ผลกระทบของปัจจัยแปรรูปต่อคุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

Effect of Processing Variables on the Quality of Calcium-Fortified Soy Milk

จินตนา ศรีผุย (Jintana Sripui)[1] *อารีย์ สิงห์คำ (Aree Singkham)*[2]
สิงหนาท พวงจันทน์แดง (Singhanat Phoungchandang)[3]* *เกษม นันทชัย (Kasem Nuntachai)*[4]

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมเพื่อหาค่าที่เหมาะที่สุดสำหรับการผลิต โดยได้ศึกษาถึงปัจจัยในนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมพบว่า ชนิดของแคลเซียม ปริมาณสารซีเควสเทรนต์ และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมและค่าคะแนนความชอบโดยรวมกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต (A) ปริมาณสารซีเควสเทรนต์ (B) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (C) มีความสัมพันธ์ดังนี้ ปริมาณแคลเซียม = $171.087 + 62.612A - 9.540C - 4.738A^2 - 36.695C^2$ และความชอบโดยรวม = $55.034 - 7.705A - 4.309B + 3.895C - 3.105A^2 - 4.372B^2 - 8.821C^2$ ซึ่งสามารถใช้ทำนายสภาวะการผลิตนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่เหมาะที่สุด โดยพบว่าสภาวะในกระบวนการผลิต คือ สภาวะที่มีการใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟต 2 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:4.5 ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมสูง (237.92 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิเมตร) มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมที่ดี (58.91 คะแนน) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.23 ความเป็นกรด-เบส 7.94 ความหนืด 22.36 เซนติป้วส์ ค่าความสว่าง (L*) ความแดง (a*) ความเหลือง (b*) และดัชนีความขาว (Whiteness index) เท่ากับ 77.50, -0.13, 15.66 และ 72.59 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า นมถั่วเหลืองที่ได้จากสภาวะการผลิตที่เหมาะที่สุดจะให้ค่าคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่านมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือนอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

Abstract

The objectives of the study are to investigate the factors related to processing calcium fortified soy milk and their effects on the chemical and physical properties, to determine optimum processing conditions. The first study was performed to screen important factors affecting chemical and physical properties of calcium fortified soy milk. The type of calcium, type of stabilizing agent, sequestrant content and soybean to water ratio were studied. Results revealed that dicalcium phosphate content (A), sequestrants content (B) and

[1]*อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2]*อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชมงคล วิทยาเขตปทุมธานี*
[3]*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[4]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
**corresponding author, e-mail: sinpho@kku.ac.th*

soybean to water ratio (C) showed significant effects on the chemical and physical properties. A mathematical model describing relationship between calcium content, overall liking and factor A, B and C were = 171.087 + 62.612A – 9.540C – 4.738A^2 – 36.695C^2 and 55.034 – 7.705A – 4.309B + 3.895C – 3.105A^2 – 4.372B^2 – 8.821C^2 respectively. Five formula conditions of calcium fortified soy milk were 2% dicalcium phosphate and 1:4.5 soybean to water ratio, provided the highest calcium content (237.92 mg/100 ml of soy milk) and the highest liking score (58.91). The chemical and physical properties of fortified soy milk were as follows: protein content (4.32%), pH (7.94), viscosity (22.36 cps.), lightness (L*, 77.50), redness (a*, -0.13), yellowness (b*, 15.66) and whiteness index (72.59). In addition, consumer acceptance tests showed that the calcium fortified soy milk with optimum conditions obtained higher liking scores of color, flavor, taste, texture and overall liking score ($p < 0.05$) than those of the commercial soy milk products.

คำสำคัญ: นมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม การหาค่าเหมาะที่สุด แบบจำลองคณิตศาสตร์
Keywords: calcium-fortified soy milk, optimization, mathematical model

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนมากหันมาให้ความสนใจรับประทานอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและอาหารเสริมสุขภาพเพิ่มขึ้น เช่น อาหารที่มีเยื่อใยสูง อาหารที่มีวิตามินและเกลือแร่สูง เป็นต้น นมถั่วเหลือง เป็นอาหารชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางอาหารครบถ้วน (ปาริชาติ, 2529) ไม่มีคอเลสเตอรอลที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจ โดยจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ตลอดจนถึงกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

แร่ธาตุในน้ำนมถั่วเหลืองส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำนมถั่วเหลือง โดยทั่วไปพบว่ามีปริมาณของธาตุเหล็กมากกว่าน้ำนมวัว แต่จะมีปริมาณของแคลเซียมที่ต่ำมากน้อยกว่านมวัวถึง 5.6 เท่า (Smith and Circle, 1978) แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกายประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักตัว ร้อยละ 99 อยู่ในกระดูกซึ่งทำหน้าที่พยุงโครงร่างของร่างกาย แคลเซียมในกระดูกจะมีการสลายและสร้างใหม่ประมาณร้อยละ 20 (ประมาณ 700 มิลลิกรัมต่อวัน) เพื่อเข้าสู่กระแสโลหิตและนำไปใช้ทำหน้าที่ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย มีการขับแคลเซียมออกทางปัสสาวะประมาณ 50 – 300 มิลลิกรัมต่อวัน ดังนั้นร่างกายจึงต้องได้รับแคลเซียมจากอาหารให้มากกว่าปริมาณที่สูญเสียไปในแต่ละวัน

