การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งและผลของสารเพิ่มความคงตัว

Comparison of Qualities of Sterilized Goat Milk Produced from Fresh and Frozen Goat Milk and Effect of Stabilizers

พรรณทิภา เล่าสัม[1] ปิ่น จันจุฬา[2] และ พัชรินทร์ ภักดีฉนวน[1*]

Phanthipha Laosam[1], Pin Chanjula[2] and Patcharin Pakdeechanuan[1*]

Received: 28 August 2018, Revised: 4 October 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส ในการผลิตน้ำนมสเตอริไลซ์บรรจุกระป๋อง และเปรียบเทียบผลของการเติมและไม่เติมสารเพิ่มความคงตัว แบ่งเป็น 1) ชุดการทดลองควบคุม 2) เติมไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DSHP) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล 3) เติมไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DPHP) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล และ 4) เติมแคลเซียมคลอไรด์ (CC) ความเข้มข้น 2 มิลลิโมล เพื่อปรับปรุงความคงตัวก่อนนำไปสเตอริไลซ์ วางแผนการทดลองแบบ 2 × 4 แฟคทอเรียลใน CRD น้ำนมแพะที่ใช้ในการทดลองมีผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมดิบเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.6006-2551) ผลการศึกษาพบว่า การแช่แข็งทำให้มีปริมาณตะกอนและขนาดเม็ดไขมันนมในน้ำนมสเตอริไลซ์เพิ่มขึ้น (p<0.05) และมีผลให้ขนาดอนุภาคของโปรตีน ความสว่างของสี และปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และฟอสฟอรัสในซีรั่มของน้ำนมลดลง (p<0.05) ส่วนปัจจัยด้านการเติมสารเพิ่มความคงตัวพบว่า มีผลช่วยลดปริมาณตะกอนในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งจากร้อยละ 2.66 (ชุดควบคุม) เป็นร้อยละ 0.64 ในชุดการทดลองที่เติม DPHP ก่อนสเตอริไลซ์ โดยในชุดการทดลองนี้พบขนาดของเม็ดไขมันและขนาดอนุภาคเล็กกว่าชุดการทดลองที่เติม DSHP และ CC จึงสรุปได้ว่า น้ำนมแพะที่มีคุณภาพตาม มกอช.6006-2551 แล้วเก็บรักษาด้วยการแช่แข็ง ถ้ามีการเติม DPHP ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ก่อนสเตอริไลซ์ จะได้ผลิตภัณฑ์สเตอริไลซ์ที่มีคุณภาพไม่ต่างจากการผลิตด้วยน้ำนมแพะสด

คำสำคัญ: น้ำนมแพะสด, น้ำนมแพะแช่แข็ง, สเตอริไลซ์, สารเพิ่มความคงตัว

---

[1] ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี 94000

[1] Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Mueng, Pattani 94000, Thailand.

[2] ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

[2] Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): patcharin.p@psu.ac.th

ABSTRACT

This research compared effects of using fresh raw goat milk and frozen goat milk (freeze at -18 °C) to produce canned sterilized goat milk and examined effects of adding and non-adding stabilizers. The treatments were (1) Control (non-adding stabilizer), (2) adding 10 mM of disodium hydrogen phosphate (DSHP), (3) adding 10 mM of dipotassium hydrogen phosphate (DPHP) and (4) adding 2 mM of calcium chloride (CC) to improve stability of milk before sterilization. The experimental design was 2 × 4 Factorial in CRD. Raw goat milk in the study had quality complied with the Thai Agricultural Commodity and Food Standard (TAS 6006-2008)-Raw Goat Milk. The results of this study found that freezing induced an increase of sediment content and fat droplet size (p<0.05). In addition, the freezing affected a decline (p<0.05) in particle size of protein and decreased in calcium, magnesium, sodium and phosphorus content in milk serum. Addition of stabilizers especially DPHP lowered sediment content in sterilized goat milk from 2.66% (control) to 0.64%. Furthermore, the sterilized goat milk from this treatment had less fat droplet size and particle size than the DSHP and CC treated. In conclusion, the goat milk that had quality conformed to the TAS 6006-2008 before freezing, and added 10 mM of the DPHP before sterilizing. The sterilized milk quality obtained is not different from the one produced from fresh goat milk.

Key words: fresh goat milk, frozen goat milk, sterilization, stabilizer

บทนำ

น้ำนมแพะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมีโปรตีน แคลเซียม และสังกะสีสูงกว่าน้ำนมแม่และน้ำนมโค (Park *et al.,* 2007) และเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่มีปัญหาระบบทางเดินอาหาร รวมไปถึงผู้ที่แพ้น้ำนมโค (Nurliyani *et al.,* 2015) การเลี้ยงแพะนมในประเทศไทยส่วนใหญ่เลี้ยงในฟาร์มขนาดเล็ก น้ำนมที่ได้ถูกเก็บรักษาโดยการแช่แข็งเพื่อรวบรวมส่งให้กับผู้ประกอบการที่กระจายอยู่ในพื้นที่ภาคกลาง การผลิตน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ในภาคใต้เองก็ใช้น้ำนมแพะจากภาคกลางเป็นวัตถุดิบ โดยมีการแช่แข็งน้ำนมก่อนการขนส่ง เมื่อถึงสถานที่ผลิต น้ำนมจะละลายบางส่วน ผู้ผลิตจะเก็บแช่แข็งต่อระหว่างการรอผลิต ทำให้น้ำนมมีการแช่แข็งและทำละลายมากกว่า 1 ครั้ง ปัญหาที่ผู้ประกอบการพบบ่อยคือน้ำนมตกตะกอนหลังจากสเตอริไลซ์ ผลิตภัณฑ์มีตะกอนขาวกระจายอยู่ในขวด หรือตกที่ก้นขวด ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ยอมรับ แต่บางครั้งก็ไม่พบปัญหาดังกล่าว จึงเป็นข้อถกเถียงในกลุ่มผู้ประกอบการถึงการนำน้ำนมแพะแช่แข็งมาแปรรูปด้วยการสเตอริไลซ์

