



บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

นม (Milk)

ในทางอุตสาหกรรม นมคือ สิ่งที่ถูกรีดออกมาจากเต้านมของโค กระบือ แพะ และแกะ เป็นต้น ที่มีสุขภาพดีและต้องรีดในช่วงเวลาก่อนคลอด 15 วัน และหลังคลอด 5 วัน หรือจนกว่าจะปราศจากนมน้ำเหลือง (Colostrum) คุณค่าทางอาหารของนมจะแปรผันตามพันธุ์ ฤดูกาล อายุ อาหาร เป็นต้น (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524)

นมโค เป็นนมที่มีการบริโภคกันมากที่สุด นับเป็นแหล่งโปรตีน พลังงาน และเกลือแร่ที่สำคัญโดยเฉพาะโปรตีนนม ซึ่งมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน ทั้งยังเป็นแหล่งแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเป็นแหล่งของวิตามินเอที่สำคัญอีกด้วย (Goff และ Hill, 1992) องค์ประกอบของนมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบบางประการของนม (Swaisgood, 1985)

สารอาหาร	หน่วยต่อ 100 กรัม	% RDA ^a ใน 250 มิลลิลิตร
โปรตีน	3.29 กรัม	17.2
วิตามิน เอ	31 RE ^b	8.9
วิตามิน บี 1	0.94 มิลลิกรัม	4.2
วิตามิน บี 2	0.162 มิลลิกรัม	30.0
ไนอะซิน	0.85 NE ^c	13.9
แคลเซียม	119 มิลลิกรัม	32.0
ฟอสฟอรัส	93 มิลลิกรัม	25.0
แมกนีเซียม	13 มิลลิกรัม	10.2
เหล็ก	0.05 มิลลิกรัม	0.9

^a Average Recommended Dietary Allowance for all males and females above age 11

^b Retinol Equivalent : 1 µg retinol or 6 µg β- carotene.

^c Niacin Equivalent : 1 mg niacin or 60 mg dietary tryptophan.

โปรตีนในนม (Milk protein) สามารถแยกชนิดของโปรตีนในนมออกได้ด้วยวิธีของ Rowland (Goff และ Hill, 1992) ได้เป็น 3 ชนิด คือ

เคซีน (Casein) เป็นโปรตีนที่แยกด้วยการตกตะกอนนมที่พีเอช 4.6 มีปริมาณประมาณ 76 % ของโปรตีนในนม

เวย์โปรตีน (Whey protein) เป็นโปรตีนส่วนใหญ่ของนมเมื่อตกตะกอนเคซีนที่พีเอช 4.6 มีปริมาณ ประมาณ 18% ของโปรตีนในนม

Non-protein nitrogen (NPN) เป็นโปรตีนที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยโซเดียมอะซิเตด และกรดอะซิติก ที่พีเอช 5.0 มีปริมาณประมาณ 6 % ของโปรตีนในนม

เคซีน (Casein) เป็นโปรตีนที่พบได้ในนมเท่านั้น มีประมาณ 76-86 % ของโปรตีนในนม (Johnson, 1974) เคซีนเป็น คอนจูเกตเต็ด โปรตีน (Conjugated-protein) ประเภท “ฟอสโฟโปรตีน” (Phospho-protein) อยู่ในสภาพอนุภาคสารประกอบเชิงซ้อน (Complex particles) เรียกว่า ไมเซล (Micelles) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม ฟอสเฟต แมกนีเซียม และซีเตรท อยู่เป็นระบบหนึ่งของโปรตีนเคซีน ระบบของเคซีนมีชื่อที่นิยมเรียกกันคือ “แคลเซียม เคซีน - ฟอสเฟต คอมเพล็กซ์” (Calcium caseinate - phosphate complex) มีความสำคัญมาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้จะมีปฏิกริยากับความร้อน เกลือ กรด และเอ็นไซม์เรนิน ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่ตกตะกอนโปรตีนเคซีนของนม (Jenness และ Patton, 1959) จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า อนุภาคแคลเซียม เคซีน - ฟอสเฟต นี้มีขนาดแปรผันไม่แน่นอนมีรูปร่างค่อนข้างกลมเป็นรูปไข่ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-300 นาโนเมตร เฉลี่ยประมาณ 130 นาโนเมตร มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 107 - 109 ดาลตัน (Dalton) ไมเซล (Micelles) ประกอบด้วยโปรตีน ซึ่ง 92 % เป็น $\alpha_{s1}:\alpha_{s2}:\beta:k$ เคซีน อัตราส่วนเฉลี่ย 3 : 1 : 3 : 1 (Rosenthal, 1991) ระบบของแคลเซียม - เคซีนฟอสเฟตนี้ เป็นระบบที่สลับซับซ้อนมาก ยากต่อการศึกษาโครงสร้าง หรือรูปแบบที่แน่นอนได้ แต่ที่ทราบแน่นอนคือ สัดส่วนของแคลเซียม : ออแกนิกฟอสฟอรัส : อินอแกนิกฟอสฟอรัส เป็น 5 : 2 : 2 (Johnson, 1974) ซึ่งออแกนิกฟอสฟอรัส จะสร้างพันธะเอสเทอร์กับ Serine และ Threonine ของโปรตีน ส่วนอินอแกนิกฟอสฟอรัส จะอยู่ในรูปของไตรเคซีนฟอสเฟต (Tri - caseinate phosphate) อนุภาคของแคลเซียม - เคซีนฟอสเฟตนี้ เป็นระบบที่สมดุลกับซีรัมโปรตีนของนม ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนในซีรัม (Serum) เช่น การย้ายแคลเซียมออกจากซีรัมของนมโดยการแลกเปลี่ยนไอออน จะทำให้แคลเซียมจากอนุภาคเคซีนย้ายเข้ามาอยู่ในสารละลายที่เป็นซีรัมแทน (Jenness และ Patton, 1959) จากการศึกษาด้วยวิธี Electrophoresis พบว่า เคซีนประกอบด้วยโปรตีน ซึ่งเคลื่อนที่ออกมาด้วยความเร็ว ขึ้นกับขนาดของโมเลกุล และปริมาณ ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบและคุณสมบัติของเคซีน (Goff และ Hill, 1992)

Fraction	Molecular weight ^a	Proportion whole casein (%)	Serine-PO ₄ residues	Calcium sensitivity	Carbohydrate
Alpha _{s1}	23,000	38.1	7-9	++	-
Alpha _{s2}	25,000	10.2	10-13	+++	-
Beta	24,000	35.7	5	+	-
Gamma	11,600- 20,500	3.2	0 or 1	-	-
Kappa	19,000	12.8	1	-	+

^a Molecular weight of monomer.

