดีมาก และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 4 (2% Rubbing) ที่ได้คะแนน 2.63 ± 0.51 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ กับสิ่งทดลองที่ 1 (1% Sprinkling) และสิ่งทดลองที่ 3 (2% Sprinkling) ซึ่งได้คะแนนในช่วง 3.55-3.64 ประเมินว่าความแน่นเนื้ออยู่ระหว่างปานกลาง-ดี

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเกลือที่ใช้ในแต่ละระดับและวิธีเติมเกลือในแต่ละแบบ พบว่า วิธีเติมเกลือแบบ Rubbing ทำให้สิ่งทดลองได้คะแนนด้านความแน่นเนื้อโดยเฉลี่ยดีกว่าแบบ Sprinkling อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพราะวิธี Rubbing สิ่งทดลองถูกอัดสองครั้งทั้งก่อนเติมและหลังเติมเกลือ ทำให้สิ่งทดลองมีเนื้อสัมผัสแน่นกว่าวิธี Sprinkling ซึ่งอัดเพียงครั้งเดียว ส่วนปริมาณเกลือที่ใช้ในระดับต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อคะแนนด้านความแน่นเนื้อ โดยผู้ทดสอบชิมประเมินให้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากัน คือ 3.09



หมายเหตุ: (1) คะแนนความแน่นเนื้อได้จากการทดสอบหาความแตกต่าง (Different) โดยมีคะแนนดีที่สุดเป็น 1 และคะแนนไม่ดีมากเป็น 6

(2)ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.5 กราฟแท่งแสดงคะแนนความแตกต่างด้านความแน่นเนื้อ เมื่อมีปริมาณเกลือ 2 ระดับและวิธีเติมเกลือ 2 แบบเป็นปัจจัยศึกษา

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด พบว่า ปริมาณการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมควรเป็นระดับสูง (2%) เพราะได้รับคะแนนความชอบด้านรสเค็มและมีปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้เกลือในระดับต่ำ (1%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ส่วนวิธีเติมเกลือที่เหมาะสม พบว่า วิธี Sprinkling มีความเหมาะสมกว่าวิธี Rubbing เพราะในปริมาณเกลือที่ใช้เท่ากันจะมีเกลืออยู่ในผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยสูงกว่าและค่าแรงเจาะทะลุโดยเฉลี่ยก็ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ นอกจากนั้นวิธี Sprinkling มีขั้นตอนง่ายกว่า จึงมีโอกาสปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้น้อยกว่า ดังนั้นปริมาณเกลือควรใช้ในระดับสูง คือ 2% ของน้ำหนักลิ่มนมและวิธีเติมเกลือควรใช้แบบ Sprinkling

4.3 ผลศึกษาการเปรียบเทียบเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

4.3.1 ผลศึกษาการเจริญของหัวเชื้อในการหมักนมถั่วเหลือง

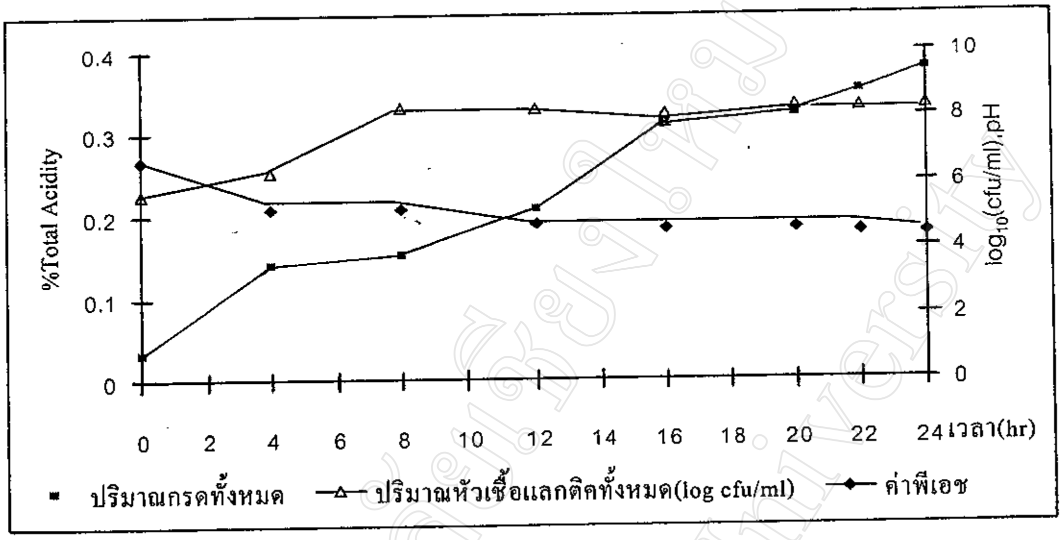
การศึกษาการเจริญของหัวเชื้อผสมระหว่าง *S. thermophilus* และ *L. fermentum* ในระหว่างการหมักนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ที่อุณหภูมิ 37 °ซ ได้เริ่มเก็บตัวอย่างนมถั่วเหลืองที่เวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 22 และ 24 ชั่วโมงหลังขั้นตอนการเติมหัวเชื้อลงไป ทั้งนี้ได้เพิ่มน้ำตาลกลูโคสลงในนมถั่วเหลืองด้วย เพราะแม้ว่าหัวเชื้อที่ใช้ทั้งสองชนิดสามารถใช้น้ำตาลธรรมชาติในนมถั่วเหลืองได้ดี (Chumchuere, 1998) แต่จำเป็นต้องเติมน้ำตาลชนิดอื่นลงในนมถั่วเหลืองด้วย (Gaddi, 1970; Steinkraus, 1974) เพื่อให้หัวเชื้อสามารถผลิตกรดได้อย่างเพียงพอภายในเวลาที่เหมาะสม ได้ผลดังภาพ 4.6 และ4.7

4.3.1.1 นมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์

ภาพ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดในระหว่างการหมักนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ คือ โลคัสต์บีนกัม 0.15% และคาร์ราจีแนน 0.1% (ข้อมูลเบื้องต้นจากการทดลองตอนที่ 4.1) จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นและความเป็นกรด-ด่างลดลง แสดงว่าหัวเชื้อมีการเจริญ โดยปริมาณหัวเชื้อได้เพิ่มจาก 4.47×10^5 cfu/ml ที่เวลา 0 ชั่วโมงเป็น 1.91×10^8 cfu/ml ที่เวลา 8 ชั่วโมง และคงที่อยู่ในระหว่าง 1.17×10^8-2.19×10^8 cfu/ml ในช่วงเวลา 12-24 ชั่วโมง ส่วนความเป็นกรด-ด่างของนมถั่วเหลืองเริ่มต้นที่ 6.66 แล้วลดลงตามเวลาในการหมักที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเป็น 4.70 หลังจากหมักนาน 12 ชั่วโมงและคงที่อยู่ระหว่าง 4.43-4.55 หลังเวลา 16 ชั่วโมงขึ้นไป สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติคของนมถั่วเหลืองมีค่าเริ่มต้นเป็น 0.032% แล้วเพิ่มเป็น 0.320% หลังจากหมักนาน 16 ชั่วโมงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.351% ที่เวลา 22 ชั่วโมง ทั้งนี้ในช่วงแรกของการหมัก (0-4 ชั่วโมง) เป็นช่วงที่หัวเชื้อเริ่มปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่จึงมีการเจริญและแบ่งตัวได้อย่างช้าๆ ต่อมาหัวเชื้อจะเจริญได้อย่างรวดเร็วจึงมีอัตราการเจริญสูงซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 4 -8 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาการหมักตั้งแต่ 8 ชั่วโมงขึ้นไปหัวเชื้อเริ่มมีปริมาณคงที่

สำหรับโปรตีนนมถั่วเหลืองจะเริ่มตกตะกอนที่ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.7 หรือมีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติคเกิดขึ้นประมาณ 0.23-0.25% (Angeles and Marth, 1970)

