หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 คำจำกัดความ, สูตรและขั้นตอนในการผลิตคัสตาร์ดชนิดอบ

คัสตาร์ดที่แท้จริงประกอบด้วย น้ำนม, ไข่, น้ำตาล, เกลือและสารให้กลิ่นรสต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ขึ้นกับกระบวนการผลิต คือ

1. คัสตาร์ดชนิดนุ่ม (Soft custard) ผลิตโดยนำส่วนผสมคัสตาร์ดมาให้ความร้อน พร้อมกับกวนส่วนผสมไปด้วย โดยอัตราการให้ความร้อนในช่วงที่คัสตาร์ดใกล้จะหนืดต้องต่ำ จะได้คัสตาร์ดที่มีลักษณะคล้ายครีม สามารถเทได้

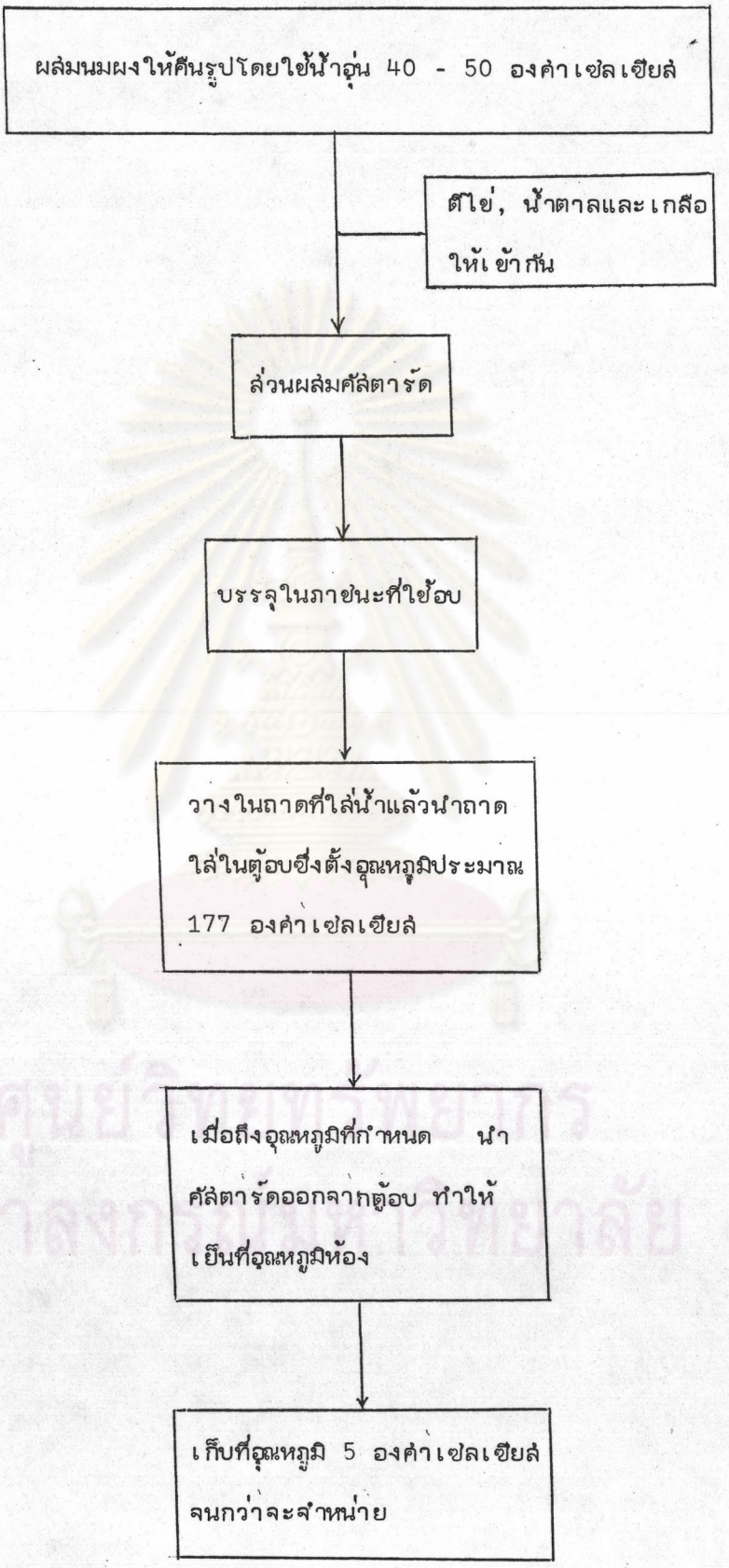
2. คัสตาร์ดชนิดอบ (Baked custard) ผลิตโดยการนำส่วนผสมของคัสตาร์ดมาให้ความร้อน โดยไม่มีการกวนส่วนผสมในขณะให้ความร้อน จะได้คัสตาร์ดที่มีลักษณะคล้ายเจล เนื้อสัมผัสแน่น (9)

ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ทำคัสตาร์ด เมื่อนำมารวมกัน เรียกว่า ส่วนผสมคัสตาร์ด โดยทั่วไปสูตรที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมคัสตาร์ดชนิดอบ ได้แก่ (9, 10, 11, 12, 15)

น้ำนม 77.0%
ไข่ไก่ 15.1%
น้ำตาล 7.9%
เกลือ 0.01%

โดยมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้ (12, 13, 14, 15)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนในการผลิตคัสตาร์ดชนิดอบ

2.2 อิทธิพลของส่วนประกอบที่มีผลต่อคุณภาพของคัสตาร์ดชนิดอบ

ส่วนประกอบแต่ละชนิดในส่วนผสมจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังนี้

น้ำนม น้ำนมที่ใช้ในการทดลองนี้มีหลายประเภท ได้แก่ น้ำนมคืนรูป, น้ำนมพาสเจอไรส์, น้ำนมยูเอชที, น้ำนมสเตอริไลส์, น้ำนมข้นจืด ส่วนใหญ่เป็นน้ำนมสดรสธรรมชาติที่ผ่านการไฮโมจีไนส์แล้ว น้ำนมเหล่านี้จะได้รับความร้อนต่าง ๆ กัน ในระหว่างขั้นตอนการผลิต ความร้อนจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของน้ำนม เช่น สี, กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ดังนั้นเมื่อนำน้ำนมไปผสมกับส่วนประกอบอื่นเพื่อทำคัสตาร์ดจะมีผลต่อสี, กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของคัสตาร์ด

ไข่ โดยทั่วไปไข่ที่ใช้ในการผลิตคัสตาร์ดควรเป็นไข่สด แต่เนื่องจากการขนส่งจากฟาร์มถึงผู้ขายกินเวลาหลายวัน ดังนั้นไข่ที่ขายตามท้องตลาดอาจไม่ใช่ไข่สด ความสดของไข่มีส่วนสัมพันธ์กับ pH ของไข่ เมื่อนำไปผสมกับส่วนประกอบอื่นเพื่อทำคัสตาร์ด จะมีผลต่อ pH ของส่วนผสมคัสตาร์ด จุดเริ่มต้นของการเกิดเจล, อุณหภูมิ-สุดท้ายในการอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

