บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำนมแพะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าน้ำนมโค (Ceballos *et al.*, 2009) และเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด

2.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำนมแพะ

น้ำนมแพะดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 ต้องมีลักษณะอยู่ในสภาพปกติ สะอาด มีสีขาวหรือสีขาวนวล มีกลิ่นรส (Flavor) ตามธรรมชาติ ปราศจากสิ่งแปลกปลอม (Foreign matter) และการปลอมปน (Adulteration) เมื่อตรวจโดยวิธีทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol test) ดูปฏิกิริยาของน้ำนมแพะดิบกับเอทิลแอลกอฮอล์ ตะกอนต้องมีขนาดละเอียดหรือขนาดเล็กเท่านั้น มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ระหว่าง 6.5 ถึง 6.8 ปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย (Solids not fat) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.25 มีจุดเยือกแข็งไม่สูงกว่า -0.530 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ไม่ต่ำกว่า 1.028 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาการเปลี่ยนสีของเมทธีลีนบลูต้องมากกว่า 4 ชั่วโมง การเปลี่ยนสีของรีซาซูรินที่ 1 ชั่วโมงต้องไม่น้อยกว่า เกรด 4.5 (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ค)

น้ำนมแพะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษทางโภชนาการ เช่น มีกรดไขมันสายโซ่สั้นและเม็ดไขมันขนาดเล็ก สามารถย่อยสลายและดูดซึมได้ง่าย (Murry, 1999) มีปริมาณโปรตีนเบตาเคซีน (β-casein) สูงกว่าน้ำนมโค ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านภาวะความดันโลหิตสูง โรคเบาหวานชนิดที่ 1 และมีสมบัติในการเสริมสร้างภูมิต้านทานของร่างกาย (Lamothe *et al.*, 2007) มีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากกว่าน้ำนมโค (Ljutovac *et al.*, 2008) และมีโปรตีนชนิด อัลฟาเอสวัน-เคซีน (αs1-casein) น้อยกว่าน้ำนมโค ซึ่งโปรตีนชนิดนี้เป็นสาเหตุหนึ่งของการแพ้โปรตีนในเด็ก (Clark and Sherbon, 2000) โดยทั่วไปน้ำนมแพะจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมันและเถ้ามากกว่าน้ำนมโค การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมโคและน้ำนมแพะ แสดงดังตารางที่ 1

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ (n = 30) และน้ำนมโค (n = 30)

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	น้ำนมแพะ	น้ำนมโค
ของแข็งทั้งหมด	13.57	11.36
โปรตีน	3.48	2.82
ไขมัน	5.23	3.42
เถ้า	0.75	0.65
แลกโทส	4.11	4.47

ที่มา: Ceballos *et al*. (2009)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมมีความสำคัญต่อการผลิตและการแปรรูปน้ำนม ในทางเคมีน้ำนมเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อนและประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ

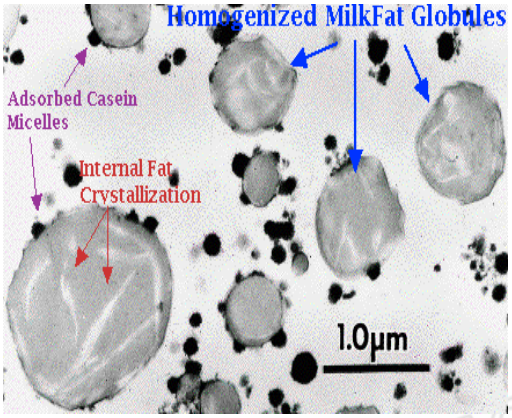
Walstra *et al.* (2005) ได้รายงาน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ ดังนี้

2.1.1.1 น้ำ (Water) เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของน้ำนม มีหน้าที่ทำให้น้ำนมอยู่ในสถานะเป็นของเหลว เป็นตัวนำสารอาหารและทำละลายธาตุน้ำนมทั้งหมดให้อยู่ในสภาวะสารละลาย หรือสารแขวนลอย มีน้ำอีกจำนวนเล็กน้อยจะอยู่ในรูปสารประกอบของเกลือ น้ำตาลแลกโทสและส่วนประกอบของโปรตีน

2.1.1.2 ไขมันนมหรือมันเนย (Milk fat or butter fat) ไขมันนมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของน้ำนม มีพลังงานสูงและเป็นสารที่ทำให้เกิดรส และทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมดีขึ้น ไขมันนมประกอบด้วย ฟอสฟอไลปิด (Phospholipid) ร้อยละ 0.6-1 และไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 98 ลักษณะของไขมันนมแสดงดังรูปที่ 1 ไขมันนมประกอบด้วยไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid, SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid, UFA) เช่น กรดลิโน-เลอิก (Linoleic) และอาราคิโดนิค (Arachedonic) ซึ่งจำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง ไขมันนมทำให้น้ำนมมีรสชาติที่ดีขึ้นและในขณะเดียวกัน ไขมันนมเป็นตัวการทำให้หืน (Rancidity) ไขมันในน้ำนมจะแทรกตัวในน้ำนมอยู่ในสภาวะที่เรียกว่า อีมัลชัน (Emulsion) ในน้ำนม ถ้าปล่อยน้ำนมดิบทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีขึ้นไป ไขมันนมจะลอยตัวรวมกันอยู่ชั้นบนเรียกว่า ครีม(Cream layer) ส่วนชั้นล่างจะเป็นหางนม (Skim milk layer) น้ำนมแพะย่อยง่ายกว่าน้ำนมโคทั้งนี้เพราะไขมันใน

Prince of Songkla University Pattani Campus

น้ำนมแพะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและแขวนลอยอยู่ในน้ำนมได้ดีกว่าจึงทำให้มีการย่อยและการดูดซึมได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายโซ่สั้นและกลางชนิดพิเศษคือ คาโพรอิก (Caproic) คาพรีลิก (Caprylic) และคาพริก (Capric) ซึ่งช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวกับการดูดซึมอาหาร เช่น โรคภาวะดูดซึมสารอาหารบกพร่องหรือลำไส้เล็กทำงานผิดปกติ



รูปที่ 1 เม็ดไขมันในน้ำนม

ที่มา: Goff (1977) The milk fat globules (online)

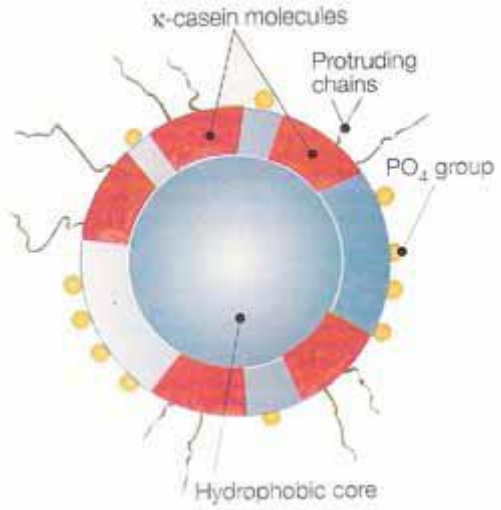
http://www.foodsci.uoguelph.ca/deicon/globule.html (1/10/2012)

2.1.1.3 โปรตีน เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมี โปรตีนในน้ำนมแพะจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าในน้ำนมโค โปรตีนในน้ำนมแพะช่วยในการผลิตและรักษาปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวให้คงที่และช่วยให้เม็ดเลือดขาวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย จะมีการหลั่งสารแอนตีฮิสตามินออกมา ส่งผลเสริมสร้างภูมิต้านทานต่อการเกิดภูมิแพ้ในร่างกาย ปริมาณโปรตีนในนมแพะจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 4.6 จำแนกออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ (Walstra *et al.*, 2005) คือ

ก. เคซีน (casein) หรือ คาเซอีน โดยทั่วไปโปรตีนนมชนิดเคซีน จะรวมตัวกับแคลเซียมอยู่ในรูปแคลเซียมคาซีเนท (Calcium caseinate) โมเลกุลของเคซีนทำให้เรามองเห็นน้ำนมเป็นสีขาว เคซีนจะแทรกตัวอยู่ในน้ำนมในสภาวะที่เรียกว่า แขวนลอย (Colloid) โดยรวมตัวอยู่กับแร่ธาตุในน้ำนม คือ แคลเซียม และฟอสฟอรัส เมื่อเติมกรดลงไปในน้ำนมจะทำให้แร่ธาตุดังกล่าวเคลื่อนย้ายไปรวมตัวกับกรดแทน โปรตีนนมไม่สามารถแทรกตัวอยู่ในสภาวะแขวนลอยอีกต่อไปได้ จึงเกิดการตกตะกอนเป็นก้อน สามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการผลิตนมเปรี้ยว (Yoghurt) และเนยแข็ง (Cheese)

Prince of Songkla University Pattani Campus

โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ในน้ำนมมีสภาพหลวมๆ เนื่องจากภายในมีน้ำอยู่มาก ประมาณ 3.7 กรัมต่อกรัมของโปรตีน เคซีนไมเซลล์ประกอบด้วยไมเซลล์หน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วยมารวมกัน ไมเซลล์หน่วยย่อยนี้มีรูปร่างกลมซึ่งเกิดจากนิวเคลียสที่ไม่ชอบน้ำล้อมรอบด้วยชั้นที่มีขั้ว ไมเซลล์หน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วยมารวมกันโดยมีพันธะระหว่างแคลเซียมกับฟอสเฟตเป็นสะพานเชื่อม ทำให้เคซีนไมเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น การรวมกันของไมเซลล์หน่วยย่อยนี้จะสิ้นสุดเมื่อผิวนอกถูกปกคลุมด้วยไมเซลล์ที่มีแคปป้าเคเซีนอยู่ด้วยการแยกเคซีนออกจากน้ำนมทำได้โดยการเติมกรด ให้นมมีพีเอชลดลงถึง 4.6 เคซีนจะตกตะกอนออกเป็นก้อนขาว เรียกว่า เคิร์ด (Curd) ซึ่งจะมีน้ำใส ๆ สีเหลืองแยกตัวออกมา เรียกว่า เวย์ (Whey)