แต่เพื่อให้ได้ลิ่มนมที่มีลักษณะแน่น ต้องการให้ได้ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.4-4.6 (Chumchuere, 1998) ดังนั้นควรใช้เวลาบ่มนาน 16 ชั่วโมง ซึ่งนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์จะมีความเป็นกรด-ด่าง 4.55 และมีปริมาณกรดแลกติก 0.320%

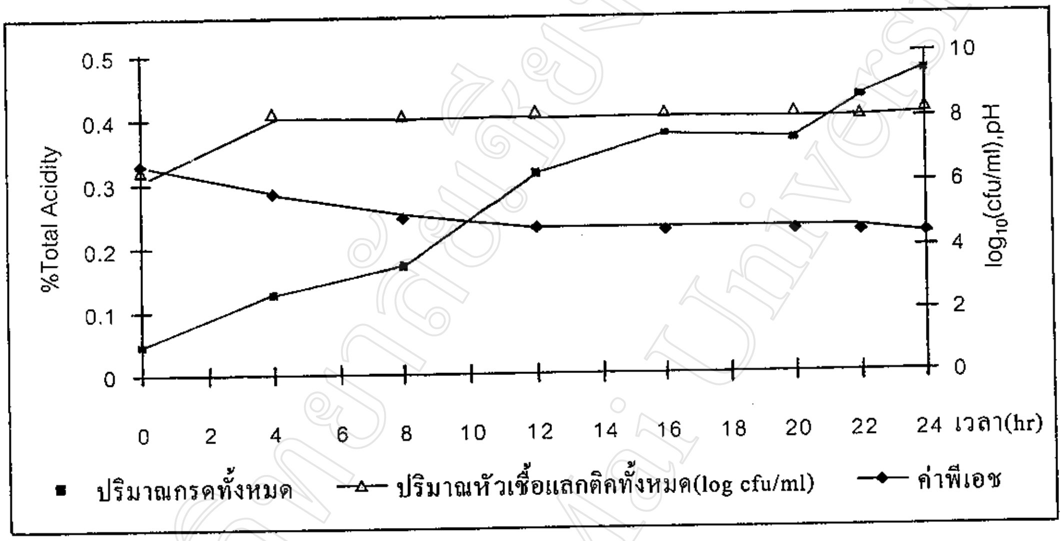


ภาพ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดในระหว่างการหมักนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ 37 °ซ 24 ชั่วโมง

4.3.1.2 นมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

ภาพ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดในระหว่างการหมักนมถั่วเหลืองแบบที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า หัวเชื้อมีการเจริญคล้ายคลึงกับนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ทั้งนี้หัวเชื้อเพิ่มจำนวนจาก 2.75×10^6 cfu/ml ที่เวลา 0 ชั่วโมงเป็น 1.70×10^8 cfu/ml ที่เวลา 4 ชั่วโมงและคงที่อยู่ในช่วง 1.17×10^8 ถึง 1.91×10^8 cfu/ml ระหว่างเวลา 8-24 ชั่วโมง ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลงจาก 6.61 เป็น 4.60 หลังจากหมักนาน 12 ชั่วโมงและคงที่อยู่ระหว่าง 4.40-4.52 หลังเวลา 16 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดคิดเทียบกรดแลกติกเพิ่มขึ้นจาก 0.045% ที่เวลา 0 ชั่วโมงเป็น 0.315% หลังจากหมักนาน 12 ชั่วโมงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.432% ที่เวลา 22 ชั่วโมง ส่วนเวลาการหมักที่เหมาะสมของนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ควรเป็น 16 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.52 และมีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติกเกิดขึ้น 0.374%

สำหรับการทดสอบความแตกต่างของปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดระหว่างนมถั่วเหลืองทั้งสองแบบในแต่ละช่วงเวลาของการหมัก โดยใช้ Two sample t-test พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดมีความแตกต่างกันเฉพาะชั่วโมงที่ 16 และ 24 โดยนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณกรดมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างกันในช่วงเวลาการหมัก ส่วนปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชั่วโมงที่ 0 และ 4 โดยนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีหัวเชื้อมากกว่า



ภาพ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณหัวเชื้อทั้งหมดในระหว่างการหมักนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ 37 °ซ 24 ชั่วโมง

การที่หัวเชื้อในนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มจำนวนได้ดีกว่านมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์ในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการหมัก อาจเป็นเพราะหัวเชื้อเริ่มต้นมีจำนวนมากกว่าและนมถั่วเหลืองที่ใช้เตรียม Intermediate cultures มีสมบัติใกล้เคียงกับนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มากกว่า จึงทำให้หัวเชื้อเริ่มต้นปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ได้เร็ว โดยเฉพาะได้เพิ่มแหล่งคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลกลูโคสลงไปในนมถั่วเหลืองด้วยช่วยให้หัวเชื้อเจริญได้เร็วขึ้น ในขณะที่นมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ หัวเชื้ออาจใช้น้ำตาลได้ไม่ดีเพราะปกติแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคจะนำน้ำตาลเข้าสู่เซลภายในผ่านทางผนังเซลเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานและผลิตกรดแลกติค (Tamime and Robinson, 1985) แต่ถ้าผนังเซลด้านนอกของหัวเชื้อถูกเคลือบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ อาจทำให้หัวเชื้อใช้ประโยชน์จากน้ำตาลได้ไม่เต็มที่และใช้เวลาในการปรับตัวนาน

4.3.2 ผลศึกษาข้อมูลของเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง

จากการศึกษาปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองได้คัดเลือกปริมาณการใช้ที่ทำให้สิ่งทดลองมีความชื้นน้อยที่สุดและมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งมากที่สุด คือ โลคัสต์บีนกัม 0.15% และคาร์ราจีแนน 0.1% ส่วนขั้นตอนการผลิตที่ได้จากงานวิจัย คือ การใช้ความร้อน 75 °ซ นาน 60 นาทีเพื่อแยกเวย์จากลิ่มนมถั่วเหลืองและเติมเกลือจำนวน 2%โดยน้ำหนักของลิ่มนมด้วยวิธีโรยเกลือลงในลิ่มนมก่อนอัดให้เกิดรูปร่าง (Sprinkling) รวมทั้งทำการหมักนมถั่วเหลืองด้วยหัวเชื้อ 2 ชนิด คือ *S. thermophilus* และ *L. fermentum* เป็นเวลา 16 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ความเป็นกรด-ด่าง 4.4-4.6

ในการทดลองตอนนี้ได้ทำการผลิตเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง 2 รูปแบบ คือแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ โดยใช้ขั้นตอนการผลิตจากงานวิจัยในครั้งนี้ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