น้ำตาล น้ำตาลมีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ การใช้ปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมตั้งแต่ 7.9 - 15.8% จะไม่มีผลต่อความแน่นของเนื้อสัมผัสคัสตาร์ด แต่จะมีแนวโน้มที่จะทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์นุ่มขึ้น

เกลือ การเติมเกลือในปริมาณที่เหมาะสมในส่วนผสมคัสตาร์ดเป็นตัวช่วยส่งเสริมการเกิดเจลในคัสตาร์ด

2.2.1 น้ำนม

องค์ประกอบของน้ำนมในน้ำนมมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 86 - 88 และมีสารหลายชนิดซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน เช่น โปรตีนรวมทั้งเอนไซม์มีขนาดโมเลกุลใหญ่อยู่ในลักษณะแขวนลอย (colloid) ไขมันเป็นหยดเล็ก ๆ แต่ไม่ละลายน้ำอยู่ในน้ำนมในสภาพอิมัลชั่น ส่วนสารที่มีโมเลกุลเล็ก ได้แก่ แลคโทส, เกลือแร่ต่าง ๆ วิตามินบีหนึ่ง, วิตามินบีสอง, ไนอะซีนและวิตามินซีจะละลายอยู่ในน้ำ (16)

โปรตีน โปรตีนในน้ำนมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

ก. เคซีน (casein) เป็นโปรตีนส่วนที่แข็งตัวได้ด้วยกรดและเอนไซม์-เรนเนทแบ่งย่อยออกเป็น อัลฟาเคซีน, เบต้าเคซีน, แกมม่าเคซีน และแคปปาเคซีน เคซีนในน้ำนมอยู่ในรูปอนุภาคคอลลอยด์ มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) ซึ่งเป็นสารซับซ้อนประกอบด้วยไอออนโปรตีนและเกลือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมและฟอสฟอรัส เมื่อรวมกับไขมันไมเซลล์จะทำให้น้ำนมมีสีขาวอมเหลืองดังที่เห็น

ข. ส่วนที่เหลือภายหลังจากการเอาเคซีนออกไปจากน้ำนมแล้ว เรียกว่า เวย์โปรตีน (whey protein) หรือ ซีรัมโปรตีน (serum protein) ซึ่งประกอบด้วย เบต้า - แลคโตโกลบูลิน (β-Lactoglobulin), อัลฟา-แลคตัลบูมิน (α-Lactalbumin), เอนไซม์ (enzyme), โปรทีโอส-เปปโทน (proteose peptone) ดังรายละเอียดแสดงส่วนประกอบและการกระจายของโปรตีนในนมวัวในตารางที่ 2.1

ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเวย์โปรตีน ได้แก่ เบต้า-แลคโตโกลบูลินซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ตกตะกอนไปกับเคซีนเมื่อเติมกรดลงในน้ำนม แต่จะตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนที่มีมากรองลงมาได้แก่ อัลฟา-แลคตัลบูมิน เมื่อต้มน้ำนมขาดมันเนยที่ 95 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วปรับ pH เป็น 4.6 เวย์โปรตีนส่วนใหญ่จะตกตะกอนไปกับเคซีน คงมีแต่ส่วนที่เป็นโปรทีโอส-เปปโทนเหลืออยู่ในสารละลาย

ในน้ำนมมีเอนไซม์หลายชนิด ที่สำคัญคือ ไลเปส (lipase) ซึ่งเป็นตัวช่วยปล่อยกรดไขมันอิสระออกมา แล้วทำให้เกิดรสชาติต่าง ๆ ที่ไม่เป็นที่ต้องการในน้ำนมและเนยแท้ เอนไซม์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง คือ อัลคาไลน์ ฟอสฟาเทส (alkaline phosphatase) ซึ่งจะถูกทำลายได้ด้วยกระบวนการพาสเจอไรส์ ถ้าในน้ำนมที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วยังมีฟอสฟาเทสเหลืออยู่ ย่อมแสดงว่ากระบวนการพาสเจอไรส์ที่ทำนั้นไม่ถูกต้อง

ไขมัน ไขมันนมประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปแล้วไขมันนมจะมีกรดไขมันชนิดโซ่สั้นในอัตราส่วนค่อนข้างสูง เช่น กรดบิวทีริค (butyric acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีโซ่สั้นที่สุดและมีมากในน้ำนม ไขมันนมส่วนใหญ่จะอยู่เป็นเม็ดเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1- 5 ไมครอน เม็ดไขมันจะอยู่ตัวได้ด้วยชั้นของเยื่อบางซึ่งมีฟอสโฟไลปิดและโปรตีนประกอบอยู่

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและการกระจายของโปรตีนในนมวัว (17)

Protein	Approximate percent of skim milk protein	Molecular weight	Isoelectric point	Comments
Caseins				
α_{s_1} Casein	45 - 55	23,000	4.1	Contains 1% phosphorus; calcium sensitive; lacks cysteine
β-Casein	25 - 35	24,000	4.5	Contains 0.6% phosphorus; lacks cysteine
ɣ-Casein	3 - 7	30,000	5.9	-
K-Casein	8 - 15	20,000	4.1	Stabilizes α-casein; contains cysteine and carbohydrates; interacts with β-lactoglobulin upon heating
Whey proteins				
β-Lactoglobulin	7 - 12	36,000	5.2	Contains cysteine and cystine
α-Lactalbumin	2 - 5	14,400	5.1	High in tryptophan; contains cysteine
Blood albumin	0.7 - 1	70,000	4.7	From blood serum
Blood globulins	1 - 2	200,000	5.8	From blood serum
Proteose-Peptone	2 - 6	200,000	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

009553

<u>แลคโทส</u> เป็นคาร์โบไฮเดรทที่มีมากที่สุดในน้ำนม นอกจากนั้นจะมีน้ำตาลอื่นเพียงเล็กน้อย ได้แก่ กลูโคส กาแลคโทสและอื่น ๆ

แลคโทสมีความสามารถละลายได้ค่อนข้างต่ำ (21.6 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ที่ 25 องศาเซลเซียส) คุณสมบัติในการตกผลึกของมันมีความสำคัญในการทำผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม น้ำนมข้นหวาน และนมผงขาดมันเนย แลคโทสมีอยู่ 2 รูป คือ อัลฟา และ เบต้า อัลฟา-แลคโทสที่ตกผลึกจากสารละลายอยู่ในรูปโมโนไฮเดรท (แต่ละโมเลกุลของแลคโทสมีน้ำประกอบอยู่ 1 โมเลกุล) ผลึกนี้มีลักษณะแข็งละลายยาก ดังนั้นเมื่อรับประทานจึงมีความรู้สึกว่าเป็นเกล็ด ๆ ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า "เป็นทราย" ที่ใช้ชี้ข้อบกพร่องของเนื้อสัมผัสไอศกรีม หรือ น้ำนมข้นที่มีผลึกดังกล่าวอยู่ นอกจากนี้แลคโทสยังมีบทบาททำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์นมอีกด้วย

<u>เกลือแร่และอื่น ๆ</u> เกลือในน้ำนมส่วนใหญ่ประกอบด้วยพวกคลอไรด์ ฟอสเฟท ซิเตรท ซัลเฟท และไบคาร์บอเนทของโซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และมักนีเซียม เกลือเหล่านี้มีผลต่อสภาพและความอยู่ตัวของโปรตีนโดยเฉพาะของเคซีนธาตุทองแดงและเหล็กมีส่วนทำให้เกิดรสชาติผิดปกติในน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม

การที่น้ำนมมีโปรตีน ฟอสเฟท ซิเตรท และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้น้ำนมมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ได้ด้วย

ในน้ำนมมีวิตามินอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ละลายได้ในไขมัน และที่ละลายได้ในน้ำ แคโรทีนที่มีอยู่จะทำให้น้ำนมมีสีออกเหลืองเล็กน้อย ไรโบเฟลวินมีส่วนทำให้ส่วนของเวย์ของน้ำนมมีสีออกเหลืองเขียว วิตามินที่ละลายได้ในไขมันในน้ำนมส่วนใหญ่ยกเว้นวิตามินเค จะมีปริมาณมากน้อยขึ้นกับปริมาณวิตามินในอาหารที่วัวกินเป็นสำคัญ ส่วนวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ จะไม่ขึ้นกับอาหารที่วัวกิน

2.2.1.1 <u>ผลของความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม</u>

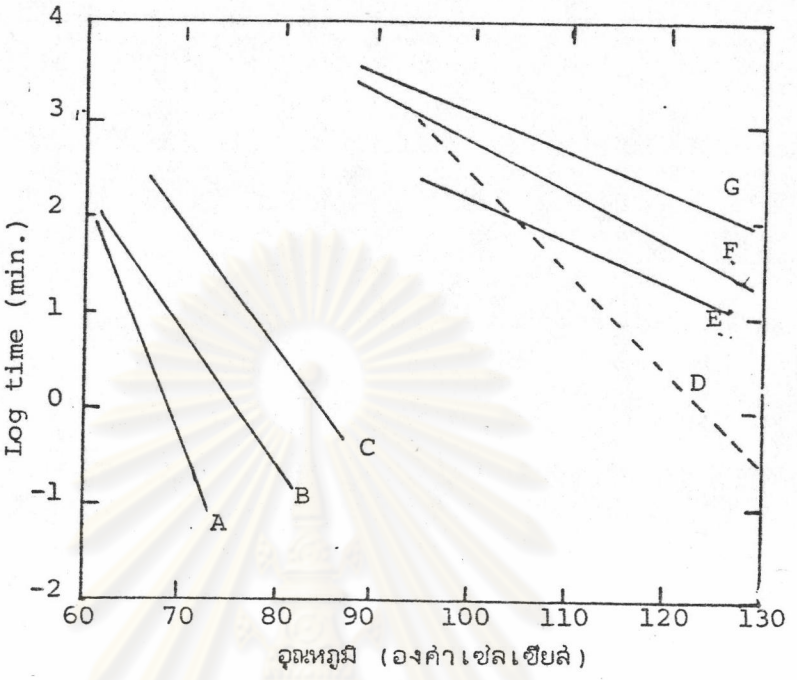
<u>ผลของความร้อนต่อเวย์โปรตีน</u> พวกเวย์โปรตีนซึ่งมีประมาณ 20% ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม จะละลายได้ที่จุดไอโซอิเลคตริคของเคซีน แต่เวย์โปรตีนจะถูกแปรสภาพจากธรรมชาติ (denature) เมื่อได้รับความร้อน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของโปรตีนที่ไม่แปรสภาพธรรมชาติในน้ำนมเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 30 นาที (17)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของโปรตีนที่ไม่แปรสภาพธรรมชาติในน้ำนม (มก./100 กรัมน้ำนม		
	เวย์โปรตีนทั้งหมด	เบต้า-แลคโตโกลบูลิน	อัลฟา-แลคตัลบูมิน
40	545	235	112
50	525	230	112
60	470	220	105
70	350	170	100
80	150	55	50
90	115	15	12
100	90	-	-

จากตารางข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำนมได้รับความร้อนสูงถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เบต้า-แลคโตโกลบูลิน และ อัลฟา-แลคตัลบูมิน จะถูกแปรสภาพหมด ส่วนซีรัมโปรตีนตัวอื่นยังคงมีอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำนมขาดมันเนย A- กระบวนการพาสเจอไรเซชั่น, B และ C เมื่อเวย์โปรตีนถูกแปรสภาพไป 5 และ 40% ตามลำดับ D- สเตอริไลเซชั่น; E- เกิดสารลีน้ำตาลในน้ำนม; F และ G- การแข็งตัวด้วยความร้อน (coagulation) ของน้ำนมขาดมันเนยที่มีร้อยละของของแข็งที่ละลายน้ำได้ 18 และ 9 ตามลำดับ (16)

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า การให้ความร้อนในกระบวนการพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 63 °ซ. 30 นาที หรือ 71 °ซ. 15 วินาที จะไม่ทำให้เวย์โปรตีนแปรสภาพไป (16, 18)

ในการแปรสภาพธรรมชาติของเบต้า-แลคโตโกลบูลินในน้ำนมความเข้มข้นปกติ ความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 2 ตอน คือ (18)

1. เมื่อให้ความร้อนที่ 20 - 45 องศาเซลเซียส จะทำให้เบต้า-แลคโตโกลบูลินแตกตัวจากไดเมอร์ (dimer) น้ำหนักโมเลกุล 36,000 เป็นโมโนเมอร์ (monomer) น้ำหนักโมเลกุล 18,000

2. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 65 องศาเซลเซียส ทำให้เบต้า-แลคโตโกลบูลิน แตกตัวออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรฟอบิค ไดซัลไฟด์ (hydrophobic disulfide) บางตัวแตกตัวแล้วหลุดออกมา หมู่ซัลฟ์ไฮดริล (sulfhydryl group) จะจับตัวกับ particle ต่าง ๆ ในน้ำนมแล้วรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นและรวมตัวกับเคซีน โดยรวมแบบ calcium linked ionic bridge กับโมเลกุลต่าง ๆ แล้วตกตะกอนลงมา

ได้มีผู้ทำการศึกษา โดยการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แก่เบต้า-แลคโตโกลบูลิน พบว่าปริมาณของซัลฟ์ไฮดริลจะลดลงในขณะที่ปริมาณของไดซัลไฟด์ (disulfide) จะเพิ่มขึ้น แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

