บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำนม (milk)

น้ำนมเป็นอาหารชนิดแรกที่ลูกอ่อนแรกคลอดของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจะต้องได้รับซึ่งเป็นของเหลวที่ได้มาจากเต้านมของสัตว์ชนิดนั้นๆ น้ำนมจึงเป็นอาหารที่มีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ครบถ้วนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่มีอยู่ในน้ำนม ได้แก่ น้ำ ไขมัน โปรตีน น้ำตาล วิตามินต่างๆ แร่ธาตุต่าง ๆ และสารประกอบอื่นๆ (นิธิยา, 2541)

น้ำนมที่หลั่งออกมาในช่วงแรกของการหลั่งน้ำนมจะเป็น น้ำนมน้ำเหลือง (colostrum) มีกลิ่นแรง รสขม มีสีเหลืองถึงเหลืองแดง จึงมีภูมิต้านทานโรคมากกว่าน้ำนมปกติ เนื่องจากมีโปรตีนบีต้าแลคโตกลอบูลิน (β-lactoglobulin) กลอบูลิน (globulin) และอัลบูมินมาก (albumin) และยังมีปริมาณเอนไซม์คะตะเลส (catalase) และเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) สูงด้วย น้ำนมน้ำเหลืองจึงมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างจากน้ำนมปกติ และมีลักษณะค่อนข้างข้นกว่า ระยะเวลาในการหลั่งน้ำนมน้ำเหลือง ประมาณ 4-5 วัน หลังจากนั้นในช่วง 5-10 วันจะเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง จากน้ำนมน้ำเหลืองเป็นน้ำนมปกติ สัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมแต่ละชนิดจะมีระยะการหลั่งน้ำนมเหลืองแตกต่างกันอยู่ในช่วง 1-5 วัน วัวและแพะมีระยะเวลาการหลั่งน้ำนมน้ำเหลืองสั้นกว่าสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมชนิดอื่น การเปลี่ยนแปลงจากน้ำนมน้ำเหลืองเป็นน้ำนมปกติ จะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมด้วย (นิธิยา, 2541) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

น้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ใช้เป็นอาหารสำหรับบำรุงเลี้ยงลูกอ่อนของสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งมีความต้องการสารอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้น น้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิดจึงมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงลูกอ่อนของสัตว์ชนิดนั้น ๆ เช่น ในน้ำนมวัวมีเนื้อนมรวม (Total solid) 12.4 % โปรตีน (Protein) 3.4 % ไขมัน (Fats) 3.7 % และน้ำตาลแลคโตส (Lactose) 5 % อีก 87.8 % เป็นน้ำ (วิโรจน์, 2546) ตารางที่ 2.2 แสดงการเทียบส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิด

น้ำนมของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิด นอกจากจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีววิทยาที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของกรดไขมัน จุดหลอมเหลว จุดเดือด ความไว (susceptibility) ต่อการเกิดออกซิเดชั่น กลิ่นรส และสมบัติของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนในน้ำนมของสัตว์แต่ละชนิด ก็ยังแตกต่างที่คุณค่าทางโภชนาการ ความไวหรือความทนต่อความร้อนและความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ (allergic) ต่อสัตว์ชนิดอื่น

ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมที่ได้จากสัตว์แต่ละชนิด ยังผันแปรไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น ชนิดของพันธุ์ สัตว์แต่ละตัว อาหาร ฤดูกาล อุณหภูมิ อายุของสัตว์ ระยะเวลาการให้นม และสภาวะของเต้านม สำหรับในทางเคมีนั้น น้ำนมเป็นของผสมที่มีคุณสมบัติซับซ้อนระหว่างไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ ไวตามินและส่วนประกอบปลีกย่อยชนิดอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ส่วนประกอบของน้ำนมแต่ละชนิดมีชื่อเรียกเฉพาะเช่น เรียกไขมันที่มีอยู่ในน้ำนมว่า ไขมันนมหรือไขมันเนย (butter fat) หรือส่วนประกอบทั้งหมดในน้ำนมทั้งหมดที่ไม่ใช่น้ำ เรียกว่า ของแข็งทั้งหมด (total solid) และเมื่อหักปริมาณไขมันนมออก ส่วนที่เหลือเรียกว่า ของแข็งปราศจากไขมัน (milk-solid-not-fat , MSNF) (สมพงษ์, 2528)

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมวัวขณะเปลี่ยนจากน้ำนมน้ำเหลืองเป็นน้ำนมปกติ

ระยะเวลาหลังจากเริ่มหลั่งน้ำนม	ส่วนประกอบทางเคมี						
	โปรตีนทั้งหมด %	เคซีน %	อัลบูมิน %	ไขมัน %	แลคโตส %	เถ้า %	ของแข็งทั้งหมด %
เริ่มแรกหลั่งน้ำนม	17.57	5.08	11.34	5.10	2.19	1.01	26.99
6 ชั่วโมง	10.00	3.51	6.30	6.85	2.71	0.91	20.46
12 ชั่วโมง	6.05	3.00	2.96	3.80	3.71	0.89	14.53
24 ชั่วโมง	4.52	2.76	1.48	3.40	3.98	0.86	12.77
36 ชั่วโมง	3.98	2.77	1.03	3.55	3.97	0.84	12.22
48 ชั่วโมง	3.74	2.63	0.99	2.80	3.97	0.83	11.46
72 ชั่วโมง	3.86	2.70	0.97	3.10	4.37	0.84	11.86
96 ชั่วโมง	3.76	2.68	0.82	2.80	4.72	0.83	11.85
120 ชั่วโมง	3.86	2.68	0.87	3.75	4.76	0.85	12.67
168 ชั่วโมง	3.31	2.42	0.69	3.45	4.96	0.84	12.13

ที่มา: นิธิยา (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมที่ได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดต่าง ๆ

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	น้ำ %	ไขมัน %	น้ำตาล %	โปรตีน %	เถ้า %
วัว	87.00	4.00	5.00	3.30	0.70
คน	87.41	3.78	6.21	2.00	0.30
แพะ	85.71	4.78	4.46	4.29	0.76
แกะ	83.00	5.30	4.60	6.30	0.80
ม้า	90.18	1.59	6.73	2.14	0.42
ลา	91.23	1.15	6.00	1.50	0.40
หนู	63.30	14.79	2.83	11.77	1.50
กระบือ	82.05	7.98	5.18	4.00	0.79
อูฐ	87.61	5.38	3.26	2.98	0.70
กวางเรนเดียร์	65.32	19.73	2.61	1.91	1.43
ลามะ (Llama)	86.55	3.15	5.60	3.90	0.80
สุกร	81.82	6.85	5.00	6.19	0.98
สุนัข	79.26	8.17	4.00	7.53	1.36
แมว	82.17	3.33	4.91	9.08	0.51
กระต่าย	69.50	10.45	1.95	15.54	2.56
ช้าง	68.00	19.60	8.80	3.10	0.50
ปลาวาฬ	70.10	19.60	-	9.50	1.00
สุนัขจิ้งจอก	81.88	5.42	5.11	-	0.88
ฮิปโป	90.43	4.51	4.40	-	0.11
ปลาโลมา (Dolphin)	48.76	43.71	-	-	0.46

ที่มา: นิธิยา (2541)

คุณภาพของน้ำนม ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำนมรวมทั้งสมบัติทางกายภาพ กลิ่นและรสชาติ สุขลักษณะ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะเอาน้ำนมชนิดนั้นๆ ไปใช้ประโยชน์ เช่น น้ำนมที่จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำไปใช้ผลิตเป็นเนยต้องมีปริมาณไขมันสูง ปริมาณของไขมันนมที่มีอยู่ในน้ำนมจะเป็นตัวกำหนดราคาของน้ำนม ส่วนน้ำนมที่จะเอาไปใช้ทำเนยแข็ง จะพิจารณาจากปริมาณโปรตีนและไขมันนม รวมทั้งปริมาณของแบคทีเรีย (bacterial content) ราคาของน้ำนมสำหรับผลิตเป็นเนยแข็ง จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของโปรตีน เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการผลิตสินค้าของผลิตภัณฑ์นมแต่ละชนิดต้องการน้ำนมที่มีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน

สำหรับน้ำนมที่นำมาแปรรูปเป็นน้ำนมพร้อมดื่มจะพิจารณาจากความสามารถในการย่อย โดยต้องเป็นน้ำนมที่สามารถย่อยได้ดี (high digestibility) ให้พลังงานสูง มีปริมาณโปรตีนสูงและเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ มีฮอร์โมนบางชนิด มีกลิ่นและรสชาติที่ดีด้วย สารประกอบบางชนิดอาจทำให้คุณภาพของน้ำนมเสียไปได้ เช่น การมีสารปนเปื้อนที่อาจเป็นอันตราย ได้แก่ สารกัมมันตรังสี หรือสารพิษที่ตกค้างที่สัตว์อาจได้รับจากพืช ปนออกมาในน้ำนมด้วย เป็นต้น น้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มนุษย์สามารถนำมาบริโภคได้ ได้แก่ น้ำนมวัว น้ำนมแพะ น้ำนมแกะ น้ำนมกระบือ และน้ำนมกวางเรนเดียร์ น้ำนมที่คนนิยมบริโภคมากที่สุด คือ น้ำนมวัว ในประเทศอินเดียคนนิยมบริโภคน้ำนมกระบือ ส่วนประเทศแถบยุโรปทางใต้คนนิยมบริโภคน้ำนมแพะ และน้ำนมแกะ โดยน้ำนมวัวจะนิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ เช่น ผลิตเป็นน้ำนมพาสเจอร์ไรซ์ น้ำนมโฮโมจีไนซ์ เนยแข็ง ไอศกรีม นมข้น นมระเหยน้ำ นมผง น้ำนมปรุงแต่งกลิ่น (flavouring milk) น้ำนมเสริมวิตามิน (fortifying milk) น้ำนมที่มีแร่ธาตุต่ำ (demineralizing milk) น้ำนมปราศจากน้ำตาลแลคโตส (lactose-free milk) และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่น ๆ (นิธิยา, 2541)

2.1.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อส่วนประกอบและปริมาณน้ำนม

ส่วนประกอบและปริมาณของน้ำนมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิด จะแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อส่วนประกอบและปริมาณของน้ำนมมีหลายประการ ได้แก่ (นรินทร์, 2531)

2.1.1.1 ความแตกต่างระหว่างพันธุ์วัว น้ำนมจากพันธุ์วัวที่แตกต่างกันมีส่วนประกอบและปริมาณแตกต่างกัน ส่วนประกอบที่แตกต่างกัน อย่างเห็นได้ชัดคือ ปริมาณไขมันในน้ำนม ปริมาณของไขมันในน้ำนมอาจจะผันแปรตั้งแต่ 3.55 % จนถึง 5.19 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของวัว ดังตารางที่ 2.3 นอกจากจะมีส่วนประกอบแตกต่างกันแล้ว วัวแต่ละพันธุ์ยังให้ปริมาณน้ำนมไม่เท่ากัน วัวพันธุ์ที่ให้น้ำนมสูงในปริมาณมากๆ จะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าได้แก่ วัวพันธุ์โฮล์สไตน์หรือพันธุ์ฟรีเชี่ยน (Holstein-Friesian) บราวน์สวิส (Brown Swiss) ส่วนพันธุ์เจอร์ซีย์ (Jersey) และเกิร์นซีย์ (Guernsey) จะให้น้ำนมปริมาณน้อยกว่า แต่ปริมาณไขมันสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัวไทยเป็นวัวที่เลี้ยงไว้สำหรับใช้แรงงาน เช่นลากไถ ลากเกวียน มีลักษณะตัวเล็ก ให้น้ำนมน้อยเพียงพอสำหรับเลี้ยงลูกเท่านั้น วัวที่ใช้รีดนมอยู่ในปัจจุบันเป็นวัวผสม วัวพันธุ์ที่นำมาผสมกับวัวไทยได้แก่ พันธุ์เรดซินดีห์ (Red Sindhi) จากอินเดีย พันธุ์โฮล์สไตน์ พันธุ์เจอร์ซีย์ พันธุ์บราวน์สวิส และพันธุ์เรดเดน (Red Dane) น้ำนมจากวัวไทยและลูกวัวผสมจะมีปริมาณไขมันค่อนข้างต่ำ คือประมาณ 2.5 % ถึง 3.0 % ปริมาณน้ำนมยังต่ำมาก เมื่อเทียบกับวัวพันธุ์นมแท้ ทั้งนี้เพราะการเลี้ยงดู อาหารที่ได้รับและภูมิอากาศที่ค่อนข้างร้อน