ตามมาตรฐานสากล (Recommended Daily Intake:RDI) ระบุว่าปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการต่อวัน คือ 1,000 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมที่มีในน้ำนมถั่วเหลืองนั้น ผู้บริโภคต้องดื่มวันละ 5 ลิตรต่อวัน จึงจะได้ปริมาณแคลเซียมที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน โดยเฉพาะในผู้บริโภคที่เป็นเด็กและสตรีที่กำลังตั้งครรภ์ โดยทั่วไปประชาชนไทยได้รับแคลเซียมโดยเฉลี่ย 266 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน (Nardin et al., 1987) ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าค่า RDI มาก

การเติมแคลเซียมลงในนมถั่วเหลือง โปรตีนที่อยู่ในน้ำนมถั่วเหลืองจะไวต่อการจับกับแคลเซียมไอออนได้สูง ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองและอาจจะทำให้โปรตีนดังกล่าวไม่เสถียรและจับก้อน (Coagulate) ตกตะกอนลงมา จึงเติมแคลเซียมได้ในปริมาณเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นการใช้สารซีเควสเทรนต์ (Sequestrants หรือ

Sequestering agent) สารเสริมความคงตัว (Stabilizing agent) ร่วมกับการเติมแคลเซียมจะทำให้โปรตีนในนมถั่วเหลืองมีความเสถียรเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและเมื่อมีการควบคุมปัจจัยการแปรรูป (Processing variables) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมและหาสภาวะที่เหมาะที่สุด พร้อมทั้งควบคุมสภาวะการผลิตในการเติมแคลเซียมอาจจะช่วยให้เติมแคลเซียมในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีแนวทางที่จะศึกษาถึงปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมและศึกษาสภาวะที่เหมาะที่สุดในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และประเมินความชอบต่อนมถั่วเหลืองที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

โดยสุ่มตัวอย่างนมถั่วเหลือง ซึ่งมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และประเมินความชอบของผู้บริโภคของนมถั่วเหลืองดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Protein content) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Fat content) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (Calcium content) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ค่าความคงตัวต่อความร้อน (Heat stability) ด้วยวิธี AOAC (1995)
- วิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer
- วิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่อง Hunter lab วัดค่าความสว่าง (L* or lightness)

ค่าความแดง (a* or redness) ค่าความเหลือง (b* or yellowness) และค่าความขาว (Whiteness index) ตามสมการ (1)

$$\text{Whiteness index} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})]^{1/2} \quad (1)$$

- ประเมินความชอบของกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง เพื่อหาระดับความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อนมถั่วเหลือง โดยใช้ผู้บริโภคไม่น้อยกว่า 50 คน (Stone and Sidel, 1993)

2. ศึกษาปัจจัยการแปรรูปเพื่อกำหนดปัจจัยที่มีความสำคัญ (Screening Variables) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และความชอบของผู้บริโภค

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยการแปรรูปที่อาจจะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม คือ ชนิดของแคลเซียม ชนิดของสารเสริมความคงตัว ปริมาณของสารซีเควสเทรนต์ และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (D) ทำการศึกษา 4 ปัจจัย คือ ชนิดของแคลเซียม (A) 2 ชนิด ได้แก่ Dicalcium phosphate และ Calcium gluconate ที่ระดับความเข้มข้น 1.55 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ชนิดของสารเสริมความคงตัว (B) 2 ชนิด ได้แก่ Iota-carrageenan และ Lamda-carrageenan ที่ระดับความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ปริมาณของสารซีเควสเทรนต์ (C) โดยใช้โพแทสเซียมซิเทรตที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำที่ระดับ 1:3 และ 1:6 (กิโลกรัม:กิโลกรัม) จัดหน่วยการทดลองแบบ 2^{4-1} Fractional Factorial Experiments (Montgomery, 1984; Hu, 1999) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสำหรับการคัดเลือกปัจจัยสำคัญ ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าสังเกตได้ (Arteaga et al., 1994) จากการจัดหน่วยทดลองดังกล่าวต้องทำการผลิตตัวอย่างนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมจำนวน 16 การทดลอง แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง โดยวิธีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ (water emulsion method) (ฆัณฑนา และคณะ, 2523) ตามขั้นตอนดังนี้คือ

- นำเมล็ดถั่วเหลืองแช่ในน้ำสะอาดในอัตราส่วนของถั่วเหลือง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 กิโลกรัม แช่นาน 8 ชั่วโมงทำความสะอาดและแยกเปลือกออก แล้วเติมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นตีปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงหรือใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) นาน 2 นาที แล้วกรองน้ำนมถั่วเหลืองดิบด้วยผ้าขาวบางปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ให้ได้เท่ากับ 8 และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ให้ได้ 16 องศาบริกซ์
- ให้ความร้อนจนถึง 45 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารซีเควสเทรนต์และสารเสริมความคงตัวในปริมาณตามที่กำหนดในแผนการทดลอง กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์นาน 10 นาที
- เติมแคลเซียม แล้วกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์นาน 10 นาที เพื่อให้กระจายตัวดีแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 – 75 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที บรรจุขวดที่สะอาด เก็บตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทดสอบความชอบของผู้บริโภค

3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพกับปัจจัยการแปรรูปของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

คัดเลือกปัจจัยการแปรรูปที่สัญจากขั้นตอนที่ 2 มา 3 ปัจจัยเพื่อนำมาวางแผนการทดลองในขั้นตอนนี้ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งเป็นแผนการทดลองที่สามารถนำผลไปวิเคราะห์ระดับที่เหมาะที่สุดของปัจจัยศึกษาต่อค่าสังเกต (Hu, 1999) และเป็นวิธีที่เหมาะที่สุดและนิยมนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (Piqqott, 1984) ซึ่งในแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง ระดับสูง ระดับลบแอลฟา และระดับบวกแอลฟา (-1, 0, $+1$, $-\alpha$, $+\alpha$) ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 25 การทดลอง