แอลฟา-เคซีน (α_s -Casein) มีประมาณ 50-55 % ของเคซีนทั้งหมด เป็นเคซีนที่โมเลกุลใหญ่ที่สุดแบ่งเป็น α_{s1} -เคซีน, α_{s2} -เคซีน, α_{s3} -เคซีน เป็นต้น โดย α_s -เคซีนเหล่านี้ต่างกันในจำนวนกรดอะมิโนที่รวมกันเป็นโมเลกุล ทั้งนี้เนื่องมาจากพันธุกรรมของโค (Johnson, 1974) α_{s1} เป็นแอลฟา-เคซีนที่สำคัญ และมีปริมาณมาก ประกอบด้วย 2 Hydrophobic region คือ (residue ที่ 1-44 และ 90-199) และมี Polar region บริเวณ Residue ที่ 45 - 89 α_{s2} ประกอบด้วย Negative charge ใกล้บริเวณ N-terminal และ Positive charge ใกล้ C-terminal ทั้ง α_{s1} และ α_{s2} จะมีความไวต่อการตกตะกอนกับแคลเซียมไอออนมาก โดยเฉพาะ α_{s1} จะตกตะกอนเมื่อมีปริมาณแคลเซียมไอออนที่ความเข้มข้น 7 mM เท่านั้น (Goff และ Hill, 1992)

เบต้า-เคซีน (β - Casein) มีประมาณ 30-35 % ของเคซีนทั้งหมด มีส่วน hydrophilic region ที่บริเวณ N-terminal และมีส่วน Hydrophobic region ที่ปลาย C-terminal มีลักษณะคล้าย Detergent β -เคซีน จะมีความไวต่อการตกตะกอนกับแคลเซียมไอออนน้อยกว่า α_s -เคซีน แต่ที่อุณหภูมิต่ำ หรือที่พีเอชสูงๆ β -เคซีน จะแยกตัวออกเป็นโมเลกุลเดี่ยว (Monomer) ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าเคซีนตัวอื่น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงและพีเอชเป็นกลางจะรวมตัวเป็น Thread-like polymer

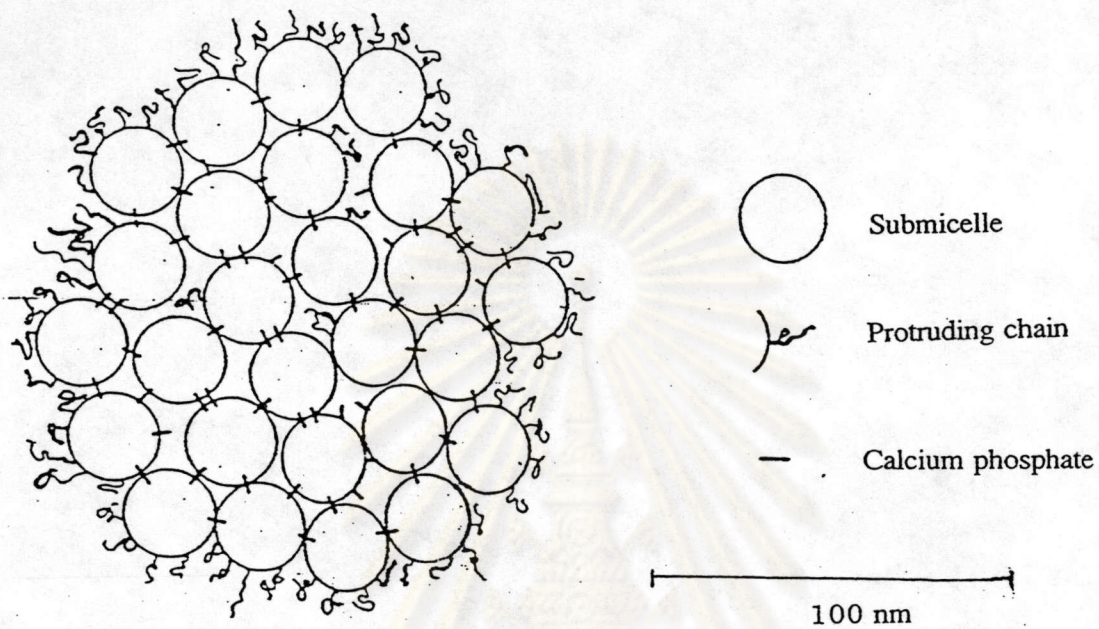
แกมมา-เคซีน (γ -casein) มีประมาณ 5% ของเคซีนทั้งหมด เกิดจากการสลายตัวของเบต้า - เคซีน ที่ตำแหน่ง C-terminal โดยอาศัยเอนไซม์ Casein-associated protease บางครั้งเรียก γ -casein ว่า Carboxyl terminal fragment of β -casein และที่ส่วนปลาย N-terminal เรียก Casein-subfraction หรือ Proteose peptone

แคปป์-เคซีน (κ -casein) มีประมาณ 15 % ของเคซีนทั้งหมด ไม่มีความไวต่อปฏิกิริยาดกตะกอนกับแคลเซียมไอออน แคปป์-เคซีน ประกอบด้วย โมเลกุลของแคปป์-เคซีน เอ และ แคปป์-เคซีน บี ทั้งสองชนิดต่างกันคือ กรดอะมิโนตำแหน่งที่ 136 ของแคปป์-เคซีน เอ เป็น Threonine ส่วนแคปป์-เคซีน บี เป็น Aspartic acid หรือ Alanine

โครงสร้างของเคซีนไมเซล

โครงสร้างที่แน่นอนของเคซีนหน่วยย่อย และไมเซล ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ได้มีการพยายามสร้างโมเดล จากข้อมูลการศึกษาของคัพระกอบของเคซีนไมเซล โดยดูลักษณะของไมเซลด้วย Electron microscope พบว่า รูปร่างของไมเซลมีลักษณะไม่กลมเท่าใดนัก โดยจะมีหน่วยย่อย (Submicelle) มารวมกันด้วยพันธะที่แข็งแรง (Ferrell และ Thomson, 1971) หน่วยย่อยที่อยู่ในไมเซล มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 10-15 นาโนเมตร มีจำนวนหน่วยย่อยระหว่าง 15-25 โมเลกุลต่อ 1 ไมเซล พันธะระหว่างโมเลกุลในไมเซลย่อย มีทั้งพันธะ Hydrophobic และ Electrostatic (Salt bridges) โดยปกติ α_{s1} และ β -เคซีน มีคุณสมบัติเป็น Hydrophilic (Schmidt, 1982) จากการศึกษาพบว่า ไมเซลย่อย จะมีทั้งชนิดที่มี κ -เคซีน และไม่มี κ -เคซีน (Walstra และ Jenness, 1984) ส่วนประกอบของ κ -เคซีน มีส่วนประกอบเป็น Carbohydrate มีบทบาทต่อความคงตัวและป้องกันการตกตะกอนด้วยแคลเซียม (Slattery, 1992) ทั้ง α_{s1} , β และ κ -เคซีน จะรวมตัวเป็นอนุภาคไมเซล มีลักษณะคล้ายฟองสบู่ (Soap like particles) มีอิสระในการเคลื่อนตัวมาก แต่เมื่อไมเซลย่อยถูกเชื่อมด้วย Colloidal Calcium Phosphate (CCP) แล้วทำให้ความสามารถในการยึดหยุ่นเกือบหมดไป พบว่าส่วนของ C-terminal ที่เป็น Hydrophilic ของ κ -casein จะหันออกจากแกนไมเซล (Micelle core) เข้าสู่สารละลายทำให้มีความยืดหยุ่นคล้ายขน (Holt และ Dalgleish, 1986) โดยมีความหนาของชั้นขนประมาณ 7 นาโนเมตร (Griffin และ Roberto, 1985)

ดังนั้น Watstra และ Jenness จึงจำลองลักษณะโมเดลของเคซีนไมเซลได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงโมเดลของเคซีนไมเซล (Watstra และ Jenness, 1984)

เวย์โปรตีนหรือซีรัมโปรตีน คือ โปรตีนนมที่เหลือจากการเอาตะกอนของเคซีนออกไปจากนมประกอบด้วยโปรตีนสำคัญ 3 ชนิดด้วยกันคือ

Albumin หรือ Lactalbumin

Globulin หรือ Immune globulin

Proteose-peptone หรือ Casein - subfraction

เวย์โปรตีนส่วนมากไม่ทนความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Globulin จะสูญเสียสมบัติทางธรรมชาติที่ 75 °เซลเซียส และ Albumin จะสูญเสียสมบัติทางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 65 - 66 °เซลเซียส (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524) แต่มีความสามารถละลายได้ดีที่พีเอชต่ำโดย β - Lactoglobulin สามารถละลายได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 3.7 เป็นต้น (Pearee, 1991) Marshall และ Harpers (1988) ได้แสดงคุณสมบัติของเวย์โปรตีนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและสมบัติของเวย์โปรตีน (Marshall and Harper, 1988)