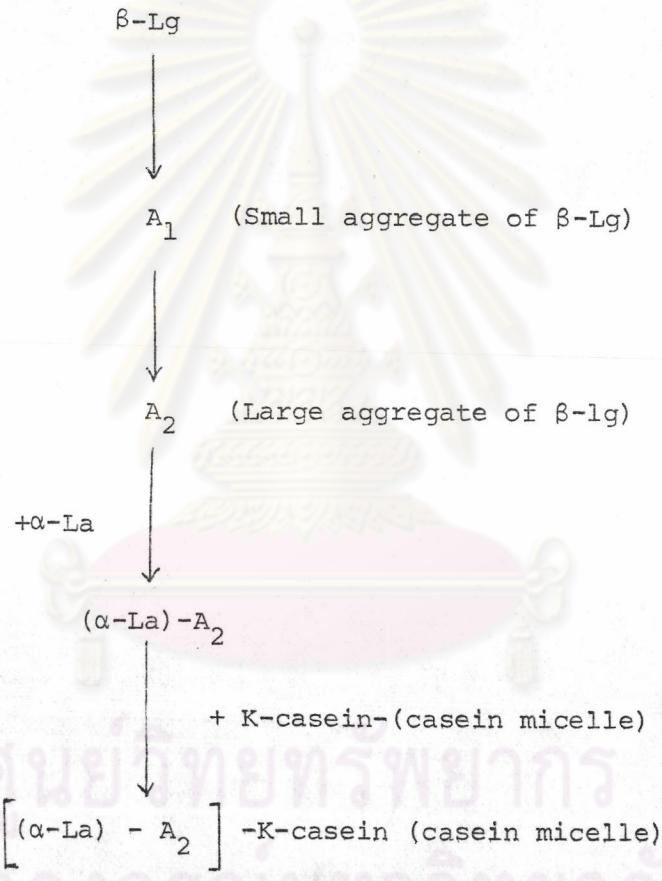
ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของเบต้า-แลคโตโกลบูลินในด้านปริมาณซัลฟ์ไฮดริล และไดซัลไฟด์ เนื่องจากความร้อน (18)

การให้ความร้อน เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่างกัน (°ซ.)	ซีสเตอีน (cysteine) (%)	ซัลฟ์ไฮดริลอิสระ (mmole/liter)	ไดซัลไฟด์ (mmole/liter)
raw milk	0.807	0.365	0.455
65	0.774	0.350	0.470
75	0.707	0.320	0.480
85	0.597	0.270	0.500
95	0.531	0.240	0.530

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณของซัลฟ์ไฮดริลอิสระลดลงเรื่อย ๆ แต่ปริมาณของไดซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้น (18) เนื่องจากเบต้า-แลคโตโกลบูลิน 1 โมเลกุล ซึ่งประกอบด้วยซัลฟ์ไฮดริล 2 โมเลกุล และแคปปา-เคซีน ซึ่งประกอบด้วยไดซัลไฟด์ 1.4 โมเลกุลและซัลฟ์ไฮดริล 1 โมเลกุล ทั้งหมดจะเกิดการแลกเปลี่ยนซัลฟ์ไฮดริลกันขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ใหม่และเกิด reactive group

ซึ่งไวต่อปฏิกิริยา ตัวที่แตกตัวจากโมเลกุลเป็นตัวสุดท้ายคือ thiol-disulfide จะเปลี่ยนรูปการจับตัวกันใหม่ ทำให้เกิดคอมเพล็กซ์ของเบต้า-แลคโตโกลบูลินและแคปปา-เคซีน ซึ่งจะทำให้น้ำนมมีเสถียรภาพมากขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มอีก (18, 19, 20, 21)

รายงานปัจจุบันพบว่า อัลฟา-แลคตัลบูมิน (α-La) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดคอมเพล็กซ์ของเบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β-Lg) และแคปปา-เคซีน (K-casein) ด้วย ดังรูปที่ 2.3



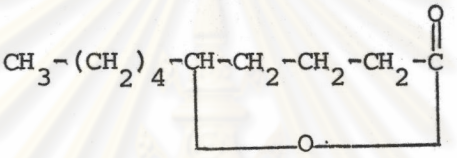
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเวย์โปรตีนและเคซีน (22)

นอกจากนี้การให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียสแก่น้ำนมสด จะทำให้เกิด cooked flavor เนื่องจากเบต้า-แลคโตโกลบูลินมี volatile sulfer-bearing compound อยู่มาก ซึ่งเป็นสารประกอบที่เริ่มต้นจากเมไธโอนิน (methionine)

ซีล่เตอีน (cysteine) และซีล่ตีน (cystine) ความร้อนจะเปลี่ยนกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) และเมธิลซัลไฟด์ (methyl sulfide) (18) ดังล่มการ (16)

$$HOOC\text{-}CH\text{-}NH_2\text{-}CH_2\text{-}SH + H_2O \longrightarrow HOOC\text{-}CH\text{-}NH_2\text{-}CH_2\text{-}OH + H_2S$$

<u>ผลของความร้อนต่อไขมัน</u> พบว่าถ้าให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ 85 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 30 นาที หรือ 90 - 95 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 5 - 10 นาที จะเกิดกลิ่นรสคล้ายมะพร้าว ซึ่งคือสารประกอบ δ-decalactone มีสูตรเคมีดังนี้



ซึ่งปกติไขมันนมและไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ จะเป็นแหล่งกำเนิดของสาร lactone นี้ (22)

<u>ผลของความร้อนต่อน้ำตาลแลคโทส</u> น้ำนมที่ได้รับความร้อนจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลแลคโทสจะเกิดการแตกตัวเป็นกรดต่าง ๆ เช่น กรดฟอร์มิค (formic acid) โดยเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ 116 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง น้ำตาลแลคโทสจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิค 57% หรือ 75% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบกรดแลคติค (lactic acid), กรดบิวทีริค (butyric acid), กรดโพรพีโอนิค (propionic acid), กรดอะซีติค (acetic acid) และกรดไพรูวิค (pyruvic acid) ความเป็นกรดในน้ำนมเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดสารลีน้ำตาลในน้ำนมสเตอริไลส์และน้ำนมข้นจืดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สารลีน้ำตาลที่พบมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเรียกมีลานอยด์ดิน (melanoidin) โดยมีหลักฐานสนับสนุนมากมายว่าเป็นปฏิกริยา เมลลาร์ด (maillard reation) ซึ่งเป็นการรวมตัวของน้ำตาล แลคโทสกับโปรตีนน้ำนมในสภาวะเป็นกรดมากกว่าเป็นปฏิกริยาคาราเมอไลเซชั่น (caramelization reaction) ของน้ำตาลแลคโทส Ramsey และคณะ กล่าวว่า น้ำนมที่ได้รับความร้อนต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส และมี pH ปกติ จะไม่พบสารลีน้ำตาลในน้ำนม (18)

ผลของความร้อนต่อระบบเกลือ ความร้อนจะช่วยเร่งการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำนม ซึ่งเป็นปฏิกริยาไม่ผันกลับ มีผลทำให้ pH ของน้ำนมสูงขึ้น หรือทำให้ความเป็นกรดลดลง ในทางกลับกันเมื่อความร้อนสูงขึ้นแคลเซียมฟอสเฟาในน้ำนมจะละลายได้น้อยลง ไฮโดรเจนไอออนจะถูกปล่อยออกมาดังปฏิกริยา

$$3Ca^{++} + 2HPO_4^{=} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 \downarrow + 2H^+$$

จึงมีผลทำให้น้ำนมมีความเป็นกรดสูงขึ้น เมื่อรวมผลทั้งสองเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้น้ำนมมี pH ต่ำลงเล็กน้อย (16)

น้ำนมที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ น้ำนมคืนรูป, น้ำนมพาสเจอไรส์, น้ำนม ยู เอช ที, น้ำนมสเตอริไลส์, น้ำนมข้นจืด ซึ่งมีจำหน่ายตามท้องตลาด น้ำนมแต่ละประเภทนี้มีประวัติการได้รับความร้อนมาแตกต่างกัน ความร้อนจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของน้ำนมดังนี้

