การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตไขมันต่ำรสผลไม้ผสม
Calcium Fortification of Fruit-Mix Set-Type Low-Fat Yogurt

จงกลณี เยาวภาคย์โสภณ[1*] อังคณา ทุมดี[1] จรรยา คงฤทธิ์[1] และ ประสิทธิ์ แผ้วบาง[2]
Jongkolnee Yaowapaksophon[1] Angkana Thumdee[1] Junya Kongrit[1] and Prasit Phaeobang[2]
[1] หลักสูตรสัตวศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2] ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วันที่ส่ง : 22 สิงหาคม 2559 วันที่แก้ไข : 16 ธันวาคม 2559 วันที่ตอบรับ : 22 ธันวาคม 2559

บทคัดย่อ

การเสริมแคลเซียมแอล-แลคเตทเพนทะไฮเดรทในโยเกิร์ต ระดับ 0, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร (ควบคุมและเสริมแคลเซียม 3 ระดับ) มีปริมาณธาตุแคลเซียมในโยเกิร์ตทั้ง 4 กลุ่ม คือ 130, 176, 191 และ 207 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมในโยเกิร์ตเสริมธาตุแคลเซียมมีสูงกว่ากลุ่มควบคุมคิดเป็น 35%, 47% และ 58% การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตระดับ 400 มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร มีรสชาติดีที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่น การทรงตัวและเนื้อสัมผัสสูงสุดในโยเกิร์ตเสริมแคลเซียม 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม โยเกิร์ตทั้ง 4 กลุ่มไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดในวันที่ 1, 7 และ 14 วันของการเก็บรักษา ในวันที่ 1 และวันที่ 14 ของการเก็บรักษาพบว่าโยเกิร์ตเสริมแคลเซียม 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร และกลุ่มควบคุมมีความหนืดสูงสุดและไม่แตกต่าง แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากโยเกิร์ต เสริมแคลเซียมในกลุ่มอื่นๆ สำหรับในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ตเสริมแคลเซียม 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร มีความหนืดสูงสุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากโยเกิร์ตทุกกลุ่ม จำนวนแลคโทบาซิลลัสสูงในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาทุกกลุ่มโยเกิร์ตและลดจำนวนลงในสัปดาห์ที่สามของการเก็บรักษา และมีระดับต่ำกว่าที่แนะนำ แต่การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ต 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษายังคงมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสอยู่ในระดับสูง (1.55×10^8 CFU/g หรือ 8.19 $\log_{10}$ *Lactobacillus* counts, CFU/g) และพอเพียงตามที่แนะนำให้รับประทานต่อวัน ดังนั้นการเสริมแคลเซียมแลคเตท ในโยเกิร์ตระดับ 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร เป็นระดับเหมาะสมและแนะนำสำหรับการเสริมในอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต

คำสำคัญ : โยเกิร์ต การเสริมแคลเซียม

---

*ที่อยู่ติดต่อ. โทรศัพท์: (66) 0-23298519, (66)-0898124900 Fax : (66) 0-23298519
E-mail address : chongkolneeyaowapaksophon@gmail.com, kwchongk@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Yogurt samples were prepared after fortification of pasteurized milk by addition of four level (0, 400, 600 and 800 mg per 100 mL of milk) of calcium L-lactate pentahydrate. Calcium measurement of control (0 mg per 100 mL of milk) and calcium-fortified fruit yogurts were 130, 176, 191 and 207 mg, and calcium fortification at these level resulted in 0%, 35%, 47% and 58% increases in calcium content of yogurts respectively. Sensorial evaluation shows that there were no significant differences ($P>0.05$) in the flavor and overall acceptance of the control and calcium-fortified fruit yogurts. Yogurt with calcium fortification at 400 mg per 100 mL of milk got the highest scores for smoothness perception and body/texture characteristics and not significantly different ($P>0.05$) from control but had higher ($P<0.05$) than the yogurt with calcium fortification at 600 and 800 mg per 100 mL of milk. pH of control and calcium-fortified fruit yogurt did not show any statistical difference ($P>0.05$) on 1 st, 7th and 14th day during storage. On 1 st and 14th day during storage, the viscosity of control yogurt and yogurt with calcium fortification at 400 mg per 100 mL of milk were significantly ($P<0.05$) higher than the viscosity of the remaining yogurts. On 7th day during storage, the viscosity of yogurt with calcium fortification at 400 mg per 100 mL of milk were significantly ($P<0.05$) higher than the viscosity of the remaining yogurts. On the first week during storage all yogurt samples had the highest $\log_{10}$ *Lactobacillus* counts and average viable cell counts of *Lactobacillus* tended to decrease with storage time or on the third week during storage and less than 10^8–10^9 cells daily recommended intake. The level of *Lactobacillus* count in yogurt with calcium fortification at 400 mg per 100 mL of milk on the end of the 21 th day of storage had been maintained high (1.55×10^8 CFU/g or 8.19 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) and been sufficient for recommended dietary allowance (RDA). Yogurt with calcium fortification at 400 mg per 100 mL of milk is the most appropriate and recommended level for commercial manufacturer.

Keywords: yogurt, calcium fortification

1. บทนำ

การบริโภคอาหารของคนในปัจจุบัน มุ่งเน้นรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ทางคุณค่าทางโภชนาการและส่งผลดีต่อสุขภาพ (Functional food) จึงเลือกรับประทานโยเกิร์ต โยเกิร์ตคือนมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรีย *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* หรือแล็กโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์ [1] อื่น ซึ่งทั้งสองจัดเป็นแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bacteria: LAB) โยเกิร์ตที่ดีมีคุณภาพ มีวิธีการผลิตที่ได้มาตรฐานของโยเกิร์ต ซึ่งมีคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการ คือ (1) มีกลิ่นรสตามลักษณะของนมเปรี้ยวโยเกิร์ตนั้น (2) มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 2.7 % ของน้ำหนัก (3) มีมันเนย น้อยกว่า 15 % ของน้ำหนัก (4) มีค่าความเป็นกรด คำนวณเป็นกรดแลคติกไม่น้อยกว่า 0.6 % ของน้ำหนัก (5) มีแบคทีเรียที่ใช้ในกรรมวิธีการหมักคงเหลือในนมเปรี้ยวโยเกิร์ต 1 กรัม ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมัก ไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนี [1]

