อุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการแช่แข็งต่อคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำนมแพะดิบ
Storage Temperature and Freezing Time on Quality and Composition of Raw Goat Milk

รัฐวีร์ ติณตะบุตร[1] เพ็ญพิชชา เอิบอิ่ม[1] พรรณวดี โสพรรณรัตน์[1] เสวก เกียรติสมภพ[1] และ พนัดดา บึงศรีสวัสดิ์[1,*]

Rathawee Tintaboot[1], Penpitcha Erbim[1], Panwadee Sopannarath[1], Savek Kiatsomphob[1] and Panatda Bungsrisawat[1,*]

[1] ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1] Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 11 มกราคม 2567 Received: 11 January 2024
ปรับแก้ไข: 11 พฤษภาคม 2567 Revised: 11 May 2024
รับตีพิมพ์: 18 พฤษภาคม 2567 Accepted: 18 May 2024

* Corresponding author: fagrptb@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนมใช้การแช่แข็งน้ำนมแพะดิบก่อนส่งเข้าโรงงาน การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสามารถใช้เป็นแนวทางควบคุมคุณภาพน้ำนมได้ วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการแช่แข็งต่อคุณภาพและองค์ประกอบน้ำนม รวมถึงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะดิบ

วิธีดำเนินการวิจัย: ใช้แผนการทดลอง 2 x 5 แฟคทอเรียลในบล็อกสมบูรณ์ แหล่งที่มาของถังนมรวมเป็นบล็อก ปัจจัยทดสอบคือ อุณหภูมิเก็บรักษาและระยะเวลาแช่แข็ง โดยเก็บน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -15 (-15.09 ± 0.28) และ -20 (-20.00 ± 0.25) องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพทางจุลชีววิทยา และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในบางลักษณะคุณภาพด้วย Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย: อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาแช่แข็งที่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน ไม่พบความแตกต่างของค่าจุดเยือกแข็ง องค์ประกอบทางเคมี และจำนวนโซมาติกเซลล์ในน้ำนมแพะดิบ ($P > 0.05$) ยกเว้น ค่ากรด-เบส พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) คุณภาพทางจุลชีววิทยาที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการทดสอบดังกล่าว พบว่า ไม่มีผลต่อการลดลงของเชื้อก่อโรค

สรุป: อุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการแช่แข็งน้ำนมแพะดิบในการทดสอบไม่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพทางจุลชีววิทยา นอกจากนี้ ค่ากรด-เบส และค่าองค์ประกอบทางเคมีสามารถนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำนมแพะดิบในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ: นมแพะ, อุณหภูมิเก็บรักษา, ระยะเวลาแช่แข็ง, องค์ประกอบน้ำนม, คุณภาพน้ำนม

ABSTRACT

Background and Objective: Dairy goat farmers refrigerate raw goat milk before sending it to the factory. Studying the appropriate temperature and storage time can be used as a guideline for controlling milk quality. The purpose of this study was to compare the storage temperature and freezing time on milk quality and composition, including the microbiological quality of raw goat milk.

Methodology: The 2 x 5 factorials in complete blocks were used. The milk tank bulk was a block. The factors in this test were temperature and freezing time. Raw goat milk was stored at temperatures of -15 (-15.09 ± 0.28) and -20°C (-20.00 ± 0.25) with storage times of 7, 14, 30, 60, and 90 days to analyze milk quality, chemical composition, and microbiological quality. Some quality traits were compared to the mean difference by Tukey's test at the significance level of 0.05.

Main Results: Storage temperature at -15 and -20°C and freezing time at 7, 14, 30, 60, and 90 days found that there were no significant differences in freezing point values, chemical composition, and the number of somatic cells in raw goat milk ($P > 0.05$), except for the acid-base value, where there was a significant difference ($P < 0.05$). The microbiological quality at the temperature and freezing time of the test found that there was no effect on the reduction of pathogens in raw goat milk.

Conclusions: The storage temperature and freezing time of raw goat milk in the test did not affect milk quality, chemical composition, or microbiological quality. In addition, the acid-base value and chemical composition can be used to evaluate the quality of raw goat milk in practice.

Keywords: Goat milk, storage temperature, freezing time, milk composition, milk quality

Agric. Sci. Innov. J. (2024) Vol. 55(3): 219–233 ว. วิทย. นวัต. กษ. (2567) 55(3): 219–233

บทนำ

นมแพะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยแร่ธาตุวิตามินที่จำเป็นต่อกระบวนการในการดำรงชีวิตภายในร่างกาย มีกรดไขมันสายสั้นและกรดไขมันสายกลางมากกว่าน้ำนมโค และมีขนาดของไขมันขนาดเล็กกว่าน้ำนมโค จึงทำให้นมแพะย่อยง่ายและดูดซึมได้เร็วกว่าน้ำนมโค เหมาะสำหรับเด็กหรือผู้ที่ต้องการฟื้นฟูร่างกาย (Park, 2010) นมแพะยังมีส่วนช่วยปรับปรุงการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ (Prayitno *et al*., 2021) นอกจากนี้ การดื่มนมแพะช่วยลดอาการแพ้สำหรับผู้ที่แพ้นมโค ลดอาการภูมิแพ้ ต้านการอักเสบ และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน (Kao *et al*., 2020) นมแพะจึงนิยมถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการเลี้ยงลูกสัตว์วัยอ่อน อย่างไรก็ตาม การผลิตนมแพะเพื่อให้ได้คุณภาพมาตรฐานยังต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น แหล่งที่มาของน้ำนมแพะดิบ กระบวนการเก็บรักษาน้ำนม อุณหภูมิในการเก็บ

น้ำนม และกระบวนการผลิตน้ำนมแพะดิบก่อนถึงมือผู้บริโภค เพื่อให้ได้น้ำนมแพะดิบที่มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการบริโภค ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมแพะดิบของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (Thai Agricultural Standard 6006-2008; TAS 6006–2008) น้ำนมแพะดิบจะต้องมีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ได้แก่ อยู่ในสภาพปกติ สะอาด มีสีขาวหรือสีขาวนวล มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมและการปลอมปน

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำนมแพะดิบ ได้แก่ องค์ประกอบน้ำนม ค่าความเป็นกรด-เบส การปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในคน และการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคภายในฟาร์มที่สำคัญ เช่น โรคเต้านมอักเสบ ซึ่งเกิดจากเชื้อ *Staphylococcus aureus* นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ก่อโรคที่มักพบในน้ำนม คือ *Escherichia coli* และแบคทีเรียอื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำนมแพะดิบถูกใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินคุณภาพน้ำนมแพะดิบของประเทศไทย (Thai Agricultural Standard, 2008) เชื้อก่อโรคสามารถปนเปื้อนมาจากหลายแหล่ง เช่น เต้านม มูลสัตว์ มือผู้รีดนม เครื่องรีดนม และสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยเฉพาะภาชนะใส่น้ำนมที่ทำความสะอาดไม่ถูกสุขลักษณะ จะเกิดการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในน้ำนมได้มากที่สุด (Kanungpean *et al.,* 2014) และขั้นตอนการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบ เช่น ปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาสามารถส่งผลทำให้ค่าองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบมีคุณภาพลดลงได้อีกด้วย (Naksakool and Nakthong, 2013; Yu *et al*., 2021)

ปัจจัยอุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการแช่แข็งน้ำนมแพะดิบ ส่งผลต่อคุณภาพและความคงตัวของน้ำนม โดยน้ำนมแพะดิบแช่แข็งที่ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานเกิน 2 เดือน ค่าองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบมีคุณภาพลดลง เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนนมและไขมันนมเสียสภาพ และเกิดการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตทำให้น้ำนมมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Naksakool and Nakthong, 2013) นอกจากนี้ผลการวิจัยของ Prayitno *et al.* (2021) ที่เก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 40 วัน พบว่า ระยะเวลาไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบน้ำนมดิบและจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมแพะดิบ และ Yu *et al*. (2021) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิช่วง -16 ถึง -20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิช่วง -76 ถึง -80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 80 วัน โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บน้ำนมแพะดิบแช่แข็ง คือ อุณหภูมิช่วง -76 ถึง -80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Alrabadi (2015) รายงานว่า การเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้นสามารถทำให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในน้ำนมลดลงได้ อย่างไรก็ตาม จากรายงานวิจัยข้างต้นยังไม่มีการศึกษาการเก็บรักษาความแตกต่างของการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิระหว่าง -15 และ -20 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการแช่แข็งนมแพะดิบนาน 90 วัน ดังนั้น รายงานวิจัยฉบับนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิเก็บรักษาที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน ต่อองค์ประกอบและคุณภาพของน้ำนมแพะดิบ รวมถึงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะดิบ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บข้อมูลฟาร์มและการเก็บตัวอย่างเบื้องต้น

เก็บตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ ปริมาตร 30 ลิตร จากศูนย์เก็บน้ำนมรวมแพะดิบของกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยแยกตามถังนมรวมเกษตรกร จำนวน 6 แห่ง ซึ่งภายในฝูงแพะนมส่วนใหญ่เลี้ยงแพะลูกผสมพันธุ์ซาแนนเลือดสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธีการจัดเก็บตัวอย่างที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Yu *et al.* (2021) จากนั้นแบ่งตัวอย่างนมแพะดิบที่เก็บจากแต่ละแหล่งถังนมรวมลงในถุงซิปล็อคปลอดเชื้อ จำนวน 11 ถุง ถุงละ 200

มิลลิลิตร นำตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ จำนวน 1 ถุง จากแต่ละแหล่งถังนมรวม ไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมแพะดิบ วันที่ 0 ส่วนตัวอย่างที่เหลือถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิเก็บรักษา 2 ระดับ คือ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และกำหนดระยะเวลาเก็บรักษาเป็น 5 ระยะ คือ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน เมื่อครบกำหนดระยะเวลาเก็บรักษาในแต่ละระยะ นำตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ จำนวน 1 ถุง มาทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาในขั้นตอนถัดไป ใช้ระยะเวลาในการทดสอบระหว่างเดือนกันยายน ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ณ ห้องปฏิบัติการคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้องปฏิบัติการสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ และห้องปฏิบัติการแบคทีเรียและเชื้อรา สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ

การตรวจคุณภาพน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะดิบ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำนมเบื้องต้น ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ (สี กลิ่น และสิ่งแปลกปลอมในน้ำนม) ค่ากรด-เบส ค่าจุดเยือกแข็ง และปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนม โดยตรวจสอบลักษณะทางกายภาพน้ำนมด้วยวิธีการสังเกต สีของน้ำนมแพะดิบต้องอยู่ในสภาพปกติ สะอาด มีสีขาวหรือขาวนวล ปราศจากสิ่งแปลกปลอมและการปลอมปน ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมแพะดิบ TAS 6006–2008 (Thai Agricultural Standard, 2008) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำนมด้วยเครื่อง pH meter (Testo 205, ประเทศจีน) และตรวจวัดจุดเยือกแข็งของน้ำนมแพะดิบด้วยเครื่อง Cryoscope model 4250 (Advanced Instrument Inc., USA) ทำการปรับเทียบค่ามาตรฐานก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ โดยใช้น้ำยาที่มีจุดเยือกแข็ง 3 ระดับ ได้แก่ -408, -512 และ -600 m°C วิธีการตามที่คู่มือกำหนดไว้ นอกจากนี้ ทำการตรวจประเมินปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมแพะดิบด้วยวิธีการ reduction test โดยดูจากระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของน้ำยารีซาซูรีนและเมทิลีนบลูในน้ำนม ผลทดสอบการเปลี่ยนสีของเมทิลีนบลูต้องมากกว่า 4 ชั่วโมง และการเปลี่ยนสีของรีซาซูรินที่ 1 ชั่วโมง ต้องไม่น้อยกว่าเกรด 4.5 ตามวิธีของ Diliello (1982)

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบ ได้แก่ โปรตีนนม ไขมันนม แลคโตส เนื้อนมไม่รวมมันเนย และเนื้อนมทั้งหมด ด้วยเครื่อง Milkoscan™ FT+ (FOSS, Denmark) เบื้องต้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ ดังนี้ 1) ตรวจสอบการปนเปื้อนในระบบ (Zero setting) 2) ตรวจสอบการวัดซ้ำ ค่าความแม่นยำของเครื่องมือ (Repeatability check) 3) ตรวจสอบการปนเปื้อนข้ามระหว่างตัวอย่างวิเคราะห์ (Carry over check) และวิเคราะห์จำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมแพะดิบ โดยอ้างอิงเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล ISO/IDF standards ด้วยเครื่อง Fossomatic FC (FOSS, Denmark) อาศัยหลักการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมดิบที่มีความยาวคลื่นในช่วงรังสีอินฟาเรด (Infrared) ตัวเครื่องจะทำการจับคู่สเปกตรัมขององค์ประกอบในน้ำนมแพะดิบกับสเปกตรัมที่เป็นค่ามาตรฐานขององค์ประกอบน้ำนมแพะดิบแต่ละองค์ประกอบ จากนั้น นำค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจวัดมาแบ่งเกรดคุณภาพน้ำนมแพะดิบตามมาตรฐานน้ำนมแพะดิบ TAS 6006–2008 (Thai Agricultural Standard, 2008) และตรวจสอบสารตกค้างภายในน้ำนมแพะดิบ เช่น ยาปฏิชีวนะ โดยใช้ชุดทดสอบสำเร็จรูป Delvotest® SP/AM test (DMS Food Specialties, Netherlands) น้ำนมแพะดิบที่ไม่มีสารตกค้างจะให้ผลเป็นลบในการทดสอบ

ตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะแช่แข็ง ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 0 และ 90 วัน จากแต่ละแหล่งนม ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ (-15 และ -20 องศาเซลเซียส) ตามมาตรฐานการทดสอบของ Quinn *et al.* (1994) โดยการตรวจเชื้อที่เติบโต

บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด blood agar เน้นเชื้อที่ก่อให้เกิดกลุ่มเชื้อดื้อยา วิเคราะห์จุลินทรีย์เชื้อก่อโรคเต้านมอักเสบในแพะ โดยการป้ายตัวอย่างน้ำนมจำนวน 1 ไมโครลิตร ใช้ไม้เขี่ยเชื้อพลาสติกปราศจากเชื้อเขี่ยลงในจานเลี้ยงเชื้อชนิด blood agar โดยแบ่งครึ่งจานเลี้ยงเชื้อแต่ละจานออกเป็น 2 ส่วน เป็นส่วนบนและส่วนล่าง เพื่อแบ่งแยกตัวอย่างจากแต่ละฟาร์ม แล้วบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง โดยการใช้ตัวอย่างจากนมแพะ ระยะเวลาเก็บที่ 0 และ 90 วัน ที่ถูกเก็บรักษาไว้ในทั้งสองอุณหภูมิ สังเกตลักษณะของโคโลนีที่เติบโตบน blood agar แล้วเลือกโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ blood agar ที่สงสัยว่าเป็นเชื้อก่อโรครุนแรง ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาเชื้อ *Staphylococcus aureus* โดยเลือกเขี่ยเชื้อบน blood agar ที่มีลักษณะการเกิด hemolysis สังเกตจากลักษณะบริเวณโปร่งแสง (Clear zone) ที่ไม่มีสีแดง เกิดจากการถูกย่อยของเซลล์เม็ดเลือดแดงโดยสารพิษจากแบคทีเรีย (Buxton, 2005) นำมาเข้ากระบวนการ Polymerase chain reaction (PCR) เตรียม DNA template โดยเขี่ยเชื้อที่เป็นโคโลนีเดี่ยว (Single colony) ละลายใน 1 มิลลิลิตร ของ phosphate buffer saline (PBS) pH 7.2 และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งส่วนน้ำใส (Supernatant) ออก และเติมน้ำกลั่น 0.1 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วแช่เย็นทันที หลังจากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง แล้วเก็บส่วนน้ำใส เป็น DNA template โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

สำหรับการเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยวิธี PCR ใช้ primer ที่มีความจำเพาะต่อยีน *femA* (Primer F) ได้แก่ primer F1 (5' CTT ACT TAC TGG CTG TAC CTG 3') และ primer F2 (5' ATG TCG CTT GTT ATG TGC 3') ที่มีขนาด DNA products ความยาว 686 คู่เบส พบเฉพาะในเชื้อ *S. aureus* (Berger-Bächi *et al*., 1989) ขั้นตอนการทำเพื่อให้ได้ PCR product ดัดแปลงจาก Vannuffel *et al*. (1995) นำ DNA template ปริมาณ 5 ไมโครลิตร ใส่ลงใน PCR tube ขนาด 0.2 มิลลิลิตร ที่มี 45 ไมโครลิตร ของ multiplex PCR master mix (QIAGEN) ประกอบด้วย PCR buffer, 3 mM $MgCl_2$ pH 8.7, Q-solution, Hotstart Taq DNA polymerase, 0.25 mM deoxyribonucleotide triphosphate (dNTP) mix, น้ำกลั่น และ 0.2 µmol ของ primer F โดยมีน้ำกลั่นเป็น PCR negative control (ใส่แทน DNA template) จากนั้น นำไปใส่ในเครื่อง iCycler (BIO-RAD) โดยกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวน PCR product ดังนี้ initial activation ที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที จากนั้น ใช้อุณหภูมิ denaturation ที่ 92 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที อุณหภูมิ annealing ที่ 56 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที และอุณหภูมิ extension ที่ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที จำนวน 35 รอบ และต่อด้วยอุณหภูมิ final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที จากนั้น นำ PCR product มาวิเคราะห์ผลด้วยวิธี agarose gel electrophoresis โดยเติม PCR product ที่ได้ 7 ไมโครลิตร ลงใน 2 เปอร์เซ็นต์ agarose gel นำเข้าเครื่อง electrophoresis ที่ 100 โวลท์ ประมาณ 45 นาที ย้อมด้วย ethidium bromide แล้วนำเจลไปส่องภายใต้แสง UV และสังเกตแถบที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับ DNA marker (Sib Enzyme) รวมถึงเทียบกับ PCR positive control

แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพารามิเตอร์ความเป็นกรด-เบสในน้ำนม จุดเยือกแข็งของน้ำนมแพะดิบ องค์ประกอบน้ำนมแพะดิบ ณ ระยะการเก็บที่ 0 วัน ถูกนำมาประเมินค่าทางสถิติเชิงพรรณนาโดย PROC UNIVARIATE ด้วยโปรแกรม SAS® onDemand for Academics (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบเบื้องต้น ทดสอบอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อพารามิเตอร์คุณภาพน้ำนม

ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2 x 5 แฟคทอเรียลในบล็อกสมบูรณ์ ปัจจัยทดสอบมี 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบ (-15 และ -20 องศาเซลเซียส) ปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบ (7, 14, 30, 60 และ 90 วัน) และบล็อกที่ใช้ในการทดสอบ คือ แหล่งที่มาของถังนมรวม จำนวน 6 แหล่ง โดยข้อมูลจำนวนเซลล์โซมาติกถูกแปลงด้วย log ฐาน 10 ก่อนนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SAS® onDemand for Academics (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ข้อมูลน้ำนมแพะดิบเบื้องต้น

ตัวอย่างน้ำนมแพะดิบจากศูนย์รวบรวมนมแพะดิบกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยสุ่มตัวอย่างน้ำนมแพะดิบจากถังนมรวม จำนวน 6 แหล่ง จากการตรวจสอบทางกายภาพของน้ำนมแพะดิบเบื้องต้น พบว่า น้ำนมอยู่ในสภาพปกติ สะอาด สีขาว มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ค่าสถิติเชิงพรรณนาของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบ ระยะเวลาเก็บที่ 0 วัน (Table 1) แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของจุดเยือกแข็งของตัวอย่าง (-0.59 องศาเซลเซียส) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานนมแพะดิบ ซึ่งควรมีค่าต่ำกว่า -0.53 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบส (6.66) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ระหว่าง 6.5–6.8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบ ได้แก่ โปรตีนนม ไขมันนม เนื้อนมทั้งหมด และเนื้อนมไม่รวมมันเนย (3.79, 4.80, 14.09 และ 9.48 เปอร์เซ็นต์) จัดอยู่ในชั้นคุณภาพน้ำนมดีมาก ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมแพะดิบ TAS 6006–2008 (Thai Agricultural Standard, 2008) ค่าเฉลี่ยไขมันนมในน้ำนมแพะดิบมีค่าสอดคล้องกับรายงานของ Yu *et al.* (2021) ที่ศึกษาอุณหภูมิแช่แข็งและอุณหภูมิในการทำละลายที่มีผลต่อองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบจากเกษตรกรในพื้นที่ซีอัน จังหวัดซานซี สาธารณรัฐจีน รายงานเปอร์เซ็นต์ไขมันนมอยู่ในช่วงระหว่าง 4.22–5.39 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบในประเทศไทย Danviriyakul *et al.* (2013) รายงานค่าโปรตีนนม ไขมันนม เนื้อนมทั้งหมด และเนื้อนมไม่รวมมันเนย มีค่าเท่ากับ 3.29, 4.12, 12.8 และ 8.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากฟาร์มแพะนมที่มีระดับสายเลือดพันธุ์ซาแนน 50–75 เปอร์เซ็นต์ เก็บตัวอย่างน้ำนมดิบตรวจองค์ประกอบน้ำนมทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 2 เดือน ค่าองค์ประกอบน้ำนมที่แตกต่างกันอาจเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของพันธุ์แพะ โดย Jenness (1980) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของนมแพะดิบมีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์และสายพันธุ์ในแต่ละประเทศ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลอื่น ๆ เช่น อาหารและการจัดการที่อาจเกี่ยวข้องกับค่าองค์ประกอบน้ำนม และในการทดลองนี้มีการเก็บตัวอย่างนมเพียงครั้งเดียวจึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแม่นยำของค่าดังกล่าว

นอกจากนี้ Park (2010) รายงานว่าในน้ำนมแพะดิบมีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมมากกว่าน้ำนมโค และไขมันนมในน้ำนมแพะดิบมีขนาดเล็กกว่าในน้ำนมโค ทำให้มีพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสได้ดีกว่า ไขมันนมในน้ำนมแพะจึงถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารเข้าสู่ร่างกายได้ดีกว่าไขมันนมในน้ำนมโค ค่าเฉลี่ยแลคโตสในน้ำนมแพะดิบมีค่า 4.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่ามาตรฐานของแลคโตสในน้ำนมแพะดิบไม่ได้ถูกกำหนดค่าเกณฑ์มาตรฐานไว้ อย่างไรก็ตาม พบว่าเปอร์เซ็นต์แลคโตสในนมน้ำแพะดิบในการทดลองนี้มีค่ามากกว่าน้ำนมแพะดิบที่รายงานจาก Yu *et al.* (2021) และจากรายงานของ Mordvinova *et al.* (2022) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบแช่แข็งสำหรับการทำชีส ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนมแพะดิบอยู่ในช่วงระหว่าง 3.50–4.61เปอร์เซ็นต์

Table 1 Descriptive statistics for milk quality from 6 farms at day 0

Trait	Mean ± SD	Minimum	Maximum	TAS		
				Premium	Good	Standard
FP	-0.59 ± 0.05	-0.67	-0.54	<-0.53	<-0.53	<-0.53
pH	6.66 ± 0.20	6.38	6.93	6.50–8.00	6.50–8.00	6.50–8.00
FC	4.80 ± 0.94	3.90	6.54	>4.00	>3.50–4.00	3.25–3.50
PC	3.79 ± 0.34	3.15	4.06	>3.70	>3.40–3.70	3.10–3.40
LC	4.71 ± 0.59	3.78	5.30	–	–	–
SNF	9.48 ± 0.81	8.22	10.34	>8.25	>8.25	>8.25
TS	14.09 ± 1.24	12.90	16.01	>13.00	>12.00–13.00	11.70–12.00
SCC	2.52 ± 2.28	0.53	6.86	<0.70	0.70–1.00	>1.00–1.50

SD = standard deviation, TAS = Thai Agricultural Standard No.6006–2008, FP = freezing point (°C), FC = fat content (%), PC = protein content (%), LC = lactose content (%), SNF = solid not fat (%), TS = total solid (%), SCC = somatic cell count ($\times 10^6$ cell/mL)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมแพะดิบแช่แข็ง แยกตามรายแหล่งที่มาของถังนมรวม จำนวน 6 แหล่ง (Table 2) พบว่า ค่าจุดเยือกแข็ง ค่าความเป็นกรด-เบส และองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบแช่แข็ง มีความผันแปรตามแหล่งที่มาของถังนมรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ค่าจุดเยือกแข็งของทุกแหล่งถังนมรวมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (-0.54 ถึง -0.66 องศาเซลเซียส) ค่าความเป็นกรด-เบส แยกตามแหล่งของถังนมรวม น้ำนมแพะดิบจากถังนมรวมแหล่งที่ 1 (6.42) และแหล่งที่ 5 (6.49) มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 6.5 เล็กน้อย และค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนและเนื้อนมไม่รวมมันเนยของถังนมรวมแหล่งที่ 2 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (8.14 เปอร์เซ็นต์) ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมแพะดิบ TAS 6006–2008 จากรายงานของ Singkhum and Rumphosai (2013) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด-เบส สามารถบ่งบอกคุณภาพของน้ำนมได้ โดยน้ำนมแพะดิบที่ได้มาจากแพะที่เป็นโรคเต้านมอักเสบจะมีความเป็นเบสสูงถึง 7.5 และการที่น้ำนมแพะดิบมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำนมมากจะทำให้น้ำนมมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จากการที่จุลินทรีย์มีการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติก และทำให้โปรตีนนมเกิดการเสื่อมสภาพ

นอกจากนี้ การทดสอบด้วยเมทิลีนบลูของตัวอย่างน้ำนมแพะดิบจากถังนมรวมทั้ง 6 แหล่ง มีช่วงเวลาการเปลี่ยนสีของเมทิลีนบลูมากกว่า 4 ชั่วโมง และการเปลี่ยนสีของรีซาซูรินที่ 1 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่าเกรด 4.5 และผลการตรวจสอบสารตกค้างภายในน้ำนมแพะดิบ เช่น ยาปฏิชีวนะ ให้ผลเป็นลบในทุกตัวอย่างที่ทดสอบ สรุปได้ว่า แม้ว่าภาพรวมค่าเฉลี่ยจุดเยือกแข็ง ค่าความเป็นกรด-เบส และองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบ จากการสุ่มตัวอย่างจากศูนย์รวบรวมนมแพะดิบจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่พบว่ามีความผันแปรของพารามิเตอร์ดังกล่าวตามแหล่งที่มาของถังนมรวม และถังนมรวมบางแหล่งมีค่าองค์ประกอบน้ำนมบางตัวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ โดยอาจส่งผลมาจากพันธุกรรม อาหาร และการจัดการ ตลอดจนสุขภาพสัตว์ ดังนั้น ควรมีการควบคุมมาตรฐานน้ำนมแพะดิบจากการได้มาในแต่ละแหล่งของถังนมรวม เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ของน้ำนมแพะดิบดังกล่าวที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำนมแพะดิบในภาพรวมของศูนย์รวบรวมนมแพะดิบ เพื่อควบคุมคุณภาพในการนำน้ำนมแพะดิบส่งเข้าโรงงานแปรรูปน้ำนมแพะดิบต่อไป

Table 2 Composition of raw goat milk by farms (Mean ± standard deviation)

Trait	Farm						SEM	P-value
	1	2	3	4	5	6		
FP	-0.56 ± 0.00^{ab}	-0.54 ± 0.00^{a}	-0.58 ± 0.06^{ab}	-0.63 ± 0.10^{bc}	-0.62 ± 0.04^{bc}	-0.66 ± 0.05^{c}	0.02	<0.0001
pH	6.42 ± 0.08^{e}	6.66 ± 0.06^{b}	6.74 ± 0.06^{a}	6.55 ± 0.04^{c}	6.49 ± 0.05^{d}	6.53 ± 0.07^{cd}	0.02	<0.0001
FC	5.99 ± 0.23^{a}	4.57 ± 0.12^{bc}	4.27 ± 0.13^{c}	4.86 ± 0.47^{b}	3.84 ± 0.15^{d}	4.62 ± 0.25^{b}	0.08	<0.0001
PC	4.05 ± 0.13^{ab}	3.13 ± 0.02^{d}	4.21 ± 0.33^{ab}	3.79 ± 0.57^{bc}	3.61 ± 0.26^{c}	4.40 ± 0.34^{a}	0.10	<0.0001
LC	4.56 ± 0.05^{bc}	4.30 ± 0.03^{c}	4.15 ± 0.64^{c}	4.97 ± 0.78^{ab}	5.05 ± 0.38^{ab}	5.47 ± 0.38^{a}	0.14	<0.0001
SNF	9.59 ± 0.18^{b}	8.14 ± 0.05^{c}	9.40 ± 0.92^{b}	9.74 ± 1.58^{b}	9.63 ± 0.74^{b}	11.07 ± 0.83^{a}	0.27	<0.0001
TS	15.50 ± 0.42^{a}	12.75 ± 0.13^{c}	13.50 ± 0.88^{bc}	14.45 ± 1.78^{ab}	13.21 ± 0.72^{c}	15.22 ± 0.92^{ab}	0.30	<0.0001
SCC	1.63 ± 0.92^{b}	1.34 ± 0.17^{b}	3.26 ± 0.93^{a}	1.32 ± 0.22^{b}	1.22 ± 0.21^{b}	1.35 ± 0.19^{b}	0.19	<0.0001

$^{a–e}$ Means within the same row with different superscript letters differ ($P < 0.01$). SEM = standard error of the mean, FP = freezing point (°C), FC = fat content (%), PC = protein content (%), LC = lactose content (%), SNF = solid not fat (%), TS = total solid (%), SCC = somatic cell count ($\times 10^6$ cell/mL).

จำนวนเซลล์โซมาติกเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งชั้นคุณภาพน้ำนมแพะดิบ และเกี่ยวข้องกับการอักเสบของเต้านม โดยตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมแพะดิบ TAS 6006–2008 (Thai Agricultural Standard, 2008) ได้จัดเกณฑ์มาตรฐานจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมแพะดิบไม่เกิน 1.5 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์โซมาติกของน้ำนมแพะดิบในภาพรวมที่ 0 วัน (Table 1) มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเท่ากับ 6.27 log เซลล์ต่อมิลลิลิตร (2.52 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร) แต่หากพิจารณาจำนวนเซลล์โซมาติกจากอิทธิพลของฟาร์ม สำหรับข้อมูลระยะการเก็บนม 5 ระยะ ได้แก่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน ดัง Table 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์โซมาติกตามแหล่งที่มาของน้ำนมแพะดิบรายฟาร์มของแหล่งนมที่ 2 แหล่งนมที่ 4 แหล่งนมที่ 5 และแหล่งนมที่ 6 มีจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงแหล่งนมที่ 1 และแหล่งนมที่ 3 ที่มีจำนวนเซลล์โซมาติกของน้ำนมแพะดิบมากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 6.12 และ 6.49 log เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (1.63 และ 3.26 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร) และค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์โซมาติกจากแหล่งนมที่ 3 มีค่าสูงกว่าแหล่งนมอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจำนวนเซลล์โซมาติกของน้ำนมแพะดิบบางแหล่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน ในทางปฏิบัติยังสามารถส่งน้ำนมแพะดิบเข้าโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมได้ เนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าวยังไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาสำหรับการส่งน้ำนมแพะดิบเข้าโรงงาน

อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบ

จากการทดสอบปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบแช่แข็ง พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 7, 14, 30, 60, และ 90 วัน ต่อค่าความเป็นกรด-เบส (Table 3) โดยการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ทำให้น้ำนมแพะดิบมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำที่สุด (6.50) ขณะที่การเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ทำให้น้ำนมแพะดิบมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงที่สุด เท่ากับ 6.69

Table 3 Means ± standard deviation of the factors of storage temperature, freezing time and their interaction for parameters of goat milk quality

Treatment	FP	pH	FC	PC	LC	SNF	TS	SCC
Storage temperature (A)								
-15 °C	-0.59 ± 0.06	6.55 ± 0.11^{b}	4.67 ± 0.73	3.86 ± 0.53	4.69 ± 0.62	9.52 ± 1.17	14.02 ± 1.41	1.74 ± 0.80
-20 °C	-0.60 ± 0.07	6.58 ± 0.13^{a}	4.72 ± 0.71	3.87 ± 0.52	4.81 ± 0.67	9.67 ± 1.25	14.19 ± 1.38	1.63 ± 1.00
P-value	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SEM	0.01	0.01	0.05	0.06	0.08	0.16	0.17	0.11
Freezing time (B)								
7 days	-0.57 ± 0.07	6.50 ± 0.11^{c}	4.63 ± 0.83	3.70 ± 0.46	4.56 ± 0.72	9.16 ± 1.23	13.68 ± 1.59	1.55 ± 0.94
14 days	-0.60 ± 0.09	6.63 ± 0.12^{a}	4.70 ± 0.76	3.89 ± 0.72	4.72 ± 0.79	9.60 ± 1.61	14.11 ± 1.75	1.79 ± 1.17
30 days	-0.61 ± 0.05	6.57 ± 0.13^{b}	4.71 ± 0.63	3.91 ± 0.45	4.81 ± 0.55	9.74 ± 0.94	14.24 ± 0.98	1.75 ± 0.95
60 days	-0.59 ± 0.05	6.57 ± 0.11^{b}	4.69 ± 0.73	3.83 ± 0.48	4.66 ± 0.48	9.46 ± 0.90	13.98 ± 1.24	1.69 ± 0.78
90 days	-0.62 ± 0.07	6.55 ± 0.11^{b}	4.73 ± 0.72	3.99 ± 0.51	5.00 ± 0.65	10.01 ± 1.21	14.51 ± 1.33	1.65 ± 0.72
P-value	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SEM	0.02	0.01	0.07	0.09	0.13	0.24	0.23	0.17
A x B								
-15 °C x 7 days	-0.55 ± 0.07	6.50 ± 0.10^{c}	4.44 ± 0.82	3.60 ± 0.56	4.37 ± 0.71	8.82 ± 1.34	13.20 ± 1.69	1.63 ± 0.90
-15 °C x 14 days	-0.62 ± 0.07	6.58 ± 0.12^{b}	4.82 ± 0.77	4.04 ± 0.65	4.90 ± 0.72	9.99 ± 1.41	14.56 ± 1.61	1.96 ± 0.98
-15 °C x 30 days	-0.59 ± 0.04	6.58 ± 0.14^{b}	4.75 ± 0.77	3.85 ± 0.44	4.71 ± 0.48	9.53 ± 0.77	14.11 ± 1.07	1.72 ± 0.83
-15 °C x 60 days	-0.59 ± 0.05	6.56 ± 0.11^{b}	4.61 ± 0.69	3.76 ± 0.48	4.61 ± 0.43	9.30 ± 0.83	13.77 ± 1.19	1.58 ± 0.77
-15 °C x 90 days	-0.62 ± 0.07	6.55 ± 0.11^{bc}	4.72 ± 0.81	4.06 ± 0.55	4.88 ± 0.73	9.96 ± 1.28	14.46 ± 1.43	1.81 ± 0.77
-20 °C x 7 days	-0.59 ± 0.07	6.52 ± 0.13^{bc}	4.82 ± 0.86	3.81 ± 0.36	4.74 ± 0.74	9.51 ± 1.12	14.16 ± 1.47	1.48 ± 1.06
-20 °C x 14 days	-0.57 ± 0.10	6.69 ± 0.10^{a}	4.59 ± 0.80	3.74 ± 0.81	4.55 ± 0.88	9.22 ± 1.84	13.66 ± 1.92	1.61 ± 1.42
-20 °C x 30 days	-0.62 ± 0.06	6.57 ± 0.14^{b}	4.68 ± 0.53	3.98 ± 0.50	4.93 ± 0.63	9.94 ± 1.12	14.37 ± 0.97	1.78 ± 1.14
-20 °C x 60 days	-0.60 ± 0.05	6.58 ± 0.12^{b}	4.77 ± 0.83	3.90 ± 0.51	4.72 ± 0.56	9.61 ± 1.01	14.19 ± 1.36	1.80 ± 0.85
-20 °C x 90 days	-0.63 ± 0.07	6.55 ± 0.11^{b}	4.73 ± 0.71	3.93 ± 0.50	5.11 ± 0.61	10.07 ± 1.24	14.57 ± 1.36	1.49 ± 0.69
P-value	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SEM	0.02	0.01	0.10	0.13	0.19	0.35	0.38	0.24

$^{a–d}$ Means within the same row with different superscript letters differ ($P < 0.01$), ** significant different ($P < 0.01$), ns = not significant different ($P > 0.05$), SEM = standard error of the mean, FP = freezing point (°C), FC = fat content (%), PC = protein content (%), LC = lactose content (%), SNF = solid not fat (%), TS = total solid (%), SCC = somatic cell count ($\times 10^{6}$ cell/mL)

ความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-เบส ในน้ำนมแพะดิบอาจเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาช่วงดังกล่าวมีกิจกรรมของจุลินทรีย์น้อยกว่าช่วงปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาอื่น อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาทุกทรีตเมนต์มีค่าความเป็นกรด-เบส (6.50–6.69) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไม่ต่ำกว่า 6.5 Prayitno *et al.* (2021) ศึกษาน้ำนมแพะแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาเก็บ 0–40 วัน ต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ และพบความแตกต่างของค่ากรด-เบสระหว่างระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยอธิบายว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเพียงการลดกิจกรรมของจุลินทรีย์เท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของค่ากรด-เบสที่มีค่าลดลงคือมีความเป็นกรดมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมของแบคทีเรียที่ทำให้มีการผลิตกรดแลคติกมากขึ้น นอกจากนี้ จากรายงานของ Kljajevic *et al.* (2016) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บน้ำนมแพะดิบแช่แข็งมีผลต่อค่าความเป็นกรด-เบส โดยศึกษาการเก็บรักษานมแพะดิบที่ -20 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน เนื่องจากระยะเวลาในการเก็บรักษาแช่แข็งน้ำนมแพะดิบที่นานขึ้นมีผลต่อการตกตะกอนของแร่ธาตุแคลเซียมฟอสเฟตในน้ำนมแพะดิบแช่แข็งที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้นมแพะดิบมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น จากการศึกษา Singkhum and Rumphosai (2013) รายงานว่า ค่ากรด-เบสสามารถบอกคุณภาพของน้ำนมได้ สอดคล้องกับ Prayitno *et al.* (2021) ที่รายงานว่า ค่ากรด-เบสในน้ำนมสามารถบ่งบอกถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในน้ำนมได้ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์มีผลทำให้นมมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจากการผลิตกรดแลคติก

ปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบแช่แข็งต่อค่าพารามิเตอร์ด้านองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมอื่น ๆ ได้แก่ จุดเยือกแข็งน้ำนมดิบ ค่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบ และจำนวนเซลล์โซมาติก (Table 3) ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบ และอิทธิพลจากปัจจัยหลักอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมที่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 3) อย่างไรก็ตาม มีหลายงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลามีผลต่อคุณภาพน้ำนมแพะดิบแช่แข็ง และแนะนำว่าไม่ควรเก็บน้ำนมแพะดิบแช่แข็งนานมากกว่า 2 เดือน เนื่องจากการแช่แข็งส่งผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนนมในน้ำนมเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนนมในน้ำนมเพิ่มมากขึ้น (Naksakool and Nakthong, 2013; Prayitno *et al.*, 2021; Yu *et al*., 2021) นอกจากนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับอิทธิพลด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบแช่แข็งระหว่าง -15 และ -20 องศาเซลเซียส และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับอิทธิพลระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบแช่แข็งที่ 7, 14, 30, 60 และ 90 วัน ต่อค่าพารามิเตอร์ด้านองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมอื่น ๆ

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะดิบ

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบเชื้อแบคทีเรียบางตัวที่อาจมีการปนเปื้อนในน้ำนม เช่น แบคทีเรีย *Proteus* spp. ที่มีความสัมพันธ์ต่อสุขศาสตร์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่มีความสัมพันธ์ต่อสุขภาพของสัตว์ และการเกิดโรคเต้านมอักเสบภายในฟาร์ม โดยสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวจากความสามารถในการเจริญเติบโตของเชื้อบน blood agar ที่แสดงถึงการเกิด hemolysis หรือการย่อยของเม็ดเลือดแดง บ่งบอกความสามารถในการเป็นเชื้อก่อโรคของแบคทีเรียนั้น ๆ การศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้ตัวอย่างน้ำนมแพะดิบจากวันที่ 0 และวันที่ 90 จากแหล่งถังนมรวม จากทั้งสองอุณหภูมิ (-15 และ -20 องศาเซลเซียส) มาตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของ

น้ำนมแพะดิบ โดยพบว่าตัวอย่างน้ำนมจากแหล่งที่ 2 พบลักษณะการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบางชนิดที่มีลักษณะของการแผ่กระจายบนพื้นผิวของ blood agar ดัง Figure 1 ซึ่งพบว่ามีการตรวจเจอในวันที่ 0 และ 90 ของทั้งสองอุณหภูมิของการเก็บรักษา คาดว่าเป็นกลุ่ม *Proteus* spp. ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม coliform bacteria โดยเชื้อกลุ่มนี้เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่นแหล่งน้ำ และอุปกรณ์รีดนม (Gran *et al*., 2002) รวมถึงการใช้อุปกรณ์เก็บรักษานมที่เป็นพลาสติกส่งผลให้มีโอกาสปนเปื้อนของเชื้อกลุ่ม coliform bacteria ได้มากขึ้นอีกด้วย (Omore *et al*., 2005) รวมถึงทางด้านสุขศาสตร์ที่ไม่ถูกต้อง ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้สามารถตรวจพบเจอเชื้อในกลุ่ม coliform bacteria

อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่เชื้อในกลุ่ม coliform bacteria มักจะไม่มีความสามารถในการทนความร้อน การฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรส์มักจะสามารถกำจัดเชื้อเหล่านี้ได้ (Dey and Karim, 2013) นอกจากนี้ แหล่งนมที่ 3 สอดคล้องกับการพบจำนวนเซลล์โซมาติกที่มีค่าสูงที่สุดและมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (Table 2) เป็นไปในทางเดียวกันกับการตรวจพบเชื้อก่อโรคเต้านมอักเสบที่สงสัย จากการแสดงลักษณะของการเกิด hemolysis บน blood agar ทั้งในวันที่ 0 และวันที่ 90 จากทั้งสองอุณหภูมิ โดยนำเชื้อดังกล่าวมาตรวจสอบยืนยันเพิ่มเติม เลือกศึกษาด้วยวิธีการ PCR ตรวจสอบจากยีนส์ *femA* ที่มีความจำเพาะต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus* (Berger-Bächi *et al*., 1989) ดังแสดงใน Figure 2