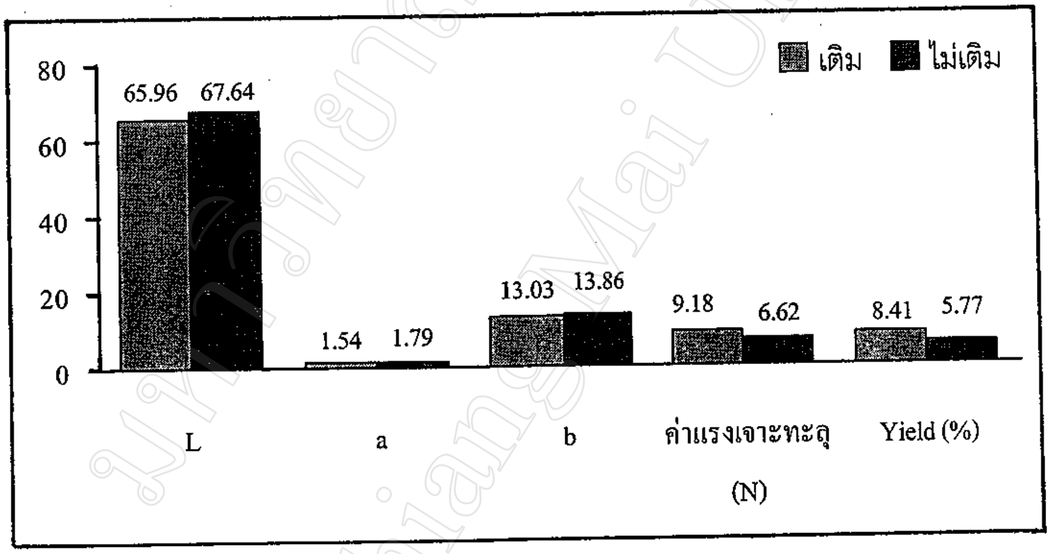
4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ภาพ 4.8 แสดงผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมโลคัสต์บีนกัม 0.15 % ร่วมกับคาร์ราจีแนน 0.1% กับเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ มีค่าสีในระบบฮันเตอร์ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ใช้ Two-sample t-test) โดยเนยแข็งทั้งสองแบบมีค่าสี L a และ b อยู่ระหว่าง 65.96-67.64, 1.54-1.79 และ 13.03-13.38 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของนมถั่วเหลืองที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีค่าสี L a และ b เป็น 69.84, –1.71 และ 9.30 ตามลำดับ (แสดงในภาคผนวก ง) จะเห็นได้ว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองมีค่าสี L ลดลง ส่วนค่าสี a และค่าสี b เพิ่มขึ้น อาจเพราะมีการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานานในหลายขั้นตอนของการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีเข้มขึ้นและมีความสว่างลดลง (Kwok et al., 1999) ถ้าเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่ได้จากการตกตะกอนด้วยกรดแอซิติค (Acetic acid) ซึ่งมีค่าสี L a และ b เท่ากับ 67.5, -1.50 และ 8.4 ตามลำดับ (Lu et al., 1980) จะเห็นได้ว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองมีความสว่างใกล้เคียงกับเต้าหู้ แต่มีค่าสีเหลืองและแดงมากกว่า

ส่วนผลเปรียบเทียบด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีค่าแรงเจาะทะลุสูงกว่าเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อ แม้ว่าผลการทดสอบโดยใช้ Two-sample test พบว่า ค่าแรงเจาะทะลุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ก็ตาม

4.3.2.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้

ผลการศึกษา พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมโลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนนมีปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่าเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังภาพ 4.8 อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบโดยใช้ Two-sample test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P>0.05



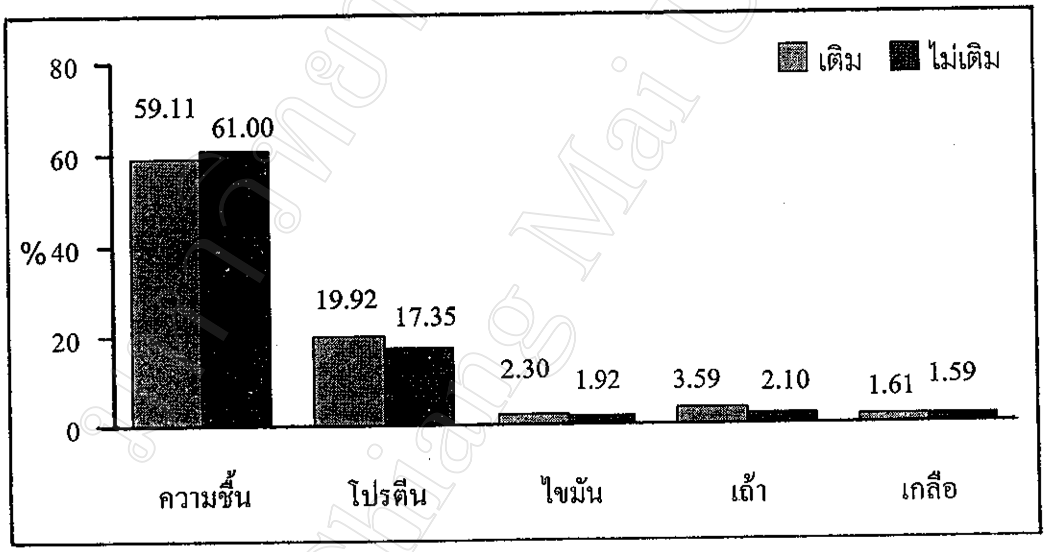
หมายเหตุ: (1) L = ค่าความสว่าง; a = ค่าสีแดง; b = ค่าสีเหลือง

(2) ปริมาณผลผลิตที่ได้ คิดจากค่าร้อยละของน้ำหนักสิ่งทดลองที่ได้ (กรัม) ต่อน้ำหนักของนมถั่วเหลืองที่ใช้ (กรัม)

ภาพ 4.8 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและปริมาณผลผลิตที่ได้ของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

4.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

ภาพ 4.9 แสดงให้เห็นว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณความชื้น 59.11-61.00% ปริมาณไขมัน 1.92-2.30% (ต่อน้ำหนักแห้ง) ปริมาณเถ้า 2.10-3.59% (ต่อน้ำหนักเปียก) และปริมาณโปรตีน 17.35-19.92% (ต่อน้ำหนักเปียก) แม้ว่าเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่ารวมทั้งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า แต่ผลการวิเคราะห์แบบ Two-sample t-test พบว่า ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเต้าหู้ซึ่งประกอบด้วยความชื้น 84.0% โปรตีน 10.7% ไขมัน 2.1% คาร์โบไฮเดรต 2.0% และเถ้า 0.9% (Shi and Ren, 1993) จะเห็นได้ว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งสองแบบมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเต้าหู้ประมาณ 1.6-1.8 เท่า ดังนั้นถือเป็นข้อได้เปรียบของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อทดแทนอาหารโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้



ภาพ 4.9 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

4.3.2.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

จากผลการศึกษา พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติทางจุลชีววิทยา (หลังทำการผลิต 1วัน) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตาราง 4.9 โดยมีปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคอยู่ระหว่าง 9.09-14.08 cfu/g แสดงว่าอาจจะเป็นหัวเชื้อบางส่วนรอดชีวิตจากการให้ความร้อนที่ 75 °ซ นาน 60 นาที เพื่อแยกเวย์จากลิ่มนมถั่วเหลือง แม้ว่าเชื้อ *S. thermophilus* จะถูกฆ่าได้เมื่อใช้ความร้อน 63 °ซ นาน 30 นาที ส่วนเชื้อสายพันธุ์ *Lactobacillus* จะถูกฆ่าได้เมื่อใช้ความร้อน 60 °ซ นาน 90 นาที (เรณู, 2535) อาจเป็นเพราะลิ่มนมมีผิวนอกหนาจึงป้องกันความร้อนแก่หัวเชื้อได้ สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 181.82-194.39 cfu/g ปริมาณยีสต์และรามีจำนวนต่ำกว่า 30 cfu/g และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียต่ำกว่า 3 MPN/g

ตาราง 4.9 ผลวิเคราะห์สมบัติด้านจุลชีววิทยาของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

ผลวิเคราะห์	เติมไฮโดรคอลลอยด์	ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์
ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติค (cfu/g)	14.08	9.09
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	194.39	181.82
ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ต่ำกว่า 30	ต่ำกว่า 30
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3

4.3.2.5 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบและเปรียบเทียบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ โดยให้ผู้ทดสอบบริโภคสดและบริโภคหลังทอดในน้ำมัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบเมื่อทอดในน้ำมันมีคุณลักษณะด้านต่างๆดีกว่าการบริโภคสด แสดงดังตาราง 4.10 และภาพ 4.10

ด้านลักษณะสี (Color) มีสเกลอธิบายลักษณะจากสีขาวถึงสีน้ำตาล พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บริโภคสดทั้งสองแบบได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.65-5.06 ประเมินว่ามีสีค่อนข้างเหลืองและมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งได้คะแนนในช่วง 9.64-10.21 แสดงว่ามีสีค่อนไปทางสีน้ำตาล

ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ย (Mean scores) ทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อบริโภคสดและหลังทอดในน้ำมัน