ทำการทดลองผลิตนมถั่วเหลืองแคลเซียมในแต่ละการทดลองตามลำดับการสุ่มเลือกตามขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 2 นำตัวอย่างนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และความชอบของผู้บริโภคเช่นเดียวกับข้อ 1 โดยทำนายค่าตัวแปรตามด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) หรือปัจจัยคุณภาพของตัวอย่างนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับตัวแปรอิสระ (Independent variables) หรือปัจจัยการแปรรูปซึ่งประกอบด้วยปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต (A) ปริมาณสารซีเควสเทรนต์ (B) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (C) นำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพกับปัจจัยในกระบวนการแปรรูป โดยมีสมมติฐานของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_2X_2^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 \quad (2)$$

โดย

Y คือ ปัจจัยคุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

$X_1X_2X_3$ คือ ปัจจัยการแปรรูปของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

β_0 คือ ค่าคงที่

$\beta_1\beta_2\ \beta_3$ คือ สัมประสิทธิ์ของอิทธิพลเชิงเส้นตรงของตัวแปรอิสระ $X_1X_2X_3$

$\beta_{12}\beta_{13}\ \beta_{23}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอิทธิพลเชิงเส้นตรงของปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 2 ตัว

$\beta_{11}\beta_{22}\ \beta_{33}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอิทธิพลเชิงเส้นโค้งของตัวแปร $X_1X_2X_3$

4. การศึกษาหาค่าที่เหมาะที่สุดในการผลิต (Optimization condition) ของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ทำการทดลองผลิตนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม 5 สภาวะ โดยใช้เงื่อนไขการผลิตที่คัดเลือกมาจากการประเมินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขั้นตอน

ที่ 3 นำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ผลิตได้ไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และประเมินความชอบของผู้บริโภคเช่นเดียวกับข้อ 1 วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 7.5 for Windows เลือกนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่มีคุณภาพดีนำไปเปรียบเทียบกับนมถั่วเหลืองที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

ผลการทดลอง

1. ศึกษาสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และประเมินความชอบของกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคต่อนมถั่วเหลืองที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

2. ศึกษาปัจจัยการแปรรูป เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และความชอบของผู้บริโภค

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่สำคัญในการแปรรูปนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม คือ ชนิดของแคลเซียม เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมากที่สุด โดยชนิดของแคลเซียม แสดงอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมในทุกด้าน ปริมาณสารซีเควสเทรนต์ และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ แสดงอิทธิพลต่อปัจจัยคุณภาพด้านต่างๆ รองลงมา ตามลำดับ และพบว่าปริมาณการใช้สารเสริมความคงตัวเป็นปัจจัยการผลิตที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมน้อยที่สุด (ตารางที่ 2)

เนื่องจากความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอนุภาคของโปรตีนในสารละลาย การเติมแคลเซียมจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการละลายของโปรตีนหรืออาจทำให้เกิดการรวมตัวของแคลเซียมกับองค์ประกอบในน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมที่ใช้เสริมในตัวอย่าง (Lu et al., 1980) ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดเกิดจากการเติมแคลเซียม พบว่าเมื่อใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟตจะทำให้ค่าความหนืดลดลงซึ่งให้ผลตรงข้ามกับการใช้แคลเซียมกลูโคเนตที่ให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเนื่องมาจากชนิดของแคลเซียมที่ใช้ต่างกันจะมีผลต่อการตกตะกอนของโปรตีนและที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้พบว่าปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตและอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของแคลเซียม ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการแปรรูปผลผลิตนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมในขั้นตอนต่อไป

การทดลองพบว่าชนิดของสารเสริมความคงตัวระหว่างการใช้ไอโอต้าคาร์ราจีแนน และการใช้แลมดาคาร์ราจีแนนที่ระดับความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อค่าความหนืดของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไอโอตาคาร์ราจีแนนเป็นสารเสริมความคงตัวในการทดลองขั้นต่อไป

3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพกับปัจจัยการแปรรูปของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปัจจัยการแปรรูป ได้แก่ ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต (A) ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต (B) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (C) ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ค่าความแดง ค่าความเหลือง ดัชนีความขาว ความเป็นกรด-เบส ปริมาณแคลเซียมและความชอบโดยรวม กับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต (A) ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต (B) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (C) โดยปัจจัยการแปรรูปที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมในด้านต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง โดยมีค่าเป็น R^2 เท่ากับ 0.64, 0.96, 0.60, 0.67, 0.89, 0.63 และ 0.74 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอันเนื่องมาจาก

อิทธิพลของปัจจัย การแปรรูปได้ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3 และสามารถประเมินระดับของปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต และอัตราระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้คุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ดีและเหมาะสมได้

