

ยกระดับความสด: การประเมินเทคโนโลยี ESL เทียบกับการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม

จันทร์สุดา จริยวัฒนวิจิตร

ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล: ake9611376@yahoo.com

รับเมื่อ 2 พฤษภาคม 2568 แก้ไขเมื่อ 15 สิงหาคม 2568 ตอรับเมื่อ 5 สิงหาคม 2568

จุดเด่น

- ยืดอายุการเก็บรักษานมได้ 21–45 วัน โดยยังคงคุณภาพ สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงนมสด
- ลดปริมาณจุลินทรีย์และสปอร์ที่ทนเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของนม

บทคัดย่อ

นํ้ามนเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่เน่าเสียได้ง่าย การพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมแม้จะสามารถทำลายเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านอายุการเก็บรักษาซึ่งมักไม่เกิน 10 วัน และมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในขั้นตอนหลังการผลิต ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี Extended Shelf-Life (ESL) เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษานมโดยยังคงคุณภาพไว้ใกล้เคียงกับนมสดและต้องเก็บในอุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกัน บทความนี้นําเสนอการเปรียบเทียบระหว่างนมพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมกับนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใช้เทคโนโลยี ESL โดยอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลงานวิจัยของทั้งในประเทศและต่างประเทศในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2010–2025 โดยพิจารณาในหลากหลายมิติ ได้แก่ คุณภาพทางจุลชีววิทยา อายุการเก็บรักษา สี กลิ่น รสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ ต้นทุนการผลิต และความพึงพอใจของผู้บริโภค ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์พบว่า เทคนิค ESL สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในนํ้านมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นจากเดิมเป็น 21–45 วัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าความพึงพอใจของผู้บริโภคยังอยู่ในระดับที่ดีและมีแนวโน้มตอบรับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความท้าทายสำคัญคือการควบคุมสุขอนามัยในกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันการปนเปื้อนซ้ำหลังการฆ่าเชื้อ ดังนั้นบทความนี้จึงเสนอว่าเทคโนโลยี ESL ที่นับเป็นทางเลือกสำคัญสำหรับผู้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม เพื่อช่วยในการเพิ่มขีด

ความสามารถในการแข่งขัน ควบคุมราคาของต้นทุน และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ เนื่องจากผู้บริโภคในปัจจุบันมุ่งเน้นทั้งความสะดวกสบายและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ควบคู่กัน นม ESL มีอายุการเก็บรักษานานกว่านมพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม ทำให้สามารถจัดเก็บในอุณหภูมิตู้เย็นได้ยาวนานขึ้นโดยไม่สูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสหรือความปลอดภัย ส่งผลให้ลดความถี่ในการซื้อสินค้า ซึ่งเหมาะสมกับวิถีชีวิตเร่งรีบของผู้บริโภคในเขตเมือง

คำสำคัญ: เทคโนโลยี ESL จุลินทรีย์ในนม คุณภาพน้ำนม นมพาสเจอร์ไรส์ อายุการเก็บรักษา

Extending freshness: evaluating ESL technology versus traditional pasteurization in milk processing

Chansuda Jariyavattanavijit

Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail: ake9611376@yahoo.com

Received 2 May 2025; **Revised** 15 August 2025; **Accepted** 5 August 2025

Highlight

- Extends milk shelf life to 21–45 days while preserving flavor, color, and nutritional quality.
- Effectively reduces microbial and spore counts, slowing spoilage.

Abstract

Milk is a nutrient-rich food product but is highly perishable due to microbial contamination. Although conventional pasteurization effectively inactivates pathogenic microorganisms, it has limitations in shelf life typically not exceeding 10 days and is susceptible to post-processing contamination. To overcome these limitations, Extended Shelf-Life (ESL) technology has been developed to significantly prolong milk's refrigerated shelf life while maintaining its fresh-like quality. This article compares conventional pasteurized milk with ESL-treated milk based on research published between 2010 to 2025, encompassing multiple aspects such as microbiological quality, shelf life, sensory attributes, nutritional value, production costs, and consumer acceptance. The findings reveal that ESL technology effectively reduces initial microbial load, enabling milk to be stored under refrigeration for 21–45 days without significant deterioration in taste or nutrition. Moreover, consumer studies indicate high satisfaction and growing acceptance of ESL milk products. Nevertheless, the primary challenge associated with ESL technology is ensuring stringent hygienic and



aseptic during packaging to prevent recontamination. Accordingly, this review highlights ESL technology as a strategic option for industrial dairy products to improve competitiveness, optimize cost efficiency, and effectively respond to the evolving expectations of contemporary consumers, who increasingly value both convenience and product quality. Extended Shelf-Life (ESL) milk offers a longer storage duration compared to conventional pasteurized milk. This extended refrigeration period maintains sensory quality and safety, thereby reducing purchase frequency. Such characteristics are well aligned with the fast-paced lifestyles of urban consumers.

Keywords: ESL technology, Milk microbiology, Milk quality, Pasteurized milk, Shelf life

บทนำ

นํ้านมเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อมนุษย์ เป็นที่นิยมบริโภค โดยเฉพาะในวัยเด็กและวัยผู้สูงอายุ เป็นแหล่งของแคลเซียม โปรตีน และวิตามินหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตาม นมสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเน่าเสียได้ง่าย เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดโรคแม้จะเก็บไว้ในตู้เย็นมีข้อจำกัดสำคัญด้านความปลอดภัยและมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาวิธีการแปรรูปและการเก็บรักษาที่สามารถยืดอายุการบริโภคนมโดยไม่ลดทอนคุณค่าทางโภชนาการลง

ในประเทศไทย อุตสาหกรรมนมมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับแรงสนับสนุนจากความต้องการผลิตภัณฑ์นมที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคที่หันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น และการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด โดยตลาดนมพร้อมดื่มของประเทศไทยในปี พ.ศ.2565 (ค.ศ. 2022) มีมูลค่าประมาณ 29,630 ล้านบาท และมีอัตราการเติบโต 6.8% โดยมีแบรนด์หลักชั้นนำ อาทิ Foremost, Meiji, Thai-Denmark และ Bear Brand ซึ่งครองส่วนแบ่งตลาดหลักในอุตสาหกรรมนม โดยในปี พ.ศ. 2567 (ค.ศ.2024) การบริโภคนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทยมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในไตรมาสแรกของปี ซึ่งยอดการบริโภคเพิ่มขึ้นถึง 9.7% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้า⁽¹⁾

การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์นมเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้เป็นสองรูปแบบหลัก ได้แก่ การพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิต่ำเวลานาน (LTLT) เช่น ทำให้นํ้านมร้อนขึ้น 62–65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที และการพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) เช่น ให้ความร้อนประมาณ 72 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและก่อให้เกิดโรค กระบวนการนี้ช่วยรักษารสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของนมได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนความร้อนได้ทั้งหมด

กระบวนการพาสเจอร์ไรส์นี้ มีเป้าหมายหลักคือ การกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค อาทิ *Listeria monocytogenes* และ *Mycobacterium tuberculosis* แต่ยังคงเหลือจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตรายอยู่บางส่วน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงเน่าเสียได้ อายุการเก็บรักษาของนมพาสเจอร์ไรส์ทั่วไปมักอยู่ที่ประมาณ 7–14 วัน ภายใต้การแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ใน

อุตสาหกรรมนม เนื่องจากสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติของนมไว้ได้ค่อนข้างดี ในขณะที่ทำลายเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ นมพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมจำเป็นต้องจัดเก็บและขนส่งภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิต่ำตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาและการกระจายสินค้า โดยทั่วไปมีอายุการเก็บที่ค่อนข้างสั้น กล่าวคือ ประมาณ 7–10 วัน และในประเทศไทยมีการกำหนดอายุการเก็บรักษานมพาสเจอร์ไรส์ตามกฎหมายไม่เกิน 10 วัน⁽²⁾ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรคบางส่วนหรือสปอร์ที่ทนความร้อนอาจยังคงหลงเหลืออยู่ หรืออาจมีการปนเปื้อนภายหลังจากการพาสเจอร์ไรส์ระหว่างการบรรจุ ซึ่งจุลินทรีย์จะค่อย ๆ เพิ่มจำนวนจนทำให้นมเน่าเสียได้หากเก็บไว้นานเกินระยะเวลาที่กำหนด และในขณะเดียวกันสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา มีการควบคุมกำกับดูแลนมโค นมปรุงแต่ง ผลิตภัณฑ์ของนม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 350) พ.ศ. 2556 เรื่อง นมโค (ฉบับที่ 351) พ.ศ. 2556 เรื่องนมปรุงแต่ง (ฉบับที่ 352) พ.ศ. 2556 เรื่อง ผลิตภัณฑ์ของนม (ฉบับที่ 406) พ.ศ. 2562 เรื่อง นมโค (ฉบับที่ 2) และ (ฉบับที่ 408) พ.ศ. 2562 เรื่อง ผลิตภัณฑ์ของนม (ฉบับที่ 2) โดยกำหนดอายุการเก็บรักษาของนมโค นมปรุงแต่ง และผลิตภัณฑ์ของนมชนิดเหลวที่ผ่านกรรมวิธีพาสเจอร์ไรส์ ระยะเวลาการบริโภคต้อง

ไม่เกิน 10 วัน ตลอดระยะเวลาภายหลังจากการบรรจุจนถึงผู้บริโภค⁽³⁻⁷⁾

แต่ในปัจจุบันเมื่อเราไปซื้อนมพาสเจอร์ไรส์ที่วางขายในตู้ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 8 องศาเซลเซียสนั้น เราจะพบว่ามียางผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่า 10 วัน ซึ่งเกินกว่าที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนด นั่นเป็นเพราะผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีการปรับกระบวนการผลิตเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้กระบวนการ extended shelf-life หรือ ESL และผ่านการอนุญาตการขยายการแสดงระยะเวลาการบริโภคของผลิตภัณฑ์จากกองอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขแล้ว

ด้วยความต้องการยืดอายุผลิตภัณฑ์นมสดให้ยาวนานขึ้นโดยไม่ต้องไปถึงขั้นการสเตอริไลส์ หรือ UHT (ultra-high temperature) ซึ่งทำให้นมมีอายุเก็บได้หลายเดือนแต่ส่งผลต่อรสชาติและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอย่างชัดเจน⁽⁸⁻⁹⁾ เทคนิค extended shelf life (ESL) จึงได้รับการพัฒนาขึ้น โดยเทคนิค ESL หมายถึงการแปรรูปนมด้วยวิธีการที่จะเพิ่มอายุการเก็บรักษาภายใต้ความเย็นให้ยาวนานขึ้นกว่าพาสเจอร์ไรส์ปกติ แต่ยังคงต้องแช่เย็นและให้รสชาติใกล้เคียงนมสด⁽¹⁰⁻¹¹⁾ ซึ่งแตกต่างจากนม UHT ที่ผ่านการให้ความร้อนสูงมาก (135–150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2–5 วินาที) ทำให้สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา

หลายเดือนโดยไม่ต้องแช่เย็น แต่รสชาติและกลิ่นอาจเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน⁽¹²⁻¹³⁾

นมที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบ ESL มักใช้กระบวนการให้ความร้อนที่สูงกว่า HTST เล็กน้อย หรือใช้วิธีอื่นร่วมด้วย เช่น การกรองด้วยไมโครฟิลเตอร์ (microfiltration) การเหวี่ยงแยกแบคทีเรีย (bactofugation) หรือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าระยะเวลาสั้น (125–130°C ไม่กี่วินาที) รายละเอียดของแต่ละวิธีที่ใช้ร่วมกับ ESL แสดงดัง

Table 1 จากนั้นบรรจุในสภาวะปลอดเชื้อ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในนมลงอย่างมาก ทำให้นมที่มีการผลิตด้วยกระบวนการ ESL นี้มีอายุการเก็บรักษาในตู้เย็นได้นานขึ้นประมาณ 21–45 วัน และในบางกรณีผู้ผลิตอ้างว่าสามารถเก็บได้นานถึง 90 วัน⁽¹³⁾ ซึ่งถือว่ายาวนานกว่านมพาสเจอร์ไรส์ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ในยุโรปมีรายงานว่านม ESL ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายจนมีส่วนแบ่งตลาดนมสดสูงถึงประมาณ 80% ในช่วงปี ค.ศ. 2005–2008⁽¹⁴⁾

Table 1 Comparison of three ESL milk processing methods

Method	Main principle	Effect on quality / shelf life
Microfiltration (MF)	Physical removal of bacteria/spores from milk using membrane filters (typically 1.4–1.6 μm pore size) before pasteurization⁽¹⁵⁻¹⁶⁾	- Reduces microbial load by 5–6 log cycles, improving microbiological quality⁽¹⁵⁾ - Extends shelf life to ~20–30 days at 4°C with minimal effect on flavor and nutrients^(13,15)
Bactofugation (BF)	High-speed centrifugation to separate and remove bacterial spores and sediment from raw milk before heat treatment⁽¹⁸⁾	- Removes ~95–99% of spores, reducing spoilage risk⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ - Shelf life can reach 15–25 days; minimal impact on sensory quality but less effective on very small bacteria than MF⁽¹⁹⁾
High-Heat Short-Time (HHST)	Intensive heat treatment slightly below UHT level to inactivate most vegetative cells and spores⁽²⁰⁾	- Shelf life extended to ~30–45 days at 4°C⁽²⁰⁻²¹⁾ - May cause slight cooked/caramel flavor and minor vitamin loss; most nutrients and proteins remain stable⁽²¹⁾

ความท้าทายของการผลิตโดยใช้เทคนิค ESL คือการรักษาสมดุลระหว่าง คุณภาพทางจุลชีววิทยากับคุณภาพทางประสาทสัมผัส กล่าวคือ กระบวนการต้องมีความเข้มข้นพอที่จะทำให้ลายจุลินทรีย์ทั้งชนิดที่เป็นเซลล์ปกติและสปอร์ที่ทนเย็นให้มากที่สุด เพื่อให้มันมีความปลอดภัยและไม่เสียง่าย ขณะเดียวกันต้องหลีกเลี่ยงความร้อนสูงเกินไปจนเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของนม ซึ่งจะทำให้เกิดรส “ไหม้” หรือสูญเสียรสชาติของนมสดไป⁽¹³⁾ จุดมุ่งหมายสำคัญของการผลิตนม ESL ตามที่ Deeth (2017)⁽¹³⁾ คือ (1) การทำลายแบคทีเรียในระยะเจริญและสปอร์ของแบคทีเรียที่เจริญในอุณหภูมิต่ำ (psychrotrophic bacteria) ให้หมด โดยเฉพาะ *Bacillus cereus* เนื่องจากบางสายพันธุ์เป็นเชื้อก่อให้เกิดโรค บางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส และบางสายพันธุ์ก็มีสปอร์ที่มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง จึงส่งผลให้นมเสียหรือมีเชื้อก่อให้เกิดโรคได้ และ (2) ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ส่งผลให้เกิดกลิ่นรส “สุก” (cooked flavor) เนื่องจากเกิดจากการเสื่อมสภาพเวย์โปรตีนและปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) โดยเวย์โปรตีนหลักในนม ได้แก่ β -lactoglobulin ซึ่งมีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ เช่น cysteine และ methionine เมื่อให้ความร้อนมากกว่าหรือเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส โครงสร้างของโปรตีนจะคลายตัว

(unfolding) และหมู่ซัลไฟด์ (-SH) จะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสลายพันธะไดซัลไฟด์ (-S-S-) ทำให้เกิดสารระเหยซัลเฟอร์ เช่น hydrogen sulfide (H_2S), methanethiol (CH_3SH) และ dimethyl sulfide (DMS) ความรุนแรงขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อน ยิ่งร้อนและนาน จะเกิดสารเหล่านี้มากขึ้น