ชนิดของโปรตีน	ปริมาณ (กรัม/ลิตร)	น้ำหนักโมเลกุล	Isoelectric point	ความคงตัวต่อ ความร้อน
β -Lactalbumin	3.3	18,400	5.35-5.49	ไม่ทนต่อ ความร้อน
α -Lactoglobulin	1.2	14,200	4.2-4.5	ไม่ทนต่อ ความร้อนมาก
Proteose-peptone	0.2	4,000-80,000	5.1-6.0	ทนความร้อน
Immune globulin	0.5	80,000- 900,000	5.5-8.3	ไม่ทนต่อ ความร้อนมาก

เกลือแร่ในนม

ความสำคัญของเกลือแร่ในนม

เกลือแร่ในนมมีความสำคัญในด้านคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสของนม โดยพบว่าแคลเซียมในนมอยู่ในสภาวะที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี นอกจากแคลเซียมแล้ว ยังมีฟอสฟอรัส ที่มีความสำคัญต่อร่างกาย ทั้งแคลเซียมและฟอสฟอรัสมีประโยชน์ในการเสริมสร้างกระดูกและฟัน ส่วนธาตุเหล็กและทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเกิดกลิ่นหืนของไขมันนมและกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ในนม (Undesirable flavour of milk) (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524)

นอกจากนี้เกลือแร่ในนมยังมีความสำคัญต่อ สภาวะทางฟิสิกส์ของโปรตีนนม (Physical state) และเสถียรภาพทางกายภาพของโปรตีนในนม (Physical stability of milk) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเคซีน จะคงตัวดีหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเกลือแร่ในนม การที่โปรตีนนมจะตกตะกอน ด้วยการทำปฏิกิริยากับเรนเนต หรือทำปฏิกิริยากับกรดย่อมขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบของเกลือแร่ในนมทั้งสิ้น (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524)

การจำแนกเกลือแร่ของนม (Classification of milk salts) (Johnson, 1974)

จำแนกตามปริมาณที่มีอยู่ในนม (According to quantity)

เกลือแร่ที่มีปริมาณค่อนข้างมากในน้ำนม (Major salts) ได้แก่ โปแตสเซียม แคลเซียม คลอไรด์ ฟอสฟอรัส เป็นต้น

เกลือแร่ที่มีปริมาณน้อย (Minor salts) เช่น แมกนีเซียม ซัลเฟต คาร์บอเนต เป็นต้น

เกลือแร่ที่มีปริมาณพอสอดได้ (Trace elements) เช่น เหล็ก เป็นต้น

เกลือแร่ที่มีปริมาณน้อยมาก (Very minute element) เช่น ทองแดง สังกะสี แมงกานีส เป็นต้น

เกลือแร่ที่ปนเปื้อนเข้ามาภายหลัง (Contaminants) เช่น อะซีนิก ตะกั่ว สตรอนเตียม ดีบุก เป็นต้น

จำแนกตามสถานะที่อยู่ในนม (According to forms of salt) จำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้คือ

● เป็นองค์ประกอบเชิงซ้อนของสารอาหารในนม (Complexes of milk constituents) เกลือแร่พวกนี้อยู่ในรูปที่คงที่ในนมไม่มีการเปลี่ยนแปลงโยกย้ายเฟส จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ไขมันนม ทำให้เกิดกลิ่นหืน ที่สำคัญมี 2 ชนิดคือ

- ทองแดง (Copper) พบว่า รวมอยู่ในโปรตีนนมและในเยื่อของเม็ดไขมันนม (Fat globule membrane) โดยประกอบเป็นสารเชิงซ้อนและทองแดงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนที่สำคัญมากของไขมันนม พบว่าในนม 1 ลิตร จะมีทองแดง 0.26 มิลลิกรัม (Johnson, 1974)

- เหล็ก (Iron) พบว่ารวมอยู่กับโมเลกุลของเยื่อเม็ดไขมันนมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และเหล็กจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนของไขมันนมเช่นเดียวกับทองแดง (Johnson, 1974)

● อยู่ในสถานะที่เป็นสารละลาย (True solution or soluble phase) เกลือแร่ประเภทนี้จะอยู่ในรูปของไอออน ในสารละลายได้แก่

- โซเดียมและโปแตสเซียมอยู่ในสภาพที่เป็น ไอออนบวก (Cation) เช่น Na^+ และ K^+

- คลอไรด์และซัลเฟต เมื่อละลายอยู่ในนม จะต้องแตกตัวเป็น ไอออนลบ (Anion) ทั้งหมด เช่น Cl^- และ SO_4^{2-} เนื่องจากเป็นเกลือของพวกกรดแก่ (Strong acid)

- เกลือของพวกกรดอ่อน (Weak acid) เช่น ฟอสเฟต ซิเตรท และ คาร์บอเนต จะอยู่ใน สภาพเป็นไอออนต่าง ๆ

● อยู่ใน 2 สภาวะ คือ ในสภาวะสารละลาย และ ในสภาวะแขวนลอย (Colloidal and Dissolved phase) จากการศึกษาถึงสมดุลทางฟิสิกส์ระหว่างเกลือแร่ต่าง ๆ ในนม เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเกลือแร่ในนม ทั้งในสภาวะสารละลายและในสภาวะสารแขวนลอย มี หลักการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ

Pressure ultrafiltration คือ การกรองแบบพิเศษโดยใช้ความดันอัดน้ำนม ให้ผ่านรูเล็กของกรวยกรองที่ทำด้วยกระเบื้องดินเผา และมีกระดาษกรองที่ทำด้วย “เซลโลเฟน” (Cellophane) รองเอาไว้ สามารถป้องกันอนุภาคแขวนลอยไม่ให้ผ่านไปได้

Equilibrium dialysis เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอยและอนุภาคสารละลาย

การใช้เครื่องเหวี่ยงรอบสูง (High speed centrifugation) เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอยออกจากอนุภาคสารละลาย

การใช้เอนไซม์ เรนินตัดตะกอนอนุภาคเคซีน เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอยออกจากอนุภาคสารละลาย

ในการศึกษานี้ต้องใช้ทั้ง 4 วิธีประกอบกัน จึงจะสามารถแยกเกลือแร่ในนมออกได้เป็น 2 เฟสดังกล่าว พบว่า 30 % ของแคลเซียม 30 % ของฟอสเฟต 75 % ของแมกนีเซียม และ 90 % ของซิเตรท อยู่ในสภาวะสารละลาย (ทองยศ อนกะเวียง, 2524) และตารางที่ 4 แสดงปริมาณเกลือแร่ที่อยู่ใน 2 สภาวะในนม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 การกระจายตัวของเกลือแร่ระหว่าง Colloidal phase และ Soluble phase (Vernam และ Suthurland , 1994)

	percentage	
	Soluble phase	Colloidal phase
Calcium total	33	67
Calcium (ionized)	100	0
Citrate	94	6
Magnesium	67	33
Phosphorus (total)	45	55
Phosphorus (inorganic)	54	46

เกลือแร่ที่อยู่ในสภาวะสารละลายจะต้องอยู่สมดุลกับเกลือแร่ในสภาวะแขวนลอยตามสัดส่วนเสมอ (Jeness และ Patton , 1959)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมดุลของเกลือแร่ในนม (Effect of various treatments on salt equilibria) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผลต่อสมดุลเกลือแร่ของนมมีดังต่อไปนี้ คือ