สำหรับค่าความแดงมีค่า R^2 เป็น 0.69 (รูปที่ 1) หมายความว่า สมการดังกล่าวสามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของค่าความแดงของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมได้ร้อยละ 96 ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 และพบว่าความแดงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ($+0.015A^2$) ปริมาณโปรแตสเซียมซิเตรท ($-0.080B^2$) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ ($-0.171C^2$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความแดงของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมขึ้นอยู่กับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองกับน้ำ เมื่อใช้ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ค่าความแดงของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 - 2 ค่าความแดงมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองกับน้ำจาก 1:1.5 - 1:4.5 ค่าความแดงของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องมาจากการละลายของโปรตีนนั้นเอง ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มความเป็นกรด-เบสของสารละลายและเกิดจากการรวมตัวของแคลเซียมกับองค์ประกอบบางชนิดในน้ำนมถั่วเหลือง (Kinsella, 1979; ยุวดี, 2541) ในทำนองเดียวกันปัจจัยการแปรรูปมีอิทธิพลต่อค่าดัชนีความขาว ($R^2 = 0.67$) ค่าความเป็นกรด-เบส ($R^2 = 0.89$) พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับปัจจัยการแปรรูป

ค่าความเป็นกรด-เบสมีแนวโน้มลดลงระดับหนึ่ง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟต อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำให้สูงมากขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นและเมื่อมีการใช้ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3) (ไม่แสดงรูป) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองของ One (1993) พบว่า เมื่อมีการเติมแคลเซียมลงในน้ำนมถั่วเหลือง ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำนมถั่วเหลืองจะลดลงอันเนื่องมาจากผลของแคลเซียมไฟเทต (Calcium phytate) ซึ่งเกิดจากการจับกันของแคลเซียมกับหมู่ฟอสเฟตของไฟเทตในนมถั่วเหลืองในสภาวะที่เป็นกลางเกิดเป็นแคลเซียมไฟเทต และปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสลดลง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถั่วเหลืองที่นำมาทำน้ำนมถั่วเหลืองด้วย ซึ่งโดยมากน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งสกัดได้จากนมถั่วเหลืองจะมีค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วง 6.4 - 6.6 ซึ่งเป็นช่วงความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนของโปรตีนด้วยสารตกตะกอน ซึ่งถ้ามีการปรับความเป็นกรด-เบสของน้ำนมถั่วเหลืองให้สูงกว่าช่วงนี้ อาจจะทำให้การตกตะกอนช้าลง (Lambrecht, 1996; Lui, 1997) ความเป็นกรด-เบสของน้ำนมถั่วเหลืองเป็นจะมีผลต่อการละลายโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลือง โดยถ้ามีการควบคุมความเป็นกรด-เบสสูงหรือต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (Isolectric pH) จะทำให้โมเลกุลของโปรตีนละลายในน้ำได้ดีขึ้น ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตที่เติมลงไปในน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นสารซีเควสเทรนต์มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสมีแนวโน้มเพิ่มสูง จึงมีผลทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีความเสถียร และไม่เกิดการตกตะกอน (Yazici et al, 1997)

ปัจจัยการแปรรูปมีอิทธิพลต่อปริมาณแคลเซียม (รูปที่ 2) พบว่า ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำมีอิทธิพลเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ($-4.738A^2$) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ ($-39.695C^2$) ดังนั้นสามารถใช้ประเมินสภาวะในการผลิตนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่เหมาะที่สุดเพื่อให้ได้ปริมาณแคลเซียมที่สูงได้ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงแคลเซียมของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมีอิทธิพลจากปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต

และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ โดยพบว่าเมื่อใช้ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟตเพิ่มปริมาณแคลเซียมของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Prabharaska (1989) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมแล็กเทตร่วมกับโซเดียมซิเทรตร้อยละ 0.4 เพื่อเสริมลงในนมถั่วเหลืองได้ปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง 75 มิลลิกรัม 100 มิลลิลิตร

อิทธิพลต่อค่าคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 3 พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตและอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำเพิ่มขึ้น ค่าคะแนนด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคจะมีแนวโน้มสูงขึ้น

4. การหาค่าที่เหมาะที่สุดในการผลิตของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ในขั้นตอนนี้ได้นำสมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณแคลเซียม และค่าคะแนนความชอบโดยรวมมาพิจารณาหาค่าที่เหมาะที่สุดเพื่อให้มีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดในนมถั่วเหลือง และผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด โดยค่าคะแนนความชอบโดยรวมมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ($-3.105A^2$) ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต ($-4.372B^2$) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ ($-8.821C^2$) ดังนั้นสามารถประเมินระดับของไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตท และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำที่เหมาะที่สุดเพื่อให้ได้ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในขณะเดียวกันตัวอย่างนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมจะต้องมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด ดังนั้นจึงนำสมการของปริมาณแคลเซียมมาพิจารณาร่วมกัน สมการของปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ($-4.732A^2$) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ ($-39.695C^2$) ดังนั้นสามารถประเมินระดับไดแคลเซียมฟอสเฟตและอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำเพื่อให้ได้ปริมาณแคลเซียมสูงสุดโดยทำการแทนค่าด้วยค่าต่างๆ ของปัจจัยการทดลอง คือ ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำที่ระดับต่างๆ เพื่อทำนายระดับปริมาณแคลเซียมและความชอบโดยรวม เลือกสภาวะการผลิตมา 5 สภาวะ นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และประเมินความชอบของกลุ่มตัวแทนผู้บริโภค

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะที่มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 58.91 คะแนน (ตารางที่ 3) และแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p < 0.05$) ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมสูงถึง 237.92 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าปริมาณแคลเซียมในนมถั่วเหลืองที่ได้จากสภาวะการผลิตที่เหมาะที่สุดนี้มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าการทดลองของ Rasyid and Hansen (1991) ที่ใช้แคลเซียมกลูโคเนตร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ซึ่งมีปริมาณแคลเซียม 140-145 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ Yazici et al. (1997) ทำการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมแล็กโทกลูโคเนตร้อยละ 1.55 ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.5 จะมีปริมาณแคลเซียม 200 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เนื่องมาจากสารซีเควสเทรนต์ที่ใช้สามารถปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้มากกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก โมเลกุลของโปรตีนจึงสามารถละลายและกระจายตัวอยู่ในน้ำนมถั่วเหลืองได้ดี ไดแคลเซียมฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งเกิดจากการจับกันของฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบกับแคลเซียมที่แตกตัวออกมาเพิ่มมากขึ้น แคลเซียมจึงไม่สามารถจับกับโปรตีนทำให้ไม่เกิดการตกตะกอน แคลเซียมที่แขวนลอยอยู่ในน้ำนมถั่วเหลือง (Molins, 1991) แต่ถ้าการเติมโพแทสเซียมซิเทรตจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ห่างจากจุดไอโซอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้นเกินไปกว่าช่วงที่เหมาะที่สุด

เมื่อนำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ได้จากการผลิตที่เหมาะที่สุดเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพกับนมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับ

อุตสาหกรรม และในระดับครัวเรือน พบว่านมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ได้สภาวะการผลิตที่เหมาะที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งมีปริมาณโปรตีน แคลเซียม ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ความเป็นกรด-เบส ความหนืดที่สูงกว่านมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และในระดับครัวเรือนที่มีจำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ดังนั้นการผลิตนมถั่วเหลืองให้มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง สามารถทำได้โดยใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของแคลเซียมร้อยละ 2 อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลือง 1 กิโลกรัมต่อกับน้ำ 4.5 กิโลกรัม และใช้ไอโอตาคาร์ราจีแนนเป็นสารเสริมความคงตัว

สรุปผลการทดลอง

1. ปัจจัยการแปรรูปที่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และความชอบของบริโภคนมถั่วเหลือง คือ ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต (A) ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต (B) และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ (C) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับคุณภาพด้านต่าง ๆ ของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม ดังสมการ

$L^* = 73.344 - 0.494A + 0.255C - 1.494A^2 + 0.477C^2$

$a^* = -0.132 + 0.076A - 0.153B - 0.102C + 0.015A^2 - 0.080B^2 - 0.171C^2$

$b^* = 15.751 - 0.176A + 0.538B + 0.590A^2 + 0.503B^2$

ค่าดัชนีความขาว $= 72.405 - 0.317A - 0.289B - 0.311C - 1.584A - 0.510B^2 - 0.391C^2$

$pH = 7.311 - 0.028A + 0.209B - 0.068C + 0.183A^2 + 0.163B^2 + 0.211C^2$

ปริมาณแคลเซียม $= 171.087 + 62.612A - 9.540C - 4.738A^2 - 36.695C^2$

ความชอบโดยรวม $= 55.034 - 7.705A - 4.309B + 3.895C - 3.105A^2 - 4.372B^2 - 8.821C^2$

2. สภาวะที่เหมาะที่สุดในการผลิตนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม คือ การใช้ปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต 2 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:4.5 จะมีปริมาณแคลเซียมในนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมสูงที่สุด คือ 237.92 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของนมถั่วเหลือง คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 58.91 คะแนน

3. นมถั่วเหลืองที่ผลิตได้จากสภาวะการผลิตเหมาะสมมีปริมาณโปรตีน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ความเป็นกรด-เบส และความหนืดมากกว่านมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและในระดับครัวเรือน

เอกสารอ้างอิง

ปาริชาติ บุญพิคำ. 2529. การยอมรับคุณค่าทางโภชนาการของนมถั่วเหลือง. **โภชนสาร** 20(2): 143-156

มัณฑนา ร่วมรักษ์ วิภา คำดา และทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. 2523. ผลของวิธีการผลิตนมถั่วเหลืองต่อสุขภาพ. **อาหาร** 16(2): 59-71.

ยุวดี พัฒนโภคาสิน. 2541. **โปรตีนและการวิเคราะห์โปรตีน**. ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒประสานมิตร.

AOAC, 1995. **Official Method of Analysis**. 16th ed. Verginia: The Association of Official Analytical Chemists.

Arteaga, G.E., Li-Chan, E., Vazquez-Arteaga, M.C. and Nakai, S. 1994. Systematic Experimental Designs for Product Formula Optimization. **Trends in Food Science and Technology** 5(8): 243-254.

Hu, R. 1999. **Food Product Design: A computer-aided Stabilitical approach.** Pensylvania: Technomic Publishing.

Kinsella, J.E. 1979. Functional properties of soy protein. **J Am Oil Chem** 56: 242-258.

Lambrecht, S. 1996. Ellect of soybean storage on tofu and soymilk Product. **J of Food Quality** 19: 189-202.

Lu, J.Y., Carter, E. and Chung, R.A. 1980. Use of calcium salts for soybean curd preparation. **J of Food Sci** 45: 32-34.

Lui, K. 1997. **Soybean: Chemistry, Technology and Utilization**. New York: Champman & Hall.

Molins, R.A. 1991. Phosphates in Food. Florida: C R C Press.

Montgomery, D.C. 1984. **Design and Analysis of Experiments**. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons.

Nardin, B.E.C., Polley, K.J., Need, A.G., Morris, H.A. and Marchall, D. 1987. The problem of calcium requirement. **The American J of Clinical Nutrition** 45:129.

One, T. 1993 Influences of calcium and pH on protein in solubility in soybean milk. **J Biosci Biotech Biochem** 57(1): 24-28.