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่าง กลุ่มคาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ (เช่น lactose) กับ กลุ่มอะมิโนของโปรตีน ในสภาวะความร้อนสูง จะเกิด Amadori rearrangement และการสลายตัว (degradation) จนเกิดสารตัวกลาง (intermediates) เช่น dicarbonyls และสารประกอบกำมะถัน เมื่อตัวกลางเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ (methionine, cysteine) จะเกิดสารระเหยซัลเฟอร์ ที่ให้กลิ่น “cooked”, “eggy” หรือ “sulfurous” เช่น methional, dimethyl trisulfide⁽²²⁾ ซึ่งสัมพันธ์กับการระเหยของสารประกอบซัลเฟอร์ระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสไม่พึงประสงค์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดการเปลี่ยนแปลงโปรตีนเบต้าแลคโทโกลบูลินให้น้อยกว่า 50% เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยของสารประกอบกำมะถันซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสต้มสุก⁽⁸⁾ จากเป้าหมายดังกล่าว เทคโนโลยี ESL ในทางปฏิบัติจึงมักใช้การให้ความร้อนในระดับสูงช่วงสั้น เช่น การพาสเจอร์ไรส์แบบ HHST: Higher Heat

Shorter Time ร่วมกับการบรรจุแบบปลอดเชื้อ หรือการกรองจุลินทรีย์ ก่อนจะบรรจุลงภาชนะ บรรจุที่ผ่านการฆ่าเชื้อ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน หลังการฆ่าเชื้อ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นศึกษาถึงคุณภาพของนมที่ผลิตโดยใช้เทคนิค ESL เปรียบเทียบกับนมพาสเจอร์ไรส์ทั่วไป Schmidt และคณะ (2012)⁽²³⁾ รายงานการผลิตนม ESL โดยใช้การกรองผ่านไมโครฟิลเตอร์ ร่วมกับการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ ในนมหลังการกรองลดลงจากเดิมประมาณ 5–6 log จนเหลือต่ำกว่า 1 โคโลนีต่อกรัม และสามารถยืดอายุการเก็บในตู้เย็นได้ถึง 3–4 สัปดาห์ แต่เมื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์นม ESL ในท้องตลาดเมื่อสิ้นอายุ พบว่าบางตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มสูงถึง 10^8 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพ ตัวอย่างประมาณ 8% เกิดการเสียอย่างชัดเจนก่อนหมดอายุการเก็บรักษา⁽²³⁾ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Doll และคณะ (2017)⁽²⁴⁾ ที่ศึกษานม ESL ในเยอรมนีจำนวน 287 ตัวอย่าง พบว่าจำนวนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นอายุการเก็บ มีความหลากหลายของจุลินทรีย์มาก (<1 ถึง 7.9 log โคโลนีต่อกรัม) และมีตัวอย่างประมาณ 15% ของผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสีย โดยตรวจพบสาเหตุหลักมาจากสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนเย็น เช่น *Bacillus cereus* และ *Paenibacillus spp.*

ซึ่งมักปนเปื้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์หลังจากการฆ่าเชื้อ (recontamination) ในขั้นตอนการบรรจุ⁽²⁴⁾ ส่วนจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่พบในนม ESL ที่เสีย ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียแกรมลบชนิดไม่ก่อโรคที่ปนเปื้อนหลังการผลิต (เช่น *Acinetobacter*, *Psychrobacter* ฯลฯ) ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรส์ทั่วไปที่เสียวย่างมักเกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ทนเย็นชนิดแกรมลบ (เช่น *Pseudomonas* หรือ *Acinetobacter*) หากวัตถุดิบมีคุณภาพไม่ดี หรือเกิดการปนเปื้อนระหว่างการบรรจุและขนส่ง ทำให้นมพาสเจอร์ไรส์เสียภายในไม่กี่วัน⁽²⁵⁾

สำหรับประเทศไทย มีงานวิจัยโดย Wirjantoro และคณะ (2022)⁽²¹⁾ ที่ทดลองเก็บนมพาสเจอร์ไรส์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วินาที พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 21 วัน โดยตลอดช่วงระยะเวลาที่เก็บรักษาไม่มีการพบเชื้อก่อโรคอย่าง *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* หรือ *Staphylococcus aureus* และเชื้อโคลิฟอร์มยังคงน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อกรัม แม้ว่าจำนวนแบคทีเรียรวมจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา⁽²⁶⁾

อย่างไรก็ตาม พบว่า คะแนนประเมินทางด้านประสาทสัมผัส เช่น สี (color) กลิ่น (odor) รส (flavor) ความเป็นครีม (creamy taste) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability) โดยใช้

วิธีการทดสอบแบบ Hedonic scale 9 ระดับ (9-point hedonic test) ซึ่งให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบตั้งแต่ 1 = “ชอบน้อยที่สุด” ไปจนถึง 9 = “ชอบมากที่สุด” พบว่าคะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ซึ่งหมายความว่าถึงแม้นมจะยังไม่เสียในเชิงจุลชีววิทยา แต่คุณภาพรสชาติความสดใหม่ก็ด้อยลงเมื่อเข้าใกล้วันหมดอายุ คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับ 6 = “ชอบเล็กน้อย” ถึง 7 = “ชอบปานกลาง” ตลอดช่วงการเก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างอุณหภูมิการเก็บ (4 และ 8 องศาเซลเซียส) ต่อคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะ อย่างไรก็ตาม คะแนนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเฉพาะหลังวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา ค่าคะแนน