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของน้ำนมจากวัวพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์วัว	จำนวนวัว	จำนวนตัวอย่างน้ำนมของแต่ละพันธุ์	ไขมัน %	โปรตีน %	น้ำตาลแลคโตส %	เถ้า %
โฮล์สไตน์	19	268	3.55	3.42	4.86	0.68
บราวน์สวิส	17	428	4.01	3.61	5.04	0.73
แอร์ไชร์	14	208	4.14	3.58	4.69	0.68
เจอร์ซีย์	15	199	5.18	3.86	4.94	0.70
เกิร์นซีย์	16	321	5.19	4.02	4.91	0.74

ที่มา: นรินทร์ (2531)

2.1.1.2 ความแตกต่างเฉพาะตัว วัวแต่ละตัวให้ปริมาณน้ำนมที่ไม่เท่ากัน และส่วนประกอบของน้ำนมไม่เหมือนกันทั้ง ๆ ที่เป็นวัวพันธุ์เดียวกัน สาเหตุที่วัวแต่ละตัวให้น้ำนมที่มีส่วนประกอบและปริมาณต่างกันเพราะกรรมพันธุ์และสิ่งแวดล้อม กรรมพันธุ์ของการให้นม วัวแต่ละตัวได้รับการถ่ายทอดมาจากพ่อวัวและแม่วัวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว ส่วนสิ่งแวดล้อมได้แก่ อาหาร อากาศ เป็นวัวตัวเดียวกันถ้าได้รับอาหารดีอยู่ในอากาศที่เหมาะสม จะให้น้ำนมได้ปริมาณมากๆ และปริมาณของไขมันก็อาจจะสูงด้วย แต่ถ้าวัวตัวนั้นได้อาหารไม่ดี อยู่ในที่มีอากาศไม่เหมาะสม เช่น อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนจัด วัวจะให้นมน้อยลงและปริมาณไขมันอาจจะต่ำลงด้วย

2.1.1.3 อาหารที่แม่วัวได้รับ อาหารหลักของแม่วัวคือ หญ้าสด แม่วัวจะให้น้ำนมสม่ำเสมอถ้าได้รับหญ้าสดตลอดปี แม่วัวที่ให้น้ำนมมักจะได้รับอาหารเสริมเพิ่มเติม หญ้าสดมีผลต่อปริมาณไขมันในน้ำนม มีผลการทดลองแสดงว่า แม่วัวที่ได้รับหญ้าสดลดลงเพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงถึง 0.5 % โดยส่วนประกอบอื่นๆ จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แม้ว่าแม่วัวได้รับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารไม่เพียงพอ สุขภาพทั่วไปของแม่วัวจะไม่สมบรูณ์นัก เพราะเป็นกลไกธรรมชาติที่ร่างกายพยายามดึงสารอาหารในร่างกายของแม่วัวมาเปลี่ยนเป็นน้ำนมเพื่อให้ลูกกิน

การเลี้ยงวัวของประเทศประเทศไทย จะประสบการขาดแคลนหญ้าสดอย่างมากในฤดูแล้ง วัวจะได้รับอาหารที่ไม่มีคุณภาพคือฟางข้าว ทำให้แม่วัวไม่เจริญเติบโต และถ้าเป็นวัวนมก็จะให้น้ำนมได้น้อย มีเกษตรกรที่มีการเตรียมแปลงหญ้าให้แก่วัวนมอยู่เพียงกลุ่มน้อย ส่วนใหญ่จะอาศัยหญ้าที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ และในฤดูร้อนก็ไม่มีการเตรียมอาหารสำรอง เช่นการทำหญ้าหมักไว้ให้วัว ในต่างประเทศ เช่น ประเทศในตะวันตกจะมีการพัฒนาด้านการเลี้ยงวัวมาก วัวจะได้รับอาหารอย่างเพียงพอมีคุณภาพและตลอดปี จึงทำให้วัวสามารถให้น้ำนมที่มีมากทั้งปริมาณและคุณภาพตลอดปี

2.1.1.4 ฤดูกาล ในประเทศตะวันตกมีอุณหภูมิของอากาศแตกต่างกันมาก ในฤดูหนาวอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของน้ำนมจะไม่เปลี่ยนแปลงมากในฤดูหนาว แต่ในฤดูร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงมากพบว่าไขมันในน้ำนมลดลง ประมาณ 0.4-0.5 %

ในประเทศไทยมีอากาศร้อนเกือบตลอดปี ทำให้วัวที่เป็นพันธุ์มาจากประเทศตะวันตกปรับตัวให้เข้ากับอากาศร้อนไม่ได้ ทำให้วัวพันธุ์แท้มีสุขภาพไม่ดี เป็นโรคเจ็บป่วยง่ายทำให้การให้น้ำนมลดลงประกอบกับอาหารที่ได้รับในฤดูกาลต่างๆ ไม่เท่ากัน เช่นในฤดูร้อนไม่มีหญ้าสดให้วัว ทำให้ปริมาณน้ำนมลดลงและส่วนประกอบของน้ำนมจะเปลี่ยนแปลงด้วย

2.1.1.5 ระยะเวลาของการให้น้ำนม แม่วัวตัวหนึ่ง ๆ มีระยะการให้น้ำนมที่แตกต่างกัน แม่วัวที่ให้น้ำนมดีอาจจะให้น้ำนมมากกว่า 300 วันขึ้นไป แต่ถ้าแม่วัวได้รับอาหารไม่สมบรูณ์อาจจะให้เพียง 150 วัน ในระยะของการให้น้ำนมนั้น ส่วนประกอบของน้ำนมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่นในระยะ 7 วันแรกแม่วัวจะให้น้ำนมที่มีสีเหลืองมากกว่าปกติ เพราะมีสารที่เรียกว่า น้ำนมน้ำเหลือง (colostrum) ซึ่งจำเป็นสำหรับลูกวัวแรกเกิด ต่อจากนั้นก็จะให้น้ำนมปกติจนถึงตอนท้ายๆ ของการให้น้ำนม ส่วนประกอบจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่มามากเท่ากับระยะต้น ๆ ของการให้น้ำนม

2.1.1.6 เวลาของการรีดนม ปกติจะรีดน้ำนมวัววันละ 2 ครั้ง คือเช้ากับเย็น น้ำนมที่รีดจากวัวตัวเดียวกันแต่ต่างเวลากันจะมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณและส่วนประกอบ ปริมาณของน้ำนมที่รีดตอนเช้าจะได้มากกว่า แต่ปริมาณไขมันจะต่ำกว่าน้ำนมที่รีดตอนบ่าย ช่วงเวลาของการรีดในตอนเช้าจะยาวนานกว่าเวลาของการรีดในตอนบ่าย คือตอนเช้าจะรีดน้ำนมเวลาประมาณ 5 นาฬิกา ตอนบ่ายเวลาประมาณ 15 นาฬิกา ดังนั้นช่วงเวลาในตอนกลางคืนจะยาวกว่า คือประมาณ 14 ชั่วโมง ในขณะที่ช่วงเวลากลางวันเพียง 10 ชั่วโมง มีการทดลองรีดน้ำนมให้มีเวลาห่างเท่ากัน แต่ปริมาณและส่วนประกอบน้ำนมก็ยังคงแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1.7 การรีดน้ำนม การปล่อยน้ำนมของแม่วัวเป็นกลไกที่มีต่อมต่างๆ เกี่ยวข้องหลายต่อม วัวจะปล่อยน้ำนมเมื่อถูกกระตุ้นที่บริเวณเต้านม แต่จะหยุดปล่อยน้ำนมเมื่อตกใจ ดังนั้นคนรีดนมจะต้องระมัดระวังที่จะไม่ให้แม่วัวตกใจในขณะที่กำลังรีดน้ำนม การรีดน้ำนมไม่หมดเต้าจะทำให้การผลิตน้ำนมน้อยลงไป ในประเทศตะวันตกจะใช้เครื่องมือรีดน้ำนมเป็นส่วนมากจึงไม่มีปัญหา การรีดน้ำนมไม่หมดเต้าคนรีดน้ำนมใหม่ๆ มักจะทำให้แม่วัวรำคาญเพราะบีบหัวนมแรงเกินไปหรือรีดน้ำนมช้าเกินไปทำให้ได้น้ำนมน้อยกว่าคนที่รีดที่มีความชำนาญ

2.1.1.8 สุขภาพของแม่วัว แม่วัวจะให้น้ำนมอย่างสม่ำเสมอถ้าแม่วัวมีสุขภาพดี โรคเต้านมอักเสบเป็นโรคที่ทำให้แม่วัวให้น้ำนมลดน้อยลงและถ้าเป็นมากๆ เต้านมจะไม่สามารถสร้างน้ำนมได้เลย วัณโรคเป็นโรคที่สามารถติดต่อถึงคนได้โดยผ่านไปในน้ำนม ดังนั้นสุขภาพของแม่วัวจึงมีผลโดยตรงต่อการให้น้ำนมของแม่วัว

2.1.1.9 อายุของแม่วัว แม่วัวที่สุขภาพดีได้รับการเลี้ยงดูดี จะให้น้ำนมได้นานถึง 12 ปี ในปีแรกๆ ของการให้น้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนมจะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ถ้าให้น้ำนมไปนานๆ ปริมาณของน้ำนมและไขมันจะลดน้อยลงไป

2.1.1.10 ความแตกต่างเนื่องจากวิธีวิเคราะห์ การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมแต่ละชนิด มีวิธีการวิเคราะห์แตกต่างกัน เช่นการหาปริมาณไขมัน มีวิธีของแบบคอค (Babcock) เกอร์เบอร์ (Gerber) หรือ โมจอนเนียร์ (Mojonier) แม้ว่าจะวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน แต่ถ้าใช้วิธีต่างกันผลการวิเคราะห์อาจจะได้รับแตกต่างกันด้วย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ ที่อาจจะทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันก็คือ ผู้ที่ทำการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์มักจะเกิดขึ้นเสมอ นอกจากนั้นความละเอียดของนักวิเคราะห์ไม่เท่ากัน บางคนละเอียดมาก บางคนหยาบมาก อาจจะมีผลต่อการวิเคราะห์ได้

น้ำนมจากวัวจะมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมา ไม่มีปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ในน้ำนมที่เป็นค่าที่แน่นอน แต่ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ จะพิจารณาโดยประมาณ เนื่องจากในอุตสาหกรรมนั้น มักจะมีการรวบรวมน้ำนมมาจากฟาร์มแหล่งการผลิตที่หลากหลาย ดังนั้นข้อแตกต่างเหล่านี้จะเฉลี่ยกันไป ทำให้องค์ประกอบที่ได้ไม่แตกต่างกันมากเกินไป นั่นคือน้ำนมประกอบด้วยน้ำ 87.1 % ไขมัน 3.9 % โปรตีน 3.3 % แลคโตส 5.0 % แกลือแร่ 0.7 % (เป็น MSNF 9.0 % ของแข็งทั้งหมด 12.9 %) การประมาณราคาของน้ำนมในการซื้อขายขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันนมเป็นหลัก นอกจากนั้นปริมาณ MSNF เป็นตัวรองลงมาและปริมาณของแข็งในนมยังใช้เป็นตัวบอกถึงปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์นมอื่นๆ โดยประมาณ อย่างไรก็ตามกฎหมายและพระราชบัญญัติของแต่ละประเทศจะกำหนดปริมาณขององค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างๆ ในน้ำนม โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำนมมีปริมาณไขมันไม่น้อยกว่า 3.25 % และปริมาณ MSNF ไม่น้อยกว่า 8.5 % (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

น้ำนมเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in water, o/w) ส่วนของน้ำหรือเรียกว่า continuous phase ประกอบด้วยสารที่เป็นทั้งคอลลอยด์และสารที่ละลายได้ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมองเห็นไขมันมีลักษณะเป็นเม็ด ๆ (globules) เมื่อใช้กล้องกำลังขยายสูงๆ จะเห็นอนุภาคของสารคอลลอยด์ เป็นพวกเคซีนไมเซลล์ (micelles) ส่วนที่ละลายได้ดีคือแลคโตสและเกลือแร่ ส่วนประกอบของน้ำนมรวมกับเม็ดไขมันจะเรียกรวมกันว่าพลาสมาในนม (milk plasma) และส่วนของน้ำนม เม็ดไขมันรวมทั้งเคซีนไมเซลล์จะรวมกันเรียกว่าเวย์ (whey) หรือซีรัม (serum)

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำนม

น้ำนมประกอบด้วยองค์ประกอบเหล่านี้คือ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

2.1.2.1 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดรองลงมาจากน้ำในร่างกายของคน เป็นสารที่มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโต ถ้าขาดหรือได้รับไม่เพียงพอจะทำให้ร่างกายมีความต้านทานโรคน้อยลง การเจริญเติบโตลดลง โปรตีนประกอบขึ้นด้วยกรดอะมิโนหลายๆ ชนิดรวมกัน ในวันหนึ่ง ๆ ควรได้รับโปรตีนประมาณ 2 กรัมต่อ 1 กก. ของน้ำหนักของร่างกาย ซึ่งอาจจะได้จากอาหารที่มีโปรตีนสูงคือ เนื้อสัตว์ๆ หางนมผง เนยแข็ง น้ำนม และไข่ โดยโปรตีนในน้ำนมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. เคซีน (casein) ซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุดในนม สามารถแยกออกมาได้จากการตกตะกอนนมโดยการเติมกรดจน pH ของนมเป็น 4.6-4.7 เคซีนในนมมีประมาณ 80 % ของโปรตีนทั้งหมดและปริมาณนี้แตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ของสัตว์ เคซีนยังประกอบไปด้วยโปรตีนย่อยๆ อีกอย่างน้อย 3 ชนิด ที่รู้จักคือ แอลฟ่า (α-), บีต้า (β-) และ แคปป้า-เคซีน (κ-casein) ซึ่งมักจะรวมตัวกับธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสเกิดเป็นสารคอลลอยด์ที่ทำให้นมมีลักษณะขุ่นขาว นอกจากการตกตะกอนด้วยกรดแล้ว ยังจะสามารถแยกเคซีนโดยการใส่เอนไซม์บางอย่างเช่น เรนนิน (rennin) ทำให้ได้โปรตีนที่ออกมามีคุณสมบัติเท่าเดิมและกลายเป็นอาหารชนิดใหม่คือ เนยแข็ง ในการผลิตเคซีนผงนั้นใช้วิธีตกตะกอนหางนมด้วยกรดเจือจางหลายอย่างเช่น กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) หรือกรดแลคติก (lactic acid) หลังจากล้างกรดออกนำมาปั่นและทำให้แห้งหรืออาจจะตกตะกอนด้วยเรนนิน โดยทั่วไปแล้ว เคซีนผงใช้เป็นอาหาร ทำกาว สารเคลือบกระดาษ พลาสติกหรือเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. โปรตีนเวย์ (whey proteins) เมื่อตกตะกอนเคซีนออกจากนมแล้ว น้ำเหลวๆ ที่เหลือประกอบไปด้วยโปรตีนอีกหลายชนิดที่ละลายอยู่ที่สำคัญได้แก่ แลคตอลบูมิน (lactalbumin) และแลคโตกลอบูลิน (lactoglobulin) สำหรับแลคตอลบูมินนั้นมีปริมาณมากรองลงมาจากเคซีน เป็นโปรตีนที่ตกตะกอนได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน ดังนั้น การให้ความร้อนแก่นมอาจทำให้โปรตีนนี้ตกตะกอนออกมาบ้าง และยังสามารถแยกโปรตีนนี้ออกมาได้โดยการตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) ส่วน แลคโตกลอบูลินนั้นไม่สามารถละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือเจือจาง เป็นโปรตีนที่มีความสามารถในการให้ความต้านทานแก่ร่างกาย เนื่องจากประกอบไปด้วย อิมมูโนกลอบูลิน (immunoglobulins)

2.1.2.2 ไขมัน

ไขมันจะอยู่ในรูปของเม็ดไขมัน (globules) เม็ดไขมันมีขนาดเล็กมากและเล็กกว่าแบคทีเรีย ขนาดของเม็ดไขมันมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1-20 ไมครอน โดยเฉลี่ย 3 ไมครอน ในขณะที่แบคทีเรียมีความยาว 2-5 ไมครอนโดยทั่วไปน้ำนมที่มีปริมาณไขมันสูงประกอบด้วยเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าค่าเฉลี่ยเช่น น้ำนมที่ได้จากวัวพันธุ์เจอร์ซีย์และเกิร์นซี ผนังหรือผิวของเม็ดไขมันประกอบไปด้วยโปรตีนและสารพวกฟอสฟอลิพิดยึดแน่น ที่ทำให้ผิวเม็ดไขมันแต่ละอันไม่รวมตัวกลายเป็นกลุ่มไขมันหรือชั้นของครีมขึ้น ถ้ามีการคนหรือเขย่าแรงๆ พื้นผิวนี้จะแตกออกทำให้เม็ดไขมันรวมตัวกันง่ายขึ้นกลายเป็นเนยเหลว โดยไขมันในนมประกอบขึ้นด้วยกลีเซอรอล (glycerol) ประมาณ 12.5 % และกรดไขมัน 85.5 % โดยน้ำหนัก ซึ่งทั้ง 2 อย่างนี้จะรวมตัวกันเป็นไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นไขมันขึ้น กรดไขมันในนมนั้นมีหลายชนิดทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเช่น กรดบิวทีริก (butyric) ซึ่งพบในไขมันนมเท่านั้น เป็นกรดไขมันที่มีกลิ่นเฉพาะตัว ถ้าแตกตัวออกจากไขมันจะทำให้นมเกิดกลิ่นหืนขึ้นและทำให้เนยแข็งบางชนิดมีกลิ่นพิเศษเช่น เนยแข็งที่ทำจากนมแกะและนมแพะ อีกชนิดคือกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีกรดไขมันอิสระเล็กน้อยในนมนอกจากนี้ในไขมันในนมยังมีสารบางอย่างที่มีปริมาณน้อยกว่าเช่น ฟอสฟอลิพิด (phospholipid) สเทอรอล (sterol) ขี้ผึ้งและวิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี เค และแครอทีนอยด์

2.1.2.3 น้ำตาล

ได้แก่ แลคโตส (lactose) ซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) ที่เกิดจากกลูโคสและกาแลคโตส นอกจากนั้นมีกลูโคสและกาแลคโตสอยู่เล็กน้อยในน้ำนมวัวและน้ำตาลชนิดอื่นๆ น้อยมาก ปกติในน้ำนมปริมาณของน้ำตาลแลคโตสอยู่ระหว่าง 2.4-6.1 % (โดยเฉลี่ย 4.92 %) ในทางอุตสาหกรรมผลิตแลคโตสจากเวย์ที่เหลือจากการผลิตเนยแข็งหรือเคซีน โดยการตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วต้มเวย์ให้เดือดจนเป็นของเหลวข้น จึงแยกโปรตีนและแร่ธาตุโดยทิ้งให้ตกตะกอนออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากที่ทำให้เป็นกรดเล็กน้อย น้ำใสๆ ที่อยู่ข้างบนจะถูกนำไประเหยจนมีความเข้มข้นของแลคโตส 30 % จากนั้นกรองแล้วระเหยน้ำออกจนของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มเป็น 50 % แล้วทิ้งให้ตกผลึก จึงทำให้แห้งและป่นเป็นผงแลคโตสซึ่งใช้เป็นอาหารและใช้สำหรับทำยา

แลคโตสเป็นน้ำตาลที่ละลายในน้ำได้ไม่ดี ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสที่เกิดสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่งยวดในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหลายชนิด ซึ่งทำให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อทำให้เย็นหรือเมื่อทำนมข้นหวานซึ่งต้องเติมน้ำตาลลงไป แลคโตสจะตกเป็นผลึกออกมาทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีผลึกน้ำตาลเป็นเม็ดๆ ซึ่งจะสากลิ้นเมื่อบริโภค ปัญหานี้มักจะเกิดกับการทำนมข้นชนิดไม่หวานและนมข้นหวาน ดังนั้นจึงป้องกันโดยการเติมแลคโตสผงเพื่อเหนี่ยวนำให้ผลึกที่เกิดขึ้นเล็กลงมากจนเราไม่รู้สึกเวลาบริโภคผลิตภัณฑ์นมนั้น ๆ ตามปกติการได้รับแลคโตสโดยการบริโภคอาหารประเภทนม ส่วนผงแลคโตสจริงๆ นั้น ทางอุตสาหกรรมนำไปใช้ในอาหารเด็กอ่อนและการทำยาเม็ดต่างๆ ใช้เป็นสารอาหารในการเลี้ยงเชื้อราเนื่องจากถูกแปรสภาพโดยการหมักได้ช้าหรือใช้ในทางทหารเช่น ทำหมอกควัน ทำพลุส่งรหัส เป็นต้น

2.1.2.4 แร่ธาตุต่างๆ

การตรวจสอบหาปริมาณแร่ธาตุในนม ใช้วิธีการหาปริมาณเถ้าซึ่งหมายถึงสารที่เหลือหลังจากเผาน้ำนมจนเป็นขี้เถ้าซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ในรูปของคาร์บอเนต (carbonate) ออกไซด์ (oxides) และฟอสเฟต (phosphate) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาสำหรับแร่ธาตุที่สำคัญๆ ของนมแสดงในตารางที่ 2.4

แร่ธาตุที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ได้แก่ แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเด็กหรือตัวอ่อนเพื่อสร้างกระดูกและฟัน นอกนั้นได้แก่ แมกนีเซียม โพแทสเซียม โซเดียม ทองแดง เหล็ก ไอโอดีนและคลอรีน ส่วนธาตุที่ขาดไม่ได้มี แมงกานีส สังกะสีและธาตุอื่นๆ อีกหลายอย่าง ปฏิกิริยาและการใช้แร่ธาตุแต่ละอย่างนี้ยุ่งยากและมักต้องอาศัยแร่ธาตุอื่นๆ ช่วยด้วย เช่น ในการสร้างฟันจำเป็นจะต้องอาศัยทั้งแคลเซียม ฟอสฟอรัส และฟลูออรีน แร่ธาตุซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากคือ อะลูมิเนียม (aluminum) แบเรียม (barium) โคบอลต์ (cobalt) โครเมียม (chromium) เจอมาเนียม (germanium) ลิเทียม (lithium) รูบิเดียม (rubidium) เงิน (silver) สตรอนเทียม (strontium) ดีบุก (tin) ติเตเนียม (titanium) และวาเนเดียม (vanadium) แร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้นอกจากจะมีความสำคัญทางด้านโภชนาการแล้ว ยังมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียมมีผลต่อการทำงานของเรนนินซึ่งใช้ในการผลิตเนยแข็งและมีผลต่อการแข็งตัวของนมระเหยน้ำ แร่ธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดงและเหล็ก อาจจะมีส่วนในการเกิดกลิ่นไม่ดีขึ้นในผลิตภัณฑ์นม ส่วนการทำงานของแบคทีเรียในนมมีอิทธิพลต่อความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมดุลของเกลือแร่ธาตุต่างๆ ในขณะที่นมเปรี้ยวซึ่งทำให้นมนั้นเกิดเป็นตะกอนได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของแร่ธาตุในนมและในเถ้าของนมโดยเฉลี่ย

แร่ธาตุ	% ในน้ำนม	% ในเถ้าของน้ำนม
โพแทสเซียม	0.14	20.0
แคลเซียม	0.12	17.4
คลอไรด์	0.10	14.5
ฟอสฟอรัส	0.09	13.2
โซเดียม	0.05	7.4
แมกนีเซียม	0.01	1.45
ซัลเฟอร์	0.025	3.6

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (2543)

2.1.2.5 น้ำ

เป็นสารที่มีมากที่สุดในนมคือประมาณ 87 % โดยน้ำหนัก น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับน้ำตาล เกลือแร่ เช่น โซเดียมและโพแทสเซียม และวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ส่วนพวกไขมัน เคซีน และเกลือแร่บางชนิด เกลือของแคลเซียม ฟอสเฟตและแมกนีเซียมฟอสเฟต จะทำให้เกิดสารแขวนลอย (suspension) ตามปกติแล้วผู้ใหญ่ควรจะได้รับน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อ 1 แคลอรีของอาหาร หรือประมาณ 2.5 ลิตรในอาหารที่กินแต่ละวัน ส่วนทารกนั้นควรได้รับน้ำมากคือ ประมาณ 2.5 ออนซ์ต่อน้ำหนัก 1 ปอนด์ และอาจเพิ่มขึ้นในช่วงอากาศร้อน

2.1.2.6 วิตามินต่าง ๆ

วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายมีอยู่ในนมในปริมาณที่มากหรือน้อยต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (fat soluble vitamins) ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี เค รวมทั้งพวกแครอทีนอยด์

2. วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble vitamins) ได้แก่ วิตามินบีรวม (เช่น ไทอะมีน โบฟลาวิน ไนอะซิน กรด แพนโททินิก กรดฟอลิก ไบโอทิน ไพริดอกซินและวิตามินบี 12) และวิตามินซี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของวิตามินชนิดต่างๆ ในนมดิบจะแตกต่างกันตามพันธุ์วัว ฤดูกาล การเก็บนม เวลาและการผลิต ในบางครั้งอาจเพิ่มวิตามินเอ หรือดีลงในนมวัวแต่โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณของวิตามินต่าง ๆ ในนมและผลิตภัณฑ์นมบางชนิดแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของวิตามินในนมและผลิตภัณฑ์นมบางชนิด (ต่อน้ำนม 100 กรัม)

ชนิด	วิตามิน เอ (I.U.)	ไทอะมีน (ม.ก.)	ไรโบฟลาวิน (ม.ก.)	ไนอะซิน (ม.ก.)	วิตามิน ซี (ม.ก.)	วิตามิมอื่น ๆ
น้ำนมวัวดิบ	160	0.035	0.170	0.08	2.0	วิตามิน ดี 0.5-4.4 I.U วิตามิน อี 0.08-0.15 ม.ก
น้ำนมมารดา	65	0.012	0.037	0.18	5.7	
เนย	3,300	-	-	0.10	-	
ไอศกรีม (ไขมัน12%)	520	0.040	0.180	0.14	1.0	
ไอซ์มิลค์ (ไขมัน5%)	210	0.050	0.200	0.10	1.0	
เวย์ (แห้ง)	50	0.500	2.500	0.80	-	

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (2543)

2.1.2.7 สารอื่น ๆ

มีอยู่ในนมในปริมาณที่ไม่มากนักที่สำคัญ ได้แก่

1. เอนไซม์ ที่พบในน้ำนมได้แก่พวก ฟอสฟาเทส (phosphatase) ลิเพส (lipase) แลคเทส (lactase) แอมิเลส (amylase) แคทาเลส (catalase) เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) กาแลคเทส (galactase) แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase) และรีดักเทส (reductase) ซึ่งสามารถทำให้นมเกิดผลเสียได้ เช่น ลิเพสย่อยไขมันในนมให้เกิดเป็นหน่วยย่อย ๆ ของกรดไขมันซึ่งทำให้นมเกิดกลิ่นเหม็นหืน ปกติเอนไซม์ต่างๆ เหล่านี้จะถูกทำลายได้โดยการพาสเจอไรซ์ แต่ถ้านมถูกพาสเจอไรซ์ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์บางอย่างคงอยู่ เนื่องจากฟอสฟาเทสเป็นเอนไซม์ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

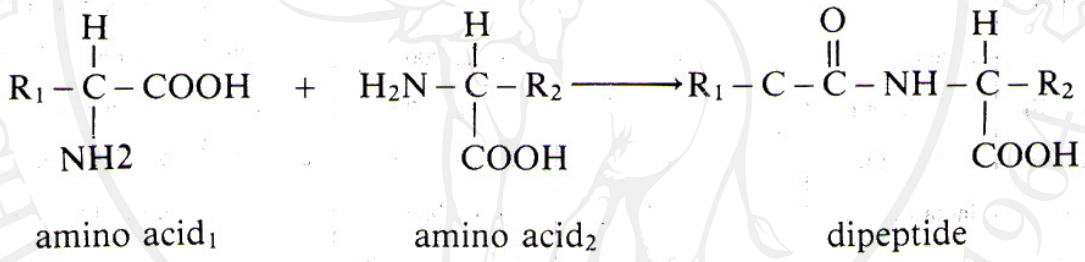
นมที่ถูกทำลายได้ยากที่สุด ดังนั้นสามารถจะใช้เอนไซม์ตัวนี้เป็นตัวพิสูจน์ว่า พาสเจอไรซ์เพียงพอหรือไม่ เพราะถ้าตรวจพบฟอสฟาเทสมากกว่าจุดที่กำหนดไว้แล้วก็แสดงว่านมนั้นพาสเจอไรซ์ไม่เพียงพอ

2. สารอินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดซิทริก กรดแลคติก ครีเอทีน (Creatine) ครีเอทินีน (Creatinine) ยูเรีย และโคลิน (Cholin)

3. ก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจน

2.2 โปรตีนนม (milk proteins)

โปรตีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 ขึ้นไป ประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาแสดงการเกิดเปปไทด์
ที่มา: วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์ (2531)

ส่วนใหญ่แล้วโปรตีนในนมประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 150 หน่วย คุณสมบัติของโปรตีนนมขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่ประกอบอยู่ในโมเลกุล ตลอดจนการจัดเรียงลำดับในเส้นโพลีเปปไทด์ (polypeptide chain) ซึ่งจะควบคุมการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (molecular configuration) รวมทั้งประจุที่ผิวของโมเลกุลอาจพบโปรตีนนมในสภาพของ helical coil, random coil หรือ pleated sheets หรืออาจจะเป็นโครงสร้างหลายๆ แบบอยู่รวมกัน โปรตีนในนมมีอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เคซีน (casein) และโปรตีนเวย์ (whey protein) ลักษณะและคุณสมบัติของโปรตีนนมที่สำคัญแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจะแสดงปริมาณที่พบน้ำนม (วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 โปรตีนนมและคุณสมบัติที่สำคัญ

โปรตีน	Classical Fraction	เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยของโปรตีนนม	น.น.โมเลกุล	Isoelectric point	คุณลักษณะอื่น ๆ
Caseins	casein	85		4.7	ตกตะกอน ณ pH 4.7
α – casein	casein	53-70	121,000	4.1	mixture of proteins
α_s – casein	casein	80% ของ α	23,000	4.1	calcium-sensitive
K – casein	casein	17% ของ α	19,000	4.1	calcium-stable
			21,000		0.3% phosphorous
					0.2% phosphorous
β – casein	casein	25-35	24,000	4.5	calcium-sensitive,
					0.6% phosphorous
T-casein	casein	3	21,000	5.8-6.0	0.7% phosphorous
β – lacto – globulin	lactalbumin	7-12	36,000	5.3	major whey protein
α – lacto – albumin	lactalbumin	2-5	15,100	4.2-4.5	7% tryptophan
Serum albumin	lactalbumin	0.7-1.3	69,000	4.7	same as blood serum albumin
Immune globulins	lactalbumin	1.5-3.5	150,000-200,000	5.5-6.0	Have antibody properties
IgG_1	lactalbumin	0.8-1.7	150,000	6.0	Primary fraction in
					pseudoglobulin, high
					concentration in colostrum
IgG_2	lactalbumin	0.6-1.4	180,000	5.6	Primary fraction in
					euglobulin and serum
					γ – globulin, high
					concentration in colostrum

ที่มา: วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์ (2531)

โปรตีนเวย์ เป็นโปรตีนชนิดที่มีความทนต่อกรด แต่ไม่ทนต่อความร้อน การพาสเจอไรซ์นมธรรมดาจะทำให้โปรตีนมีการเสียสภาพไปบางส่วน โปรตีนในเวย์ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ ดังนั้น เมื่อได้รับความร้อนถึงจุดเดือดจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟต์ หมู่ซัลไฟต์มีความไวต่อความร้อน ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็น strong antioxidant ที่ดี ดังนั้น ผลิตภัณฑ์นมที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเกิดเนื่องจากความร้อนนั้น มักจะไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดออกซิเดชัน โปรตีนเวย์ประกอบด้วย β-lactoglobulin 50 % และ α-lactalbumin 20 % โดยประมาณ รวมทั้งโปรตีนอื่นในปริมาณเล็กน้อย ตลอดจนสารบางชนิดที่รั่วออกมาจากเซลล์ (cell-leakage product) immuno-globulin และ เอนไซม์ (วรรณา และวิบูลย์ศักดิ์, 2531) เป็นต้นได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 บีต้า-แลคโตกลอบูลิน (β-lactoglobulin) เป็นโปรตีนเวย์ที่อยู่ในสภาพไดเมอร์ (dimmer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 แต่ละเส้นเปปไทด์จะมีกรดอะมิโนอยู่ประมาณ 136 หน่วย แต่ละไดเมอร์จะมีลักษณะเป็นทรงกลมสองลูกติดกัน ไดเมอร์จะไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจาง สามารถตกตะกอนโปรตีนชนิดนี้ได้ด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต นอกจากนี้พบว่า โปรตีนชนิดนี้มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ถูกทำให้เสียสภาพของโปรตีนด้วยความร้อนได้ง่าย มีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์นมประเภทที่เป็นของเหลว (fluid dairy foods)

2.2.2 แอลฟ่า-แลคโตอัลบูมิน (α-lactalbumin) เป็นโปรตีนที่มีซัลเฟอร์ประกอบอยู่มากกว่าในเคซีนถึง 2.5 เท่า สามารถตกตะกอนได้ด้วยความร้อน ในสภาวะที่เป็นกรด pH 4.5 พบว่าไม่มีโพแทสเซียมประกอบอยู่เหมือนในเคซีน

2.2.3 อิมมูโนกลอบูลิน (Immunoglobulins) พบประมาณ 10 % ของโปรตีนเวย์ แบ่งออกเป็น IgM, IgA, IgG1 และ IgG2 แต่เดิมจัด Immune globulins ไว้ว่าเป็น lactoglobulin แต่ต่อมาได้แบ่ง Immune globulins ออกเป็น Euglobulin และ Pseudoglobulin ในส่วนของ Euglobulin ประกอบด้วยโปรตีน IgG2 เป็นหลัก รองลงมา เป็น IgA และ IgM ตามลำดับ ส่วน Pseudoglobulin ประกอบด้วย IgG1 เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ IgA ทั้ง IgG1 และ IgG2 เป็นโปรตีนที่พบในโคโลสตรัมในปริมาณค่อนข้างสูงและยังพบว่า Immune globulins มีคุณสมบัติเป็น antibody พบมากในส่วนของเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน เป็นโปรตีนที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ

2.2.4 ซีรั่มอัลบูมิน (Serum albumin) มีลักษณะคล้ายกับอัลบิวมินของซีรั่มในเลือด (blood serum) ประกอบด้วยซัลเฟอร์อยู่มาก ถูกทำให้เสียสภาพไปบางส่วนเมื่อน้ำนมถูกพาสเจอร์ไรซ์

2.3 เวย์ (Whey)

เวย์ คือของเหลวที่เหลือจากการแยกโปรตีนเคซีนออกจากน้ำนมในกระบวนการผลิตเนยแข็งซึ่งการทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอนสามารถทำได้โดยการใช้กรดอินทรีย์ และการใช้เอนไซม์เรนเนต หรือบางครั้งอาจใช้ทั้งกรดและเอนไซม์ร่วมกัน ลักษณะสีของเวย์ที่ได้จะมีสีเหลือง หรือสีเหลืองปนเขียว บางครั้งอาจจะมีสีออกเป็นสีน้ำเงินเล็กน้อย แต่ลักษณะโดยรวมแล้ว สีที่ได้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพและชนิดของน้ำนมที่นำมาใช้ผลิต เวย์สามารถผลิตได้จากน้ำนมของสัตว์หลายชนิด โดยในแถบประเทศทางซีกตะวันตกมักใช้น้ำนมที่ได้จากแม่วัวเป็นหลัก ขณะที่ในบางประเทศอาจนำน้ำนมจาก แพะ แกะ หรือ อูฐ มาใช้ในการผลิตเนยแข็งในอุตสาหกรรมนม ซึ่งผลพลอยได้ที่เหลือจากกระบวนการผลิตก็คือเวย์เช่นเดียวกัน (Smithers, 2008) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ว่า กระบวนการผลิตเนยแข็งเป็นกระบวนการผลิตที่มีการแยกของเหลวออกจากตะกอนโปรตีนเคซีนในน้ำนมที่เรียกว่า น้ำเวย์ น้ำเวย์นม หรือหางน้ำนม (อภิรักษ์ และคณะ, 2549)