คุณลักษณะ	เมื่อบริโภคสด		เมื่อบริโภคหลังทอดในน้ำมัน	
	แบบเติมไฮโดรคอลลอยด์	แบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์	แบบเติมไฮโดรคอลลอยด์	แบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์
1.สี	4.65 ± 0.65^{b}*	5.06 ± 1.12^{b}	9.64 ± 0.20^{a}	10.21 ± 0.10^{a}
2.ความเป็นเนื้อเดียวกัน	6.74 ± 0.74^{c}	7.78 ± 0.53^{bc}	8.78 ± 0.63^{ab}	9.45 ± 0.10^{a}
3.กลิ่นถั่วเหลือง	6.55 ± 0.52^{b}	6.98 ± 0.51^{b}	8.03 ± 0.10^{ab}	8.66 ± 1.10^{a}
4.กลิ่นเปรี้ยว	5.94 ± 0.59	5.69 ± 0.19	5.29 ± 0.33	5.51 ± 0.03
5.รสเค็ม	7.00 ± 0.44	5.82 ± 0.10	6.28 ± 0.33	5.29 ± 0.51
6.รสเปรี้ยว	3.34 ± 0.36	2.90 ± 0.04	2.78 ± 0.60	2.93 ± 0.49
7.ความเฝื่อน	4.47 ± 0.75^{a}	4.22 ± 0.38^{a}	3.99 ± 0.04^{ab}	3.21 ± 0.17^{b}
8.ความแน่นเนื้อ	8.01 ± 0.09^{a}	6.49 ± 0.04^{b}	6.69 ± 0.12^{b}	6.07 ± 0.33^{b}
9.การยอมรับรวม	6.45 ± 0.13^{b}	6.68 ± 0.24^{b}	7.63 ± 0.50^{a}	8.43 ± 0.06^{a}

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(1) ค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีคะแนนอยู่ระหว่าง 0-12

(2)ใช้ผู้ทดสอบชิมระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 8 ท่าน

(3) ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\leq0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มีสเกลอธิบายความเข้มจากน้อยไปมาก พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบที่ทอดในน้ำมันได้คะแนนเฉลี่ยค่อนข้างมากอยู่ระหว่าง 8.78-9.45 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่บริโภคสด ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปานกลางเป็น 6.74-7.78

ด้านกลิ่นถั่วเหลือง (Beany Flavor) มีสเกลอธิบายลักษณะจากไม่สามารถรับได้ถึงสามารถรับได้มาก จะเห็นได้ว่า เมื่อบริโภคสดผลิตภัณฑ์มีการยอมรับในเกณฑ์ปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 6.55-6.98) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมัน ซึ่งผู้ทดสอบยอมรับได้ค่อนข้างมาก (คะแนนเฉลี่ย 8.03-8.66)

เพราะถ้าทอดจะได้กลิ่นของน้ำมันติดไปกับผลิตภัณฑ์ด้วย ทำให้กลิ่นถั่วเหลืองลดลงและผู้ทดสอบชิมยอมรับได้มากขึ้น

ด้านกลิ่นเปรี้ยว (Sour odor) มีสเกลอธิบายความเข้มจากไม่มีกลิ่นจนถึงมีกลิ่นแรงมาก พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีกลิ่นเปรี้ยวอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง โดยได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.29-5.94 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านรสเค็ม (Saltiness) มีสเกลอธิบายความเข้มจากไม่เค็มถึงเค็มมาก พบว่าแต่ละผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.29-7.00 ประเมินว่ามีรสเค็มปานกลางและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

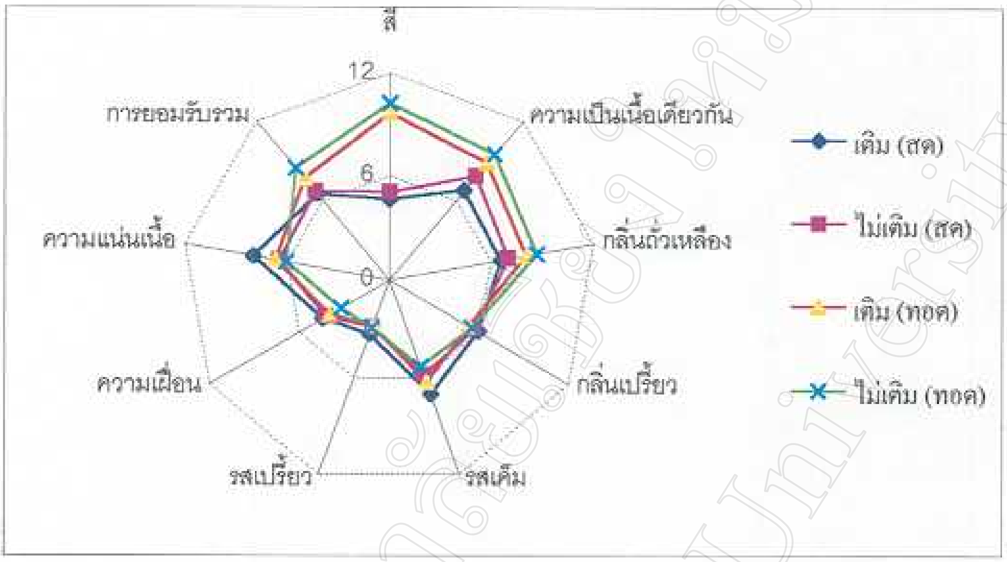
ด้านรสเปรี้ยว (Sourness) มีสเกลอธิบายความเข้มจากไม่เปรี้ยวถึงเปรี้ยวมาก พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีรสเปรี้ยวไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.78-3.34 ประเมินว่ามีรสเปรี้ยวเล็กน้อย

ด้านความเฝื่อน (Astringent) มีสเกลอธิบายความเข้มจากไม่เฝื่อนถึงเฝื่อนมาก ซึ่งผู้ทดสอบชิมประเมินว่า เมื่อนำมาทอดผลิตภัณฑ์มีความเฝื่อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เทียบกับการบริโภคสด โดยผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21-3.99 ส่วนการบริโภคสดมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.22-4.47

ด้านความแน่นเนื้อ (Firmness) มีสเกลอธิบายความเข้มจากน้อยไปมาก พบว่าผลิตภัณฑ์แบบเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่บริโภคสดมีคะแนนโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างมาก คือได้คะแนน 8.01 และมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์แบบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งได้คะแนนระหว่าง 6.07-6.69 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันมีคะแนนความแน่นเนื้อโดยเฉลี่ยน้อยลง เพราะเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำมัน ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์มีการขยายตัวทำให้เนื้อสัมผัสโปร่งขึ้นหรือมีความแน่นเนื้อลดลง (Watanabe, 1967)

การยอมรับรวม (Overall acceptability) มีสเกลอธิบายความเข้มจากยอมรับน้อยที่สุดถึงยอมรับมากที่สุด พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบเมื่อนำมาทอดในน้ำมันได้คะแนนการยอมรับ

เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่บริโภคสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เพราะว่าการทอดช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีและรสชาติดีขึ้น



ภาพ 4.10 กราฟใยแมงมุมแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อบริโภคสดและหลังทอดในน้ำมัน

จากผลข้อมูลคุณลักษณะด้านต่างๆ จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ได้จากงานวิจัยนี้ อาจเป็นแนวทางเลือกอีกอย่างในการนำเอาถั่วเหลืองมาแปรรูปให้เป็นอาหารโปรตีนประเภทหนึ่งที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค สามารถบริโภคสดหรือนำไปแปรรูปในแบบอื่นๆที่คนไทยนิยม