Piqqott, J.R. 1984. **Sensory Analysis of Food**. London: Elsevier Applied Science Publisher, Ltd.

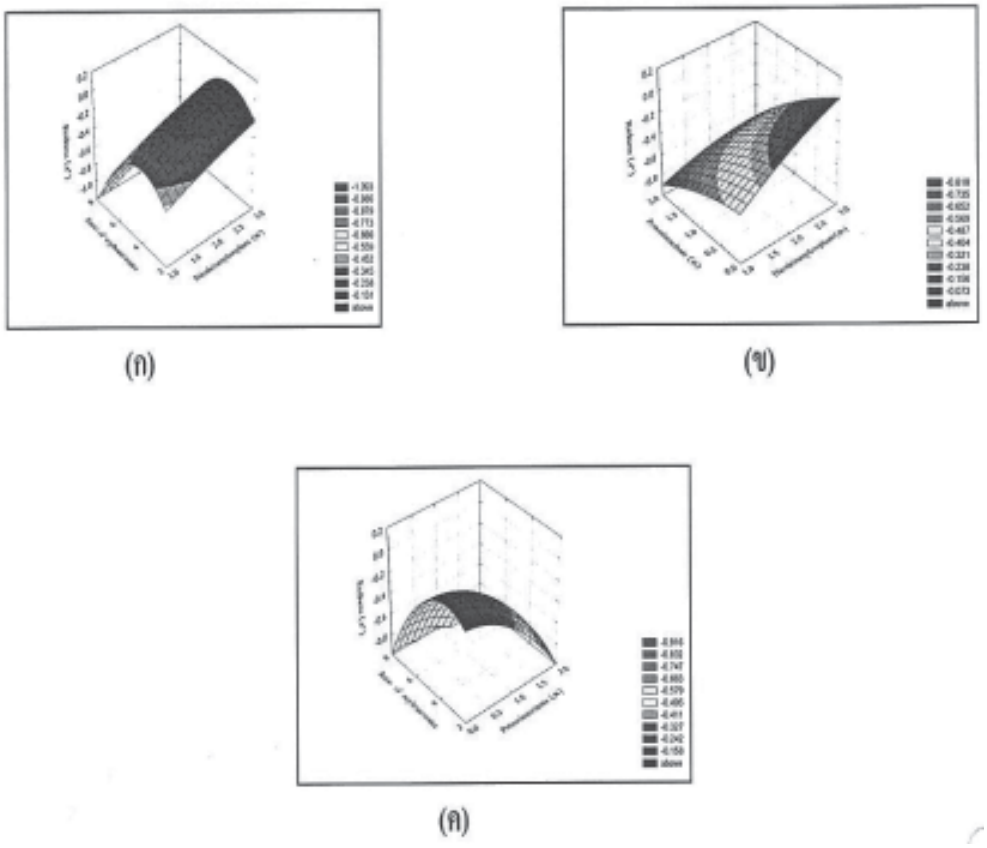
Prabharaska C. 1989. Enrichment of soybean milk with calcium. **J Acta Biatechnol** 4: 9-16.

Rasyid, F. and Hansen, P.M.T. 1991. Stabilization of soymilk fortified. **J Food Hydrocoll** 4: 415-422.

Smith, A.K. and Circle, S.J. 1978. Chemical composition of the seed. In: **Soybeans: Chemistry and Technology**. A.K. Smith and S.J. Circle (Eds.), Vol. 1, Proteins, pp. 61-92. Westport, Connecticut, USA: AVI Publishing Company, Inc.

Stone, H. and Sidel, J.L. 1993. **Sensory Evaluation Practices**. 2nd ed. USA: Acadermic Press.

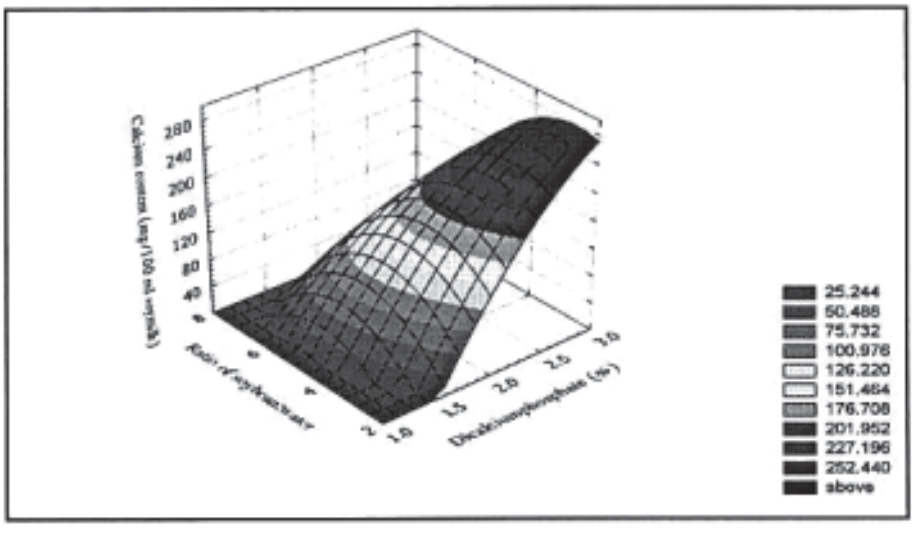
Yazici, F., Alvarez, V.B., Mangino, M.E. and Nansen, P.M.T. 1997 Formulation and processing of a heat stable calcium-fortified soymilk. **J and Food Sci** 62(3): 535-538.