โยเกิร์ตไขมันต่ำรสผลไม้ผสมเสริมธาตุแคลเซียมจัดเป็น Functional food เพราะมีโภชนาการอาหารสูง แต่มีไขมันต่ำ ทำให้คนไม่เป็นโรคเกี่ยวกับไขมันและคอเลสเทอรอล โยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมธาตุแคลเซียมเหมาะที่เป็นอาหารเช้าของคนทำงานที่มีเวลาจำกัด คนที่ดื่มนมสดไม่ได้เพราะขาดเอนไซม์ย่อยน้ำตาลนม ก็ไม่ต้องกังวลกับปัญหานี้อีกเพราะแลกโทสซึ่งเป็นน้ำตาลนม ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในโยเกิร์ต ให้เป็นกรดแลคติกทำให้นมมีรสเปรี้ยว การบริโภคโยเกิร์ตเป็นประจำทำให้ร่างกายมีแบคทีเรียชนิดดีมาก ซึ่งเป็นผลดีต่อการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้และส่งผลดีต่อระบบย่อยอาหาร ทำให้คนมีสุขภาพดี การเตรียมโยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมธาตุแคลเซียมต้องคำนึงถึงคุณภาพของโยเกิร์ต มีวิธีการผลิตได้มาตรฐาน และต้องถูกใจ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคด้วย [2]

ส่วนใหญ่แล้วนมและผลิตภัณฑ์นมจะมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์และนำไปใช้ได้อยู่สูง ตัวชักนำแนวคิดเพื่อที่จะได้รับธาตุแคลเซียมพิเศษเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่เคยได้รับ (extra calcium) โดยเสริมแคลเซียมในน้ำนมหรือโยเกิร์ต โยเกิร์ตแคลเซียมสูงเป็นแหล่งให้แคลเซียมซึ่งมีบทบาทสำคัญคือลดความเสี่ยงของการเกิดโรคต่างๆ อาทิ กระดูกพรุน ความดันเลือดสูง นิ่วที่ไต และโรคอ้วน [3-6] แคลเซียมในนมและผลิตภัณฑ์นมสามารถดูดซึมได้ง่ายที่ลำไส้มากกว่าแคลเซียมในพืชและเมล็ดธัญพืช ไฟเตท (phytate) พบในเมล็ดธัญพืชและออกซาเลท (oxalate) พบในใบพืชจะลดแคลเซียมที่เป็นประโยชน์และลดปริมาณนำไปใช้ได้โดยสร้างเป็นแคลเซียมเชิงซ้อนที่ไม่ละลายและต้องขับออก [7-8] แคลเซียมในโยเกิร์ตขนาด 220 กรัมมีแคลเซียมร้อยละ 30 ตาม Reference Daily Intake (RDI) สถาบันหรือองค์การเภสัชกรรมแนะนำให้เด็กอายุ 1-3 ปีควรจะบริโภคแคลเซียม 500 มิลลิกรัมต่อวัน เด็กอายุ 4-8 ปีควรจะบริโภคแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อวัน เด็กอายุ 9 ปีจนถึงวัยรุ่นอายุ 18 ปีควรจะบริโภคแคลเซียม 1,300 มิลลิกรัมต่อวัน คนอายุ 19-50 ปีรวมถึงสตรีมีครรภ์และให้นมบุตร ควรจะบริโภคแคลเซียม 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน คนอายุมากกว่า 51 ปีขึ้นไปควรจะบริโภคแคลเซียม 1,300 มิลลิกรัมต่อวัน [8-10]

การเสริมธาตุแคลเซียมในหญิงมีครรภ์ที่มีตะกั่วสะสมในร่างกาย ทำให้การรับตะกั่วของลูกในครรภ์ลดลง การเสริมธาตุแคลเซียมในอาหารจำพวกผลิตภัณฑ์นมของหญิงที่มีบุตรจัดเป็นกลยุทธ์เชิงป้องกันระดับทุติยภูมิ (secondary prevention) โดยไม่เพียงแต่จะไปลดระดับตะกั่วในระบบหมุนเวียนโลหิตของหญิงมีครรภ์ แต่ยังไปลดตะกั่วที่ส่งไปให้ลูกในครรภ์ช่วงเจริญพัฒนารวมถึงช่วงให้นมบุตรด้วย [11]

การเสริมธาตุแคลเซียมในนมและผลิตภัณฑ์นม รวมถึงโยเกิร์ต ไอศกรีม ครีมเปรี้ยว ครีมชีส ค็อคเท็ดชีส [3, 8, 12] เกลือของธาตุแคลเซียมเชิงการค้าหลายชนิดใช้ในการเติมลงไปในนมและเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มธาตุแคลเซียม อาทิ แคลเซียม คาร์บอเนท (calcium carbonate) แคลเซียม คลอไรด์ (calcium chloride) แคลเซียม ฟอสเฟต (calcium phosphate) แคลเซียม ซิเตท มาเลท (calcium citrate malate) แคลเซียม กลูโคเนท (calcium gluconate) แคลเซียม แลคเตท (calcium lactate) [6, 8, 13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตเสริมธาตุแคลเซียม [12, 14] ศึกษาลักษณะต่างๆ ของโยเกิร์ต เช่น ความหนืด (viscosity) ความสามารถในการอุ้มน้ำของโยเกิร์ต (water holding capacity) เนื้อสัมผัส (texture) ความเรียบเนียน (smoothness) ความเป็นกรด (acidity) กระบวนการผลิตโยเกิร์ตโดยใช้ความร้อนและเติมหางนมผง ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานจะมีความเป็นกรดสูงกว่ากระบวนการที่ทำให้นมเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แรงดันสูง (ultra-high pressure homogenization: UHPH) [15]

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของการเสริมแคลซียมระดับสูงและไม่เสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตไขมันต่ำรสผลไม้ผสมที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ด้านความหนืด ความเป็นกรด การยอมรับทางประสาทสัมผัส และจำนวนแลคโทบาซิลัสที่มีชีวิตในโยเกิร์ต ระดับแคลซียมที่เสริมในโยเกิร์ตไขมันต่ำรสผลไม้ผสมคือเสริมแคลเซียมระดับสูงที่ 400, 600, 800 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งไม่เสริมแคลเซียม ความต่างกันของระดับแคลเซียมในโยเกิร์ตนี้จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างไรในคุณภาพของโยเกิร์ตและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