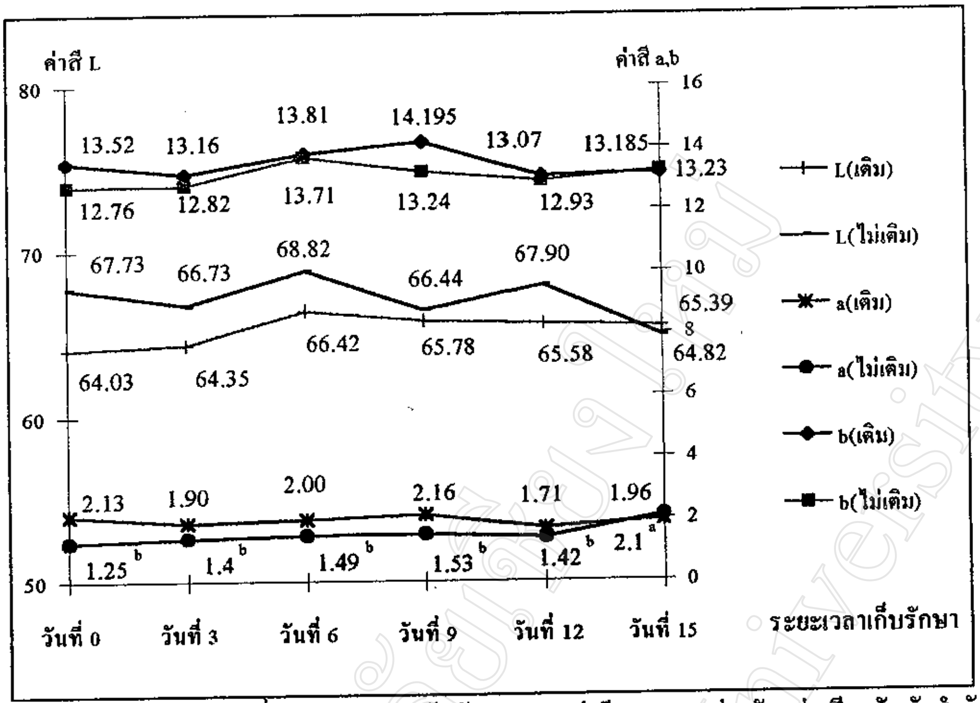
4.4 ผลศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่างๆของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษา

ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิในตู้เย็นโดยทั่วไปเป็นเวลานาน 15 วัน ผลการศึกษาแสดงดังนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

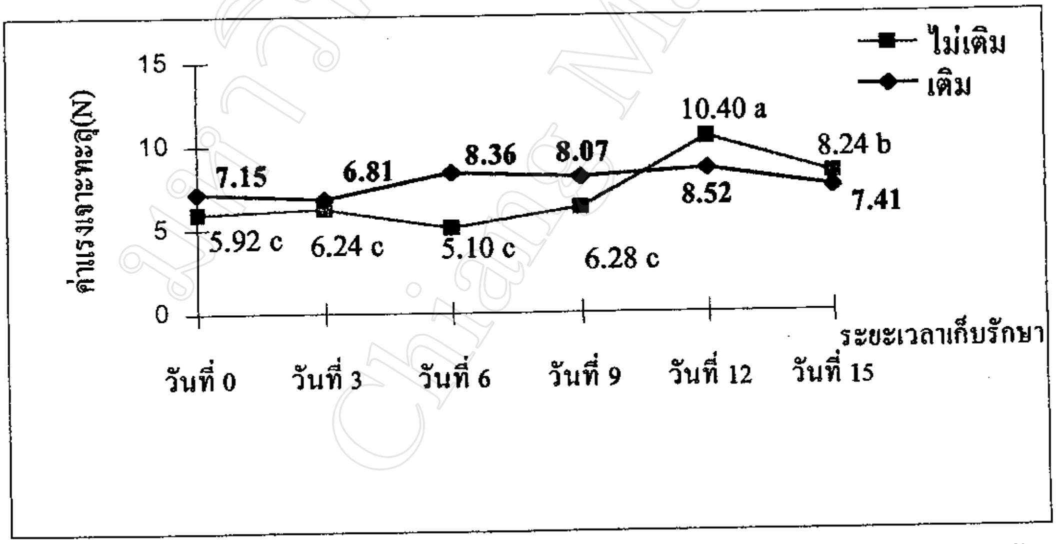
ค่าสีในระบบฮันเตอร์: ภาพ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบฮันเตอร์ของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า ในเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษานาน 15 วันมีค่าสี a มากที่สุดเป็น 2.10±0.04 และแตกต่างจากช่วงเวลาวันที่ 0-12 ที่มีค่าสี a อยู่ระหว่าง 1.25-1.53 อาจเป็นเพราะเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานมีเชื้อราเจริญบนผิวนอกมากทำให้ค่าสี a เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี L และค่าสี b ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.82-68.82 และ 12.76-13.71 ตามลำดับ สำหรับเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า ค่าสีในระบบฮันเตอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยค่าสี L a และ b อยู่ระหว่าง 64.03-66.42 1.71-2.16 และ 13.07-14.20 ตามลำดับ

ลักษณะเนื้อสัมผัส: ภาพ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเจาะทะลุ พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0, 3, 6 และ 9 มีค่าแรงเจาะทะลุแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในวันที่ 12 และ15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าแรงเจาะทะลุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการสูญเสียของเหลวบางส่วนไป เนื่องจากไม่ได้เติมไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเท่ากับว่าไม่มีตัวช่วยอุ้มน้ำหรือเพิ่มความคงตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์มีค่าแรงเจาะทะลุอยู่ในช่วง 6.81-8.52 ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าไฮโดรคอลลอยด์ช่วยเพิ่มความคงตัวแก่ผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษานาน 15 วัน



หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในเส้นข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบฮันเตอร์ของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°ซ นาน 15 วัน



หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในเส้นข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเจาะทะลุของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°ซ นาน 15 วัน

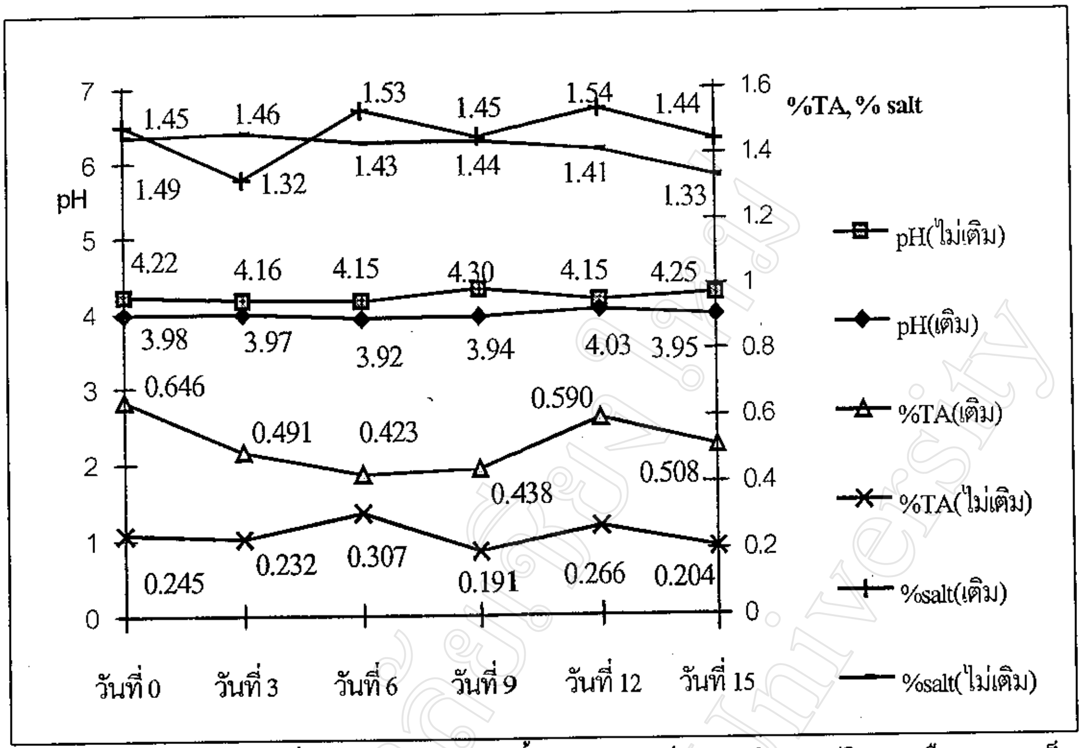
สำหรับเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 12 มีค่าแรงเจาะทะลุมากที่สุด (10.40 นิวตัน) และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ อาจเป็นเพราะมีความแตกต่างในแต่ละซ้ำของสิ่งทดลองค่อนข้างมาก คือ 9.76±1.22 และ 11.03±1.59 นิวตัน เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจึงได้ค่าที่สูงโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.90 ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.03-0.56