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบจำลองของเคซีนไมเซลล์
ที่มา: Goff (1997)

โปรตีนเคซีนอยู่รวมกันเป็นอนุภาคเรียกว่า เคซีนไมเซลล์ ปริมาณโปรตีนในไมเซลล์ของน้ำนมโค มีประมาณร้อยละ 80 ซึ่งประกอบด้วย อัลฟาเคซีน (α-Casein) เบตาเคซีน (β-Casein) แคปปาเคซีน (K-Casein) และแกมมาเคซีน (δ-Casein) ในอัตราส่วน 42:7:25:9 ตามลำดับ (Swaisgood, 2008)

1. อัลฟาเคซีน (α-Casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 23 กิโลดาลตัน มีกรดอะมิโนจำนวน 199 หน่วย (residue) เมื่อมีแคลเซียมไอออน (ca^{2+}ion) จะทำให้ไม่ละลายน้ำ เกิดการตกตะกอนและรวมตัวเกิดเป็นก้อนของแคลเซียมแคซิเนท เรียกว่า ก้อนนม (curd)

1.1 อัลฟาเอสวัน-เคซีน (α -S_1 Casein) ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวน 100-199 หน่วย เป็นพวกที่ไม่มีขั้ว

1.2 อัลฟาเอสทู-เคซีน (α –S_2 Casein) ประกอบด้วยโครงสร้างแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว เมื่อมีแคลเซียมไอออนจะตกตะกอนง่ายกว่า α -S_1 Casein

2. เบตา-เคซีน (β-Casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 24.5 กิโลดาลตัน ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวน 209 หน่วย ปลายข้างหนึ่งของสายโพลิเปปไทด์เป็นพวกมีขั้ว (Polar head) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นพวกไม่มีขั้ว (Apolar tail)

3. K -Casein ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวน 169 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 24 กิโลดาลตัน เป็นโปรตีนชนิดที่ไม่มีขั้วมีคุณสมบัติในการเป็นสเตบิไลเซอร์ (Stabilizer) ของเคซีนไมเซลล์ โดยเกาะติดอยู่กับ K-Casein ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือน Protective colloid ป้องกันมิให้แคลเซียมเข้าทำปฏิกิริยาจนเกิดการจับตัวเป็นก้อนขึ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสัดส่วนโปรตีนชนิดเคซีนในน้ำนมโคและน้ำนมแพะ

ปริมาณ	**น้ำนมโค**	**น้ำนมแพะ**
Total protein (%)	3.36 ± 0.05	3.34 ± 0.03
Casein	2.63 ± 0.05[a]	2.52 ± 0.03[b]
K-Casein (% total casein)	10.90 ± 0.25[a]	9.02 ± 0.53[b]
α–S_2 Casein (% total casein)	7.51 ± 0.20[b]	20.93 ± 0.91[a]
α -S_1 Casein (% total casein)	47.25± 0.79[a]	18.89 ± 0.70[b]
β-Casein (% total casein)	34.34 ± 0.37[b]	51.16 ± 0.12[a]

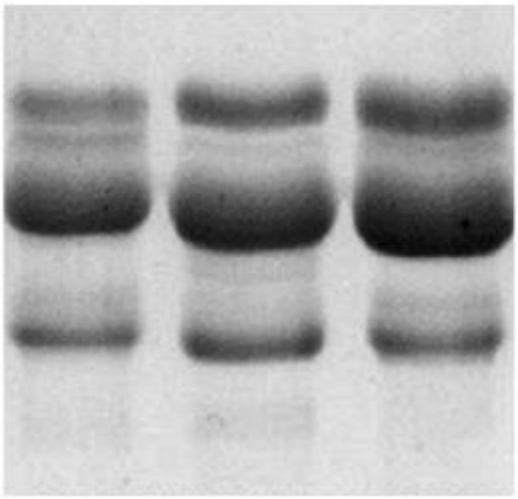
a-b ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ที่มา: Lamothe *et al*. (2007)

Lamothe *et al.* (2007) เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในน้ำนมโคและน้ำนมแพะพบว่าน้ำนมแพะจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าโดยพบปริมาณร้อยละ 3.36 และ 3.34 ในน้ำนมแพะและน้ำนมโคตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับปริมาณโปรตีนที่รายงานโดย Ceballos *et al.* (2009) ที่พบโปรตีนในน้ำนมแพะร้อยละ 3.48 ขณะที่พบในน้ำนมโคร้อยละ 2.82 ปริมาณเคซีนทั้งหมดในน้ำนมโคจะมากกว่าน้ำนมแพะเล็กน้อย

Prince of Songkla University Pattani Campus

โปรตีนเคซีนชนิดเบตาเคซีน เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุด (รูปที่ 3) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีมวลโมเลกุลต่ำ มีความคงตัวสูง ต้านออกซิเดชัน (Rossini *et al.*, 2009) และต้านภาวะความดันโลหิตสูงได้ (Hayes *et al*., 2007) นอกจากนี้ ในน้ำนมแพะยังมีโปรตีนเคซีนชนิด อัลฟาเอสวันเคซีน ร้อยละ 4-26 ต่ำกว่าน้ำนมโคซึ่งมีประมาณร้อยละ 36-40 โปรตีนชนิดนี้เป็นสาเหตุของการแพ้นมในเด็ก



รูปที่ 3. SDS-PAGE ของโปรตีนเคซีน
ที่มา: Greppi *et al.* (2008)

Ceballos *et al.* (2009) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำนมแพะและน้ำนมโค พบว่าปริมาณของกรดอะมิโนทุกชนิดในน้ำนมแพะ ยกเว้นไทโรซีนและเซอรีน มีปริมาณมากกว่าน้ำนมโคอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) แสดงในตารางที่ 3

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 3 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำนมแพะและน้ำนมโค (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำนม)

กรดอะมิโน	**เคซีน (มิลลิกรัม/ 100 กรัมโปรตีน)**	
	น้ำนมแพะ	**น้ำนมโค**
กรดอะมิโนจำเป็น	138.67	115.81
ทรีโอนีน	160.54	128.04
ไอโซลิวซีน	341.01	266.23
ไลซีน	342.86	252.59
เมทไทโอนีน	77.95	71.15
ไกลซีน	30.62	23.20
ฟีนิลอาลานีน	175.45	133.51
ไทโรซีน	162.51	159.99
วาลีน	210.23	147.84
รวม	1639.84	1298.36
กรดอะมิโนไม่จำเป็น		
อาจีนีน	135.65	114.44
ฮีสทีดีน	122.73	93.06
อาลานีน	117.95	96.09
แอสพาติก	250.15	214.22
กลูตามิก	694.58	554.30
โปรลีน	55.83	49.24
เซอรีน	310.61	253.38
ไกลซีน	152.65	147.85
รวม	1840.15	1522.58

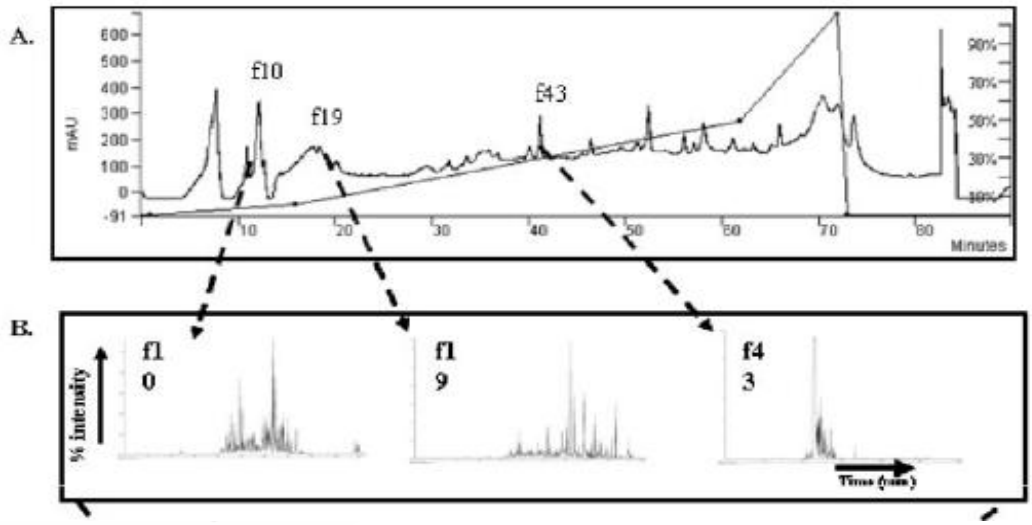
ที่มา: Ceballos *et al.* (2009)

เบต้าเคซีนเป็นโปรตีนในกลุ่มโปรตีนเคซีนที่ใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นวัตถุปรุงแต่งอาหารชนิดสารเพิ่มความคงตัว เบต้าเคซีนที่ถูกย่อยสลายบางส่วนจะมีประโยชน์ทางโภชนาการ เช่นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถลดปริมาณคอเลสเทอรอลในเลือดและมีสมบัติในการต้านความดันโลหิตสูงเนื่องจากมีบทบาทในการยับยั้งเอนไซม์ชนิด Angiotensin-converting-enzyme (ACE) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นให้เส้นเลือดหดตัว จึงทำให้ความดันโลหิตต่ำลง เบต้าเคซีนที่ถูก

Prince of Songkla University Pattani Campus

ย่อยด้วยเอนไซม์จะกลายเป็นเปปไทด์ที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างกัน โดยทั่วไปจะพบเบต้าเคซีน 2 ชนิดคือเบต้าเคซีนเอหนึ่ง (β–Casein A_1) และเบต้าเคซีนเอสอง (β–Casein A_2)