การแช่แข็งน้ำนมมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมหลายประการ งานวิจัยในน้ำนมโค น้ำนมแกะและน้ำนมแพะ พบว่า การแช่แข็งมีผลต่อค่าพีเอช (Kljajevic *et al.,* 2016) ความหนืด ความคงตัวของอิมัลชันในน้ำนม (Nurliyani *et al.,* 2015) การเกิดการจับกลุ่มกันบางส่วนของเม็ดไขมัน (Partial coalescence) ส่งผลให้ไขมันในน้ำนมแยกชั้น (Degner *et al.*, 2014) เกิดการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (Katsiari *et al.,* 2002) ทำให้เกิดความไม่สมดุลของเกลือแร่บางชนิด เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เนื่องจากเกิด

การย้ายเข้า-ออกของเกลือแร่กับเคซีนไมเซลล์ ทำให้อนุภาคของเคซีนมีขนาดใหญ่ขึ้น (Balde and Aider, 2016) และง่ายต่อการเกิดตะกอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่อนำน้ำนมแช่แข็งไปสเตอริไลซ์จึงพบปัญหาเรื่องความคงตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวอาจช่วยลดปัญหาได้ โดย Montilla and Calvo (1997) รายงานว่าการปรับพีเอชด้วยเกลือของกรดอินทรีย์ช่วยคงความเสถียรของน้ำนมได้ดี เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ช่วยเพิ่มความคงตัวและลดปริมาณตะกอนของน้ำนมหลังจากให้ความร้อน การเติมไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมซิเตรท และไดไซเดียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชของน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น น้ำนมมีความคงตัวมากขึ้น (Gaucher *et al.*, 2007) การเติมสารประกอบฟอสเฟตมีผลต่อความแรงอิออน การเพิ่มขึ้นของความแรงอิออนจะไปเพิ่มการละลายของแคลเซียมฟอสเฟตในส่วนซีรั่มซึ่งทำให้เคซีนไมเซลล์เกิดการจัดเรียงตัวใหม่และมีความคงตัวที่ดีขึ้น (Chen *et al.,* 2015) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้น้ำนมแพะดิบและน้ำนมแพะแช่แข็งในการผลิตน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ และศึกษาผลของการเติมสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด คือ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อเป็นแนวทางและพิสูจน์ยืนยันว่าสามารถใช้น้ำนมแพะแช่แข็งในการผลิตผลิตภัณฑ์สเตอริไลซ์หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ความร้อนสูงได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำนมแพะ

การศึกษาใช้น้ำนมแพะสดพันธุ์ซาแนนจากโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านไอร์บือแต ต. ช้างเผือก อ.จะแนะ จ.นราธิวาส ตัวอย่างน้ำนมแพะบางส่วนได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นตามรายละเอียดในมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.6006-2551) คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน ของแข็งทั้งหมด น้ำตาลแล็กโทส การต้มในน้ำเดือด ความถ่วงจำเพาะและการเปลี่ยนสีของเมธิลีนบลู น้ำนมแพะอีกส่วนหนึ่งแบ่งออกเป็น 8 ชุดการทดลอง ศึกษาเปรียบเทียบน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็ง และการเติมและไม่เติมสารเพิ่มความคงตัว วางแผนการทดลองแบบ 2 × 4 แฟคทอเรียลใน CRD ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ มีรายละเอียด ดังนี้ น้ำนมแพะสด 4 ชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ 1ไม่เติมสารเพิ่มความคงตัว ชุดการทดลองที่ 2-4 คือ ชุดการทดลองที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 2) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate; DSHP) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล 3) ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Dipotassium hydrogen phosphate; DPHP) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลและ 4) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; CC) ความเข้มข้น 2 มิลลิโมล จากนั้นฮอโมจิไนเซอร์น้ำนมด้วยเครื่องฮอโมจิไนเซอร์ระบบความดันที่ความดัน 2,000-2,300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วจึงนำไปสเตอริไลซ์ ส่วนน้ำนมแพะที่เหลืออีก 4 ชุดการทดลอง คือชุดการทดลองที่ 5-8 ได้นำน้ำนมแพะบรรจุถุงโพลีเอทิลีน ถุงละ 500 กรัม ซีลปิดผนึกให้มีอากาศเหลืออยู่ในถุงน้อยที่สุด นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน แล้วทำละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในห้องปรับอุณหภูมิ จากนั้นนำไปแช่แข็งและทำละลายซ้ำแบบเดิมอีก 2 ครั้ง (ระยะเวลา 5 วัน) แล้วทำละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อเลียนแบบการเก็บรวบรวมน้ำนมแพะแช่แข็งแล้วขนส่งและการเก็บแช่แข็งเพื่อรอการผลิต รวมทั้งการทำละลายก่อนการผลิต แล้วจึงนำไปเติมและไม่เติม

สารเพิ่มความคงตัวเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1-4 จากนั้นจึงนำไปฮอโมจิไนซ์และสเตอริไลซ์