น้ำนมคืนรูป ในที่นี้เป็นน้ำนมที่ได้จากการใช้ full cream milk powder ประเภท medium heat มาละลายน้ำให้ได้ร้อยละของของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็น 11 - 12 นมผงชนิดนี้มีค่า undenature whey protein nitrogen อยู่ระหว่าง 1.5 - 6 มิลลิกรัมต่อกรัมของนมผง (23)

น้ำนมพาสเจอไรส์ เป็นน้ำนมที่ผ่านกรรมวิธีทำลายเชื้อโรคโดยใช้ความร้อน 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที (24) ความร้อนระดับนี้จะไม่มีผลต่อการแปรสภาพธรรมชาติของเวย์โปรตีน แต่จะมีผลต่อการสูญเสียวิตามินต่าง ๆ เช่น thiamine, vitamin C (25) คุณสมบัติของน้ำนม เช่น กลิ่นรสและสีนั้นคล้ายคลึงน้ำนมสดมากที่สุด (16)

น้ำนม ยู เอช ที จากคำจำกัดความของ The International Dairy Federation ในปี ค.ศ. 1970 นม ยู เอช ที หรือมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า long-life milk นั้นเป็นนมที่ผ่านกระบวนให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง ที่ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 5 วินาที หลังจากนั้นจะต้องบรรจุลงในภาชนะแบบที่ป้องกันจุลินทรีย์ไม่ให้ลงไปในนมได้อีก เช่น กล่องกระดาษลี่เหลี่ยมที่เคลือบด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ น้ำนมยู เอช ที ที่ใช้ในการ

ทดลองนี้ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 141 องศาเซลเซียส 4 วินาที ดังนั้น เวย์โปรตีนแปรสภาพไป 82.9% (26) สำหรับไขมันพบว่ามีการสูญเสียของ polyunsaturated fatty acids เช่น linoleic acid จะสูญเสียไป 37%, linolenic acid 21 % และ arachidonic acid จะหายไป 35% ของปริมาณที่มีอยู่ก่อนสเตอริไลส์แบบ ยู เอช ที (25) สำหรับน้ำตาลและเกลือแร่ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณวิตามินต่าง ๆ ก็เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การสูญเสียสารอาหารในน้ำนมระหว่างการผลิตน้ำนมพาสเจอไรส์, น้ำนมสเตอริไลส์แบบ ยู เอช ที และน้ำนมสเตอริไลส์พร้อมภาชนะบรรจุ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) (25)

องค์ประกอบของน้ำนม	Pasteurized		Sterilized	
	HTST	Holder	UHT	In-bottle
โปรตีน	0	0	เวย์โปรตีนแปรสภาพธรรมชาติสูญเสียไขมันประเภทไม่อิ่มตัว	
ไขมัน	0	0		
น้ำตาล	0	0	0	สูญเสียคุณค่าทางอาหารเล็กน้อย
เกลือแร่	0	0	0	0
Vitamin B_6	0	0	0	0
Thiamine	10	10	10	35
Vitamin C	10	20	10	50
Folic Acid	0	0	10	50
Vitamin B_{12}	0	10	20	90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำนมสเตอริไลส์ น้ำนมผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที แบบ batch sterilization (27) ความร้อนระดับนี้อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ดังในตารางที่ 2.4

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านสี, กลิ่นรสของน้ำนมสเตอริไลส์แบบ ยู เอช ที และสเตอริไลส์พร้อมภาชนะบรรจุ พบว่ามีความแตกต่างกัน ดังในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำนมสเตอริไลส์แบบ ยู เอช ที และสเตอริไลส์พร้อมภาชนะบรรจุ (25)

คุณสมบัติ	น้ำนมสเตอริไลส์	
	แบบยู เอช ที	พร้อมภาชนะบรรจุ
สี	สีขาวกว่า	สีออกครีม
กลิ่นรส	มีกลิ่น cooked หรือ carame-lized น้อยกว่าน้ำนมสเตอริไลส์พร้อมภาชนะบรรจุ น้ำนม ยู เอช ที ที่ผลิตใหม่ ๆ ความแรงของกลิ่น sulfhydryl จะกลบกลิ่น caramelized	มีกลิ่น cooked หรือ carame lized มากกว่า

น้ำนมข้นจืด เป็น recombined milk ที่ทำมาจากนมผงขาดมันเนยชนิด high heat กับ AMF น้ำนมชนิดนี้ประกอบด้วย solid not fat 17.7% และ fat 7.8% ผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง ความร้อนที่ใช้ในการสเตอริไลส์ประมาณ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที คุณสมบัติของน้ำนมจืดคล้ายคลึงกับน้ำนมสเตอริไลส์ แต่มีความหนืดมากกว่า เนื่องจากมี total solid และ fat มากกว่าน้ำนมสเตอริไลส์ นอกจากนี้ยังมีการเติม stablilizer เพื่อช่วย stabilize โปรตีนในน้ำนม

2.2.1.2 ผลของการให้ความร้อนแก่น้ำนมก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหารนม

การให้ความร้อนแก่น้ำนมก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหารนมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญมาก เช่น ในผลิตภัณฑ์ประเภทโยเกิต, เนยแข็ง, น้ำนมข้นจืด และคัสตาร์ด กล่าวคือ น้ำนมที่ใช้ในอุตสาหกรรมโยเกิตต้อง pre-heat ที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือ 90 - 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 - 10 นาที เนื่องจากความร้อนนี้จะทำให้เกิด คอมเพล็กซ์ของเบต้า-แลคโตโกลบูลินและแคปปา-เคซีน ซึ่งเป็นผลให้ลดปรากฏการณ์ syneresis และเพิ่มความแน่นแก่เจลโยเกิต (28) เหตุผลที่สนับสนุนอย่างชัดเจนได้แก่ การศึกษาทาง ultrastructure ของ Davies พบว่าจะเกิด filamentous appendage ซึ่งประกอบด้วย denatured β-Lg เกาะอยู่ข้าง ๆ แคปปา-เคซีน ซึ่งสามารถป้องกันการรวมตัวของโปรตีน ทำให้เจลแน่นขึ้น

ในการทำเนยแข็ง ถ้าน้ำนมได้รับความร้อนก่อน เช่น ต้มน้ำนมที่ 65 - 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ rennin clotting time นานขึ้น เนื่องจากการเกิดคอมเพล็กซ์ของเบต้า-แลคโตโกลบูลินและแคปปา-เคซีน ทำให้โมเลกุลของโปรตีนใหญ่ขึ้น ดังนั้นเรนนินเข้าไปแยกพันธะเปปไทด์ (peptide) ที่ตำแหน่ง 105 - 106 (ฟีนิลอลานินและเมไธโอนิน) ของเคซีนเพื่อปลดปล่อยไกลโคมาโครเปปไทด์ออกจากเคซีนได้ช้าลง (16, 18, 29)

ในการทำน้ำนมระเหยนั้นจะต้องมีการอุ่นน้ำนมใช้อุณหภูมิ 95 °ซ. เป็นเวลา 10 - 20 นาที เพื่อให้น้ำนมมีความอยู่ตัว (เนื่องจากเกิดคอมเพล็กซ์ที่มีเสถียรภาพ) ตามด้วยการทำให้ข้นโดยส่งน้ำนมเข้า evaporator (18) แล้วจึงผ่านการสเตอริไลส์ด้วยความร้อน จุดมุ่งหมายในการทำสเตอริไลส์น้ำนมเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ของมัน จึงต้องใช้ความร้อนสูงประมาณ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หรือ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หรือ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วินาที