Hayes *et al.* (2007) ได้ศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเคซีนด้วย *Lactobacillus animalis* DPC6134 ในการยับยั้งเอนไซม์ ACE (Angiotension coverting enzyme) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นการเกิดภาวะความดันโลหิตสูงโดยการหมักด้วย Sodium caseinate นำมาศึกษาชนิดของผลเปปไทด์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ เคซีนที่คุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์ ACEc และชนิดของเปปไทด์ด้วย Liquid Chromatography (รูปที่ 4) Fraction ที่ 10, 19 และ 43 แสดงสมบัติในการต้านเอนไซม์ ACE สูงสุด คือ 67.5%(±15) 83.7(±19) 42.36(±11) เมื่อนำมาวิเคราะห์ชนิดของเปปไทด์ พบว่าประกอบด้วยเปปไทด์ชนิดเบต้าเคซีน 4 ชนิด (ตารางที่ 4)



รูปที่ 4 (A) RP-HPLC chromatogram ของ sodium caseinate ที่หมักด้วย *Lactobacillus animalis* DPC6134 แสดงตำแหน่ง fraction ที่ 10, 19 และ 43

(B) LC Chromatogram แสดงความหนาแน่นของ Casein fracment ที่พบ

ที่มา: Hayes *et al*. (2007)

เบต้าเคซีนที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการไฮโดรไลซ์เคซีนด้วย *Lactobacillus animalis* DPC6134 ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์ ACE (Angiotension coverting enzyme) มีการจัดเรียงลำดับของหมู่อะมิโนดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ร้อยละของการยับยั้ง ACE ของเปปไทด์ที่ได้จาก fraction m 10, 19 และ 43 จากการหมัก sodium Caseinate ด้วย *Lactobacillus animalis* DPC6134

Chemically synthesized peptide	**ACE-inhibitoryactivity calculated**
MPFPKYPVEP	87.3 ± 5.5057.
SQSKVLPVPQ	9 ± 2.4
EPVLGPVRGPFP	61.4 ± 11.81
NIPPLTQTPVVVPPFIQ	35.0 ± 19.26
Captopril	100 ± 10.5

Captopril คือ ยาที่มีฤทธิ์ยับยั้ง การสังเคราะห์ Angiotensin Converting Enzyme (ACE)

ที่มา: Hayes *et al*. (2007)

ข. เวย์โปรตีน หรือซีรั่มโปรตีน (Whey protein) เป็นส่วนประกอบอยู่ในน้ำเหลืองใสๆ ที่แยกตัวออกมาหลังจากโปรตีนนมตกตะกอน ที่เรียกว่า เวย์ ในส่วนนี้จะประกอบด้วยโปรตีนชนิดแลคทัลบูมิน (Lactalbumin) และแลคโทโกลบูลิน (Lactoglobulin) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงเพราะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่จะถูกทำลายได้ง่ายในอุณหภูมิสเตอริไลส์ (Sterilized) หรือยู เอช ที (U.H.T.) ในขบวนการแปรรูปนม

โปรตีนเวย์พบในส่วน Supernatant หลังจากตกตะกอนนมที่ค่าความเป็นกรดด่าง 4.6 โปรตีนเวย์จะละลายน้ำได้มากกว่าเคซีน และถูกทำลายเนื่องจากความร้อนได้ง่าย แต่ทนต่อกรด โปรตีนเวย์ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดเดือด จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้นมมีรสชาติที่เรียกว่า Boiled-milk flavor หรือ Cooked flavor

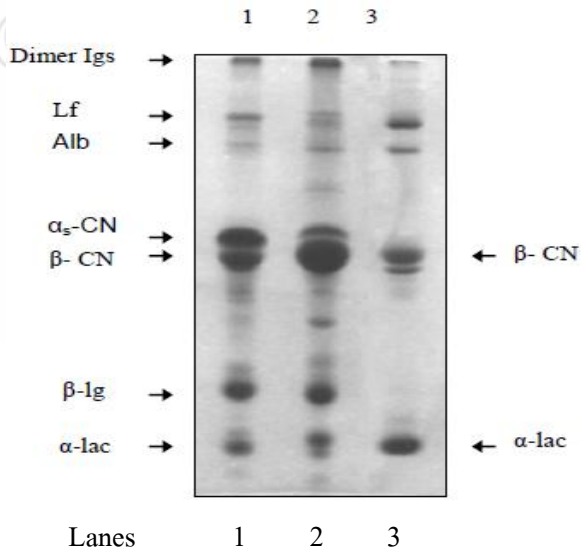
โปรตีนเวย์ ประกอบด้วย เบตาแลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) ร้อยละ 50-60 อัลฟาแลคตาลบูมิน (α-Lactalbumin) ร้อยละ15-20 ซีรั่มอัลบูมิน (Serum albumin) ร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังประกอบด้วย อิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) โปรตีนที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ (Phospholipid - protein complex) เอนไซม์และเปปไทด์ของเคซีน (Casein-derived peptide) (Fox and McSweeney, 1998)

1. เบต้าแลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) เป็นโปรตีนเวย์ชนิดที่มีปริมาณมากที่สุด มีมวลโมเลกุลประมาณ 18 กิโลดาลตัน มีไอโซอิเล็กทริกพอยด์ (Isoelectric point) ที่พีเอช 5.5-7.5 β -lactoglobulin มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ มักรวมตัวกันอยู่รอบๆ เม็ดไขมัน เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 65 องศาเซลเซียส โปรตีนชนิดนี้จะถูกทำลาย และตกตะกอน (Fox and

McSweeney, 1998) ทำให้ไขมัน จับตัวเป็นก้อน และทำให้ครีมแยกชั้น β -Lactoglobulin มี Free sulfhydryl group (-SH) มากในรูปคริสตีน (Cysteine) จึงเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นต้ม (Cooked flavor) เมื่อได้รับความร้อน

2. อัลฟาแลคตาลบูมิน (α -lactalbumin) เป็นโปรตีนเวย์ชนิดที่มีปริมาณอันดับสอง รองลงมาจาก (β -Lactoglobulin) มีมวลโมเลกุลประมาณ 14 กิโลดาลตัน ทนความร้อนได้ดีกว่า α -Lactoglobulin จะตกตะกอนได้หมดถ้าอุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4.5

Salem *et al.* (2009) ได้ศึกษาลักษณะทางชีวเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของเคซีนใน น้ำนมแพะ SDS-PAGE electrophotogram แสดงดังรูปที่ 5 โดยนำตัวอย่างน้ำนมโคและน้ำนมแพะเตรียมตัวอย่างอัลฟาและเบต้าเคซีนด้วยการตกตะกอนเคซีนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1N HCl pH 4.6 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เตรียมอัลฟาเคซีนโดยวิธี Urea method (Hipp *et al*., 1952) และเบต้าเคซีนโดยวิธี Urea fractionation method (Aschaffenburg, 1963) แยกเคซีนแต่ละชนิดออกจากกันด้วยวิธี Alkaline native-polyacrylamide gel electrophoresis (Alkaline native- PAGE) และ Sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

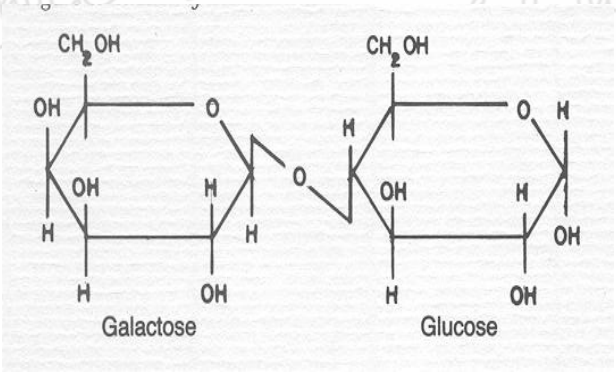


รูปที่ 5. SDS-PAGE (10%T) ของน้ำนมโค น้ำนมแพะและน้ำนมแม่ Lanes 1 ⟶ 3: น้ำนมโค น้ำนมแพะและน้ำนมแม่ตามลำดับ; Dimer Igs: Dimer Immunoglobulins; Lf: Lactoferrin; Alb: Albumin; αs-CN: α-CN: β-casein; β-lg: β-lactoglobulin; β-lac: β-lactalbumin

ที่มา: Salem *et al*. (2009)

ในน้ำนมโคมีอัลฟาและเบต้าเคซีนเป็นองค์ประกอบหลักคือร้อยละ 56.5 และ 43.5 ตามลำดับ ส่วนน้ำนมแพะจะพบเบต้าเคซีนมากกว่าอัลฟาเคซีนคือร้อยละ 70.2 ในขณะที่พบอัลฟาเคซีนร้อยละ 29.8 ในน้ำนมแม่จะมีอัลฟาเคซีนน้อยมากแต่จะพบเบต้าเคซีนมากกว่า (ร้อยละ 67) นอกจากนี้ยังพบ อัลฟาแลคทัลบูมินซึ่งเป็นเวย์โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ร้อยละ 33.5 ของเวย์โปรตีนทั้งหมด

2.1.1.4 น้ำตาลนมหรือน้ำตาลแลคโตส (milk sugar or lactose) น้ำตาลนมถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในเต้านม จัดเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในน้ำนม เมื่อถูกย่อยจะสลายตัวได้น้ำตาลกลูโคส (glucose) และน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 6 น้ำนมแพะมีปริมาณน้ำตาลแลกโทสต่ำกว่าน้ำนมโค (Ceballos *et al*., 2009) ร่างกายสามารถดูดซึมได้เร็ว เนื่องจากโครงสร้างขององค์ประกอบมีโมเลกุลเล็ก จงไม่ทำให้เกิดตกค้างในลำไส้ จึงเหมาะสำหรับคนที่มีสภาพร่างกายที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลแลกโทสได้ ทำให้ลดปัญหาท้องอืด ท้องเดิน หลังจากดื่มนม (Cooke, 2010) น้ำตาลแลกโทส นอกจากจะให้ความหวาน (0.3 เท่าของความหวานของน้ำตาลซูโครส) แล้วยังมีบทบาทอื่นอีกหลายอย่าง เช่นมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยร่วมกับกรดอะมิโน การเกิดคาราเมลและการเปลี่ยนแปลงไปเป็น แลกทูโลสเมื่อได้รับความร้อน เป็นต้น (เสาวลักษณ์, 2553)