2. การสเตอริไลซ์

บรรจุน้ำนมแพะจากข้อ 1 ลงในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ขนาด 307 × 113 น้ำหนักน้ำนม 180 กรัมต่อกระป๋อง แล้วนำไปไล่อากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปิดฝากระป๋องด้วยเครื่องปิดผนึก ทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 112 องศาเซลเซียส ในหม้อฆ่าเชื้อระบบไอน้ำ (Steam retort) โดยมีการบันทึกข้อมูลการแทรกผ่านความร้อน คำนวณให้การฆ่าเชื้อมีค่า F_0 เท่ากับ 4 นาที โดยใช้การคำนวณตามวิธี Formula method (Sharma *et al*., 2000)

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมแพะสเตอริไลซ์

3.1 ค่าพีเอชวัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (Mettler Toledo รุ่น (20 SevenEasy, TM , U.S.A.) โดยปรับเทียบเครื่องมือด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 4.01, 7.00 และ 10.00 ก่อนการวัดพีเอชน้ำนมแพะทุกครั้ง

3.2 ปริมาณตะกอน วิเคราะห์โดยนำตัวอย่างน้ำนมแพะ 40 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง 1,540 × g เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อบจนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักของแข็งและคำนวณร้อยละของปริมาณตะกอน ความคงตัวของโปรตีนแสดงเป็นร้อยละของปริมาณตะกอนจากตัวอย่างน้ำนมแพะ ถ้าปริมาณของน้ำหนักแห้งมากกว่าร้อยละ 2.5 แสดงว่าโปรตีนไม่มีความคงตัว (Katsiari *et al.*, 2002)

3.3 ขนาดเม็ดไขมันวิเคราะห์ด้วยการถ่ายรูปขนาดเม็ดไขมันผ่านกล้องจุลทรรศน์ด้วยโปรแกรม Motic Image Plus 2.0 โดยหยดตัวอย่างน้ำนมแพะที่มีอุณหภูมิ 25±5 องศาเซลเซียส ลงบนแผ่นสไลด์ และปิดแผ่นปิดสไลด์ ไม่ให้มีฟองอากาศ ใช้กำลังขยาย 40 เท่า คำนวณขนาดของเม็ดไขมันโดยเลือกโหมดจุดสามจุด (Tri-circle) รายงานเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Thoh *et al*., 2017)

3.4 ขนาดอนุภาคโปรตีนของน้ำนมแพะวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution analyzer) เตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 × g เวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อแยกไขมัน โปรตีนนมที่ได้นำไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้ค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับ 1.33 ซึ่งเป็นค่าการหักเหแสงของตัวกลางที่ใช้ในการวัด (Fava *et al.,* 2013) พารามิเตอร์ที่วัดคือ $D_{(4,3)}$ ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเชิงปริมาตร

3.5 ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มน้ำนมแพะ จำนวน 4 แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Inductively couple plasma-optical emission spectrometer, ICP–OES) เตรียมตัวอย่างโดยกรองน้ำนมแพะด้วยหลอดกรอง (Dialysis tube, Amicon, Germany) ที่มีขนาดโมเลกุลตัดขวาง 10 กิโลดาลตัน เพื่อหลีกเลี่ยงการถ่ายโอนโมเลกุลขนาดเล็กและโปรตีนกับแร่ธาตุในหลอดกรอง (Gaucheron, 2005) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.97 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างน้ำนมแพะในหลอดกรองไปเซนตริฟิวส์ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จนได้สารละลายใสและนำไปเก็บในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยใช้ความยาวคลื่นที่กำหนดดังนี้ 317.933 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์แคลเซียม 285.213 นาโนเมตร สำหรับแมกนีเซียม 213.617 นาโนเมตร สำหรับฟอสฟอรัส และ 589.592 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์โซเดียม (Balde and Aider, 2016)

3.6 ค่าสีของน้ำนมแพะ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Hunter Lab Color Quest XE ทำการวัดทั้งหมด 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง โดยใช้ระบบสีแบบ CIE ค่าสีที่ได้รายงานเป็น L* หมายถึงความสว่าง (Lightness) ค่า a* แสดงถึงความเป็นสีเขียวและสีแดง โดยที่ (-a*) หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว และค่า b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง โดยที่ (-b*) คือค่าความเป็นสีน้ำเงิน (+b*) คือค่าความเป็นสีเหลือง

4. สถิติที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

น้ำนมแพะที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพดี ไม่พบการเปลี่ยนสีของเมธิลีนบลูใน 4 ชั่วโมง ไม่เกิดตะกอนจากการต้มด้วยน้ำเดือด มีค่าพีเอช 6.73±0.01 น้ำนมแพะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 13.77±0.77 มีปริมาณไขมันปริมาณโปรตีน และปริมาณน้ำตาลแล็กโทสร้อยละ 5.18±0.10, 3.60±0.08 และ 5.38±0.35 ตามลำดับ มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 6006-2551 เรื่อง “น้ำนมแพะดิบ” (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551) ซึ่งระบุว่าน้ำนมแพะคุณภาพดีควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-6.8 ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 12-13 มีปริมาณไขมันและโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3.5-4 และ 3.4-3.7 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบการใช้น้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งในการทำผลิตภัณฑ์สเตอริไลซ์ รวมทั้งผลของสารเพิ่มความคงตัว ได้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพและปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มน้ำนม ดังนี้