4.4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีแสดงดังภาพ 4.13 และ 4.14

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติคและความเป็นกรด-ด่าง: ภาพ 4.13 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ในเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.423-0.646% และ 3.92-4.03 ตามลำดับ เช่นเดียวกับเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งมีปริมาณกรดทั้งหมดในช่วง 0.191-0.307% และมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.15-4.30 ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chumchuere (1998) ซึ่งพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองค่อนข้างคงที่ในระหว่างการเก็บรักษานาน 14 วันที่ 4 °ซ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีหัวเชื้อในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยทำให้ผลิตกรดออกมาได้น้อย

ปริมาณเกลือ: ผลศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 15 วัน พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.32-1.54% และ 1.33-1.46% ตามลำดับ แสดงดังภาพ 4.13



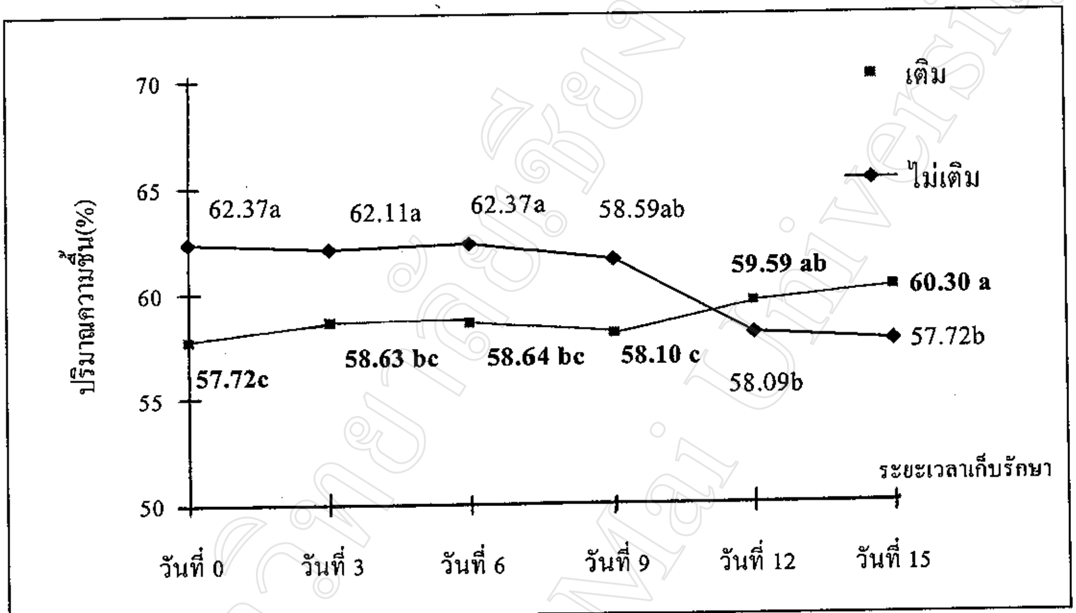
ภาพ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณเกลือของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°ซ นาน 15 วัน

ปริมาณความชื้น: ภาพ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น พบว่า ปริมาณความชื้นของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในวันที่ 0 ถึง 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 57.72-58.64% ส่วนในวันที่ 12 และ 15 ผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 59.59-60.303% และมีความแตกต่างจากระยะเวลาการเก็บรักษาอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ อาจเป็นเพราะอิทธิพลของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) โดยช่วยอุ้มน้ำ นอกเหนือจากการเป็น Gelling agent (นิธิยา, 2543; Nussinovitch, 1997) ดังนั้นจึงไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกในระหว่างการเก็บรักษา

ส่วนเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นโดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ในวันที่ 0 ถึง 9 มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 62.61-62.37% ส่วนในวันที่ 12 และ 15 ผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 57.72-58.09% ซึ่งมีความแตกต่างจากระยะเวลาการเก็บรักษาอื่นๆอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ซึ่งการไม่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์อาจทำให้มีการแยกตัวของของเหลวในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์จึงมีความชื้นลดลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแล้ว พบว่า ส่วนมากมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยขณะเก็บรักษาที่ 4 °ซ นาน 15 วันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทำให้ไม่สามารถใช้บ่งบอกอายุการเก็บรักษาได้และต้องอาศัยข้อมูลทางจุลชีววิทยาเป็นตัวบ่งชี้



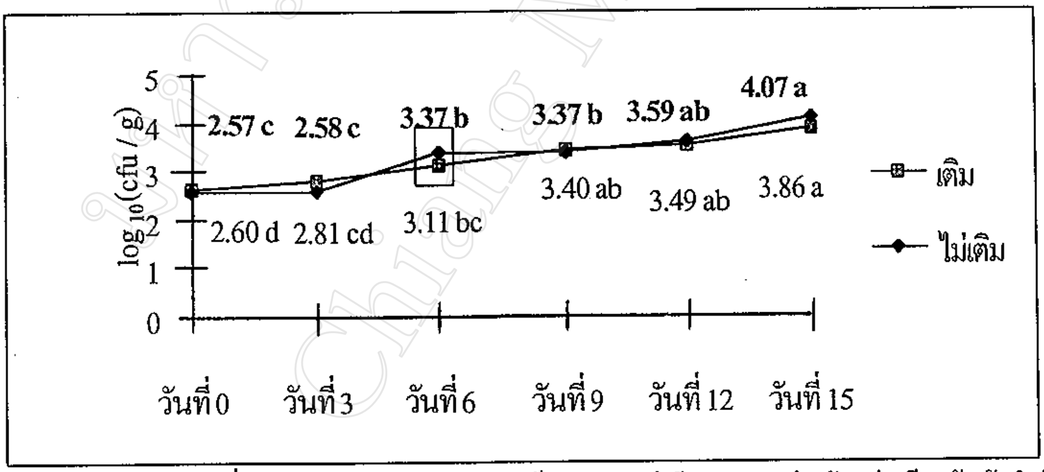
หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°ซ นาน 15 วัน

4.4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา คือ ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติค ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราเพิ่มจำนวนตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ดังภาพ 4.15-4.17

ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติค: ภาพ 4.15 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติค พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยวันที่ 0 และวันที่ 3 มีปริมาณเชื้ออยู่ระหว่าง 4.0×10^2-6.5×10^2 cfu/g แล้วเพิ่มเป็น 1.3×10^3, 2.5×10^3, 3.1×10^3 และ 7.2×10^3 cfu/g ในวันที่ 6, 9, 12 และ 15 ตามลำดับ ส่วนเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0 และวันที่ 3 มีปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคอยู่ระหว่าง 3.7×10^2-3.8×10^2 cfu/g จากนั้นเพิ่มเป็น 2.3×10^3-3.9×10^3 cfu/g ในวันที่ 6-12 และ 1.2×10^4 cfu/g ในวันที่ 15 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การตรวจพบปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคในผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบ แสดงว่า อาจจะมีหัวเชื้อจำนวนหนึ่งรอดชีวิตจากการให้ความร้อนเพื่อแยกเวย์จากลิ่มนมถั่วเหลืองที่ 75°ซ เป็นเวลา 60 นาทีและสามารถเพิ่มจำนวนโดยอาศัยน้ำตาลที่เหลือในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามปริมาณเชื้อมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลการศึกษาของ Chumchuere (1998) ซึ่งมีหัวเชื้อเหลือในผลิตภัณฑ์สุดท้ายประมาณ 1×10^7-1×10^8 cfu/g อาจเพราะได้ใช้อุณหภูมิสูงและเวลาการให้ความร้อนนานทำให้หัวเชื้อเหลือในปริมาณน้อยและการเก็บผลิตภัณฑ์ในสภาวะมีอากาศทำให้หัวเชื้อเจริญได้ไม่ดีนัก เพราะเชื้อแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (Macrae et al., 1993) เมื่อหัวเชื้อเจริญไม่ดีก็เป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญและก่อให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นได้