สำหรับในคัสตาร์ด พบว่าการให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ 85 องศาเซลเซียส ก่อนเติมลงในส่วนผสม จะช่วยให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น มีแนวโน้มจะลดปรากฏการณ์การแยกน้ำและใช้เวลาในการอบสั้นลง (11) ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำคัสตาร์ดจากน้ำนมต่าง

ประเภท โดยให้ความร้อนเพิ่มแก่น้ำนมต่างประเภทที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับคัสตาร์ดที่ทำมาจากน้ำนมที่ไม่ได้ให้ความร้อนเพิ่ม เพื่อหาประเภทของน้ำนม และการให้ความร้อนแก่น้ำนมที่เหมาะสม

2.2.1.3 ผลของการโฮโมจีไนส์น้ำนม

ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ homogenized milk และ non-homogenized milk ซึ่งจะมีผลต่อเวลาในการผลิตและต่อคุณภาพคัสตาร์ดชนิดนุ่ม ดังตารางที่ 2.6

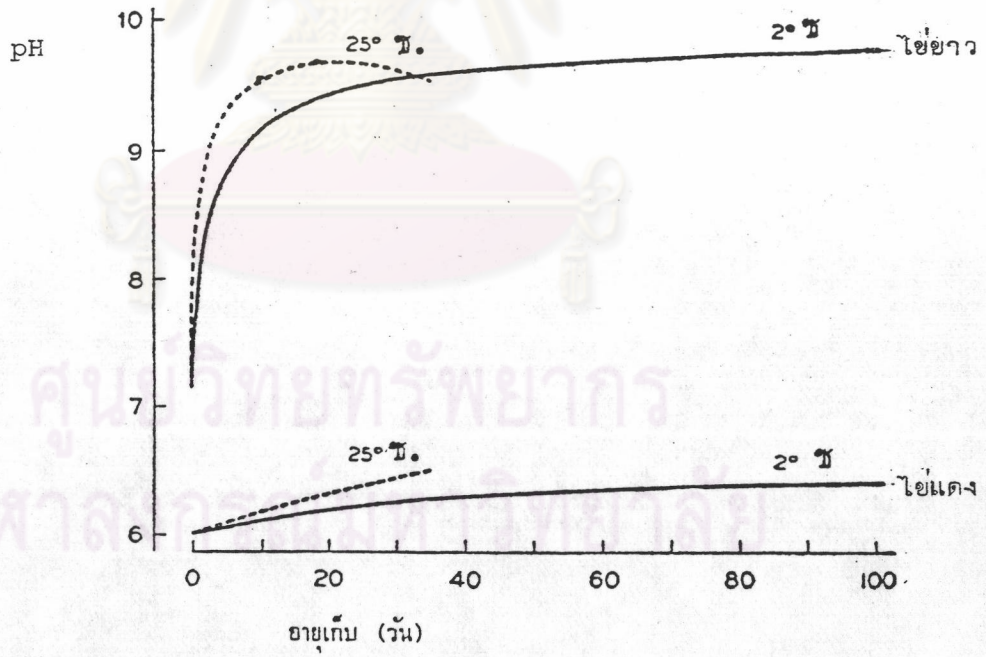
ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบผลของ homogenized milk และ non-homogenized milk ในการทำคัสตาร์ดชนิดนุ่ม (30)

ผลิตภัณฑ์	Milk	
	Homogenized milk	Non-homogenized milk
คัสตาร์ดชนิดนุ่ม	- ใช้เวลาในการให้ความร้อนนานกว่า - มีความหวานน้อยกว่า - มีความข้นมากกว่า - เกิดปรากฏการณ์ syneresis น้อยกว่า	- ใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นกว่า - มีความหวานมากกว่า - มีความข้นน้อยกว่า - เกิดปรากฏการณ์ syneresis มากกว่า

จากตารางจะเห็นได้ว่า น้ำนมที่ผ่านการโฮโมจีไนส์เมื่อนำมาทำคัสตาร์ดจะใช้เวลาในการอบนานกว่า แต่ให้คุณภาพคัสตาร์ดที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมปกติ เหตุผลเนื่องจากการโฮโมจีไนส์น้ำนมจะทำให้ไขมันกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในน้ำนม ไขมันโดยทั่วไปเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี จึงใช้เวลาในการอบนานกว่า นอกจากนี้การกระจายตัวที่สม่ำเสมอของไขมันนี้ เป็นผลให้คัสตาร์ดมีความข้นมากกว่าและเกิดปรากฏการณ์การแยกน้ำน้อยกว่า (30) ดังนั้นน้ำนมควรผ่านการโฮโมจีไนส์ก่อนนำไปทำคัสตาร์ด

2.2.2 ไข่

ไข่ที่ใช้ในการทำศัลยกรรมโดยปกติต้องเป็นไข่สดปราศจากเชื้อ ไม่มี blood spot เมื่อไข่ออกจากตัวไก่และมีอายุมากขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นต่าง ๆ เช่น ขนาดของโพรงอากาศที่ด้านป้านใหญ่ขึ้น เนื่องจากน้ำในไข่ขาวเคลื่อนเข้าไปในไข่แดงด้วยแรงดันออสโมซิส (osmosis pressure) ดังนั้นไข่แดงจะไม่อยู่ตรงกลางฟอง ความหนืดจะลดลง ความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (31) เนื่องจากการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์จากไข่ ความเป็นด่างเป็นตัวละลายเส้นใยโอโวมิวซิน (ovomucin) ซึ่งเป็นโครงร่างที่อุ้มอัลบูมินไว้ภายใน ดังนั้นทำให้ไข่ขาวข้นเหลว (32) มีการกำหนดความสดของไข่ไว้เป็น Haugh Unit (HU.) ซึ่งเป็นหน่วยวัดคุณภาพของไข่ เพื่อใช้ในการจัดระดับชั้นของคุณภาพของไข่ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอัลบูมินและน้ำหนักของไข่ ถ้า HU. มีค่าสูงแสดงว่าไข่สด (33)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของไข่ขาวและไข่แดงที่เก็บที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน (31)

ได้มีผู้ทำการศึกษาใช้ไข่ลด (อายุ 1 - 2 วัน) ที่มีค่า HU. ต่างกัน และไข่เก่า (อายุ 4 - 29 วัน) นำมาทำการทดลองผลิตคัสตาร์ดชนิดนุ่มและชนิดอบ พบว่าไข่ลดจะให้คัสตาร์ดที่มีเนื้อสัมผัสดีกว่าไข่เก่า โดยดูจากตารางที่ 2.7 พบว่าไข่ลดจะมีค่า HU. สูงกว่าไข่เก่า และผู้ทดสอบยอมรับไข่ลดมากกว่าไข่เก่า (11)

ตารางที่ 2.7 ผลการตรวจสอบคุณภาพของไข่แล้วลงเป็น HU. และคุณภาพของคัสตาร์ดชนิดนุ่มโดยการจัดเรียงลำดับความชอบ, วัดความแน่นของเนื้อสัมผัส (11)