1. ค่าพีเอชของน้ำนมแพะ

น้ำนมแพะดิบมีค่าพีเอช 6.73±0.01 การเติมสารประกอบฟอสเฟต DSHP และ DPHP ทำให้ค่าพีเอชในน้ำนมแพะดิบเพิ่มสูงขึ้นเป็น 6.95±0.01 และ 6.93±0.02 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ส่วนการเติม CC ไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำนมแพะดิบ น้ำนมที่เติม CC มีค่าพีเอช 6.71±0.02 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ส่วนน้ำนมหลังแช่แข็งมีค่าพีเอช 6.66±0.01 การเติม DSHP, DPHP และ CC ทำให้น้ำนมมีค่าพีเอช 6.88±0.01, 7.02±0.01 และ 6.74±0.03 ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) เมื่อนำน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งไปสเตอริไลซ์ ค่าพีเอชของน้ำนมแพะลดลงทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 6.37-6.55 (ตารางที่ 1) Raynal-Ljutovac *et al.* (2007) รายงานว่าการให้ความร้อนมีผลให้ค่าพีเอชในน้ำนมลดลงจาก 2 สาเหตุ ได้แก่ การเคลื่อนย้ายของแคลเซียมและฟอสเฟตจากไมเซลล์ไปสู่วัฏภาคคอลลอยด์มีผลให้ค่าพีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลง และความร้อนในการสเตอริไลซ์มีผลให้น้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมเปลี่ยนโครงสร้าง (degradation) เป็นกรด (Raynal-Ljutovac *et al*., 2007) โดยน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งมีค่าพีเอชค่อนข้างใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบผลของสารเพิ่มความคงตัว พบว่า ชุดการทดลองที่เติม DSHP และ DPHP มีค่าพีเอชสูงกว่าชุดการทดลองที่เติม CC เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติเป็นด่าง (Chen *et al.,* 2012) เมื่อละลายน้ำจะได้สารประกอบ H_2PO^{4+} และ OH^- ค่าพีเอชจึงสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่เติม CC ส่วนชุดการทดลองที่เติม CC ค่าพีเอชไม่ต่างจากชุดการทดลองควบคุม (p>0.05) เนื่องจาก CC สามารถแตกตัวได้ทั้งสารประกอบด่าง $Ca(OH)_2$ และกรด HCl และความเข้มข้นที่ใช้น้อยมาก จึงไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำนม Chen *et al.* (2015) ได้รายงานว่าการเติม DSHP และ

DPHP ในน้ำนม UHT มีผลให้พีเอชในน้ำนมหลังการ UHT ลดลงเช่นกัน

2. ปริมาณตะกอนของน้ำนมแพะ

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสด พบว่า การเติม DSHP และ DPHP มีผลให้มีปริมาณตะกอนสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม เนื่องจากสารเติมแต่งทำให้อิออนที่เป็นส่วนประกอบของสารประกอบฟอสเฟตเข้มข้นขึ้น และทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างอิออนบวกและอิออนลบ ซึ่งอาจไปรบกวนสมดุลเกลือแร่ในน้ำนมแพะสด ทำให้แคลเซียมฟอสเฟตตกตะกอน หรือสารเติมแต่งอาจจับตัวกันเองและตกตะกอน ส่วนน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งมีปริมาณตะกอนร้อยละ 2.66±0.04 สูงกว่าการผลิตที่ใช้น้ำนมแพะสด (p<0.05) Katsiari *et al.* (2002) รายงานว่า การแช่แข็งน้ำนมส่งผลต่อความไม่สมดุลของแคลเซียมฟอสเฟตที่จับอยู่กับเคซีนไมเซลล์ แคลเซียมฟอสเฟตบางส่วนหลุดออกจากเคซีนไมเซลล์มีผลให้โปรตีนนมเสียสภาพ และเมื่อน้ำนมถูกแช่แข็ง-ทำละลายหลายรอบยิ่งกระตุ้นให้โปรตีนนมเกิดการเสียสภาพมากขึ้นและเกิดตะกอน การเติมสารเพิ่มความคงตัวในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งทั้ง 3 ชนิด มีผลให้ปริมาณตะกอนน้อยกว่าการไม่เติม เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟต DSHP และ DPHP สามารถแตกตัวไปจับกับแคลเซียมและฟอสเฟตที่หลุดออกมาจากไมเซลล์ที่ถูกกระตุ้นโดยการแช่แข็งและการให้ความร้อน ส่วน CC แตกตัวได้เป็น Ca^{2+} และ Cl^{-} ซึ่งอิออนทั้งสองตัวนี้ก็สามารถจับกับแคลเซียม ฟอสเฟต และเกลือแร่ชนิดอื่นในระบบได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อแคลเซียมฟอสเฟตหลุดออกมาเนื่องจากน้ำนมเริ่มสูญเสียความคงตัว ถูกจับด้วยสารทั้ง 3 ชนิดข้างต้นจึงมีผลต่อการลดปริมาณตะกอน โดยปัจจัยที่มีผลให้ค่าพีเอชลดลงและปริมาณตะกอนของนมสเตอริไลซ์เพิ่มขึ้นคือ ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว และปัจจัยร่วมระหว่างกระบวนการแช่แข็งกับชนิดของสารเพิ่มความคงตัว โดยที่กระบวนการแช่แข็งมีผลโดยตรงต่อปริมาณตะกอน (p<0.05)

ตารางที่ 1 ค่าพีเอชและปริมาณตะกอนในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด

ชุดการทดลอง	พีเอช		ปริมาณตะกอน (%)	
	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง
ชุดควบคุม	6.38±0.01^{cd}	6.38±0.02^{cd}	0.45±0.02^{d}	2.66±0.04^{a}
DSHP	6.48±0.01^{b}	6.55±0.01^{a}	0.80±0.08^{b}	0.44±0.02^{d}
DPHP	6.40±0.01^{c}	6.50±0.02^{b}	0.74±0.72^{bc}	0.64±0.01^{c}
CC	6.39±0.01^{c}	6.36±0.01^{d}	0.45±0.06^{d}	0.35±0.13^{d}