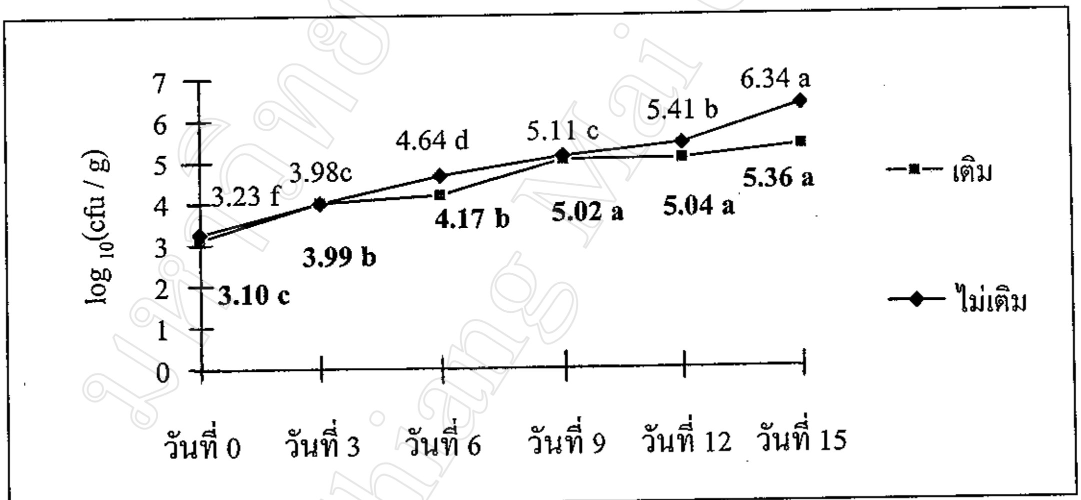
หมายเหตุ:(1)ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดของข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

(2)ข้อมูลแต่ละคู่ในกรอบสี่เหลี่ยมแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ t-test)

ภาพ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °ซ นาน 15 วัน

สำหรับการทดสอบความแตกต่างของปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคระหว่างเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งสองแบบในแต่ละวันของการเก็บรักษา โดยใช้ Two sample t-test พบว่า ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคมีความแตกต่างกันเฉพาะในวันที่ 6 เท่านั้น โดยเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณเชื้อมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด: ภาพ 4.16 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณเชื้อ 1.3×10^3 cfu/g ในวันที่ 0 และเพิ่มจำนวนตามระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เป็น 9.8×10^3 และ 1.5×10^4cfu/g ในวันที่ 3 และ 6 ตามลำดับและมีจำนวนมากที่สุดอยู่ระหว่าง 1.0×10^6-2.3×10^6 cfu/g ในวันที่ 9-15 ส่วนเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณเชื้อ 1.7×10^3 cfu/g ในวันที่ 0 และเพิ่มเป็น 9.5×10^3, 4.4×10^4, 1.3×10^6, 2.2×10^6 และ 2.6×10^6 cfu/g ในวันที่ 3, 6, 9, 12 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

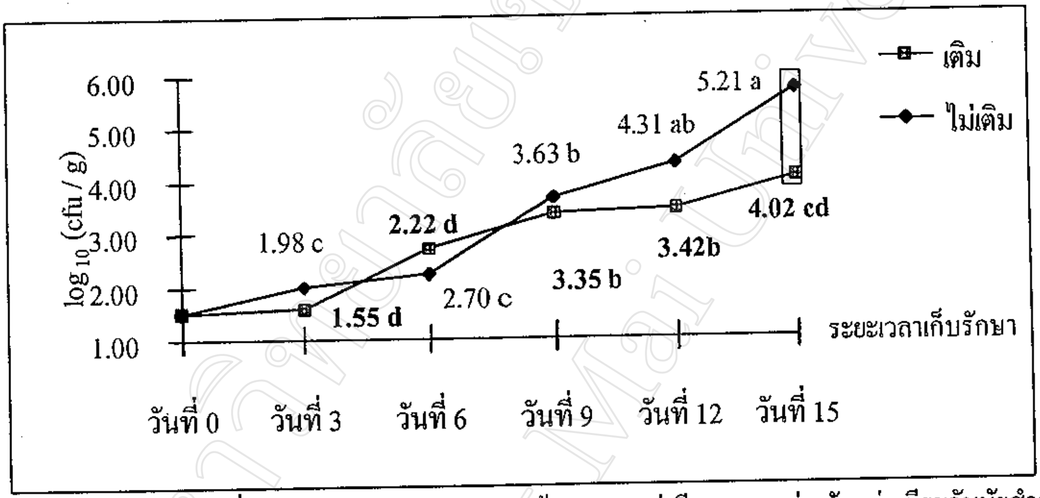


หมายเหตุ: ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

ภาพ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °ซ นาน 15 วัน

สำหรับการทดสอบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบในแต่ละวันของการเก็บรักษา โดยใช้ Two sample t-test พบว่า ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณยีสต์และรา: ภาพ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และรา พบว่าเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบเติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณเชื้อเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเพิ่มจำนวนจากวันที่ 0 ซึ่งมีปริมาณเชื้อน้อยกว่า 30 cfu/g เป็น 35.5 cfu/g ในวันที่ 3 และ 1.7×10^2 cfu/g ในวันที่ 6 ส่วนในวันที่ 9 และ12 มีเชื้ออยู่ระหว่าง 2.2×10^3-2.6×10^3 cfu/g และมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 15 เป็น 1.0×10^4 cfu/g ซึ่งมีความแตกต่างจากช่วงเวลาอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\leq0.05$ สำหรับในเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณยีสต์และราเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ทั้งนี้วันที่ 0 ตรวจพบเชื้อน้อยกว่า 30 cfu/g แล้วเพิ่มเป็น 95.5, 5.0×10^2, 4.3×10^3, 2.0×10^4cfu/g ในวันที่ 3, 6, 9 และ12 ตามลำดับ ส่วนวันที่ 15 มีปริมาณเชื้อสูงสุดเป็น 1.6×10^5 cfu/g



หมายเหตุ:(1)ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละชุดของข้อมูลแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\leq0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD)

(2)ข้อมูลแต่ละคู่ในกรอบสี่เหลี่ยมแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\leq0.05$ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ t-test)

ภาพ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °ซ นาน 15 วัน

สำหรับการทดสอบความแตกต่างของปริมาณยีสต์และราระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบในแต่ละวันของการเก็บรักษา โดยใช้ Two sample t-test พบว่า ในวันที่ 0 จนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปริมาณยีสต์และราของเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งแบบเติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในวันที่ 15 เนยแข็งจากนมถั่วเหลืองแบบไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณยีสต์และรามากกว่า

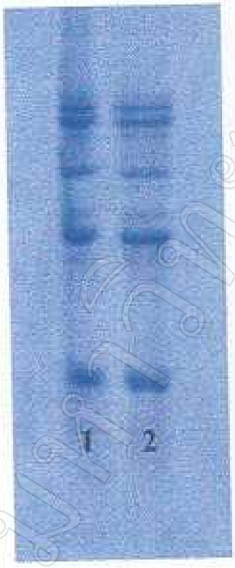
เนื่องจากมาตรฐานของจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารยังไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอน เพราะอาหารในแต่ละท้องถิ่นมีความแตกต่างกันตามรสนิยม ประเพณี สภาพเศรษฐกิจและวัฒนธรรม (ธารีรัตน์, 2525) แต่ตามเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย ปี พ.ศ. 2536 กำหนดให้อาหารพร้อมบริโภคควรมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ออาหาร 1 กรัมไม่เกิน 1.0×10^{6} โดยใช้วิธี Standard plate count หรือวิธี Pour plate เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่า ถ้าเก็บรักษามากกว่า 9 วันขึ้นไปปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีมากกว่า 1.0×10^{6}cfu/g ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานและกล่าวได้ว่าไม่ปลอดภัยเพียงพอต่อการบริโภค ส่วนยีสต์และราพบในผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบหลังเก็บรักษานาน 3 วันขึ้นไปอาจเพราะมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์สูง (ประมาณ 60%) และผิวหน้ามีออกซิเจน โดยสามารถสังเกตเห็นโคโลนีสีเหลืองถึงสีแดงของราเจริญตามผิวหน้าถ้าเก็บรักษามากกว่าวันที่ 9 และสังเกตได้อย่างชัดเจนในวันที่ 12 และวันที่ 15 ซึ่งยีสต์และราก่อให้เกิดเมือก กลิ่นไม่ดีและการเสื่อมเสียขึ้น