โปรตีนที่สำคัญในเวย์ คือ β-lactoglobulin มีอยู่ประมาณ 50 % และ α-lactalbumin มีอยู่ประมาณ 20 % ในเวย์โปรตีน (สุมณฑา, 2549) และพบว่าในเวย์โปรตีน ยังมีส่วนที่เหลือมาจากซีรั่มอัลบูมิน มีอยู่ประมาณ 5 % โปรตีนทั้งสามชนิดนี้ โปรตีนที่สนใจในการศึกษามากที่สุดคือ บีต้า-แลคโตกลอบูลิน (Liu *et al*., 2005) นอกจากนี้ในเวย์โปรตีน ยังมีอิมมูโนกลอบูลิน เอนไซม์ต่างๆ และโปรตีนที่ทำหน้าที่เฉพาะในเมตาบอลิสม์ เช่น แลคโตเฟอริน (lactoferrin) ที่ปนอยู่ในน้ำเวย์โปรตีนด้วย ในการเก็บน้ำเวย์ไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง จะมีน้ำตาลแลคโตสลดลง และมีกรดแลคติคเพิ่มขึ้น โดยปกติน้ำเวย์จะนำไปใช้โดยตรง หรืออาจทำให้อยู่ในรูปของเวย์เข้มข้น เวย์เข้มข้นหวาน เวย์ครีม เวย์ผง และเวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) แล้วจะนำไปใช้ผสมอาหารสำหรับคน โดยส่วนใหญ่น้ำเวย์ที่ได้จากการผลิตเนยแข็งมักมาจากน้ำนมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ส่วนประกอบของเวย์ผันแปรขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของน้ำนมที่นำมาใช้ผลิตเนยแข็ง ด้วยเช่นกัน

2.4 กระบวนการผลิตน้ำเวย์

กระบวนการผลิตเวย์หรือน้ำเวย์ที่ได้จากอุตสาหกรรมนมนั้น จะมีขั้นตอนของการผลิตดังนี้ (Zadow, 1992)

2.4.1 ต้นกำเนิดและลักษณะของเวย์

ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เวย์หรือน้ำเวย์โดยทั่วไป ได้จากการผลิตเนยแข็งในเชิงพาณิชย์ เวย์นั้นเป็นผลพลอยได้ซึ่งเป็นส่วนของของเสียในกระบวนการที่ต้องมีการกำจัดออกไป เป็นเวลากว่าหลายทศวรรษของการตระหนักถึงเรื่องสิ่งแวดล้อมและการแข่งขันทางการค้าของความเป็นไปได้ในการนำเวย์ที่ได้จากอุตสาหกรรมที่เป็นของเสียในกระบวนการผลิต นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และมีการใช้เทคโนโลยีมาพัฒนาให้มีความสะดวกขึ้นพร้อมทั้งยังตระหนักถึงความสำคัญในการเพิ่มมูลค่าของเวย์ โดยการนำไปใช้ผลิตร่วมกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ อีกด้วย อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักนำเวย์มากรองผ่านการเมมเบรนให้เกิดการแยกของสารและเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในกระบวนการปฏิบัติการภายใต้การใช้ความดัน ซึ่งตัวทำละลายและโมเลกุลตัวถูกละลายขนาดเล็ก ก็จะเคลื่อนผ่านเมมเบรนที่เรียกว่า เพอร์มีเอท (permeate) การแยกสาร โดยการใช้เมมเบรนจะมีความสำคัญในทำให้น้ำเวย์ที่ได้มีความบริสุทธิ์จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง แต่อาจจะยกเว้นสารบางอย่างหรืออนุภาคบางชนิด เช่น แบคทีเรีย อนุภาคไขมัน โมเลกุลโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนของเมมเบรนที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทคโนโลยีที่สามารถใช้ประโยชน์ได้สำหรับกระบวนการผลิตของเวย์ทั้งหมดหรือในการแยกโปรตีนออกจากเวย์ (โดยวิธีอุลตร้าฟิวเตรชัน หรือระบบปฏิบัติการอื่นๆ) ในการทำให้เข้มข้นขึ้นหรือเป็นการทำแห้งของผลิตภัณฑ์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเดิมที่มีอยู่ในเวย์ โดยส่วนประกอบและลักษณะของเวย์และเพอร์มิเอท ซึ่งแบ่งประเภทของเวย์ได้เป็น สวีทเวย์ (sweet wheys) และ แอซิดเวย์ (acid whey) แสดงได้จากตารางที่ 2.7

2.4.2 กระบวนการผลิตเวย์

เมื่อได้รับเวย์มาหลังจากการผลิตเนยแข็งแต่ละภาคการผลิตแล้ว จะต้องนำมารวมให้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมดและเก็บไว้จนรวมตัวกันจนมีความเสถียร สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบที่จำเป็นในขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การขจัดสิ่งปนเปื้อน (Clarification)

เนื่องจากเวย์ที่ได้จากการผลิตเนยแข็งหรือการแยกโปรตีนเคซีนออกนั้น ยังคงมีอนุภาคของสารแขวนลอยอยู่ หรือเคิร์ดที่เกิดขึ้นก็อาจจะมีหลงเหลืออยู่บ้างในการทำให้โปรตีนตกตะกอน โดยสิ่งเหล่านี้จะเพิ่มความเสี่ยงต่อเครื่องจักรที่ใช้งาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการอุดตันได้ในช่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger channels) หรือสารพวกพอลิเมอร์ที่เป็นอันตรายต่อกระบวนการเมมเบรนอย่าง อุลตร้าฟิวเตรชัน หรือ รีเวอร์สออสโมซิส นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสมบัติการละลายและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายด้วย

การขจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนในเวย์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการจะสำเร็จได้จะต้องอาศัยวิธีการในการตกตะกอนร่วมกันหลายวิธี เช่น การผ่านแผ่นตะแกรงร่อน การปั่นเหวี่ยง หรือจะเป็นเพียงการปั่นเหวี่ยงโดยลำพัง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและระดับความละเอียดของอนุภาค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบและลักษณะของเวย์และเพอร์มีเอท

	Sweet wheys			
	Emmental	*Edam/St Paulin*	*Camembert*	*Cheddar*
Liquid whey				
% solids	6·5	5·0	6·5	6·1–6·6
pH	6·7	6·5	6·1	6·1
Powder (% of dry matter)				
Lactose	76	75	75	74–81
Protein	13·5	13·5	13·0	12·8–15·2
Ash	8·0	8·5	9·0	7·6–9·2
Lactic acid	1·8	2·0	2·2	2·0
Fat	1·0	1·0	1·0	1·0
Minerals				
Ca	0·6	0·65	0·7	0·61–0·78
P	0·6	0·65	0·7	0·76
NaCl	2·5	2·5	2·5	2·5
	Acid wheys			
	Lactic acid	*Hydrochloric acid*	*Sulphuric acid*	*Rennet*
Liquid whey				
% solids	6·0	5·8–6·1	6·0–6·3	6·4–6·7
pH	4·0	4·6	4·6	6·6
Powder (% of dry matter)				
Lactose	65·5	70–76	68–74	75–80
Protein	12	9·9–12·8	9·9–11·7	13·8–15·5
Ash	12	11·6–19·4	12–13	7·0–8·0
Lactic acid	10	ND	ND	ND
Fat	0·5	ND	ND	ND
Minerals				
Ca	1·9	2·0–2·4	2·0–2·4	0·7–0·8
P	1·5	2·8–3·2	2·8–3·2	1·0–1·4
NaCl	2·5	7·5	2·5	2·5

ที่มา: Zadow (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.2 การแยก (Separation)

เมื่อได้เวย์จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง ตามปกติจะมีปริมาณไขมันอยู่หนาแน่น (แสดงในตารางที่ 2.7) ยกเว้นเฉพาะชนิดของเนยแข็งที่ทำมาจากน้ำนมปราศจากไขมัน (non-fat milk) เช่น skim Cottage หรือ skim Cheddar cheese เพราะเนยแข็งแต่ละชนิดก็จะมีเอกลักษณ์แตกต่างกันไป ให้มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว และตามความต้องการของผู้บริโภค การแยกไขมันขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของอนุภาค โดยถ้ามีระดับต่ำจะผ่านเข้าเครื่องแยก (separator) เพื่อทำให้เวย์ใส แต่ถ้ามีระดับความละเอียดของอนุภาคสูงก็จะนำไปทำตามขั้นตอนแรกอีกครั้ง คือการทำให้ใสขึ้นแล้วจึงนำไปผ่านเข้าเครื่องแยก อย่างไรก็ตาม เป็นไปไม่ได้ที่จะแยกเอาไขมันออกไปได้ทั้งหมดจากเวย์โดยการปั่นเหวี่ยง ยังคงมีปริมาณของไขมันเหลืออยู่เล็กน้อย ประมาณ 0.06 %

2.4.2.3 การพาสเจอไรซ์ (Pasteurization)

การผลิตเวย์ในอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพาสเจอไรซ์เวย์เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ลงจำนวนหนึ่ง เพื่อรักษาคุณภาพและสามารถเก็บไว้ได้อย่างเสถียรชั่วระยะเวลาหนึ่ง ควรจะเก็บรักษาเวย์ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาพาสเจอไรซ์ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกันจะอยู่ในช่วง 72-75 องศาเซลเซียส นาน 15-20 วินาที ซึ่งแน่นอนว่าสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งเอนไซม์ฟอสฟาเทสและไครโมซินได้ แต่บางครั้งก็จะเพิ่มอุณหภูมิถึง 78 องศาเซลเซียส เพื่อลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจาก แบคทีริโอฟาส (bacteriophage) ที่ปนเปื้อนมาจากโรงงานผลิตเนยแข็ง

2.4.3 การเพิ่มความเข้มข้นของเวย์

2.4.3.1 การทำระเหย (Evaporation)

กระบวนการทำระเหยในอุตสาหกรรมนมนั้นมีความสำคัญมาเป็นระยะเวลานานแล้ว นอกจากนี้ยังสามารถนำเวย์มาใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวทดสอบระบบของเครื่องระเหยโดยผ่านการดึงน้ำออก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องระเหยสาร เพราะเวย์จะมีความเข้มข้นของของแข็งต่ำและเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูก เหมาะแก่การนำมาใช้งาน

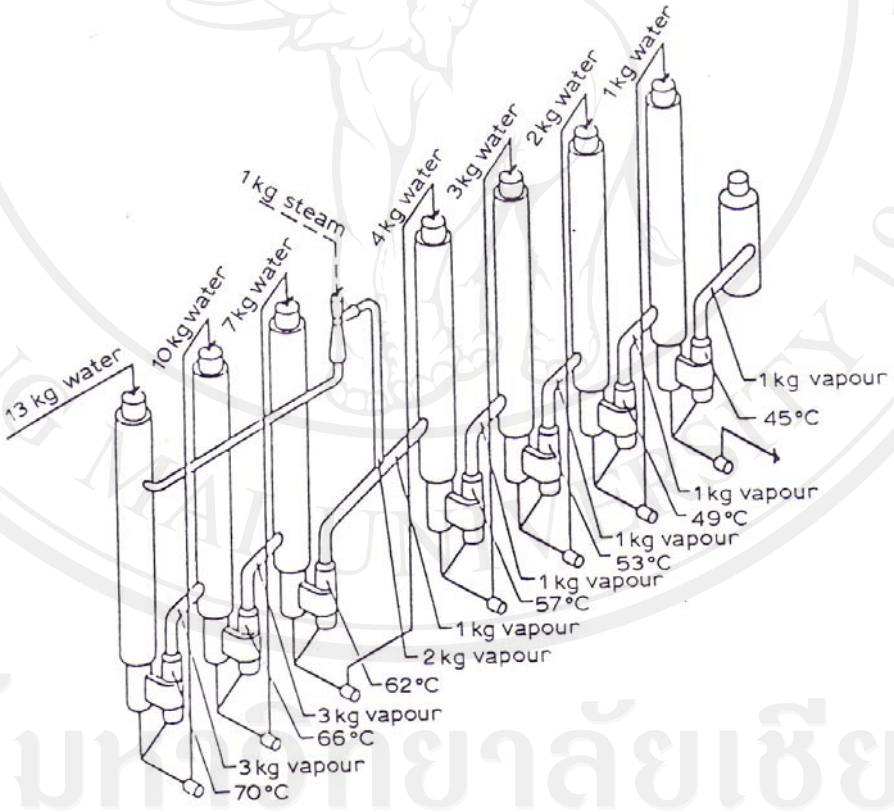
การระเหยเป็นวิธีการแยกสารที่นิยมใช้ระเหยน้ำออกจากสารละลาย หากการระเหยเกิดขึ้นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศการระเหยจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง จึงเหมาะสำหรับใช้ระเหยอาหารที่เสื่อมเสียง่ายหากได้รับความร้อนสูง เวย์จะมีความเข้มข้นของของแข็งอยู่ในช่วง 40-60 % ซึ่งเหมาะสมต่อการในไปทำแห้งในภายหลัง ในทางทฤษฎีเมื่อน้ำเวย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการกระจายตัวสูงโดยทั่งถึงภายในท่อแบบแนวตั้ง และมีการไหลของน้ำเวย์เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางภายใต้สูญญากาศ ระหว่างที่กระบวนการกำลังดำเนินอยู่ น้ำจะระเหยกลายเป็นไอออกจากชั้นของฟิล์มทำให้มีความเข้มข้นขึ้นอยู่ที่ด้านล่างของท่อ การออกแบบเครื่องระเหยมีทั้งแบบที่เป็นท่อเดี่ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(single tube) ในขั้นตอนเดียว และหลายท่อ (multiple tube) ทำให้สามารถนำพลังงานไอน้ำมาหมุนเวียนใช้ได้อย่างสมบรูณ์ พลังงานไอน้ำจากในขั้นตอนก่อนหน้านั้นจะถูกนำมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับขั้นต่อไป ดังตัวอย่างของเครื่องระเหยสารแบบหลายท่อ รูปที่ 2.2