$^{a-d}$ ค่าเฉลี่ยที่ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันในแต่ละรายการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

DSHP = ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต DPHP = ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

CC = แคลเซียมคลอไรด์

3. ขนาดเม็ดไขมันของน้ำนมแพะ

ไขมันนมกระจายอยู่ในน้ำนมในลักษณะอิมัลชัน ผิวของเม็ดไขมันมีฟอสโฟลิปิดทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ไม่ให้ไขมันรวมตัวกัน (Raynal-Ljutovac *et al*., 2007) การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดไขมันนมได้วิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังสเตอริไลซ์ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน ในบทความนี้นำเสนอเฉพาะข้อมูลน้ำนมแพะหลังสเตอริไลซ์ พบว่า น้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งมีขนาดของเม็ดไขมันนมใหญ่กว่าที่ผลิตจากน้ำนมแพะสด อาจเป็นเพราะกระบวนการแช่แข็งมีผลึกน้ำแข็งอยู่อย่างหนาแน่น มีผลให้เม็ดไขมันขยับเข้ามาชิดกัน (Ariyaprakai and Tananuwong, 2015) รวมทั้งการแช่แข็งมีผลให้พื้นผิวเมมเบรนของเม็ดไขมันเสียสภาพและเมมเบรนแตกออก เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น (Degner *et al.*, 2014) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการเติมสารเพิ่มความคงตัว พบว่า การเติม CC ไม่ส่งผลต่อขนาดเม็ดไขมันในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ ทั้งที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็ง ส่วนน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่เติมสารประกอบฟอสเฟตชนิด DPHP มีขนาดเม็ดไขมันเล็กกว่าการไม่เติม และเล็กกว่าการเติมสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่น โดยสารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความคงตัวได้เนื่องจากสามารถลดแรงตึงผิว ให้ความแข็งแรงแก่พื้นผิวเมมเบรน ทำให้ไขมันนมลดการเชื่อมกัน อย่างไรก็ตามลักษณะปรากฏจากการสังเกตของทีมผู้วิจัยไม่พบการแยกของไขมันนมหรือการเกิดครีมน้ำนมมีลักษณะปกติทุกชุดการทดลอง การเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเม็ดไขมันเกิดจากกระบวนการแช่แข็ง ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว และปัจจัยร่วมระหว่างการแช่แข็งและชนิดของสารเพิ่มความคงตัว โดยที่การแช่แข็งทำให้ขนาดเม็ดไขมันนมมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการเติมสารประกอบฟอสเฟตมีผลให้ขนาดเม็ดไขมันนมของน้ำนมแพะสเตอริไลซ์มีขนาดเล็กลง

4. ขนาดอนุภาคโปรตีนของน้ำนมแพะ

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโปรตีนด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า น้ำนมแพะสดมีขนาดอนุภาค 0.44±0.04 ไมโครเมตร (ไม่ได้แสดงข้อมูล) เมื่อนำมาทดลอง พบว่าความร้อนระดับการสเตอริไลซ์มีผลให้ขนาดอนุภาคโปรตีนใหญ่ขึ้น (1.59±0.02 ไมโครเมตร, ตารางที่ 2) กระบวนการให้ความร้อนส่งผลให้เกิดการเสียสภาพของเวย์โปรตีนและเกิดการจับตัวกันของโปรตีนที่เสียสภาพแล้วกับเคซีนไมเซลล์ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์เชิงซ้อน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของเคซีนไมเซลล์เหนี่ยวนำให้เกิดเจลในน้ำนมและการตกตะกอน (Li *et al.,* 2014) แต่น้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งมีค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคเล็กลง (0.14±0.01) และขนาดอนุภาคเล็กกว่าการผลิตจากน้ำนมแพะสด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเกิดผลึกน้ำแข็งในกระบวนการแช่แข็งทำให้ของเหลวในระบบมีความเข้มข้นสูง โปรตีนนมถูกเคลื่อนย้ายไปอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำแข็งและของเหลวเข้มข้นทำให้โปรตีนเสียสภาพ และเมื่อนำน้ำนมแพะแช่แข็งมาทำละลายแล้วแช่แข็งซ้ำ การเกิดผลึกใหม่ (Recrystalization) ของน้ำแข็งเพิ่มความเครียดและแรงเฉือนกับโปรตีนที่ถูกจับอยู่ระหว่างผิวหน้าของผลึกน้ำแข็งและของเหลว เป็นผลให้โปรตีนเสียสภาพมากขึ้น (Cao *et al*., 2003) โดยผลการทดลองนี้แสดงชัดเจนว่าโปรตีนนมในชุดการทดลองน้ำนมแพะแช่แข็งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าน้ำนมแพะสด (ตารางที่ 2) สัมพันธ์กับปริมาณตะกอน (ตารางที่ 1) ส่วนผลของการเติมสารเพิ่มความคงตัว พบว่า ชุดการทดลองที่เติม CC มีขนาดอนุภาคเล็กและปริมาณตะกอนน้อย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2015)