จากข้อมูลทางจุลชีววิทยาทำให้สามารถสรุปได้ว่า อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4°ซ ไม่ควรเกิน 6 วันเพราะปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดยังไม่เกินเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา อย่างไรก็ตามก่อนนำผลิตภัณฑ์ไปบริโภคควรทำให้สุกหรือผ่านความร้อนอีกครั้งเพื่อความปลอดภัย

การที่ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น อาจเป็นเพราะถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ไม่สามารถป้องกันการเข้าออกของอากาศและความชื้นได้ ทำให้ยีสต์และราสามารถเจริญได้ดีในขณะที่แบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติคเจริญได้ไม่ดี จึงเกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้เร็ว โดยจะเห็นได้จากผลการศึกษาของ Cabrera (1998) พบว่า ครีมชีสจากนมถั่วเหลืองที่บรรจุในกล่องพลาสติก (Plastic pot) ขนาด 250 มิลลิลิตร ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene bag) ขนาด 2 กิโลกรัม และ Kraft Aluminium-coated paper ที่อุณหภูมิ 6 ± 2 °ซ มีอายุการเก็บรักษานาน 17 10 และ 13 วัน ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาในถุงพลาสติกทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด

4.5 ผลศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในระหว่างขั้นตอนการผลิตและเก็บรักษาเนยแข็งจากนมถั่วเหลือง

การทดลองนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทั้งที่เติมและไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระหว่างขั้นตอนการผลิตและเก็บรักษาด้วยวิธีทำเจลแบบอิเลคโตรโฟริซีสแบบเอสดีเอส ซึ่งตามปกติโปรตีนของถั่วเหลืองประกอบด้วยหน่วยย่อย (Subunit) หลายหน่วยเกาะตัวกัน แต่เมื่อแยกด้วยวิธีอิเลคโตรโฟริซีส โมเลกุลของเอสดีเอสจะจับกับส่วนไฮโดรโฟบิค (Hydrophobic) ทำให้โปรตีนมีประจุลบและเปลี่ยนสภาพจากรูปทรงกลม (Globular) ไปอยู่ในสภาพเหยียดตรงกลายเป็นโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติ (Denature) (Rybicki and Purves, No date)



ภาพ 4.18 แผ่นเจลของถั่วเหลือง (1) และนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อน (2) ภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง

ภาพ 4.18 แสดงแผ่นเจลของถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อนภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง (Non-reducing) จะเห็นได้ว่าแถบโปรตีนแต่ละแถบแยกออกเป็นหน่วยย่อยที่ตรงกันตามความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล โดยแถบโปรตีนที่แยกออกมาก่อนหรืออยู่ด้านบนแสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนพวกที่แยกออกมาภายหลังหรืออยู่ด้านล่างของแผ่นเจลแสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Hofer Scientific Instruments, 1994)

(1)

(2)

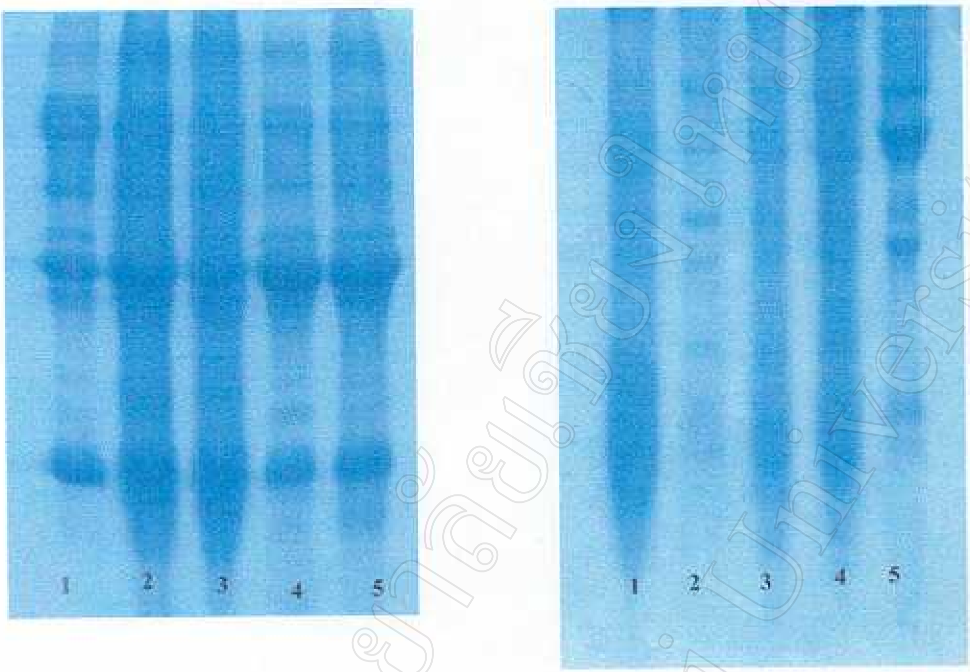
หมายเหตุ: 1 นมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อน
2 ลิ่มนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์
3 เวย์จากลิ่มนมถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรคอลลอยด์
4 ลิ่มนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์
5 เวย์จากลิ่มนมถั่วเหลืองที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

ภาพ 4.19 แผ่นเจลของตัวอย่างในระหว่างขั้นตอนการผลิตภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง (1) และสภาวะรีดิวส์ซิ่ง (2)

ภาพ 4.19 แสดงแผ่นเจลของตัวอย่างในระหว่างขั้นตอนการผลิตภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง (Non-reducing) และรีดิวส์ซิ่ง (Reducing) โดยตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อน ลิ่มนมจากการตกตะกอนและเวย์ที่แยกจากลิ่มนมในผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่าแถบโปรตีนของนมถั่วเหลืองค่อนข้างตรงกับแถบโปรตีนของลิ่มนมในผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบ แม้ว่ามีบางหน่วยย่อยที่แตกต่างกัน แสดงว่า ลิ่มนมที่ได้หลังการหมักด้วยจุลินทรีย์ยังคงมีโปรตีนชนิดเดียวกับในนมถั่วเหลือง แต่สำหรับเวย์จากลิ่มนมในผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบไม่พบแถบโปรตีนบนแผ่นเจลภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่งและพบบางหน่วยย่อยใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

แถบโปรตีนภายใต้สภาวะรีดิวส์ซิ่ง แสดงว่า ในเวย์ของลิ่มนมถั่วเหลืองมีโปรตีนหลงเหลืออยู่น้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้เมื่อย้อมสีด้วย Coomassie blue



(1) (2)

หมายเหตุ: 1 นมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อน
2 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0
3 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 15
4 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0
5 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 15

ภาพ 4.20 แผ่นเจลของตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง (1) และสภาวะรีดิวส์ซิ่ง (2)

ภาพ 4.20 แสดงแผ่นเจลของตัวอย่างในขั้นตอนการเก็บรักษาภายใต้สภาวะนอนรีดิวส์ซิ่ง (Non-reducing) และรีดิวส์ซิ่ง (Reducing) โดยตัวอย่างประกอบด้วยนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านความร้อน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0 และวันที่ 15 และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในวันที่ 0 และวันที่ 15 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละตัวอย่างโปรตีนในแต่ละแถบมีการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างของนมถั่วเหลืองซึ่งใช้เป็น

ตัวอ้างอิงในการเปรียบเทียบและอาจกล่าวได้ว่าในผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังคงมีกลุ่มโปรตีนถั่วเหลืองเหมือนกับในนมถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบและลิ่มนม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University