2.4.3.2 รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis)

กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis; RO) มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องในหลายปีที่ผ่านมาสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ อีกทั้งยังได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเวย์เพื่อทำให้มีความเข้มข้นเจือจางลงแต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเวย์ที่จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสยังมีข้อจำกัด โดยความหนืดของเวย์นั้นจะต้องมีปริมาณของแข็งอยู่ 20-22 % กระบวนการนี้ไม่สามารถใช้แทนกระบวนการทำระเหยได้ทั้งหมด แต่จะเป็นกระบวนการที่ใช้ร่วมกัน ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการทำระเหยในขั้นตอนต่อไป และยังเป็นการเพิ่มปริมาณมวลรวมของผลิตภัณฑ์นี้



รูปที่ 2.2 เครื่องระเหยสารแบบ 7 ท่อ
ที่มา: Zadow (1992)

หลักการของกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยออสโมซิสนี้เป็นปรากฏการณ์ที่ของเหลวซึมผ่าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Semipermeable membrane ซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ มีรูพรุน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.0001 ถึง 0.1 ไมครอน โดยที่โมเลกุลของตัวทำละลาย (solvent) ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำซึมผ่านเมมเบรน ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง ความสามารถในการออสโมซิสของสารละลายขึ้นอยู่กับสมบัติของสารละลาย ได้แก่ความดันออสโมติก (Osmotic pressure) ความดันออสโมติก ถือเป็นสมบัติเฉพาะของสารละลายมีหน่วยเป็นบรรยากาศ โดยความดันออสโมติกจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความดันออสโมติกสูงกว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ จากนั้นจะมีการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยการให้ความดันไฮโดรลิก (hydraulic pressure) แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิส จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลาย ที่มีความเข้มข้นต่ำซึ่งความดันไฮโดรลิก ที่ใส่เข้าไปต้องมีค่า มากกว่าความดัน ออสโมติก จึงจะเกิดการรีเวอร์สออสโมซิสได้

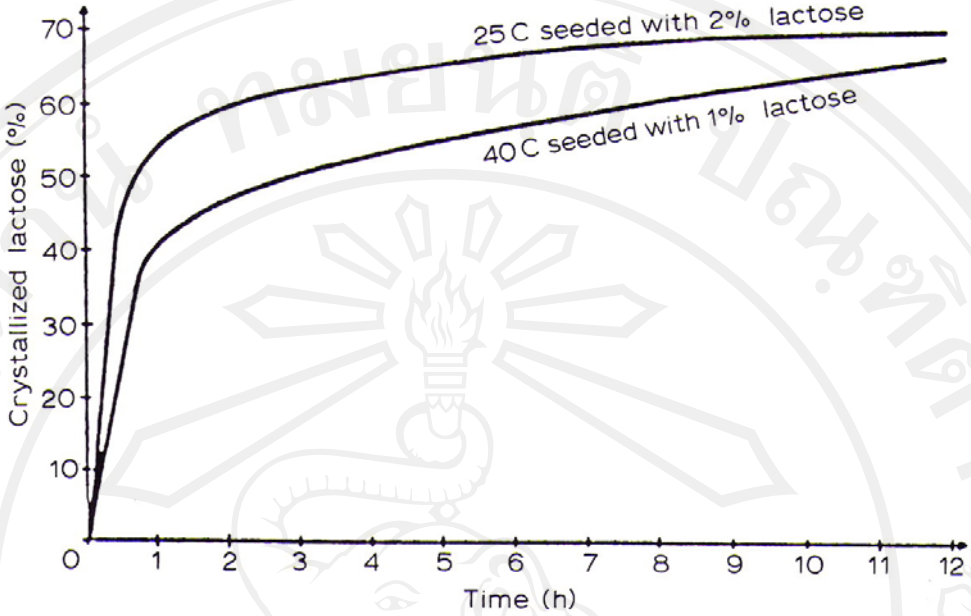
2.4.4 กระบวนการผลิตในขั้นตอนสุดท้าย

2.4.4.1 การตกผลึกของเวย์

ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตเวย์ผงจากเวย์เข้มข้น ควรจะมีกระบวนการดึงน้ำออกจากเวย์ร่วมด้วย เช่น การทำแห้งโดยการฉีดพ่นเป็นผง แต่ต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะจะมีผลต่อการตกผลึกของน้ำตาลแลคโตสในเวย์เข้มข้นและเพอร์มีเอทได้ โดยปกติของแห้งสามารถที่จะรับหรือถ่ายความชื้นให้กับบรรยากาศรอบๆ ตัวจนถึงภาวะสมดุลได้มาก และทำให้มีความเสี่ยงในการเกาะเป็นก้อนในการเก็บรักษา นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการทำแห้งจะลดลงไปเนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้เวย์เข้มข้นมีปริมาณของแข็งมากกว่า 42-45 % ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังนั้นในการผลิตเวย์ผงมักจะผลิตในรูปที่ ไม่ดูดความชื้น (non-hygroscopic whey powder) ซึ่งจะต้องทำให้แลคโตสที่มีอยู่ในเวย์มากกว่า 70 % ตกผลึกก่อนที่จะนำไปทำแห้ง

ความเข้มข้นของเวย์และเพอร์มิเอทที่มีปริมาณของแข็งมากกว่า 55 % ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส อธิบายได้ว่าเป็นสารละลายอิ่มตัวของแลคโตสและจำเป็นที่ต้องหลีกเลี่ยงการเกิดผลึกขึ้นเองโดยธรรมชาติในเครื่องทำระเหยโดยที่ยังต้องคงอุณหภูมิสูงในขั้นตอนสุดท้ายของเครื่องทำระเหย การควบคุมการเกิดผลึกแลคโตสจะใช้การทำให้เย็นอย่างรวดเร็วถึงอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจำเป็นที่จะต้องควบคุมขนาดและรูปร่างของผลึกด้วย และปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดผลึกของแลตโตสคือความหนืดของสารละลาย ดังนั้นการให้ความร้อนแก่เวย์จะมีส่วนสำคัญต่อการการทำให้โปรตีนในเวย์เสียสภาพและมีผลต่อความหนืดของสารละลาย แนวโน้มลักษณะการเกิดผลึกแลตโตส แสดงดังรูปที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 แนวโน้มการเกิดผลึกของแลคโตสเมื่อเทียบกับเวลา
ที่มา: Zadow (1992)

2.4.4.2 การทำแห้งของเวย์และเพอร์มิเอท

เทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการทำแห้งของทั้งเวย์และเพอร์มิเอทมีลักษณะคล้ายกัน

ก. เวย์ผงแบบดูดความชื้น (Hygroscopic whey powder)

แลคโตสที่มีรูปร่างแบบ แอลฟ่า-เออมอร์ฟาส (alpha-amorphous) จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้สูง ซึ่งในลักษณะของรูปแบบนี้จะไม่มีปัญหาในการทำแห้งเมื่อมีการป้อนเข้าเครื่อง โดยตัวแปรของระบบการปฏิบัติการและลักษณะทางกายภาพของตัวผงที่ได้จะแตกต่างจากผงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเวย์ผงแบบไม่ดูดความชื้น เนื่องจากมีข้อจำกัดในการละลายของสารซึ่งเวย์หรือเพอร์มิเอทจะมีความเข้มข้นเพียง 42-45 % ของปริมาณของของแข็งทั้งหมด ก่อนที่จะถูกฉีดพ่นให้เป็นผงในการทำแห้งอย่างทันที การแพร่กระจายของตัวผลิตภัณฑ์ในเครื่องทำแห้งอาจจะต้องอาศัยทั้งหัวฉีดแรงดันสูง (high-pressure nozzle) และ จานหมุนแบบพ่นฝอย (rotating disc atomizer) ช่องทางขาเข้าของเครื่องทำแห้งใช้อุณหภูมิสูงถึง 180 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการป้องกันผงของผลิตภัณฑ์ที่สามารถดูดความชื้นได้มาก ส่วนบริเวณช่องทางขาออกอาจจะใช้อุณหภูมิสูงด้วยเช่นกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุภาคที่ละเอียด แต่ค่อนข้างสกปรก เหนียวและมีความชื้นสูง

ข. เวย์ผงแบบไม่ดูดความชื้น (Non-hygroscopic whey powder)

หลังจากเพิ่มความเข้มข้นและทำให้มีการตกผลึกแล้ว เวย์หรือเพอร์มิเอทจะมีปริมาณของแข็งเป็น 55-60 % ของปริมาณของของแข็งทั้งหมดและรูปร่างของแลคโตสจะเป็นแบบ แอลฟ่า-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมโนไฮเดรต (alpha-monohydrate) ดังนั้นเมื่อผ่านเข้าเครื่องทำแห้งจะมีผลต่อการปรับปรุงลักษณะของการทำแห้งเป็นผงมีคุณภาพดีขึ้น รวมไปถึงจะมีขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้นอีกทั้งมีความหนาแน่นสูง และยังมีแนวโน้มเกี่ยวกับเรื่องความชื้นที่จะรวมตัวเกาะเป็นก้อนลดลง ปัจจัยนี้มีอิทธิผลมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแน่นอนว่าในการผลิตเพื่อให้มีคุณภาพสูง ผงที่ได้ไม่เกาะรวมเป็นก้อน ต้องมีการให้ความร้อนเป็นสภาวะเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำระเหยที่เป็นส่วนสำคัญต่อไป สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อนเบื้องต้นนั้นจะมีช่วงของอุณหภูมิแคบ เช่น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 20 วินาที จะมีการตกผลึกอย่างรวดเร็วและมากมาย ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีคุณภาพดีและไม่มีความหนืดมากเกินไป แต่ถ้าให้ความร้อนเบื้องต้นสูงมากก็ย่อมทำให้เกิดความหนืดมากขึ้น สารละลายจะมีความเข้มข้นมากสามารถที่จะถูกฉีดพ่นให้เป็นผงได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ ถ้าให้ความร้อนเบื้องต้นต่ำก็จะมีแนวโน้มที่ดีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเหนียวซึ่งจะไปเกาะอยู่ที่ผนังห้องเครื่องทำแห้ง และสมบัติในการเกาะรวมกันเป็นก้อนของผงผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะการให้ความร้อนเบื้องต้นเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับปริมาณของโปรตีนและตัวแปรตามฤดูกาลของวัตถุดิบที่ใช้ สำหรับเวย์ผงแบบไม่ดูดความชื้นใช้อุณหภูมิช่องทางขาเข้าประมาณ 185 องศาเซลเซียส และช่องทางขาออกประมาณ 85 องศาเซลเซียส

2.4.4.3 ระบบปฏิบัติการทำแห้งแบบฉีดพ่น (Spray-drying operation)

ก. การผ่านแบบโดยตรงเข้าสู่ระบบ (Using a straight-through instanizing system)

ในส่วนของสภาวะการทำแห้ง ช่องบริเวณทางออกจะมีความชื้นอยู่ 6-7 % ขณะที่อยู่ในขั้นตอนแรกของกระบวนการจะเกิดการสั่นและมีการไหลของอนุภาคซึ่งจับรวมกันเป็นกลุ่มก้อนในสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิห้อง จากนั้นขั้นตอนที่สองอุณหภูมิที่ช่องทางขาเข้าจะอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส จนถึงส่วนสุดท้ายขณะกำลังเดินเครื่อง ความชื้นในอากาศจะลดลงที่อุณหภูมิ 10-11 องศาเซลเซียส อนุภาคที่ไหลเวียนภายในห้องเครื่องจะถูกรวบรวมพร้อมฉีดพ่นเป็นละอองฝอยอย่างสมบูรณ์แบบ เวย์ผงที่ได้จะมีขนาดอนุภาคเล็กลงซึ่งเป็นการช่วยให้มีการไหลและการกระจายตัวได้ดีขึ้น