คุณภาพของไข่	Haugh Unit (HU.)	คะแนนการจัดเรียงลำดับความชอบ	ระยะทางที่เข็มแทรกเข้าเนื้อคัสตาร์ด (mm)
ไข่ลดที่มีค่า HU. สูง	88.9	3.2	227.3
ไข่ลดที่มีค่า HU. ปานกลาง	81.3	3.0	232.6
ไข่ลดที่มีค่า HU. ต่ำ	72.5	2.1	232.8
ไข่เก่า	57.5	1.8	233.1

หมายเหตุ 4 = ชอบมาก, 3 = ชอบปานกลาง, 2 = ชอบเล็กน้อย, 1 = เฉย ๆ

นอกจากนี้ ยังพบว่าคุณภาพของไข่มีส่วนสัมพันธ์กับ pH ของส่วนผสมคัสตาร์ด pH ของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 ผลการตรวจสอบ pH ของไข่ขาว, pH ของส่วนผสมคัสตาร์ด และ pH ของผลิตภัณฑ์ (11)

คุณภาพของไข่	คัสตาร์ดชนิดอบ			คัสตาร์ดชนิดนุ่ม		
	ไข่ขาว	ส่วนผสมคัสตาร์ด	คัสตาร์ด	ไข่ขาว	ส่วนผสมคัสตาร์ด	คัสตาร์ด
ไข่สดที่มีค่า HU. สูง	8.37	6.50	6.54	8.32	6.50	6.60
ไข่สดที่มีค่า HU. ปานกลาง	8.38	6.51	6.55	8.38	6.49	6.59
ไข่สดที่มีค่า HU. ต่ำ	8.41	6.52	6.57	8.41	6.50	6.60
ไข่เก่า	8.98	6.56	6.58	8.88	6.57	6.62

จากตารางที่ 2.8 จะพบว่า pH ของไข่สดจะเป็นด่างน้อยกว่าไข่ที่มีอายุหลายวัน และ pH ของคัสตาร์ดเป็นด่างมากกว่าส่วนผสมคัสตาร์ดเล็กน้อย

ในการทำคัสตาร์ดนั้นโปรตีนที่แข็งตัวด้วยความร้อน ส่วนใหญ่จะมาจากไข่และส่วนน้อย ซึ่งมีเพียงประมาณ 0.75% จะมาจากน้ำนม (11) เมื่อไข่ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนจากลักษณะขาวใสเป็นขาวขุ่น ปัจจัยที่มีผลต่อการแข็งตัวของไข่ (coagulation) ได้แก่ อุณหภูมิ, ความเจือจาง, เกลือ, น้ำตาล, ความเป็นกรดด่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.9 นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 สรุปปัจจัยที่มีต่อการแข็งตัวของไข่ (33)

ปัจจัย	ผลของปัจจัย
1. อุณหภูมิ	1. ไข่ขาวเริ่มต้นแข็งตัวที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ไข่ขาวจะแข็งตัวจนไหลไม่ได้ 2. ไข่แดงเริ่มต้นแข็งตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะแข็งตัวจนไหลไม่ได้ 3. ถ้าให้อุณหภูมิต่อไปอีก ไข่ขาวจะแข็งตัวมากยิ่งขึ้น 4. อุณหภูมิที่โปรตีนแข็งตัวสำคัญมาก เพราะถ้าให้ความร้อนสูงเกินไปหรือใช้เวลานานเกินไป นอกจากจะทำให้โปรตีนแข็งตัวจนไม่น่ารับประทานแล้ว ยังทำให้ไม่น่าดูเพราะน้ำแยกตัวออกมา อาหารมีลักษณะเป็นรูพรุนมากขึ้น
2. การเจือจาง	- เมื่อทำให้โปรตีนเจือจางลง เช่นเติมน้ำลงไปในไข่เวลาทำไข่ตุ๋น จะทำให้โปรตีนแข็งตัวได้ช้าลง (อุณหภูมิที่แข็งตัวสูงขึ้น) การเติมน้ำนม 1 ถ้วยตวงลงไปในไข่ 1 ฟอง เช่นในการทำคัสตาร์ด จะทำให้ไข่แข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส
3. เกลือ	- ช่วยในการแข็งตัวเร็วขึ้นและง่ายขึ้น
4. น้ำตาล	- ปริมาณน้ำตาลในอาหารมีผลต่อการแข็งตัวของโปรตีน ถ้ามีน้ำตาลมากทำให้ไข่แข็งตัวได้ช้าลง เมื่อทดลองเติมน้ำตาล 90 กรัมลงไปในไข่ขาว 100 กรัม พบว่าไข่ขาวจะเริ่มแข็งตัวที่ 85.5 องศาเซลเซียส แทนที่จะเป็น 62 องศาเซลเซียส
5. กรด	- ทำให้โปรตีนแข็งตัวเร็วขึ้น
6. ด่าง	- ทำให้เกิด translucent gels at pH $>$ 11.9

ปัจจัยดังที่กล่าวข้างต้นนี้ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อโปรตีนเจลและความแน่นด้วย ได้มีผู้อธิบายถึงการเกิดโปรตีนเจลว่าประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนแรก การให้ความร้อนแก่โปรตีนโมเลกุลจะทำให้เกิด unfolded polypeptide

ขั้นตอนสอง polypeptide จะทำให้เกิด gel matrix โดย interaction ที่เกิดอาจจะเกี่ยวข้องกับพันธะไฮโดรเจน, ไดซัลไฟด์, ไฮโดรฟอบิค หรือ Combination ของพันธะเหล่านี้ (34, 35, 36)

Johnson และ Zabik (35) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของโปรตีนเจลของไข่ขาวในระบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนความเข้มข้น 1.27% ionic strength 0.275 และ pH 8 โดยการให้ความร้อนในอัตรา 0.74 องศาเซลเซียส ต่อนาทีแก่สารละลาย นำมาตรวจสอบคุณสมบัติในด้านความแน่นและเปอร์เซนต์ของน้ำที่แยกจากเจล และลักษณะโครงสร้างภายในของโปรตีนเจล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ซึ่งเป็นกล้องที่สามารถแยกรายละเอียดของสองอย่างที่อยู่ห่างกัน 5 - 6 นาโนมิเตอร์ ได้อย่างชัดเจน (37) พบว่าโปรตีนเจลที่มีความแน่นมากที่สุดจะมีโครงสร้างตาข่ายใกล้ชิดกันมาก ทำให้เปอร์เซนต์ของน้ำที่แยกจากเจลน้อยที่สุด

2.2.3 น้ำตาล

น้ำตาลมีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ในการทดลองของ Wang, Funk และ Zabik (1974) พบว่าเมื่อเปอร์เซนต์ของน้ำนมกับไข่คงที่ ความแน่นของคัสตาร์ดจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อคัสตาร์ดนั้นประกอบด้วยน้ำตาล 7.9% และ 15% แต่มีแนวโน้มเพิ่มความนุ่มของผิวนอกคัสตาร์ด (12)

2.2.4 เกลือ

เมื่อความเข้มข้นของเกลือในส่วนผสมคัสตาร์ดต่ำลง โดยการใช้น้ำแทนน้ำนม คัสตาร์ดจะมีความแน่นอยู่ตัวไม่ดี ถ้าความเข้มข้นของเกลือในส่วนผสมสูง คัสตาร์ดจะมีลักษณะขันแข็ง (curdling) (33)