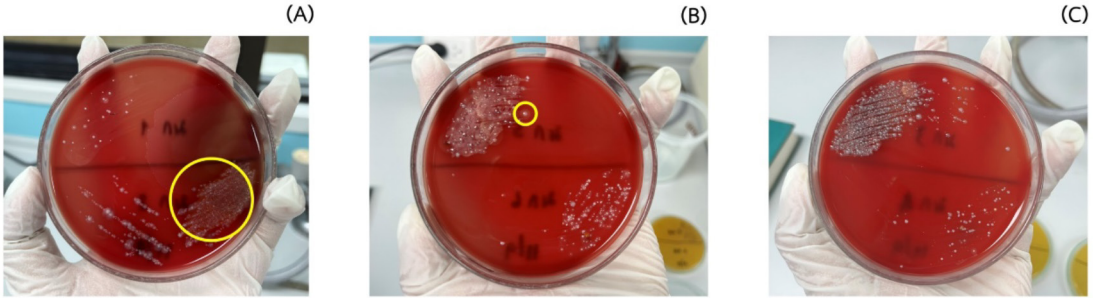

Figure 1 Appearance of blood agar plate spread with goat milk sample each petri dish divided into 2 compartments for each sample: (A) Upper and lower compartments were samples from farms 1 and 2, respectively (Sample from farm 2 found *Proteus* spp.); (B) Upper and lower compartments were samples from farms 3 and 4, respectively (Sample from farm 3 found *Staphylococcus aureus*); (C) Upper and lower compartments were samples from farms 5 and 6, respectively. The yellow circles indicated the area of identified bacteria.

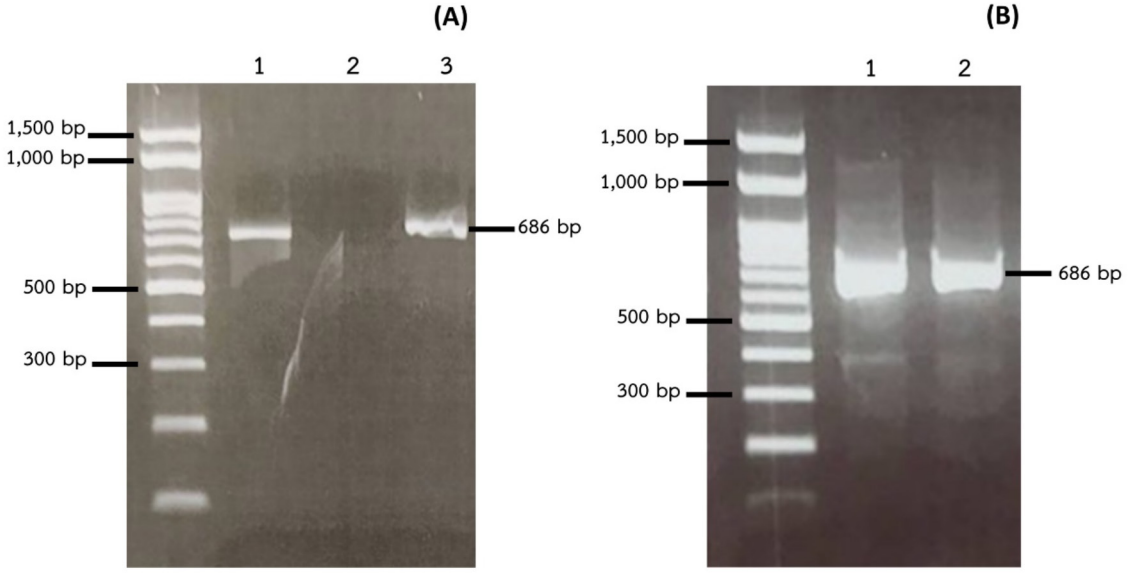

Figure 2 Agarose gel analysis for detection *femA* gene of *Staphylococcus aureus* at day 0 (A) and day 90 (B). (A) Lane 1: Bacterial sample from farm 3 suspected *Staphylococcus aureus* at day 0, Lane 2: Negative on *Staphylococcus aureus*, Lane 3: Positive control of *Staphylococcus aureus*. (B) Lane 1: Sample from farm 3 at storage temperature of -15°C for 90 days, Lane 2: Sample from farm 3 at storage temperature of -20 °C for 90 days.

โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นเชื้อที่ก่อโรคเต้านมอักเสบ เป็นโรคที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำนม ทำให้ปริมาณและคุณภาพของน้ำนมภายในฟาร์มลดลง นอกจากนี้ โรคเต้านมอักเสบสามารถแพร่กระจายในฝูงประชากรได้ง่ายผ่านทางหัวรีดนม ผ้าเช็ดเต้านม พื้นคอก และสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของเชื้อ (Kanungpean *et al.,* 2014) การจัดการและควบคุมเชื้อ *Staphylococcus aureus* สามารถทำได้โดยการทำความสะอาดเต้านมและหัวนม รวมถึงสุขอนามัยของพนักงานรีดนม และผ้าเช็ดเต้านมที่จะเป็นแหล่งแพร่เชื้อไปยังสัตว์ตัวอื่นภายในฟาร์มได้ (Haran *et al*., 2011) สำหรับผลของการเก็บรักษาแบบแช่แข็งที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในการศึกษาของ Sánchez *et al*. (2003) พบว่า การเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -20 และ -80 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อจำนวนของเชื้อแบคทีเรียที่ตรวจพบหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสูงสุดถึง 730 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ McDougall (2000) ผลการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28, 56 และ 84 วัน ทำการละลายนมและตรวจนับเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าว ไม่ส่งผลต่อการลดจำนวนของเชื้อแบคทีเรียที่ตรวจพบในน้ำนม สอดคล้องกับรายงานของ Naksakool and Nakthong (2013) การเก็บรักษาน้ำนมในอุณหภูมิแช่แข็งเป็นเพียงการระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำนมเท่านั้น และขั้นตอนการละลายนมอาจส่งผลทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น น้ำนมแพะควรผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีก่อนถึงมือผู้บริโภค ผลจากการศึกษาด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการทางด้าน

สุขาภิบาลแหล่งที่มาของถังนมรวมหรือฟาร์มเกษตรกร ตั้งแต่การเลี้ยงจนถึงขั้นตอนการรีดนม จะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำนมระยะยาวในด้านชีวภาพ โดยจะเห็นได้ว่า แม้น้ำนมแพะดิบแช่เข็งจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานยังคงสามารถตรวจพบเชื้อแบคทีเรียไม่พึงประสงค์ได้ จึงควรให้ความสำคัญกับมาตรฐานคุณภาพน้ำนมดิบตามแหล่งของถังนมรวมหรือฟาร์มเกษตรกร เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำนมแพะดิบที่ดีก่อนเข้าโรงงานแปรรูปนมแพะ