อุณหภูมิ (Temperature) นมโคเมื่ออยู่ในเต้านมจะมีอุณหภูมิเท่ากับร่างกายของโค คือประมาณ 37°เซลเซียส ที่อุณหภูมินี้เกลือแร่ของนมจะอยู่ในสมดุล แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าจะสูงหรือต่ำกว่า 37°เซลเซียส เกลือแร่จะเกิดการเสียสมดุล ดังนี้

เมื่อลดอุณหภูมิต่ำกว่า 37°เซลเซียส จะทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตย้ายจากเฟสแขวนลอย (Colloidal phase) ไปสู่เฟสสารละลาย (Dissolved phase)

Colloidal phase (Calcium, phosphate) → Dissolved phase
เมื่อลดอุณหภูมิต่ำกว่า 37°เซลเซียส

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 37°เซลเซียส จะทำให้อัตราการละลายของแคลเซียมฟอสเฟตลดลง ทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตจะย้ายจากเฟสสารละลาย ไปสู่เฟสแขวนลอย

Colloidal phase ← (Calcium, phosphate) Dissolved phase
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่ำกว่า 37°เซลเซียส

ความเป็นกรดของนม (Acidity of milk) ถ้าเพิ่มความเป็นกรดให้แก่นม ไม่ว่าจะเติมกรดลงไปโดยตรง หรือกรดจากแบคทีเรีย ที่ปนเปื้อนในนม แคลเซียมและฟอสเฟตจะย้ายจากเฟสแขวนลอย ไปสู่เฟสสารละลาย ถ้าพีเอชในนมลดลงถึงพีเอช 5.2 แคลเซียมและฟอสเฟตจะย้ายไปสู่เฟสสารละลายทั้งหมด และทำให้แคลเซียมไอออนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความคงตัวของเคซีนไมเซลลดลง

Colloidal phase (Calcium, phosphate) $\xrightarrow{\hspace{1cm}}$ Dissolved phase
เมื่อเพิ่มความเป็นกรดแก่นม

นอกจากพีเอชและอุณหภูมิจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลเกลือแร่แล้ว พีเอชยังมีผลต่อเคซีนไมเซลด้วย เช่นที่พีเอช 6.8-5.2 จะมีการแยกตัวของ α , κ , γ เคซีนเพิ่มขึ้นด้วย และที่อุณหภูมิ 4^o เซลเซียส พีเอช 6.8-4.9 การแยกตัวของ α s1- เคซีน จะมีน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 20 - 30^o เซลเซียส (Dalglish และ Law, 1988)

ความเข้มข้นของ CO₂ ถ้า CO₂ ระเหยจากนม ก็ทำให้ความเป็นกรดของนมลดลง จะมีผลทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตย้ายจากเฟสสารละลายไปสู่เฟสแขวนลอย

Colloidal phase (Calcium phosphate) $\xleftarrow{\hspace{1cm}}$ Dissolved phase
เมื่อลดความเข้มข้นของ CO₂

ความเข้มข้นของนม (Concentration of milk) กรณีที่ระเหยน้ำออกจากนม เช่น การทำนมข้นจืด จะทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียม-ฟอสเฟต และแคลเซียมซิเตรท ไปสะสมอยู่กับอนุภาคแขวนลอย มีผลทำให้ความเข้มข้นของซิเตรท และฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทั้ง 2 เฟส คือ ทั้งเฟสสารละลาย และเฟสสารแขวนลอย (Jeness และ Patton, 1959) มีผลทำให้ค่าพีเอชของนมลดต่ำลง

Sequestering agents และการแลกเปลี่ยนไอออน Sequestering agents ที่นิยมใช้กันมาก คือ พวกฟอสเฟต และซิเตรท ซึ่งเมื่อเติมลงไปแล้วจะไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมในเฟสสารละลายในนม เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ อนุภาคเคซีน-ฟอสเฟตที่อยู่ในนมในสภาวะแขวนลอยนี้ ไม่มีความเสถียร ต้องอาศัยการพุงไว้ด้วยประจุไฟฟ้าของอนุภาคเท่านั้น อีกประการหนึ่งเคซีนเองก็รวมตัวกับไอออนของพวกไดวาเลนต์ (Di-valent) เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียม การเติมสาร Sequestering agents เป็นการลดการรวมตัวกันของเคซีนกับไดวาเลนต์ไอออนที่เป็นสาเหตุของการตกตะกอนของโปรตีนนม มีผลทำให้นมทนอุณหภูมิสเตอริไลซ์ได้ดีขึ้น

(ทองยศ อเนกะเวียง, 2524) การแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้เรซิน เป็นการดึงแคลเซียมออกจากนมไปบางส่วน เป็นการเพิ่มเสถียรภาพของนมต่อความร้อน นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่ม Emulsification และ Foaming capacity ของนมด้วย (Burgess, 1982) เล็กน้อยก็ยอมทำให้อุณหภูมิเสถียรที่แขวนลอยอยู่ในชีร์มได้

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของอนุภาคเคซีน (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524) มีดังต่อไปนี้คือ

ความเป็นกรด และพีเอชของนม (Acidity of milk and pH) อนุภาคของเคซีนนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมาก การทำให้นมเป็นกรด ไม่ว่าจะโดยแบคทีเรียหรือการเติมกรดลงในนม จะทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตย้ายจากเฟสแขวนลอยไปสู่เฟสสารละลาย ถ้าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจนพีเอชเป็น 5.2-5.3 เคซีนจะเริ่มตกตะกอน แม้ว่าจะยังไม่ถึง Isoelectric point ของเคซีน แต่ไมเซล (Micelles) ของเคซีนไม่สามารถอยู่ตัวในสารละลายที่พีเอชนี้ ทั้งนี้เพราะไมเซลของเคซีนมีเกลือแร่อยู่ด้วยก็จะตกตะกอนที่พีเอช 5.2-5.3 ส่วนเคซีนที่ปราศจากเกลือแร่ (Mineral free casein) จะตกตะกอนที่พีเอช 4.6 การตกตะกอนเคซีนที่ปราศจากเกลือแร่ จะต้องค่อย ๆ เติมกรดโดยใช้เวลาให้นานขึ้น จากนั้นล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำ กระจายตะกอนในน้ำใหม่อีก และตกตะกอนซ้ำอีก จะได้ตะกอนที่ปราศจากเกลือแร่ แม้ว่าพีเอชจะยังไม่ถึง Isoelectric point เคซีนก็อาจตกตะกอนได้โดยปัจจัยอื่นที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การทำงานร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน และความร้อน เคซีนที่ตกตะกอนด้วยความร้อนจะตกตะกอนเร็วขึ้น เมื่อลดพีเอชของนมลงเพียงเล็กน้อย

เกลือและไอออนต่าง ๆ (Salts and Ions) ไมเซลของอนุภาคแคลเซียมเคซีน-ฟอสเฟตของนม จะตกตะกอนจากนมทันที ถ้าเติมเกลืออิมิตัวต่าง ๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์อิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตอิมิตัวครั้งหนึ่ง การตกตะกอนแบบนี้เนื่องจากการทำให้ประจุไฟฟ้าของอนุภาคเป็นกลาง (ไม่มีความต่างศักย์ หรือความต่างศักย์เป็นศูนย์) และเป็นการขับเอาน้ำออกจากอนุภาค การตกตะกอนเคซีนแบบนี้เรียกว่า Salting out และมักเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับ (Reversible) คือ โปรตีนจะกลับคืนในสภาพเดิมที่ละลายน้ำได้ เพียงแต่ทำให้เกลือเจือจางลงเท่านั้น แต่ในกรณีของการตกตะกอนด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่อิมิตัว ถ้าแช่ไว้นานเกิน 1 สัปดาห์แล้ว โปรตีนจะไม่กลับคืนสภาพเดิม นอกจากนี้อนุภาคเคซีนนี้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนของพวกไดวาเลนต์ในสารละลายมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นตัวควบคุมการกระจายตัวของอนุภาคเคซีน การทดสอบโดยการสะท้อนแสง ความขุ่น หรือโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม การกระจายตัวของอนุภาคเคซีนจะลดลงด้วย (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524) ความเข้มข้นของสารพวกไดวาเลนต์นี้ ยังเป็นเครื่องชี้ถึงการอยู่ตัวของอนุภาคเคซีนต่อปัจจัยอื่น ซึ่งได้แก่ความร้อนและ

เอนไซม์เรนิน ฟอสเฟตและซิเตรท ให้ผลตรงข้ามกับแคลเซียมและแมกนีเซียม เพราะว่า ฟอสเฟตและซิเตรท เมื่อเกิดการรวมตัวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้ว จะไม่แตกตัวเป็น ไอออน จึงมีผลต่อการลดลงของความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน โซเดียมและ โปแตสเซียม ก็มีผลในทางตรงข้ามกับแคลเซียมและแมกนีเซียม คือไอออนของโซเดียมและ โปแตสเซียม จะแตกตัวดีกว่าไคววเลนที่ไอออน ทำให้อนุภาคเคซีนอัมน์น้ำและกระจายตัวได้ดีขึ้น ในปี ค.ศ.1986 Sbonik ได้ทำการทดลองโดยการทำให้ Dialysis นมที่พาสเจอร์ไรซ์ที่ 85° เซลเซียส โดยปริมาณแคลเซียมในส่วนสารละลายจะลดลง และพบว่าปริมาณแคลเซียมในสารแขวนลอย เพิ่มขึ้นด้วย

อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature)

พบว่าเคซีนจะเสถียรภาพเมื่อลดอุณหภูมินมลงถึงจุดเยือกแข็ง และยังพบว่ามี การตกผลึกของแลคโตสด้วย ซึ่งการตกผลึกของแลคโตสนี้จะไม่พบในนมข้นจืด ซึ่งมีแลคโตส เข้มข้น เว้นแต่จะทำให้นมข้นจืดเย็นจัดที่อุณหภูมิ -5 °เซลเซียส แลคโตสจึงจะตกผลึกพร้อมกับการตกตะกอนของเคซีน ตามปกติแลคโตสในสารละลายนมจะดึงเอาแคลเซียมมารวมอยู่ด้วย เพื่อทำหน้าที่ให้ความคงตัว คือ ทำให้ระบบเคซีน-ฟอสเฟตอยู่ตัว แต่เมื่อแลคโตสตกผลึกจะ ปลดปล่อยแคลเซียมออกมา ทำให้ระบบเคซีนไม่คงตัว ปัจจุบันนี้การรักษาเสถียรภาพของระบบ เคซีนในนมข้นจืด นิยมทำกันโดยทำให้มนั้นเย็นให้เพียงพอในห้องเย็น หรือโดยการไฮโดร-ไลซ์แลคโตสที่มากเกินไปให้เป็นกลูโคสและกาแลคโตส หรือโดยการดึงเอาไอออนของแคลเซียม ออกจากนม ด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (ทองยศ อเนกะเวียง, 2524) การที่ปริมาณความเข้มข้น แคลเซียมในส่วนสารแขวนลอย/สารละลายลดลงจะเกิดตกตะกอนได้ง่ายขึ้น และปริมาณ แคลเซียมในส่วนสารแขวนลอย/สารละลายเพิ่มขึ้น นมมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น (Sbonik, 1986)

น้ำผลไม้ (Fruit Juice)

น้ำผลไม้ เป็นน้ำที่สกัดได้จากผลไม้ต่าง ๆ ตามปกติแล้วผลไม้ทุกชนิดในบ้านเราสามารถ นำมาทำน้ำได้แทบทั้งสิ้น และให้สี กลิ่น และรสชาติที่ดี น้ำผลไม้จัดว่าเป็นเครื่องดื่มที่ให้คุณค่า ทางโภชนาการแก่ร่างกาย และยังให้ร่างกายได้รับน้ำอย่างสมดุล สามารถทำให้อวัยวะต่าง ๆ ของ ร่างกายทำหน้าที่ได้ตามปกติ เพราะน้ำผลไม้อุดมวิตามินต่าง ๆ มากมาย อันมีความสำคัญต่อ ร่างกายมนุษย์ ซึ่งน้ำผลไม้ที่มักนำมาผสมกับนม เพื่อเป็นกลิ่น รส และที่เป็นยอมรับของผู้บริโภค นั้น ได้แก่ ส้ม สับปะรด เป็นต้น (สมชาย ประภาวดี, 2528) ตารางที่ 5 แสดงคุณค่า ทางโภชนาการของน้ำผลไม้ที่มักนำมาเป็นกลิ่นรสของนม ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ แปรผันตามพันธุ์ พื้นที่ปลูก ฤดูกาล เป็นต้น

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ใน 100 กรัม (กองโภชนาการ
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข , 2535)

สารอาหาร	น้ำสับประรด	น้ำองุ่นขาว	น้ำองุ่นแดง	น้ำแอปเปิ้ลแดง
คาร์โบไฮเดรต	13.0 ก.	12.1 ก.	14.3 ก.	15.2 ก.
โปรตีน	0.41 ก.	0.5 ก.	0.6 ก.	0.8 ก.
ไขมัน	0.03 ก.	0 ก.	0 ก.	0.2 ก.
แคลเซียม	10.8 มก.	9 มก.	11 มก.	8 มก.
เหล็ก	0.32 มก.	0.6 มก.	0.5 มก.	0.2 มก.
ฟอสฟอรัส	8.3 มก.	25 มก.	18 มก.	8 มก.
วิตามิน เอ	0.009 มก.	-	-	-
วิตามิน บี 1	0.006 มก.	0.02 มก.	0.03 มก.	0.02 มก.
วิตามิน บี 2	0.126 มก.	0.06 มก.	0.04 มก.	0.02 มก.
ไนอาซิน	0.25 มก.	-	0.2 มก.	0.1 มก.
วิตามิน บี 6	0.074 มก.	-	-	-
วิตามิน ซี	13 มก.	5 มก.	0 มก.	2 มก.
ความชื้น	86.42 %	86.7 %	84.5 %	83.5 %
พีเอช	3.5-3.8	3.10-3.15	3.27-3.30	3.60-3.65

ทุกวันนี้ คนไทยได้ให้ความสำคัญกับเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งนมและน้ำผลไม้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการผลิตเครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสของน้ำผลไม้ขึ้นมากมาย กลิ่นรสดังกล่าวนี้เกือบทั้งหมดได้มาจากการเติมกลิ่นรสสังเคราะห์ ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และให้กลิ่นรสที่ไม่เหมือนกลิ่นรสจากน้ำผลไม้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีผู้ทำการทดลองผลิตนมผสมน้ำผลไม้ขึ้น เพื่อที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสธรรมชาติและได้วิตามินของน้ำผลไม้ตามธรรมชาติ ปัญหาของนมผสมน้ำผลไม้คือ การแยกตัวของนมเมื่อมีการเติมน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงในปริมาณมาก จึงได้มีผู้ทดลองผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้ผสมนมและเครื่องดื่มนมผสมน้ำผลไม้ขึ้น โดยวิธีต่าง ๆ กัน