เนื่องจากการเติม CC เพิ่มปริมาณ Ca^{2+} ซึ่งเป็นแร่ธาตุหลักในโครงสร้างเคซีนไมเซลล์ (Tsioulpas *et al.,* 2010) ช่วยสมดุลแร่ธาตุและเพิ่มความคงตัว การเติม DSHP และ DPHP ทำให้ขนาดโปรตีนของน้ำนมแพะหลังจากสเตอริไลซ์ใหญ่ขึ้นเป็นไปตามการรักษาความสมดุลของแคลเซียมฟอสเฟตในวัฏภาคไมเซลล์ (Chen *et al.*, 2012) โดยสามารถแตกตัวและเข้าไปจับกับหมู่ฟอสเฟตบริเวณผิวของแคลเซียมฟอสเฟตที่อยู่ระหว่างแต่ละซับไมเซลล์ ทำให้เคซีนไมเซลล์มีความเสถียร โดยเกิดเป็นโมเลกุลของโซเดียมฟอสเฟตหรือโพแทสเซียมฟอสเฟตและแคลเซียมฟอสเฟตขึ้น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค ทำให้เคซีนแต่ละไมเซลล์รวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามน้ำนมสเตอริไลซ์ทุกชุดการทดลองเมื่อนำมาสังเกตด้วยสายตาน้ำนมมีลักษณะปรากฏที่เหมือนกัน คือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

5. ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่ม

น้ำนมที่ได้รับความร้อนสูงอาจมีแคลเซียมและฟอสเฟตหลุดออกมาจากคอลลอยด์ของเคซีนไมเซลล์ (Raynal-Ljutovac *et al*., 2007) เนื่องจากความร้อนทำลายโครงสร้างของโปรตีนเคซีนให้เสียสภาพ (Pesic *et al.*, 2014) การเสียสมดุลของแร่ธาตุมีผลต่อความคงตัวของส่วนประกอบในน้ำนมโดยเฉพาะโปรตีน ทำให้เพิ่มการตกตะกอนของโปรตีนได้ เช่น การที่แคลเซียมหลุดออกจากเคซีนไมเซลล์มาอยู่ในส่วนของซีรั่ม ทำให้เคซีนไมเซลล์บางส่วนรวมตัวกันและตกตะกอน ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์แร่ธาตุ 4 ชนิด คือ แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งพบกระจายอยู่ทั้งในส่วนของซีรั่มและในเคซีนไมเซลล์ การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็ง พบว่า ปริมาณแร่ธาตุทั้ง 4 ชนิดในซีรั่มในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งทั้งชุดการทดลองที่เติมและไม่เติมสารเพิ่มความคงตัวมีน้อยกว่าในน้ำนมสด เนื่องจากผลของการแช่แข็งทำให้แร่ธาตุบางส่วนไปจับกับโปรตีนในเคซีนไมเซลล์ (Gaucheron, 2005) จึงเป็นไปได้ว่าการตรวจสอบปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มในกรณีน้ำนมแพะแช่แข็งอาจไม่เชื่อมโยงสัมพันธ์กับความคงตัวและปริมาณตะกอน ผลของการเติมสารเพิ่มความคงตัวทั้ง 3 ชนิด พบว่าการเติม CC ทำให้มีปริมาณแคลเซียมในซีรั่มสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากมีแคลเซียมแตกตัวออกมาจากแคลเซียมคลอไรด์ที่เติมลงไป ส่วนชุดการทดลองน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งที่เติม DSHP มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในซีรั่มน้อยกว่าการเติมสารชนิดอื่นเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) อาจเนื่องจากการเติม DSHPไปเพิ่มค่าความแรงอิออนทำให้ลดการละลายในส่วนคอลลอยด์ได้ (Gaucher *et al.,* 2007) โดยที่ DSHP ไม่ได้ไปแย่งจับแคลเซียมและแมกนิเซียมในส่วนแพร่กระจาย (diffusible phase) แต่อาจจะไปจับในส่วนไมเซลล์ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมในส่วนแพร่กระจายน้อย (p<0.05) ปริมาณโซเดียมในน้ำนมแพะแช่แข็งสเตอริไลซ์ชุดการทดลองที่เติม DSHP มีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถแตกตัวได้เป็น Na^{+} ได้ดังนั้นสารเติมแต่งก็เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมสเตอริไลซ์

ฟอสฟอรัสเป็นอีกแร่ธาตุหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบของพันธะแคลเซียมฟอสเฟตที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเคซีนไมเซลล์ผลการทดลองจากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรั่มในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งมีปริมาณน้อยกว่าที่ผลิตจากน้ำนมสด ทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว และชุดการเติมสาร DPHP และDSHP มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าชุดการทดลองอื่น

เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนฟอสเฟต การวิเคราะห์สถิติดูผลของปัจจัยพบว่า การแช่แข็งและสารเพิ่มความคงตัว เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุทั้ง 4 ในซีรั่ม

ตารางที่ 2 ขนาดเม็ดไขมันและขนาดอนุภาค ($D_{(4,3)}$) โปรตีนน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด

ชุดการทดลอง	ขนาดเม็ดไขมัน(ไมโครเมตร)		ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	
	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง
ชุดควบคุม	1.89±0.45^{c}	2.50±0.25^{a}	1.59±0.02^{b}	0.14±0.01^{h}
DSHP	1.71±0.40^{c}	2.11±0.03^{b}	1.69±0.01^{a}	0.59±0.01^{d}
DPHP	1.45±0.01^{d}	1.73±0.00^{c}	1.17±0.03^{c}	0.37±0.01^{g}
CC	1.82±0.02^{c}	2.66±0.10^{a}	0.48±0.01^{e}	0.45±0.01^{f}

$^{a-h}$ ค่าเฉลี่ยที่ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันในแต่ละรายการวิเคราะห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

DSHP = ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต DPHP = ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