2.3 อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนต่อคุณภาพคัสตาร์ดชนิดอบ

เมื่อส่วนผสมคัสตาร์ดได้รับความร้อน สิ่งแรกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจจะเป็นการแปรสภาพธรรมชาติของโปรตีนไข่ แล้วตามมาด้วยการรวมตัวหรือการจับตัวกัน ทำให้เกิดลักษณะคล้ายวุ้น อุณหภูมิที่จะจับตัวกันคล้ายวุ้นได้ดีที่สุดจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของส่วนประกอบ อัตราการให้ความร้อน คุณภาพของไข่ และ pH ของส่วนผสม ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดอุณหภูมิสุดท้ายที่ตายตัวลงไปได้ เนื่องจากปฏิกริยาการจับตัวคล้ายวุ้นนี้เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นพร้อมกับการดูดซึมนำความร้อนเข้าไปในตัว (endothermic) ดังนั้นถ้าอัตราการได้รับความร้อนค่อนข้างต่ำอุณหภูมิของคัสตาร์ดที่กำลังข้นขึ้นจะอยู่คงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง (initial gelation) ประมาณ 78 องศาเซลเซียส และจะสุกได้ที่เหมาะที่จะรับประทานที่อุณหภูมิ 80 - 84 องศาเซลเซียส ถ้ายังคงให้ความร้อนต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 85 - 87 องศาเซลเซียส คัสตาร์ดจะเกิดลักษณะขันแข็งและหน้าย่น

ถ้าอัตราการได้รับความร้อนค่อนข้างสูง โดยทำให้คัสตาร์ดสุกในเวลาน้อยกว่า 3 นาที คัสตาร์ดจะสุกได้ที่อุณหภูมิ 87 องศาเซลเซียส และจะเกิดลักษณะขันแข็งและหน้าย่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (11)

การใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำโดยการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำเดือด มีข้อดีมากกว่าการใช้อัตราการให้ความร้อนสูง เนื่องจากอุณหภูมิที่สุกพอดีและอุณหภูมิที่เกิดลักษณะขันแข็งห่างกันประมาณ 5 องศาเซลเซียส ทำให้ควบคุมลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าการอบโดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าน้ำเดือด (33)

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ควบคุมอัตราการให้ความร้อนให้คงที่โดยการตั้งอุณหภูมิของตู้อบให้คงที่ที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานอกจากน้ำนมประเภทต่าง ๆ

และการให้ความร้อนเพิ่มแก่น้ำนมเปรียบเทียบกับการไม่ให้ความร้อนเพิ่ม ยังมีตัวแปรอื่น ๆ ได้แก่ pH ส่วนผสม, ปริมาณน้ำตาลในส่วนผสม และอุณหภูมิสุดท้ายในการอบ ได้ผลิตศัลตารัดโดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ และใช้น้ำนมคืนรูป เนื่องจากเป็นน้ำนมที่เตรียมการได้ง่าย แล้วเปรียบเทียบคุณภาพของศัลตารัดจากตัวแปรเหล่านี้ เพื่อหาสภาวะและประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการผลิต

2.4 แนวโน้มการใช้น้ำถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหารนมบางอย่าง

น้ำนมถั่วเหลืองสามารถเตรียมจากแป้งถั่วเหลือง ทำโดยการใช้แป้งถั่วเหลือง 12% มาผสมกับน้ำ เติมไตรโซเดียมฟอสเฟตเพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.8 ผ่าน colloid mill, centrifuge จะได้น้ำนมถั่วเหลือง เติมเกลือ, ดีแอลเมไธโอนินและเติมน้ำมันพืช เพื่อปรับปริมาณไขมันในน้ำนมถั่วเหลืองให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำนมสด ต้มให้เดือด 1 - 2 นาที แล้วกรองด้วยผ้ายาวบางผ่านเครื่องไฮโมจีไนเซอร์ที่ความดัน 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บรรจุกระป๋องที่สะอาดและฆ่าเชื้อแล้ว ไล่อากาศด้วยไอน้ำ ผนึกฝาและฆ่าเชื้อที่ 116 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที ทำให้เย็น 10 นาที ในน้ำที่ถ่ายเทได้ สำหรับราคาต้นทุนของน้ำนมถั่วเหลืองจากแป้งถั่วเหลือง โดยคิดจากราคาวัตถุดิบ + ค่าพลังงาน + ค่าแรงงาน + ค่าลึกหรอของเครื่องจักร + ค่าภาชนะบรรจุ เท่ากับ 7.32 บาทต่อ 500 กรัม (6)

ลิขสิทธิ์ที่จดในประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี 1981 มีผู้ทำการศึกษาโดยนำน้ำนมถั่วเหลืองมาใช้แทนน้ำนมวัวในการผลิตผลิตภัณฑ์ศัลตารัดพุดดิ้ง ซึ่งเป็นพุดดิ้งชนิดหนึ่ง ทำโดยอบส่วนผสมที่ผสมด้วยข้าวหรือยนมปังด้วยไอน้ำ น้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้ผลิตโดยการใช้น้ำ 89 - 93 ส่วนสกัดแป้งถั่วเหลือง 7 - 11 ส่วน แล้วผสมกับสารอื่น ๆ ดังนี้คือ

คาราจีแนน (carageenan)	0.4 - 0.7%
โมโนกลีเซอร์ไรด์ (monoglyceride)	0.1 - 0.3%
โลกัสบีนกัม (logust bean gum)	0.1 - 0.3%
โซเดียมแอสคอร์เบท (sodium ascorbate)	0.05- 0.1%

ปรับ pH ให้ได้ช่วง 6.0 - 6.8

นำส่วนผสมนี้ใส่หม้อ 2 ชั้น (steam jacketed pan)

อุ่นแล้วกวนตลอดเวลา พออุณหภูมิน้ำนมถึง 35 - 40 องศาเซลเซียส ใส่ไข่ที่ตีไว้เรียบร้อยแล้ว 6%, น้ำตาล 14.5% กวนไปเรื่อย ๆ จนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 88 - 90 องศาเซลเซียส

แล้วหยุดให้ความร้อน เติมวนิลาและสารให้กลิ่นรสอื่น ๆ กวนต่อ 5 นาที กรองแล้วนำไปเข้าเครื่องบรรจุแบบอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เก็บในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แล้วนำไป freeze โดยใช้ blast freezing ผลิตภัณฑ์จะแข็งเต็มที่ในเวลา 40 นาที ที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส ศัลตาร์ดพุดดิ้งที่ได้ปราศจากกลิ่นถั่วและรสที่ไม่พึงประสงค์ของถั่วเหลือง เก็บได้นานโดยไม่เปลี่ยนคุณภาพ มีเสถียรภาพดีเมื่อทำให้ละลาย (38)

สำหรับในการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ ได้ใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยวิธีดังกล่าว(6) ข้างต้นทดแทนน้ำนมพาสเจอไรส์ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำนมสดมากที่สุดในการผลิตศัลตาร์ดชนิดอบด้วย เพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำนมถั่วเหลืองทดแทนน้ำนมวัวในปริมาณที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย