

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการแฟลชพาสเจอร์ไรส์ที่มีผลต่อปริมาณวิตามินบี 1 ในผลิตภัณฑ์นม

A Study of Flash Pasteurization Effects on Vitamin B1 in Milk Products

วิฐู ชูศรี¹ และรัชพงศ์ ชูศรี²



บทคัดย่อ

กระบวนการพาสเจอร์ไรส์เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนเพื่อใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์ในอาหารอาหารจึงมีความปลอดภัย และเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่ความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลงทั้งด้านโภชนาการ และกายภาพ ประสิทธิภาพของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของอุณหภูมิ และเวลา (time-temperature profile) ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ และยังสามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์ P^* ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะเรียกกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ใช้อุณหภูมิสูง แต่เวลานั้นกว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ปกติซึ่งมีค่า P^* เท่ากับ 1 ว่า แฟลชพาสเจอร์ไรส์ (flash pasteurization) ซึ่งจะสามารถคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีกว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์เชิงการค้า งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในช่วงพาสเจอร์ไรส์เชิงการค้าถึงแฟลชพาสเจอร์ไรส์ ($72-80^\circ\text{C}$) ที่ค่า P^* เท่ากันต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นม โดยใช้การลดของวิตามินบี 1 และการเปลี่ยนแปลงสีเป็นดัชนีบ่งชี้ จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการแฟลชพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* เท่ากับ 1 แต่อุณหภูมิสูงกว่าจะสูญเสียวิตามินบี 1 น้อยกว่า และมีแนวโน้มที่จะมีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* สูง จะสามารถลดปริมาณเชื้อ *S. aureus* ลงได้มากกว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่มีค่า P^* ต่ำกว่า

คำสำคัญ : แฟลชพาสเจอร์ไรส์ พารามิเตอร์ P^* *S.aureus* วิตามินบี

ABSTRACT

Pasteurization is the thermal process for inactivating microorganisms in foods to make them safe to eat and to preserve them for longer periods. However, the thermal process affects the quality of products in term of their nutrient and physical properties. Effects of the pasteurization depend on the time-temperature profile of the sample as it passes through the heat process. The time-temperature profile is indicated by P^* parameter, which shows the efficiency of microorganism inhibition. The pasteurization process at a higher temperature, but in a shorter period of time than that of the normal commercial pasteurization process ($P^*=1$), is called "flash pasteurization," which can maintain the quality of products better than the commercial process

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

² ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

can. Therefore, this research studies the effects of pasteurization temperature on the quality of milk products in the temperature range of commercial pasteurization and flash pasteurization (72° and 80° C, respectively) at the same P* value. The reduction of vitamin B1 and the change of color were used as indicators to evaluate the thermal process. The result showed that the flash pasteurization at P*=1 and higher temperature preserved more vitamin B1, and the samples tended to possess more brightness than the samples pasteurized at the lower temperature. Moreover, the results revealed that the pasteurization at higher P* was able to reduce the amount of *S. aureus* more than the pasteurization at lower P*

Keywords : flash pasteurization, *S. aureus*, vitamin B, parameter P*

บทนำ

กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน (thermal processing) มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic microorganism) ทั้งหมดและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (food spoilage microorganism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เพื่อให้อาหารมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น (Ibarrola et al., 2002) โดยปกติกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร (Aguiar et al., 2012) เช่น การสูญเสียสารอาหารบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน การเกิดกลิ่นนมต้ม (cooked flavor) การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) และการเกิดกลิ่นรสผิดปกติ (off-flavor) เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลให้คุณภาพของอาหารลดต่ำลง (Martin et al., 1997; Chapman and Boor, 2001; Chiewchan et al., 2006; Gandy et al., 2008) ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการบริโภคอาหารที่มีคุณภาพสูง และมีคุณภาพใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด (Aronsson and Rönner, 2001; Walkling-Ribeiro et al., 2011; Claeys et al., 2013) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์นม เนื่องจากนมเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหารครบถ้วนทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ ดังนั้นการคงคุณภาพเดิมของอาหาร เช่น สี กลิ่น กลิ่นรส และสารอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย

ความร้อนจึงมีความสำคัญมากขึ้น โดยกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่สามารถคงคุณภาพ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารน้อยที่สุดต้องเป็นกระบวนการที่มีการใช้ความร้อนในระยะเวลาที่สั้นที่สุด แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (Doyle et al., 1987; Gao et al., 2002; Grant et al., 1999) โดยกระบวนการเหล่านี้มีการใช้อุณหภูมิสูง แต่เวลาสั้น เช่น HTST และ flash pasteurization (Tijskens et al., 2000) งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ในช่วงพาสเจอร์ไรส์เชิงการค้า (commercial pasteurization) ถึงแฟลชพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิในช่วง 72-80 °C) ที่ค่า P* เท่ากันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมทั้งด้านโภชนาการและกายภาพ ทั้งนี้เพื่อให้กระบวนการแปรรูปอาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

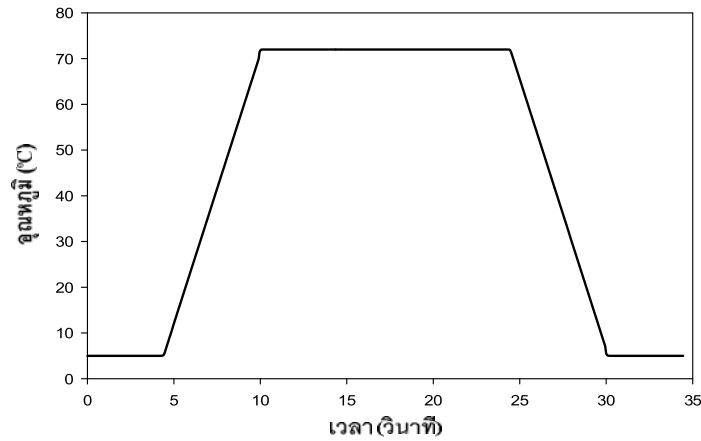
วิธีดำเนินการวิจัย

1. กระบวนการแฟลชพาสเจอร์ไรส์ที่ P* เท่ากับ 1

การศึกษาจะใช้นมสดพร้อมดื่มยี่ห้อดัชชีมิลล์ รสจืด ที่ซื้อจากร้านค้า ทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 75-82 °C ที่สัมพันธ์กับเวลาซึ่งทำให้กระบวนการมีค่า P* เท่ากับ 1 ในช่วง 2.0-14.5 วินาที โดยลักษณะการควบคุมอุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างในงานวิจัยนี้ (ภาพที่ 1) คือ

ลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงจนอุณหภูมิต่ำที่ อุณหภูมิต่ำในช่วง 5-10°C จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของ ตัวอย่างขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด (อุณหภูมิสำหรับ

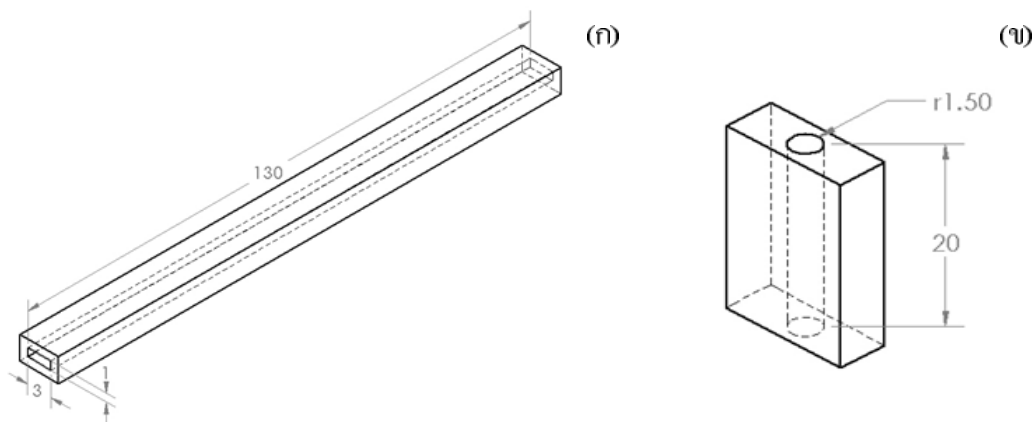
ฆ่าเชื้อในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์) และคงอุณหภูมินี้ ไว้ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นลดอุณหภูมิของตัวอย่าง ลงจนอุณหภูมิต่ำที่ อุณหภูมิต่ำในช่วง 5-10°C



ภาพที่ 1 ลักษณะการควบคุมอุณหภูมิและเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในงานวิจัยนี้

สำหรับชุดอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิและ เวลาเพื่อศึกษากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ประกอบด้วย อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (thermostatic bath) รุ่น AD07R-20 (PolyScience, USA) แบบควบคุมอุณหภูมิภายนอก (external control) และปั๊มรีดสายยาง (peristaltic pump) ซึ่ง สามารถ ปรับ อัตราการไหล ได้ ใน ช่วง 0.05-0.4 มล./วินาที โดยภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วน แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (cooling section) ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง (heating section) และฉนวน (insulator) โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยน

ความร้อนนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วน แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง และฉนวน (ภาพที่ 2) โดย ส่วน แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำทำ จากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 (stainless steel) มีช่อง ใส่ตัวอย่างขนาด 3×1 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) และ ส่วนฉนวนเป็นองค์ประกอบหนึ่งในอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนทำขึ้นจากเทฟลอน (Teflon) มีช่องใส่ตัวอย่าง เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และยาว 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข)

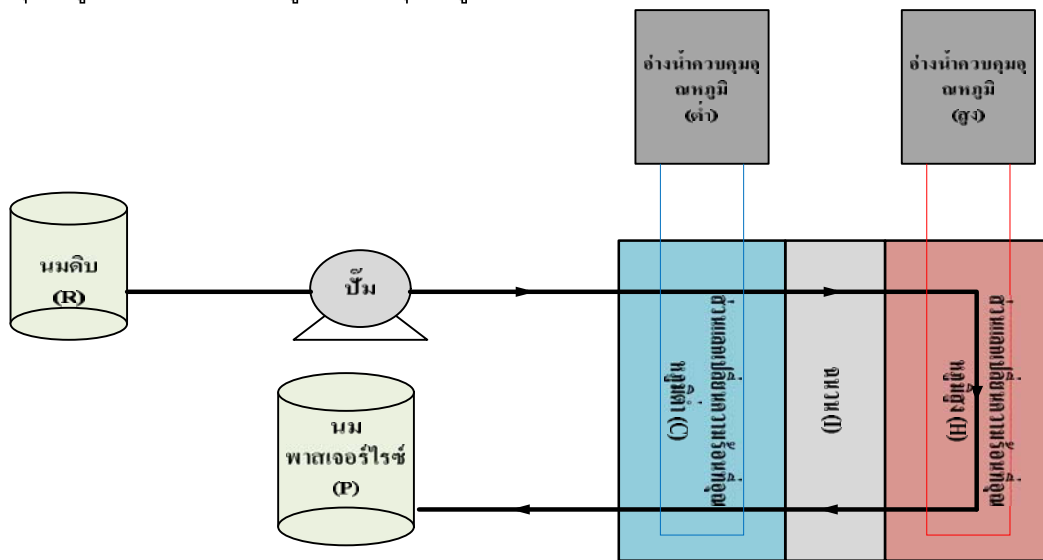


ภาพที่ 2 ขนาด และรูปร่างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดย (ก) คือส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน และ (ข) คือฉนวน

สำหรับขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์เหล่านี้ (ภาพที่ 3) เป็นดังนี้คือ

ผ่านตัวอย่างปริมาณ 5 ลิตร ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (R →C) เพื่อลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงให้มีอุณหภูมิคงที่ในช่วง 5-10°C จากนั้นตัวอย่างในข้อ 1 จะไหลผ่านเข้าสู่ฉนวน (C→I) ที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิต่ำ และทำหน้าที่ในการป้องกันการถ่ายโอนความร้อนระหว่างส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง และส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นตัวอย่างในข้อ 2 จะไหลผ่านเข้าสู่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง (I→H) หรือเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อ ในส่วนนี้ตัวอย่างจะได้รับความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่

กำหนด และคงอุณหภูมิไว้ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นตัวอย่างที่ผ่านส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูงหรือกระบวนการฆ่าเชื้อในข้อ 3 แล้ว จะไหลผ่านเข้าสู่ฉนวน (H→I) ที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับระหว่างส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิต่ำอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นตัวอย่างในข้อ 4 จะไหลผ่านเข้าสู่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (I→C) เพื่อลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงให้มีอุณหภูมิคงที่ต่ำกว่า 5-10°C อีกครั้งหนึ่ง และหลังจากนั้นตัวอย่างที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว จะไหลเข้าสู่ภาชนะบรรจุที่ปลอดเชื้อ (C→P) เพื่อนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิและเวลาเพื่อศึกษากระบวนการพาสเจอร์ไรส์

2. การคำนวณค่า P* และ C-value ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์

อุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ถูกนำมาคำนวณเป็นค่า P* และ C-value ของกระบวนการเมื่อการลดจำนวนลงของจุลินทรีย์ และการสลายตัวของสารอาหารเนื่องจากความร้อน เป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first-order reaction) โดยอาศัย

ความสัมพันธ์จากสมการ $P^* = \frac{1}{13} \int_0^1 10^{\frac{T-72}{13}} dt$ และ

$$C = \int_0^1 10^{\frac{T-T_{ref}}{Z}} dt \text{ ตามลำดับ (Holdsworth, 1992; Holdsworth, 1997; Holdsworth and Simpon, 2007; Tijksens et al., 2000)}$$