CC = แคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 3 ปริมาณแร่ธาตุ 4 ชนิด ในซีรั่มของน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งที่มีการเติมสารเพิ่มความคงตัว

ชุดการทดลอง	Ca		Mg		P		Na	
	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง
ชุดควบคุม	226.7±5.4^{a}	191.4±2.1^{c}	70.7±1.0^{a}	62.1±1.0^{d}	381.2±2.0^{c}	7.5±0.2^{e}	672.3±14.7^{e}	553.4±6.6^{h}
DSHP	127.4±0.8^{e}	93.7±0.5^{f}	53.5±0.7^{e}	42.0±0.4^{g}	667.1±5.6^{b}	12.7±0.1^{e}	1290.0±32.1^{a}	1215.0±8.7^{b}
DPHP	162.0±2.8^{d}	121.9±2.2^{e}	67.0±0.7^{b}	46.0±0.7^{f}	699.0±9.3^{a}	11.5±0.2^{e}	882.5±15.4^{c}	603.5±4.6^{g}
CC	232.2±4.8^{a}	221.1±1.9^{b}	70.5±2.4^{a}	64.3±0.2^{c}	369.2±3.7^{d}	6.4±0.1^{e}	720.2±20.56^{d}	629.7±4.4^{f}

$^{a-h}$ ค่าเฉลี่ยที่ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันของแต่ละรายการวิเคราะห์หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

DSHP = ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต DPHP = ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

CC = แคลเซียมคลอไรด์

6. ค่าสี

ค่าสีน้ำนมแพะแสดงผลการวัดเป็นค่า L*, a* และ b* น้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งมีค่าความสว่างน้อยกว่าน้ำนมสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดเล็กน้อย และชุดการทดลองที่มีการเติม DSHP และDPHP มีค่าความสว่างน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม Gaucher (2007) รายงานว่าความสว่างของหางนมลดลงเมื่อเติม DPHP เนื่องจากการอุ้มน้ำของเคซีนเปลี่ยนไป (Balde and Aider, 2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kort *et al.* (2012) ที่พบว่าการเติม DSHP ทำให้น้ำนมขุ่นขึ้น เนื่องจากเพิ่มการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต

ผลการวิเคราะห์ค่าสี a* (สีแดงเขียว) และ b* (สีเหลืองน้ำเงิน) มีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างชุดการทดลอง แต่การสังเกตสีด้วยสายตาของทีมผู้วิจัยไม่สามารถแยกความต่างของสีในแต่ละชุดการทดลองได้ น้ำนมแพะมีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสมากถึงร้อยละ 5 เมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 100 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเคซีนและน้ำตาลแล็กโทสโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้สารประกอบสีน้ำตาล คือ ไพราไลซีน (pyralysine) และ เมลานอยดีน (melanoidins) ซึ่งทำให้เกิดเป็นสีน้ำตาลในน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ (Raynal-Ljutovac *et al.,*2007) และอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดสีน้ำตาลคือการเกิดไอโซเมอร์ของน้ำตาลแล็กโทสเป็นสารประกอบชื่อแล็กทูโลส (Lactulose) ซึ่งจะเกิดเมื่อน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมได้รับอุณหภูมิที่สูงกว่า 100 ^{O}C (Van Boekel, 1998)

สรุป

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ได้แก่ กระบวนการ (น้ำนมแพะดิบ และน้ำนมแพะแช่แข็ง) สารเพิ่มความคงตัว และปัจจัยร่วมระหว่างกระบวนการและสารเพิ่มความคงตัว พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณตะกอน ขนาดเม็ดไขมัน การกระจายขนาดอนุภาคโปรตีน ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่ม และสีการเปรียบเทียบการผลิตน้ำนมแพะสเตอริไลซ์โดยใช้น้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็ง พบว่าการแช่แข็งไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชของน้ำนมแพะ แต่ส่งผลให้มีปริมาณตะกอนสูงกว่า และขนาดเม็ดไขมันใหญ่กว่าการผลิตด้วยน้ำนมแพะสด แต่ขนาด-

ตารางที่ 4 ค่าสีน้ำนมแพะสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะสดและน้ำนมแพะแช่แข็งมีการเติมสารเพิ่มความคงตัว

ชุดการทดลอง	*L**		*a**		*b**	
	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง	น้ำนมแพะสด	น้ำนมแพะแช่แข็ง
Control	88.80±0.01^{b}	87.50±0.02^{c}	-1.52±0.01^{f}	-1.72±0.01^{g}	13.10±0.01^{e}	13.42±0.03^{d}
DSHP	87.13±0.04^{d}	85.01±0.01^{h}	-0.47±0.01^{c}	-0.20±0.01^{a}	14.60±0.01^{b}	15.45±0.03^{a}
DPHP	86.57±0.02^{e}	86.51±0.02^{f}	-0.25±001^{b}	-0.87±0.01^{d}	15.47±0.05^{a}	14.41±0.02^{c}
CC	88.87±0.01^{a}	86.07±0.02^{g}	-1.45±0.01^{e}	-1.88±0.01^{h}	12.75±0.08^{g}	13.02±0.02^{f}

$^{a-h}$ ค่าเฉลี่ยที่ตัวอักษรในแนวตั้งต่างกันของแต่ละรายการวิเคราะห์หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

DSHP = ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต DPHP = ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