เฉลี่ยโดยรวมในช่วงต้นการเก็บ (day 1) อยู่ประมาณ 7–8 คะแนน (ชอบมาก) และลดลงเหลือราว 6–7 คะแนน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) ในช่วงท้ายการเก็บรักษา⁽²⁶⁾

จากการประมวลผลการศึกษาเหล่านี้ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิค ESL สามารถยืดอายุการเก็บรักษานมได้จริงโดยการลดหรือกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำนมได้มากกว่าเดิม และชะลอการเสื่อมเสีย ขณะเดียวกันก็มีการเฝ้าระวังผลกระทบด้านสี กลิ่น รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการเพื่อให้ใกล้เคียงกับนมสดมากที่สุด

ข้อมูลการเปรียบเทียบโดยสรุปในแต่ละด้านระหว่างนมพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมและแบบนมพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตโดยใช้เทคนิค ESL (HTST) โดยอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงดัง

Table 2

การเปรียบเทียบระหว่างการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมกับการพาสเจอร์ไรส์โดยใช้เทคโนโลยี ESL (HTST) ในการแปรรูปน้ำนมโค

Table 2 Comparison of conventional and ESL (HTST) pasteurized milk quality

Factor	Conventional pasteurized milk	ESL milk
1. Microbiological quality	• Eliminates pathogenic microorganisms but may retain a small number of heat-resistant non-pathogens (e.g., spores, thermophilic bacteria), usually 10^1–10^2 CFU/g, depending on raw milk	• Strong microbial reduction, often to < detection limit, using microfiltration (5–6 log cycle reduction) or HTST with aseptic filling⁽²³⁾ • Final bacterial count at end of shelf life varies widely: <1 to 10^7–

Factor	Conventional pasteurized milk	ESL milk
	quality and pasteurization intensity⁽²³⁾ • Under refrigeration, psychrotolerant Gram-negative bacteria or Gram-positive spores can slowly grow, limiting shelf life⁽²⁵⁾ • Post-pasteurization contamination during filling/transport is a major spoilage cause; coliforms or <i>Pseudomonas</i> spp. are often detected in improperly stored milk⁽²⁵⁾ • Maintains safety within recommended shelf life, but quality deteriorates rapidly beyond that if the cold chain is broken • Spoilage signs include sour odor, curdling due to acids/enzymes from spores or contaminants	10⁸ CFU/g; 8–15% of products may spoil before expiry⁽²³⁾ • Spoilage mainly from psychrotolerant, spore-forming Gram-positive bacteria such as <i>Bacillus cereus</i> and <i>Paenibacillus</i> spp.⁽²⁴⁾ • Strict hygiene and aseptic filling essential to maintain quality • Manufacturers often state 21–28 days to ensure safety • Flavor may be less fresh toward the end of shelf life; consistent storage at 4°C is critical to prevent rapid quality loss⁽²⁶⁾
2. Shelf life at 2–6°C	• Typically 7–10 days under refrigeration; Thai FDA sets maximum at 10 days^(3–7) • High-quality raw milk under strict pasteurization may last up to 14 days, but flavor declines after 7 days	• Generally 21–30 days under refrigeration; can extend to 45–90 days internationally with optimal processing and strict cold chain⁽¹³⁾
3. Color, odor and taste	• Mild heat preserves natural white color and fresh flavor close to raw milk	• Designed to match flavor of pasteurized milk by avoiding high-heat defects⁽²⁷⁾

Factor	Conventional pasteurized milk	ESL milk
	• Slight cooked flavor may be present but minimal; consumers generally prefer its taste over UHT milk • If stored several days, even before expiry, aroma/taste may change slightly (mild rancid or sour notes) due to enzymatic/microbial activity	• Sensory tests: experts rate pasteurized slightly higher, but average consumers rarely notice differences⁽²⁷⁾ • Some high-temp ESL processes can cause mild cooked/caramel notes; minimized by short heating times or vacuum-based heating systems⁽²⁸⁾
4. Nutritional value	• Minor loss (0–5%) of heat-sensitive vitamins B and C⁽²⁷⁾ • Proteins and amino acids largely preserved, with only slight whey protein denaturation • Lactose, minerals, and fat remain unchanged • Retains nearly full nutritional value of raw milk and is superior to UHT/sterilized milk, which may lose up to 20% of certain vitamins	• Slightly higher vitamin losses (5–10%) due to higher temperatures or additional treatments, but still negligible in nutritional impact⁽²⁷⁾ • Vitamins C and B2 may gradually degrade during storage due to oxidation • Protein, fat, lactose, and mineral content similar to pasteurized milk; slight beta-lactoglobulin denaturation may improve digestibility^(14,27)
5. Production cost	• Standardized process with moderate equipment and energy needs • Short shelf life increases need for frequent cold-chain delivery and raises spoilage risk if unsold stock remains • Total unit cost depends on efficient logistics and sales turnover	• Requires investment in advanced systems: microfiltration, rapid heating/cooling, aseptic packaging, and stricter QC⁽¹⁴⁾ • Initially higher costs; decline with wider adoption and higher volumes • Longer shelf life reduces delivery frequency and spoilage, offsetting higher processing costs over the distribution cycle

Factor	Conventional pasteurized milk	ESL milk
6. Consumer acceptance	• Highly accepted for its fresh taste and natural quality • Main drawback: short shelf life requiring frequent purchases • Still widely preferred by consumers despite storage inconvenience	• Nearly identical taste and nutrition to pasteurized milk⁽²⁷⁾ • Appreciated for longer shelf life and reduced purchase frequency⁽²⁹⁾ • Some consumer confusion between ESL and pasteurized milk due to similar packaging; clear labeling recommended^(2-7,30)

จากตารางข้างต้น การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 2010–2025 ทั้งในประเทศและต่างประเทศ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิค Extended Shelf Life (ESL) ในการแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์สามารถ ยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม กลุ่มจุลินทรีย์ที่ “ลดลง” อย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระบบ โดยการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม HTST จุลินทรีย์ที่ถูกทำลายด้วยความร้อน คือ Gram-negative ที่ไม่สร้างสปอร์ (*Pseudomonas*, coliforms เป็นต้น) และเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคแบบ vegetative (เช่น *Listeria*, *Salmonella*) หากแต่สปอร์ของ *Bacillus* และ *Paenibacillus* จะไม่ถูกทำลายด้วยการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิมนี้^(13,31) ในขณะที่การใช้เทคโนโลยี ESL สามารถลดจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ไม่สร้างสปอร์เกือบทั้งหมด (มากกว่า HTST)⁽¹³⁾ สามารถลด

ปริมาณสปอร์ได้มากขึ้นเมื่อผ่าน Microfiltration (MF) หรือ Bactofugation (BF) โดยสามารถลดปริมาณ สปอร์ของเชื้อ *Bacillus* spp., *Paenibacillus* spp., รวมทั้ง psychrotrophs ลงได้หลาย log cycle⁽³²⁻³⁴⁾

ดังนั้น คุณภาพทางจุลชีววิทยา ยังคงอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย และมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นต่ำมากจนทำให้นมเก็บได้นานขึ้นก่อนจะเกิดการเสื่อมเสีย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมอย่างเข้มงวดในการผลิตแบบ ESL คือการป้องกันการปนเปื้อนหลังการพาสเจอร์ไรส์ เนื่องจากแม้จะกำจัดจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไปแล้ว แต่การปนเปื้อนเล็กน้อยของสปอร์แบคทีเรียที่ทนความเย็นสามารถเติบโตและทำให้นมเสียได้ในช่วงปลายของอายุสินค้า ซึ่งหลายงานวิจัยได้เน้นย้ำความสำคัญของสุขอนามัยและกรรมวิธีบรรจุที่ปลอดภัยในขั้นตอนนี้⁽¹⁹⁾

ในแง่ของ สี กลิ่น และรสชาติ พบว่าการแปรรูปแบบ ESL สมัยใหม่ที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาคคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ใกล้เคียงกับนมพาสเจอร์ไรส์ปกติ ผู้บริโภคทั่วไปแทบไม่สามารถรับรู้ความแตกต่างของรสชาติได้⁽²⁷⁾ ขณะเดียวกัน คุณค่าทางโภชนาการ ของนม ESL ก็ไม่ได้ด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับนมพาสเจอร์ไรส์ แบบดั้งเดิม มีเพียงการสูญเสียวิตามินบางส่วนเล็กน้อยเท่านั้น และสารอาหารหลักอย่างโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ ยังคงอยู่ครบถ้วน⁽²⁷⁾ นอกจากนี้ยังมีข้อค้นพบที่น่าสนใจว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีนบางส่วนจากความร้อนสูงอาจทำให้โปรตีนในนม ESL ย่อยง่ายขึ้นเล็กน้อย ซึ่งถือเป็นผลพลอยได้เชิงบวกต่อผู้บริโภคบางกลุ่ม

ต้นทุนการผลิต ของกระบวนการ ESL ในช่วงเริ่มต้นอาจสูงกว่าการพาสเจอร์ไรส์ทั่วไป เนื่องจากต้องลงทุนในเทคโนโลยีขั้นสูงและระบบบรรจุแบบปลอดเชื้อ แต่เมื่อพิจารณาถึงประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่ได้รับจากอายุสินค้าเก็บที่นานขึ้น เช่น ลดความถี่ในการกระจายสินค้า ลดสินค้าที่หมดอายุค้างสต็อก และเพิ่มพื้นที่ทางการตลาด (สามารถจัดส่งไปยังพื้นที่ห่างไกลได้มากขึ้น เนื่องจากเก็บได้นาน) ต้นทุนส่วนที่เพิ่มมานี้ อาจได้รับการชดเชยและให้ความคุ้มค่าในภาพรวม

การศึกษาทางตลาดบางชิ้นระบุว่านม ESL สามารถทำราคาในท้องตลาดได้ใกล้เคียงกับนมพาสเจอร์ไรส์ เมื่อเทคโนโลยีเป็นที่แพร่หลายและผลผลิตมีมากขึ้น⁽¹⁴⁾ โดยผู้ผลิตสามารถใช้จุดขายเรื่อง “สดได้นานขึ้น” ดึงดูดผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวก ซึ่งยินดีจ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการต้องซื้อนมบ่อย ๆ