การผลิตเครื่องตีนมผสมน้ำผลไม้และเครื่องตีน้ำผลไม้ผสมนม

การนํานมมาผสมกับน้ำผลไม้ จะมีผลต่อโปรตีนของนม คือ เกิดการแยกตัว เพราะเมื่อนำน้ำผลไม้ที่พีเอชต่ำมาผสมกับนมจะทำให้นมมีพีเอชลดลง ถึง Isoelectric points ของโปรตีนนมทำให้เคซีนไมเซลของนมเกิดการแยกตัวขึ้นได้ ดังนั้นจึงมีผู้พยายามคิดวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวดังนี้

การใช้สารให้ความคงตัว (Stabilizer) ใช้ในการผลิตนมผสมน้ำผลไม้

ในปี ค.ศ. 1971 Shenkenberg, Chang และ Edmondson ได้ผลิตนมผสมน้ำส้มขึ้น โดยมีเป้าหมายว่า นมเป็นแหล่งโปรตีนและเกลือแร่ ส่วนน้ำส้มเป็นแหล่งของวิตามินและกลีเซอรอล โดยมี การเติมวิตามิน ซี เอ และดี ลงไปที่หลัง โดยวิตามินเหล่านี้จะไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏของเครื่องตี จากการทดลองนี้ผู้ผลิตได้ใช้ Carboxymethyl cellulose (CMC) เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโปรตีนนมที่พีเอช 4.7 ส่วนผสมของนมและน้ำส้มมีความหนืดน้อยกว่า 10 cps โดยมีขั้นตอนการผลิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของนมและส่วนของน้ำส้ม ในส่วนของนมจะนํานมที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °เซลเซียส มาผสมกับน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 11.8 °บริกซ์ ที่ 4 °เซลเซียส ผสมจนเข้ากัน นำมาผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ และโฮโมจิไนซ์ ที่อุณหภูมิ 70-75 °เซลเซียส ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และนำมาลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 4 °เซลเซียส ก่อนการบรรจุ โดยสูตรที่เหมาะสมจะมีส่วนของนมที่มีไขมัน 3.25% 56.8 ส่วน น้ำส้ม (11.8 °บริกซ์) 38 ส่วน น้ำตาล 5 ส่วน และ CMC 0.2 ส่วน ต่อมาในปี ค.ศ. 1978 Nishiyama ได้ผลิตนมผสมน้ำแอปเปิ้ล โดยใช้หลักการเดียวกัน แต่ใช้ CMC ในรูปของ Sodium carboxymethyl cellulose เพื่อป้องกันการตกตะกอนของนม และใช้ Aliphatic hydroxycarboxylic acid เช่น Lactic acid และ Citric acid เป็นต้น และ Syrup ในการปรับรสชาติ ในการผลิตจะใช้น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นเพื่อป้องกันการแปรผันด้านคุณภาพตามฤดูกาล โดยนำมาเจือจางในอัตราส่วน 1:3 - 1:5 โดยปริมาตรก่อนที่จะนำมาผสมกับนม ทดสอบเสถียรภาพของนมผสมน้ำแอปเปิ้ล ด้วยวิธี Boiling Test โดยใช้ผลิตภัณฑ์ 15 มล. มาให้ความร้อนใน Water bath เป็นเวลา 5 นาที ดูผลการเกิดตะกอนของผลิตภัณฑ์ ได้สูตรนมผสมน้ำแอปเปิ้ลที่เหมาะสมที่สุด คือ นม : น้ำแอปเปิ้ล : CMC : น้ำตาล ที่ให้ตะกอนน้อยที่สุด เท่ากับ 60 : 30-35 : 0.2 : 4.8 ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดตะกอนในปริมาณน้อยที่สุด และมีพีเอช 4.8 - 4.9 ในปี ค.ศ. 1980 Takahata ใช้ Locust bean gum ละลายในนมแล้วนำมาผสมกับน้ำผลไม้หรือกรดอินทรีย์และกลีเซอรอลของผลไม้ ปรับพีเอชของส่วนผสมให้ได้ 2.5-4.5 นำมาผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์และพาสเจอร์ไรเซอร์ ได้ผลิตภัณฑ์นมที่มีเสถียรภาพดีขึ้นเนื่องจาก Locust bean gum ช่วยป้องกันการตกตะกอนของนม ในการผลิตนี้มักใช้ Locust bean gum ร่วมกับ Pectin หรือ Agar โดยใช้ Locust bean gum ประมาณ 0.03 - 0.06 % โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงเกินไป และกลั่นที่ผู้บริโภคมักไม่ยอมรับเนื่องจากกลิ่นของ Locust bean gum โดยสูตรที่เหมาะสมคือ นม : น้ำแอปเปิ้ล คือ 2:1

การปรับ พีเอช ของน้ำผลไม้

ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ผสมนม สมชาย ประภาวัต (2528) ได้ผลิตนมผสมน้ำส้มเขียวหวานโดยใช้นม ซึ่งผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่ความดัน 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้วผสมกับน้ำส้มเขียวหวาน ซึ่งพาสเจอร์ไรส์ที่ 80 °เซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทำให้เย็นและปรับพีเอช เป็น 6.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักผสมในอัตราส่วนนมต่อน้ำส้มเขียวหวาน 1 ต่อ 3 โดยปริมาตร และใช้ High speed mixer ผสมให้เข้ากัน และพาสเจอร์ไรส์ที่ 80 °เซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จะได้น้ำส้มเขียวหวานผสมนม ส่วนการทำน้ำสับประดผสมนม จะใช้นมผสมกับน้ำสับประดในอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าการผสมนมกับน้ำสับประด ซึ่งต้มที่ 100 °เซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทำให้เย็นเพื่อกำจัดเอ็นไซม์โบรมิเลนในน้ำสับประด และปรับพีเอช เป็น 6.5 เช่นเดียวกับน้ำส้มเขียวหวานในอัตราส่วน 1 ต่อ 7 โดยปริมาตรแล้วใช้ High speed mixer ผสมให้เข้ากัน และพาสเจอร์ไรส์ที่ 80 °เซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จะได้น้ำสับประดผสมนม ทั้งน้ำส้มผสมนม และน้ำสับประดผสมนม จะเป็นที่ยอมรับในเรื่องสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส แต่มีข้อเสีย คือ เรื่องรสชาติ เพราะรสชาติเปรี้ยวและรสชาติไม่เป็นตามธรรมชาติของผลไม้ ส่วนในแง่คุณค่าทางอาหารของน้ำส้มเขียวหวานผสมนมมีโปรตีน ไขมัน และพลังงานเพิ่มขึ้น 187.50% 266.67% และ 13.63% ตามลำดับ ส่วนน้ำสับประดผสมนมมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และพลังงานเพิ่มขึ้น 118.75% 410% และ 1.46% ตามลำดับ คุณภาพของโปรตีนของน้ำผลไม้ผสมดีขึ้นกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้แต่เพียงอย่างเดียว

การใช้เวย์โปรตีน

ในปี ค.ศ. 1991 Pearee ได้มีการเติมเวย์โปรตีนลงในน้ำผลไม้ และเครื่องดื่มที่มีการเติมกรดและกลีเซอรอลของน้ำผลไม้ ในการทดลองผู้ทำการทดลองใช้ β -Lactoglobulin เพราะสามารถละลายได้ดีในช่วงพีเอชที่กว้างและทนต่ออุณหภูมิสูงเกิน 71 °เซลเซียส (Ruegg , 1977) ในส่วนของ α -Lactoglobulin จะเสียบสมบัติทางธรรมชาติที่อุณหภูมิสูงเกิน 55 °เซลเซียส ที่พีเอชต่ำกว่า 4.5 ดังนั้น จึงนิยมใช้ส่วนของ β -Lactoglobulin มาผสมกับน้ำผลไม้ที่มีพีเอชต่ำ ในช่วง 3.5 - 3.7 และมีการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ ในส่วนของปริมาณที่เติมผู้วิจัยได้กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 2.5% ต่อน้ำหนัก เพราะถ้ามีการเติมมากกว่านี้จะทำให้น้ำผลไม้มีลักษณะขุ่นได้

การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เป็นวิธีที่กำจัดไดวาเลนท์ไอออน ที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแยกตัวของนม เมื่อมีการผสมกับน้ำผลไม้ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถรักษาเสถียรภาพของนมได้ และยังสามารถใช้อัตราส่วนของน้ำผลไม้ในอัตราส่วนที่สูงได้ และยังคงรักษากลิ่นและรสชาติตามธรรมชาติของน้ำผลไม้ได้ (Efsthathiou, Dechaine และ Zoss, 1987) รายละเอียดและขั้นตอนการผลิตจะแสดงในหัวข้อ การผลิตน้ำผลไม้ผสมนมโดยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในนมและผลิตภัณฑ์นม

เรซิน (ข้อมูลจากเอกสารของบริษัทครีเอชั่นเซ็นเตอร์ จำกัด ,n.d.)