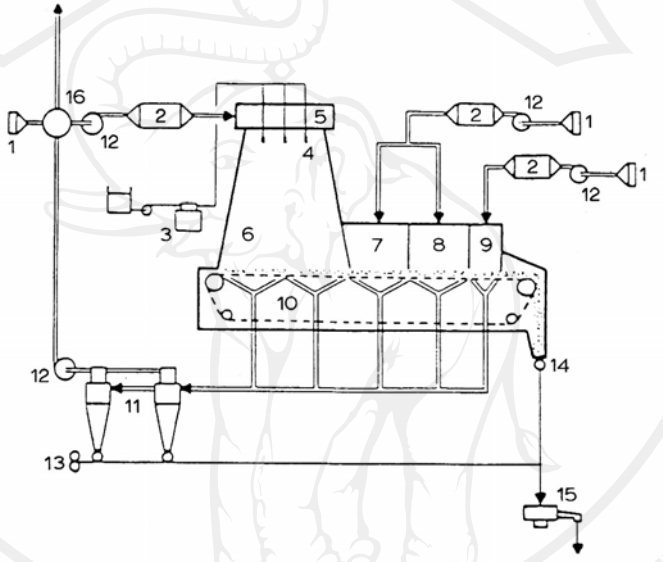
ข. การทำแห้งที่มีการตกผลึกภายหลัง (Drying with post-crystallization)

เวย์เข้มข้นที่มีการตกผลึกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแห้งได้ดีกว่า แต่ต้องมีสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้โดยให้ผงมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 12-14 % ความชื้นที่เหลืออยู่นี้จะถูกสะสมไว้ที่สายพานลำเลียงขณะที่มีการเกิดผลึกของแลคโตส ลำดับต่อไปจะมีการสั่นและการไหลของอนุภาคในการทำแห้งขั้นตอนสุดท้าย เวย์ผงที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณภาพที่ดี ไม่เกาะรวมเป็นก้อน และผลิตได้ถึง 85-95 % ของเวย์ที่เกิดผลึกแลคโตส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. การทำแห้งโดยมีตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง (Drying with an integrated fluid bed)

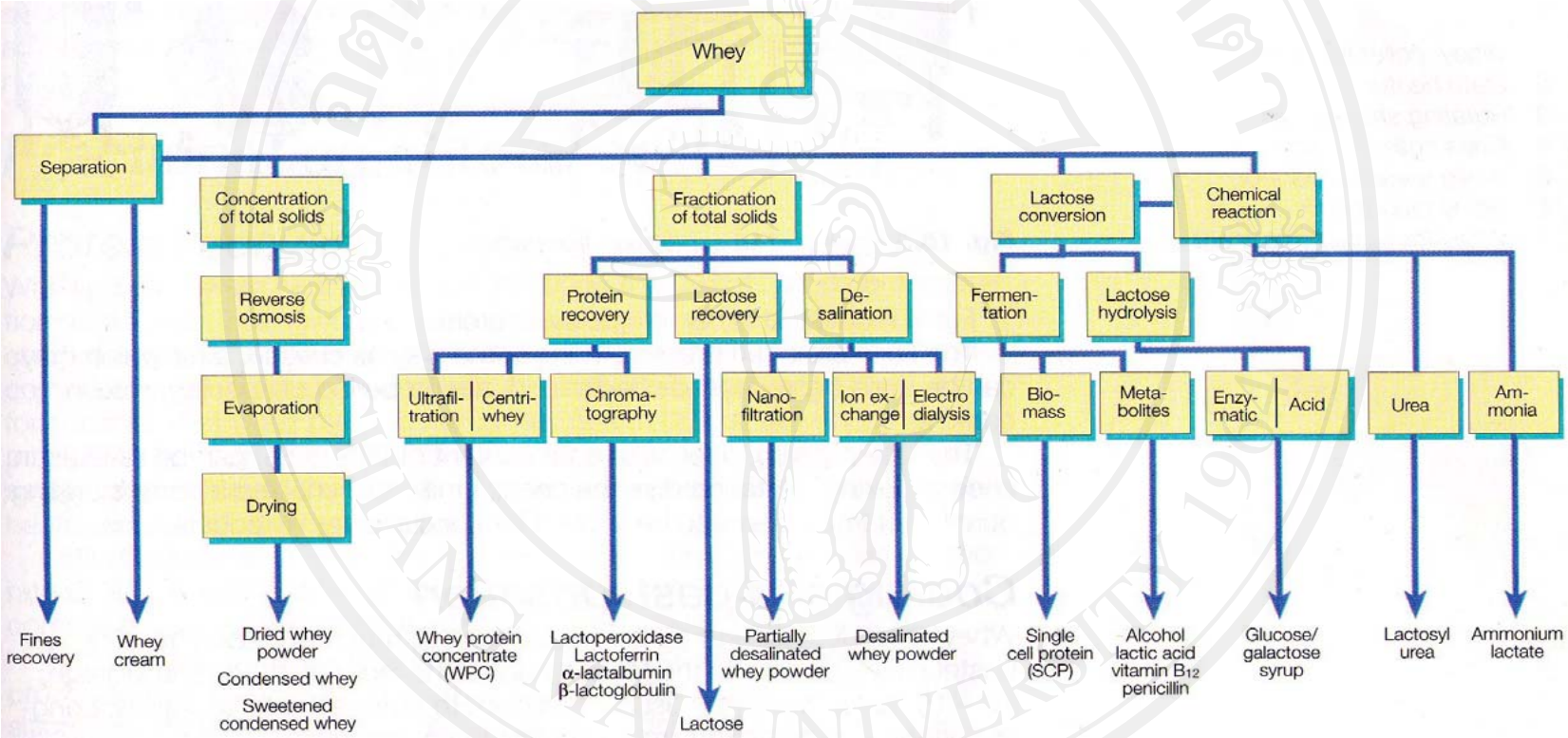
ระบบนี้เป็นการทำงานร่วมกันของการทำงานแบบข้อ ก. กับระบบการทำแห้งแบบพื้นฐาน โดยอนุภาคของไหลจะอยู่ที่ด้านล่างของห้องเครื่องที่ทำแห้ง ผงที่ได้จะถูกเก็บอยู่บนแผ่นที่เจาะรูตรงส่วนที่เป็นฐานด้านล่างของเครื่องหลังจากขั้นตอนสุดท้ายในการทำแห้ง ข้อดีของระบบแบบนี้จะช่วยลดอุณหภูมิให้ต่ำลงที่บริเวณช่องทางขาออก ซึ่งต่อไปในอนาคตจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และใช้พลังงานความร้อนลดลง รูปแบบที่พัฒนาในอนาคตต่อไปจะเป็นแบบ Filtermat-drier ซึ่งจะช่วยให้การทำเวย์ผงสะดวกยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงลักษณะการดำเนินงานของเครื่อง Filtermat-drier

ที่มา: Zadow (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 แผนผังสรุปโดยรวมของการนำเวย์เข้าสู่กระบวนการผลิตอื่นๆ เพื่อให้ได้เป็นผลผลิตสุดท้ายต่างๆ

ที่มา: Bylund (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ประเภทของเวย์โปรตีนในเชิงพาณิชย์

ปัจจุบันมีเวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายอยู่ 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ (Healthybuddyshop, 2550)

2.5.1 Whey Protein Concentrate (WPC) ในกระบวนการทำ Whey Protein Concentrate เวย์ที่ได้ในกระบวนการผลิตขั้นต้นจากการทำเนยแข็งจะนำมาผ่านกระบวนการกรองด้วย Ultra-filtration โดยโปรตีนที่อยู่ในเวย์จะถูกผ่านหมุนเวียนอยู่ในระบบการกรองด้วย Ultra-filtration เป็นแบบ multiple-stage แล้วเข้าเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย สำหรับการผลิตเป็นเวย์โปรตีนเข้มข้นชนิดผง (Yee *et al*., 2009) หรือกระบวนการอื่นๆ เพื่อแยกแลคโตสและไขมันที่มีผสมอยู่มากออกไป แล้วทำให้แห้ง ผงเวย์โปรตีนที่ได้จะมีความเข้มข้นของเวย์โปรตีนประมาณ 30-89 % โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผงสีครีมอ่อนและมีกลิ่นรสตามธรรมชาติแบบนม ข้อดีของ Whey Protein Concentrate คือมีราคาถูก

2.5.2 Whey Protein Isolate (WPI) ผลิตโดยนำWhey Protein Concentrate มาผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มเติมคือ Ion-exchange หรือ Cross-flow Micro-filtration (CFM) เพื่อแยกเอาแลคโตสและไขมันที่ยังคงมีผสมอยู่บ้างออกไปอีก ทำให้ได้ความเข้มข้นของเวย์โปรตีนมากกว่า 90 % ขึ้นไป โดยในส่วนนี้จะมีโปรตีนหลักที่ประกอบด้วย β-lactoglobulin (81.2 % [w/w]) และ α-lactalbumin (15.0 % [w/w]) อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่นำเอา WPI ไปผสมกับ พอลิแซคคาไรด์เพื่อใช้ทดสอบในการศึกษากลไลการเกิดการแข็งตัวเนื่องจากความเย็น โครงสร้างของการเกิดรูปร่าง และโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนกับพอลิแซคคาไรด์ที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน โดยรูปร่างที่เกิดเป็นโครงสร้างขึ้นมานี้จะมีปัจจัยขึ้นอยู่กับ ค่า pH ชนิดและจำนวนพอลิแซคคาไรด์ที่เติมลงไป (Jong *et al*., 2009) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การเกิด hydration, gelation, การเป็นสารอิมัลซิฟายอิง และคุณสมบัติในการเกิดฟอง ซึ่งในอาหารประเภทที่เกิดฟองจะเกิดขึ้นจากโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารนั้นๆ เพราะเมื่ออาหารบางชนิดเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนจะมีการเสียสภาพและถูกเหนี่ยวนำให้มีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน โดยเฉพาะการเกิดฟองในเวย์โปรตีนที่มีการศึกษาใน WPI พบว่าการใช้ความร้อนที่เหมาะสมต่อการเกิดฟอง ลักษณะของฟองที่ได้ สมบัติทางกายภาพต่างๆ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการนำ WPI ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารบางประเภท เช่น การผลิตวิปปิง ท็อปปิง หรือในขนมเค้กเป็นต้น (Nicorescu *et al*., 2009) นอกจากนี้ยังมีการนำเป็นเป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับใช้เป็นอาหารที่มีสารที่ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ได้ เพื่อให้นักวิจัยสามารถตรวจสอบระบบภูมิคุ้มกันเนื่องจากโปรตีนจากเวย์ที่เป็นส่วนผสมของอาหารที่ผู้ทดสอบได้รับเข้าไป โดยจะวัดปริมาณของเวย์โปรตีนที่ถูกย่อยให้มีโมเลกุลที่เล็กลงจนรวมกับอิมมูโนกลอบูลิน (IgG- และ IgE-binding) ที่ยังสามารถมีภูมิคุ้มกันอยู่ได้ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีส่วนผสมมาจากนมเป็นส่วนประกอบหรือไม่ เป็นการลดการเกิดอาการแพ้อาหารประเภทนี้ได้ (Chicon *et al.,* 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3 Hydrolyzed Whey Protein (HWP) เป็นการนำ Whey Protein Concentrate หรือ Whey Protein Isolate มาผ่านกระบวนการ hydrolyze ทำให้โมเลกุลของเวย์โปรตีนที่มีขนาดใหญ่มากถูกย่อยจนอยู่ในรูปของโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่าเปปไทด์ และบางส่วนถูกย่อยลงไปจนอยู่ในรูปกรดอะมิโน โดยมีการใช้เอนไซม์มาช่วยย่อยตรงหมู่ฟังก์ชันเฉพาะ ซึ่งเมื่อโปรตีนที่ถูกย่อยนี้จะช่วยปรับปรุงให้คงทนความร้อน เสริมกิจกรรมทางชีวภาพ และข้อดีของ Hydrolyzed Whey Protein คือเป็นเวย์โปรตีนที่ถูกย่อยและดูดซึมได้เร็วที่สุด และทำให้เกิดการแพ้โปรตีนน้อยลงกว่าเวย์โปรตีนชนิดอื่นๆ จึงมักใช้ในสูตรนมสำหรับทารกหรือในทางการแพทย์เพื่อจุดประสงค์พิเศษต่างๆ เครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา และสำหรับคนที่เกิดอาการแพ้โปรตีนจากนม ข้อเสียคือมีรสชาติขมมาก และราคาแพงกว่าเวย์โปรตีนชนิดอื่น จากการที่ HWP เป็นโปรตีนที่มีการถูกย่อยให้มีขนาดโมเลกุลเล็ก Sothornvit และ Krochta (2000) สนใจที่จะศึกษาผลของการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความสามารถให้อากาศซึมผ่านได้ (oxygen permeability; OP) และมีสมบัติเชิงกล โดยมีการเติมสารกลีเซอรอลหลายระดับให้มีสมบัติคล้ายคลึงกับพลาสติก พบว่าที่ระดับ 5.5 % และ 10 % ของการไฮโดรไลซิสจาก WPI ที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ฟิล์มมีสมบัติในการยืดหยุ่นได้ดีกว่า WPI ที่ไม่มีการไฮโดรไลซิส เมื่อพิจารณาจากสมบัติเชิงกลเดียวกัน พบว่าการเติมกลีเซอรอลก็มีปริมาณน้อยกว่าด้วย แต่ที่ระดับของปริมาณกลีเซอรอลเท่ากัน ทั้งสามแบบจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของความสามารถในการซึมผ่านได้ของอากาศ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแผ่นฟิล์มคุมอาหารป้องการออกซิเจนและลดการใช้พลาสติกให้น้อยลง