การเปรียบเทียบต้นทุนของการพาสเจอร์ไรส์แบบ HTST และ การพาสเจอร์ไรส์แบบ ESL แสดงดัง Figure 1

OPERATING EXPENDITURES COMPARISON: ESL VS HTST		
OPEX	ESL	HTST
 Raw Material/Product Loss Lower due to longer shelf life (25–45 days or more), reducing returns/waste	Lower due to longer shelf life (25–45 days or more), reducing returns /waste	Higher due to shorter shelf life (7–14 days), causing more returns/waste
 Energy (Electricity/Steam/Water) May be slightly higher but optimized (heat recovery, pressure)	May be slightly higher but optimized (heat recovery, homogenizer pressure)	Lower due to shorter heating process
 Maintenance/Repair Slightly higher with filtration, but reduced CIP frequency	Slightly higher with filtration, but reduced CIP frequency	Lower with simpler system, but more frequent cleaning
 Packaging Lower (UV, H ₂ O ₂ , decontamination, barrier)	Higher (UV, H ₂ O ₂ , decontamination, barrier)	Lower (standard packaging)
 Cleaning (CIP/SIP) Lower with longer runtime, reducing cycles	Lower with longer runtime, reducing cycles	Higher with more frequent cycles
 Labor/Logistics Possibly lower with more frequent production, delivery	Possibly lower with more runs, less rushed shipments	Possibly higher with more frequent production, delivery

Figure 1 Operating expenditures comparison: ESL vs HTST

ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์นม ESL โดยภาพรวมอยู่ในระดับที่ดี ผู้บริโภคได้รับคุณภาพนมที่แทบไม่ต่างจากนมพาสเจอร์ไรส์ดั้งเดิมและยังได้ความยืดหยุ่นในการบริโภคมากขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการสื่อสารข้อมูลบนฉลากอย่างชัดเจนเกี่ยวกับกระบวนการผลิต (เช่น ระบุว่าเป็นนมพาสเจอร์ไรส์ชนิด ESL) เพื่อสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและสร้างความมั่นใจแก่ผู้บริโภคในประเทศไทย หน่วยงานกำกับดูแลได้กำหนดเกณฑ์เพื่อป้องกันการแสดงฉลากที่ทำให้เข้าใจผิด เช่น กำหนดว่านมที่เก็บเกิน 10 วันไม่ให้เรียกว่า “นมโคสดพาสเจอร์ไรส์”⁽²⁾ ซึ่งเป็นไปเพื่อรักษามาตรฐานคุณภาพและความโปร่งใส

บทสรุป

นมพาสเจอร์ไรส์ที่ผ่านนวัตกรรมที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยกระบวนการ Extended Shelf Life (ESL) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ทั้ง

ด้านความปลอดภัยทางอาหาร คุณค่าทางโภชนาการ และรสชาติ เมื่อเทียบกับการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม ศักยภาพนี้เอื้อประโยชน์ต่อทั้งผู้ผลิต (ลดการสูญเสียและขยายตลาด) ร้านค้าปลีก (บริหารสต็อกได้ง่ายขึ้น) และผู้บริโภค (ได้รับความสะดวกและผลิตภัณฑ์ที่คงความสดได้นานขึ้น) อย่างไรก็ตาม การนำเทคนิค ESL มาใช้ต้องอาศัยการลงทุนและการควบคุมคุณภาพอย่างเคร่งครัด ผู้ประกอบการควรประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และพิจารณาความพร้อมของตลาด ผู้บริโภคควบคู่กัน

ในอนาคตอาจมีการพัฒนาเทคโนโลยี ESL ใหม่ ๆ เช่น การแปรรูปด้วยแรงดันสูง (High Pressure Processing, HPP) หรือเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า (Pulsed Electric Field, PEF)⁽²⁴⁾ ที่สามารถยืดอายุสินค้าได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน ซึ่งจะเป็นอีกทิศทางหนึ่งที่น่าสนใจในการรักษาคุณภาพของนมสดให้ยาวนานยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. ส่วนแบ่งตลาดผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม ปี 2565 [Internet]. กรุงเทพฯ: อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร; 2565 [cited 2025 Jan 4]. Available from: <https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-detail.php?smid=381>.
2. พิพัฒน์ ยิ่งเสรี. อย.ประกาศกัณนิยาม “นมโค” และการแสดงฉลาก [Internet]. กรุงเทพฯ: MGR Online; 2555 [cited 2025 Feb 3]. Available from: https://mgronline.com/qol/detail/9550000068667#google_vignette.
3. กระทรวงสาธารณสุข [Internet]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2556 [cited 2025 Feb 3]. Available from: <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509375447746879488&name=P350.PDF>.
4. กระทรวงสาธารณสุข [Internet]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2556 [cited 2025 Feb 3]. Available from: <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509375811715997696&name=P351.pdf>.

