การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

STUDIES ON THE PROCESSING AND PROPERTIES OF CALCIUM FORTIFIED SOY MILK

ปริยาพร เขียวขำ

PARIYAPORN KHEOWKHAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-684-112-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

STUDIES ON THE PROCESSING AND PROPERTIES OF CALCIUM FORTIFIED SOY MILK

T039420

ปริยาพร เขียวขำ

PARIYAPORN KHEOWKHAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-684-118-5

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 39420
วัน, เดือน, ปี 10 พ.ค. 2544
.b.....
.i.....

ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES ON THE PROCESSING AND PROPERTIES OF CALCIUM FORTIFIED SOY MILK

PARIYAPORN KHEOWKHAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

ISBN 974-684-118-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม
STUDIES ON THE PROCESSING AND PROPERTIES OF CALCIUM FORTIFIED SOYMILK

ชื่อนักศึกษา นางสาวปริยาพร เขียวขำ

รหัสประจำตัว 41066002

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดรยุพร พืชกมุทร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุพร	พืชกมุทร	
ผศ.ดร.ระติพร	หาเรือนกิจ	
ดร.กิตติชัย	บรรจง	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 21 มีนาคม 2544 เวลา 9.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A-209 อาคารเจ้าคุณทหาร ชั้น 2 โซน A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม
นักศึกษา	นางสาวปริยาพร เขียวขำ
รหัสประจำตัว	41066002
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ยุพร พืชกมุทร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ , ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

น้ำนมถั่วเหลืองเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและราคาถูก แต่มีปริมาณแคลเซียมต่ำเมื่อเทียบกับน้ำนมวัว งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยการปรับปรุงกลิ่นของน้ำนมถั่วเหลือง พบว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 0.10% (w/w ถั่วเมล็ดแห้ง) ในระหว่างการบดถั่วจะช่วยลดกลิ่นถั่วได้ ทำการเสริมแคลเซียมโดยการใช้แคลเซียมกลูโคเนตร่วมกับสารซีเควสเตรนท์โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต และใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีผลร่วม (interaction) ระหว่างปัจจัยทั้งสองต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม กล่าวคือที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตคงที่ ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมค่าความหนืดและปริมาณตะกอนซึ่งบอกถึงความไม่เสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองสูงขึ้น ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมคงที่ ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตค่าความหนืดและปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมลดลง โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่เติมลงไปจับกับแคลเซียมอิออน จึงยับยั้งการเกิด aggregate ที่เกิดระหว่างแคลเซียมอิออนกับโมเลกุลโปรตีน เป็นผลให้น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมีความคงตัว

ปริมาณแคลเซียมสูงสุดที่เติมได้โดยน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมีค่าความหนืดและอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม ในกรณีแคลเซียมกลูโคเนตคือ การใช้แคลเซียมกลูโคเนต 0.8% ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1% จะให้แคลเซียม 91.5 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม ซึ่งเท่ากับ 76% ของแคลเซียมในน้ำนมวัว ในกรณีของแคลเซียมแลคเตทคือ การใช้แคลเซียมแลคเตท 0.35% ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.8% จะให้แคลเซียม 66.4 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม หรือเท่ากับ 55% ของแคลเซียมในน้ำนมวัว แต่น้ำนมถั่วเหลืองทั้งสองมีปัญหาของรสชาติตกค้าง (aftertaste) ที่เกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมอิออน การปรับลดปริมาณเกลือแคลเซียมทำให้น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมเป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมากขึ้น พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ผู้ชิมยอมรับ ในกรณีของแคลเซียมกลูโคเนตคือ ใช้แคลเซียมกลูโคเนต 0.2% ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.4% ให้ปริมาณแคลเซียมสูงกว่าน้ำนมคนเล็กน้อย (35 มิลลิกรัม/100 กรัม) ในกรณีของแคลเซียมแลคเตทคือ ใช้แคลเซียมแลคเตท 0.25% ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6% ให้ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 58.5 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Studies on The Processing and Properties of Calcium Fortified Soy Milk
Student	Miss Pariyaporn Kheowkham
Student ID.	41066002
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2001
Thesis advisor	Dr. Yuporn Puechkamut
Thesis co-advisor	Assist. Prof. Ratiporn Haruenkit
	Dr. Kittichai Banchong

ABSTRACT

Soy milk is a very effectively nutritional food because of its high amount of protein and having low price. A major nutritional deficiency in soy milk is its low calcium content compared to that of cow's milk. In this study, the processing and properties of calcium fortified soy milk were investigated. The beany flavor significantly reduced when calcium carbonate 0.1% (w/w of soybean) was added during grinding soybean with water. Calcium in soy milk was increased by the addition of calcium gluconate and calcium lactate in combination with sodium hexametaphosphate (SHMP) as a sequestering agent to reinforce colloidal stability. The result found that there was statistical interaction between calcium salt and SHMP on the property of calcium fortified soy milk. When the concentration of SHMP was constant, the increasing in calcium gluconate from 0.6% to 1.2% (w/v) or calcium lactate from 0.35% to 0.55% would increase in the viscosity and the amount of precipitate which refered to the unstability of soy milk. On the other hand, if the concentration of calcium salts were constant, increase of SHMP would decrease in the viscosity and the amount of precipitate of calcium fortified soy milk. SHMP was bounded to calcium ion preventing the chance of interaction between calcium ion and protein molecule. The stability of colloidal soy milk, therefore, could be maintained.

The maximum concentrations of calcium salt that the viscosity and the stability of calcium fortified soy milk were not significantly different from those of control were elucidated. In the case of calcium gluconate, 0.8% of calcium gluconate with 1.1 % SHMP was found. The milk contained 91.5 mg calcium/100g of soy milk which equal to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

76% of total calcium in cow's milk (120 mg/100g). Whereas calcium lactate, the maximum was 0.35% with 0.8% SHMP provided 66.4 mg calcium/100g of soy milk which was 55% of total calcium in cow's milk. However, the sensory results of those two milk were not preferable accept. The bitter aftertaste of calcium ion interfered the taste of soy milk. To enhance the sensory score, the concentration of calcium salt had to be reduced. In the case of calcium gluconate, the calcium fortified soy milk received from calcium gluconate 0.2% with SHMP 0.4% was significantly accept by the panelist. The content of calcium of this milk was a little higher than that of mother's milk (35 mg/100g milk). In addition to calcium lactate, the acceptable calcium fortified soy milk was received from calcium lactate 0.25 % with SHMP 0.6%. That milk provided 58.5 mg calcium/100g of soy milk.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ยุพร พืชกมุทร ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ ข้อคิดเห็น และคำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ ดร.กิตติชัย บรรจง ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม อีกทั้งให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์พรรณทิพา วิเชียรสรรค์ และเจ้าหน้าที่โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาคปฐพีวิทยา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง AAS เป็นอย่างดี และขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบตลอดการทำวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท นักศึกษาปริญญาตรี และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือขณะทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และคุณอาที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีในทุกด้าน ขอขอบคุณคุณวัชระ เศวตราภรณ์ คุณวราภรณ์ วิทยาภรณ์และเพื่อนๆ อุตสาหกรรมเกษตร 13 ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ ความเข้าใจและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ปริยาพร เขียวขำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ของเขตของการศึกษา.....2

1.3 วัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 น้ำนมถั่วเหลือง.....3

2.2 แคลเซียม.....9

2.3 สารซีเควสเตรนท์.....15

2.4 การเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง.....21

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....28

3.1 วัตถุดิบ.....28

3.2 อุปกรณ์ในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม.....29

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....29

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส.....29

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตะกอน.....30

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม.....30

3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส.....30

3.8 สถานที่ทำการทดลอง.....30

3.9 วิธีการทดลอง.....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....39
4.1 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ต่อการกำจัดกลิ่นถั่วเหลือง.....39
4.2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโตเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม.....41
4.3 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม.....51

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....61

ข้อเสนอแนะ.....63

บรรณานุกรม.....64

ภาคผนวก.....69
ก. การวิเคราะห์และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธ์เชียงใหม่ 60.....69
ข. วิธีวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส.....73
ค. วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม.....75
ง. การวิเคราะห์คุณภาพโดยวิธีทางกายภาพ.....78
จ. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปริมาณแคลเซียมและ SHMP ที่เหมาะสม ในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม.....83
ฉ. แบบทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส.....87
ช. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน..... 90

ประวัติผู้เขียน.....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองชนิดต่างๆ....4

2.2 ชนิดและปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่ใช้เสริมคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมถั่วเหลือง....6

2.3 แสดงระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในพืชชนิดต่างๆ....7

2.4 แสดงความต้องการแคลเซียมของบุคคลแต่ละวัย....11

2.5 แสดงปริมาณแคลเซียมในอาหาร....12

2.6 การดูดซึมแคลเซียมชนิดต่างๆในคนปกติ....13

2.7 คุณสมบัติการละลายและคุณลักษณะทางด้านกลิ่นรสของแคลเซียมชนิดต่างๆ....14

2.8 ชนิดของสารซีเควสเตรนท์ที่ใช้ในอาหาร....16

2.9 แสดงการจำแนกชนิด สูตรเคมี และคุณสมบัติของสารฟอสเฟตชนิดต่างๆ....18

2.10 แสดงองค์ประกอบและของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำนมวัว....21

4.1 แสดงกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase Activity) และค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมโดยวิธีการต่างๆ....38

4.2 คะแนนความเข้มเฉลี่ยต่อคุณลักษณะกลิ่นถั่วและรสเฝื่อนของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมโดยวิธีต่างๆ....39

4.3 อายุการเก็บรักษาของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเติมแคลเซียมกลูโคเนตร่วมกับโซเดียมเฮกซา-เมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆในระยะเวลา 7 วัน....46

4.4 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1 เปอร์เซ็นต์....49

4.5 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.4 เปอร์เซ็นต์....50

4.6 ปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง และน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม....51

4.7 อายุการเก็บรักษาของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเติมแคลเซียมแลคเตทร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตา-ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆในระยะเวลา 7 วัน....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.8 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์และ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.8 เปอร์เซ็นต์.....59

4.9 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลือง เสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์และ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6 เปอร์เซ็นต์.....59

4.10 ปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท.....60

ก1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองโม่ผ่าซีกพันธุ์เชียงใหม่ 60..... 72

จ1 แสดงค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ น้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตา ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....84

จ2 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ น้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....85

จ3 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ น้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตา ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....86

จ4 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ น้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....86

ช1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....91

ช2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกอนจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียม กลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....91

ช3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียม กลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ช4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากน้ำนมถั่วเหลือง ที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้นต่างๆ.....92

ช5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....93

ช6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกอนจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....93

ช7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ.....94

ช8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จาก น้ำนมถั่วเหลือง ที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้นต่างๆ.....94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารโพลีฟอสเฟต..... .19

2.2 แสดงโครงสร้างของไตรเดนเตท(tridentate).....20

2.3 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อเติมสารตกตะกอน.....26

3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลือง.....35

3.2 แผนภาพการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยแคลเซียมกลูโคเนต.....36

3.3 แผนภาพการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยแคลเซียมแลคเตท..... 37

4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....41

4.2 ค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....42

4.3 ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....43

4.4 ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตา ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....45

4.5 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 เปอร์เซ็นต์ ร่วม กับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....47

4.6 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ ร่วม กับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....47

4.7 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 1.0 เปอร์เซ็นต์ ร่วม กับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....48

4.8 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วม กับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....48

4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.10 พีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....53

4.11 ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่ระดับต่างๆ.....54

4.12 ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตา ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ.....55

4.13 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....57

4.14 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.45 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....57

4.15 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.55 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน.....58

ค1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Shimaszu รุ่น Z 8200).....77

ง1 เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Rheometerรุ่น LVDV-III).....80

ง2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความหนืด คือ Chamber SC4-13R (ซ้าย) และเข็มวัดเบอร์ SC4-18 (ขวา).....80

ง3 แสดงการวัดปริมาณตะกอนโดยใช้ Hawksley micro-haematocrit reader.....81

ง4 เครื่อง micro haematocrit centrifuge ALC รุ่น 4203.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีผู้นิยมบริโภคน้ำนมถั่วเหลืองกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมและมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับนมวัว โดยการบริโภคน้ำนมถั่วเหลือง 1 แก้ว (240 กรัม) จะได้โปรตีนประมาณ 6 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนที่มีในไข่ 1 ฟอง นอกจากนี้ยังมีวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ อีกทั้งยังปราศจากโคเลสเตอรอล ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้รับประทานมังสวิรัติ ผู้ที่รับประทานนมวัวแล้วท้องเสียเนื่องจากขาดเอนไซม์ย่อยน้ำตาลแลคโตส และเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจำกัดปริมาณโคเลสเตอรอล อีกทั้งในปัจจุบันศักยภาพของการผลิตน้ำนมดิบยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในภายประเทศ ต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแหล่งอาหารที่มีความเหมาะสมในการทดแทนนมวัวทั้งในด้านคุณค่าทางอาหารและราคา ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลือง

เนื่องจากถั่วเหลืองซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายในประเทศมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยประกอบด้วยโปรตีนถึง 34.1 เปอร์เซ็นต์ และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามการยอมรับผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองของผู้บริโภคยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับกลิ่นถั่ว นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับนมวัว น้ำนมถั่วเหลืองนั้นจะมีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมน้อยกว่านมวัว โดยมีแคลเซียมประมาณ 1 ใน 6 ของนมวัว (Yacizi *et. al.* 1997)

การปรับปรุงคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองทั้งในแง่รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การเสริมแร่ธาตุแคลเซียม อาจเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้สามารถบริโภคน้ำนมถั่วเหลืองทดแทนนมวัวได้ แต่เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีความว่องไวต่อแคลเซียมอิออนอย่างมาก สามารถรวมตัวกันและตกตะกอนได้ ผลิตภัณฑ์จึงไม่มีความคงตัว นับว่าเป็นอุปสรรคสำคัญประการหนึ่งต่อการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาถึงวิธีการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีผลต่อคุณสมบัติและอายุการเก็บรักษา รวมทั้งการใช้สารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเพื่อเสริมความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณคุณภาพดีและมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นตรงตามความต้องการของผู้บริโภค อันจะเป็นการส่งเสริมการดื่มน้ำนมถั่วเหลือง อีกทั้งยังช่วยให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ และสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อพัฒนาไปสู่การจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรสของน้ำนมถั่วเหลือง และการศึกษาปริมาณของแคลเซียมและสารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อคุณสมบัติทางเคมีและภายภาพของน้ำนมถั่วเหลือง ตลอดจนอายุการเก็บรักษาน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม รวมทั้งการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีทั้งทางด้านโภชนาการและความคงตัว

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรสของน้ำนมถั่วเหลือง

1.3.2 เพื่อศึกษาการเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง

1.3.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติและอายุการเก็บรักษาของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำนมถั่วเหลือง

น้ำนมถั่วเหลือง หรือที่รู้จักกันในชื่อของน้ำเต้าหู้ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและราคาถูก นอกจากนี้วิธีการเตรียมก็ไม่ยุ่งยากอีกด้วย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ให้ความหมายของน้ำนมถั่วเหลืองไว้ว่า น้ำนมถั่วเหลือง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวสกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max Merr.* หรือแป้งถั่วเหลืองด้วยน้ำ อาจผสมนม และหรือสารที่ให้คุณค่าทางอาหาร หรือสารปรุงแต่งสี กลิ่นและรส หรือไม่ก็ได้ แล้วนำมาผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพื่อให้ปลอดภัยต่อการบริโภค (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2533)

2.1.1 ประเภทของน้ำนมถั่วเหลือง

น้ำนมถั่วเหลืองที่มีการผลิตออกวางจำหน่ายแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ (ส่วนวิจัยเกษตรกรรม ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2533)

2.1.1.1 น้ำนมถั่วเหลืองไม่ปรุงรส น้ำนมถั่วเหลืองประเภทนี้จะประกอบด้วยถั่วเหลืองและน้ำเท่านั้น มีปริมาณโปรตีน 4 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนการผลิตจะต้องใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองและน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 5

2.1.1.2 น้ำนมถั่วเหลืองประเภทเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลืองที่มีการปรุงรสโดยเติมน้ำตาล น้ำมันพืช เกลือ และปรุงแต่งกลิ่น เช่น กลิ่นกาแฟ น้ำผลไม้ หรือน้ำผักอื่นๆ เป็นต้น จะมีปริมาณโปรตีน 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำที่ใช้เท่ากับ 1 ต่อ 20

2.1.1.3 น้ำนมถั่วเหลืองคล้ายนมโค คือ น้ำนมถั่วเหลืองที่มีการเติมสารที่ให้ความหวาน เช่น น้ำตาล เติมน้ำมันพืช เกลือ และกลิ่นนมหรือวานิลา เพื่อให้มีรสชาติคล้ายคลึงกับนมโคมีปริมาณโปรตีน 2.5-3.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 7

2.1.1.4 น้ำนมถั่วเหลืองเปรี้ยว จะคล้ายคลึงกับนมเปรี้ยวที่ทำจากนมโค โดยมีการเติมจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดการหมักเป็นกรดแลคติค

2.1.1.5 น้ำนมถั่วเหลืองสำหรับทารก คือ น้ำนมถั่วเหลืองที่มีการเติมวิตามิน และหรือเกลือแร่บางชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวิตามินบี 12 และแคลเซียม เพื่อให้มีคุณค่าทางอาหารตามความต้องการของทารก

2.1.1.6 น้ำนมถั่วเหลืองผสม คือ น้ำนมถั่วเหลืองที่ผสมกับนมชนิดอื่นๆซึ่งได้จากสัตว์หรือจากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liu (1997) ได้จำแนกน้ำนมถั่วเหลืองตามองค์ประกอบออกเป็น 3 ชนิด (ตารางที่ 2.1) ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลืองชนิดเข้มข้น (rich) น้ำนมถั่วเหลืองชนิดคล้ายนมโค (dairy like) และน้ำนมถั่วเหลืองชนิดที่ผลิตในทางการค้า (Economy)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองชนิดต่างๆ

Soymilk	Water : beans ratio	Cups/Kg beans	Solids (%)	Protein (%)	Fat (%)
Rich	5:1-6:1	15-19	10-11.5	4.5-5.2	2.8-3.2
Dairylike	8:1-8.5:1	28-31	7.4-8	3.3-3.6	2.1-2.3
Economy	10:1	37-40	2.7-3.3	2.7-3.3	1.2-1.6

ที่มา : Liu (1997)

2.1.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง

การทำน้ำนมถั่วเหลืองนั้นไม่มีวิธีมาตรฐาน ดังนั้นส่วนประกอบทางเคมีหรือคุณค่าทางอาหารของน้ำนมถั่วเหลืองจึงไม่เท่ากัน ขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองสรุปได้ดังนี้

2.1.2.1 การเอาเปลือกถั่วเหลืองออก การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองนั้นอาจใช้เมล็ดถั่วเหลืองทั้งเปลือกหรือเมล็ดที่เอาเปลือกออกแล้วก็ได้ ซึ่งการเอาเปลือกถั่วเหลืองออกจะต้องทำก่อนการแช่น้ำโดยนำถั่วเหลืองไปโม่ผ่าซีกแล้วแยกเอาเปลือกออก การเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองจากถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออกจะใช้ระยะเวลาในการแช่ที่สั้น ได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีสีขาวน่ารับประทาน มีกลิ่นถั่วน้อย และไม่มีรสขม นอกจากนี้การเอาเปลือกออกยังเป็นการลดจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ แต่หากเป็นถั่วเหลืองทั้งเมล็ดจะให้ผลตรงกันข้าม คือใช้ระยะเวลาในการแช่นาน อาจทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ตกตะกอนจับตัวเป็นก้อน สาเหตุเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการงอก (ฉรงค์ นิยมวิทย์. 2528 ; กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ. 2532 ; Liu. 1997)

2.1.2.2 การแช่ถั่วเหลือง ก่อนนำถั่วเหลืองไปแช่น้ำควรล้างอย่างน้อย 3 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่ไม่ควรต่ำกว่า 3 เท่าของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง (ฉรงค์ นิยมวิทย์. 2528) การแช่น้ำจะทำให้เนื้อเมล็ดนิ่ม การบดและสกัดทำได้ง่าย มีของแข็งและโปรตีนละลายน้ำได้มาก ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิต แต่การแช่อาจทำให้เกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ โดยเมื่อแช่เวลานานขึ้นก็จะมีการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำออกมาในน้ำแช่มากขึ้น (มัณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529 ; Liu. 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิและระยะเวลาของการแช่น้ำมีผลต่อการดูดซึมน้ำของเมล็ดถั่วและการสูญเสียสารอาหารบางอย่าง ซึ่งเวลาที่ใช้ในการแช่อาจต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ พันธุ์ และอายุของถั่วเหลือง โดยที่อุณหภูมิสูงถั่วเหลืองจะดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าอุณหภูมิต่ำจะใช้เวลาแช่ประมาณ 16-20 ชั่วโมง หากอุณหภูมิสูงเวลาที่ใช้แช่จะลดลงเหลือ 3-6 ชั่วโมง นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานหรือมีขนาดเล็ก เนื้อแข็ง หรือมีปริมาณน้ำมันสูง ควรใช้เวลาแช่น้ำนานขึ้น (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528 ; มัณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529)

น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป (2540) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่ว พบว่าการแช่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ถั่วจะอิ่มตัวเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 นาที หากแช่ต่อไปถั่วจะนิ่ม ยุ่ย ผิวเมล็ดเหี่ยวย่น และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความอิ่มตัวของถั่วจะคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง หากแช่มากกว่า 24 ชั่วโมงจะมีกลิ่นหมักของแอลกอฮอล์เกิดขึ้น ส่วนการแช่ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าถั่วจะอิ่มตัวเมื่อเวลาการแช่ผ่านไป 3 ชั่วโมง และสามารถแช่ถั่วได้นานกว่า 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง และที่อุณหภูมินี้จะสกัดของแข็งที่ละลายน้ำออกมาได้มากที่สุด

2.1.2.3 การบดถั่วเหลือง ควรใช้น้ำ 1 เท่าตัวในการบดถั่วเหลือง ซึ่งอาจเป็นน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ได้ ถ้าใช้น้ำร้อนจะช่วยลดกลิ่นถั่วได้มาก น้ำนมถั่วเหลืองจะมีกลิ่นและรสชาติดีกว่าน้ำนมที่ได้จากการตีปั่นในน้ำเย็น เพราะน้ำร้อนแทรกซึมเข้าไปในเนื้อถั่วและทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น จึงช่วยระงับปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นถั่ว นอกจากนี้ยังลดเวลาที่ใช้ในการต้มอีกด้วย (สมชาย ประภาวัติ และคณะ. 2527 ; ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528 ; มัณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529) อุณหภูมิของการตีปั่นไม่ควรต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส (Borne. 1976 ; กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ. 2532) ถ้าบดจนละเอียดจะทำให้กรองได้ง่าย และ มีปริมาณโปรตีนที่ละลายออกมามาก (Liu. 1997)

2.1.2.4 การกรองเอากากออก เป็นการทำเพื่อแยกเอาส่วนที่ละลายน้ำได้ออกจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ อาจทำการกรองก่อนหรือหลังการต้มก็ได้ขึ้นกับความนิยม วิธีของญี่ปุ่นนิยมต้มถั่วและบดก่อนนำไปกรอง การต้มจะลดความหนืดของถั่วเหลืองบดให้น้อยลงทำให้กรองง่าย มีโปรตีนและของแข็งอื่นๆละลายออกมามาก แต่อาจมีผลต่อการละลายของโปรตีน (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528) ส่วนวิธีของจีนจะทำการกรองก่อนให้ความร้อน ซึ่งกากที่ผ่านการกรองแล้วจะยังประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายได้อยู่บางส่วน ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิตจึงควรทำการสกัดกากอีกครั้งโดยการล้างด้วยน้ำร้อน จะสามารถเพิ่มผลผลิตให้แก่น้ำนมถั่วเหลืองได้ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ใช้รวมกันจะต้องไม่มากกว่าปริมาณที่ต้องการ (Liu. 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 การต้มให้ร้อน การต้มมีจุดประสงค์หลายประการคือ เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อทำลายสารบางชนิดที่มีอยู่ในถั่วเหลืองซึ่งเป็นตัวการทำให้ร่างกายใช้สารอาหารได้น้อยลง และยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่วเหลืองน้ำนมถั่วเหลืองจึงมีกลิ่นดีขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้โปรตีนถั่วเหลืองเกิดการเสียสภาพทำให้ย่อยได้ง่ายขึ้น การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ในน้ำนมถั่วเหลืองจะใช้อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ซึ่งเมื่อบรรจุในขวดแก้วและเก็บในอุณหภูมิตู้เย็นจะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 1 สัปดาห์ (Liu. 1997)

2.1.2.6 การปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ การปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติของน้ำนมถั่วเหลืองจุดมุ่งหมายเพื่อให้มีการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด อีกทั้งเป็นการช่วยปรับปรุงกลิ่นและรสชาติให้ดีขึ้น โดยทั่วไปการปรับปรุงรสชาติมักจะเป็นการเติมน้ำตาลซึ่งปกติจะเติม 5-12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้อาจมีการเติมนมวัวในลักษณะนมผงเพื่อให้กลิ่นที่ดีและเป็นการเสริมรูปร่าง (body) แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วยซึ่งปริมาณที่ใช้อยู่ระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์ (ไพโรจน์ วิริยะจารี. 2535) รวมทั้งอาจเติมสารให้กลิ่นและองค์ประกอบอื่นๆ เมื่อปรับสูตรหรือเติมองค์ประกอบแล้วอาจโฮโมจิไนซ์เพื่อผสมองค์ประกอบให้เข้ากัน อิมัลชั่นของน้ำนมถั่วเหลืองจะมีความเสถียรมากขึ้นและช่วยลดการเกิดลักษณะคล้ายชอล์ก (chalkiness) เมื่อรับประทาน (Liu. 1997)

2.1.2.7 การเสริมคุณค่าทางโภชนาการ น้ำนมถั่วเหลืองอาจมีการเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกโดยเฉพาะถ้าต้องการให้ทารกหรือผู้สูงอายุดื่ม ส่วนมากนิยมเติมวิตามิน เกลือแร่และกรดอะมิโนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.2 หรืออาจเติมงาดำในช่วงการแต่งกลิ่นก็เป็นการช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการอีกทางหนึ่งด้วยเพราะในงามีทั้งแคลเซียมและเมทไธโอนีนสูง

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่ใช้เสริมคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมถั่วเหลือง

สารอาหาร	ปริมาณที่ใช้ต่อน้ำนม 100 กรัม
ไวตามินเอ	880 I.U.
วิตามินบี 1	0.26 I.U.
วิตามินบี 2	0.31 I.U.
วิตามินบี 6	0.26 I.U.
วิตามินบี 12	1.50 ไมโครกรัม
วิตามินดี	176 I.U.
วิตามินอี	10 I.U.