เรซินแลกเปลี่ยนไอออน คือ โพลีเมอร์สังเคราะห์ที่ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ โครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้ากับหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเรียกว่า “หมู่ฟังก์ชัน” โครงสร้างของเรซิน เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เรซินคงรูปร่างลักษณะอย่างที่เราพบอยู่ ไม่ละลายน้ำหรือเกิดการแตกหักง่าย ปัจจุบันนิยมสังเคราะห์โครงสร้างนี้จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวก “สไตรีน” (Styrene) โดยนำมาเชื่อมกันต่อกันเป็นสาย “โพลีสไตรีน” แล้วใช้ไดไวนิลเบนซีน (Divinylbenzene, DVB) มาทำหน้าที่เชื่อมประสานไขว้เกี่ยวสายโซ่เหล่านี้เข้าด้วยกัน (Cross-link) ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติขึ้น มีความโปร่งหรือความพรุนขึ้นในเนื้อเรซิน ปกติมักใช้ DVB 8-12% ซึ่งเป็นระดับที่เรซินเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี เพราะหากเรซินมี % DVB สูงเกินไป จะมีความพรุนต่ำ ทำให้มีน้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย เกิดการแตกหักของเม็ดเรซินได้ง่าย แต่ถ้ามมี % DVB ต่ำเกินไป จะทำให้มีความพรุนมาก ทำให้อมน้ำและสลายตัวง่าย เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำและไอออนขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน สามารถเข้าไปภายในโครงร่าง ทำให้เรซินเสีย เรียกว่าเกิด “Fouling” หมู่ฟังก์ชันของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรม และคุณสมบัติต่าง ๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนทำเรซินเกิดประจุบวกหรือลบขึ้น หมู่ฟังก์ชันและโครงร่างไฮโดรคาร์บอนจับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน ดังนั้นเรซินจึงต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงข้ามมาทำให้เรซินเป็นกลาง เรซินที่ผลิตใหม่ ๆ จะมี $\text{Na}^+, \text{H}^+, \text{Cl}^-, \text{OH}^-$ ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและหน้าที่ของไอออนเป็นสำคัญ

ประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid cation resin) เช่น Dowex MSC-1 ,Amberlite IR-120 เป็นต้น เรซินแบบกรดแก่ มี หมู่ซัลโฟนิก ($-\text{CSO}_3^- \text{H}^+$) เป็นหมู่ฟังก์ชันในการกำจัดไอออนบวกที่พบเป็นประจำในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม เป็นต้น มีข้อดีคือ ใช้ได้ดีกับน้ำหรือสารละลายในทุกช่วงพีเอช มีความคงทนในการใช้งาน เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว และทำให้เกิดการรั่วไหลของไอออนบวกที่ต้องการกำจัดน้อย เช่น แคลเซียม ข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพในการฟ้นกำลังค่อนข้างคงที่เท่ากับ 25-45% ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการฟ้นกำลังมาก

เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid cation resin) เช่น Rurolite C-105 เป็นต้น เรซินแบบกรดอ่อน มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) เมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรด ทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนกับเกลือของกรดแก่ เช่น $\text{NaCl}, \text{CaSO}_4$ เป็นต้นมีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพในการฟ้นกำลังสูง รวมทั้งทนต่อสารออกซิไดส์ เช่น คลอรีน โอโซน ได้ดีกว่าด้วย และยังมีกรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วได้มาก ถ้ามีการเปลี่ยนไอออนอิสระจากโซเดียมเป็นไฮโดรเจนแล้ว ปริมาตรจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการพองน้ำ

เรซินแบบเบสแก่ (Strong basic anion resin) เช่น Purolite A-200 เป็นต้น เรซินแบบเบสแก่ จะมีหมู่ฟังก์ชันเป็น Quaternary ammonium โดยเมื่อไอออนอิสระอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ (OH^-) สามารถกำจัดไอออนลบของสารอินทรีย์ต่างๆ ที่พบอยู่ในน้ำได้ทั้งหมด

เรซินแบบเบสอ่อน (Weak basic anion resin) เช่น Dowex MWA-1 เป็นต้น เรซินแบบเบสอ่อนมีหมู่ฟังก์ชันเป็นพวกอะมีนชนิด $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ สามารถกำจัดกรดแร่อิสระ เช่น Cl^- , H_2SO_4 , HNO_3 เป็นต้น ได้การฟื้นกำลังมีประสิทธิภาพสูงเกือบ 100 % ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีน้อย

การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในนมและผลิตภัณฑ์นม

Cosslett และ Watt (1959) ได้ใช้ Zeo-Karb 225 ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ในรูป Ca^{2+} กำจัด ^{90}Sr ซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสี ออกจากนม สารกัมมันตภาพรังสีนี้เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งที่ไขกระดูกและเม็ดโลหิตขาว สารกัมมันตภาพรังสีดังกล่าว มีครึ่งชีวิต (Half life) ประมาณ 30 ปี โดยจะไปมีผลต่อการสร้างกระดูกในวัฏจักรของแคลเซียม (Calcium pathway) วิธีการของ Cosslett และ Watt สามารถกำจัด ^{90}Sr ได้ 87-98 % และเมื่อใช้ Zeo-karb 225 ในรูป Na^+ สามารถกำจัด ^{90}Sr ออกได้ 35-98 % และต่อมาได้มีการนำวิธีนี้ไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยมีอัตราการไหลของนมผ่านเรซินเท่ากับ 450 ลิตร/ชั่วโมง และได้มีการขยายกำลังการผลิตถึง 5,700 ลิตร/ชั่วโมง ในเวลาต่อมาได้มีการผลิตนมผงจากนมที่ผ่านเรซินด้วย โดยการนำนมผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวก จนพีเอชของนมลดลงเหลือ 5.4 แล้วใช้ต่างปรับพีเอชให้ได้ 6.8 แล้วนำไปผ่านขบวนการ Spray drying เพื่อผลิตเป็นนมผงที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารกัมมภาพรังสีและโลหะหนัก นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม เช่น Cultured milk , เนยเหลว (Butter) , เนยแข็ง (Cheese) ในปี ค.ศ. 1968 Murthy ได้มีการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวก คือ Amberlite IR-120 ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Cultured milk โดยนำนมมาผ่าน IR-120 ก่อนผลิตเป็น Cultured milk เมื่อวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่า Cultured milk ที่ได้มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่า Cultured milk ที่ผลิตได้จากนมปกติ เมื่อวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า Diacetyl ในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่ง Cultured milk ที่มีปริมาณ Diacetyl สูงจะทำให้เกิดฟองในผลิตภัณฑ์และให้กลิ่นรสที่รุนแรงกับผลิตภัณฑ์ได้นอกจากนี้ Murthy ยังพบว่า เมื่อนำนมที่ผ่าน Amberlite IR-120 มา Churn เพื่อผลิตเนย จะได้เนยที่มีค่า Peroxide value ลดลง นอกจากนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่าโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ออกซิเดชันของไขมันลดลงและเมื่อนำนมที่ผ่าน Amberlite IR-120 มาผลิตเนยแข็ง (Cheese) โดยการตกตะกอนนมด้วยเอนไซม์เรนเนท เพื่อผลิตเป็น Cheddar cheese พบว่ารสชาติของเนยแข็งมีรสชาติที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1983 Salmon ได้นำนมผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวก เช่น Amberlite,

Duolite, Lewatite เป็นต้น จนนมมีพีเอชลดลงจนถึงพีเอช 4.0-4.4 แล้วนำมาผสมกับนมปกติจนได้พีเอช 4.6 นำมาผลิตเป็นเคซีนที่มีปริมาณกรด และเกลือแร่ต่ำ Riialand และ Barbier (1982) ผลิตเคซีนตามวิธีของ Salmon โดยควบคุมอุณหภูมิของนมให้ได้ 0-4 °เซลเซียส ทำให้นมที่ได้มีพีเอช 2.6-3.8 และมีแคลเซียมต่อฟอสเฟตน้อยกว่า 0.5 นำมาเติมลงในนมปกติจนมีพีเอช 4.6 เพื่อตกตะกอนโปรตีนเคซีนนม แล้วผลิตเป็นเคซีน ต่อมาในปี ค.ศ. 1985 ได้ผลิตเคซีนที่ได้เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง และในปี ค.ศ. 1987 Efstathiou, Dechaine และ Zoss ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการผลิตน้ำผลไม้ผสมนม พบว่า การเตรียมน้ำผลไม้ควรมีการนำเอา Tannin ออกจากน้ำผลไม้ก่อน เนื่องจากแทนนินมีคุณสมบัติในการทำให้โปรตีนรวมตัวกัน และตกตะกอนได้ง่าย ในกรณีที่ผลิตน้ำผลไม้ผสมนมระดับอุตสาหกรรม ควรใช้นมขาดมันเนย เพราะในขณะที่ผ่านคอลัมน์จะมีการสูญเสียไขมันนมตามช่องเรซินได้ หรือ อาจใช้ Macroporous type resin จะลดปัญหาดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามการใช้ Strong cation exchanger ในขณะที่นมผ่านคอลัมน์ด้วยความเร็วสูงจะทำให้เรซินมีการจับส่วนของ Lactoperoxidase และ Lactotransferrin ได้ และที่มีพีเอชต่ำกว่า Iso-electric point เวย์โปรตีนจะถูกจับโดย Anion exchanger (Aalbersberg, 1991) ทำให้นมมีปริมาณโปรตีนลดลงได้ การนำ Ca^{2+} ออกจากนม จะมีผลทำให้เกิดการแยกตัวของ β -เคซีน และ κ -เคซีน จากเคซีนไมเซล แต่ลักษณะทางกายภาพ ของนมยังคงปกติอยู่เมื่อมีการเติม Ca^{2+} ลงไปในนมจะทำให้เกิดตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว (Goff and Hill, 1992)

การผลิตน้ำผลไม้ผสมนมโดยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

Efstathiou, Dechaine และ Zoss (1987) ได้ผลิตนมผสมน้ำผลไม้โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งแบ่งกระบวนการผลิตเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- ขั้นตอนการเตรียมนม นำนมขาดมันเนย (ไขมันเนย 0.1 %) ซึ่งมีอุณหภูมิ 0-4 °เซลเซียสผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวก MSC-1 ของบริษัท Dow Chemical ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดกรดแก่ เพื่อนำเอา Ca^{2+} และ Mg^{2+} ออก ไม่ควรใช้ Whole milk เพราะจะเกิดการติดค้างของไขมันนมในคอลัมน์ของเรซินได้ ควรใช้นมขาดมันเนย แล้วเติมมันเนยลงไปทีหลัง เมื่อนำนมอุณหภูมิ 0 - 4 °เซลเซียส ผ่านเรซินชนิดบวก พีเอชของนมจะลดลงเป็น 3.2-1.9 และมีค่า Ca : P ของนมประมาณ 0.5 Chaplin (1984) พบว่านมปกติจะมีค่า Ca : P ประมาณ 1.58 ± 0.03 สำหรับอัตราส่วนของเรซินต่อนมควรใช้ประมาณ 1.0 : 5-15 w/v หลังจากผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวก แล้วนำไปผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดลบ MWA-1 พีเอชจะเพิ่มขึ้นเป็น 3.5-4.6 โดยปกติจะผ่านเรซิน จนนมมีพีเอช 4.1-4.4 การผ่านเรซินชนิดนี้เป็นการกำจัดฟอสเฟต ซิเตรต คลอไรด์ และไอออนลบอื่น ๆ ออกจากนม

- ขั้นตอนการเตรียมน้ำผลไม้ น้ำผลไม้ อาจใช้น้ำผลไม้เข้มข้น 45-70 °บริกซ์ โดยนำมาเจือจางให้เป็น 7-13 °บริกซ์ นำน้ำผลไม้ไปผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวกชนิดเดียวกับที่ไซโนนม พีเอชของน้ำผลไม้จะลดลงเป็น 2.5-1.8 หลังจากนั้นจึงนำไปผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดลบ พีเอชของน้ำผลไม้จะเพิ่มเป็น 8.0-11.0 หลังจากนั้นนำไปผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวกอีกทีหนึ่ง เพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชเริ่มต้น วิธีนี้ยังคงรักษารสชาติของน้ำผลไม้ให้เหมือนเดิมได้

- ขั้นตอนการผสม

น้ำนมและน้ำผลไม้ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถนำมาผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการโดยไม่ต้องเติม Emulsifier, Thickener, Flavour แต่อาจจะมีการเติม Vitamin, Flavour เพิ่มขึ้นได้แล้วแต่ความเหมาะสม โดยข้อได้เปรียบของกระบวนการนี้ คือ สามารถเติมน้ำผลไม้ในอัตราส่วนที่สูงได้ โดยนมไม่เกิดการตกตะกอน หลังจากนั้นก็นำไปผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ที่ความดัน 2,000-5,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 65.5-82.2 °เซลเซียส อาจนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือนำมาพาสเจอร์ไรส์บรรจุขวดเก็บในที่เย็น

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ควรนำมาใช้ คือ

Food grade cation exchange resin ที่แนะนำ มี H^+ counter ion

- Diamond Shamrock : Duolite C-20 Tm
- Dow Chemical : HCR - S - H - Tm
- Dow Chemical : MSC - 1 - H - Tm เป็น Macroporous type

Food grade anion exchange resin ที่แนะนำ มีหมู่ function เป็น OH^-

- Dow Chemical MWA-1 Tm เป็น Macroporous type
- Dow Chemical Dow-66 Tm

ในการผลิต Low-acid juice- milk beverage ได้ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดบวกและลบ คือ Dowex MSC-1 และ Dowex MWA-1 ตามลำดับ โดยการนำนมและน้ำผลไม้ผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนทั้งสองชนิด กรรมวิธีการผลิตโดยใช้เรซินนี้ สามารถแก้ไขการเกิดการแยกตัวของนมเมื่อผสมน้ำผลไม้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ต้องเติมสารให้ความคงตัว Emulsifier กลิ่นรสสังเคราะห์ ดังเช่นผลิตภัณฑ์นมผสมน้ำผลไม้อื่น ๆ ที่เคยผลิตมา