รูปที่ 6 โครงสร้างของน้ำตาลแลกโทส

ที่มา: Mahony (1988). Structure of a lactose molecule. (online)

http://www.ilri.org/InfoServ/Webpub/fulldocs/ilca_manual4/Milkchemistry.htm (9/4/2012)

2.1.1.5 วิตามิน (vitamin) น้ำนมแพะมีปริมาณวิตามินเอ และวิตามินซีสูงกว่าในน้ำนมโค ซึ่งน้ำนมแพะจะเปลี่ยนคาโรทีน (Carotene) ทั้งหมดเป็นวิตามินเอ ลักษณะสีที่ปรากฏในน้ำนมแพะจึงขาวกว่าน้ำนมโค ทั้งในน้ำนมแพะและน้ำนมโค วิตามินบีอยู่ในรูปอิสระในสารอาหารน้ำนมแพะมีระดับวิตามินบีสูงกว่าน้ำนมโคโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บี 1 โดยในน้ำนมแพะมีวิตามินบี 1 ปริมาณ 480

ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำนม ในขณะที่น้ำนมโคมี 400 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิกรัมของน้ำนมทั้งหมด ส่วนไนอะซินในน้ำนมแพะมีปริมาณ 200 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำนม ซึ่งเป็นปริมาณที่เท่ากับน้ำนมแม่ (Clark, 2008)

2.1.1.6 แร่ธาตุ (minerals) เกลือในน้ำนมถือเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณน้อย (8-9 กรัมต่อน้ำนม 1 ลิตร) ประกอบด้วยแคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม สารประกอบไอออนและสารอนินทรีย์ประเภทคลอไรด์ ฟอสเฟต ซิเตรท ไอออนเหล่านี้มีความสำคัญต่อโครงสร้างและความแข็งแรงของเคซีนไมเซลล์ (Gaucheron, 2005) น้ำนมแพะมีแร่ธาตุ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและคลอรีนสูงกว่าน้ำนมโคดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดในน้ำนมแพะและน้ำนมโค

ชนิดแร่ธาตุ	**แร่ธาตุ (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำนม)**	
	น้ำนมแพะ	น้ำนมโค
Ca (mg)	134	122
P (mg)	121	119
Mg (mg)	16	12
K (mg)	181	152
Na (mg)	41	58
Cl (mg)	150	100
S (mg)	28	32
Fe (mg)	0.07	0.08
Cu (mg)	0.05	0.06
Mn (mg)	0.03	0.02
Zn (mg)	0.56	0.53
I (mg)	0.02	0.021
Se (µg)	1.33	0.96

ที่มา: Park and Chukwu (1988, 1989); Jenness (1980); Haenlein and Caccese (1984)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำนมแพะ

น้ำนมแพะมีสมบัติหลายประการที่เด่นกว่าน้ำนมโค เช่น ปริมาณสารอาหาร วิตามินและแร่ธาตุที่สูง นอกจากนี้ยังมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างน้ำนมโค ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของนมหลังจากการแปรรูป สมบัติทางกายภาพของน้ำนมแพะมี 8 ประการ ดังนี้

2.1.2.1 ความหนืด (Viscosity) เป็นความต้านทานของของเหลวตอการไหล ความหนืดที่สูงขึ้นก็จะมีความต้านทานต่อการไหลมากขึ้นด้วย ของเหลวธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ ได ในขณะที่สารกระจายตัวที่มีสวนผสมของสารหลายตัวจะมีคุณสมบัติการไหลที่ซับซอนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้ (สายัณห์และวิรัตน์, 2549) องค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อความหนืดของน้ำนมคือ ปริมาณของแข็งโดยเฉพาะเคซีนไมเซลล์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำเย็น เบต้าเคซีนจะแตกตัวออกจากไมเซลล์ ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นแบบสูงชัน แต่เมื่อให้ความร้อนกับหางนม ทำให้โปรตีนเซรั่มเปลี่ยนสภาพไม่ละลาย ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 10 (เสาวลักษณ์, 2553)

2.1.2.2 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นของน้ำนม คือ น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของน้ำนม ปกติความหนาแน่นของสารใดๆ จะวัดในรูปของค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551) น้ำนมแพะดิบที่มีคุณภาพดีจะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.028 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปน้ำนมโคจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.030-1.035 เฉลี่ย 1.032 ที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของน้ำนมจะแปรโดยตรงกับปริมาณของแข็งปราศจากไขมัน และแปรผกผันกับปริมาณไขมัน กล่าวคือความหนาแน่นของน้ำนมจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น

2.1.2.3 จุดเยือกแข็ง (freezing point)

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551) ระบุว่า น้ำนมแพะดิบที่มีคุณภาพที่ดี จะต้องมีจุดเยือกแข็งไม่สูงกว่า -0.530 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำนมแพะโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง -0.512 องศาเซลเซียส ถึง 0.550 องศาเซลเซียส เฉลี่ย -0.522 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนม โดยทั่วไปจุดเยือกแข็งของน้ำนมจะค่อนข้างคงที่ การเติมน้ำลงไปในน้ำนมร้อยละ 1 จะทำให้จุดเยือกแข็งเพิ่มขึ้น 0.0055 องศาเซลเซียส หรือ 0.0099 องศาฟาเรนไฮต์ สารละลายที่มีอยู่มากในน้ำนมได้แก่ น้ำตาลและเกลือแร่ (Chandy, www.inseda.org , 15/2/2011)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.2.4 จุดเดือด (boiling point)

ถ้ามีสารละลายในน้ำนมปริมาณมาก จุดเดือดจะสูงขึ้นไปด้วย การต้มน้ำนมให้เดือดจะมีแผ่นฟิมล์ที่เกิดจากเคซีนจับตัวกันกับแคลเซียมและไขมันลอยตัวอยู่บนผิวหน้านม การต้มน้ำนมนานจะเกิดแผ่นฟิมล์บนผิวหน้ามาก นมที่ถูกความร้อนสูงหรือนานเกินไป จะมีสีน้ำตาลและมีรสนมต้ม(caemelized flavor) และทำให้เกิดการสูญเสียเวย์โปรตีน (Chandy, www.inseda.org, 15/2/2011)

2.1.2.5 ดัชนีหักเหของแสง (refractive index)

คือ อัตราส่วนของอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศต่ออัตราเร็วของแสงในน้ำนม ค่าดัชนีหักเหของแสงของน้ำนมมีค่าอยู่ในช่วง 1.3440-1.3485 ค่าดัชนีหักเหของแสงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนมโดยเฉพาะของแข็งไม่รวมไขมัน ถ้าหากมีการเติมสารที่ละลายได้ลงไป จะทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าดัชนีหักเหของแสงหาปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ (Chandy, www.inseda.org, 15/2/2011)

2.1.2.6 สี (Color)

สีขาวของน้ำนมเกิดเนื่องมาจากการสะท้อนแสงของอนุภาคคอลลอยด์ของไขมันนม เคซีนไมเซลล์ และแคลเซียมฟอสเฟต บางครั้งหากในน้ำนมมีรงควัตถุแคโรทีน และไรโบฟลาวน์สูงก็จะเห็นน้ำนมเป็นสีเหลืองอ่อน การทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง และการเพิ่มของแข็งลงในน้ำนมจะช่วยทำให้น้ำนมมีสีขาวขึ้น (Chandy, www.inseda.org, 15/2/2011)

2.1.2.7 กลิ่น (odor)

น้ำนมที่รีดมาใหม่ๆ จะมีกลิ่นหอม ซึ่งบ่งบอกถึงความสดของน้ำนม แต่ หลังจากการรีดไปนานๆ กลิ่นนมสดจะหายไป ถ้านำน้ำนมไปต้มจะทำให้มีกลิ่นนมต้ม และรสนมต้มอยู่ด้วย (Cooked flavor) น้ำนมดูดกลิ่นต่างๆได้ดี การมีกลิ่นผิดปกติ อาจเกิดจากตัวสัตว์ อาหาร การดูดกลิ่นของน้ำนมและการเจือปน หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี และการสลายตัวขององค์ประกอบในจุลินทรีย์ (Chandy, www.inseda.org, 15/2/2011)

2.1.2.8 ความเป็นกรด (Acidity)

พีเอชของน้ำนมปกติอยู่ในช่วง 6.5-6.8 เฉลี่ย 6.6 มีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส จากสีน้ำเงินเป็นสีแดงหรือเปลี่ยนสีฟีนอฟทาลีน (Phenolphthalein) เป็นสีน้ำเงิน น้ำนมมีคุณสมบัติต้านการเปลี่ยนพีเอชได้ดี โดยทั่วไปน้ำนมน้ำเหลืองจะมีพีเอชต่ำกว่า น้ำนมปกติอาจต่ำถึง 6.0 สวนน้ำนมจากโคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบจะมีพีเอชสูง (อาจสูงถึง 7.5) การนำนมสดมาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง นมจะมีรสเป็นกรดและเกิดเป็นลิ่ม (Curd) (Chandy, www.inseda.org%, 15/2/2011)

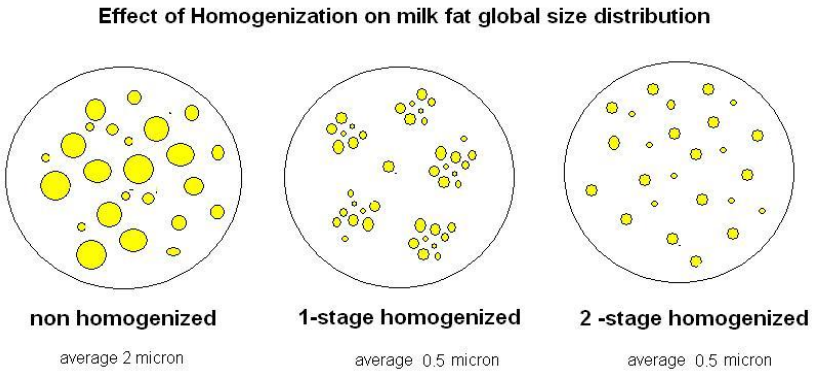
Prince of Songkla University Pattani Campus