ที่มา : ไพโรจน์ วิริยะจารี (2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

แม้น้ำนมถั่วเหลืองจะมีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย แต่กลิ่นถั่ว (beany flavor) ในน้ำนมถั่วเหลืองก็เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับ กลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งมีอยู่ในถั่วเหลืองตามธรรมชาติ เอนไซม์นี้นอกจากพบในถั่วเหลืองแล้ว ยังพบในธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี เมล็ดพืชน้ำมัน และพืชตระกูลถั่วอื่นๆด้วย โดยถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีเอนไซม์นี้อยู่ในปริมาณมากที่สุด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในพืชชนิดต่างๆ

พืช	ปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับถั่วเหลือง (ร้อยละ)
ถั่วเหลือง	100
ถั่วเขียว	14
ถั่วลันเตา	13
ถั่วแขก	28
Broad bean	11
ข้าวสาลี	3

ที่มา : Obaidy and Siddhiqui (1981)

เอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเตส (Oxidoreductase) หรือที่เรียกว่า linoleate : Oxygen Oxidoreductase สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่ 2 พันธะที่อยู่ในรูปของ cis form เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) กรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid) โดยปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีเมื่อมีออกซิเจนและน้ำ จากปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสารประกอบพวก Conjugated diene hydroperoxide ซึ่งจะสลายตัวเกิดเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ ทำให้เกิดกลิ่นถั่วขึ้นในผลิตภัณฑ์ (ทนง ภัครัชพันธุ์. 2522 ; น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป. 2540) สารชนิดสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเขียวก็คือ เฮกซาแนล (hexanal) (Liu. 1997)

2.1.4 การกำจัดกลิ่นถั่ว

2.1.4.1 การใช้ความร้อน

การให้ความร้อนต่อเมล็ดถั่วเหลืองก่อนหรือระหว่างการแปรรูป เช่น การบดถั่วด้วยน้ำร้อน การใช้ความร้อนแห้ง เป็นต้น วิธีเหล่านี้จะมีผลในการทำลายเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ทำให้กลิ่นถั่วหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mutstaka *et. al.* (1969) พบว่าการให้ความร้อนแห้งที่ 212 องศาฟาเรนต์ไฮต์ แก่เนื้อถั่วเหลืองก่อนนำไปบดเป็นแป้ง สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ โดยเมื่อนำแป้งถั่วเหลืองที่ได้ไปวิเคราะห์จะพบสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) กรดไขมันอิสระ และสาร conjugated diene ในปริมาณต่ำ

จากการศึกษาของ Wilken *et. al.* (1976) พบว่าการบดถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสและคงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 10 นาที จะมีผลยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีรสชาติดี นอกจากนี้การให้ความร้อนแห้งแก่ถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที สามารถลดแอคติวิตี้ของเอนไซม์ได้ แต่ความสามารถในการสกัดโปรตีนจะลดลง และหากให้ความร้อนนานกว่า 30 นาทีจะเกิดกลิ่นคล้ายกับถั่วอบ

Kwok and Niranjan (1995) กล่าวถึงวิธี Rapid Hydration Hydrothermal Cooking ไว้ว่าทำโดยบดถั่วเหลืองให้เป็นแป้ง จากนั้นเติมน้ำร้อนให้เป็นสารละลายข้น (slurry) และพ่นด้วยไอน้ำที่ 154 องศาเซลเซียสนาน 30 วินาที วิธีนี้จะสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ จึงป้องกันการเกิดสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการ

2.1.4.2 การใช้สารเคมี

การใช้ความร้อนมากและนานเกินไปจะทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพและสูญเสียคุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) อีกทั้งทำให้เกิดกลิ่นสุก (cooked flavor) ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้สารเคมีเพื่อลดกลิ่นของน้ำนมถั่วเหลือง

Nelson (1976) ศึกษาการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองให้ปราศจากกลิ่นถั่ว โดยแช่และลวกในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาบดให้เป็นของผสมข้น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนต์ไฮต์ โดยไม่ทำการกรอง น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีความหนืดสูงและอาจเกิดลักษณะคล้ายชอล์ค จึงนำไปผ่านการโฮโมจิไนซ์ด้วยความดันสูง จากนั้นปรับพีเอชให้เป็นกลางจะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่ปราศจากกลิ่น ซึ่ง Borhan and Synder (1979) รายงานถึงผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตในการลดแอคติวิตี้ของเอนไซม์ว่าเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพีเอช อย่างไรก็ตาม Liu (1997) พบว่าการแช่ ลวก หรือบดด้วยด่าง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต แม้จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นรสดี แต่จะพบการทำลายสารอาหารบางชนิด เช่น กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบและวิตามิน นอกจากนี้อาจทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีสีคล้ำเล็กน้อยหรือมีกลิ่นคล้ายสบู่ (soapy) เกิดขึ้น

Borhan and Synder (1979) พบว่าการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายเอทธานอลซึ่งมีความเข้มข้น 30-50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เมื่อศึกษาโดยใช้ความร้อนร่วมกับเอทธานอลพบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถใช้ความเข้มข้นของเอทธานอลลดลงได้ สภาวะที่เหมาะสมซึ่งยังมีดัชนีการละลายของไนโตรเจนสูงคืออุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของเอทธานอล 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Che man *et. al.* (1989) ศึกษาการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในน้ำนมถั่วเหลืองโดยใช้พีเอชต่ำ พบว่าการบดเมล็ดถั่วเหลืองด้วยกรดที่พีเอช 3.0 จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์โดยเป็นการยับยั้งแบบไม่ผันกลับ สามารถควบคุมกลิ่นถั่วเหลืองได้โดยที่ยังมีการละลายของโปรตีนมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการยับยั้งนี้เป็นผลมาจากสภาพที่เป็นกรดทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ

Ediriweera (1996) ศึกษาถึงการลดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองโดยเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 0.02 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักถั่วเมล็ดแห้งในขั้นตอนของการบดถั่วกับน้ำ และนำไปให้ความร้อนที่ 98 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่ปราศจากกลิ่นถั่ว การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตนี้สามารถลดการเกิดสารเฮกซาแนลได้ และจากการศึกษาด้วย SDS-PAGE พบว่าถ้าเติมแคลเซียมคาร์บอเนตแต่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจะมีเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสลดลง หากเติมแคลเซียมคาร์บอเนตและผ่านการให้ความร้อนด้วยนั้นจะไม่พบเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเลย สันนิษฐานว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสโดยอนุภาคของแคลเซียมจะมีผลต่อสับสเตรทของเอนไซม์

2.1.4.3 การสกัดไขมันออกจากถั่วเหลือง

เนื่องจากกลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบในถั่วเหลือง การกำจัดไขมันจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้ และนำผลิตภัณฑ์ที่ทำการสกัดไขมันออกแล้วมาใช้ในการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งการสกัดไขมันออกนั้นจะใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น การผลิตแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน (defatted soy meal) จะนำแป้งถั่วเหลือง (soy flour) มาสกัดด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นสกัดด้วยสารละลายผสมของเอธานอล 95 เปอร์เซนต์และเฮกเซน นำมาทำแห้งที่ 40 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะสูญญากาศเพื่อกำจัดตัวทำละลาย บดเป็นผงละเอียด ผสมกับน้ำให้ได้ปริมาณโปรตีนตามที่ต้องการ เติมน้ำมันพืช สารช่วยทำให้เกิดอิมัลชั่น น้ำตาลและกลิ่น จากนั้นนำไปโฮโมจิไนซ์ ก็จะได้น้ำนมถั่วเหลืองมีกลิ่นถั่วลดน้อยลง (Liu. 1997)

2.2 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากในร่างกายเป็นอันดับห้า คือมีถึง 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ซึ่งประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมที่พบจะอยู่ในกระดูกและฟัน โดยจับกันเป็นผลึกอยู่กับฟอสฟอรัส ส่วนที่เหลืออีก 1 เปอร์เซ็นต์จะพบในเนื้อเยื่อและของเหลวของร่างกาย (มาลัย บุญรัตนกรกิจ. 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความสำคัญของแคลเซียม

กระดูกเป็นโครงสร้างของร่างกาย ทำให้ร่างกายทรงตัวอยู่ได้ และเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ ซึ่งแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกระดูกคือแคลเซียม ทั้งนี้แคลเซียมไม่ได้มีบทบาทต่อกระดูกและฟันเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญต่อระบบต่างๆของร่างกายอีกด้วย หน้าที่ของแคลเซียมต่อร่างกายสรุปได้ดังนี้ (สมศรี เจริญเกียรติกุล และประภาศรี ภูวเสถียร. 2540)

1. สร้างกระดูก ฟัน เล็บ และเส้นผม รวมทั้งซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ
2. ทำให้ระบบประสาทที่ควบคุมการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อทำงานเป็นปกติ
3. ควบคุมให้กลไกการแข็งตัวของเลือดเป็นไปตามปกติ
4. ช่วยระบบประสาทในการส่งสัญญาณให้เร็วขึ้น
5. กระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนบางอย่างในเซลล์ที่ทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน เช่น ไธรอยด์ซี (thyroid C) ของต่อมไธรอยด์
6. เป็นตัวเร่งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เอนไซม์เรนนิน เอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อน เอนไซม์อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเตส และเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนต่างๆ
7. ช่วยในการดูดซึมวิตามินบี 12
8. ป้องกันอาการผิดปกติในวัยหมดประจำเดือน

2.2.2 ความต้องการแคลเซียมของร่างกาย

เนื่องจากแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญและร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นได้ จึงต้องได้รับจากอาหาร (Levenson and Bockman. 1994) แคลเซียมส่วนใหญ่ที่ร่างกายดูดซึมจากทางเดินอาหารจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเสริมกระดูก (ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์. 2535) การสร้างกระดูกด้วยแคลเซียมจะเริ่มตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์จนถึงอายุประมาณ 30-35 ปี หลังจากนั้นแล้วการเสื่อมสลายจะมีมากกว่าการเสริมสร้าง (สมศรี เจริญเกียรติกุล และประภาศรี ภูวเสถียร. 2540)

ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการจะมากน้อยแตกต่างกันไปตามวัยและสภาพของร่างกาย วัยรุ่นเป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตของกระดูกทั้งด้านความยาวและความหนาแน่นมากที่สุดจึงต้องการแคลเซียมมากกว่าวัยอื่น สำหรับหญิงมีครรภ์ต้องการแคลเซียมเพื่อสร้างโครงกระดูกของทารกในครรภ์ ส่วนหญิงให้นมบุตรต้องการแคลเซียมเพื่อสร้างน้ำนม (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2537) นอกจากนี้ในหญิงวัยหมดประจำเดือนร่างกายจะหยุดสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนมีผลให้ร่างกายดึงแคลเซียมจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้มีการสลายของกระดูกมากกว่าการสร้าง ดังนั้นหญิงวัยหมดประจำเดือนจึงต้องการแคลเซียมมากเพื่อลดการสูญเสียแคลเซียมจากกระดูก (สมศรี เจริญเกียรติกุล และประภาศรี ภูวเสถียร. 2540) ค่าโดยประมาณของความต้องการแคลเซียมในปัจจุบันนี้แสดงดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงความต้องการแคลเซียมของบุคคลแต่ละวัย

อายุ	ปริมาณที่ต้องการแต่ละวัน (มิลลิกรัม)
1-10 ปี	800
11-19 ปี	1200
20 ปีขึ้นไป	800
หญิงมีครรภ์หรือให้นมบุตร	1200
หญิงวัยหมดระดู	1000-1500

ที่มา : สมศรี เจริญเกียรติกุล และประภาศรี ภูวเสถียร (2540)

แต่จากการศึกษาพบว่าปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับตามข้อกำหนดการบริโภคอาหารของประเทศไทย (recommended dietary allowance , RDA) นั้น ควรได้รับแคลเซียมวันละ 800 มิลลิกรัม ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่คนไทยบริโภคนี้น้อยกว่าปริมาณขั้นต่ำที่มีการกำหนดไว้ กล่าวคือ คนไทยรับประทานแคลเซียมโดยเฉลี่ยเพียงวันละ 361 มิลลิกรัมเท่านั้น (รัชตะ รัชตะนาวิน. 2538 ; นงลักษณ์ สุขวาณิชย์ศิลป์. 2529)

2.2.3 แหล่งของแคลเซียมในอาหาร

แหล่งอาหารที่ดีของแคลเซียมคือ นม ผลิตภัณฑ์นม เนยแข็ง โดยนมสด 1 แก้ว (240 มิลลิลิตร) จะมีแคลเซียมประมาณ 240-300 มิลลิกรัม หากต้องการให้ได้รับแคลเซียมจากอาหารอย่างเพียงพอโดยเทียบกับการบริโภคนมและคิดว่าไม่ได้รับแคลเซียมจากแหล่งอาหารชนิดอื่นเลย ถ้ามีความต้องการแคลเซียมวันละ 800-1200 มิลลิกรัม จะได้จากการดื่มนมสดรสจืดประมาณ 700-1000 มิลลิลิตร หรือ 3-4 แก้ว แต่ถ้าได้รับจากอาหารอื่นด้วยก็จะบริโภคลดลงตามสัดส่วน (ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์. 2535)

สำหรับแหล่งอาหารอื่นที่มีแคลเซียมสูง ได้แก่ ปลาเล็กปลาน้อย ปลาซาร์ดีนกระป๋อง ซึ่งนิยมรับประทานทั้งกระดูก กุ้งแห้ง ปลาไส้ตัน กะปิ อาหารทะเล เช่น หอยต่างๆ เนื่องจากมีกระดูกอ่อนผสมอยู่ในส่วนที่กินได้ นอกจากนั้นก็มี ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง งา เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ผักโขม ใบมะกรูด ใบยอ ใบโหระพา ผักใบเขียว ผักสะเดา มะเขือพวง ยอดฟักทอง ยอดมะละกอ อย่างไรก็ตามแคลเซียมที่ได้จากผักใบเขียว งา และถั่วเมล็ดแห้งนี้เป็นเพียงส่วนเสริมเท่านั้นเพราะปริมาณการบริโภคที่ไม่มากและในพืชผักมีสารขัดขวางการดูดซึมของแคลเซียม ได้แก่ ใยอาหารและสารไฟเตท (phytate) ส่วนอาหารประเภทเนื้อสัตว์และผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่ให้แคลเซียมได้น้อย (ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์. 2535 ; นิธิยา รัตนาปนนท์. 2537) ปริมาณแคลเซียมในอาหารแสดงดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณแคลเซียมในอาหาร

ชนิดอาหาร	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)	ปริมาณอาหารที่บริโภคต่อครั้ง	ปริมาณแคลเซียมที่ได้รับ (มิลลิกรัม/ครั้ง)
นมสด	118	1 แก้ว (250 มิลลิลิตร)	295
เต้าหู้ขาว	250	ครึ่งหลอด (95 กรัม)	237
กุ้งฝอย	1339	2ช้อนโต๊ะ(14 กรัม)	183
กุ้งแห้ง	2305	1 ช้อนโต๊ะ (6 กรัม)	138
ถั่วแดงหลวง ,ดิบ	415	3 ช้อนโต๊ะ (30 กรัม)	124
ผักคะน้า	245	4 ช้อนโต๊ะ (45 กรัม)	110
ผักโขม	341	5 ช้อนโต๊ะ (25 กรัม)	85
กะปิ	1565	1 ช้อนชา (5 กรัม)	78
ปลาไส้ตัน	218	5 ช้อนโต๊ะ(25 กรัม)	54
งาดำคั่ว	1452	1 ช้อนชา (3 กรัม)	43
งาขาวคั่ว	90	1 ช้อนชา (3 กรัม)	3

ที่มา : นิพล ธนธัญญา (2541)

2.2.4 ผลของการขาดแคลเซียม

เด็กที่ได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ จะทำให้การสร้างโครงกระดูกผิดปกติ หรือโครงกระดูกอ่อนไม่แข็งแรง เมื่อรับน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุจะทำให้ขาโก่ง กระดูกเชิงกรานมีรูปร่างผิดปกติ กระดูกซี่โครงโค้งงอ ซึ่งจะไม่สามารถรักษาให้หายเป็นปกติได้นอกจากจะทำการผ่าตัดเท่านั้น สำหรับหญิงมีครรภ์ที่ได้รับแคลเซียมจากอาหารไม่เพียงพอ แคลเซียมจากกระดูกและฟันจะถูกดึงออกมาใช้ทดแทนทำให้กระดูกและฟันผุได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2537) ส่วนในผู้ใหญ่โดยเฉพาะในวัยหมดประจำเดือน การได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอเป็นเวลานานจะทำให้เกิดโรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) ทำให้เนื้อกระดูกบางลงอย่างรวดเร็ว เปราะ และหักง่ายแม้ได้รับการกระทบกระแทกเพียงเล็กน้อย (บุญส่ง องค์พิพัฒนกุล. 2540)

นอกจากนี้การขาดแคลเซียมจะทำให้หน้าที่ต่างๆของร่างกายสูญเสียไป เช่น การแข็งตัวของเลือดจะช้า การทำงานของกล้ามเนื้อและการส่งกระแสประสาทผิดปกติ เกิดอาการชา เกร็ง เป็นตะคริว และบางครั้งอาจชักได้ รวมทั้งถ้าขาดรุนแรงจะส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ (ประภาศรี ภูวเสถียร. 2532) ซึ่ง Goldscher and Edelsten (1996) ยังได้กล่าวเสริมถึงการขาดแคลเซียมไว้ว่าจะมีผลต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้และการควบคุมความดันโลหิตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 Bioavailability ของแคลเซียม

การเติมแคลเซียมลงในอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ ประสิทธิภาพของแคลเซียมที่ร่างกายได้รับนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่เพียงแค่ปริมาณแคลเซียมเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับแคลเซียมที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงทางชีวภาพ หรือ bioavailability (วรรณี จตุรจำเริญชัย. 2540)

ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์ (2535) ให้ความหมายของ bioavailability ว่าหมายถึง ประโยชน์จริงที่ร่างกายได้รับจากสารอาหารชนิดหนึ่งๆ ซึ่งต้องพิจารณาทั้งการดูดซึมสารอาหารนั้นเข้าสู่ร่างกาย ตลอดจนการที่ร่างกายสามารถเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า bioavailability คือ สภาวะของแคลเซียม (calcium status) ปริมาณและชนิดของแคลเซียม (วรรณี จตุรจำเริญชัย. 2540) องค์ประกอบของอาหาร เช่น กรดอินทรีย์ (รวมทั้งกรดแลคติค) และกรดอะมิโนซึ่งมีผลต่อการดูดซึมของแคลเซียมโดยให้ผลในเชิงบวก ส่วนไฟเตท (phytate) แทนนิน และเส้นใยอาหารนั้นจะลด bioavailability (Bontenbal and Koos. 1995) นอกจากนี้ปัจจัยทางด้านร่างกายของแต่ละบุคคลก็มีอิทธิพลเช่นกัน เช่น สภาวะในทางเดินอาหาร (intestinal factor) เหตุนี้การศึกษา bioavailability ของแคลเซียมทำจึงทำได้ยาก เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากและควบคุมได้ลำบาก (ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์. 2535) การดูดซึมแคลเซียมชนิดต่างๆในคนปกติแสดงดังตารางที่ 2.6

ทั้งนี้การละลายก็นับว่าเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อ bioavailability เนื่องจากสันนิษฐานว่ามีผลต่อ bioavailability ซึ่งโดยทั่วไปแร่ธาตุที่ละลายได้ดีจะมีค่า bioavailability สูง การนำแคลเซียมที่มีความสามารถในการละลายดีมาใช้เสริมแคลเซียม จะให้ปริมาณแคลเซียมที่เพียงพอต่อ 1 หน่วยครั้งการบริโภค (Bontenbal and Koos. 1995) คุณสมบัติการละลายและคุณลักษณะทางด้านกลิ่นรสของแคลเซียมชนิดต่างๆแสดงไว้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 การดูดซึมแคลเซียมชนิดต่างๆในคนปกติ

Salt	Dosage (mg)	Calcium Absorption Average (Range)
Carbonate	15-500	26.1 (13.8-64)
Tricalcium phosphate	200-300	27.9 (26.4-29.6)
Citrate	100-800	22.2 (12.3-31.4)
Lactate	500	32
Gluconate	10-500	34.3 (21.8-67.5)
Milk	250-500	33 (21.4-37.7)

ที่มา : Levenson and Bockman (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติการละลายและคุณลักษณะทางด้านกลิ่นรสของแคลเซียมชนิดต่างๆ

Calcium salt	Solubility in water at 25°C (%w/w) [a]	Taste [b]
Calcium L-lactate pentahydrate	9.0	Neutral/bland
Calcium gluconate	3.5	Bland
Calcium citrate	0.1	Tart/clean
Calcium phosphate	Less than 0.1	Sandy/bland
Calcium carbonate	Less than 0.1	Soapy/Lemon

ที่มา : [a]Anonymous (1993)

[b] Bontenbal and Koos. (1995)