2. วิธีการทดลอง

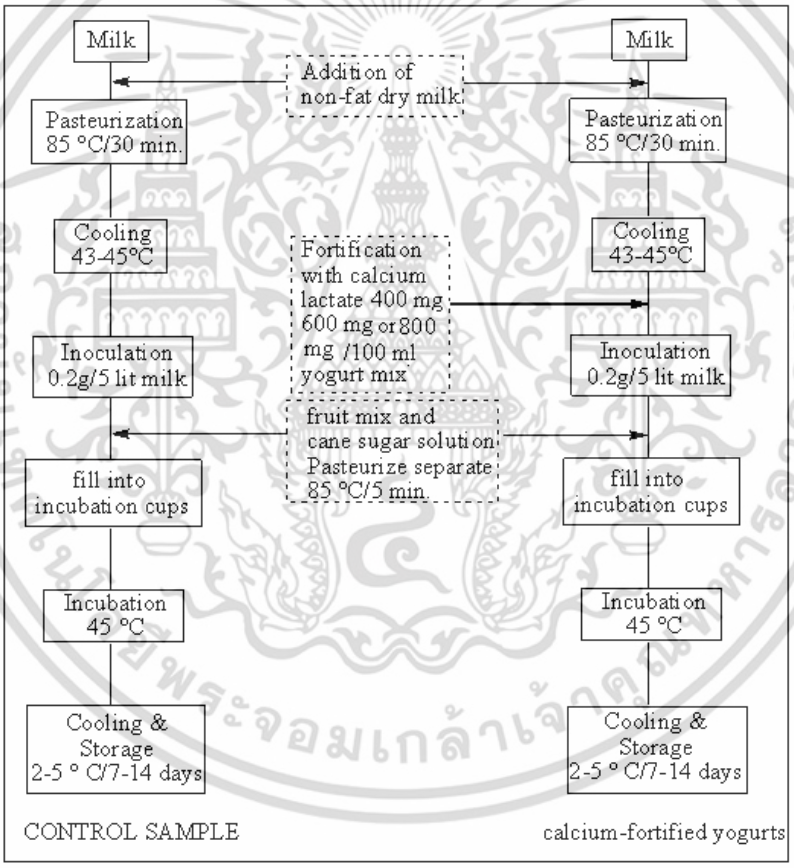
2.1 การเตรียม yogurt mother culture : เตรียม 2 แบบ (1) หัวเชื้อทางการค้า (Yo-Mix 496 LYO 100 DCU, Danisco's product, Berli Jucker Specialties Ltd.) ซึ่งมี 2 เชื้อคือ *Streptococcus thermophiles* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* จำนวน 1 ซองใส่ในนมผงละลายน้ำปลอดเชื้อ 1 ลิตร นำไปบ่ม 38°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C (2) ก. ละลายหัวเชื้อ freeze-dried yogurt bacterial starter (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* 785, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) ด้วยอาหารเหลว (MRS broth) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ข. ดูดเชื้อใส่ MRS broth culture หลอดละ 100 µl นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค. ใช้เข็มจุ่มในหลอดแล้วนำไป streak ในอาหารแข็ง (MRS agar) แล้วนำไปบ่ม 38°C 24 ชั่วโมง เชื้อเกิดเป็นโคโลนีเดี่ยว ง. ถ่ายเชื้อบริสุทธิ์ไว้ใน MRS broth นำไปบ่ม 38°C 24 ชั่วโมง ได้ yogurt mother culture จ. ใช้ 500 µl mother culture ผสมรวมกับ 500 µl glycerol เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C

2.2 การเตรียมโยเกิร์ต : ก. เติมหางนมผง 14 กรัมในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ไขมันต่ำ 100 มิลลิลิตรในช่วงพาสเจอร์ไรส์ซ้ำ ข. ทำให้น้ำนมเย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 45°C เติมแคลเซียมสำหรับกลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 (กลุ่มทดลองที่ 1 ไม่เติมแคลเซียม) ค. เติม yogurt mother culture แบบ (1) 1.4 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 700 มิลลิลิตร และแบบ (2) 210 µl ต่อน้ำนม 700 มิลลิลิตร (หรือหัวเชื้อผสมจำนวน 2 กรัมต่อน้ำนม 50 ลิตร) จะได้โยเกิร์ตมิกซ์ ง. พาสเจอร์ไรส์น้ำเชื่อม ละลายน้ำตาลทราย 60 กรัมในน้ำอุณหภูมิ 80 °C ให้เป็นสารละลายน้ำตาล 100 มิลลิลิตร แล้วใส่เพคทิน 20 กรัม จ. เติมผลไม้ที่ผสมรวมแล้ว (แอปเปิ้ลเขียวสับปะรด เงาะ) 120 กรัมกับน้ำเชื่อมเพคทินลงในถ้วยบรรจุหรือภาชนะปากกว้างปริมาตร 800 มิลลิลิตร ฉ. เทโยเกิร์ตมิกซ์ (จาก ค.) ลงไปส่วนบนของถ้วยบรรจุ ช. นำไปบ่มในตู้บ่มที่ อุณหภูมิ 45°C นาน 6 ชั่วโมง และยุติการหมัก ฌ. ตรวจสอบความเป็นกรด (titratable acidity, standard 0.1 N NaOH, 0.5% phenolphthalein indicator) มีความเป็นกรดตั้งแต่ 0.70% (lactic acid) เป็นต้นไป และยุติการหมัก (Method No. 947.05) [16] ฏ. นำไปเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป (รูปที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รูปแคลเซียมและระดับแคลเซียม : คือ แคลเซียม แอล-แลคเตท เพนทะไฮเดรท (calcium L-lactate pentahydrate, Formula $[CH_3CH(OH)COO]_2Ca{\cdot}5H_2O$, MW 308.29 g/mol, EC-No. 248-953-3, Product No. 21175, Testing Conforms to Pharmacopecia, Sigma-Aldrich, Singapore) การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ต 4 ระดับคือ 0, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อโยเกิร์ต 100 มิลลิลิตรมีปริมาณแคลเซียมที่ตรวจสอบได้คือ 80.00, 398.35, 587.85, 782.12 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรตามลำดับ

2.4 การเก็บข้อมูลน้ำนมและโยเกิร์ต : ส่วนประกอบของโยเกิร์ตก่อนนำไปบ่ม และแคลเซียมในโยเกิร์ต การวิเคราะห์ส่วนประกอบของโยเกิร์ตมิกซ์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลกโทส_เนื้อนมไม่รวมไขมัน โดยใช้ Milk content analyzer (LactoStar 3510-072003, Funke Gerber, Berlin, Germany) หลังจากตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ



รูปที่ 1. แผนผังของโรงงานผลิตโยเกิร์ต

2.5 การเก็บข้อมูล โยเกิร์ตในวันที่ 1, 7 และ 14 ของการเก็บรักษา : ความเป็นกรด โดย pH-meter การยอมรับทางประสาทสัมผัส (รสชาติ เนื้อสัมผัสและการทรงตัว ความเรียบเนียน ลักษณะที่ปรากฏ การยอมรับโดยรวม) โดยกลุ่มผู้ชิมโดยไม่ผ่านการฝึกฝน 28 คน ให้ระดับคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 (5-point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hedonic scale) มีความหมายคือ 1=ไม่ชอบมาก 2=ไม่ชอบ 3=ชอบปานกลาง 4=ชอบ 5=ชอบมาก (ตารางที่ 3) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Viscometer DV-II-+, SMC 40, TK 0.9373, Model code LV, MA, USA.) และจำนวนแลคโทบาซิลลัสมีชีวิตในโยเกิร์ตด้วยวิธี plate count นำโยเกิร์ต 1 กรัมเจือจางด้วย 9 มิลลิลิตรของ 0.15 % ของสารละลายเพปโทนปลอดเชื้อ ทำเป็นลำดับๆ ละ 10 เท่า เพาะเลี้ยงตัวอย่างเชื้อที่ระดับการเจือจาง 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7} หยดสารละลายโยเกิร์ตปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารแข็ง *Lactobacillus* MRS agar โดยการ spread plate บ่มอุณหภูมิที่ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วตรวจนับโคโลนี

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ : การเก็บข้อมูลทุกค่าจะทำการเก็บ 12 ซ้ำ (ยกเว้นองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแคลเซียมในโยเกิร์ตมิกซ์จะเก็บข้อมูล 6 และ 3 ซ้ำตามลำดับ) วิเคราะห์ข้อมูลของปัจจัยจากการเสริมแคลเซียมระดับต่างๆ และไม่เสริมแคลเซียมด้วย ANOVA ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) และ วิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยโดย least significant difference (LSD) test ($P = 0.05$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตมิกซ์

องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตมิกซ์ก่อนนำไปบ่มแสดงใน ตารางที่ 1 ระดับการเติมแคลเซียมในโยเกิร์ต 4 กลุ่ม (0, 40, 600, 800 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ทำให้โยเกิร์ตมีไขมัน (1.83%-1.91%) โปรตีน (7.76%-8.13%) และเนื้อนมไม่รวมไขมัน (17.81%-18.28%) ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) การเติมหางนมผง 14 กรัมใน 100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ตเสริมแคลเซียม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับองค์ประกอบทางเคมี (ไขมัน โปรตีน เนื้อนมไม่รวมไขมัน) ของโยเกิร์ตก่อนบ่ม การเติมหางนมผงในการทดลองนี้เพื่อปรับให้เนื้อนมไม่รวมไขมัน (solid-not fat) คงที่เป็น 18% มีงานวิจัยสอดคล้องคือนมพาสเจอร์ไรส์หรือนมโฮโมจิไนส์ให้ความร้อนอุณหภูมิ 45 ºC แล้วเติมหางนมผงและผสมให้เข้ากันโดยใช้ความเร็วสูง ทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อนมไม่รวมไขมัน (milk solids not fat) ปรับเพิ่มสูงขึ้นเป็น 16 กรัมต่อ 100 กรัมของโยเกิร์ตที่ไม่เสริมพรีไบโอติก [17] การเติมหางนมผงเป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติในอุตสาหกรรมนม [15] การเติมหางนมผงในน้ำนมใช้หมักทำให้โยเกิร์ตเนื้อแน่นและหนักแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับปริมาณของหางนมผงที่ใช้และชนิดของน้ำนมที่ใช้หมัก เช่นน้ำนมไขมันเต็ม น้ำนมพร่องไขมันระดับต่างๆ และขึ้นกับจุดประสงค์ของการผลิตโยเกิร์ตที่แตกต่างกัน หน่วยงานที่ควบคุมและกำหนดคุณภาพและมาตรฐานการผลิตนมเปรี้ยวโยเกิร์ต [1] ไม่กำหนดระดับขั้นต่ำหรือขั้นสูงของเนื้อนมและเนื้อนมไม่รวมไขมันของโยเกิร์ต การเติมหางนมผงในน้ำนม (พาสเจอร์ไรส์ นมยูเอชที นมก่อนพาสเจอร์ไรส์ และน้ำนมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 ºC เป็นเวลา 30 นาที) ปรับเนื้อนมเพิ่มเป็น 18% [18] ปรับเนื้อนมเพิ่มเป็น 14% [12, 14, 15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. องค์ประกอบของโยเกิร์ตมิกซ์[#] ก่อนการบ่ม

ระดับการเสริมแคลเซียม	% milk fat	% milk protein	% solid-not fat
Control I (0 mg/100 ml)	1.91	7.76	17.91
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	1.77	7.80	18.03
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	1.87	8.13	18.12
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	1.83	7.81	18.28
SEM[†]	0.08	0.25	0.08
P value	P>0.05	P>0.05	P>0.05

[#] Data presented are least square means (n=6 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

3.2 ปริมาณแคลเซียมในโยเกิร์ต

ปริมาณแคลเซียมในโยเกิร์ต 100 มิลลิลิตรในกลุ่มที่ 1, 2, 3, 4 คือ 130.28, 175.56, 191.01 และ 207.12 มิลลิกรัมตามลำดับ ปริมาณธาตุแคลเซียมในโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมมีสูงกว่า ($P<0.05$) กลุ่มควบคุมคิดเป็นร้อยละ 34.82, 46.65 และ 58.46 (ตารางที่ 2) แหล่งของแคลเซียมที่หาได้ง่าย สะดวก และราคาถูก คือน้ำนมและผลิตภัณฑ์นมซึ่งจะให้แคลเซียมมากกว่า 75% ของการบริโภคแคลเซียมในมนุษย์ และดังนั้นแหล่งหลักของแคลเซียมจากอาหารคือแคลเซียมในนมและผลิตภัณฑ์ สำหรับโยเกิร์ต นม นมพร่องไขมัน (มีไขมัน 1% 2%) ขนาด 250 มิลลิลิตร มีแคลเซียมเฉลี่ย 300 มิลลิกรัม ดูดซึมแคลเซียม 33% หรือดูดซึมแคลเซียมสูงถึง 96 มิลลิกรัม และเทียบกับผัก เช่นบล็อกเคอลี 125 มิลลิกรัม มีแคลเซียมเฉลี่ย 35 มิลลิกรัม ดูดซึมแคลเซียม 61% หรือดูดซึมแคลเซียมเพียง 22 มิลลิกรัม [19]

แคลเซียมในนมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแขวนลอยของ colloidal phosphate แคลเซียมบางส่วนในสภาพแขวนลอยนี้สามารถแลกเปลี่ยนได้ [20] การแลกเปลี่ยนแคลเซียมระหว่างสองสภาพ คือสภาพแขวนลอย (colloid) และสภาพสารละลาย (aqueous หรือ dissolved phase) ขึ้นกับ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ [20] เลเบลไอโซโทรปของแคลเซียมในนม โดยหาค่าการนำเอาแคลเซียมในนมและผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ ทำให้ทราบว่า Ca 45 ซึ่งเสริมเข้าไปในนม มีสัดส่วนสูงของแคลเซียมที่เสริมเข้าไปนี้จะอยู่ในสภาพสารละลายของนมและแขวนลอย [20] การเสริมแคลเซียม เลคเตทในโยเกิร์ต พบว่าแคลเซียมที่เสริมอยู่ในส่วนของสารละลายในน้ำนม 2/3 ส่วนหรืออยู่ใน dissolved phase หรือ aqueous phase และ 1/3 อยู่ในสภาพแขวนลอย [14] หนูที่ได้ตัดต่อมพาราไทรอยด์ออก (parathyroidectomized rat) สามารถดูดซึมแคลเซียมจากลำไส้และการนำแร่ธาตุไปสร้างฟันหน้าได้ดีที่สุด ปานกลาง และต่ำ เมื่อใช้แคลเซียม แลคเตท แคลเซียม คาร์บอเนท และ แคลเซียม ฟอสเฟต ตามลำดับ [19]

การกินโยเกิร์ตหรือน้ำนม 400 มิลลิลิตรในสุกรมีอัตราการดูดซึมแคลเซียมเกือบ 80% ของแคลเซียมที่ได้รับทั้งหมด โดยมีการดูดซึมเกือบครึ่งหนึ่งของทั้งหมดในชั่วโมงแรกหลังกิน [20] แคลเซียมในโยเกิร์ตควบคุมในการทดลองนี้ 100 มิลลิลิตร อยู่ในระดับต่ำ (130.28 มิลลิกรัม) กว่า Reference Daily Intake (RDI) และประมาณเป็นการดูดซึมแคลเซียม 42.99 มิลลิกรัม (ตารางที่ 2) [19] (แคลเซียมในโยเกิร์ตควบคุมในการทดลองนี้ขนาด 250 มิลลิลิตร อยู่ในระดับ 325.7 มิลลิกรัม ซึ่งดูดซึมได้ 33% คาดว่าได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียม 107.48 มิลลิกรัม) การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตกลุ่ม 2, 3, 4 คาดว่าดูดซึมแคลเซียมได้ 57.93, 63.03 และ 68.35 มิลลิกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยคาดว่าการเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตกลุ่ม 2 ในการทดลองนี้ (400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ทำให้แคลเซียมอยู่ในสภาพสารละลายของน้ำนม (aqueous หรือ dissolved phase) ซึ่งจะช่วยทำให้โครงสร้างเจลโยเกิร์ตแข็งแรงขึ้น แต่การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตกลุ่ม 3 และ 4 (600, 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ประมาณการดูดซึมแคลเซียมเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และแคลเซียมแอลแลคเตทเพนทะไฮเดรท ในโยเกิร์ตในการทดลองนี้ดูดซึมได้ง่ายและดีที่ลำไส้ ซึ่งเป็นแหล่งให้แคลเซียมปริมาณสูงกว่าพืชหรือในอาหารชนิดอื่น

ตารางที่ 2. ปริมาณแคลเซียม[#] ของตัวควบคุมและโยเกิร์ตผลไม้ที่มีการเสริมแคลเซียม

ระดับการเสริมแคลเซียม	ปริมาณการเสริม calcium lactate pentahydrate (mg/100 ml)	ปริมาณแคลเซียมที่วัดได้* (mg/100 ml)	เปอร์เซ็นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวควบคุม	การประมาณแคลเซียมที่ถูกดูดซึม
Control I (0 mg/100 ml)	0	130.28^{d}	-	42.99
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	389.35^{c}	175.56^{c}	34.82^{c}	57.93
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	587.85^{b}	191.01^{b}	46.65^{b}	63.03
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	782.12^{a}	207.12^{a}	58.46^{a}	68.35
SEM†	4.25	4.32	2.05	-
P value	P<0.05	P<0.05	P<0.05	-

[#] Data presented are least square means (n=3 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

*33% Estimated absorption

[abcd] Within the same column with the different superscripts differ at P<0.05 by LSD test

3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต

การประเมินรสชาติสูงที่สุด (flavor) ในโยเกิร์ตกลุ่ม 2 และไม่แตกต่าง (P>0.05) กับโยเกิร์ตอื่นๆ (ตารางที่ 3) แต่การทรงตัว เนื้อสัมผัส ความเรียบเนียน (body texture smoothness) มีการประเมินสูงสุดใน โยเกิร์ตกลุ่ม 2 และไม่แตกต่างจากกลุ่ม 1 (P>0.05) แต่การทรงตัวและเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตกลุ่ม 2 สูงกว่าและแตกต่าง (P<0.05) จากกลุ่ม 3 และ 4 สำหรับการยอมรับโดยรวม (acceptance) ของโยเกิร์ตทุกกลุ่มไม่แตกต่าง (P>0.05) การเสริมวิตามินและแร่ธาตุ ในระหว่างการเตรียมโยเกิร์ตที่ดีต่อหัวใจ ซึ่งพบว่า ไม่ส่งผลต่อรสชาติ การทรงตัว/เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม [2] วันที่ 1 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ต รสชาติดีที่สุดคือโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมแลคเตทเมื่อเทียบกับโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมกลูโคเนทให้รสชาติของโยเกิร์ตต่ำที่สุด [12] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh และ Muthukumarappan [14] ที่กล่าวว่าการเสริมแคลเซียม แลคเตท ในโยเกิร์ตเทียบกับโยเกิร์ตไม่เสริมไม่มีความแตกต่างกันของโยเกิร์ตในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะที่ปรากฏและการยอมรับโดยรวม ในการทดลองนี้การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตทุกๆ ระดับ ให้รสชาติ การยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่การทรงตัวและเนื้อสัมผัสและความเรียบเนียนดีที่สุดเมื่อเสริมแคลเซียมระดับ 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. ผลของการเสริมแคลเซียมต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตที่ระยะเวลาการเก็บรักษามากว่า 14 วัน

	การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส[#]		
ระดับการเสริมแคลเซียม	รสชาติ	การทรงตัว/เนื้อสัมผัส/ความเรียบเนียน	การยอมรับโดยรวม
Control I (0 mg/100 ml)	3.83	4.00[ab]	4.25
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	4.00	4.25[a]	4.08
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	3.58	3.42[b]	3.83
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	3.63	3.50[b]	3.75
SEM[†]	0.81	0.82	0.76
P value	P>0.05	P<0.05	P>0.05

[#] Sensorial evaluation was based on a 1 to 5 point scale (1=dislike extremely 5=like extremely) and data presented are least square means (n=12 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

[ab] Within the same column with the different superscripts differ at P<0.05 by LSD test

3.4 พีเอชของโยเกิร์ต

ผลความเป็นกรดของโยเกิร์ตแสดงใน ตารางที่ 4 ในวันที่ 1, 7 และ 14 ของการเก็บรักษา พบว่าพีเอชของโยเกิร์ตทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ในวันที่ 7 และ 14 ของการเก็บรักษา พีเอชของโยเกิร์ตลดลงระหว่างการเก็บรักษาในทุกกลุ่มโยเกิร์ต อาจเป็นเพราะเชื้อหมักโยเกิร์ตมีกิจกรรมทางเมแทบอลิซึมต่อเนื่องจึงเกิดการสร้างกรดเพิ่มในภายหลัง (post หรือ over acidification) เชื้อหมักโยเกิร์ตยังคงทำงานแม้อุณหภูมิต่ำของตู้เย็นและยังคงผลิตกรดแลคติก จำนวนน้อยๆ ซึ่งเป็นผลทำให้พีเอชลดลง อย่างสังเกตเห็นได้ในช่วงการเก็บรักษา

ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา คือปรากฏการณ์ที่เรียกว่า over acidification หรือกระบวนการสร้างกรดภายหลัง จะเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ยังคงทำงานได้ที่อุณหภูมิ 0-5 ºC และยังคงผลิตกรดแลคติกในช่วงอุณหภูมิ 0-5ºC หากพีเอชลดลงต่ำกว่า 4.2 เป็นผลให้เกิด whey ออกมาสูง และมีผลต่อจำนวนรอดชีวิตของแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria: LAB) เนื่องจากมี ไฮโดรเจนอิออนมากกว่า แลคเตทอิออน แต่พีเอชของโยเกิร์ตในการทดลองนี้ไม่ลดลงถึง 4.2 และสังเกตเห็นเวย์เล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งไม่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพโยเกิร์ต ซึ่งเวย์เป็นลักษณะปกติของ set yogurt ซึ่งไม่มีนัยสำคัญต่อการประเมินโยเกิร์ตในด้านต่างๆ [22]

3.5 ความหนืดของโยเกิร์ต

ตารางที่ 5 แสดงความหนืดของโยเกิร์ตในช่วงการเก็บรักษาต่างๆ ในตู้เย็น ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ตในกลุ่ม 2 (400 มิลลิกรัม/100 มิลลิกรัม) มีความหนืดสูงสุด (20,320 cP) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม 1 (20,108 cP) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากโยเกิร์ตในกลุ่มอื่นๆ (600, 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) (18,200 cP) (13,680 cP) ในการทดลองนี้พบว่าโยเกิร์ตเติมแคลเซียมกลุ่ม 2 (400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ส่งผลให้เจลของโยเกิร์ตแข็งแรงที่สุด แต่เมื่อเติมในระดับสูงกว่านี้ (600, 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) มีผลทางลบต่อเจลของโยเกิร์ตคือทำให้โยเกิร์ตเหลวขึ้น และเมื่อเสริมในระดับสูงสุดยิ่งทำให้โยเกิร์ตเหลวมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. ผลของการเสริมแคลเซียมต่อพีเอชของโยเกิร์ตที่เวลาการเก็บรักษาที่ 1, 7 และ 14 วัน

ระดับการเสริมแคลเซียม	พีเอช[#] ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)		
	วันที่	วันที่ 7	วันที่ 14
Control I (0 mg/100 ml)	4.47	4.45	4.35
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	4.49	4.42	4.39
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	4.45	4.40	4.37
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	4.44	4.39	4.36
SEM[†]	0.02	0.03	0.08
P value	P>0.05	P>0.05	P>0.05

[#] Data presented are least square means (n=12 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ตในกลุ่ม 2 มีความหนืดสูงสุด (22,300 cP) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากโยเกิร์ตกลุ่ม 1 (19,936 cP) และโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมในกลุ่ม 3 และ 4 (17,970 cP) (13,694 cP)

ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ตในกลุ่ม 1 และ 2 มีความหนืดสูงสุด ไม่แตกต่างจากโยเกิร์ตในกลุ่ม 2 แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมในกลุ่ม 3 และ 4 การเสริมแคลเซียมในกลุ่ม 2 มีผลทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตอยู่ในระดับสูงที่ทุกๆระยะของการเก็บรักษา

การเสริมแคลเซียมในกลุ่ม 2 (400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ในโยเกิร์ตทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตในวันที่ 7ของการเก็บรักษาสูงกว่าวันที่ 1 และ 14 ของการเก็บรักษา แต่สำหรับโยเกิร์ตในกลุ่ม 3 และ 4 ในวันที่ 7 และ 14 ของการเก็บรักษา ความหนืดของโยเกิร์ตลดลงเมื่อเทียบกับวันที่ 1 ของการเก็บรักษา

การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตระดับ 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ในการทดลองนี้ มีผลทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตอยู่ในระดับสูงที่ทุกๆระยะของการเก็บรักษา ซึ่งการเติมแคลเซียมนี้เป็นระดับเหมาะสม แคลเซียมที่เติมละลายใน dissolved ซึ่งทำให้แคลเซียมเดิมในนมในสภาพแขวนลอยยึดกับเคซีนไมเซลล์ได้แน่นขึ้น โอกาสที่แคลเซียมเดิมของนมจะออกจากเคซีนไมเซลล์ได้ต่ำ ทำให้ทำให้โครงสร้างเจลโยเกิร์ตแข็งแรงมาก และเมื่อโยเกิร์ตมีความเป็นกรดสูง แคลเซียมในสภาพ dissolved จะลดแรงผลักกันของประจุเหมือนกันของเคซีนไมเซลล์ ทำให้เคซีนไมเซลล์จับกันได้แน่นและแข็งแรง โครงสร้างเจลโยเกิร์ตแข็งแรง

การเติมแคลเซียมในโยเกิร์ตทำให้ แคลเซียม-ฟอสเฟตในสภาพแขวนลอย (colloidal calcium phosphate) ยึดกับเคซีนไมเซลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เพิ่มความแข็งแรงโครงข่ายเจลของโยเกิร์ต ทำให้เพิ่ม cross-link ของเคซีนไมเซลล์ และ dissolved calcium จากการเติมในโยเกิร์ตทำให้เกิดพันธะแบบที่ทำให้โครงสร้างเคซีนไมเซลล์ยึดตัวได้แข็งแรงขึ้น แต่พันธะในเคซีนไมเซลล์ไม่เปลี่ยน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. ผลของการเสริมแคลเซียมต่อความหนืดของโยเกิร์ตที่เวลาการเก็บรักษาที่ 1, 7 และ 14 วัน

ระดับการเสริมแคลเซียม	ความหนืดของโยเกิร์ต[#] (cP) ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	วันที่ 1	วันที่ 7	วันที่ 14
Control I (0 mg/100 ml)	20108[ab]	19936[b]	20676[a]
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	20320[a]	22300[a]	20504[ab]
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	18200[c]	17970[c]	16496[c]
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	13680[d]	13694[d]	13698[d]
SEM[†]	2850.11	3427.58	3024.86
P value	P<0.05	P<0.05	P<0.05

[#] Data presented are least square means (n=12 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

[abcd] Mean within the same column with the different superscripts differ at P<0.05 by LSD test

3.6 จำนวนแลคโทบาซิลัสในโยเกิร์ต

จำนวนแลคโทบาซิลลัสในโยเกิร์ตในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C (ตารางที่ 6) พบว่าในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา โยเกิร์ตเสริมแคลเซียมกลุ่ม 2 มีจำนวนแลคโทบาซิลลัส สูงสุด (2.43×10^8 cfu/g หรือ 8.39 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) และมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสไม่แตกต่าง ($P>0.05$) จากกลุ่มควบคุม (2.29×10^8 cfu/g หรือ 8.36 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอีกสองกลุ่มที่เหลือ (1.64×10^8 หรือ 8.21 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) (1.22×10^8 หรือ 8.29 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) ในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาโยเกิร์ตทั้งหมดมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสอยู่ในระดับที่แนะนำให้กินต่อวัน (10^8 CFU/g) [23]

จำนวนแลคโทบาซิลลัสในโยเกิร์ตสูงเมื่อพีเอชของโยเกิร์ตค่อนข้างสูง เมื่อจำนวนแลคโทบาซิลลัสต่ำเพราะพีเอชของโยเกิร์ตค่อนข้างต่ำ นั่นหมายความว่าจำนวนแลคโทบาซิลลัสของโยเกิร์ตลดลงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพีเอชลดลงตามเวลาที่เก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น

จำนวนแลคโทบาซิลลัสของโยเกิร์ตในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา โยเกิร์ตทั้งหมดยกเว้นโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมระดับสูงสุด (800 mg/100ml; กลุ่มที่ 4) มีจำนวนแลคโทบาซิลลัสอยู่ในระดับพอเพียงตามที่แนะนำ ให้กินต่อวัน (10^8-10^9 เซลล์) โยเกิร์ตที่เติมแคลเซียม 400 มก./100 มล. (1.43×10^8 cfu/g หรือ 8.16 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) และโยเกิร์ตควบคุม (1.49×10^8 cfu/g หรือ 8.17 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) มีจำนวนแลคโทบาซิลลัสไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับอีกสองกลุ่มที่เหลือ (กลุ่มที่ 3 คือ 1.08×10^8 cfu/g หรือ 8.03 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g; กลุ่มที่ 4 คือ 0.98×10^8 cfu/g หรือ 7.99 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6. ผลของการเสริมแคลเซียมต่อ $\log_{10}$ Lactobacilli counts (CFU/g) ในโยเกิร์ตที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1, 2 และ 3 สัปดาห์

	$\log_{10}$ Lactobacilli counts [#] (CFU/g)		
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)		
ระดับการเสริมแคลเซียม	สัปดาห์ที่	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
Control I (0 mg/100 ml)	8.36[a]	8.17[a]	7.48[c]
Ca fortified II (400 mg/100 ml)	8.39[a]	8.16[a]	8.19[a]
Ca fortified III (600 mg/100 ml)	8.21[b]	8.03[b]	7.95[b]
Ca fortified IV (800 mg/100 ml)	8.09[b]	7.99[b]	7.81[b]
SEM[†]	0.14	0.09	0.13
P value	P<0.05	P<0.05	P<0.05

[#] Data presented are least square means (n=12 samples per calcium fortification level)

[†] Pooled standard error of mean

[abcd] Mean within the same column with the different superscripts differ at P<0.05 by LSD test

จำนวนแลคโทบาซิลลัสของโยเกิร์ตในการทดลองนี้ ในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาให้ผลการทดลองต่ำกว่า 10^8 เซลล์ ยกเว้นกลุ่มโยเกริต์ กลุ่ม 2 ที่ยังคงมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสที่มีชีวิตอยู่ในระดับสูง (1.55×10^8 CFU/g หรือ 8.19 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) ไม่มีความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้ในวันที่ 1, 21 และ 34 ของการเก็บรักษา จำนวนจุลินทรีย์ต่ำเพราะมี พีเอช 4.3 หรือต่ำกว่า และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา วันที่ 34 มีจำนวนจุลินทรีย์เพียง 7×10^7 *cfu*/g [21] บางงานวิจัยรายงานจำนวนรอดชีวิตของแบคทีเรียต่ำในโยเกิร์ต โดยจำนวนต่ำกว่า 10^8-10^9 เซลล์ ที่แนะนำให้กินต่อวัน [23]

4. สรุปผลการทดลอง

การเสริมแคลเซียม แอล-แลคเตท เพนทะ ไฮเดรทในโยเกิร์ต ในกลุ่ม 1, 2, 3 และ 4 (0, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ทำให้มีปริมาณธาตุแคลเซียมในโยเกิร์ต 4 กลุ่มคือ 130, 176, 191 และ 207 มิลลิกรัมตามลำดับ ปริมาณธาตุแคลเซียมในโยเกิร์ตในกลุ่ม 2, 3, 4 มีแคลเซียมสูงกว่ากลุ่มควบคุมคิดเป็น 35%, 47% และ 58% การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตไม่มีผลทางลบต่อการประเมินรสชาติ นอกจากนั้น การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตระดับ 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรกับกลุ่มควบคุมมีการทรงตัวและเนื้อสัมผัสและความเรียบเนียนดีเทียบเท่ากัน แต่ดีกว่าการเสริมแคลเซียมระดับสูง พีเอชของโยเกิร์ตลดต่ำลงตามจำนวนวันของการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น พีเอชของโยเกิร์ตสูง มีจำนวนแลคโทบาซิลลัสสูงเมื่อการเก็บรักษาโยเกิร์ตในสัปดาห์ที่ 2 ทำให้พีเอชของโยเกิร์ตต่ำลงเล็กน้อย และมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสลดต่ำลงเล็กน้อยด้วยเช่นกัน