5. กระทรวงสาธารณสุข [Internet]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2556 [cited 2025 Feb 3]. Available from: <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509376140427796480&name=P352.pdf>.
6. กระทรวงสาธารณสุข [Internet]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2556 [cited 2025 Aug 1]. Available from: <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509424399909265408&name=P406.PDF>.
7. กระทรวงสาธารณสุข [Internet]. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข; 2556 [cited 2025 Aug 1]. Available from: <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509425148210847744&name=P408.PDF>.
8. Tamime AY. Milk Processing and Quality Management. Oxford: Wiley-Blackwell; 2009. p. 215-30.
9. Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ. Dairy Science and Technology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2006. p. 461-78.
10. Gaya P, Sánchez J, Medina M, Núñez M. Accelerated shelf-life testing of ESL milk. Food Control. 2021;121:107-140.
11. Schleicher A, Leitner M, Loibner A, Krewinkel M, Hinrichs J. Influence of processing and storage on the quality of ESL milk. Int Dairy J. 2018;85:200-8.
12. Datta N, Deeth HC. Ultra-high-temperature treatment of milk and dairy products. Dairy Sci Technol. 2003;83(6):657-72.
13. Deeth H. Optimum thermal processing for extended shelf-life (ESL) milk. Foods. 2017;6(11):102.
14. M&E Trading. What is ESL milk? A comprehensive guide [Internet]. Germany: Machinery and Equipment Trading; 2019 [cited 2025 Feb 10]. Available from: <https://me-trading.de/what-is-esl-milk-a-comprehensive-guide/#:~:text=This%20fact%20made%20the%20fresh,product%20that%20ESL%20milk%C2%A0was%20before.>
15. Saboya LV, Maubois JL. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. Lait. 2000;80(6):541-53.
16. Serra M, Trujillo AJ, Guamis B, Ferragut V. Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. Food Hydrocoll. 2009;23(1):82-91.
17. Laws B, Tamime AY. Heat treatment of milk. In: Tamime AY, editor. Milk Processing and Quality Management. Oxford: Wiley-Blackwell; 2009. p. 88-118.
18. Driehuis F, de Jong P. Bactofugation of milk: Process efficiency and effect on the microbiological quality of raw milk. Neth Milk Dairy J. 1988;42:211-21.
19. Griffiths MW, Phillips JD, Muir DD. The effect of bactofugation on the shelf life of pasteurized milk. J Soc Dairy Technol. 1981;34(2):57-60.
20. Datta N, Deeth HC. High temperature short time and ultra-high temperature milk. In: Sun DW, editor. Emerging Dairy Processing Technologies. Cambridge: Elsevier; 2006. p. 1-38.
21. Kelly AL, Foley J. Proteolysis and storage stability of UHT milk—a review. Int J Dairy Technol. 1997;50(2):59-64.
22. Lund MN, Ray CA. Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. J Agric Food Chem. 2017;65(23):4537-52.
23. Schmidt VSJ, Kaufmann V, Kulozik U, Scherer S, Wenning M. Microbial biodiversity, quality and shelf life of microfiltered and pasteurized extended shelf life (ESL) milk from Germany, Austria and Switzerland. Int J Food Microbiol. 2012;154(1–2):1-9.
24. Doll EV, Scherer S, Wenning M. Spoilage of microfiltered and pasteurized extended shelf life milk is mainly induced by psychrotolerant spore-forming bacteria that often originate from recontamination. Front Microbiol. 2017;8:135.

-
25. Plaksanguansri C. Change in microbial count of pasteurized milk stored for various times. Agric Nat Resour [Internet]. 1991 Mar 31 [cited 2025 Feb 5]. Available from: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/24190410>.
26. Wirjantoro TI, Phianmongkhoh A, Potivas T, Na Chiangmai Y. The impact of raw milk quality, particularly thermotolerant, and storage temperatures on the keeping quality of pasteurized milk. CMU J Nat Sci. 2022;21(4):e2022056.
27. Buckenhüskes HJ. ESL milk production [Internet]. Frankfurt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) – German Agricultural Society; 2014 [cited 2025 Feb 10]. Available from: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/ernaehrung/e_2014_4_Expertenwissen_ESL.pdf#:~:text=fresh%20milk%20causes%20up%20to,which%20yielded%20the%20same%20results.
28. ไพบุลย์ ช่วงทอง. ข้อปนนม(สด) แบบเยอรมัน [Internet]. กรุงเทพฯ: ฉลาดซื้อ; 2568 [cited 2025 Feb 10]. Available from: <https://chaladsue.com/article/103>.
29. Schroeter C, Nicholson CF, Meloy MG. Consumer valuation of organic and conventional milk: Does shelf life matter? J Food Distrib Res. 2016;47(3):118-33.
30. ปฐมา ลออรธพงศ์. นมสดพาสเจอร์ไรซ์ ได้นิยามใหม่ (ตอนที่ 2) [Internet]. กรุงเทพฯ: หาหมอ.com; 2555 [cited 2025 Feb 14]. Available from: <https://haamor.com/%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%AA%E0%B8%94%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%98%E0%B8%88%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%8B%E0%B9%8C-%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88-2>.
31. Ranieri ML, Boor KJ. Bacterial ecology of high-temperature, short-time pasteurized milk. J Dairy Sci. 2009;92(10):4833-40.
32. Tomasula PM, Munro G, Parris N, et al. Pilot-scale crossflow microfiltration and pasteurization to remove spores from milk. J Dairy Sci. 2011;94(5):2427-38.
33. Ribeiro-Júnior JCR, Penna ALB, et al. Effect of bactofugation of raw milk on counts and microbial diversity of psychrotrophs; and subsequent reports on total counts/spores reduction. J Dairy Sci. 2019;102(10):8826-38.
34. Ribeiro-Júnior JC, et al. Effect of milk bactofugation on the counts and diversity of aerobic spore-forming bacteria. J Dairy Sci. 2020;103(12):[Epub ahead of print].
-