2.2.6 แคลเซียมที่ใช้เสริมในอาหาร

แคลเซียมเป็นธาตุในกลุ่ม A2 ของตารางธาตุ มีประจุบวกชนิดไดวาเลนท์ จะอยู่ในรูปของเกลือกับสารที่ไม่ใช่โลหะ เมื่อละลายน้ำมีความเป็นด่าง และเนื่องจากแคลเซียมมีความจำเป็นต่อร่างกายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อให้ได้รับปริมาณแคลเซียมเพียงพอต่อความต้องการจึงมีการเติมลงในอาหารชนิดต่างๆ ตัวอย่างของเกลือแคลเซียมที่ใช้เสริมในอาหาร ได้แก่ แคลเซียมแลคเตท (calcium lactate) แคลเซียมกลูโคเนต (calcium gluconate) แคลเซียมซิเตรท (calcium citrate) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) แคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) เป็นต้น (Clydesdale. 1991)

2.2.6.1 แคลเซียมกลูโคเนต

มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ดเหมือนผลึก มีสีขาว มักพบในรูปของแคลเซียมกลูโคเนตโมโนไฮเดรต (calcium gluconate monohydrate ,$C_{12}H_{22}CaO_{14}.H_2O$) ทำหน้าที่เป็น firming agent สารซีเควสเตรนท์ (sequestrant) สารเสริมในอาหาร (formulation aid) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) สำหรับในรูปที่ขาดน้ำ (anhydrous) จะมีความสามารถในการละลายประมาณ 1 กรัมในน้ำ 30 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง และจะละลายเพิ่มขึ้นในน้ำเดือดโดยสามารถละลายได้ 1 กรัมในน้ำ 5 มิลลิลิตร มีการใช้เพื่อเป็นแหล่งของแคลเซียมอิออนสำหรับการเกิดเจลของอัลจิเนต เป็นสารเสริมแคลเซียมในขนมอบ พุดดิ้ง และผลิตภัณฑ์ทดแทนนม (dairy product analog) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการบดบัง (masking) รสขมตกค้างของสารให้ความหวานสังเคราะห์ได้อีกด้วย (Igoe and Hui. 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.2 แคลเซียมแลคเตท

เป็นเกลือแคลเซียมของกรดแลคติค รูปที่เป็น monohydrate สามารถละลายได้ 3.4 กรัมต่อน้ำ 100 กรัมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนในรูป trihydrate และ pentahydrate สามารถละลายได้ 9 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม และละลายได้ดีมากในน้ำร้อน มีการใช้เพื่อปรับปรุงความคงตัวและเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้กระป๋อง ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของนมผง และใช้ในอาหารเสริมแคลเซียม เช่น อาหารเด็กอ่อน นม น้ำส้ม และ เครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา ปริมาณที่สามารถใช้เสริมในอาหารได้ คือ 0.3-1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแคลเซียม 40-200 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม (Volkengoed. 1992 ; Igoe and Hui. 1996) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการนำมาใช้ (availability) ของแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟต พบว่าแคลเซียมแลคเตทนั้นสามารถดูดซึมได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟอสเฟต (Bontenbal and Koos. 1995)

2.3 สารซีเควสเตรนท์

2.3.1 ความหมายของสารซีเควสเตรนท์

สารซีเควสเตรนท์ (sequestrants) หมายถึง สารที่สามารถรวมกับอิออนของโลหะที่มีหลายวาเลนซ์ (polyvalent metal ion) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ (soluble metal complex) ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความเสถียรของผลิตภัณฑ์ เช่น แคลเซียมซิเตรท (calcium citrate) แคลเซียมไดอะซิเตท (calcium diacetate) กรดซิตริก โซเดียมซิเตรท (sodium citrate) โปแตสเซียมซิเตรท (potassium citrate) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate) เป็นต้น (ศิวาพร. 2535 ; Igoe and Hui. 1996)

Smith (1993) กล่าวถึงสารซีเควสเตรนท์ว่า มีความหมายเช่นเดียวกับ sequestering agents หรือ chelating agents เป็นวัตถุเจือปนในอาหารที่มีความสำคัญ เนื่องจากโลหะอิสระที่มีอยู่ในอาหารอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่ไม่ต้องการได้ เช่น เกิดการรวมตัวเป็นสารที่ไม่ละลาย เกิดเป็นสารให้สี หรือเร่งการสลายขององค์ประกอบต่างๆในอาหาร การเติมซีเควสเตรนท์จะช่วยกำจัดลักษณะที่ไม่ต้องการและทำให้อาหารมีความคงตัวขึ้น โดยซีเควสเตรนท์จะทำปฏิกิริยากับอิออนอิสระของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ซึ่งมีความเสถียร เรียกว่า คีเลต (chelate) นอกจากนี้ซีเควสเตรนท์ยังทำหน้าที่ควบคุมการปลดปล่อยอิออนของโลหะที่ใช้เสริมในอาหารหรือเพื่อควบคุมการเกิดเจลของสารทำให้สารข้นหนืด (thickeners)

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2539) ได้ให้ความหมายของคีเลตไว้ว่า หมายถึง โลหะเชิงซ้อน คือ โลหะที่รวมตัวกับสารประกอบอื่นทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน สี่เหลี่ยม หรือหกเหลี่ยมก็ได้ ส่วนโมเลกุลของสารประกอบอื่นที่มารวมตัวกับโลหะนั้นจะเรียกว่า ลิแกนด์ (ligand) ลิแกนด์นี้สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับโลหะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ตัวอย่างเช่น โปรตีน กรดอะมิโน เป็นต้น ชนิดของสารซีเควสเตรนท์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ชนิดของสารซีเควสเตรนท์ที่ใช้ในอาหาร

Type	Example
Amino acids	Glycine
Aminocarboxylates	EDTA
Hydroxycarboxylates	Citric acid
	Gluconic acid
	Tartaric acid
Polyphosphates	Hexametaphosphoric
	Pyrophosphoricacid

ที่มา : Smith (1993)

2.3.2 สารประกอบฟอสเฟต

2.3.2.1 ชนิดของสารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตเตรียมจากการนำกรดฟอสฟอริคมาทำปฏิกิริยาให้เป็นกลาง (neutralization) กับโลหะอัลคาไลน์ เช่น โซเดียม โปแตสเซียม และแคลเซียม เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นซีเควสเตรนท์จึงสามารถหยุดปฏิกิริยาของอนุมูลโลหะได้ โดยเป็นตัวจับอิออนโลหะที่มีความแข็งแรง (strong metal ion chelating) ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับประจุบวกของโลหะชนิดโมโนวาเลนท์หรือไดวาเลนท์ขึ้น จึงไม่เกิดปฏิกิริยารบกวนอาหาร ซึ่งสารประกอบฟอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (Dziezak. 1990)

1) ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate)

สารกลุ่มนี้ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอมในแบบ tetrahedral สารประกอบเหล่านี้จะมีวาเลนซี่เท่ากับสาม จึงสามารถเติมอะตอมของไฮโดรเจน หรืออิออนบวกของโลหะอัลคาไลน์ หรือเกิดการรวมตัวกันของไฮโดรเจนกับประจุบวกของโลหะขึ้น ตัวอย่างเช่น โมโนเบสิกออร์โธฟอสเฟต (monobasic orthophosphate) จะมีจำนวนอิออนของโลหะอัลคาไลน์ต่อไฮโดรเจนเท่ากับ 1 ต่อ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2) Condense phosphate

ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 2 อะตอมหรือมากกว่าเชื่อมต่อกับออกซิเจน ฟอสเฟตที่มีโครงสร้างพื้นฐานได้แก่ไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ซึ่งมีลักษณะเป็นสายโซ่ของฟอสฟอรัส 2 อะตอม ถ้าประกอบด้วยฟอสฟอรัส 3 อะตอมจะเป็นไตรโพลีฟอสเฟต (tripolyphosphate) และหากประกอบด้วยฟอสฟอรัส 4 อะตอมหรือมากกว่าต่อกันเป็นสายโซ่ยาวตรงจะเป็นโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) นอกจากนี้พวกที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนที่เรียกว่าเมตาฟอสเฟต (metaphosphate) ก็จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย (Dziezak. 1990) โครงสร้างและคุณสมบัติของสารฟอสเฟตแสดงดังตารางที่ 2.9

สารกลุ่มโพลีฟอสเฟตนี้เป็นชนิดซึ่งสามารถจับ (sequestered) กับโลหะประจุบวกพวกอัลคาไลน์เอิร์ธ (alkaline earth) เช่น แคลเซียมได้ดีที่สุด ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ ได้แก่โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (Molins. 1991)

โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ($(NaPO_3)_{13}$) เรียกย่อว่า SHMP หรืออาจเรียกในชื่ออื่นเช่น โซเดียมเมตาฟอสเฟต (sodium metaphosphate) โซเดียมโพลีฟอสเฟต (sodium polyphosphate) หรือเกรแฮมซอลต์ (Graham's salt) และได้มีการเรียกชื่อสารประกอบดังกล่าวแบบผิดๆและใช้มาจนถึงปัจจุบันว่าเมตาฟอสเฟต โดยที่ไม่ได้มีโครงสร้างเป็นวงแหวนแต่อย่างใด โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตนี้ประกอบด้วยออร์โธฟอสเฟต 10-15 โมเลกุล (Dziezak. 1990) สามารถละลายได้ดีในน้ำแต่ละลายอย่างช้าๆ สารละลายมีพีเอช 7.0 ใช้เป็นสารซีเควสเตรนท์สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังใช้ป้องกันการเกิดเจลในนมสเตอริไลซ์ โซเดียมเฮกซามเตาฟอสเฟตมีกำลังการแยก (sequestering power) ที่ดีที่สุดในบรรดาสารประกอบฟอสเฟตทั้งหมด (Igoe. 1989)

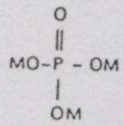
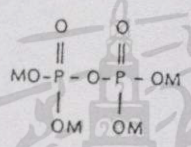
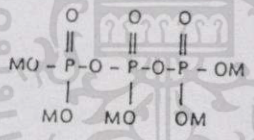
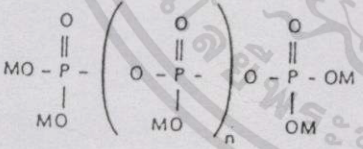
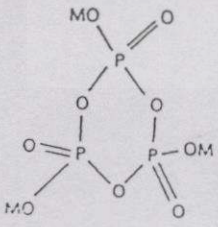
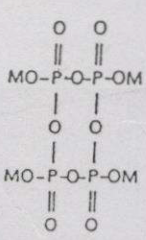
2.3.2.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

โพลีฟอสเฟตชนิดสายตรงนั้นจะมีความสามารถในการเป็นซีเควสเตรนท์ที่ดีกว่าพวกออร์โธฟอสเฟต โดยจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับประจุบวกของโลหะได้มากที่สุด เพราะสายโซ่โพลีฟอสเฟตไม่มีความจำเพาะในการจัดเรียงตัว สาย P-O-P สามารถหมุนได้จึงมีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนการจัดเรียง (configuration) เมื่อจับกับอิออนบวกของโลหะ ดังนั้นสารโพลีฟอสเฟตจึงสามารถจับกับประจุบวกของโลหะได้มากกว่าชนิดที่มีจำนวนหน่วยในสายน้อยกว่า การจับกันนี้อาจเกิดคีเลตในลักษณะวงแหวนได้ เนื่องจากการจัดวางและจำนวนออกซิเจนอะตอมซึ่งมีอยู่มากในสายฟอสเฟต ตัวอย่างของสารประกอบเชิงซ้อน ได้แก่ โปรตีน-ฟอสเฟต-เกลือ และเคซีน-แคลเซียม-ฟอสเฟต เป็นต้น (Molins. 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39420

ตารางที่ 2.9 แสดงการจำแนกชนิด สูตรเคมี และคุณสมบัติของสารฟอสเฟตชนิดต่างๆ

Class of phosphate	Basic structure[a]	Phosphate name	Generally accepted formula	pH (1 % solution)	Solubility at 25° C (g/100 g water)	Functions
Orthophosphates		Monosodium phosphate	NaH_2PO_4	4.6	87	Emulsifier, buffer
		Disodium phosphate	Na_2HPO_4	9.2	12	Emulsifier buffer
		Disodium phosphate dihydrate	$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	9.1	15	Emulsifier, buffer
		Trisodium phosphate	Na_3PO_4	11.8	14	Emulsifier, buffer
		Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	4.6	25	Water binding in meats
		Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	9.3	168	Emulsifier, buffer
		Tripotassium phosphate	K_3PO_4	11.9	107	Emulsifier, buffer
		Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	3.8	—	Acidulant, leavening acid, dough conditioner, yeast food, nutrient
Condensed phosphates						
Pyrophosphates		Sodium acid pyrophosphate	$Na_2H_2P_2O_7$	4.3	15	Emulsifier, buffer, sequestrant, water binding agent in meats
		Tetrasodium pyrophosphate	$Na_4P_2O_7$	10.3	8	Dispersant, coagulant, crystallization inhibitor in canned tuna
		Tetrapotassium pyrophosphate	$K_4P_2O_7$	10.5	187	Emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
Tripolyphosphates		Sodium tripolyphosphate	$Na_5P_3O_{10}$	9.9	15	Emulsifier, water binding agent in meats
		Potassium tripolyphosphate	$K_5P_3O_{10}$	9.6	193	Emulsifier, water binding agent in meats
Long-chain polyphosphates		Sodium polyphosphates glassy, or Graham's Salt; three chain lengths; sodium hexametaphosphate has an average chain length of 13	$(NaPO_3)_6 \cdot Na_2O$	7.7	40[b]	Sequestrant, emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
			$(NaPO_3)_{13} \cdot Na_2O$	6.9	40[b]	Sequestrant, emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
			$(NaPO)_{21} \cdot Na_2O$	6.3	40[b]	Sequestrant, emulsifier, water binding agent in meats, suspending agent
Metaphosphates Tri-		Sodium trimetaphosphate	$(NaPO_3)_3$	6.7	23	
Tetra-		Sodium tetrametaphosphate	$(NaPO_3)_4 \cdot 4H_2O$	6.2	18	

[a] M แทนอิออนของโลหะ หรือไฮโดรเจน

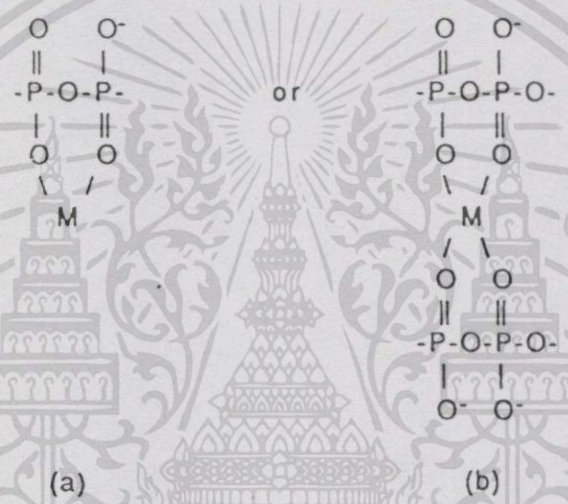
[b] คุณสมบัติการละลายอาจมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะขึ้นอยู่กับสภาวะในการเตรียมและการใช้งาน

ที่มา : Dziezak (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถของโพลีฟอสเฟตในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนอะตอมของฟอสฟอรัสในโมเลกุล นอกจากนี้จำนวนอะตอมของฟอสฟอรัสจะมีผลต่อโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนด้วย หากอะตอมฟอสฟอรัสซึ่งจับกันมีจำนวนคู่น้อย จะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.1 (a) ซึ่งจะไม่ละลายและเกิดเป็นตะกอน

หากมีอะตอมฟอสฟอรัสมากกว่า 1 คู่ เมื่อสายโพลีฟอสเฟตเกิดการแตกตัว ประจุลบของหมู่ฟอสเฟตแต่ละหมู่จะทำให้สายโซ่เกิดการบิดเกลียวรอบตัวมันเอง ทำให้เกิดการรวมตัวของสายโซ่ต่างกันได้เป็นคู่ของอะตอมฟอสฟอรัส โครงสร้างนี้เรียกว่าโพลีเดนเตท (polydentate) แสดงดังภาพที่ 2.1 (b) (Molins. 1991)



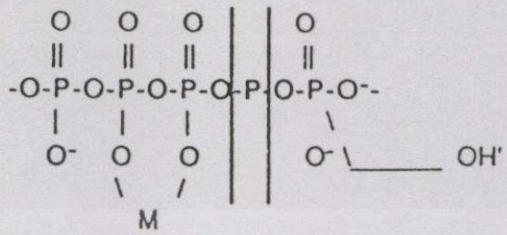
M คือ โลหะชนิดโมโนวาเลนท์หรือโพลีวาเลนท์

ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารโพลีฟอสเฟต

ที่มา : Molins (1991)

นอกจากนี้เมื่อในสารละลายมีอิออนบวก เช่น แคลเซียม และแมงกานีส สายโซ่ของโพลีฟอสเฟตอาจเกิดการรวมตัวระหว่างหมู่ฟอสเฟตและอิออนโลหะ เกิดเป็นสารที่เรียกว่าไตรเดนเตท (tridentate) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ทำให้ในอะตอมของฟอสฟอรัสมีประจุบวกเพิ่มขึ้น จึงมีความไวในการจับกับน้ำหรือไอดรอกซิลอิออนมาก (Molins. 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



M คือประจุบวกของโลหะ เช่น แคลเซียม

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของไตรเดนเตท (tridentate)

ที่มา : Molins (1991)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพีเอชต่อความสามารถในการจับโลหะของสารฟอสเฟต พบว่าถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการจับกับโลหะจะเพิ่มขึ้น และที่พีเอชต่ำกว่า 8 หากสายโพลีฟอสเฟตยิ่งมีความยาวมากก็จะยิ่งเป็นตัวจับแคลเซียมที่มีประสิทธิภาพดี ในช่วงพีเอช 8-10 ประสิทธิภาพของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น แต่หากพีเอชสูงกว่านี้ปริมาณของแคลเซียมอิออนที่ถูกจับไว้จะลดลง (Molins. 1991)

ในด้านโภชนาการ พบว่าเมื่อฟอสเฟตเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรกับแคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม สารอาหารเหล่านี้สามารถดูดซึมได้ทางระบบลำไส้ซึ่งร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Dziezak. 1990)

2.3.2.3 ความปลอดภัยของสารฟอสเฟต

องค์การอาหารและยา (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้รายงานถึงปริมาณฟอสเฟตที่ยอมให้มีได้ในอาหารซึ่งถือว่าปลอดภัยสำหรับอาหารทุกชนิดคือ ปริมาณน้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม ส่วนปริมาณที่ยอมรับว่าปลอดภัยเมื่อใช้ในอาหารที่มีแคลเซียมสูงคือ 30 – 70 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม (ศิวาพร ศิวเวชช. 2524)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง

น้ำนมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งของถั่วเหลือง ซึ่งในปัจจุบันนี้มีผู้นิยมบริโภคแทนน้ำนมวัวมากขึ้นเพราะมีราคาไม่แพงและมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี โดยโปรตีนถั่วเหลืองนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการเท่าเทียมกับโปรตีนเคซีนในน้ำนมวัว (สมชาย ประภาวัติ. 2523) ให้แคลอรี่น้อยและปราศจากโคเลสเตอรอล อีกทั้งยังประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไนอะซินในปริมาณมาก สำหรับน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีของแข็งที่ละลายได้ 8-10 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณโปรตีนถึง 3.6 เปอร์เซ็นต์ แต่มีไขมันเพียง 2.0 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.10

อย่างไรก็ดีน้ำนมถั่วเหลืองยังมีปริมาณแคลเซียมต่ำกว่าในน้ำนมวัว คือน้ำนมวัวจะมีแคลเซียม 100-120 มิลลิกรัม/นม 100 กรัม ส่วนน้ำนมถั่วเหลืองจะมีแคลเซียมอยู่เพียง 15-20 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม (Liu. 1997 ; Yacizi *et. al.* 1997) ซึ่งในเมล็ดถั่วเหลืองนั้นมีแคลเซียมมากพอสมควรคือ 240 มิลลิกรัม/ถั่วเหลือง 100 กรัม (Hirotsuka *et. al.* 1984) แต่เมื่อเตรียมเป็นน้ำนมถั่วเหลืองจะได้แคลเซียมละลายออกมาน้อยมาก เนื่องจากแคลเซียมอยู่ในส่วนของกากถั่วเหลือง (ประภาศรี. 2532) ดังนั้นหากต้องการบริโภคน้ำนมถั่วเหลืองทดแทนนมวัวให้ได้ปริมาณแคลเซียมครบตามความต้องการของร่างกายจะต้องบริโภคในปริมาณมาก

ตารางที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำนมวัว

Item /100 g	Soymilk	Cow's Milk
Calories	44	59
Water (g)	90.8	88
Protein	3.6	2.9
Fat	2.0	3.3
Carbohydrate	2.9	4.5
Ash	0.5	0.7
Minerals (mg)		
Calcium	15	100
Phosphorus	49	90
Sodium	2	36
Iron	1.2	0.1
Vitamin (mg)		
Thiamine (B1)	0.03	0.04
Riboflavin (B2)	0.02	0.15
Niacin	0.50	0.20
Saturated fatty acids (%)	40-48	60-70
Unsaturatted fatty acid (%)	52-60	30-40
Cholesterol (mg)	0	9.24-9.9

ที่มา : Liu (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีการศึกษาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมถั่วเหลืองในด้านปริมาณแร่ธาตุให้ใกล้เคียงกับน้ำนมวัวโดยการเสริมแคลเซียม ซึ่งนับว่าเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองนั้นมีความว่องไวต่อแคลเซียมอิออน จึงสามารถรวมตัวและทำให้เกิดการตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับแคลเซียมได้ (Hirotsuka *et. al.* 1984) แต่ทั้งนี้อาจใช้เกลือแคลเซียมที่ละลายได้ดี เช่น แคลเซียมกลูโคเนต แคลเซียมแลคโตกลูโคเนต นำไปผสมกับสารซีเควสเตรนท์และสารเสริมความคงตัว ก็จะช่วยลดปัญหาด้านความเสถียรได้ (Yacizi *et. al.* 1997)

Hirotsuka *et. al.* (1984) ศึกษาการรักษาความเสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยใช้เลซิทินจากถั่วเหลืองห่อหุ้มแคลเซียมอิออนเอาไว้ในโครงสร้างที่เป็นไลโพโซม (liposome) ซึ่งเตรียมจากการ sonication เลซิทินในสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมแลคเตท นำไปผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมขึ้นจากแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมัน (sedatted soy flour) เมื่อเติมแคลเซียม-เลซิทิน-ไลโพโซมลงในน้ำนมถั่วเหลือง จะไม่เกิดการตกตะกอนรวมตัวกัน อย่างไรก็ตามหากใช้แคลเซียมแลคเตทในปริมาณมากกว่า 30 มิลลิโมล เลซิทินจะเกิดการตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างเลซิทินกับแคลเซียม จึงใช้โซเดียมซิเตรทเป็นซีเควสเตรนท์เพื่อช่วยลดปฏิกริยาดังกล่าว ปริมาณที่ใช้คือ 30 มิลลิโมล วิธีนี้สามารถเสริมแคลเซียมได้ถึง 120 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม ซึ่งมากกว่าปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในนมวัวตามธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเสถียรที่ดี

Zamel and Shelef (1986) ศึกษาการเสริมแคลเซียมในนมถั่วเหลืองโดยใช้เกลือแคลเซียมร่วมกับโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) เพื่อเป็นซีเควสเตรนท์ พบว่าสารโพลีฟอสเฟตนั้นสามารถจับ (chelate) กับแคลเซียมอิออนได้ จึงไม่พบการตกตะกอนของโปรตีนถั่วเหลืองภายหลังจากการพาสเจอร์ไรส์

Prabharaksa *et. al.* (1989) พบว่าการใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมกับโซเดียมซิเตรท (sodium citrate) 0.4 เปอร์เซ็นต์เพื่อเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง ระดับปริมาณแคลเซียมแลคเตทสูงสุดที่เติมได้ไม่เกิดการตกตะกอนคือ 0.45 เปอร์เซ็นต์ น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีปริมาณแคลเซียม 75 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตรหรือประมาณ 60 เปอร์เซนต์ของปริมาณแคลเซียมในนมวัว

Rasyid and Hansen (1991) ศึกษาการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองแคลเซียมสูงโดยเติมแคลเซียมกลูโคเนตร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต และใช้กรดแคลเซียม-ดี-แซคคาริค (calcium D-saccharic acid) เพื่อเสริมความคงตัว (stabilizing agent) พบว่าเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 1.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีปริมาณแคลเซียมอยู่ระหว่าง 140-145 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบได้กับในนมวัวซึ่งมีแคลเซียม 110-120 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตและกรดแคลเซียม-ดี-แซคคาริคนั้นมีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมกัน (synergist) ในการลดแอคติวิตี้ของแคลเซียมอิออนในน้ำนมถั่วเหลืองและทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีความเสถียรต่อความร้อน (heat stability)

Yazici *et. al.* (1997) ศึกษาการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม (full fat soy flour) โดยเติมแคลเซียมแลคโตกลูโคเนต (calcium lactogluconate) 1.55 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate) 1.5 เปอร์เซ็นต์ หรือโปแตสเซียมซิเตรท (potassium citrate) 1.25 เปอร์เซนต์เป็นสารซีเวสเตรนท์ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ไม่เกิดการตกตะกอน และประกอบด้วยแคลเซียม 200 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม

มีผู้ศึกษาถึงการใช้คาร์ราจีแนนเพื่อรักษาความคงตัวของน้ำนมถั่วเหลือง และพบว่าการใช้คาร์ราจีแนนในปริมาณ 300 ppm ซึ่งได้จากการผสมแลมด้า-คาร์ราจีแนน (lambda carrageenan) กับแคปป้า-คาร์ราจีแนน (kappa carrageenan) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 นั้น สามารถรักษาความคงตัวของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมยูเอชทีซึ่งเตรียมจากไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) 0.43 เปอร์เซ็นต์ได้โดยไม่พบการเกิดเจล (Stabilisation of UHT-processed soy beverages with carrageenan. 1992)

เพียงจันทร์ ชัยวนนท์ (2541) ศึกษาการเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองให้มีปริมาณแคลเซียมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (200 มิลลิลิตร) ใกล้เคียงกับน้ำนมวัว โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ไตรแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมแลคโตกลูโคเนต จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตหรือไตรแคลเซียมฟอสเฟตร่วมกับโปแตสเซียมซิเตรท 300 มิลลิกรัมและคาราจีแนน 30 มิลลิกรัม จะมีการละลายและกระจายตัวเพิ่มขึ้น ส่วนแคลเซียมแลคโตกลูโคเนตจะเกิดการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลือง หากเพิ่มปริมาณโปแตสเซียมซิเตรทเป็น 600 มิลลิกรัม แม้ว่าจะสามารถป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมชนิดนี้ได้ แต่จะมีผลต่อรสชาติของน้ำนมถั่วเหลือง

2.5 ผลของแคลเซียมต่อคุณสมบัติบางประการของน้ำนมถั่วเหลือง

การเติมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านการละลายของโปรตีน ค่าพีเอช และเกิดการรวมตัวของแคลเซียมกับองค์ประกอบบางชนิดในน้ำนมถั่วเหลือง ดังนี้

2.5.1 การละลายของโปรตีน

โปรตีนในสารละลายที่มีน้ำอยู่ด้วยนั้น โมเลกุลของโปรตีนจะจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าจับกับโมเลกุลของโปรตีนเอง ทำให้โปรตีนสามารถละลายอยู่ได้ ถ้าทำให้โปรตีนจับกับน้ำได้น้อยลงจะทำให้โปรตีนตกตะกอนได้ (ยุวดี พัฒนโภคาสิน. 2541) ยิ่งพีเอชของสารละลายโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงหรือต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric Point หรือ Isoelectric pH หรือ pI) มากเท่าใด โมเลกุลของโปรตีนก็จะจับกับน้ำมากขึ้น หากพีเอชของสารละลายเท่ากับจุดไอโซอิเล็กตริกของโปรตีน อนุภาคโปรตีนจะมีจำนวนประจุบวกเท่ากับประจุลบ ทำให้ประจุรวมสุทธิ (net charge) เท่ากับศูนย์ โปรตีนจะรวมตัวกันและมีการละลายน้อยที่สุด (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539) ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองธรรมชาติ (native soy protein) จะมีพีเอชที่จุดไอโซอิเล็กตริกประมาณ 4.5-5.5 (Rham and Jost. 1978 ; Kinsella. 1979)

Ono *et. al.* (1993) ศึกษาถึงผลของแคลเซียมต่อการละลายของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งเตรียมจากการบดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการละลายของโปรตีนจะเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 2 มิลลิโมล และจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงความเข้มข้น 6-8 มิลลิโมล นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองกับการละลายของโปรตีน พบว่าการละลายของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองจะเริ่มลดลงตั้งแต่พีเอชเท่ากับ 6.1

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงพีเอช

ไฟเตทเป็นเกลือของสาร inositol hexaphosphoric acid พบในถั่วเหลืองประมาณ 1-1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเตรียมเป็นน้ำนมถั่วเหลืองก็จะถูกสกัดออกมาด้วย ไฟเตทสามารถจับกับแร่ธาตุที่เป็นอิออนบวกชนิดไดวาเลนท์ได้ เช่น แคลเซียม นอกจากนี้ยังจับกับโปรตีนได้อีกด้วย และพบว่าสารไฟเตทที่มีอยู่ในถั่วเหลืองจะไม่มีผลรบกวนการดูดซึมของแคลเซียมแต่อย่างใด โดยการดูดซึมของแคลเซียมจากถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองนั้นไม่แตกต่างจากน้ำนมวัว (Rham and Jost. 1979 ; Liu. 1997)

Ono *et. al.* (1993) พบว่าเมื่อเติมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง พีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงพีเอชนี้เนื่องมาจากสาเหตุสองประการ ซึ่งกลไกทั้งสองนี้จะเกิดในขณะเดียวกัน คือ ประการแรกเป็นผลจากการจับกันของแคลเซียมกับหมู่อิมิดาโซล (imidazole) ของโมเลกุลโปรตีน ซึ่งที่พีเอชเป็นกลางหมู่อิมิดาโซลของ histidyl residue นี้ครึ่งหนึ่งจะอยู่ในรูป non-ion form ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูป ion form

แคลเซียมจะรวมตัวกับโปรตีนที่อยู่ในรูป non-ion form เกิดเป็นเกลือของแคลเซียม (calcium salt) และปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนออกมาเป็นผลให้พีเอชลดลง แต่เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีส่วนที่เป็นหมู่ histidyl นี้อยู่เพียง 3 เปอร์เซนต์เท่านั้น สาเหตุนี้จึงมีผลต่อการลดลงของพีเอชน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงพีเอชอันเนื่องมาจากการเกิดเป็นแคลเซียมไฟเตท นอกจากนี้ยังพบว่าการจับกันของแคลเซียมกับโปรตีนนั้นมีผลต้านทานการลดลงของพีเอชด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการที่สองเป็นผลจากการจับกันของแคลเซียมกับหมู่ฟอสเฟตของไฟเตทในสภาวะที่เป็นกลางเกิดเป็นแคลเซียมไฟเตท (calcium phytate) และปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนออกมาทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว

Liu (1997) กล่าวถึงผลของไฟเตทต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชว่า เมื่อเติมแคลเซียมซัลเฟตลงในน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีไฟเตทอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ค่าพีเอชลดลงมากกว่าในน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีไฟเตทในปริมาณน้อย

จากการศึกษาของ Saio *et. al.* (1969) ถึงความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีน-แคลเซียม-กรดไฟติกในถั่วเหลือง พบว่าหากในน้ำนมถั่วเหลืองมีกรดไฟติกอยู่ในปริมาณมาก จะมีผลหน่วงการรวมตัวของอนุภาคโปรตีนกับแคลเซียมให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะนิ่ม

2.5.3 การเกิดเจล

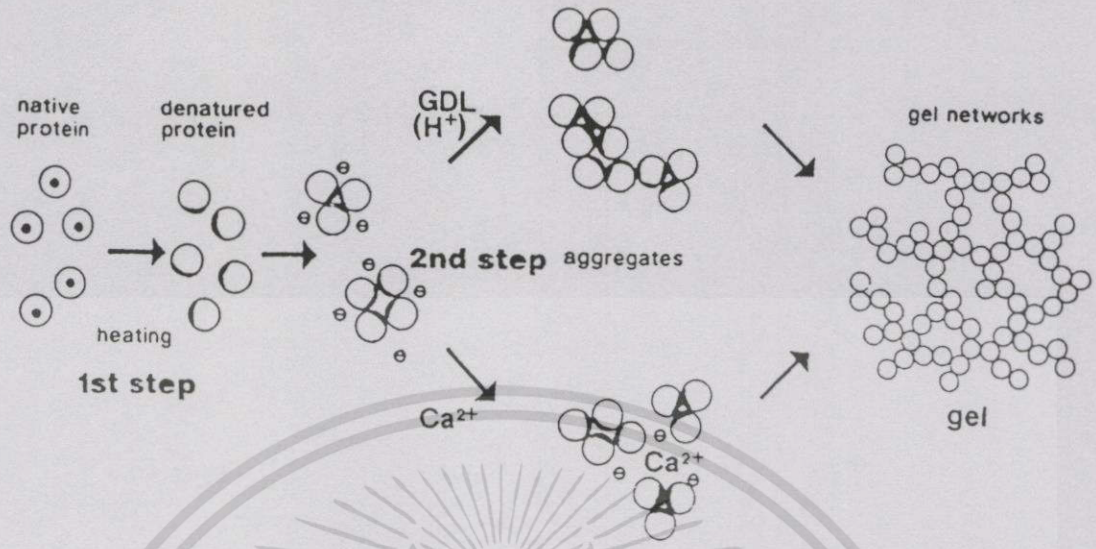
เจลเป็นคอลลอยด์ชนิดไลโอฟิลิค (lyophillic) ที่มีความหนืดสูง มีลักษณะกึ่งของแข็ง สามารถแข็งตัวมีรูปทรงคล้ายของแข็งได้ (rigidity) โครงสร้างของเจลจะเกิดจากโมเลกุลของอนุภาคคอลลอยด์มาเกาะกันเป็นคู่ และแต่ละคู่จะจับรวมกันเป็น crystallite เพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จากนั้น crystallite หนึ่งจะไปจับกับอีก crystallite หนึ่งกลายเป็นเจล โครงสร้างของเจลจะมีโมเลกุลจำนวนมากจับกันแน่นเป็นตาข่ายโดยมีโมเลกุลของตัวกลางหรือน้ำซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้แทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของอนุภาคคอลลอยด์ภายในตาข่าย (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2534)

การเติมสารตกตะกอน (coagulant) ลงในน้ำนมถั่วเหลือง จะทำให้เกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีน เกิดโครงสร้างที่เป็นสามมิติหรือเป็นโครงสร้างร่างแห น้ำนมถั่วเหลืองจะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวซึ่งเรียกว่า เจล (น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป .2540)

Kohyama *et. al.* (1995) ศึกษากลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจากการใช้สารตกตะกอนชนิดที่ให้ประจุบวก เช่น แคลเซียมซัลเฟต และกลูโคโนเดลต้าแลคโตน (glucono -δ-lactone ,GDL) ร่วมกับการให้ความร้อนว่าประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ (ภาพที่ 2.3)

ขั้นตอนแรก โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งปกติมีลักษณะทรงกลม (globular protein) เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) ทำให้โมเลกุลซึ่งเดิมขดแน่นนั้นคลายตัวออก ส่วนของโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งอยู่ภายในโมเลกุลมีโอกาสกระจายตัวออกมายังด้านนอกโมเลกุลและเกิดการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิค (hydrophobic bonding) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อเติมสารตกตะกอน
ที่มา : Kohyama *et. al.* (1995)

ขั้นตอนที่สอง โมเลกุลของโปรตีนซึ่งเกิดการเสียสภาพจากความร้อนจะมีประจุรวมสุทธิเป็นลบ เมื่อเติมสารตกตะกอน เช่น เติมแคลเซียมอิออนลงไป ประจุบวกจากสารตกตะกอนจะรวมกับประจุลบทำให้โมเลกุลของโปรตีนเหล่านี้มีสภาพเป็นกลาง (neutral) จากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำส่วนโมเลกุลโปรตีนเหล่านี้ให้มีการสร้างพันธะไฮโดรไฟบิกขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggregation) เกิดโครงสร้างร่างแห (network structure) ที่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ซึ่ง Lui (1997) กล่าวว่าการรวมตัวนี้จะเกิดมากขึ้น เมื่อมีการเติมสารตกตะกอนซึ่งทำให้พีเอชลดลงเข้าใกล้กับพีเอชที่จุดไอโซอิเล็กตริก

Lu *et. al.* (1980) พบว่าปริมาณเกลือแคลเซียมที่ต่ำที่สุดซึ่งทำให้โปรตีนถั่วเหลืองเกิดการตกตะกอนนั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซึ่งใช้เป็นสารตกตะกอน คือแคลเซียมกลูโคเนตจะใช้ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมซัลเฟตจะใช้ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมแลคเตทจะใช้ปริมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เกลือแคลเซียมแต่ละชนิดจะให้เจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน

วันชัย สมชิต (2527) พบว่าการตะกอนโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเต้าหู้ หากใช้แคลเซียมซัลเฟตในปริมาณน้อยกว่า 0.008 โมลาร์ จะไม่เกิดการจับตัวเป็นเต้าหู้ แต่น้ำนมจะมีลักษณะข้นขึ้น ถ้าใช้แคลเซียมซัลเฟตปริมาณ 0.01 โมลาร์ จะไม่เกิดตะกอนอย่างสมบูรณ์คือเกิดตะกอนเพียงบางส่วนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำนมถั่วเหลืองสามารถเกิดเป็นเคิร์ด (curd) ได้ แม้ที่ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมต่ำ อธิบายได้ว่าเนื่องจากการเติมแคลเซียมมีผลทำให้พีเอชลดลง จึงทำให้โปรตีนเกิดการรวมตัว (aggregate) โดยแรงผลักทางไฟฟ้าอย่างอ่อน (electric repulsion) และมีการปลดปล่อยน้ำออกจากโมเลกุลโปรตีน ในขณะเดียวกันการจับกันระหว่างแคลเซียมกับหมู่คาร์บอกซิลของโปรตีนก็จะเร่งให้ hydrate protein เกิดการรวมตัวเป็นเคิร์ด ดังนั้นทั้งการลดลงของพีเอชและการจับกับแคลเซียม จึงมีความสำคัญต่อการเกิดเคิร์ดของน้ำนมถั่วเหลือง (Ono *et. al.* 1993)

แต่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมต่ำนี้ การเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนซึ่งถูกเหนี่ยวนำด้วยแคลเซียมอิออนนั้น ยังไม่แข็งแรงพอที่จะเกิดเป็นเจลที่มีความแข็งและแน่น หากใช้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดอันตรกิริยาเพิ่มขึ้น จึงมีการจับกันของโปรตีนเป็นร่างแหสามมิติ (matrix) และเกิดการสูญเสียน้ำ (syneresis) ออกมามากขึ้น (Liu. 1997)

นอกจากชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง เช่น พีเอช การให้ความร้อน เป็นต้น

การให้ความร้อนระดับต่ำจะทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งแรงน้อย (weak gel) หรืออาจยังไม่เกิดโครงสร้างสามมิติของเจล เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนโกลบูลินในถั่วเหลืองอาจยังไม่เกิดการคลายตัวอย่างเพียงพอ (Zayas. 1997) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Doi (1993) ที่พบว่า โปรตีนถั่วเหลืองจะยังไม่เกิดการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ เมื่อให้ความร้อนต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เว้นแต่จะอยู่ภายใต้สภาวะที่มีความเป็นด่างมากๆ

เนื่องจากความหนืดปรากฏ เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคของโปรตีนซึ่งกระจายตัวอยู่ในสารละลายหรือเกิดการรวมตัวกัน รวมทั้งเป็นผลจากอัตราการเฉือนด้วย การเสียสภาพของโปรตีน เช่น จากความร้อน จะทำให้ซอล (sol) มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นเจล (Kinsella. 1979 ; Zayas. 1997)

Zayas (1997) กล่าวถึงพีเอชของการเกิดเจลว่า หากพีเอชในการเกิดเจลมีความเหมาะสมจะช่วยป้องกันการแยกตัวของโครงสร้างเจล (gel network) จากการผลักกันระหว่างประจุได้ และหากเกิดเจลที่พีเอชเท่ากับพีเอชที่จุดไอโซอิเล็กตริก เจลที่ได้นั้นจะจับกับน้ำได้น้อยและไม่แข็งแรง เนื่องจากไม่มีแรงผลักระหว่างประจุ (repulsive force)

น้ำนมถั่วเหลืองซึ่งสกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลืองจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.4-6.6 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนโปรตีนด้วยสารตกตะกอน หากปรับพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองให้สูงกว่าช่วงนี้อาจทำให้เกิดการตกตะกอนช้าลง น้ำเวย์ (whey) ที่ได้มีความขุ่น รวมทั้งอาจต้องใช้สารตกตะกอนในปริมาณมากขึ้นเพื่อทำให้โปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองเกิดการตกตะกอน แต่หากปรับพีเอชในการสกัดให้ต่ำกว่าช่วงนี้ จะได้ปริมาณน้ำนมถั่วเหลืองลดลงและเกิดการตกตะกอนรวดเร็วขึ้น (Lambrecht. 1996 ; Lui. 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ถั่วเหลือง

ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งเป็นเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 90 เปอร์เซ็นต์ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ทำการคัดเฉพาะเมล็ดสมบูรณ์ และโม่ผ่าซีกเพื่อแยกเปลือกออก

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

3.1.2.1 Calcium carbonate (food grade)

3.1.2.2 Calcium gluconate (food grade)

3.1.2.3 Calcium lactate (food grade)

3.1.2.4 Sodium hexametaphosphate (food grade)

3.1.2.5 Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

3.1.3.1 Disodium tetraborate decahydrate ($Na_2B_4O_7 . 10\ H_2O$)

3.1.3.2 Hydrochloric acid (HCl)

3.1.3.3 Linoleic acid

3.1.3.4 Sodium hydroxide (NaOH)

3.1.3.5 Tween 20

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตะกอน

3.1.4.1 Methylene blue

3.1.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

3.1.5.1 Calcium carbonate ($CaCO_3$)

3.1.5.2 Lanthanum stock solution

1) Lanthanum oxide (La_2O_3)

2) Hydrochloric acid

3.1.5.3 น้ำกลั่นผ่านการ deionized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

3.2.1 เครื่องโม่แยกเปลือกถั่วเหลือง		
3.2.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร (blender)	Mx-T1PN(G) National	ไต้หวัน
3.2.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ	Mettler , AE 204	สวิสเซอร์แลนด์
3.2.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler , PE 3000	สวิสเซอร์แลนด์
3.2.5 โฮโมจิไนเซอร์	Armfield	อังกฤษ
3.2.6 แผงให้ความร้อน (hot plate stirrer)	IKA	อเมริกา
3.2.7 นาฬิกาจับเวลา	Radioshack	ญี่ปุ่น
3.2.8 แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)		
3.2.9 ผ้าขาวบาง		
3.2.10 กะละมัง		
3.2.11 ตู้เย็น		
3.2.12 เทอร์โมมิเตอร์		

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	Mettler , MP220	สวิสเซอร์แลนด์
3.3.2 เครื่องมือวัดความหนืด	Brookfield , DVLV-III	อเมริกา
3.3.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (cooling bath)		
3.3.4 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)	Memmert , W15	เยอรมัน
3.3.5 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler , PE 3000	สวิสเซอร์แลนด์
3.3.6 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน	Buchi 425	
3.3.7 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน	Buchi B810	
3.3.8 รีแฟรคโตมิเตอร์	ATAGO , N-1E	ญี่ปุ่น
3.3.9 อุปกรณ์เครื่องแก้ว		

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

3.4.1 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	Shimadzu , UV-1601	ญี่ปุ่น
3.4.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)	Centrikon , T-24K	
3.4.3 นาฬิกาจับเวลา	Radioshack	ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตะกอน

3.5.1 micro-haematocrit tubes	Vitrex	เดนมาร์ค

(ความยาว 75 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 0.2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1- 1.2 มิลลิเมตร)

3.5.2 Autometic Haematocrit Centrifuge	ALC , 4203	อิตาลี
3.5.3 micro-haematocrit reader	Hawksley	อังกฤษ

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

3.6.1 เตาเผา (Muffle Furnace)	Cabolite Furnace	อังกฤษ
3.6.2 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer	Shimadzu, Z 8200	ญี่ปุ่น
3.6.3 อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ	Memmert	เยอรมัน

3.6.4 แผงให้ความร้อน (hot plate)

3.6.5 ครูซิเบิล (crusible)

3.6.6 ขวดปริมาตร (volumetric flask)

3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.7.1 ถ้วยแก้ว

3.7.2 แก้วน้ำพลาสติก

3.8 สถานที่ทำการทดลอง

3.8.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.8.2 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง ใช้เครื่อง Homogenizer ที่โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

3.8.3 การศึกษาปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลือง ใช้เครื่องมือ Autometic Haematocrit Centrifuge ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.8.4 การศึกษาปริมาณแคลเซียม ใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer ภาควิชาปฐพีวิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วิธีการทดลอง

3.9.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลือง

3.9.1.1 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของน้ำนมถั่วเหลือง (ภาคผนวก ข)

3.9.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid)

นำตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมได้ ผสมให้เข้ากัน นำมาวัดหาค่า refractive index โดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์ N-1E เทียบกับน้ำกลั่น

2) การวิเคราะห์ค่าพีเอช

เขย่าตัวอย่างนมถั่วเหลืองให้เข้ากัน ทิ้งให้เข้าสู่สมดุลจนมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) วัดพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์

3) วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมของน้ำนมถั่วเหลือง (ภาคผนวก ค)

3.9.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพโดยวิธีทางกายภาพ

1) การวัดความหนืด

วัดความหนืดด้วย Brookfield Viscometer รุ่น LVDV-III (ภาคผนวก ง)

2) การวิเคราะห์ปริมาณตะกอน

วิเคราะห์ปริมาณตะกอนน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม (ภาคผนวก ง)

3.9.1.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาและความเสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

เก็บน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ หากตัวอย่างไม่พบการตกตะกอน หรือจับตัวกันเป็นก้อนภายหลังการเก็บเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จะถือว่าน้ำนมถั่วเหลืองนั้นมีความเสถียร (Hirotsuka *et. al.* 1984)

3.9.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.9.2.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยการบดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ

นำน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาปริญญาโทและตรีของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทดสอบความเข้มของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีการให้คะแนน (5-point hedonic scale) ปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ กลิ่นถั่ว และรสเฝื่อน (1 คือ แรงมากที่สุด 5 คือ แรงน้อยที่สุด) แบบทดสอบที่ใช้แสดงดังภาคผนวก ฉ

3.9.2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

คัดเลือกตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมแต่ละชนิดซึ่งมีคุณภาพเหมาะสมที่สุด คือมีปริมาณแคลเซียมสูงและมีลักษณะทางภายภาพที่เหมาะสมมาทดสอบความชอบ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน เป็นกลุ่มนักศึกษาปริญญาโทและตรีของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยวิธี 9-point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด 9 คือ ชอบมากที่สุด) ปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม แบบทดสอบที่ใช้แสดงดังภาคผนวก ฉ

การเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.9.2.1 และข้อ 3.9.2.2 ทำโดยกำหนดรหัสแก่ตัวอย่างแบบสุ่ม เสริฟตัวอย่างประมาณ 30 มิลลิลิตร ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 8-10 องศาเซลเซียส ในภาชนะแก้วใสขนาดความจุ 50 มิลลิลิตร ทดสอบในช่วงเวลา 10.00-12.00 และ 14.00-16.00 น. โดยให้ผู้ชิมบ้วนปากด้วยน้ำระหว่างการชิมแต่ละตัวอย่าง

3.9.3 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรสของน้ำนมถั่วเหลือง

3.9.3.1 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง

นำถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่โม่ผ่าซีกและแยกเอาเปลือกออกแล้วมาล้างน้ำทำความสะอาด แช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 3 ท่าตัวของน้ำหนักถั่วแห้งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างน้ำทำความสะอาดและแยกเอาเปลือกออก ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำไปตีปั่นด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องปริมาตรเท่าตัว ซึ่งใช้เวลาในการตีปั่น 2 นาที ทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และล้างกากด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป. 2540) หลังจากนั้นปรับปริมาตรให้ได้อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเมล็ดแห้งเท่ากับ 1 ต่อ 8

3.9.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อการกำจัดกลิ่นถั่วเหลือง

ดำเนินการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองตามวิธีในข้อ 3.9.3.1 และทำการปรับปรุงกลิ่นโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ในกรณีของแคลเซียมคาร์บอเนตจะเติมลงในขั้นตอนของการบดถั่วดังภาพที่ 3.1 และในกรณีของโซเดียมไบคาร์บอเนตจะเติมลงในขั้นตอนของการแช่ถั่วเหลือง (ภาพที่ 3.1) น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้นำไปวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสและค่าพีเอชตามข้อ 3.9.1.1 และ 3.9.1.2 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.9.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาในหัวข้อนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนต 3 ระดับคือ 0.05 0.10 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 ระดับ คือ 0.25 0.5 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.9.4 การศึกษาการเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง

เกลือแคลเซียมที่สามารถใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารมีหลายชนิด ในการทดลองนี้แหล่งของแคลเซียมที่เลือกมาศึกษาคือ แคลเซียมแลคเตทและแคลเซียมกลูโคเนต ซึ่งเป็นเกลือแคลเซียมที่มีคุณสมบัติการละลายที่ดี (Ohr. 1997) อีกทั้งไม่ให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากพบว่าเกลือแคลเซียมที่มีความสามารถในการละลายที่ดี จะมีค่า bioavailability สูง (Valkengoed. 1992; Bontenbal and Koos. 1995) จึงดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีกว่าเกลือแคลเซียมชนิดที่ละลายได้น้อย

3.9.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อคุณสมบัติต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

เลือกน้ำนมถั่วเหลืองที่มีคุณภาพด้านกลิ่นรสที่ดีที่ได้จากหัวข้อ 3.9.3.2 นำมาทำการเสริมแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมกลูโคเนต 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (SHMP) ความเข้มข้น 1 1.1 1.2 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) นำน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ได้มาวิเคราะห์ตามวิธีคุณภาพทางเคมีและกายภาพตามข้อ 3.9.1.2 และข้อ 3.9.1.3 ตามลำดับ นอกจากนี้จะศึกษาอายุการเก็บรักษาและความเสถียรตามวิธีข้อ 3.9.1.4 จากนั้นจะเลือกน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมนำมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมตามวิธีข้อ 3.9.1.2 และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามข้อ 3.9.2.2 รายละเอียดของการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.2

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จัดสิ่งทดลองแบบ 4 x 4 แฟคทอเรียล ปัจจัยหลักในการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนต 4 ระดับ และความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 4 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

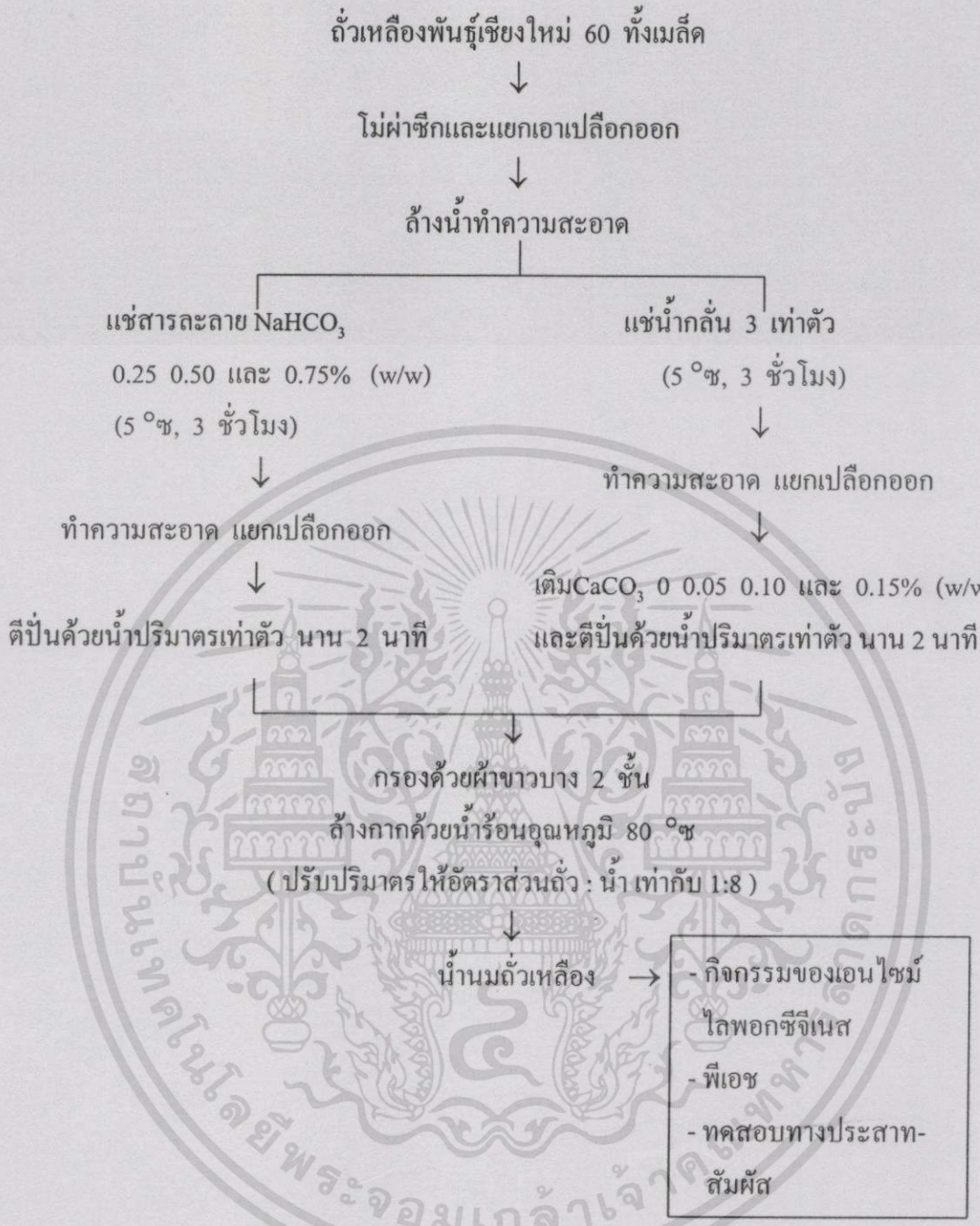
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.4.2 การศึกษาผลของความเข้มของแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาในหัวข้อ 3.9.5.1 แต่จะใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 0.35 0.45 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้น 0.6 0.7 0.8 และ 0.9 เปอร์เซ็นต์ (w/v) และนำน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมาทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับในหัวข้อ 3.9.5.1 รายละเอียดของการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.3

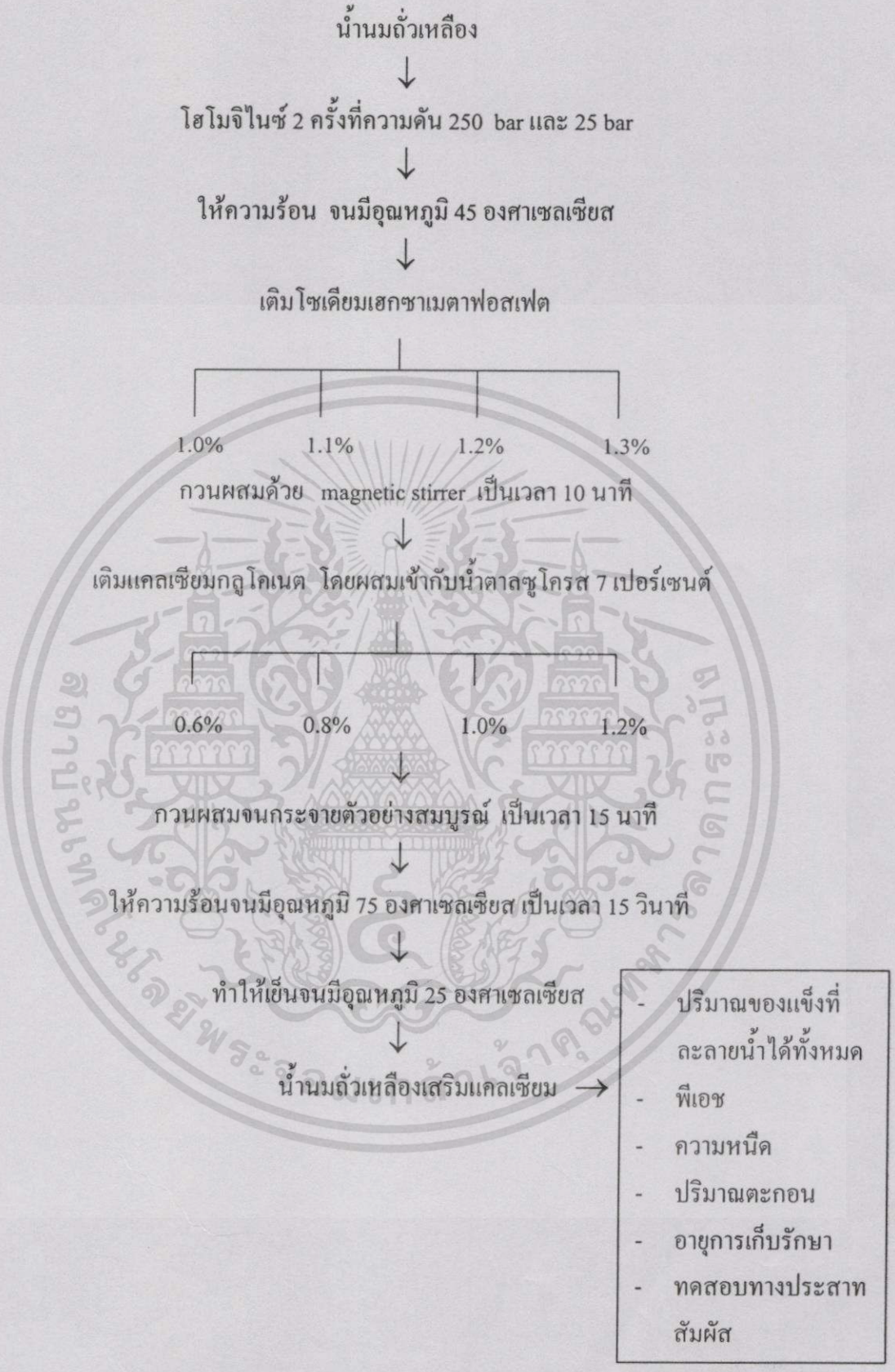
วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จัดสิ่งทดลองแบบ 3 x 4 แฝดทอเรียล ปัจจัยหลักในการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท 3 ระดับ และความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 4 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



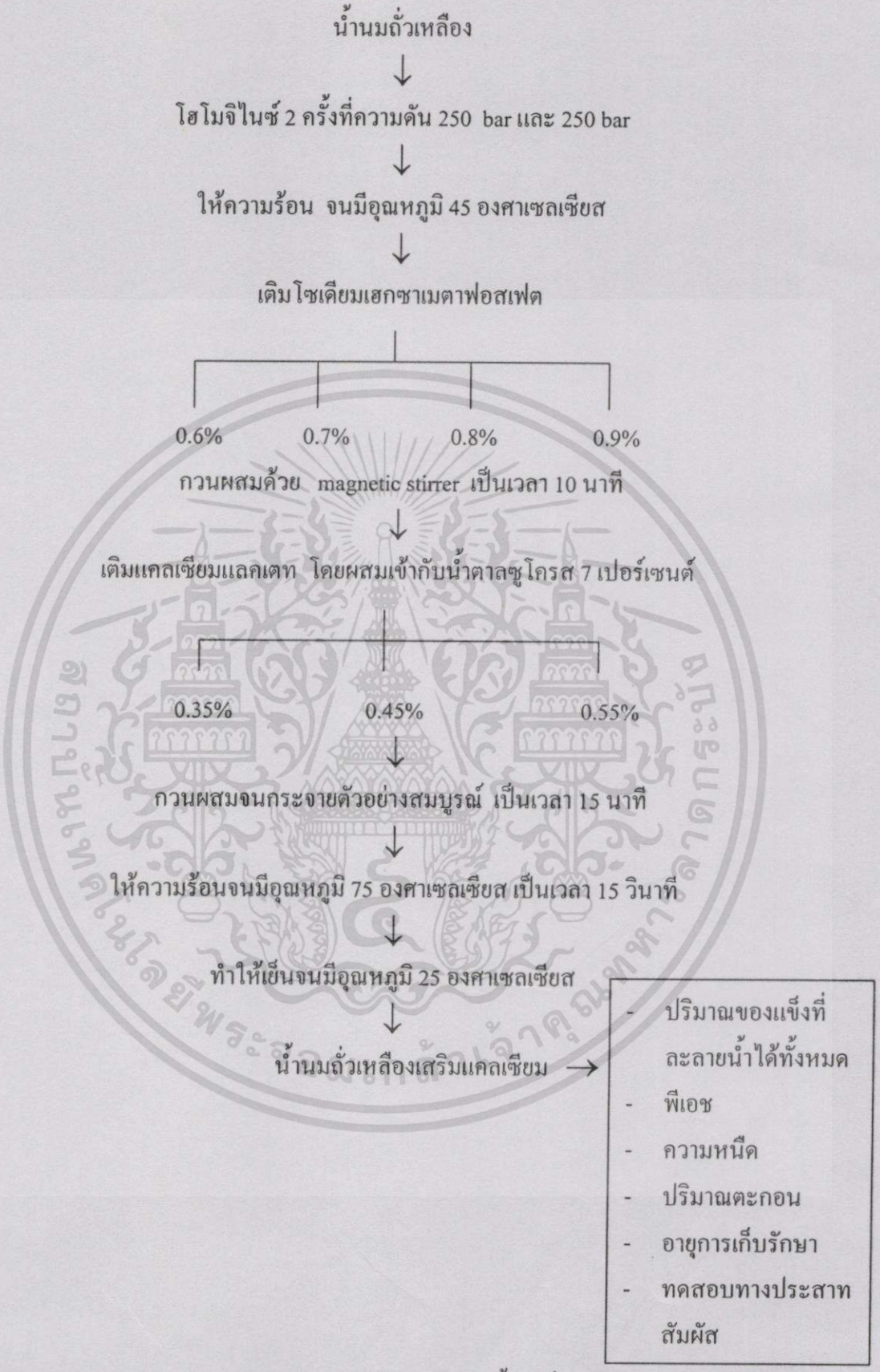
ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมกลูโคเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แผนภาพการเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อการกำจัดกลิ่นถั่วเหลือง

การลดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเหลือง เป็นวิธีการที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเป็นที่ยอมรับมากขึ้น การศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่นิยมใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งยังมีข้อจำกัดบางประการ น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป (2540) พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมจากการแช่ถั่วเหลืองด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ไม่สามารถเกิดการฟอร์มเป็นเจลเต้าหู้เมื่อเติมสารตกตะกอน (coagulant) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงทดลองเปรียบเทียบการใช้สารแคลเซียมคาร์บอเนตกับโซเดียมไบคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.1 แสดงกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase activity) และค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมโดยวิธีการต่างๆ

สภาวะ	กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ($\times 10^{-3}$)*	พีเอช*
Control	5.13	6.48
บดด้วย $CaCO_3$ 0.05 %	4.76	6.48
บดด้วย $CaCO_3$ 0.10 %	4.39	6.49
บดด้วย $CaCO_3$ 0.15 %	4.30	6.50
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.25%	4.44	6.54
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.5%	4.32	6.59
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.75%	4.27	6.69

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองที่มีการใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนตและแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองสูงขึ้น เมื่อปริมาณของสารโซเดียม-ไบคาร์บอเนตที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป (2540) ในกรณีของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม เมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้อยู่ในช่วง 0.05-0.15 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Lu *et. al.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยสภาวะต่างๆ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งไม่มีการเติมหรือแช่สารใดๆในการเตรียมน้ำนม (control) จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสสูงที่สุด และกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตหรือปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลองเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Borhan and Synder (1979) ซึ่งศึกษาถึงผลของพีเอชในการทำลายเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในการแช่ถั่ว เอนไซม์จะมีกิจกรรมลดลง สันนิษฐานว่าสภาพที่เป็นด่างมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

ในกรณีของแคลเซียมคาร์บอเนตพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในการบดถั่ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ediriweera (1998) อย่างไรก็ตามกลไกในการยับยั้งยังไม่ทราบแน่ชัด สันนิษฐานว่าอนุภาคของแคลเซียมอาจมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเอนไซม์ ซึ่งโดยปกติการเติม strong cation เช่น แคลเซียม จะมีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีน (Fennema. 1996 ; Zayas. 1997) เป็นผลให้การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อนำน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยการบดถั่วด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หรือการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่วและรสเฝื่อนของน้ำนมถั่วเหลือง คะแนนความเข้มเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คะแนนความเข้ม* เฉลี่ยต่อคุณลักษณะกลิ่นถั่วและรสเฝื่อนของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมโดยวิธีต่างๆ

สภาวะ	คุณลักษณะ	
	กลิ่นถั่ว	รสเฝื่อน
Control	3.1 ± 1.24 ^{bc}	2.3 ± 0.79 ^{a}
บดด้วย $CaCO_3$ 0.05 %	3.3 ± 0.81 ^{c}	2.6 ± 0.73 ^{ab}
บดด้วย $CaCO_3$ 0.10 %	2.4 ± 0.98 ^{ab}	2.3 ± 1.22 ^{a}
บดด้วย $CaCO_3$ 0.15 %	2.6 ± 0.82 ^{abc}	3.2 ± 0.86 ^{c}
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.25%	2.5 ± 0.91 ^{ab}	2.2 ± 0.56 ^{a}
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.5%	1.9 ± 0.96 ^{a}	2.5 ± 1.19 ^{ab}
แช่สารละลาย $NaHCO_3$ 0.75%	2.6 ± 0.73 ^{abc}	2.9 ± 1.28 ^{ab}

* 5 point scales หมายถึง ความเข้มจากน้อยสุด (1) ถึงสูงสุด (5)

ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

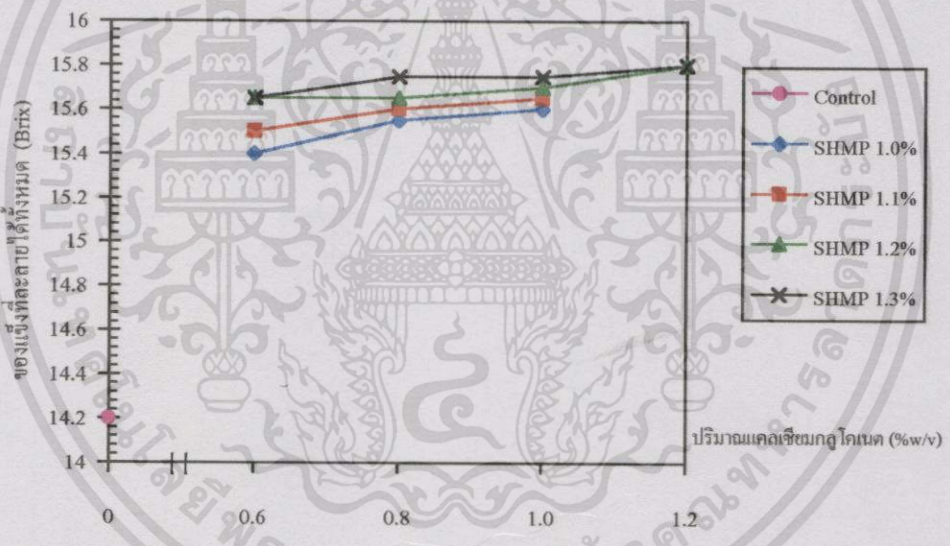
ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความเข้มของกลิ่นถั่วลดลงเมื่อใช้สารแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของกิจกรรมเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นการลดกลิ่นถั่วของน้ำนมถั่วเหลืองนอกจากวิธีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (Nelson. 1976 ; Bourne. 1976) จะสามารถทำได้โดยการบดถั่วเหลืองด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีในปริมาณที่มากเกินไปมีผลต่อรสชาติของน้ำนมถั่วเหลือง โดยอาจทำให้มีรสเฝื่อนติดอยู่ที่ลิ้น เช่นในกรณีของการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 0.15 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่ากลิ่นถั่วนั้นจะลดลง แต่มีรสเฝื่อนขมมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจากการทดลองในหัวข้อนี้จึงเลือกน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมจากการบดถั่วด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 0.10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปปรับเสริมแคลเซียมในการทดลองต่อไป

ถึงแม้ว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์จะสามารถลดกลิ่นถั่วได้ดีกว่า แต่การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตนับว่าเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองได้อีกทางหนึ่ง โดยที่เกลือแคลเซียมคาร์บอเนตนี้มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงคือ 40 เปอร์เซ็นต์ (Levonson and Bockman. 1994) และน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 0.10 เปอร์เซ็นต์ยังสามารถนำไปผลิตเป็นเจลเต้าหู้ที่ดีมากด้วย (ข้อมูลไม่ได้แสดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโตเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ปัญหาของการเสริมแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองคือ ความไม่เสถียรของน้ำนม โดยจะเกิดการแยกชั้นของเคิร์ดกับน้ำเวย์ (Prabharaksa. 1989 ; Rasyid and Hansen. 1991) การศึกษาในหัวข้อนี้จึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเกลือแคลเซียมกลูโคเนตกับสารซีเควสเตรนท์โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต เพื่อให้ได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม โดยออกแบบการทดลองแบบ 4 x 4 แฟคทอเรียล มีปัจจัยหลักคือความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนต 4 ระดับ และความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 4 ระดับ ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพแสดงดังตารางที่ จ1 (ภาคผนวก จ) สำหรับภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในระดับต่างๆ



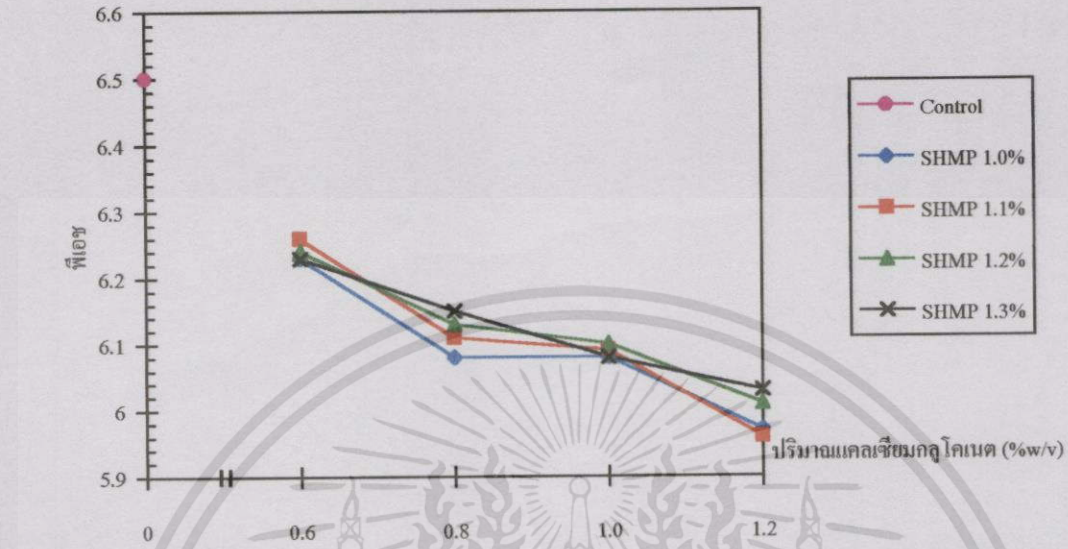
หมายเหตุ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.0% และ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.1% เกิดการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์

ภาพที่ 4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ลงในน้ำนมถั่วเหลือง ย่อมทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น และการใช้แคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตน้อยกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนภายหลังภายหลังพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งจะอธิบายเหตุผลในลำดับถัดไป



หมายเหตุ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.0% และ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.1% เกิดการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์

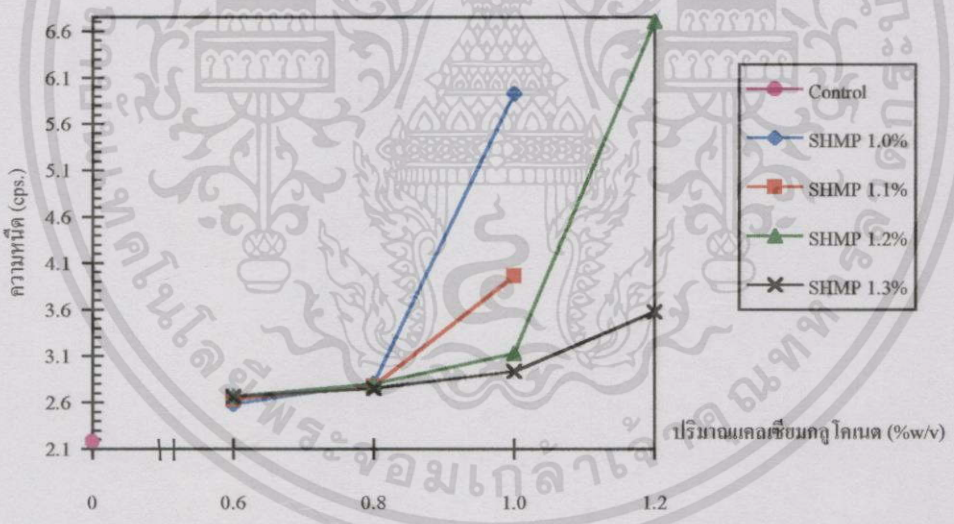
ภาพที่ 4.2 ค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

จากภาพที่ 4.2 แสดงปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองควบคุมมีพีเอชเท่ากับ 6.50 และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีค่าพีเอชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยพีเอชลดลงจากช่วง 6.23-6.26 เป็น 5.96-6.03 ที่ระดับแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Ono *et. al.* (1993) ซึ่งพบว่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมแคลเซียมลงในน้ำนมถั่วเหลือง แคลเซียมจะจับกับหมู่ฟอสเฟตของสารไฟเตทที่มีอยู่ในน้ำนมถั่วเหลือง ในการจับกันจะมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนออกมาจึงทำให้ค่าพีเอชเกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการจับกันของแคลเซียมกับโปรตีนที่ไม่ได้อยู่ในรูปของอิออน (non ion form) ก็จะมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนออกมาเช่นกัน แต่พบว่าการจับกันของแคลเซียมกับโปรตีนนั้นมีผลช่วยต้านทานการลดลงของพีเอชได้ จึงสรุปว่าสาเหตุประการสำคัญที่ทำให้พีเอชลดลงเมื่อเติมแคลเซียมคือการเกิดแคลเซียมไฟเตท ดังนั้นในการทดลองเมื่อเติมแคลเซียมในปริมาณมากขึ้น แคลเซียมจะจับกับสารไฟเตทเกิดเป็นแคลเซียมไฟเตทได้มาก จึงเป็นเหตุให้พีเอชมีค่าลดลงตามปริมาณแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัจจัยด้านความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต พบว่าเมื่อพิจารณาที่แคลเซียมกลูโคเนตแต่ละระดับ เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ทุกระดับแคลเซียมกลูโคเนตที่ทำการศึกษา ดังนั้นการลดลงของพีเอชในน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม จึงเนื่องมาจากการเติมแคลเซียมกลูโคเนตเป็นสำคัญ ตามเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ประกอบกับสารโพลีฟอสเฟตชนิดที่เป็นสายยาว เช่น โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต มีคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ที่ไม่ดี (Dziezak. 1990) จึงไม่สามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชไว้ได้

ค่าความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อใช้ปริมาณแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.3 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลร่วม (interaction) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด กล่าวคือที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเท่ากัน เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองที่มีความหนืดสูงนั้นมีแนวโน้มจะเกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย



หมายเหตุ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.0% และ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.1% เกิดการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์

ภาพที่ 4.3 ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

เมื่อให้ความร้อนแก่โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลือง จะทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพคลายตัวและมีประจุสุทธิเป็นลบ เมื่อเติมแคลเซียมอิออนลงไป ประจุบวกจากแคลเซียมจะรวมกับประจุลบ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีความเป็นกลาง และเกิดการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการรวมตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggregation) (Kohyama. 1995) เป็นผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น (Dickinson. 1998) นอกจากนี้แคลเซียมอิออนทำให้พีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองลดลงเข้าใกล้กับจุดไอโซอิเล็กตริกของโปรตีนถั่วเหลือง (พีเอช 5.5) ทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการรวมตัวกัน ความสามารถในการละลายลดลง เกิดเป็น small aggregate ทำให้ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามถ้าเติมแคลเซียมอิออนในปริมาณมาก จะเป็นผลให้ small aggregate เหล่านี้รวมตัวกันกลายเป็น aggregate ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองเกิดการแยกชั้นตกตะกอน เช่นในกรณีที่ใช้แคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตน้อยกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ การแยกชั้นของน้ำนมถั่วเหลืองแก้ไขได้โดยการเพิ่มปริมาณตัวจับอิออนโลหะ ดังในการทดลองที่ใช้แคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเพิ่มโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมากกว่าหรือเท่ากับ 1.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำนมถั่วเหลืองจะไม่เกิดการแยกชั้น

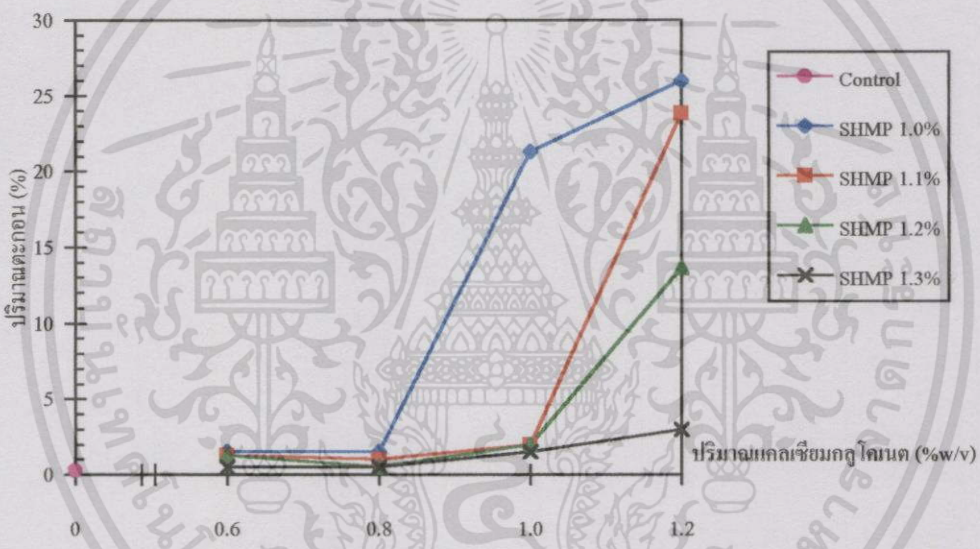
สำหรับปัจจัยด้านความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อความหนืดนั้น เมื่อพิจารณาที่ระดับแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่หากพิจารณาที่ระดับแคลเซียมกลูโคเนต 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียม-เฮกซาเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) โดยที่ระดับแคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์และใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1 เปอร์เซ็นต์ จะให้ความหนืดสูงที่สุด คือ 6.7 cp. เมื่อเพิ่มโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเป็น 1.2 เปอร์เซ็นต์ความหนืดจะลดลงเหลือ 3.58 cp. แต่หากใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในปริมาณน้อยกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำนมถั่วเหลืองจะเกิดการตกตะกอน มีการแยกชั้นของน้ำ ไม่สามารถวัดความหนืดได้ เพราะค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างเนื่องจากสารไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yazici (1997) ศึกษาผลของซีเควสเตรนท์ต่อความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม ซึ่งใช้แคลเซียมแลคโตกลูโคเนต 1.3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเติมโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลในการลดความหนืด แต่หากใช้ในปริมาณต่ำจะมีผลในการลดความหนืดไม่มาก โดยการใช้ในปริมาณ 1.0 1.25 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์จะมีความหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีคุณสมบัติเป็นตัวจับอิออนโลหะที่แข็งแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียม จึงมีผลในการลดหรือบดบังอิออนแคลเซียม และลดการประสานระหว่างโมเลกุลของโปรตีน โมเลกุลจึงไม่รวมตัวกัน (deagreegation) (Molins. 1991) ทำให้ค่าความหนืดของอิมัลชั่นไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการที่โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตไม่มีผลในการลดความหนืดเมื่อปริมาณแคลเซียม-กลูโคเนตต่ำกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากปริมาณแคลเซียมในระดับต่ำเป็นระดับที่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นไม่มากนัก จึงทำให้ความหนืดที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่หากใช้แคลเซียมกลูโคเนตในปริมาณมาก (มากกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์) มีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น การใช้โซเดียมเฮกซาเมตา-ฟอสเฟตในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมจะสามารถทำให้ความหนืดลดลงอย่างเห็นได้ชัด

การศึกษาความเสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมนั้น ตรวจสอบจากปริมาณของตะกอนที่ได้จากการนำน้ำนมถั่วเหลืองไปหมุนเหวี่ยงที่ 12000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ดังภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลร่วม (interaction) ต่อปริมาณตะกอน



หมายเหตุ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.0% และ Ca-Glu 1.2% + SHMP 1.1% เกิดการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์

ภาพที่ 4.4 ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองชุดควบคุมมีปริมาณตะกอนน้อยมากเพียง 0.25 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของกลูโคเนต 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีผลต่อปริมาณตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมกลูโคเนตเพิ่มขึ้นในช่วง 1.0-1.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) คือที่ระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.0 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้แคลเซียมกลูโคเนต 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณตะกอนจะเพิ่มขึ้นจาก 21.33 เป็น 26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณตะกอนจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในทุกระดับของแคลเซียมกลูโคเนตที่ทำการศึกษา และผลการทดลองของปริมาณตะกอนมีความสอดคล้องกับค่าความหนืด กล่าวคือเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นความไม่เสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 อายุการเก็บรักษาของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเติมแคลเซียมกลูโคเนตร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆภายในระยะเวลา 7 วัน

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	ปริมาณ SHMP (%w/v)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
Control	-	7
0.6	1	7
	1.1	7
	1.2	7
	1.3	7
0.8	1	7
	1.1	7
	1.2	7
	1.3	7
1.0	1	2
	1.1	7
	1.2	7
	1.3	7
1.2	1	coagulated
	1.1	coagulated
	1.2	1
	1.3	7

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาและความเสถียรของตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.3) พบว่าเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ น้ำนมถั่วเหลืองจะมีความเสถียรที่ดี ไม่พบการตกตะกอนขณะทำการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.5 และ 4.6) และเมื่อปริมาณแคลเซียมกลูโคเนตเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์ หากใช้โซเดียมเฮกซาเมตา-ฟอสเฟตน้อยกว่า 1.1 เปอร์เซ็นต์ จะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2 วัน โดยเริ่มพบการตกตะกอนในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่4.7) คือมีการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) ซึ่งน้ำเวย์ (whey) ที่อยู่บริเวณด้านบนมีสีเหลืองใส ส่วนตัวอย่างที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตในระดับสูงสุดที่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (1) = SHMP 1 % (2) = SHMP 1.1 %

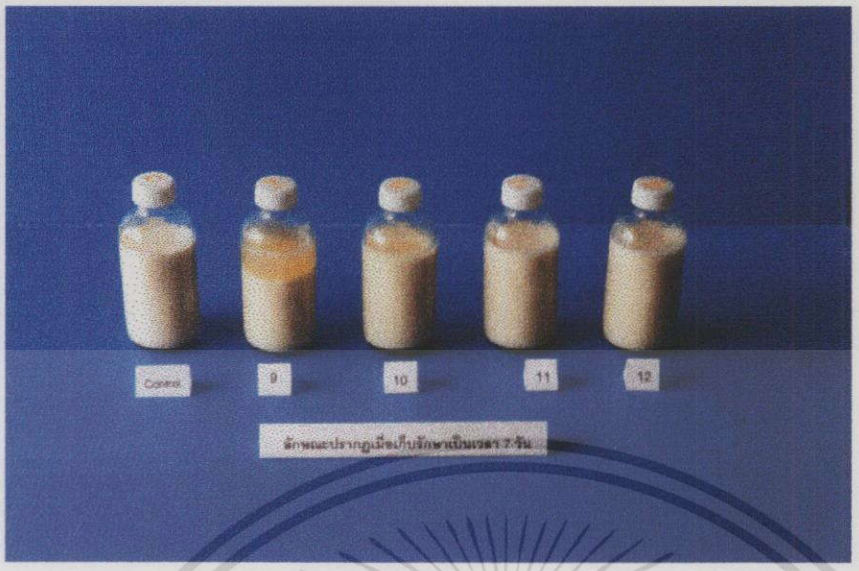
(3) = SHMP 1.2 % (4) = SHMP 1.3 %

ภาพที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (5) = SHMP 1 % (6) = SHMP 1.1 %

(7) = SHMP 1.2 % (8) = SHMP 1.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 1.0 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (9) = SHMP 1 % (10) = SHMP 1.1 %
(11) = SHMP 1.2 % (12) = SHMP 1.3 %

ภาพที่ 4.8 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 1.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (13) = SHMP 1 % (14) = SHMP 1.1 %
(15) = SHMP 1.2 % (16) = SHMP 1.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาคือ 1.2 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตน้อยกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตเห็นการตกตะกอนได้อย่างชัดเจนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ (ภาพที่ 4.8)

จากการพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมถึงความเสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ศึกษาในหัวข้อนี้ เพื่อเลือกตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม พบว่าปริมาณแคลเซียมกลูโคเนตสูงสุดที่เติมได้ โดยที่น้ำนมถั่วเหลืองยังคงมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำนมถั่วเหลืองชุดควบคุมมากที่สุด คือที่ระดับแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ ใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1 เปอร์เซ็นต์ คือมีความหนืดไม่แตกต่างจากน้ำนมถั่วเหลืองชุดควบคุมรวมทั้งมีความเสถียรในการเก็บรักษาที่ดี ไม่พบการตกตะกอนของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-hedonic scale ในด้าน สี กลิ่น รสชาติและความชอบรวม ผลคะแนนเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยความชอบ*
ความชอบรวม	5.5 ± 0.39
สี	6.7 ± 0.30
กลิ่นรส	6.0 ± 0.37
รสชาติ	5.1 ± 0.46

หมายเหตุ * 9 point scale หมายถึง ความชอบจากต่ำสุด (1) ถึงสูงสุด (9)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านความชอบรวมและรสชาติและอยู่ในระดับบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ ถึงชอบเล็กน้อย ส่วนกลิ่นรสอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมนี้ยังมีระดับการยอมรับทางประสาทสัมผัสค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะด้านรสชาติ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมแคลเซียมกลูโคเนตในปริมาณมากจึงมีรสชาติตกค้างของแคลเซียม (aftertaste) ภายหลังการรับประทาน Clydesdale (1991) พบว่าหากใช้แคลเซียมในปริมาณมากเสริมลงในอาหารอาจก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการหรืออาจเกิดรสฝาด (astringency) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้จะสามารถผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับน้ำนมถั่วเหลืองธรรมชาติได้ แต่หากผลิตภัณฑ์ยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ก็ยังไม่สามารถนำไปเป็นข้อสรุปในการนำไปใช้ในการผลิตทางการค้าต่อไปได้ ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในอันที่จะนำผลิตภัณฑ์มาผลิตในทางการค้า โดยทำการปรับลดปริมาณแคลเซียมกลูโคเนตลง จากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการใช้แคลเซียมกลูโคเนตในระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์น่าจะมีความเป็นไปได้มาก เนื่องจากเป็นระดับแคลเซียมสูงที่สุดที่ยังให้รสชาติที่ดี และระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่เหมาะสมซึ่งผลิตภัณฑ์ยังคงมีความเสถียรและมีคุณสมบัติทางกายภาพด้านความหนืดใกล้เคียงน้ำนมถั่วเหลืองชุดควบคุมคือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ จ2 ภาคผนวก จ) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.4 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยความชอบ*
ความชอบรวม	6.7 ± 0.28
สี	7.4 ± 0.21
กลิ่นรส	6.7 ± 0.30
รสชาติ	6.5 ± 0.31

หมายเหตุ * 9 point scale หมายถึง ความชอบจากต่ำสุด (1) ถึงสูงสุด (9)

เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ใช้แคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงขึ้นในทุกคุณลักษณะ โดยเฉพาะความชอบรวมซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมของตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งไม่มีการเติมแคลเซียมชนิดใดๆเลย จะประกอบด้วยปริมาณแคลเซียมโดยเฉลี่ย 16.8 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือมีปริมาณแคลเซียมเพียง 14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำนมวัวเท่านั้น (120 มิลลิกรัม/100 กรัม) และการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 0.10 เปอร์เซ็นต์ในขั้นตอนการบดถั่วเพื่อกำจัดกลิ่นถั่วเหลืองจะมีปริมาณแคลเซียมโดยเฉลี่ย 20.6 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากแคลเซียมที่เติมลงไปนี้ปะปนอยู่ในส่วนของกากถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลือง และน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

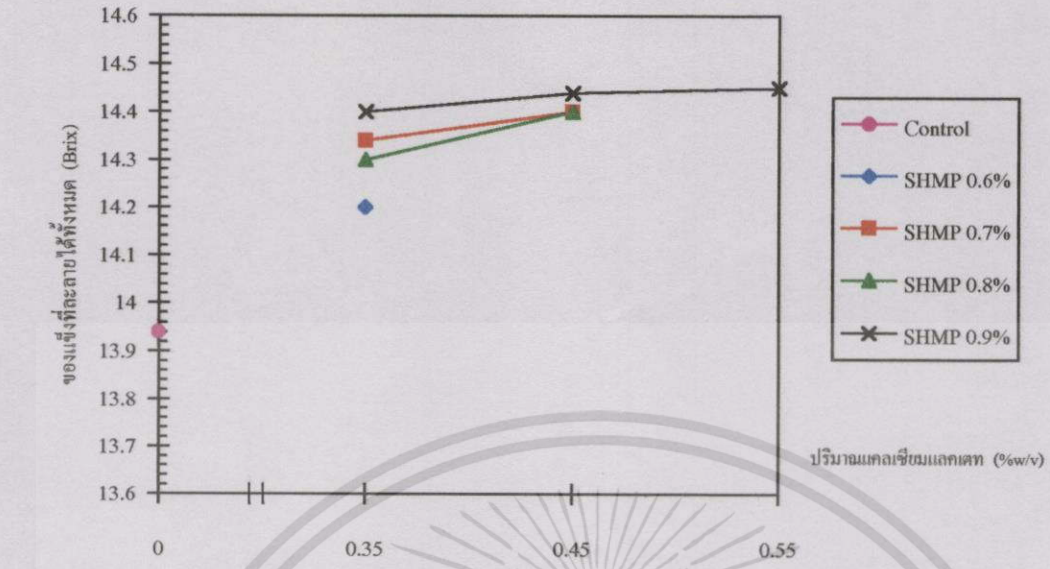
ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)
1.น้ำนมถั่วเหลือง	16.8
2. น้ำนมถั่วเหลือง (บดถั่วเหลืองกับ $CaCO_3$ 0.1% ; control)	20.6
3. น้ำนมถั่วเหลือง + Ca Gluconate 0.2 % + SHMP 0.4 %	38.1
4. น้ำนมถั่วเหลือง + Ca Gluconate 0.8 % + SHMP 1.1 %	91.5

สำหรับน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมซึ่งเตรียมจากแคลเซียมกลูโคเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณสูงที่สุดที่ยังคงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม ประกอบด้วยปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย 91.5 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือคิดเป็น 76 เปอร์เซ็นต์ของน้ำนมวัว ส่วนน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมซึ่งได้จากแคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ มีปริมาณแคลเซียมโดยเฉลี่ย 38.1 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ของน้ำนมวัว ทั้งนี้เป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณแคลเซียมในน้ำนมคนเล็กน้อย (35 มิลลิกรัม/100 กรัม) (Liu. 1997)

4.3 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

การทดลองในส่วนนี้ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 แต่ศึกษาโดยใช้แคลเซียมแลคเตท วางแผนการทดลองแบบ 3 x 4 แฟคทอเรียล ปัจจัยคือ ปริมาณแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต แปรปริมาณแคลเซียมแลคเตทเป็น 0.35 0.45 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ส่วนโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตแปรปริมาณเป็น 0.6 0.7 0.8 และ 0.9 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม (control) ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพแสดงในตารางที่ จ3 (ภาคผนวก จ) ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับการใช้แคลเซียมกลูโคเนต สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองแสดงดังภาพที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

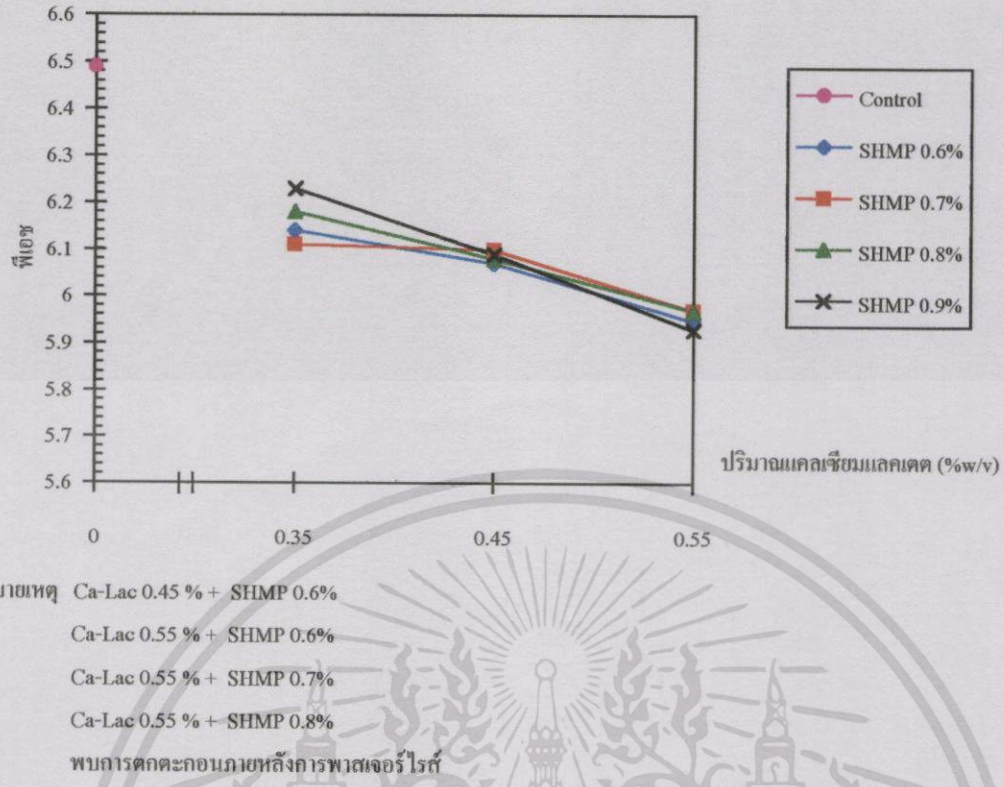


หมายเหตุ Ca-Lac 0.45 % + SHMP 0.6%
Ca-Lac 0.55 % + SHMP 0.6%
Ca-Lac 0.55 % + SHMP 0.7%
Ca-Lac 0.55 % + SHMP 0.8%
พบการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์

ภาพที่ 4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเกลือที่ใช้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ตัวอย่างที่เติมแคลเซียมแลคเตท 0.45 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6 เปอร์เซ็นต์ จะพบการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์และมีการแยกชั้นของน้ำเวย์ จึงไม่สามารถทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดได้เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ใช้แคลเซียมแลคเตท 0.55 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในระดับต่างๆแสดงดังภาพที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



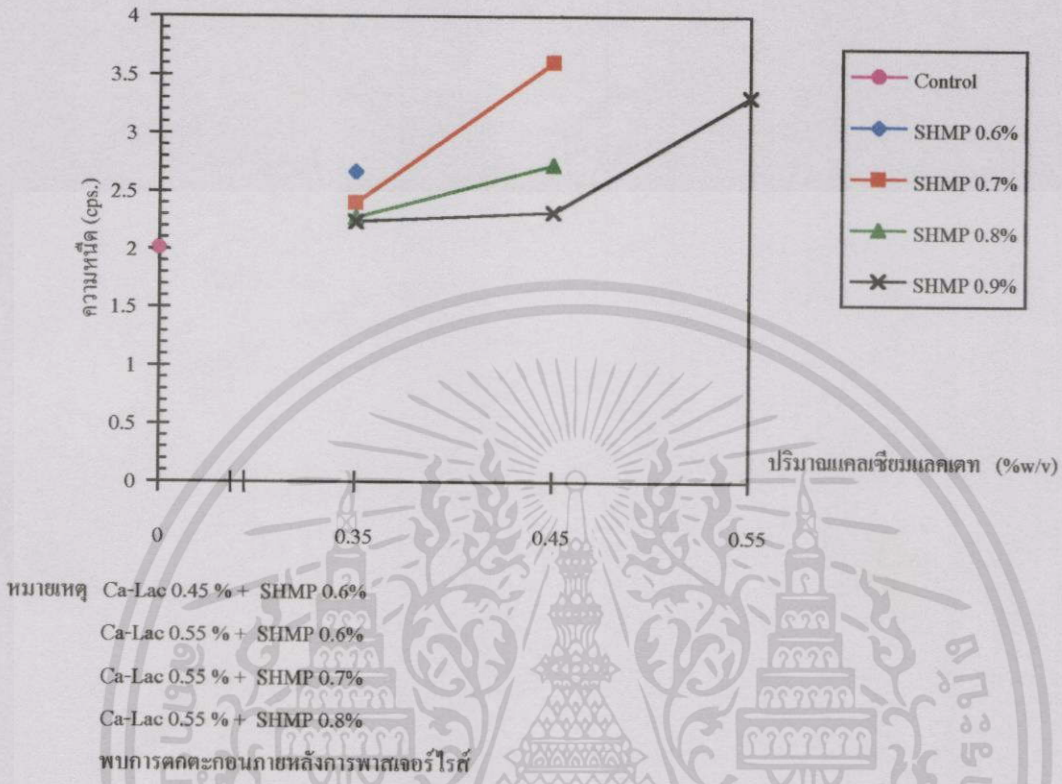
ภาพที่ 4.10 พีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

จากภาพที่ 4.10 พบว่า น้ำนมถั่วเหลืองควบคุมมีพีเอชเท่ากับ 6.49 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชนั้น เห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีค่าพีเอชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในทุกระดับของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ทำการศึกษา โดยพีเอชจะลดลงจากช่วง 6.11-6.23 เป็น 5.93- 5.97 ที่ระดับแคลเซียมแลคเตท 0.35 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Ono *et. al.* (1993) ซึ่งพบว่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองจะลดลง สาเหตุดังได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.2

สำหรับปัจจัยด้านความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตนั้นไม่มีผลต่อพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ดังนั้นการลดลงของพีเอชในน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม จึงเนื่องมาจากการเติมแคลเซียมแลค-เตทเป็นสำคัญ เช่นเดียวกับในกรณีของการใช้แคลเซียมกลูโคเนต และพบว่าแคลเซียมแลคเตทจะทำให้พีเอชลดต่ำลงใกล้เคียงกันกับแคลเซียมกลูโคเนตแม้จะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าก็ตาม อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการละลายของแคลเซียมแลคเตทซึ่งสูงกว่าแคลเซียมกลูโคเนต สำหรับความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองที่ปริมาณแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นแสดงดังภาพที่ 4.11 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลร่วม (interaction) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด



ภาพที่ 4.11 ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

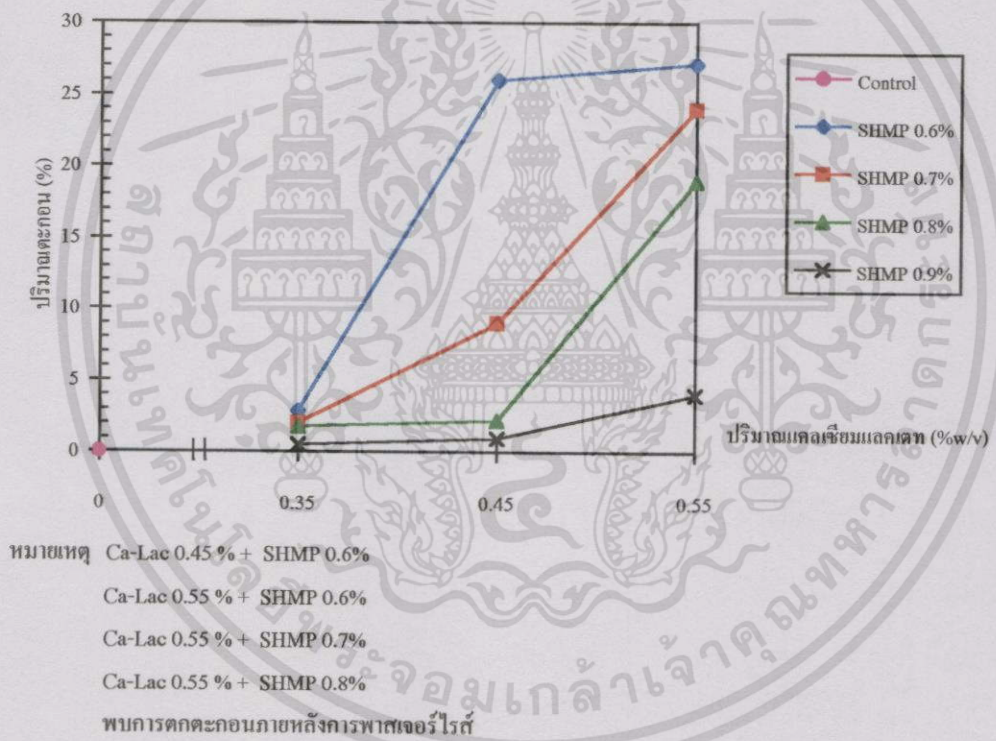
ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเท่ากัน เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prabharaksa (1989) ซึ่งศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตทต่อความหนืดของน้ำนมถั่วเหลือง พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตทมีผลทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยการใช้ในปริมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 4.68 เป็น 10.10 cp ส่วนสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความหนืดนั้นดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.2 ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต

ส่วนผลของความเข้มข้นโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อความหนืดของน้ำนมถั่วเหลืองนั้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยที่ระดับแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดเมื่อปริมาณโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้น คือจะมีความหนืดอยู่ในช่วง 2.24-2.67 cp. แต่ที่ระดับแคลเซียมแลคเตท 0.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 0.7 เป็น 0.9 เปอร์เซ็นต์ ความหนืดจะลดลงจาก 3.61 เป็น 2.32 cp. และหากใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในปริมาณ 0.6 เปอร์เซ็นต์ จะพบการตกตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ เช่นเดียวกันกับการใช้แคลเซียมแลคเตท 0.55 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในปริมาณ 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดการตกตะกอนเช่นกัน

สาเหตุที่โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลในการลดความหนืดนั้น เนื่องมาจากโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตจะรวมตัวกับแคลเซียมอิออนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ความว่องไวของแคลเซียมอิออนในการที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนลดน้อยลง (Molin. 1991)ส่วนค่าปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตา-ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆแสดงดังภาพที่ 4.12 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมีผลร่วม (interaction) ต่อปริมาณตะกอน



ภาพที่ 4.12 ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตทและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในทุกระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ทำการศึกษา เช่น ที่ระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตท 0.35 0.45 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณตะกอนจะเพิ่มขึ้นจาก 2.84 เป็น 26.0 และ 27.15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณตะกอนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตา-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในทุกระดับของแคลเซียมแลคเตทที่ทำการศึกษา สาเหตุการเกิดตะกอนของน้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทเมื่อนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 12000 รอบต่อนาที อธิบายได้เช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมกลูโคเนตในหัวข้อ 4.2

ตารางที่ 4.7 อายุการเก็บรักษาของน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเติมแคลเซียมแลคเตทร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆภายในระยะเวลา 7 วัน

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	ปริมาณ SHMP (%w/v)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
Control	-	7
0.35	0.6	7
	0.7	7
	0.8	7
	0.9	7
0.45	0.6	coagulated
	0.7	4
	0.8	7
	0.9	7
0.55	0.6	coagulated
	0.7	coagulated
	0.8	coagulated
	0.9	7

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าเมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีความเสถียรดี ไม่พบการตะกอนขณะทำการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.13) และเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมแลคเตทเป็น 0.45 เปอร์เซ็นต์ การใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในระดับ 0.6 เปอร์เซ็นต์จะพบการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งหากเพิ่มโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตเป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน โดยพบการตกตะกอนในวันที่ 5 (ภาพที่ 4.14) ของการเก็บรักษา น้ำเวย์ที่แยกชั้นอยู่บริเวณด้านบนมีสีเหลืองอ่อนและขุ่น ส่วนตัวอย่างที่เติมแคลเซียมแลค-เตทในระดับสูงสุดที่ทำการศึกษาคือ 0.55 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตเห็นการตกตะกอนภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ (ภาพที่ 4.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.13 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (1) = SHMP 0.6 % (2) = SHMP 0.7 %

(3) = SHMP 0.8 % (4) = SHMP 0.9 %

ภาพที่ 4.14 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.45 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (5) = SHMP 0.6 % (6) = SHMP 0.7 %

(7) = SHMP 0.8 % (8) = SHMP 0.9 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.15 ลักษณะปรากฏของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.55 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน

หมายเหตุ (9) = SHMP 0.6 % (10) = SHMP 0.7 %

(11) = SHMP 0.8 % (12) = SHMP 0.9 %

เพื่อเลือกตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่มีคุณสมบัติความเสถียรในการเก็บรักษาใกล้เคียงกับน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม พบว่าปริมาณแคลเซียมแลคเตทสูงสุดที่เติมได้โดยที่น้ำนมถั่วเหลืองยังคงมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำนมถั่วเหลืองชุดควบคุมมากที่สุดคือ แคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.8 เปอร์เซ็นต์ คือมีปริมาณความหนืดและปริมาณตะกอนไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($P>0.05$) (ภาคผนวก จ ตารางที่ จ3) รวมทั้งมีความเสถียรในการเก็บรักษาที่ดี ไม่พบการตกตะกอนของน้ำนมถั่วเหลือง นำตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองนี้มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-hedonic scale ในคุณลักษณะต่างๆ ซึ่งผลคะแนนเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์และ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.8 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยความชอบ *
ความชอบรวม	5.7 ± 0.43
สี	7.2 ± 0.22
กลิ่นรส	6.1 ± 0.40
รสชาติ	5.4 ± 0.41

หมายเหตุ * 9 point scale หมายถึง ความชอบจากต่ำสุด (1) ถึงสูงสุด (9)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่เติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสีอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก แต่ทางด้านรสชาติและความชอบรวมอยู่ในระดับบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ ถึงชอบเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมยังมีระดับการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะทางด้านรสชาติค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากรสตกค้างของแคลเซียม (aftertaste) จึงทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับเพิ่มมากขึ้น โดยทำการปรับลดปริมาณแคลเซียมแลคเตทลง ซึ่งจากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ น่าจะมีความเป็นไปได้มากเนื่องจากเป็นระดับแคลเซียมสูงที่สุดที่ไม่มีรสชาติตกค้าง (aftertaste) และระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่เหมาะสมซึ่งผลิตภัณฑ์ยังคงมีความเสถียรและมีค่าความหนืดใกล้เคียงน้ำนมถั่วเหลืองควบคุมคือ 0.6 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก จ ตารางที่ จ4) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยความชอบของลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยความชอบ *
ความชอบรวม	7.0 ± 0.16
สี	7.6 ± 0.18
กลิ่นรส	6.7 ± 0.32
รสชาติ	6.7 ± 0.35

หมายเหตุ * 9 point scale หมายถึง ความชอบจากต่ำสุด (1) ถึงสูงสุด (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนสีและความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์นี้มีคะแนนความชอบในทุกๆด้านเพิ่มขึ้นจากนมถั่วเหลืองที่ใช้แคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความชอบรวมและรสชาติ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองนี้ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณแคลเซียมในน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมโดยแคลเซียมแลคเตท

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)
1.น้ำนมถั่วเหลือง	16.8
2.น้ำนมถั่วเหลือง + Ca Lactate 0.25% + SHMP 0.6 %	58.5
3.น้ำนมถั่วเหลือง + Ca Lactate 0.35% + SHMP 0.8 %	66.4

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมซึ่งเตรียมจากแคลเซียมแลคเตท 0.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับสูงที่สุดที่ยังคงทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกับน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม จะประกอบด้วยปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย 66.4 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือคิดเป็นปริมาณแคลเซียมประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำนมวัว (120 มิลลิกรัม/100 กรัม) ส่วนน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งเตรียมจากแคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นระดับที่ผู้ชิมยอมรับ จะมีปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย 58.5 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์ของน้ำนมวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 38.25±0.54 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 20.88±0.47 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 11.30±0.47 เปอร์เซ็นต์

2. การแช่ถั่วด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตนั้นมีผลในการกำจัดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองได้ โดยการใช้ในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w ของถั่วเหลืองแห้ง) จะให้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อยที่สุดและไม่มีความเฝื่อน การใช้ในปริมาณมากกว่าระดับนี้แม้จะลดกลิ่นถั่วเหลืองได้บ้างแต่น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีรสเฝื่อน

3. การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในขั้นการบดถั่วเหลือง มีผลในการกำจัดกลิ่นถั่วเหลือง ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.10 เปอร์เซ็นต์ (w/w ของถั่วเหลืองแห้ง) ซึ่งจะให้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสเฝื่อน และยังสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้กับน้ำนมถั่วเหลืองอีกด้วย คือ จาก 16.8 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม เป็น 20.6 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม

4. เมื่อความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชของน้ำนมถั่วเหลืองลดลง ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำนมถั่วเหลือง

5. จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีผลร่วม (interaction) ระหว่างเกลือแคลเซียมและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตต่อค่าความหนืดและความเสถียรซึ่งอยู่ในรูปของปริมาณตะกอนของน้ำนมถั่วเหลือง ที่ระดับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตคงที่ เมื่อความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดและปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ้าความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมคงที่การเพิ่มปริมาณโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตทำให้ค่าความหนืดและปริมาณตะกอนลดลง

6. ปริมาณแคลเซียมสูงสุดที่เติมได้โดยที่น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมมีค่าความหนืดและอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำนมถั่วเหลืองควบคุม ในกรณีของแคลเซียมกลูโคเนต คือการใช้ที่ระดับ 0.8 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 1.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้แคลเซียม 91.5 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม หรือเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแคลเซียมในน้ำนมวัว ส่วนในกรณีของแคลเซียมแลคเตท คือการใช้ที่ระดับ 0.35 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.8 เปอร์เซ็นต์ จะให้แคลเซียม 66.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม หรือเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแคลเซียมในน้ำนมวัว อย่างไรก็ตามผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการยอมรับของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมทั้งสองตัวอย่างยังค่อนข้างต่ำ เป็นผลมาจากรสชาติตกค้างของแคลเซียม

7. น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ผู้ชิมให้การยอมรับ ในกรณีของแคลเซียมกลูโคเนต ได้จากการใช้แคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.4 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 38.1 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าปริมาณแคลเซียมในน้ำนมคนเล็กน้อย (35 มิลลิกรัม/100 กรัม) ในกรณีของแคลเซียมแลคเตท ได้จากการใช้แคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 0.6 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 58.5 มิลลิกรัม/น้ำนมถั่วเหลือง 100 กรัม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมในการทดลองนี้ คือการเกิดรสขมเฝื่อนภายหลังรับประทาน (aftertaste) ของแคลเซียมอิออน ทำให้ไม่สามารถเสริมแคลเซียมลงไปในปริมาณที่สูงได้ ซึ่งกลไกการเกิดรสชาติตกค้างยังไม่ทราบแน่ชัด อย่างไรก็ตามแคลเซียมที่มีในแหล่งอาหารตามธรรมชาติ เช่นนมวัว ไม่เกิดปัญหาเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากแคลเซียมในธรรมชาติอยู่ในรูปที่จับกับองค์ประกอบอื่น เช่นจับกับเคซีนในกรณีของนมวัว มิใช่เป็นแคลเซียมอิออนที่จับกับซีเควสแตรนท์เหมือนในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นในการทดลองต่อไป อาจเตรียมแคลเซียมอิออนให้จับ (bound) กับสารอื่นหรือทำการห่อหุ้ม (encapsulate) แคลเซียมอิออนไว้ เมื่อเติมลงในน้ำนมถั่วเหลืองอาจช่วยลดปัญหาของ aftertaste ทำให้สามารถเสริมแคลเซียมในปริมาณที่สูงขึ้นได้

2. ในปัจจุบันน้ำนมถั่วเหลืองบรรจุกล่องเตตร้าแพ็คเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง การศึกษาต่อไป จึงควรทดลองศึกษาผลของการสเตอริไรส์ต่อคุณสมบัติและความเสถียรของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม เพื่อเป็นข้อมูลนำไปใช้ในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองบรรจุกล่องเตตร้าแพ็คได้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมที่ผลิตได้ สามารถนำไปอุ่น (recook) ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 นาที โดยไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำนมถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ. 2532. "อิทธิพลของสารเจือปนในอาหารและคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองที่มีต่อปริมาณโปรตีน และคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองเข้มข้น." **วารสารอาหาร.** 19(1) : 8-24.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. "เต้าหู้หลอด." **วารสารอาหาร.** 15(4) : 224-244.

ทนง ภัครัชพันธุ์. 2522. **เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหาร.** กรุงเทพ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์, (บรรณาธิการ). 2535. **สารอาหารที่นิยมใช้เพื่อเสริมสุขภาพและต้านโรค.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

นงลักษณ์ สุขวาณิชย์ศิลป์. 2529. "บทบาทของแคลเซียมในทรรศนะปัจจุบัน." **วารสารเภสัชศาสตร์.** 13(2) : 50-51.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2534. **คอลลอยด์.** เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2537. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น.** กรุงเทพ : โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. **เคมีอาหาร.** เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิพล ธนธัญญา. 2541. "รู้จักแคลเซียม อย่างประโยชน์สูง ประหยัดสุด." **หมอชาวบ้าน.** 20(234) : 16-17.

น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป. 2540. "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญส่ง องค์พิพัฒนกุล. 2540. "โรคกระดูกพรุน." **หมอชาวบ้าน.** 19(221) : 20-22.

ประภาศรี ภูวเสถียร. 2532. "อาหารกับกระดูกและฟัน." **หมอชาวบ้าน.** 11(126) : 32-35.

เพียงจันทร์ ชัยวนนท์. 2540. "นมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียมและความสามารถในการนำแคลเซียมไปใช้." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. 2535. **เครื่องดื่ม.** เชียงใหม่ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาลัย บุญรัตนกรกิจ. 2530. "แหล่งธาตุอาหารแคลเซียมในผลิตภัณฑ์จากธัญพืช." **วารสารอาหาร**. 17(1) : 37-44.

ยุวดี พัฒนโภคาสิน. 2541. **โปรตีนและการสังเคราะห์โปรตีน**. กรุงเทพ : ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

รัชตะ รัชตะนาวิน. 2538. "ปัญหาเกี่ยวกับโรคกระดูกพรุนในประเทศไทย." หน้า 35-36. ใน ทรงศักดิ์ ศรีอนุชาติและคณะ. **การประชุมโภชนาการ'38**. กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยมหิดล.

วรรณี จตุรจำเริญชัย. 2540. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนนมที่มีปริมาณแลคโตสต่ำ แคลเซียมสูง และ มีสัดส่วนของกรดไขมันที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคทั่วไปและคนที่กินเจ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล.

วันชัย สมชิต. 2527. "คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง." **เอกสารถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. กรุงเทพ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2524. **วัตถุเจือปนในอาหาร**. เล่มที่1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. **วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

สมชาย ประภาวัติ. 2523. "นมเทียมจากพืช." **วารสารอาหาร**. 12(4) : 296-313.

สมชาย ประภาวัติ และคณะ. 2527. "คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง." **เอกสารถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. กรุงเทพ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี เจริญเกียรติกุล และประภาศรี ภูวเสถียร. 2540. "แคลเซียม ธาตุสำคัญในกระดูก." **หมอชาวบ้าน**. 19(221) : 12-21.

ส่วนวิจัยเกษตรกรรม ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2533. **อาหารเสริมสุขภาพ**. กรุงเทพฯ : ธนาคารกสิกรไทย.

_____. 1992. "Stabilisation of UHT-processed soy beverages with carrageenan." **Asia Pacific Food Industry**. 4(3) : 64-67.

_____. 1993. "Rediscovering calcium fortification." **Prepared Foods**. 162(12) : 65.

A.O.A.C. 1995. **Official Method of Analysis**. 16 th ed., Virginia : The Association of Official Analytical Chemists. .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bontenbal, E. and J.D. Koos. 1995. "soluble calcium, magnesium and ferrous in fortified and functional food products." **Food Tech Europe.** (1) : 56-60.

Borhan M., and H.E. Synder. 1979. "Lipoxygenase Destruction in Whole Soybeans by Combinations of Heating and Soaking in Ethanol." **J. Food Sci.** 44(2) : 586-589.

Bourne, M.C. et. al. 1976. "Effect of sodium alkali and salts on pH and Flavour of soymilk" **J. Food Sci.** 41 : 62-66.

Che Man, Y.B. et al. 1989. "Inactivation of Lipoxygenase in whole Soyabeans at Low pH." **Asean Food Journal.** 4(4) : 145-149.

Clydesdale, F.M. 1991. **Nutrient Additions to foods.** Connecticut : Food & Nutrition Press.

Dickinson, E. 1998. " Structure, stability and rheology of flocculation emulsions." **J. Agr. Food Chem** . 3 : 633-638.

Doi, E. 1993. "Gels and gellings of globular proteins." **Trends in Food Science & Technology.** 4 : 1-5.

Dziezak, J.D. 1990. "Phosphate Improve Many Foods." **Food Tech.** 44 : 80-86,92.

Ediriweera, N.D. 1996. "Effect of Calcium Salts in Minimising Beany Flavour in soymilk." 166-170. in Buchanan, A. In the Proceesings of the Second International soybean Processing and Utilization . Bangkok : Kasetsart University.

Fennema, O.R. 1996. **Food Chemistry.** 3th ed. New York : Marcel Dekker Inc.

Goldscher, R.L and S. Edelstein. 1996. "Calcium citrate : A Revised look at Calcium Fortification. **Food Tech.** 5(6) : 69-98.

Hitotsuka, M. *et al.* 1984. "Calcium Fortification of Soy Milk with Calcium-Lecithin Liposome System." **J. Food Sci.** 49 : 1111-1112,1127.

Igoe, R.S. 1989. **Dictionary of Food Ingredients.** New York : Van Nostrand Reinhold.

Igoe, R.S. and Y.H. Hui. 1996. **Dictionary of Food Ingredients.** 3 rd ed. New York : Chapman & Hall.