ในสัปดาห์ที่ 3 การเสริมแคลเซียมระดับ 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตสูงขึ้น และมีจำนวนแลคโทบาซิลลัสสูงสุด (8.19 $\log_{10}$ *Lactobacillus*, CFU/g) ซึ่งยังคงมีแบคทีเรียระดับสูงตามที่แนะนำให้รับประทานต่อวัน การทดลองเสริมแคลเซียม แลคเตท ในระดับที่สูงเช่น 600, 800 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรทำให้โยเกิร์ตมีความหนืดต่ำ โครงสร้างเจลโยเกิร์ตไม่แข็งแรง มีจำนวนแลคโทบาซิลลัสต่ำ แม้ว่ารสชาติของโยเกิร์ตและการยอมรับโดยรวมเท่ากับโยเกิร์ตควบคุมและเสริม 400 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรก็ตาม ในการทดลองนี้สามารถสรุปว่า การเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตระดับ 400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ทำให้มีจำนวนแลคโทบาซิลลัสสูงสุดที่ทุกระยะเวลาของการเก็บรักษา มีความหนืดสูงสุดที่ทุกระยะการเก็บรักษา ซึ่งทำให้เจลของโยเกิร์ตแข็งแรงหลังการผลิตตลอดระยะการเก็บรักษา และไม่ส่งผลทางลบด้านรสชาติและการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยการชิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนงบประมาณจากเงินรายได้ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353. 2556. กฎกระทรวงฉบับปรับปรุง ฉบับที่ 353 ปี พ.ศ. 2556 ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 http://elib.fda.moph.go.th [Amendment of the Notification of the Ministry of Public Health (No. 353) 2013./Ministerial Regulation (No. 353) 2013 according to the Food Act 1979. http://elib.fda.moph.go.th (in Thai)]

[2] Lourens-Hattingh, A. and Viljoen, B.C. 2001. Yogurt as probiotic carrier food. *Int. Dairy J.*, 11, 1–17.

[3] Heaney, R. P. 2005. The challenges of calcium. [Online] Available : http://www.functionalingredientsmag.com/fimag/articleDisplay.asp?strArticleId=723&strSite 18/06/2008.

[4] McCarron, D.A. and Heaney, R.P. 2004. Estimated healthcare savings associated with adequate dairy food intake. *Am. J. Hypertension,* 17, 88–97.

[5] Miller, G.D. and Anderson, J.J. 1999. The role of calcium in prevention of chronic diseases. *J. Am. Coll. Nutr.,* 18, 371S–372S.

[6] Quilici-Timmcke, J. 2002. Opportunities Expanding For Calcium-fortified Foods. [Online]Available : http://www.functionalingredientsmag.com/fimag/articleDisplay.asp?strArticleId=104&strSite 18/06/2008.

[7] Fairweather-Tait, S.J., Johnson, A., Eagles, J., Ganatra, S., Kennedy, H. and Gurr, M.I. 1989. Studies on calcium absorption from milk using a double-label stable isotope technique. *Br. J. of Nutri.*, 62, 379–388.

[8] Klahorst, S. 2001. Calcium's role—food product design: Design . [Online] Available: http://www.foodproductdesign.com/articles/463/463_0101de.html 18/06/2008.

[9] Bryant, R.J., Cadogan, J. and Weaver, C.M. 1999. The new dietary reference intakes for calcium: implications for osteoporosis. *J. Am. Coll. Nutr.*, 18, 406S–412S.

[10] Vaskonen, T. 2003. Dietary minerals and modification of cardiovascular risk factors. *J. Nutri. Biochem.,* 14, 492–506.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Ettinger, A.S., Howard, H. and Hernandez-Avila, M. 2007. Dietary calcium supplementation to lower blood lead levels in pregnancy and lactation. *J. Nutri. Biochem.*, 18, 172– 178.

[12] Pirkul, T., Temiz, A. and Erdem, Y. K. 1997. Fortification of yogurt with calcium salts and its effect on starter microorganisms and yogurt quality. *Int. Dairy J.,* 7, 547–552.

[13] Goldscher, R. L. and Edelstein, S. 1996. Calcium citrate: A revised look at calcium fortification. *Food Technol.*, 50, 96–98.

[14] Singh, G. and Muthukumarappan, K. 2007. Influence of calcium fortification on sensory, physical and rheological characteristics of fruit yogurt. *LWT- Food Sci. Technol.,* doi:10.1016/j.lwt.2007.08.027

[15] Serra, M., Trujillo, A.J., Guamis, B. and Ferragut, V. 2008. Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Food Hydrocolloids.* doi:10.1016/j.foodhyd.2007.11.015.

[16] AOAC. 1997. (Association of Official Analytical Chemists) Official methods of milk analysis: Official methods of analysis (16th ed., 3rd revision). Washington, USA: Association of Official Analytical Chemists.

[17] Aryana, K.J. and McGrew, P. 2007. Quality attributes of yogurt with *Lactobacillus casei* and various prebiotics. *LWT- Food Sci. Technol.*, 40, 1808–1814.

[18] Kailasapathy, K., Harmstorf, I. and Phillips, M. 2008. Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* in stirred fruit yogurts. *LWT- Food Sci. Technol.,* 41, 1317-1322.

[19] Anonymous. 2015. Calcium and Bioavailability in Nutrient in milk product Dairy nutrition. [Online] Available: https://www.dairynutrition.ca/nutrients-in-milk-products/calcium/calcium-and-bioavailability. 18/06/2015.

[20] Mpassi, D., Rychen, G., Mertes, M. and Laurent, F. 2001. Portal absorption of 45Ca from labelled milk, yoghurt or heat treated yoghurt in the growing pig. *Int. Dairy J*, 11, 809–815.

[21] Cueva, O. and Aryana, K.J. 2008. Quality attributes of a heart healthy yogurt. *LWT- Food Sci. Technol.*, 41, 537–544.

[22] Dave, R. and Shah, N.P. 1998. Ingredient supplementation effects on viability of probiotic bacteria in yogurt. *.J Dairy Sci.*, 81, 2804–2816.

[23] Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT- Food Sci. Technol.*, 39, 1221–1227.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้