สรุป

ค่าองค์ประกอบน้ำนมแพะดิบ ค่าจุดเยือกแข็ง และค่าความเป็นกรด-เบสของนมแพะดิบจากศูนย์รวบรวมนม มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม พบความผันแปรของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำนมแพะดิบแยกตามแหล่งที่มาของถังนมรวม ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำนมดิบแช่แข็งระหว่าง -15 และ -20 องศาเซลเซียส และปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำนมแพะดิบแช่แข็งเป็นระยะเวลา 90 วัน ไม่ส่งผลต่อค่าจุดเยือกแข็ง ค่าองค์ประกอบทางเคมี และจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมแพะดิบ ปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาและอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-เบสอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าความเป็นกรด-เบสในทุกปัจจัยยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ค่าความเป็นกรด-เบสและค่าองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมสามารถนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำนมแพะดิบในทางปฏิบัติได้ ด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการแช่แข็งนมแพะดิบเป็นเวลา 90 วัน ไม่มีผลต่อการลดลงของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ในน้ำนมแพะดิบ การควบคุมมาตรฐานน้ำนมแพะดิบจากการได้มาของถังนมรวมของแพะในแต่ละแหล่ง มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำนมแพะดิบก่อนเข้าโรงงานแปรรูปนม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานปศุสัตว์พื้นที่กรุงเทพมหานคร กรมปศุสัตว์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการประสานงานกับเกษตรกรในพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างในงานวิจัย กลุ่มควบคุมตรวจสอบคุณภาพน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ สำหรับความอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนมดิบ และกลุ่มแบคทีเรียและเชื้อรา สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ สำหรับความอนุเคราะห์ตรวจเชื้อก่อโรคในน้ำนมดิบ รวมถึงภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนวิจัยปัญหาพิเศษนิสิตระดับปริญญาตรีและสถานที่ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบเบื้องต้น

เอกสารอ้างอิง

Alrabadi, N.I. 2015. The effect of freezing on different bacterial counts in raw milk. Int. J. Biol. 7(4): 9–12. https://doi.org/10.5539/ijb.v7n4p9.

Berger-Bächi, B., L. Barberis-Maino, A. Strässle and F.H. Kayser. 1989. *FemA*, a host-mediated factor essential for methicillin resistance in *Staphylococcus aureus*: Molecular cloning and characterization. Mol. Gen. Genet. 219(1–2): 263–269. https://doi.org/10.1007/bf00261186.

Buxton, R. 2005. Blood agar plates and hemolysis protocols. Available Source: https://asm.org/protocols/blood-agar-plates-and-hemolysis-protocols, December 15, 2023.

Danviriyakul, S., S. Kittipongpysan, S. Seilsuth and N. Chantaraj. 2013. Influence of feeding regimens on goat milk yield and chemical composition. JOA 29(2): 107–116. (in Thai)

Dey, S. and M.H. Karim. 2013. Study on physicochemical and microbial quality of available raw, pasteurized and UHT milk during preservation. IJSIT 2(2): 150–157.

Diliello, L.R. 1982. Methods in Food and Dairy Microbiology. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA. 142 pp.

Gran, H.M., A.N. Mutukumira, A. Wetlesen and J.A. Narvhus. 2002. Smallholder dairy processing in Zimbabwe: Hygienic practices during milking and the microbiological quality of the milk at the farm and on delivery. Food Control. 13(1): 41–47. https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00082-2.

Haran, K.P., S.M. Godden, D. Boxrud, S. Jawahir, J.B. Bender and S. Sreevatsan. 2011. Prevalence and characterization of *Staphylococcus aureus*, including methicillin resistant *Staphylococcus aureus*, isolated from bulk tank milk from Minnesota dairy farms. J. Clin. Microbiol. 50(3): 688–695. https://doi.org/10.1128/jcm.05214-11.

Jenness, R. 1980. Composition and characteristics of goat milk: Review 1968–1979. J. Dairy Sci. 63: 1605–1630. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83125-0.

Kanungpean, D., J. Rujit, J. Chanda, N. Boonyaprapa, P. Tonchotiwetch, W. Mahanil, A. Tain and A. Intarapuk. 2014. The quality testing of raw goat's milk in Nongchock district, Bangkok. J. Mahanakorn Vet. Med. 9(2): 83–88.

Kao, H.F., Y.C. Wang, H.Y. Tseng, L.S. Wu, H.J. Tsai, M.H. Hsieh, P.C. Chen, W.S. Kuo, L.F. Liu, Z.G. Liu and J.Y. Wang. 2020. Goat milk consumption enhances innate and adaptive immunities and alleviates allergen-induced airway inflammation in offspring mice. Front Immunol. 11: 184. https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00184.

Kljajevic, N.V., S.T. Jovanović, Z.N. Miloradović, O.D. Maćej, T.R. Vučić and I.R. Zdravkovic. 2016. Influence of the frozen storage period on the coagulation properties of caprine milk. Int. Dairy J. 58: 36–38. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.12.008.

McDougall, S. 2000. Recovery of bacteria from goats' milk following freezing and the prevalence of bacterial infection in milk from goats with an elevated somatic cell count. N. Z. Vet. J. 48(1): 27–29. https://doi.org/10.1080/00480169.2000.36154.

Mordvinova, V., G. Sviridenko, I. Ostroukhova, O. Shukhalova and D. Mamykin. 2022. Study of the influence of the process of freezing milk on the safety of its properties of cheese suitability. BIO Web Conf. 46: 01009. https://doi.org/10.1051/bioconf/20224601009.

Naksakool, P. and S. Nakthong. 2013. Effect of frozen raw goat milk for 4 months on milk quality. *In* Proc. the 10th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference, December 6–7, 2013. p. 3224. (in Thai)

Omore, A., T. Lore, S. Staal, J. Kutwa, R. Ouma, S. Arimi and E. Kangethe. 2005. Addressing the Public Health and Quality Concerns Towards Marketed Milk in Kenya. SDP Research and Development Rep. 3 Smallholder Dairy (R&D) Project. Nairobi, Kenya. 45 pp.

Park, Y.W. 2010. Goat milk: Composition and characteristics, pp. 537–540. *In* W.G. Pond and N. Bell, eds. Encyclopedia of Animal Science. CRC Press, Florida, USA.

Prayitno, E., R. Hartanto and D.W. Harjanti. 2021. Physicochemical and microbiological appearance of Sapera goat's milk on frozen storage. Jurnal Sain Peternakan Indonesia 16(4): 308–314. https://doi.org/10.31186/jspi.id.16.4.308-314.

Quinn, P.J., M.E. Carter, B.K. Markey and G.R. Carter. 1994. Clinical Veterinary Microbiology. Wolfe, USA. 648 pp.

Sánchez, A., A. Contreras, J. Jiménez, C. Luengo, J.C. Corrales and C. Fernández. 2003. Effect of freezing goat milk samples on recovery of intramammary bacterial pathogens. Vet. Microbiol. 94(1): 71–77. https://doi.org/10.1016/S0378-1135(03)00066-X.

Singkhum, A. and S. Rumphosai. 2013. Goat milk qualities analyses of goat milk farms in Phathumthani province. *In* Proc. the 10th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference, December 6–7, 2013. p. 2368. (in Thai)

Thai Agricultural Standard. 2008. TAS 6006–2008: Raw goat milk. Available Source: https://www.acfs.go.th/standard/download/eng/goat_milk.pdf, December 15, 2023.

Vannuffel, P., J. Gigi, H. Ezzedine, B. Vandercam, M. Delmee, G. Wauters and J.L. Gala. 1995. Specific detection of methicillin-resisitant *Staphyloccocus* species by multiplex PCR. J. Clin. Microbiol. 33(11): 2864–2867. https://doi.org/10.1128%2Fjcm.33.11.2864-2867.1995.

Yu, Z., C. Qiao, X. Zhang, L. Yan, L. Li and Y. Liu. 2021. Screening of frozen-thawed conditions for keeping nutritive compositions and physicochemical characteristics of goat milk. J. Dairy Sci. 104(4): 4108–4118. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19238.