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

Kohyama, K. *et. al.* 1995. "Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu (soybean curd)." **J. Ageic. Food Chem.** 43 : 1808-1812.

Kwok, K. and K. Niranjan. 1995. "Review : Effect of thermal processing on soymilk."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lambrecht, H.S. *et .al.* 1996. "Effect of soybean storage on tofu and soymilk production." **J. of Food Quality**. 19 : 189-202.

Levenson, D.I. and R.S. Bockman. 1994. "A Review of Calcium Preparation." **Nutr Rev.** 57(7) : 221-232.

Liu, K. 1997. **Soybean : Chemistry, Technology, and Utilization**. New York : Chapman & Hall.

Lu, J.Y. *et. al.* 1980. "Use of calcium salts for soybean curd preparation. **J. Food Sci.** 45 : 32-34.

Mustaka. C.C. et. al. 1969. "Lipoxidase deactivation to improve stability ordor and flavor of full fat soy flours." **J. Am. Oil. Chem.** 46 : 624.

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

Nelson, A.I. *et al.* 1976. "Illinois Process for Preparation of Soymilk." **J. Food Sci.** 41 : 57-61.

Obaidy, H.M. and A. M. Siddhiqui. 1981. "Properties of broad bean lipoxygenase." **J. of Food. Sci.** 46 : 622.

Ohr, L.M. 1997. "Fortifying for the Health of It." **Prepared Foods**. 116(12) : 55-60.

Ono, T. *et al.* 1993. "Influences of Calcium and pH on Protein Solubility in Soybean Milk." **Biosci. Biotech. Biochem**. 57 (1) : 24-28.

Prabharaksa, C. *et al.* 1989. "Enrichment of Soybean Milk with Calcium." **Acta Biotechnol**. 9 : 9-16.

Rasyid, F. and P.M.T. Hansen. 1991. "Stabilization of Soy Milk Fortified with Calcium Gluconate." **Fd. Hydrocoll**. 4 : 415-422.

Rham, O. and T. Jost. 1978. "Phytate-Protein Interaction in Soybean Extracts and Low-Phytate Soy Protein Products." **J. Food Sci.** 44 : 596-600.

Saio et. al. 1969 ."Protein-Calcium-Phytic Acid Relationships in soybean : Part II Effect of Phytic Acid on Coagulative Reaction in Tofu-making." **Agr. Biol. Chem.** 33(1) : 36-42.

Smith, J. 1993. **Food Additive User's Handbook**. Malta : Blackie Academic & Professional. Heidelberg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Valkengoed, B.V. 1992. "Calcium lactate finds application in sports drinks and calcium-enriched beverage." **Asia Pacific Food Industry**. 4(3) : 68-69.

Wilkens, W.F. *et al.* 1976. "Effect of Processing Method on Oxidative Off- Flavors of Soybean Milk." **Food Tech**. 21 : 86-89.

Yazici, F. et al. 1997. "Formulation and Processing of a Heat Stable Calcium-fortified Soy Milk." **J. Food Sci.** 62(3) : 535-538.

Zayas, J.F. 1997. **Functionality of Proteins in Food**. New York : Springer-Verlag Berlin .

Zemel, M.B. and L.A. Shelef. Calcium Fortified Soy Milk. E.U. patent no.195167, September 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC. 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can อบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียด ใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ - น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์โปรตีนแบบ Buchi – Kjeldahl – System (AOAC. 1995)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซนต์
3. กรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 32 เปอร์เซนต์
5. คะตะลิสต์ (Catalyst) เตรียมโดยผสมซีลิเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) 2.5 กรัม โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 5H_2O$) 20 กรัม เข้าด้วยกัน
6. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)
   ก. เตรียม Bromocresol green ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซนต์ ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซนต์ และเตรียม Methyl red ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 95 เปอร์เซนต์
   ข. ผสม Bromocresol green 10 มิลลิลิตร กับ Methyl red 2 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน digestion vessel
2. เติมคะตะลิสต์ 5 กรัม เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 15 มิลลิลิตร และ glass beads
3. นำ digestion vessel ตั้งในชุดย่อยโปรตีน ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส
4. นำหลอดที่ย่อยเสร็จแล้วใส่ในเครื่องกลั่นโปรตีน (Buchi) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ 4 – 5 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2 – 3 หยด ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล จนสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีใส ไม่มีสี
6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจาก

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{\text{N.HCl} \times \text{ml.HCl} \times 14 \times 6.25 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC. 1995)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างอาหารที่บดแล้ว 3 – 4 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือได้น้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างอาหารจากข้อ 1 ประมาณ 3-4 กรัม (ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบิล (thimble) อุดปากทิมเบิลด้วยสำลีที่สกัดไขมันออกแล้ว
3. นำทิมเบิลเข้าเครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ในปริมาณเพียงพอที่จะให้เกิดการสกัดอย่างสมบูรณ์ลงในฟลาสก์ที่อบแห้งและชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำฟลาสก์และชุดสกัดต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ ทำการสกัดโดยใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง
4. แยกฟลาสก์และคอนเดนเซอร์ออกจากชุดสกัด ใช้คีมคีบสำลีและทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างอาหารออกมา เทของแข็งออกจากทิมเบิล นำมาบดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อสกัดไขมันในของแข็งออกมาให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เทของแข็งที่สกัดแล้วกลับเข้าทิมเบิลอีกครั้งหนึ่ง เริ่มทำการสกัดเช่นเดิมโดยเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไปอีก ใช้สำลีที่สกัดไขมันออกแล้วอุดทิมเบิลไว้ สกัดต่ออีกครั้งโดยใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง
6. นำฟลาสก์ไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ โดยอบในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาร้อยละของไขมันจาก

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้}}{100 - \text{ปริมาณความชื้น}} \times 100$$

ตารางที่ ก1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเหลืองโม่ผ่าซีกพันธุ์เชียงใหม่ 60

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)*
ความชื้น	11.30 ± 0.47
โปรตีน	38.25 ± 0.54
ไขมัน	20.88 ± 0.47

* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Al-obaidy และ Siddiqi. 1981)

สารเคมี

1. Borate buffer พีเอช 9.0 เตรียมจาก

   ก. สารละลาย A : ละลาย $Na_2B_4O_7.10H_2O$ ความเข้มข้น 0.0025 โมล

   ข. สารละลายกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.1 โมล

   ผสมสารละลาย A กับสารละลาย B พร้อมกับวัดให้ได้พีเอช 9

2. สารละลายสับสเตรท เตรียมโดยละลาย tween 20 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ด้วย Borate buffer พีเอช 9.0 10 มิลลิลิตร เติมกรด linoleic 0.5 มิลลิลิตร ทีละหยด ผสมให้เข้ากันเป็นอิมัลชั่น จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาณ 1.3 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน จนได้สารละลายใส และเติม Borate buffer อีก 90 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้นี้มีกรด linoleic 7.5×10^{-3} M และ Tween 20 ร้อยละ 0.25

วิธีวิเคราะห์

1. นำน้ำนมถั่วเหลืองมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 เท่า จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที รินเอาของเหลวที่อยู่ด้านบนเพื่อใช้เป็น crude enzyme extract
2. นำสารละลายสับสเตรทมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 5 เท่า ปรับ pH ให้เป็น 7.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น จากนั้นให้ออกซิเจนแก่สารละลายสับสเตรทเป็นเวลา 2 นาที และทิ้งไว้ 10 นาที ก่อนนำไปใช้เพื่อให้สับสเตรทมีความคงตัวดี
3. ปิเปตสารละลายสับสเตรทจากข้อ 2 มา 3 มิลลิลิตร ลงใน silica cell วัด absobance ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) เติม crude enzyme extract ที่เจือจางแล้ว ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมกันอย่างรวดเร็ว วัด absorbance ที่ 234 nm และอ่านค่า absorbance ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 30 วินาที
4. คำนวณอัตราปฏิกิริยาเอนไซม์จาก

$$\text{อัตราปฏิกิริยาเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส} = \Delta \text{OD} / \text{วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (AOAC. 1995)

สารเคมี

1. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ความบริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์ อบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
2. stock solution เข้มข้น เตรียมโดยชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต 1.249 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น (1+3) 30 มิลลิลิตร เมื่อละลายหมด ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำปราศจากอิออน (deionized water) (สารละลายมีความเข้มข้นแคลเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร)
3. stock solution เจือจาง เตรียมโดยปิเปตสารละลายในข้อ 2 มา 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากอิออน (มีความเข้มข้นแคลเซียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร)
4. แลนทานัม (La_2O_3) 1 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยละลายแลนทานัมออกไซด์ 11.73 กรัมในกรดไนตริกเข้มข้น ค่อยๆเติมกรดอย่างช้าๆ เมื่อละลายหมด ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัมใส่ในครูซิเบิล ทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นเผาให้หมดควันด้วยแผ่นให้ความร้อน เผาต่อให้เป็นเถ้าใน furnace ที่ 525 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง และทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์
2. ละลายเถ้าด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากอิออน (จะได้สารละลาย A)
2. ปิเปตสารละลาย A มา 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายแลนทานัม 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากอิออน
4. การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมโดยปิเปตสารละลาย stock solution เจือจางมา 0 5 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรแต่ละใบ เติมสารละลายแลนทานัม 10 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตร สร้างกราฟมาตรฐานโดยพลอตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นแคลเซียม (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณปริมาณแคลเซียมจาก

$$\text{ปริมาณแคลเซียม (ppm)} = \frac{(A-B) \times V \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

B คือ ค่า Blank (มิลลิกรัม/ลิตร)

V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย A (มิลลิลิตร)

F คือ Dilution Factor

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

หมายเหตุ ในการทดลองนี้ใช้สภาวะการวิเคราะห์ ดังนี้

wavelength : 422.7 nm	PMT Voltage : 560 V
Slit Width : 1.30 nm	Lamp Current : 7.5 mA
Atomizer : Standard	Flame : Air-C_2H_2
Fuel Flow : 1.9 l/min	Oxidant Pressure : 160 kPa
Oxidant Flow : 15.0 l/ min	Burner Height : 7.5 mm
Time constant : 1.00 s	Measurement time : 4.0 s
Delay time : 4 s	

ภาพที่ ค1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Shimaszu รุ่น Z 8200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณภาพโดยวิธีทางกายภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Rheometer

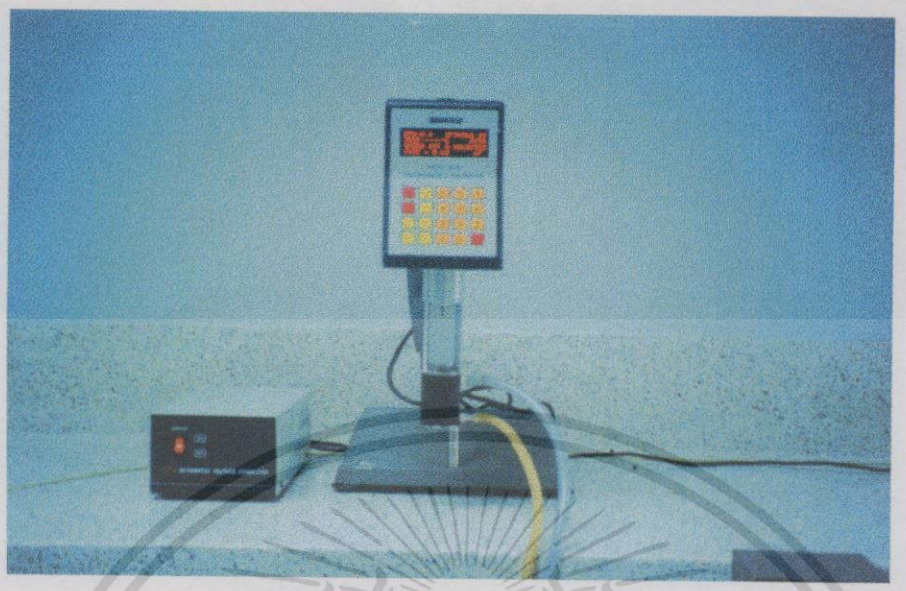
อุปกรณ์

1. ปิเปต
2. เข็มวัดเบอร์ SC4-18
3. Chamber SC4-13R
4. ชุด Small Sample Adapter
5. Cooling bath

วิธีวิเคราะห์

1. เช็คระดับลูกน้ำ ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ที่จุดกึ่งกลางของกรอบและเปิด Power Switch ด้านหลังตัวฐานของเครื่อง
2. กดปุ่ม Motor on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อหน้าจอขึ้น Auto zero is complete กดปุ่ม Next
3. ผสมตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองให้เข้ากัน ปิเปตตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองมา 8 มิลลิลิตร ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด Small Sample Adapter ควบคุมอุณหภูมิตลอดการวิเคราะห์ที่ 25 องศาเซลเซียสด้วย cooling bath
4. ใส่เข็มเบอร์ SC4-18 และจุ่มเข็มลงในตัวอย่างจนท่วมรอยที่กึ่งกลางเข็ม
5. กด Select SPDL เพื่อเลือกรหัสของเข็ม (ในที่นี้คือ 18) และกด Select SPDL อีกครั้งเพื่อตอบตกลง
6. ใส่ตัวเลขที่ความเร็วรอบ 250 rpm หลังจากนั้น Motor จะเริ่มทำงานโดยสังเกตหัวเข็มเริ่มหมุน อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (centipoise ,cPs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง1 เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Rheometer รุ่น LVDV-III)

ภาพที่ ง2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความหนืด คือ Chamber SC4-13R (ซ้าย) และเข็มวัดเบอร์ SC4-18 (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ปริมาณตะกอน (ดัดแปลงจาก McDemott *et al.* 1981 ; Rasyid and Hansen. 1991)

สารเคมี

เมธิลีนบลู 1 เปอร์เซ็นต์

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร ผสมกับเมธิลีนบลู 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและใส่ในหลอด haematocrit tubes
2. นำไปเซนตริฟิวจ์ด้วยเครื่อง micro-haematocrit ที่ 12000 รอบต่อนาที (15290xg) นาน 30 นาที
3. อ่านค่าปริมาณตะกอนโดยใช้ Hawksley micro-haematocrit reader รายงานผลเป็นเปอร์เซนต์ตะกอน (% sediment material)
4. หรือคำนวณจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ตะกอน} = \frac{\text{ความสูงของตะกอน (ซม.)}}{\text{ความสูงของตัวอย่างในหลอด}} \times 100$$

ภาพที่ ง3 แสดงการวัดปริมาณตะกอนโดยใช้ Hawksley micro-haematocrit reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4 เครื่อง micro haematocrit centrifuge ALC รุ่น 4203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปริมาณแคลเซียมและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ1 แสดงค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตและโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	ปริมาณ SHMP (%w/v)	พีเอช	ปริมาณตะกอน (%)	ความหนืด (cp.)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix) ^{NS}
Control	-	6.50 ^{a}	0.25 ^{a}	2.18 ^{a}	14.2
0.6	1	6.23 ^{bc}	1.5 ^{a}	2.58 ^{ab}	15.4
	1.1	6.26 ^{bcd}	1.25 ^{a}	2.63 ^{ab}	15.5^{c}
	1.2	6.24 ^{b}	1.25 ^{a}	2.66 ^{ab}	15.65
	1.3	6.23 ^{bc}	0.5 ^{a}	2.66 ^{ab}	15.65
0.8	1	6.08 ^{efg}	1.5 ^{a}	2.81 ^{b}	15.55
	1.1	6.11 ^{ef}	1 ^{a}	2.78 ^{ab}	15.6
	1.2	6.13 ^{de}	0.5 ^{a}	2.80 ^{b}	15.65
	1.3	6.15 ^{cde}	0.5 ^{a}	2.75 ^{ab}	15.75
1.0	1	6.08 ^{efg}	21.33 ^{c}	5.93 ^{e}	15.6
	1.1	6.09 ^{efg}	2 ^{a}	3.96 ^{d}	15.65
	1.2	6.10 ^{ef}	2 ^{a}	3.13 ^{bc}	15.7
	1.3	6.08 ^{efg}	1.5 ^{a}	2.94 ^{b}	15.75
1.2	1	5.97 ^{h}	26 ^{d}	Coagulated	Coagulated
	1.1	5.96 ^{h}	23.83 ^{cd}	Coagulated	Coagulated
	1.2	6.01 ^{gh}	13.67 ^{b}	6.7 ^{f}	15.8
	1.3	6.03 ^{fgh}	3 ^{a}	3.58 ^{cd}	15.8

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ2 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนต 0.2 เปอร์เซ็นต์และ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	SHMP (%w/v)	พีเอช	ปริมาณตะกอน (%)	ความหนืด (cp.)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° Brix)
Control	-	6.50 [a]	0.17 [a]	2.14 [a]	13.93 [a]
0.2	0.1	6.25 [e]	6.00 [d]	2.97 [c]	14.0 [ab]
	0.2	6.28 [d]	3.33 [c]	2.53 [d]	14.0 [ab]
	0.3	6.31 [c]	1.67 [b]	2.46 [c]	14.13 [bc]
	0.4	6.31 [c]	0.50 [a]	2.24 [b]	14.13 [bc]
	0.5	6.33 [b]	0.50 [a]	2.23 [b]	14.2 [c]
	0.6	6.33 [b]	0.50 [a]	2.23 [b]	14.27 [c]

หมายเหตุ -ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ3 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์และ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	SHMP (%w/v)	พีเอช	ปริมาณตะกอน (%)	ความหนืด (cp.)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)^{NS}
Control	-	6.49 ^{a}	0 ^{a}	2.01 ^{a}	13.94
0.35	0.6	6.14 ^{cd}	2.84 ^{cd}	2.67 ^{cd}	14.20
	0.7	6.11 ^{cd}	2.00 ^{abcd}	2.40 ^{bc}	14.34
	0.8	6.18 ^{bc}	1.75 ^{abc}	2.27 ^{ab}	14.30
	0.9	6.23 ^{b}	0.50 ^{ab}	2.24 ^{ab}	14.40
0.45	0.6	6.07 ^{d}	26.0 ^{h}	Coagulate	Coagulate
	0.7	6.10 ^{cd}	9.0 ^{e}	3.61 ^{f}	14.40
	0.8	6.08 ^{d}	2.17 ^{bcd}	2.73 ^{d}	14.40
	0.9	6.09 ^{d}	0.92 ^{abc}	2.32 ^{b}	14.44
0.55	0.6	5.95 ^{e}	27.15 ^{h}	Coagulate	Coagulate
	0.7	5.97 ^{e}	24.0 ^{g}	Coagulate	Coagulate
	0.8	5.97 ^{e}	19 ^{f}	Coagulate	Coagulate
	0.9	5.93 ^{e}	4.00 ^{d}	3.31 ^{c}	14.45

หมายเหตุ -ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ จ4 ค่าพีเอช ปริมาณตะกอน ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลือง เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 0.25 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแคลเซียม (%w/v)	SHMP (%w/v)	พีเอช	ปริมาณตะกอน (%)	ความหนืด (cp.)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)
Control	-	6.50 ^{a}	0.17 ^{a}	2.14 ^{a}	13.93 ^{a}
0.25	0.25	6.28 ^{d}	31.67 ^{d}	5.52 ^{c}	14 ^{ab}
	0.3	6.31 ^{c}	6.67 ^{c}	3.32 ^{b}	14 ^{ab}
	0.5	6.31 ^{c}	1 ^{b}	2.22 ^{a}	14.07 ^{b}
	0.6	6.32 ^{b}	0.5 ^{ab}	2.22 ^{a}	14.2 ^{c}
	0.7	6.32 ^{b}	0.5 ^{ab}	2.21 ^{a}	14.2 ^{c}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

แบบทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบวิธีการให้คะแนน

ผลิตภัณฑ์ น้ำนมถั่วเหลือง

ผู้ทดสอบ_____ วันที่_____

ท่านชอบดื่มน้ำนมถั่วเหลืองหรือไม่_____

คำชี้แจง

กลิ่นรสถั่ว หมายถึง ความรู้สึกของกลิ่นถั่วเหลืองที่คงอยู่ในน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อรับประทาน

รสเฝื่อน หมายถึง ความรู้สึกเฝื่อนลิ้นที่คงอยู่ในน้ำนมถั่วเหลือง

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลือง จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนคุณภาพทางด้านต่างๆ ตามสเกลที่ให้มา ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณาบ้วนปากก่อนการชิมตัวอย่างทุกครั้ง)

1 = ไม่มีเลย
2 = น้อย
3 = ปานกลาง
4 = มาก
5 = มากที่สุด

รหัสตัวอย่าง			
กลิ่นถั่ว			
รสเฝื่อน			

ข้อเสนอแนะ_____

_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบวิธีการให้คะแนน

ผลิตภัณฑ์ น้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม

ผู้ทดสอบ_____วันที่_____

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง _____

ปัจจัย	คะแนนความชอบ
ความชอบรวม	
สี	
กลิ่นรส	
รสชาติ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	15	0.239	0.01596	15.719	0.000*
Calcium gluconate	3	0.224	0.07479	73.636	0.000*
SHMP	3	0.008809	0.002936	2.891	0.068
Calcium gluconate* SHMP	9	0.006303	0.0007	0.69	0.709
Error	16	0.01625	0.001016		
Total	31	0.256	0.008249		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 0.52 %

ตารางที่ ช2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกอนจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	15	2545.696	169.713	57.734	0.000*
Calcium gluconate	3	1303.836	434.612	147.848	0.000*
SHMP	3	544.358	181.453	61.727	0.000*
Calcium gluconate* SHMP	9	697.502	77.50	26.364	0.000*
Error	16	47.033	2.940		
Total	31	2592.729	83.636		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 27.07%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	13	43.602	3.354	48.757	0.000*
Calcium gluconate	3	24.938	8.313	120.845	0.000*
SHMP	3	6.429	2.143	31.154	0.000*
Calcium gluconate* SHMP	7	14.563	2.080	30.244	0.000*
Error	14	0.963	0.06879		
Total	27	44.565	1.651		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 7.66%

ตารางที่ ช4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมกลูโคเนต 0.6 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	13	0.335	0.02574	2.059	0.097
Calcium gluconate	3	0.101	0.03368	2.694	0.086
SHMP	3	0.139	0.04646	3.717	0.037*
Calcium gluconate* SHMP	7	0.01938	0.02768	0.221	0.974
Error	14	0.175	0.01250		
Total	27	0.510	0.01888		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 0.71 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	11	0.193	0.01756	19.508	0.000*
Calcium gluconate	2	0.175	0.08762	97.352	0.000*
SHMP	3	0.003533	0.001178	1.309	0.317
Calcium gluconate* SHMP	6	0.01437	0.002394	2.660	0.070
Error	12	0.01080	0.0009		
Total	23	0.204	0.008867		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 0.49 %

ตารางที่ ช5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณตะกอนจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	11	2563.315	233.029	278.983	0.000*
Calcium gluconate	2	1126.575	563.287	647.370	0.000*
SHMP	3	903.148	301.049	360.418	0.000*
Calcium gluconate* SHMP	6	533.592	88.932	106.470	0.000*
Error	12	10.023	0.835		
Total	23	2573.338	111.884		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 9.19%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดจากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	7	3.649	0.521	30.212	0.000*
Calcium gluconate	2	2.428	1.214	70.337	0.000*
SHMP	3	1.291	0.430	24.934	0.000*
Calcium gluconate* SHMP	2	0.660	0.330	19.125	0.001*
Error	8	0.138	0.01726		
Total	15	3.787	0.252		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 4.88%

ตารางที่ ช4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จากน้ำนมถั่วเหลืองที่มีแคลเซียมแลคเตท 0.35 ถึง 0.55 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตความเข้มข้นต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-Value	Sig.
Trt	7	0.0963	0.01376	0.492	0.817
Calcium gluconate	2	0.01474	0.007371	0.263	0.775
SHMP	3	0.04135	0.01378	0.493	0.697
Calcium gluconate* SHMP	2	0.002117	0.001058	0.038	0.963
Error	8	0.224	0.02799		
Total	15	0.320	0.02135		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

CV = 1.16 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปริยาพร เขียวขำ เกิดวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) ในสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปี พ.ศ. 2541 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้