2.2 การผลิตนมผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงสารละลายหรือสารแขวนลอย ให้เป็นผงของแข็งในขั้นตอนเดียว น้ำนมที่จะนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอย จะต้องผ่านการ โฮโมจิไนเซชั่น เพื่อให้น้ำนมเกิดอิมัลชั่นและพาสเจอไรเซชั่นเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การโฮโมจิไนเซชั่น (Homogenization)

โฮโมจิไนส์ หมายถึง การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน น้ำนมที่จะแปรรูปเป็นนมผงจะต้องนำมาผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยให้เกิดระบบอิมัลชั่น ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการให้นมผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ด้วยความเร็วสูงโดยผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ ภายใต้ความดันสูง ซึ่งมีแรงกดประมาณ 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะทำให้เม็ดไขมันนม ซึ่งปกติมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 4-6 ไมครอน ถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพียง 0.2-2 ไมครอน ซึ่งจะทำให้แทรกตัวอยู่ในน้ำนมได้ทนทาน นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการแยกตัวลอยขึ้นสู่ผิวบนเป็นชั้นครีมได้ง่าย และยังช่วยลดปริมาณสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ให้น้อยลง การโฮโมจิไนส์จะช่วยให้เม็ดไขมันมีสีขาวขึ้น เนื่องจากขนาดของเม็ดไขมันเล็กลงและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการกระเจิงแสงได้ (เสาวลักษณ์, 2553) สำหรับการเลือกใช้เครื่องโฮโมจิไนเซชั่นแบบ 1 หรือ 2 สเตท จะขึ้นกับปริมาณไขมันที่มีอยู่ในนมที่ปรับองค์ประกอบแล้ว แต่โดยทั่วไปการโฮโมจิไนซ์น้ำนมจะใช้เครื่องโฮโมจิไนซ์ 2 สเตท ที่มีอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียสและมีความดันระหว่าง 1,500-2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) รูปที่ 3 ผลของการโฮโมจิไนซ์ต่อการกระจายตัวของเม็ดไขมันนมจากเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบ 1 และ 2 สเตท



รูปที่ 7 ผลของการโฮโมจิไนซ์ต่อการกระจายตัวของเม็ดไขมันนม

ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1026 (9/4/2012)

2.2.2 การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization)

เป็นการถนอมอาหารชั่วคราววิธีหนึ่ง โดยใช้ความร้อนในอุณหภูมิระหว่าง 60 - 80 องศาเซลเซียส ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้ การพาสเจอร์ไรส์เป็นการถนอมอาหารแบบชั่วคราว เพราะสามารถป้องกันมิให้จุลชีพเจริญในชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่สารอาหารยังอยู่ครบถ้วนหรือเกือบครบถ้วน (Yanniotis, 2008)

วิธีการพาสเจอร์ไรส์มี 2 วิธีคือ

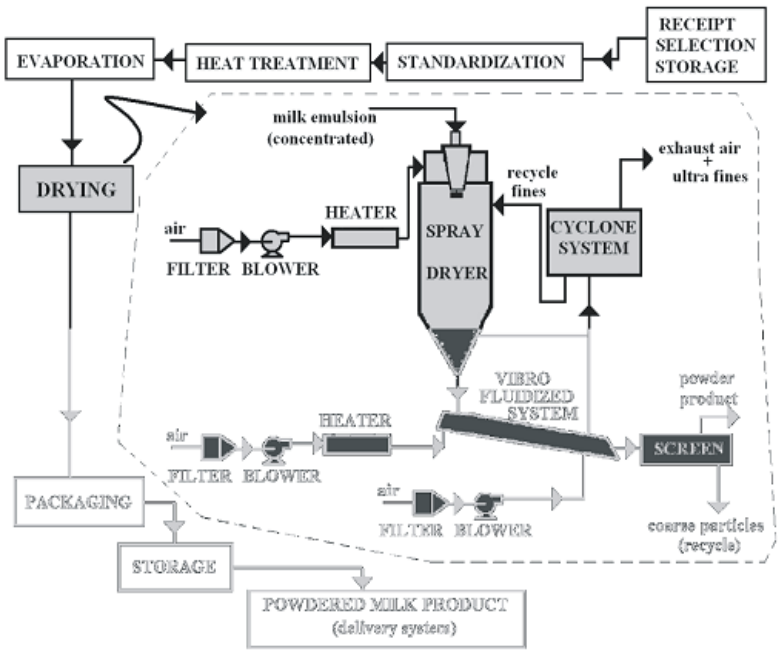
2.2.2.1 วิธีใช้ความร้อนต่ำ - เวลานาน (LTLT: Low Temperature - Long Time) วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 62.8 - 65.6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อผ่านความร้อนโดยใช้เวลาตามที่กำหนดแล้ว ต้องเก็บอาหารไว้ในที่เย็นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 7.2 องศาเซลเซียส กรรมวิธีการนี้เป็นทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยไขมันชนิดไลเปส (Lipase) ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดกลิ่นหืนในน้ำนม

2.2.2.2 วิธีใช้ความร้อนสูง - เวลาสั้น (HTST : High Temperature - Short Time) วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ใช้เวลาน้อยกว่าคืออุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียสคงไว้เป็นเวลา 15 วินาที

2.2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

การทำแห้ง เป็นการกำจัดเอาน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหาร ด้วยการระเหยซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บที่ยาวนานยิ่งขึ้น สะดวกต่อการเก็บรักษา และการขนส่ง กรรมวิธีการทำแห้งมีหลายแบบ เช่น การใช้แสงแดด ลม หรือการใช้ตู้อบ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำแห้งจนสามารถเอาอาหารแห้งกลับมาคืนรูปแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับอาหารสด อาหารที่เก็บรักษาด้วยการทำแห้งจึงมีอยู่อย่างมากมายในปัจจุบัน

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลวให้เป็นผงแห้ง สารละลายที่เป็นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊ม ผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วกลายเป็นอนุภาคผงแห้งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร (Fellows, 2000) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 (Benion and Scheule, 2004) ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นาน สะดวกต่อการเก็บรักษา เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังแสดงการผลิตนมผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
ที่มา : Birchal and Passos (2005)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถทำได้โดยการฉีดพ่นของเหลวที่ต้องการทำแห้งผ่านตัวกลางลมร้อน โดยน้ำในละอองของเหลวจะระเหยออกไปได้เป็นอนุภาคผง การผลิตในวิธีนี้ค่อนข้างง่ายและสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง (Master, 1991) อาหารที่จะมาทำแห้งต้องเป็นของเหลว อาจอยู่ในสภาพของสารละลายเจล อิมัลชั่น หรือสารละลายที่มีความข้นหนืดสูง การทำแห้งเริ่มตั้งแต่การทำให้ของเหลวแตกเป็นหยดเล็กๆ ภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่านการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนมาก เกิดการระเหยบนพื้นที่ผิวของหยดเม็ดเล็กๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและการเคลื่อนที่ของมวลสาร การระเหยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการระเหยที่ให้อัตราการระเหยคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในละอองของอาหารเหลวที่มีอยู่มากพอที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองของเหลวอย่างคงที่ จนเกิดสภาวะอิ่มตัวถึงขณะหนึ่ง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวและเข้าสู่จุดวิกฤต (Critical point) ผิวของละอองของเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยจะไม่คงที่ ในช่วงนี้อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง (Master, 1985) และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำ

ให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นรวมสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ จะทำให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงและมีความโปร่งมากขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดขึ้นเร็ว (Tamsma *et al*., 1992) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงเทคนิคการกักเก็บกลิ่นรส (Flavor encapsulation) โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า เมื่อให้อุณหภูมิลมเข้าไปโดยอัตราเร็วสูงในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเกิดเป็นอนุภาคผลิตภัณฑ์ผง สารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารเหลวไม่สามารถผ่านเข้าออกมาได้ ทำให้มีปริมาณสารระเหยที่ให้กลิ่นรสเหลืออยู่ร้อยละ 84 (Bhandari, 1992) สำหรับขั้นตอนในการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (Masters, 1991) ดังนี้

- การฉีดของเหลวเป็นละอองฝอย (Atomization of feed into a spray)

ในขั้นตอนนี้ของเหลวจะถูกฉีดเป็นละอองฝอยโดยหัวฉีด (Atomizer) โดยขนาดของอนุภาคที่ได้จะขึ้นกับลักษณะในการป้อนและชนิดของหัวฉีดที่ใช้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่สุดในการผลิตเนื่องจากสภาวะนี้มีผลต่อการระเหยน้ำ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวของอนุภาคที่แตกต่างกัน

- การสัมผัสระหว่างของเหลวกับอากาศร้อน (Spray–air contact)

ของเหลวที่ถูกพ่นละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้น้ำระเหยออกจากของเหลว การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของของเหลวหรืออาหารที่ต้องการทำแห้ง คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

- ช่วงการระเหย (Evaporation stage)

ในการระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของเหลวที่ถูกพ่นฝอยจะมีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร การระเหยของน้ำเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant–rate period) ซึ่งกระบวนการนี้ เป็นการทำให้อนุภาคร้อนขึ้นหรือมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อนและการพาความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคและเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้นไอน้ำจะถูกถ่ายเทมวลให้อากาศร้อนโดยการแพร่ (Diffusion) และการพา (convection) ออกจากผิวหน้าของอนุภาคไปกับความร้อน อัตราการระเหยน้ำจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ หรือความดันไอและคุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาค อุณหภูมิของอนุภาค ความเร็วลมของอากาศร้อนตลอดจนองค์ประกอบของของแข็งในอนุภาค การทำแห้งในวิธีนี้จะเกิดในเวลาสั้นเนื่องจากมีพื้นที่ผิวของอนุภาคที่มากจึงเกิดการระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว

Prince of Songkla University Pattani Campus

- การแยกอาหารผงจากระบบทำแห้ง (Dry product recovery)

อาหารผงที่ได้จะตกลงสู่พื้นล่างของภาชนะทำแห้ง เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวจะมีน้ำหนักเบาและจะถูกดูดออกไปโดยแรงจากพัดลม (Blower) ส่งออกมาตามท่อลมออก ผงอาหารแห้งนี้สามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งสามารถแยกเอาอากาศกับอนุภาคของแข็งออกจากกันได้โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม ข้อดีของวิธีการนี้คือมีการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อย การปนเปื้อนจากอากาศภายนอกมีน้อยสามารถใช้ได้ดีทุกๆ อุณหภูมิ และมีต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่ไวต่อความร้อนและยังกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้แน่นอนขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่เกิดจากการผลิต (Master, 1991; Boonyai, 2001) ได้แก่

2.3.1 อัตราการพ่นกระจาย (Atomize speed)

อัตราการพ่นกระจายนั้นมีผลต่อโครงสร้างและขนาดของอนุภาคที่ได้ (Particle structure and size) โดยเมื่ออัตราการป้อนของเหลวคงที่ (Feed rate) การเพิ่มความเร็วในการพ่นกระจาย (atomizer speed) มีผลให้ขนาดของอนุภาคที่ได้เล็กลง ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นที่สูงกว่า เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าสามารถแทนที่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ใหญ่ได้

2.3.2 คุณสมบัติในการป้อน (Feed properties)

ปริมาณของแข็ง (Solid content) ของสารละลายมีผลต่อลักษณะและขนาดของอนุภาคผงที่ได้ในด้านความหนาแน่นรวม นอกจากนี้การป้อนสารละลายด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นหรือการลดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีความหยาบ (Coarse) และทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นรวมถึงขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นทำให้การระเหยน้ำช้ากว่าในสารละลายที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่า

Keogh *et al*. (2003) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนโดยใช้วิธีการกรองจากโปรตีนที่มีอยู่เดิม 3.08-5.33 กรัม/100 กรัม จนได้ปริมาณโปรตีน 42.8–52.3 กรัม/100 กรัม ศึกษาลักษณะบางประการของนมผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าปริมาณไขมันอิสระและขนาดของเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการกรอง ปริมาณไขมันอิสระของนมผงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงจนถึง 74 กรัม/100 กรัมไขมัน ปริมาณความชื้นของนมผงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงเช่นกัน

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.3 ชนิดของหัวฉีด (Type of atomized)

ชนิดของหัวฉีดมี 2 แบบ คือ Rotary และ Nozzle ซึ่งมีผลต่อลักษณะของขนาดของอนุภาคแตกต่างกัน โดยหัวฉีดแบบ Nozzle จะให้ลักษณะของอนุภาคผงที่ได้มีลักษณะที่หยาบกว่า

2.3.4 การไหลของอากาศ (Air flow) (Masters, 1991)

อัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งมีผลต่อเวลาของที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Residence time) ของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลงส่งผลให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้นมีผลให้ความชื้นลดลงและยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอันเนื่องจากความร้อนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มและเกิดกลิ่นไหม้ นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศยังมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

2.3.5 อุณหภูมิในการอบแห้ง (Drying temperature)

อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งทั้งขาเข้า (Inlet temperature) และขาออก (Outlet temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราการไหลคงที่จะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง ยังมีผลให้ความหนาแน่นปรากฏรวมมีค่าลดลง ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุน (Porous) ในอนุภาคผงมากกว่า ในขณะที่อุณหภูมิขาออกจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขาออกให้สูงขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลือลดลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออกจะขึ้นกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสำคัญ ผลของความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ เช่น การละลาย (Solubility) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ขนาด (Particle size) การดูดความชื้น (Hygroscopicity) และ อายุการเก็บรักษา (Shelf life)

Oldfield *et al.* (2005) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเริ่มต้นต่อการเสื่อมสภาพของโปรตีนในน้ำนม พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนเริ่มต้น (Preheat temperature) แก่นมผงพร่องมันเนยก่อนการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในช่วงอุณหภูมิ 70-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 52 วินาที จะส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีน β-Lactoglobulin A, β-Lactoglobulin B, α- Lactalbumin, bovine serum albumin (BSA) และ Immunoglobulin G ในทางตรงกันข้ามการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำนมในระดับพาสเจอไรส์คือช่วงอุณหภูมิ 65-74 องศาเซลเซียสก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาออกในช่วง 101-160 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเสียสภาพของโปรตีนน้อยที่สุด

Prince of Songkla University Pattani Campus

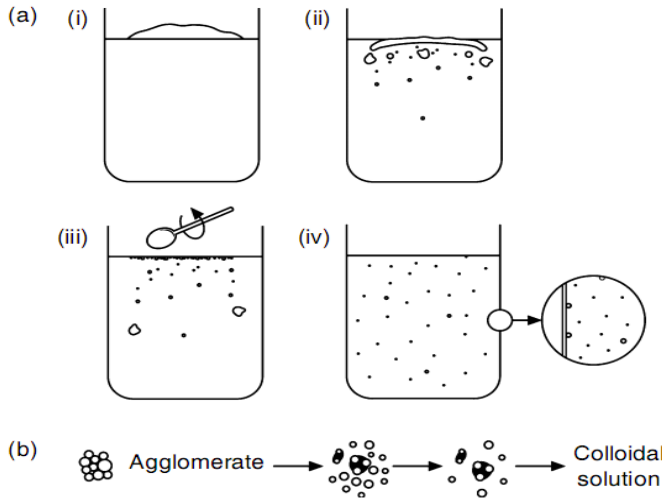
Gaiani *et al.* (2010) ได้ศึกษาระดับของอุณหภูมิขาออกที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โปรตีนผง จากสัดส่วนของโปรตีน 2 ชนิดคือ native micellar casein (NMC), Native whey isolate (NWI) และแลกโทส (Laclose) ที่ระดับ 100:0:0 0:100:0 70:0:30 0:70:30 และ 80:20:0 ปรับปริมาณของแข็งในนมอยู่ที่ร้อยละ 15 ให้อุณหภูมิขาออกที่ระดับ 70, 80, 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียส ศึกษาองค์ประกอบที่ผิวของอนุภาคด้วยเครื่อง X-ray photo electron spectroscopy (XPS) และค่า Wetting properties พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาออกสูงขึ้น ที่ระดับของโปรตีน NMC: NWI: Lactose เท่ากับ 100:0:0 ปริมาณไขมันที่ผิวลดลงร้อยละ 5.3 และที่ระดับของโปรตีน NMC: NWI: Lactose เท่ากับ 70:0:30 ปริมาณไขมันที่ผิวลดลงร้อยละ 89 ในขณะที่สัดส่วนระหว่าง Lactose: Protein จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทดสอบหาค่า Wetting properties พบว่าผงที่มีองค์ประกอบของแลกโทสอยู่สูงจะมี wetting time สั้นกว่า เนื่องจากมีค่า Hygroscopic สูง

Kim *et al.* (2009) ศึกษาสภาวะของการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อองค์ประกอบที่ผิวของอนุภาคนมผง ศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนมที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออก (T_{in}/T_{out}) เท่ากับ 145/45 และ 205/105 และระดับของการโฮโมจิไนเซชั่น 2 และ 6 สเตท จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมมีผลต่อองค์ประกอบของโปรตีนและแลกโทสที่ผิว โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณของแข็งมากขึ้น จะทำให้มีปริมาณไขมันที่ผิวลดลง ปริมาณแลกโทสและโปรตีนที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการระเหยน้ำ การฟอร์มตัวของอนุภาคอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง เกิดอนุภาคที่มีความหนืด และมีขนาดใหญ่กว่าน้ำนมที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่าโดยที่ปริมาณของแข็งร้อยละ 10 และ 30 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 145 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส ปริมาณไขมันที่ผิวลดลงร้อยละ 11 และ 3 ตามลำดับ เมื่อศึกษาผลของการโฮโมจิไนซ์พบว่า การโฮโมจิไนซ์ที่ 6 สเตท จะให้ขนาดอนุภาคของไขมันที่เล็กกว่ามีค่าไขมันที่ผิว (Surface fat) ลดลง

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนรูป

การคืนรูปของอาหารแห้ง หมายถึงการดูดน้ำกลับคืนของอาหารแห้งเพื่อเข้าสู่สภาพเดิมคล้ายก่อนการทำแห้ง คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ละลายน้ำได้ทันที (Instant powder) ควรมีลักษณะคือ พื้นที่ในการดูดซับน้ำปริมาณมาก (Wettability) ทำให้ความสามารถในการจมตัว (Sinkability) และความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการละลายน้ำ (Solubility) ที่ดีตามมาซึ่งเป็นการต้านการตกตะกอน นอกจากนี้ความสามารถในการคืนตัว (Reconstitution) ยังขึ้นกับการจับตัวกับน้ำอีกด้วย (Barbosa-Cánovas และ Vega-Mercado, 1996) ขั้นตอนการคืนรูปของนมผงแสดงดังรูปที่ 9

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 9 (a) ขั้นตอนในการคืนรูปของนมผง (i) การเปียก (ii) การจม (iii) การกระจายตัว (iv) การละลาย (b) การกระจายตัวของนมผง

ที่มา: Baldwin and Pearce (2005)

2.4.1 ความสามารถในการเปียกน้ำ (Wettability)

ความสามารถของอนุภาคของผงในการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นกับขนาดและองค์ประกอบทางเคมีของผิวอาหาร อาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง ซึ่งการเปียกนี้มักจะมีแนวโน้มจับตัวกันเป็นก้อนแน่นโดยภายในยังคงมีผงอาหารที่แห้งอยู่ ทำให้น้ำซึมผ่านได้ลำบากและอัตราการดูดซับน้ำต่ำ ดังนั้นการเพิ่มขนาดอนุภาคโดยนำผงมารวมกันอย่างหลวมๆ (Agglomeration) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ดี ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมี เช่น การมีไขมันที่ผิวของอนุภาคจะขัดขวางการดูดซับน้ำ ดังนั้นในการเติมสารบางอย่างเพื่อเพิ่มความสามารถในการกระจายตัว (Surface active agent) เช่น เลซิทินซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เกิดการกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น

2.4.2 ความสามารถในการจมตัว (Sinkability)

ความสามารถของผงในการจมลงไปในน้ำหลังจากผงเกิดการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และถูกกระทบโดยความหนาแน่นของอนุภาค ความสามารถในการจมตัวของอนุภาคในน้ำขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของอาหารผง โดยพบว่าขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวอย่างรวดเร็วกว่าอนุภาคขนาดเล็กและเบา สำหรับอนุภาคที่มีอากาศภายในหรือมีโครงสร้างที่โปร่งจะมีความสามารถในการจมตัวได้ช้าหรือน้อยกว่า เนื่องจากอนุภาคมีความหนาแน่นและน้ำหนักที่เบาซึ่งจะลอยที่ผิวน้ำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.4.3 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersability)

ความสามารถของผงในการกระจายตัวโดยไม่เกิดเป็นก้อน อาหารจะละลายในน้ำได้ดีจะต้องกระจายตัวในน้ำได้ดีด้วย อาหารที่จะกระจายตัวได้ขึ้นกับพื้นผิว (Surface) และความหนาแน่น (Bulk density) ของอนุภาค แต่ถ้าอาหารรวมกันเป็นก้อนใหญ่การกระจายตัวจะเกิดขึ้นน้อยลง

2.4.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

อัตราการละลายหรือความสามารถในการละลายทั้งหมด ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมี ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่นของอนุภาค และสถานะทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิในการละลาย นมผงกระจายตัวในน้ำและเกิดการละลายขึ้น ในกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงซึ่งทำให้โปรตีนเสียสภาพ จะส่งผลให้ผงมีความสามารถในละลายน้ำต่ำลง (Baldwin and Pearce, 2005)

สมบัติทั้ง 4 ประการนี้จะมีผลต่อการคืนรูปของอาหารแห้งที่เป็นผง ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะต้องสมดุลกันถ้าสมบัติประการใดเปลี่ยนแปลงไปพฤติกรรมการคืนรูปของอาหารนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย ทั้งนี้สมบัติบางอย่างที่กล่าวถึง เช่น ขนาดของอนุภาคและความหนาแน่น อุณหภูมิ ความหนืด ปริมาณของแข็ง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงการฉีดพ่นเป็นฝอย เช่น ชนิดของหัวฉีด ความดัน หรือความเร็วที่ใช้ นอกจากจะมีผลต่อการคืนรูปแล้วยังส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นการปรับสภาวะเหล่านี้ให้เหมาะสมจะทำให้อาหารแห้งที่ได้มีการคืนรูปที่ดีขึ้น

2.5 การใช้วัตถุเจือปนอาหารในนมผง

วัตถุเจือปนในอาหาร (Food Additives) คือ สารที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ที่ได้มีการนำมาใช้ในอาหารอย่างเจตนาโดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 2) เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของอาหาร (Codex alimentarius commission, 1955)

คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ สาขาวัตถุเจือปนอาหารและสารปนเปื้อน (codex committee on Food Additives and Contaminants ; CCFAC , 1972) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ได้ให้คำจำกัดความว่า วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง สารซึ่งปรกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหาร หรือไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหารก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมทั้ง คุณลักษณะในด้านประสาทสัมผัส) กรรมวิธีในการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่งและอายุในการเก็บอาหารนั้น และมีผลหรืออาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้นกลายเป็น

Prince of Songkla University Pattani Campus

ส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึงสารปนเปื้อน หรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหาร

วัตถุเจือปนอาหารมีความสำคัญอยางยิ่งตออุตสาหกรรมอาหาร เช่น การชวยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การชวยใหอาหารมีคุณภาพใกลเคียงกับวัตถุดิบ หรือชวยในการปรับปรุงคุณภาพในดานสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ ดังนั้นการเลือกใชวัตถุเจือปนชนิดใดและในปริมาณเทาใด ใหเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ รวมถึงปญหาดานความปลอดภัย มาตรฐานและขอกำหนดของการใชวัตถุเจือปนในอุตสาหกรรมอาหาร (ตรี, 2551)

น้ำนมแพะมีองค์ประกอบของไขมัน โปรตีนและปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 3.72–4.17, 3.02–3.69 และ 12.39–13.03 ตามลำดับ เมื่อน้ำถูกดึงออกจากกระบวนการทำแห้งและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง องค์ประกอบเหล่านี้จะดูดความชื้นได้ง่าย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะที่ไม่เหมาะสม เช่น การเกิดเป็นกลุ่มก้อน มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว มีกลิ่นหืนและสีที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้มีระยะเวลาในการเก็บสั้นลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการใช้วัตถุเจือปนอาหารบางชนิดในการรักษาความคงตัวและปรับปรุงคุณภาพของนมผง

2.5.1 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

อีมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่มีโครงสร้างจับกับน้ำ (Hydrophilic) และจับกับไขมัน (Lipophilic) เป็นสารที่จะแทรกอยู่ที่ผิวระหว่างเม็ดไขมันและน้ำในเนื้อของผลิตภัณฑ์ ช่วยลดแรงตึงที่ผิวระหว่างผิวของน้ำและผิวของไขมัน ทำให้คงลักษณะอีมัลชั่นไว้ได้ ไม่เกิดการแยกชั้นเป็นชั้นไขมันกับชั้นน้ำ ส่วนประกอบของอิมัลซิไฟเออร์โดยส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสฟอลิปิด (Phospholipid) ที่ช่วยให้ความคงตัวกับผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำและน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งการทำให้ส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ต้องใช้อิมัลซิไฟเออร์ช่วยประสานให้น้ำและน้ำมันรวมตัวกันได้โดยไม่แยกชั้น อิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติได้แก่ เลซิทินในไข่แดง และในถั่วเหลือง อิมัลซิไฟเออร์สังเคราะห์ได้แก่ โมโนแซคคาไรด์และอนุพันธ์ โพรพีลีนไกลคอลเอสเทอร์ เช่น การเติมอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด มายองเนส ซอสและน้ำจิ้มบางชนิด อีมัลซิไฟเออร์ ที่นิยมใช้ได้แก่

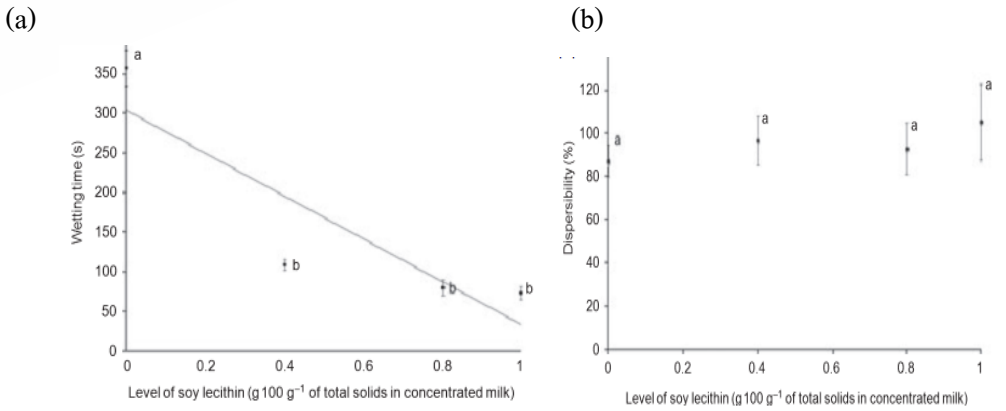
2.5.1.1 เลซิทิน (Lecithin) คือสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัส เรียกวา ฟอสโฟลิ-ปิด (Phospholipid) มีสารสำคัญคือ ฟอสฟาทิดิลโคลีน (Phosphatidyl choline) ฟอสฟาทิดิลเอทา-โนลามีน (Phosphatidyl ethanolamine) ฟอสฟาทิดิล อิโนซิตอล (Phosphatidyl inositol) และกรดฟอสฟาทิดิก (Phosphatidic acid) ผลิตภัณฑ์ของเลซิทินมีลักษณะทั้งที่ เป็นผง ของเหลวขนเหนียว และเป็นของแข็งซึ่งขึ้น เลซิทินเป็นสารผสมฟอสฟอลิปิดที่ได้จากถั่วเหลืองระหว่างวิธีสกัดน้ำมัน การใช้เลซิทินในผลิตภัณฑ์โปรตีนนมผง จะช่วยลดความหนืดและช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดการกระจาย

ตัวในน้ำได้ดี ละลายน้ำมากขึ้น และช่วยให้น้ำตาลและไขมันเข้ากันได้ดี ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้น (Vissotto *et al*., 2006)

2.5.1.2 โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ ทำหน้าที่ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและไขมันทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนองค์ประกอบในอาหาร เช่น อะไมโลสในแป้ง

เมื่อให้ความร้อนที่ระดับหนึ่ง (≥ 70 องศาเซลเซียส) ความร้อนจะทำลายโครงสร้างของเวย์โปรตีน ทำให้โปรตีนรวมตัวและตกตะกอน เกิดหมู่ Thiol group ซึ่งจะแสดงความไม่มีขั้ว (Hydrophobic) ออกมา แต่เมื่อเติมเลซิทิน เลซิทินซึ่งมีองค์ประกอบของฟอสโฟลิปิดจะเข้าไปดูดซับที่ผิวของโปรตีน (Livney *et al*., 2003) เกิดปฏิกิริยากับ หมู่ไฮโดรโฟบิก และ Thiol group ที่เกิดจากการเสียสภาพของเวย์โปรตีนที่อยู่ใกล้เคียง จึงยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเวย์โปรตีนและเคซีนไมเซลล์ ป้องกันการตกตะกอนของโปรตีนได้ (Corredig and Dalgleish, 1998)

Fonseca *et al*. (2011) ศึกษาผลของการใช้เลซิทินในการปรับปรุงคุณภาพของนมแพะผง โดยการเติมเลซิทินในน้ำนมแพะที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 40 ในระดับ 0.4, 0.8 และ 1.0 กรัม/100 กรัมของของแข็งทั้งหมด ทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราการพ่นกระจาย 1.0 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลูกบาศ์กเมตรต่อนาที ใช้หัวฉีด nozzle ขนาด 2 มิลลิเมตร อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 145 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 115 องศาเซลเซียส เก็บรักษาในถุง Poly Ethylene Terepthalate, aluminum, polyethylene (PET/AL/PE) ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของนมแพะผงหลังผลิต ผลของเลซิทินต่อเวลาการทำให้เปียกและค่าการกระจายตัวของนมแพะผงแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เวลาในการเปียก (a) และค่าการกระจายตัว (b) ของนมแพะผงที่เติมเลซิทินระดับต่างๆ (0.4, 0.8 และ 1.0 กรัม/100 กรัมของของแข็งทั้งหมด)

ที่มา: Fonseca *et al*. (2011)

เวลาการทำให้เปียกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในนมแพะผงที่ผ่านการเติมเลซิทินเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม โดยการเติมเลซิทินที่ระดับ 1.0 กรัม /100 กรัมกรัมของของแข็งในน้ำนม จะใช้เวลาการทำให้เปียกน้อยที่สุดที่ 72.8 วินาที ในขณะที่นมผงที่ไม่เติมเลซิทินจะใช้เวลาการทำให้เปียกที่ 356.3 วินาที เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการกระจายตัวของนมแพะผง พบว่าเมื่อปริมาณเลซิทินเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.4-1.0 กรัม/100 กรัมของของแข็งทั้งหมดจะส่งผลให้ความสามารถในการกระจายตัวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 87.2 -105.2

Le *et al*. (2007) ได้ศึกษาผลของการใช้เลซิทินไฮโดรไลเซทในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเวย์โปรตีนและเคซีนไมเซลล์เนื่องจากความร้อน โดยใช้โปรตีนไฮโดรไลเซท ที่มีผงเคซีนร้อยละ 5.5 (w/v) ผสมกับเวย์โปรตีนร้อยละ 2.75 (w/v) ในสารละลาย Imidazole buffer ศึกษาผลของระดับเลซิทินที่ ร้อยละ 0.15, 0.3 และ 0.5 ให้ความร้อนสารผสมเป็นเวลา 1, 5 และ 15 นาทีที่ 80 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า เลซิทินไฮโดรไลเซทสามารถป้องกันการรวมตัว (Aggregation) ของเคซีนไมเซลล์ออกจากเวย์โปรตีนเนื่องจากความร้อนได้ โดยเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของเคซีนไมเซลล์จะเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นต่ำสุดที่ระดับเลซิทินไฮโดรไลเซทร้อยละ 0.3 ผลการทดสอบความสามารถในการละลายน้ำพบว่า เมื่อร้อยละของเลซิทินไฮโดรไล-เซทสูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันและสูงสุดที่ระดับเลซิทินไฮโดรไลเซทเท่ากับร้อยละ 1

Fureby *et al*. (2007)ใช้สารเลซิทินเป็นสาร Surfactant ในการผลิตโปรตีนนมผงและแลกโทสผง โดยพบว่า องค์ประกอบที่พื้นผิวอนุภาคที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีผลต่อความว่องไวในการดูดความชื้น เมื่อเติมเลซิทินที่มี Polar lipid ร้อยละ 46.8 ผสมลงไปใน Skim milk powder, Whey protein concentrate และแลกโทสผงก่อนกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลการศึกษาด้วยเครื่อง Scanning electron microscope พบว่า แลกโทสผงที่ได้จะมีลักษณะทรงกลมสมบูรณ์และมีขนาดอนุภาคเล็กสุด มีความสามารถในการกระจายตัวมากกว่าโปรตีนผงทั้งสองชนิด เนื่องจากเลซิทินจะทำให้ค่า Specific surface area ลดลง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมผง (มอก. 391-2524) อนุญาตให้ใช้ เลซิทินปริมาณสูงสุดได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือร้อยละ 0.5 ในผลิตภัณฑ์นมผง

วัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ในการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวอยู่ตัวโดยไม่แยกตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ เราเรียกวัตถุเจือปนอาหารนั้นว่า สเตบิไลเซอร์ สารเพิ่มความคงตัวที่อนุญาตให้ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์นมผง ได้แก่ เกลือของโซเดียม โปตัสเซียมและคัลเซียมของกรดไฮโดรคลอริก กรดซิตริก กรดคาร์บอนิก กรดออร์โทฟอสฟอริก กรดพอลิฟอสฟอริก อย่างใดอย่างหนึ่งรวมกันไม่เกิน 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหรือร้อยละ 0.5 (มอก. 391-2524)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.2 สารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อน (Anticaking agent)

สารที่เติมลงในอาหารผงแห้ง เพื่อช่วยเก็บหรือดูดความชื้นไว้โดยที่สารนี้ไม่ชื้น สารนี้อาจไปรวมตัวกับน้ำในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือจับน้ำจากบรรยากาศที่เก็บอาหารก็ได้ อาจเป็นสารที่ไม่มีน้ำ หรือ อาจเป็นสารจับน้ำไว้ที่ผิว ซึ่งอาจมีลักษณะใกล้เคียงผลึกแต่ไม่ใช่ผลึก อาหารประเภทผงแห้งต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่มผง กาแฟผง ซุปผง มักพบปัญหาการรวมตัวเป็นก้อนแข็ง เมื่อเติมน้ำจะไม่ละลายหรือละลายได้ยาก การที่อาหารมีความชื้นเพิ่มขึ้นเกิดการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ได้ จึงต้องเติมสารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อน เพื่อทำให้อาหารคงสภาพเป็นผงแห้งอาหารที่ใช้วัตถุเจือปนกลุ่มนี้ได้แก่ ครีมเทียมผง กาแฟผง เครื่องดื่มผง น้ำตาลทรายชนิดผงละเอียด เจลาตินผง หัวหอมผง กระเทียมผง ซอสผง แป้งเค้กสำเร็จรูป ผงฟู

สารกันการรวมตัวเป็นก้อนที่อนุญาตให้ใช้ได้ผลิตภัณฑ์นมผง ได้แก่ ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซิลิเกตของอลูมิเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมอลูมิเนียม แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมฟอสเฟตไตรเบสิก (มอก.391- 2524) สารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารผงได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์และไตรแคลเซียมฟอสเฟต เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์สามารถละลายได้ในน้ำ มีลักษณะเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดความชื้นจำนวนมาก ประมาณร้อยละ 35-40 ของน้ำหนักตัวเอง (800 m^2/g) มีความคงตัวและมวลโมเลกุลสูง ไตรแคลเซียมฟอสเฟตสามารถดูดความชื้นได้ประมาณร้อยละ 4 ที่ 25 องศาเซลเซียส มักเติมลงไปในน้ำนมก่อนการพาสเจอไรส์หรือสเปรย์ดราย เพื่อป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนระหว่างการให้ความร้อน นอกจากนี้ฟอสเฟตช่วยป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนเนื่องจากกรดและสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ

Monagle *et al.* (2008) ได้ศึกษาค่าความสามารถในการกระจายตัวของนมผงที่ผ่านการเติมสารเลซิทินร้อยละ 1.4 และ Sipernat 22S (ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 98) ในปริมาณร้อยละ 0.6 พบว่า ค่าความสามารถในการกระจายตัวของนมผงที่เติมเลซิทินอย่างเดียวมีค่าการกระจายตัวเท่ากับร้อยละ 96.4 และนมผงที่เติมเลซิทินร่วมกับ Sipernat 22S มีค่าการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 98.9 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่าการกระจายตัวร้อยละ 73.3

2.5.3 มอลโตเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ทริน คือ สตาร์ชที่ผ่านการไฮโดรลิซิสบางส่วนด้วยกรด หรือ เอนไซม์ มอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า Dextrose equivalent (DE) น้อยกวา 20 ประกอบด้วย (1→4 และ 1→ 6) - α-D-glucopyranose-linked residues (Nickerson *et al*., 2006) คา DE คือ คา Reducing power ของพอลิแซคคาไรด์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากสตาร์ช เปรียบเทียบกับ D-glucose โดยน้ำหนักฐาน

แห้ง โดยปกติมอลโตเด็กซ์ทรินมีค่า DE น้อยกว่า 20 ขณะที่ Corn syrup solids มีค่า DE มากกว่า 20 มอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกัน จะมีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็งและความหนืด อย่างไรก็ตามมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE เหมือนกันอาจจะมีสมบัติต่างกันก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิส แหล่งของสตาร์ช (ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าว) และอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน (Klinkesorn *et al*., 2004) การเติมมอลโตเด็กซ์ทรินในสารละลายก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะช่วยลดการเหนียวติดพื้นผิวของเครื่องมือหรือเกาะกันเป็นก้อนกลม ดังนั้นมอลโตเด็กซ์ทริน จึงมักใช้เป็นตัวช่วยในการทำให้แห้ง (Adhikari *et al*., 2003) นอกจากนี้ มอลโตเด็กซ์ทรินยังเป็น Wall material ที่กักเก็บและป้องกันสารที่มีความไวต่อความร้อน (Onwulata, 2005) การเติมมอลโตเด็กซ์ทรินลงไปในน้ำมะม่วง ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้สามารถลดความเหนียวลงได้ (Cano-Chauca *et al*., 2005)

Prince of Songkla University Pattani Campus