- เมื่อ T คือ อุณหภูมิของตัวอย่าง (°C)
- T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง (°C)
- Z คือ อุณหภูมิที่ส่งผลให้ค่า D-value ของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเป้าหมายเปลี่ยนแปลงไป 90% (°C)
- T คือ เวลา (นาที)

3. การคำนวณอัตราส่วนการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์

อุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างน้ำนมในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ถูกนำมาคำนวณเป็นอัตราส่วนการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* (N/N_0) โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการ

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{F_U}{D_{ref}} = -\frac{15F^*}{D_{ref}}$$

เมื่อการลดจำนวนลงของเชื้อ *S. aureus* เนื่องจากความร้อนเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Holdsworth, 1992; Holdsworth, 1997; Holdsworth and Simpon, 2007; Buzrul, 2007) และกำหนดให้ค่าอุณหภูมิอ้างอิงค่า z-value และค่า D-value อ้างอิงของเชื้อ *S. aureus* มีค่าเท่ากับ 72°C, 5.1°C และ 0.137 นาที ตามลำดับ (Tomlins and Ordal, 1976) โดยที่

PU คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ระดับของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์

P^* คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ระดับของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นม

N คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตหลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในตัวอย่าง

N_0 คือ ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในตัวอย่าง

D_{ref} คือ เวลาที่ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลง 90% ที่อุณหภูมิอ้างอิง (นาที)

4. การคำนวณอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่

อุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ถูกนำมาคำนวณเป็นอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการ $\log\left(\frac{C}{C_0}\right) = -\frac{C\text{-value}}{D_{ref}}$ เมื่อการสลายตัวของวิตามินบี 1 เนื่องจากความร้อนเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และกำหนดให้ค่าอุณหภูมิอ้างอิงค่า z-value และค่า D-value อ้างอิงของวิตามินบี 1 มีค่าเท่ากับ 120°C, 30°C และ 120 นาที ตามลำดับ (Maroulis and Saravacos, 2003) โดยที่

C-value คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ระดับการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพของอาหาร

C คือ ความเข้มข้นของสารประกอบชีวเคมีในตัวอย่าง

C_0 คือ ความเข้มข้นของสารประกอบชีวเคมีเริ่มต้นในตัวอย่าง

D_{ref} คือ เวลาที่ส่งผลให้สารประกอบชีวเคมีมีปริมาณลดลง 90% ที่อุณหภูมิอ้างอิง (นาที)

5. การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* ต่ำกว่า 1 ต่อการยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* ต่ำกว่า 1 ต่อการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ในผลิตภัณฑ์นมมีจุดประสงค์เพื่อประเมินความใช้ได้ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอุณหภูมิและเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (Ibarrola et al., 2002) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

นำน้ำนมมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองตะกอนขนาดใหญ่ที่อาจปนเปื้อนในนมออกไป จากนั้นนำไปทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์ (Homogenizer, APV-2000, Denmark) และนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที ด้วยหม้อหนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy, autoclave SS-325, Japan) จากนั้นนำซัสเพนชัน (suspension) ของเชื้อ *S. aureus* ATCC 14458 (ตามวิธีการเตรียมในข้อ 5.1) ปริมาณ 5 มล. เติมน้ำนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว และนำไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ P^* เท่ากับ 0.6, 0.4, 0.3 และ 0.2 (ตามขั้นตอนในข้อ 1.5.2) ต่อไป

5.1 การเตรียมเชื้อ *S. aureus*

นำเชื้อ *S. aureus* ATCC 14458 ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton Agar (acumedia, USA) มา 1 หลู แล้วเพาะเชื้อลงในอาหารเหลว Mueller-Hinton broth ปริมาณ 5 มล. เขย่าให้เข้ากันดี และทำการนับปริมาณเชื้อเริ่มต้นด้วยวิธี pour plate พบว่าเชื้อเริ่มต้นมีปริมาณ 10^5 cfu/ml โดยประมาณ

5.2 กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ตัวอย่างน้ำนม

นำเชื้อ *S. aureus* ในข้อ 5.1 ใส่ลงในน้ำนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงทำการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมโดยกำหนดค่า P^* ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์เท่ากับ 0.6, 0.4, 0.3 และ 0.2 หลังจากนั้นนำน้ำนมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วที่ค่า P^*

ต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5.3 การนับปริมาณเชื้อที่รอดชีวิต

นำตัวอย่างในข้อ 5.2 ปริมาณ 1 มล. มาเจือจางด้วยวิธี 10-fold serial dilution ด้วย 0.1% peptone จากนั้นนำมานับปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตด้วยวิธี pour plate และทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งผลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* จะแสดงอยู่ในรูปอัตราส่วนการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* คือ N/N_0 โดย N คือ ปริมาณเชื้อ *S. aureus* ในตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว และ N_0 คือ ปริมาณเชื้อ *S. aureus* ในตัวอย่างเริ่มต้น

6. การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* เท่ากับ 1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินบี 1 ที่เป็นองค์ประกอบในนม

การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินบี 1 ที่เป็นองค์ประกอบในนม ทำได้โดยวัดปริมาณการสูญเสียวิตามินบี 1 ในตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แล้ว โดยกำหนดให้ทุกสภาวะของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์มีค่า P^* เท่ากับ 1 วิธีการตรวจสอบปริมาณวิตามินบี 1 ในตัวอย่างใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Albalá-Hurtado et al. (1997) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้ คือ

6.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของวิตามินบี 1

นำไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ (thiamine hydrochloride) หรือวิตามินบี 1 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าหรือเท่ากับ 99% สำหรับการวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) มาละลายด้วยน้ำกลั่น (deionized water) ให้มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐานของวิตามินบี 1 (stock solution) หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานวิตามินบี 1 ที่เตรียมไว้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเป็น 2.5, 5, 10, 15 และ 20 มก./ล. และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของวิตามินบี 1

6.2 การเตรียมตัวอย่างนํ้านมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 1

ชั่งตัวอย่างนํ้านมปริมาณ 10.5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มล. จากนั้นเติมสาร Trichloroacetic acid (TCA) ที่อยู่ในรูปของแข็ง 1 กรัม และใส่ magnetic stirring bar ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วทำการผสมบน magnetic stirring plate นาน 10 นาที เมื่อทำการผสมตัวอย่างจนเข้ากันดีแล้วจึงนำตัวอย่างจากบีกเกอร์ใส่ลงใน centrifuge tube ขนาด 50 มล. และนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge, Hettich, Universal 16, Germany) ที่ความเร็วรอบ 1,250 g นาน 10 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการแยกชั้นเป็นของแข็งด้านล่าง และของเหลวด้านบน จากนั้นทำการแยกส่วนของเหลวที่อยู่ด้านบนใส่ไว้ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล. แล้วพักไว้ก่อน ส่วนของแข็งที่เหลือจากแยกส่วนของเหลวนั้นจะนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งโดยการเติม 4% TCA ปริมาณ 3 มล. ที่ความเร็วรอบ 1250 g นาน 10 นาที จากนั้นส่วนของเหลวที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงครั้งที่สองนำไปผสมกับส่วนของเหลวที่แยกได้ในครั้งแรกแล้วทำการปรับปริมาตรให้เป็น 10 มล. ด้วย 4% TCA ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล. จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณสาร

6.3 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 1

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 1 ในตัวอย่างนํ้านมจะอาศัยวิธี HPLC ด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu, Japan) โดยใช้ตัวตรวจวัด (detector) แบบ UV detector ที่ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร และคอลัมน์ ACE5 ชนิด C_{18} ขนาด 250 x 4.6 มล. เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ไมโครเมตร (ACE, Scotland) โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (mM) ที่ pH 3.0 ต่ออะซิโตไนไตรล์ (CH_3CN) ในอัตราส่วน 95:5 ที่อัตราการไหล 0.8 มล./นาที ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

7. การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า

P* เท่ากับ 1 ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของนม

ตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วจะนำมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยวิธีการวัดการสะท้อนแสง (reflectance) ของตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง color view (BYK Gardner, USA) ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 ค่าสีที่วัดได้จะอยู่ในรูปของ L^* a^* และ b^* เมื่อ L^* แสดงถึงค่าความสว่าง ($L^* = 0$ คือ สีดำ และ $L^* = 100$ คือ สีขาว) a^* แสดงถึงสีเขียวและสีแดง ($-a^*$ คือ สีเขียว และ $+a^*$ คือ สีแดง) และ b^* แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลือง ($-b^*$ คือ สีน้ำเงิน และ $+b^*$ คือ สีเหลือง) โดยตัวอย่างจะถูกใส่ในช่องใส่ตัวอย่างที่อยู่เหนือแหล่งกำเนิดแสง ทำการวัดค่าสี 3 ซ้ำ ต่อการวัดหนึ่งตัวอย่าง (Yanes et al., 2002) โดยตัวอย่างที่นำมาวัดสีเป็นตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่กำหนดสภาวะของกระบวนการให้มีค่า P* เท่ากับ 1 ดังนั้นการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างจะแสดงอยู่ในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างพารามิเตอร์ Δa^* และ Δb^* ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta a^* = a^* - a_0^*$$

เมื่อ a^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีเขียวและสีแดงของตัวอย่าง

a_0^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีเขียวและสีแดงของตัวอย่างควบคุม

$$\Delta b^* = b^* - b_0^*$$

เมื่อ b^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลืองของตัวอย่าง

b_0^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลืองของตัวอย่างควบคุม

Chroma (C^*) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่แสดงถึงการรับรู้ลักษณะของสีในตัวอย่าง ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงค่าความเข้มของสี และใช้เปรียบเทียบความเข้มของสีในเฉดสีเดียวกัน ซึ่งค่า C^* สามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการ

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

เมื่อ C^* คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสี

a^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีเขียวและสีแดงของตัวอย่าง

b^* คือ ค่าที่แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลืองของตัวอย่าง

นอกจากนี้ยังทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างจากความสัมพัทธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ΔC^* และ ΔL^* โดย ΔC^* คือ ความแตกต่างของค่าความเข้มของสีระหว่างตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมดังสมการ

$$\Delta C^* = C^* - C_0^*$$

เมื่อ C^* คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสีของตัวอย่าง

C_0^* คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสีของตัวอย่างควบคุม

เมื่อตัวอย่างมีค่า ΔC^* เป็นบวกจะแสดงถึงความเข้มสีของตัวอย่างที่มีความเข้มสีมากกว่าในตัวอย่างควบคุมในเฉดสีเดียวกัน ในขณะที่ค่า ΔC^* เป็นลบจะแสดงถึงความเข้มสีของตัวอย่างที่มีความเข้มสีน้อยกว่าในตัวอย่างควบคุมในเฉดสีเดียวกัน และค่า ΔL^* เมื่อมีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงตัวอย่างที่มีค่าความสว่างมากกว่าในตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ค่า ΔL^* เมื่อมีค่าเป็นลบจะแสดงถึงตัวอย่างที่มีค่าความสว่างน้อยกว่าในตัวอย่างควบคุมดังสมการ

$$\Delta L^* = L^* - L_0^*$$

เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่างของตัวอย่าง

L_0^* คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุม

ผลการวิจัย

1. การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า

P* น้อยกว่า 1 ต่อการยับยั้ง *S. aureus*

การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต่อการยับยั้ง *S. aureus* นั้น เป็นการศึกษาปัจจัยในเรื่องของอุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่สภาวะ P* น้อยกว่า 1 (คือที่ 0.6, 0.4, 0.3 และ 0.2) ด้วยเพื่อประเมินความใช้ได้ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอุณหภูมิ และเวลาของตัวอย่างในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (Ibarrola et al., 2002) ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะ P* เท่ากับ 1 จะไม่พบจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต จึงทำให้ไม่สามารถประเมินความใช้ได้ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต่อการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์

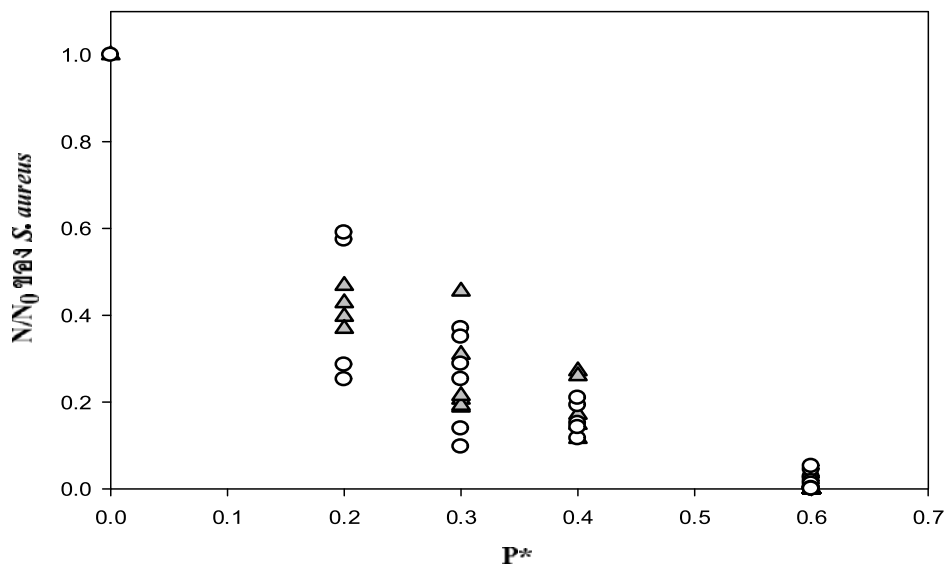
ที่ค่า P* น้อยกว่า 1 ด้วย ซึ่งอุณหภูมิและเวลาของ กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P* น้อยกว่า 1 เหล่านี้ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในการทดลองที่ค่า P* น้อยกว่า 1

| P* | เวลา (วินาที) | อุณหภูมิ (°C) |
|-----|---------------|---------------|
| 0.6 | 15.41±0.15 | 73.10±0.02 |
| 0.6 | 13.89±0.29 | 73.34±0.02 |
| 0.6 | 11.01±0.44 | 74.22±0.01 |
| 0.6 | 10.09±0.16 | 74.42±0.03 |
| 0.6 | 8.71±0.11 | 75.03±0.03 |
| 0.6 | 7.33±0.06 | 75.60±0.02 |
| 0.6 | 4.60±0.04 | 77.22±0.02 |
| 0.6 | 4.55±0.06 | 77.34±0.04 |
| 0.6 | 3.81±0.02 | 77.82±0.02 |
| 0.6 | 3.44±0.07 | 78.22±0.02 |
| 0.6 | 2.47±0.01 | 79.39±0.03 |
| 0.4 | 15.41±0.15 | 71.64±0.01 |
| 0.4 | 13.89±0.29 | 71.94±0.02 |
| 0.4 | 11.01±0.44 | 72.83±0.01 |
| 0.3 | 15.41±0.15 | 70.65±0.02 |
| 0.3 | 13.89±0.29 | 70.92±0.01 |
| 0.3 | 10.09±0.16 | 72.05±0.02 |
| 0.3 | 8.71±0.11 | 72.60±0.03 |
| 0.3 | 4.60±0.04 | 74.80±0.01 |
| 0.3 | 3.44±0.07 | 75.78±0.02 |
| 0.2 | 15.41±0.15 | 69.23±0.01 |
| 0.2 | 13.89±0.29 | 69.52±0.01 |
| 0.2 | 3.35±0.08 | 74.50±0.03 |
| 0.2 | 2.84±0.02 | 75.08±0.03 |

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* กับค่า P* ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ 0.6, 0.4, 0.3 และ 0.2 เมื่อทำการศึกษาที่อุณหภูมิ ต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่กำหนดค่า P* สูงจะสามารถ ลดจำนวนเชื้อ *S. aureus* ได้มากกว่า ไม่ว่าจะเป็นผลที่ คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลที่ได้ จากการทดลอง เนื่องจาก P* เป็นพารามิเตอร์สำหรับ บ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นม โดย กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่มีค่า P* เท่ากับ 1 จะแสดงถึง

กระบวนการที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 15 วินาที ดังนั้นเมื่อ P* ของ กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ยังมีค่าสูง ประสิทธิภาพใน การยับยั้งจุลินทรีย์ก็จะมีค่าสูงขึ้นไปด้วย นอกจากนี้ในภาพที่ 4 ยังแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนการ รอดชีวิตของ *S. aureus* ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ และจากการทดลองมีการเปลี่ยนแปลง ที่สอดคล้องกันในทุกๆ P*



ภาพที่ 4 อัตราส่วนการรอดชีวิตของ *S.aureus* ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (O) และที่ได้จากการทดลอง (Δ)

2. การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* เท่ากับ 1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินบี 1 ที่เป็นองค์ประกอบในนม

ผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* เท่ากับ 1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินบี 1 ที่เป็น

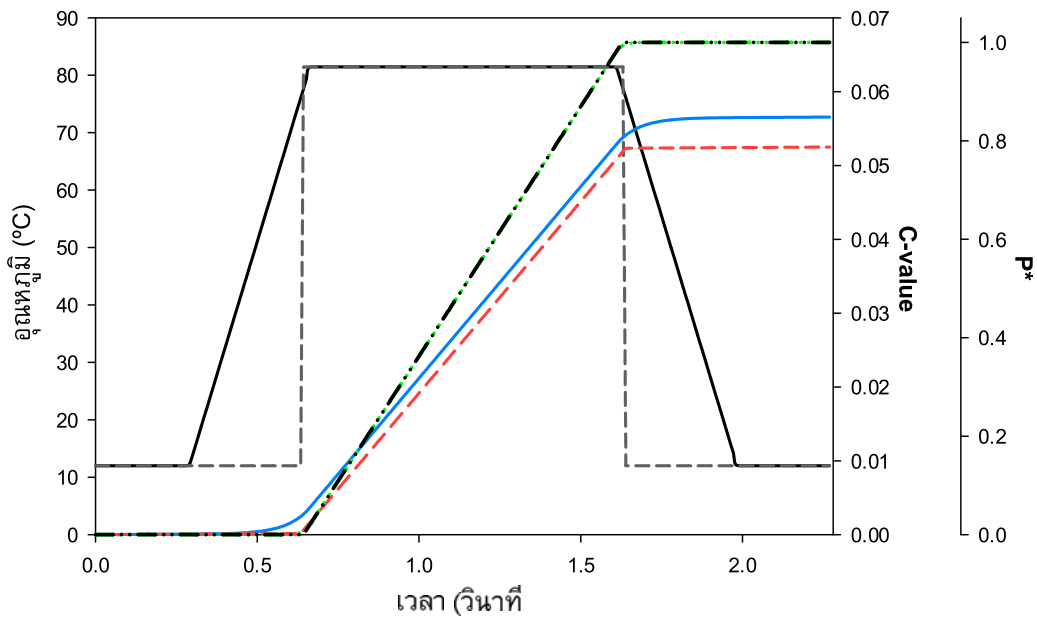
องค์ประกอบในนมจะใช้อุณหภูมิในการศึกษา คือ 77.93, 79.75, 80.43 และ 81.46°C ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในการทดลอง เมื่อกำหนดให้ P^* เท่ากับ 1

| เวลา (วินาที) | อุณหภูมิ (°C) |
|---------------|---------------|
| 6.40±0.04 | 77.93±0.03 |
| 3.74±0.02 | 79.75±0.02 |
| 3.10±0.07 | 80.43±0.03 |
| 2.32±0.04 | 81.46±0.08 |

การที่กำหนดให้ P^* เท่ากับ 1 นั้น เนื่องจากเป็นสภาวะในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้ 6 log cycles ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภค (Claeys et al., 2013) ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 จากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ คือ ค่า C-value ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนเช่นเดียวกับค่า P^* โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า P^* และ C-value ในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5

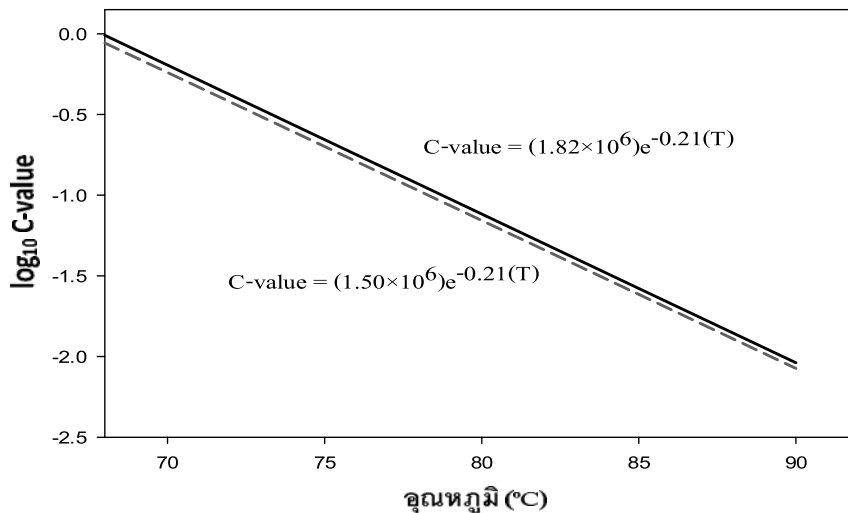
โดยจะเห็นว่าค่า P^* และ C-value มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าสูง และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ นอกจากนี้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า P^* ใกล้เคียงกับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติ เนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีช่องใส่ตัวอย่างซึ่งมีขนาดเล็กมากจึงสามารถควบคุมการเพิ่มและลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้สามารถทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการได้



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่า P* และ C-value ที่ได้จากรูปแบบอุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในภาพที่ 6 จะแสดงผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า C-value ทั้งที่ได้จากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติ และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อุณหภูมิ 77.93, 79.75, 80.43 และ 81.46°C เมื่อกำหนดค่า P* เท่ากับ 1 พบว่า ค่า C-

value ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะยังมีค่าใกล้เคียงอุดมคติมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น C-value ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงแต่เวลานั้น จะมีค่าน้อยกว่า C-value ที่อุณหภูมิต่ำแต่เวลานาน ที่สภาวะ P* เท่ากัน

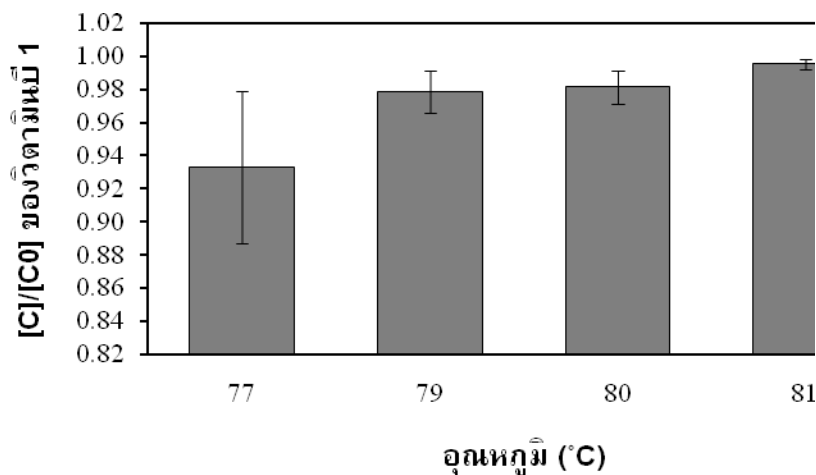


ภาพที่ 6 C-value ที่สภาวะต่างๆในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติ (---) และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (—) เมื่อกำหนดค่า P* เท่ากับ 1

จากภาพที่ 6 จะเห็นว่า C-value มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อตัวอย่างได้รับความร้อน และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ โดย ค่า C-value นี้จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณวิตามินบี 1 ที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างนม ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้าค่า C-value ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำ วิตามินบี 1 จะถูกทำลายน้อยลง ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์นมที่ยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Reuter H. (1980, 1982) ที่พบว่าในกระบวนการ UHT นมที่อุณหภูมิต่ำแต่เวลานานจะส่งผลให้ค่า C*-value ที่เป็นพารามิเตอร์แสดงการลดลงของวิตามินบี 1 ในกระบวนการสเตอริไลซ์มีค่ามากกว่าในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงแต่เวลาสั้น ดังนั้นนมที่ผ่านกระบวนการ UHT ที่มีค่า C*-value ต่ำจะมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่านมที่ผ่านกระบวนการ UHT ที่มีค่า C*-value สูง

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 1 ในตัวอย่างนมด้วยวิธี HPLC พบว่า วิตามินบี 1 จะถูกแยกได้ที่เวลา

4.5 นาที และการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์จะแสดงในรูปอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) ในตัวอย่าง และจากผลการทดลองในภาพที่ 7 ซึ่งแสดงอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) ในตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 77.93, 79.75, 80.43 และ 81.46°C ที่ค่า P* เท่ากับ 1 พบว่าอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) ในตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงจะสามารถรักษาปริมาณวิตามินบี 1 ไว้ได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kessler and Horak (1981) ที่พบว่ากระบวนการ UHT นมที่อุณหภูมิสูงแต่เวลาสั้นจะเกิดการสูญเสียปริมาณวิตามินบี 1 น้อยกว่ากระบวนการ UHT ที่อุณหภูมิต่ำแต่เวลานาน โดยที่ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



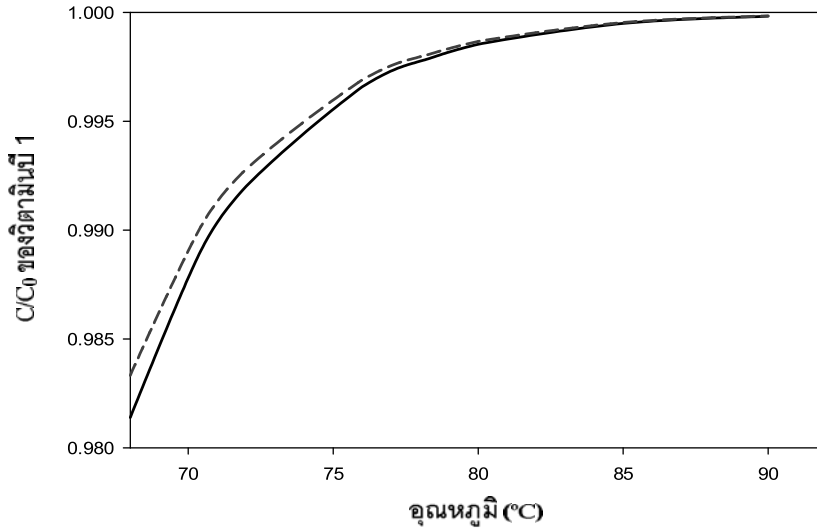
ภาพที่ 7 อัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างนมหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อกำหนดค่า P* เท่ากับ 1 โดย C คือ ปริมาณวิตามินบี 1 (มก./มล.) ในตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว และ C₀ คือ ปริมาณวิตามินบี 1 (มก./มล.) ในตัวอย่างเริ่มต้น ***** ใส่ error bar

เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของวิตามินบี 1 ในรูปของอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) ในตัวอย่างที่ค่า P* เท่ากับ 1 ทั้งจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติ และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะพบว่า การลดลงของวิตามินบี 1 ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ใช้อุณหภูมิสูงจะมีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 8) และในตารางที่ 3 ที่

แสดงอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ (C/C_0) ในตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และจากแบบอุดมคติ จะเห็นว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 จากทั้ง 3 แบบมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์สูงขึ้นปริมาณวิตามินบี 1 จะคงเหลือมากขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่

(C/C₀) ในตัวอย่างจากการทดลอง จะมีค่าน้อยกว่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วง 0.0027-0.065 อาจเนื่องมาจากค่าพารามิเตอร์ D-value และ z-value ของวิตามินบี 1 ที่นำมาใช้จาก Maroulis and Saravacos

(2003) อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของตัวอย่างนมที่ใช้แตกต่างจากตัวอย่างที่ศึกษาค่า D-value และ z-value จากเอกสารอ้างอิงจึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้



ภาพที่ 8 อัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างภายหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติ (---) และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (—) ที่สภาวะต่างๆ เมื่อกำหนดค่า P* เท่ากับ 1

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างภายหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในการทดลอง เปรียบเทียบกับกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อกำหนดค่า P* เท่ากับ 1

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (วินาที) | อัตราส่วนของปริมาณวิตามินบี 1 ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างภายหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (C/C ₀) | | |
|---------------|---------------|---|------------------------|--|
| | | แบบอุดมคติ | แบบจำลอง | ในการทดลอง |
| 77.93 | 6.40±0.04 | 99.79×10 ⁻² | 99.77×10 ⁻² | 93.32×10 ⁻² ±4.59 ^b |
| 79.75 | 3.74±0.02 | 99.86×10 ⁻² | 99.84×10 ⁻² | 97.86×10 ⁻² ±1.27 ^{ab} |
| 80.43 | 3.10±0.07 | 99.88×10 ⁻² | 99.86×10 ⁻² | 98.14×10 ⁻² ±1.02 ^a |
| 81.46 | 2.32±0.04 | 99.90×10 ⁻² | 99.89×10 ⁻² | 99.52×10 ⁻² ±0.33 ^a |

^{a,b,ab} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤ 0.05)

หมายเหตุ : กระบวนการพาสเจอร์ไรส์แบบอุดมคติคือ กระบวนการพาสเจอร์ไรส์โดยทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการอย่างทันทีทันใดและลดลงจากอุณหภูมิที่ฆ่าเชื้อลงสู่อุณหภูมิการเก็บรักษาอย่างทันทีทันใดเช่นกัน (Tijskens et al., 2000)

การศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของนม

การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างที่ได้รับความร้อนเป็นปัจจัยทางเคมีกายภาพที่สำคัญปัจจัยหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมาก สำหรับการศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์จากอุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการต่อการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างนม ดำเนินการภายใต้ค่า P^* เท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 75, 77, 79 และ 80°C การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างนมจะแสดงด้วยค่า ΔL^* , Δa^* , Δb^* และ ΔC^* ดังแสดงในตารางที่ 4 จากผลการทดลองพบว่า ΔL^* และ Δa^* ของตัวอย่างนมจะมีค่าลดลง ในขณะที่ Δb^* และ ΔC^* จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการ

เปลี่ยนแปลงค่าสี Δa^* และ Δb^* ของตัวอย่างนมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 4 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างนมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์จะมีค่า Δa^* ลดลง ในขณะที่มีค่า Δb^* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าตัวอย่างนมที่มีค่าสีแดงลดลง แต่มีค่าสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ความแตกต่างของ Δa^* และ Δb^* นี้จะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไม่มีความแตกต่างกันมากเพียงพอที่จะแสดงให้เห็นผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของสีได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างนมที่แสดงในภาพที่ 9 จะพบว่าอุณหภูมิต่ำที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้สีของตัวอย่างนมมีความสว่างมากขึ้น

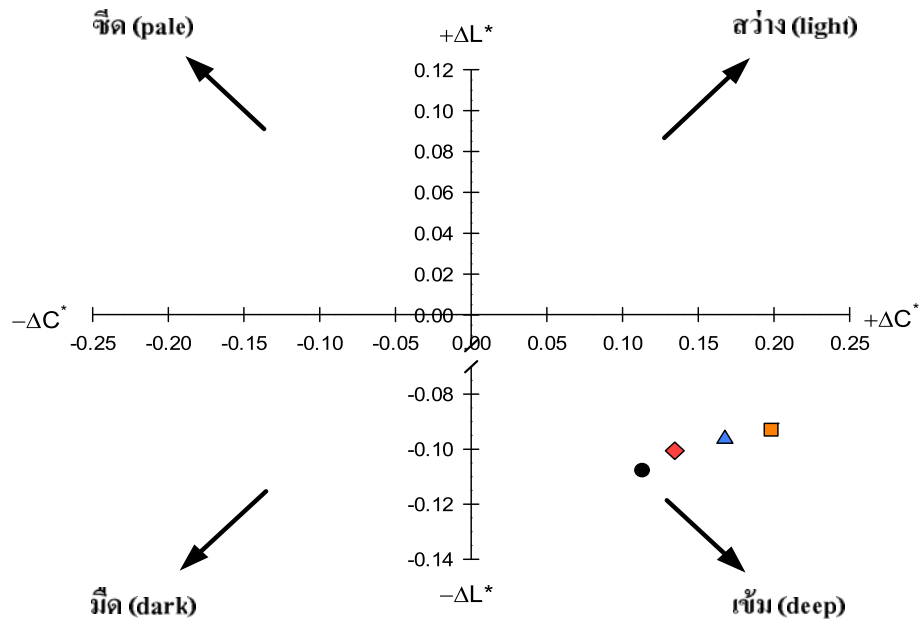
ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างนมหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 75, 77, 79 และ 80°C เมื่อกำหนดค่า P^* เท่ากับ 1

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (วินาที) | การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ^{ns} (ΔL^*) | การเปลี่ยนแปลงค่าสีเขียวและแดง ^{ns} (Δa^*) | การเปลี่ยนแปลงค่าสีน้ำเงินและเหลือง ^{ns} (Δb^*) | การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสี ^{ns} (ΔC^*) |
|---------------|---------------|---|---|--|---|
| 75 | 14.57±0.21 | -10.79×10 ⁻² ±0.05 | 3.52×10 ⁻² ±0.06 | 11.12×10 ⁻² ±0.06 | 11.34×10 ⁻² ±0.06 |
| 77 | 8.20±0.14 | -10.06×10 ⁻² ±0.04 | 1.94×10 ⁻² ±0.02 | 13.33×10 ⁻² ±0.09 | 13.45×10 ⁻² ±0.08 |
| 79 | 4.62±0.04 | -9.62×10 ⁻² ±0.03 | 1.62×10 ⁻² ±0.04 | 16.88×10 ⁻² ±0.06 | 16.76×10 ⁻² ±0.06 |
| 80 | 3.46±0.07 | -9.29×10 ⁻² ±0.03 ^{ns} | 0.83×10 ⁻² ±0.02 | 20.21×10 ⁻² ±0.05 | 19.82×10 ⁻² ±0.05 |

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีจากค่าความเข้มสี (ΔC^*) กับค่าความสว่างของสี (ΔL^*) ตามวิธีของ Almela et al. (1995) ดังภาพที่ 9 พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มที่จะมีค่า ΔC^* และ ΔL^* ต่ำซึ่งแสดงถึงสีของตัวอย่างในลักษณะที่มีสีเข้ม (deep) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์

ให้สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า ΔC^* และ ΔL^* มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงสีในลักษณะที่มีค่าความสว่าง (light) ในทิศทางที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำสูงแต่เวลานาน ตัวอย่างที่ได้จะมีสีสว่างมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำแต่เวลานาน



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าสี ΔC^* และ ΔL^* ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 75 (●), 77 (◆), 79 (▲) และ 80°C (■) เมื่อกำหนดค่า P^* เท่ากับ 1

สรุปและวิจารณ์ผล

พารามิเตอร์ P^* ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์และการควบคุมค่า P^* ให้คงที่นั้นสามารถทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และจากการศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ค่า P^* ที่แตกต่างกัน พบว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่มีค่า P^* สูงจะสามารถลดปริมาณเชื้อ *S. aureus* ลงได้มากกว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่มีค่า P^* ต่ำกว่า นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณวิตามินบี 1 และการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์นมที่ค่า P^* ของกระบวนการคงที่เท่ากับ 1 พบว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์

ที่อุณหภูมิสูง แต่เวลาสั้นจะมีผลทำให้ปริมาณของวิตามินบี 1 คงเหลืออยู่มากกว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำ แต่เวลานาน และผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูง แต่เวลาสั้นมีแนวโน้มที่จะมีสีสว่างกว่าผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำ แต่เวลานาน อย่างไรก็ตาม ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์นมจากการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จึงควรต้องทำการศึกษาอุณหภูมิของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ในช่วงที่มีความแตกต่างกันให้มากขึ้นจึงจะเห็นความแตกต่างของค่าสีของผลิตภัณฑ์นมได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Aguiar H. F., Yamashita A. S. and Gut J. A. W. (2012). Development of enzymic time-temperature integrators with rapid detection for evaluation of continuous HTST pasteurization processes. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1):110-116.
- Albalá-Hurtado S., Veciana-Nogués M. T., Izquierdo-Pulido M. and Mariné-Font A. (1997). Determination of water-soluble vitamins in infant milk by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 778(1-2):247-253.
- Aronsson K. and Rönner U. (2001). Influence of pH, water activity and temperature on the inactivation of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(2):105-112.
- Buzrul S. (2007). A suitable model of microbial survival curves for beer pasteurization. *LWT Food Science and Technology*, 40(8):1330-1336.
- Chapman K. W. and Boor K. J. (2001). Acceptance of 2% ultra-pasteurized milk by consumers, 6–11 years old. *Journal of Dairy Science*, 84:951–954.
- Chiewchan N., Phungamngoen C. and Siriwattanayothin S. (2006). Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk. *Journal of Food Engineering*, 73:38-44.
- Claeys W. L., Cardoen S., Daube G., De Block J., Dewettinck K., Dierick K., De Zutter L., Huyghebaert A., Imberechts H., Thiange P., Vandenas Y. and Herman L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food Control*, 31(1):251-262.
- Doyle M. P., Glass K. A., Beery J. T., Garcia G. A., Pollard D. J. and Schultz R. D. (1987). Survival of *Listeria monocytogenes* in milk during high-temperature, short-time pasteurization. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(3):1433-1438.
- Gandy A. L., Schilling M. W., Coggins P. C., White C. H., Yoon Y. and Kamadia V. V. (2008). The effect of pasteurization temperature on consumer acceptability, sensory characteristics, volatile compound composition, and shelf-life of fluid milk. *Journal of Dairy Science*, 91(5):1769-1777.
- Gao A., Mutharia L., Chen S., Rahn K. and Odumeru J. (2002). Effect of pasteurization on survival of *Mycobacterium paratuberculosis* in milk. *Journal of Dairy Science*, 85(12): 3198-3205.
- Grant I. R., Ball H. J. and Rowe M. T. (1999). Effect of higher pasteurization temperatures, and longer holding times at 72°C, on the inactivation of *Mycobacterium paratuberculosis* in milk. *Letters in Applied Microbiology*, 28(6):461-465.
- Holdsworth S. D. (1992). *Aseptic processing and packaging of food products*. Elsevier Applied Science, London.

- Holdsworth S. D. (1997). Thermal processing of packaged foods. Blackie Academic and Technical, London.
- Holdsworth D. and Simpon R. (2007). Thermal processing of packaged foods. 2nd ed. Springer Science+Business Media, LLC, New York, USA.
- Ibarrola J. J., Sandoval J. M., García-Sanz M. and Pinzolas M. (2002). Predictive control of a high temperature–short time pasteurisation process. *Control Engineering Practice*, 10(7):713-725.
- Kessler H. G. and Horak P. (1981). Objective evaluation of UHT-milk-heating by of bacteriological and chemical effects. *Milchwissenschaft*, 36(3), 129-133.
- Maroulis Z. B. and Saravacos G. D. (2003). Food process design. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Martin O., Qin B. L., Chang F. J., Barbosa-Canovas G. V. and Swanson B. G. (1997). Inactivation of *Escherichia coli* in skim milk by high intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Process Engineering*, 20(4):317-336.
- Reuter H. (1980). Evaluation of thermal efficiency of UHT installations for milk. *Milchwissenschaft*, 35:536-540.
- Reuter H. (1982). UHT milk from the technological viewpoint. *Kieler Milchwissenschaft*, 34:347-361.
- Tijssens L., Hertog L. and Nicolai B. (2000). Food Process Modelling. CRC Press Woodhead Publishing Limited, New York. USA. 540 pp.
- Tomlins R. I. and Ordal Z. J. (1976). In Skinner F. A. and Hugo W. B. (Eds.), Inhibition and inactivation of vegetative microbes. Academic Press, London.
- Walking-Ribeiro M., Rodríguez-González O., Jayaram S. and Griffiths M. W. (2011). Microbial inactivation and shelf life comparison of 'cold' hurdle processing with pulsed electric fields and microfiltration, and conventional thermal pasteurization in skim milk. *International Journal of Food Microbiology*, 144(3):379-386.
- Yanes M., Durán L. and Costell E. (2002). Rheological and optical properties of commercial chocolate milk beverages. *Journal of Food Engineering*, 51(3):229-234.