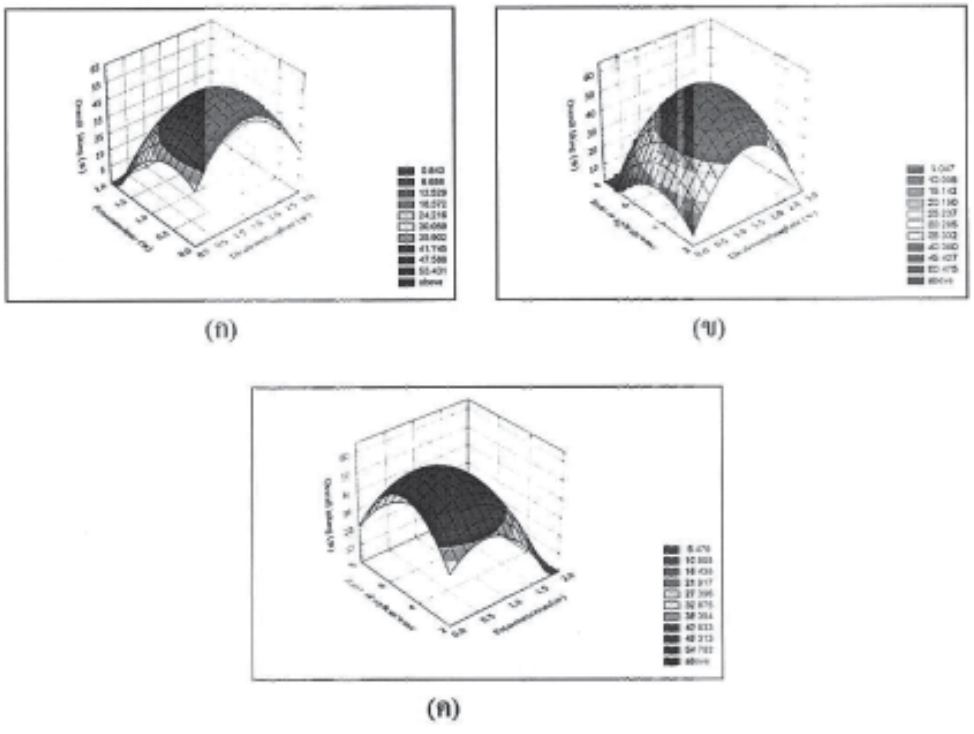
(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 1 พื้นที่ตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแดง (a* or redness) ของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟตปริมาณโพแทสเซียมซิเทรตและอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ



รูปที่ 2 พื้นที่ตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ



รูปที่ 3 พื้นที่ตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคะแนนความชอบด้านความชอบของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปริมาณไดแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณโพแทสเซียมซิเทรต และอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และความชอบของผู้บริโภคของนมถั่วเหลืองที่วางจำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

สมบัติของผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง	นมถั่วเหลืองแหล่งผลิต[1/]					ค่าเฉลี่ย	Standard error	Coefficient of Variation (%)
	1	2	3	4	5			
สมบัติทางเคมี								
● ความชื้น (ร้อยละ)	83.40^{d}	84.87^{c}	83.82^{b}	87.85^{b}	89.25^{a}	85.76	0.13	1.01
● โปรตีน (ร้อยละ)	1.75^{ab}	1.97^{a}	0.80^{c}	0.80^{c}	1.39^{b}	1.48	0.05	24.92
● ไขมัน (ร้อยละ)	1.13^{ab}	1.12^{b}	1.22^{a}	0.66^{c}	0.67^{c}	0.96	0.01	9.44
● ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	8.03^{a}	5.99^{b}	5.86^{b}	3.12^{d}	4.21^{bc}	5.44	0.30	36.89
สมบัติทางกายภาพ								
● ความคงตัวต่อความร้อน (นาที)	60^{a}	60^{a}	60^{a}	60^{a}	60^{a}	60	0.00	0
● ความหนืด (cps.)	20.82^{b}	16.85^{c}	21.80^{a}	13.25^{d}	13.11^{a}	17.11	0.13	5.19
● ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	6.64^{a}	6.62^{a}	6.58^{ab}	6.32^{c}	6.50^{b}	6.53	0.01	1.31
● ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix)	17^{a}	17^{a}	15^{b}	13^{a}	13^{c}	15	0.07	3.31
● ค่าความสว่าง (L*)	79.77^{b}	80.24^{a}	77.04^{d}	75.97^{c}	77.55^{c}	78.11	0.05	0.44
● ค่าความแดง (a*)	1.32	0.61^{c}	0.76^{b}	-0.35^{c}	-0.10d	0.44	0.00	2.26
● ค่าความเหลือง (b*)	16.74	12.13^{a}	12.32^{a}	14.12^{a}	14.15^{a}	13.89	0.66	32.19
● ดัชนีความขาว (Whiteness index)	73.07^{ab}	76.80^{a}	73.93^{ab}	70.33^{b}	73.46^{ab}	3.52	0.63	5.81
ความชอบของผู้บริโภค								
● สี	75.69^{a}	67.63^{ab}	63.11^{ab}	46.19^{c}	53.10^{ab}	61.14	2.40	62.10
● กลิ่น	58.54^{a}	56.09^{b}	55.90^{b}	56.29^{a}	53.91^{c}	56.15	0.16	4.75
● ลักษณะเนื้อสัมผัส	54.41^{ab}	55.09^{a}	55.99^{a}	53.16^{b}	48.62^{c}	53.43	0.29	8.70
● รสชาติ	59.95^{a}	49.21^{c}	56.42^{b}	46.46^{b}	45.95^{d}	51.60	0.27	8.34
● ความชอบโดยรวม	64.48^{a}	52.85^{c}	60.41^{b}	45.36^{d}	44.42^{d}	53.10	0.28	8.61