CC = แคลเซียมคลอไรด์

อนุภาคและปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มต่ำกว่า การเติมสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด คือ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DSHP) ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DPHP) และแคลเซียมคลอไรด์ (CC) มีผลช่วยลดปริมาณตะกอนในน้ำนมแพะเตอริไลซ์ที่ผลิตจากน้ำนมแพะแช่แข็งได้ โดยการเติม DPHP ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล-มีผลให้ขนาดเม็ดไขมันและขนาดอนุภาคในน้ำนมสเตอริไลซ์มีขนาดเล็กกว่าชุดการทดลองอื่น จึงสรุปได้ว่า การเติม DPHP ในน้ำนมแพะแช่แข็งก่อนการสเตอริไลซ์ทำให้น้ำนมหลังการสเตอริไลซ์มีคุณภาพไม่แตกต่างจากการผลิตด้วยน้ำนมแพะสด ทั้งนี้ คุณภาพของน้ำนมแพะก่อนการแช่แข็งต้องเป็นไปตามมาตรฐาน สินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.6006-2551)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์อาหารฮาลาล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. **มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 6006 2551 น้ำนมแพะดิบ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Ariyaprakai, S. and Tananuwong, K. 2015. Freeze–thaw stability of edible oil-in-water emulsions stabilized by sucrose esters and Tweens. **Journal of Food Engineering** 152: 57-64.

Balde, A. and Aider, M. 2016. Impact of cryoconcentration on casein micelle size distribution, micelles inter-distance, and flow behavior of skim milk during refrigerated storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 34: 68-76.

Cao, E., Chen, Y., Cui, Z. and Foster, P.R. 2003. Effect of freezing and thawing rates on denaturation of proteins in aqueous solutions. **Biotechnology and Bioengineering** 82(6):684-90.

Chen, B.Y., Grandison, A.S. and Lewis, M.J. 2012. Comparison of heat stability of goat's milk subjected to ultra-high temperature and in-container sterilization. **Journal of Dairy Science** 95: 1057-1063.

Chen, B., Grandison, A.S. and Lewis, M.J. 2015. Effect of seasonal variation on some physical properties and heat stability of milk subjected to ultra-high temperature and in-container sterilization. **Food Chemistry** 181: 227-234.

Degner, B.M., Cheryl, C., Vicki, S., Robert, H. and David, J.M. 2014. Factors influencing the freeze-thaw stability of emulsion-based foods. **Food Science and Food Safety** 13: 98-113.

Fava, L.W., Serpa, P.B.S., Guerreiro, I.C.K. and Pinto, A.T. 2013. Evaluation of viscosity and particle size distribution of fresh, chilled and frozen milk of Lacaune ewes. **Small Ruminant Research** 113: 247-250.

Gaucher, I., Piot, M., Beaucher, E. and Gaucheron, F. 2007. Physico-chemical characterization of phosphate-added skim milk. **International Dairy Journal** 17: 1375-1383.

Gaucheron, F. 2005. The minerals of milk. **Édition Diffusion Presse Sciences** 45: 473-483.

Katsiari, M.C., Voutsinas, L.P. and Kondyli, E. 2002. Manufacture of yoghurt from stored frozen sheep's milk. **Food Chemistry** 77: 413-420.

Kljajevic, N.V., Jovanovic, S.T., Miloradovic, Z.N., Macej, O.D., Vucic, T.R. and Zdravkovic, I.R. 2016. Influence of the frozen storage period on the coagulation properties of caprine milk. **International Dairy Journal** 58: 36-38.

Kort, E., Minor, M., Snoeren, T., Hooijdonk, T.V. and Linden, E. 2012. Effect of calcium chelators on heat coagulation and heat-induced changes of concentrated micellar casein solutions: The role of calcium-ion activity and micellar integrity. **International Dairy Journal** 26: 112-119.

Li, Q., Ma, Y., He, S., Elfalleh, W., Xu, W., Wang, J. and Qiu, L. 2014. Effect of pH on heat stability of yak milk protein. **International Dairy Journal** 35: 102-105.

Montilla, A. and Calvo, M.M. 1997. Goat's milk stability during heat treatment: Effect of pH and phosphates. **Journal of Agricaltural Food Chemistry** 45: 931-934.

Nurliyani, N., Suranindyah, Y. and Suranindyah, P. 2015. Quality and emulsion stability of milk from ettawah crossed bred goat during frozen storage. **Procedia Food Science** 3: 142-149.

Park, Y.W., Ju´arez, M., Ramos, M. and Haenlein, G.F.W. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. **Small Ruminant Research** 68: 88-113.

Pesic, M.B., Barac, M.B., Stanojevic, S.P. and Vrvic, M.M. 2014. Effect of pH on heat-induced casein-whey protein interactions: A comparison between caprine milk and bovine milk. **International Dairy Journal** 39: 178-183.

Raynal-Ljutovac, K., Park, Y.W., Gaucheron, F. and Bouhallab, S. 2007. Heat stability and enzymatic modifications of goat and sheep milk. **Small Ruminant Research** 68: 207-220.

Sharma, S.K., Mulvaney, S.J. and Rizvi, S.S.H. 2000. **Food Process Engineering.** John Wilen & Son Inc. Toronto, Canada.

Thoh, D., Pakdeechanuan, P. and Chanjula, P. 2017. Effect of supplementary glycerin on milk composition and heat stability in dairy goats. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences** 12: 1711-1717.

Tsioulpas, A., Koliandris, A., Grandison, A.S. and Lewis, M.J. 2010. Effects of stabiliser addition and in-container sterilisation on selected properties of milk related to casein micelle stability. **Food Chemistry** 122: 1027-1034.

Van Boekel, M.A.J.S. 1998. Effect of heating on Maillard reactions in milk. **Food Chemistry** 62: 404-414.