[1/] ค่าใด ๆ ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน ค่านั้น ๆ มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ ($P<0.05$)
แหล่งผลิต 1, 2, 3 = นมถั่วเหลืองที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม แหล่งผลิต 4, 5 = นมถั่วเหลืองที่ผลิตในระดับครัวเรือน

ตารางที่ 2 ค่าอิทธิพลและระดับนัยสำคัญทางสถิติของการแปรรูปปัจจัยที่มีต่อสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ปัจจัยการแปรรูป	คุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม								
	L*	a*	b*	ค่าดัชนีความขาว	ความหนืด (CP)	ปริมาณโปรตีน (%)	ความคงตัวต่อความร้อน (นาที)	pH	ปริมาณแคลเซียม (มก./100 มล.)
ชนิดของแคลเซียม (A)	-0.685*	0.216**	-.0593*	NS	34.421*	-0.207*	-29.312*	0.366*	-19.61**
ชนิดของสารเสริมความคงตัว (B)	-0.625*	NS	0.146*	-0.623*	NS	NS	NS	NS	NS
ปริมาณโปแตสเซียมซิเตรท (C)	0.743*	-0.197*	0.185*	0.501**	-24.737*	NS	0.687*	0.175*	NS
อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองกับน้ำ (D)	NS	-0.248*	-0.477*	NS	-11.954*	-1.199*	NS	NS	NS
AB	NS	NS	0.274*	0.593**	NS	NS	NS	NS	NS
AC	NS	NS	-0.387*	0.566**	-26.042*	NS		NS	NS
AD	0.793*	-0.048**	-0.162*	1.00*	NS	-0.162*	NS	0.081*	NS
BC	0.793*	-0.048**	-0.162*	1.00*	NS	-0.162*	NS	0.081*	NS
BD	NS	NS	-0.387*	0.566**	-26.024*	NS	0.687*	NS	NS
CD	NS	NS	0.274*	-0.573**	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ ** หมายถึง มีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ($p < 0.01$)
* หมายถึง มีระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ($p < 0.05$)
NS หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปัจจัยการแปรรูป

คุณภาพ นมถั่วเหลือง เสริมแคลเซียม	สมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง คุณภาพนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมกับปัจจัยการแปรรูป	Coefficient of determination (R^2)
ค่าความสว่าง (L*)	$Y_1 = 73.344 - 0.494A + 0.255C - 1.494A^2 + 0.477C^2$	0.64
ค่าความแดง (a*)	$Y_2 = -0.132 + 0.076A - 0.153B - 0.102C + 0.015A^2 - 0.080B^2 - 0.171C^2$	0.96
ค่าความเหลือง (b*)	$Y_3 = 15.751 - 0.176A + 0.538B + 0.590A^2 + 0.503B^2$	0.60
ค่าดัชนีความขาว	$Y_4 = 72.405 - 0.317A - 0.289B - 0.311C - 1.584A^2 - 0.510B^2 - 0.391C^2$	0.67
ค่าความเป็นกรด-เบส	$Y_5 = 7.311 - 0.028A + 0.209B - 0.068C + 0.183A^2 + 0.163B^2 + 0.211C^2$	0.89
ปริมาณแคลเซียม	$Y_6 = 171.087 + 62.612A - 9.540C - 4.738A^2 - 36.695C^2$	0.63
ความชอบโดยรวม	$Y_7 = 55.034 - 7.705A - 4.309B + 3.895C - 3.105A^2 - 4.372B^2 - 8.821C^2$	0.74

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณภาพของนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมจากสภาวะการผลิตที่เหมาะที่สุดกับนมถั่วเหลืองที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมและในระดับครัวเรือนที่วางจำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

สมบัติ ทางเคมีและทางกายภาพ	แหล่งผลิตตัวอย่างนมถั่วเหลือง[1/]				
	นมถั่วเหลือง เสริมแคลเซียม จากสภาวะการผลิต ที่เหมาะที่สุด	1	2	3	4
สมบัติทางเคมี					
● ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	4.23[a]	1.75[bc]	1.97[b]	1.48[c]	1.39[c]
● ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	237.92[a]	8.03[b]	5.99[b]	5.86[b]	4.21[b]
● ปริมาณของแข็งที่ละลาย (EBrix)	19[a]	17[b]	17[b]	15[c]	13[d]
● ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	7.94[a]	6.64[b]	6.62[b]	6.58[b]	6.50[b]
สมบัติทางกายภาพ					
● ความหนืด (เซ็นติป้วส์)	22.36[a]	20.82[c]	16.85[b]	21.80[ab]	13.11[d]
● ความคงตัวต่อความร้อน (นาที)	60[a]	60[a]	60[a]	60[a]	60
● ความสว่าง	77.50[c]	79.77[b]	80.24[a]	77.04[d]	77.55[c]
● ความแดง	-.13[c]	1.32[a]	0.61[c]	0.76[b]	-.10[a]
● ความเหลือง	15.66[a]	16.74[a]	12.13[a]	12.32[a]	14.15[a]
● ดัชนีความขาว	72.59[a]	73.07[a]	76.80a	73.93[a]	73.46[a]

[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวอย่างที่ 1, 2, 3 คือ ตัวอย่างนมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ตัวอย่างที่ 4 คือ ตัวอย่างนมถั่วเหลืองที่มีการผลิตในระดับครัวเรือน