2.6 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเวย์ด้วยเทคนิคอื่นๆ

ปัจจุบันกรรมวิธีในการทำให้น้ำเวย์มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยจะทำเป็นเวย์โปรตีนชนิด Whey Protein Concentrate และ Whey Protein Isolate ที่มีความเข้มข้นของค่าโปรตีนสูงตั้งแต่ 90-98 % ของน้ำหนักและมีแลคโตสและไขมันต่ำมากๆ กระบวนการผลิตเวย์ชนิดไอโซเลทมีหลายวิธี แต่ที่ใช้ในทางการค้ามีอยู่ไม่กี่วิธี ได้แก่ Ultra/Micro-Filtration, CFM (cross-flow micro-filtration) และ Ion-Exchange มีเพียงเวย์โปรตีนที่ไม่เสียสภาพ (undenatured protein) เท่านั้นที่ยังมีคุณประโยชน์ทางชีวภาพ (Biological Activity) เช่น คุณสมบัติในการต้านโรคมะเร็ง เพิ่มภูมิคุ้มกันร่างกาย เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตเพื่อแยกแลคโตสและไขมันออกจากเวย์โปรตีนนั้นจึงสำคัญมาก โปรตีนที่ไม่ถูกแปรสภาพจะต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีการใช้กรดหรือสารเคมีในกระบวนการ ต้องรักษาระดับค่า pH ให้เป็นกลางตลอดกรรมวิธีการผลิต

2.6.1 กรรมวิธีการผลิตแบบ Ion-Exchange (IE) ซึ่งเป็นสิทธิบัตรของบริษัท Davisco Foods International, USA ให้สัดส่วนของโปรตีนต่อน้ำหนักสูงที่สุดถึง 97-98 % กรรมวิธีการผลิตแบบ IE

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นั้นนำเวย์ชนิดคอนเซนเทรตที่อยู่ในสภาพของเหลว มาผ่านคอลัมม์ที่มีการเติมตัวทำละลายทางเคมีลงไปทำปฏิกิริยาและอาศัยประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของทั้งโปรตีน และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ต่างกัน ทำให้สามารถแยกโปรตีนออกจากไขมันและแลคโตสได้มากที่สุด ให้สัดส่วนของกรดอะมิโนที่มีลักษณะเป็นแขนง (branched chain amino acids, BCAA) สูงที่สุด แต่เวย์โปรตีนนั้นประกอบด้วยโปรตีนที่ซับซ้อนและมาจากโปรตีนย่อยหรือเปปไทด์หลายชนิดซึ่งโปรตีนย่อยเหล่านี้บางตัวมีคุณลักษณะพิเศษเฉพาะตัวและมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ในหลายๆ ด้านโปรตีนย่อยลักษณะพิเศษเหล่านี้คือความพิเศษที่ทำให้เวย์โปรตีนมีความแตกต่างจากโปรตีนอย่างอื่น ด้วยกรรมวิธี IE นี้จะทำให้โปรตีนย่อยเหล่านี้ส่วนใหญ่สูญเสียประโยชน์ทางชีวภาพไปเกือบหมด

2.6.2 กรรมวิธีการผลิตแบบ Micro-filtration (MF) และ Ultra-filtration (UF) นั้น จะนำเวย์โปรตีนคอนเซนเทรตที่อยู่ในสภาพสภาพของเหลว มาผ่านตัวกรองเมมเบรนที่ทำจากโพลิเมอร์ที่มีความละเอียดสูง โดยอาศัยหลักที่ว่า ขนาดโมเลกุลของโปรตีน แลคโตส และไขมันนั้นไม่เท่ากัน องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กจะลอดผ่านรูของเมมเบรนนี้ไป MF นั้นจะใช้เมมเบรนที่มีขนาดของรูประมาณ 1 ไมโครเมตร และขนาดรูของ UF จะเล็กเท่ากับ 1 ใน 4 ของ MF ด้วยหลักการนี้ MF กับ UFจึงเป็นกระบวนการร่วมกัน คือใช้ MF เพื่อแยกไขมันก่อน แล้วจึงใช้ UF เพื่อแยกแลคโตสอีกครั้ง เวย์ไอโซเลทที่ได้จึงมีโปรตีนย่อยที่แปรสภาพน้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตามความบริสุทธิ์ของโปรตีนจะน้อยกว่าวิธี IE โดยอยู่ที่ 90-95 % (บอดี้ฟิตนิวทริชั่น, 2550)

2.6.3 กรรมวิธีการผลิตแบบ Cross-flow Microfiltration (CFM) เป็นวิธีที่คล้ายกับ MF/UF ซึ่งใช้ในกระบวนการกรองร่วมกับ microporous membrane สำหรับใช้ในการแยกพวกสารอาหารหรือสารแขวนลอยที่ทิศทางการไหลไปในทางเดียวกับเมมเบรน โดยในคอลลอยด์จะมีอนุภาคขนาดเล็ก ทั้งที่เป็นแบบไมโคร (micro) และแมคโคร (macro) ของสารที่แขวนลอยในสารละลายซึ่งถูกแยกออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรองโดยใช้เซลล์เมมเบรนนี้ โดยศึกษาการตรวจสอบสภาวะการไหลที่เข้าสู่สมดุลของเพอร์มิเอท ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษา เช่น ขนาดของอนุภาค อัตราแรงเฉือน ขนาดรูพรุนของเมมเบรน ความเข้มข้นของสารอิเล็คโตรไลท์ เป็นต้น (Chang *et al*., 1995) ซึ่งเป็นสิทธิบัตรของ Glanbia Nutritional, USA ให้ค่าโปรตีนต่อน้ำหนักอยู่ที่ 90-92 % อาศัยหลักการเดียวกัน แต่ต่างกันตรงที่แทนที่จะใช้ตัวกรองที่ทำจากพอลิเมอร์ที่ราคาประมาณ 15,000 เหรียญ แต่วิธีนี้จะใช้ตัวกรองที่ทำจากเซรามิกราคาประมาณ 150,000 เหรียญ และไม่เสื่อมสภาพตามกาลเวลาเหมือนตัวกรองจากโพลิเมอร์ เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่ากรรมวิธี CFM ให้เวย์โปรตีนไอโซเลตที่ดีที่สุดในโลกในปัจจุบัน เนื่องจากรักษาคุณภาพของโปรตีนย่อยและคุณประโยชน์ทางชีวภาพไว้ได้มากที่สุด ให้โซเดียมต่ำแต่แคลเซียมสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งยังให้ค่า Growth factors ต่างๆ สูงกว่าเวย์โปรตีนที่ได้จากกรรมวิธี MF/UF (บอดี้ฟิตนิวทริชั่น, 2550)

2.7 ปัญหาที่มีผลกระทบมาจากน้ำเวย์

น้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำนม โดยเฉพาะการผลิตเนยแข็งนั้นมักเป็นปัญหาคล้ายกับสิ่งปฏิกูลจากเทศบาล แต่เป็นของเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูง หากมีนำไปแปรรูปดำเนินการต่อ จะมีค่าใช้จ่ายอย่างมาก รวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เป็นของเฉพาะทางซึ่งมีราคาแพง ทำให้ไม่เหมาะสมต่อโรงงานอุตสาหกรรรมขนาดเล็ก ซึ่งแนวทางในการบำบัดควรใช้วิธีมากกว่าหนึ่งอย่าง เพื่อประสิทธิภาพที่ดี และควรจะวางแผนการจัดการบำบัดอย่างเป็นระบบให้สอดคล้องกัน สำหรับวิธีการบำบัดน้ำเวย์นั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการบำบัดน้ำเสียทั่วไป เช่น น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ชุมชนในหมู่บ้านหรือในเขตเมืองโดยวิธีการที่ใช้ก็เหมือนกับวิธีการต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.8 (อภิรักษ์ และคณะ, 2549 ; Zadow, 1992) นอกจากนี้น้ำเวย์ยังมีค่า biological oxygen demand (BOD) สูงประมาณ 30,000-40,000 ppm ส่วนค่า chemical oxygen demand (COD) เท่ากับ 60 kg/m^3 ในแต่ละปีพบว่าน้ำเวย์ทั่วโลกมีประมาณ 85 ล้านตันและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น 3 % ต่อปี ด้วยเหตุนี้ทำให้กระบวนการกำจัดน้ำเวย์เนยแข็งเป็นปัญหาทั่วโลกเพราะน้ำเวย์ที่เหลือทิ้งมีปริมาณมาก ประกอบกับน้ำเวย์มีมวลโมเลกุลน้อยและละลายน้ำได้ ถึงแม้ว่าน้ำเวย์จะมีปริมาณแลคโตส 4-5 % แต่เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำเวย์นี้จะทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา สำหรับประเทศไทย นอกจากจะมีน้ำเวย์จากเนยแข็งแล้ว ยังมีน้ำเวย์ที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือ น้ำเวย์เต้าหู้ ซึ่งได้จากกระบวนการทำเต้าหู้ โดยปกติโรงงานผลิตเต้าหู้จะทิ้งน้ำเวย์เต้าหู้ที่เหลือจากการตกตะกอนโปรตีนออกจากน้ำต้มถั่วเหลืองลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดก่อน ซึ่งถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม ใช้น้ำในการผลิต 10 ลิตร ในแต่ละโรงงานจะมีน้ำเวย์เต้าหู้ไม่ต่ำกว่า 500 ลิตรต่อวัน ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำเช่นเดียวกับน้ำเวย์จากเนยแข็ง เพราะน้ำเวย์เต้าหู้มีค่า BOD และมีสารอินทรีย์สูง (กุลวดี, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.8 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ในอุตสาหกรรมนม

Activated sludge (A.S)	*Trickling filters (T.F.)*	*Aerated lagoon (A.L.*
Advantages	*Advantages*	*Advantages*
Good BOD reduction	Good BOD reduction	Good BOD reduction
Good operating flexibility	Good resistance to shock loads	Good resistance to shock loads
Good resistance to shock loads	Lower operating cost than A.S.	Low capital cost
Minimum load requirements		Less supervision than A.S. and T.F.
		Lower sludge problems than A.S. and T.F.
Disadvantages	*Disadvantages*	*Disadvantages*
Substantial capital investment	Substantial capital investment	Large land requirements
High operating cost	High operating cost	High power cost
Continuous supervision	Continuous supervision	Performance drop with temperature drop
Upset to shock loads	Long acclimation period after shock loads	
Sludge disposal problems	Ponding of trickling filters	
Very temperature sensitive	Significant land requirements	
	Sludge disposal problems	
	Performance drop with temperature drop	

Stabilization ponds (S.P.)	*Irrigation*	*Combine systems*
Advantages	*Advantages*	*Advantages*
Suitable as a pretreatment system	100% treatment efficiency	Good BOD reduction
Prevents shock loads to preceding treatment systems	Low capital cost	Good resistance to shock
Good resistance to shock loads	No sludge problems (except for ridge and furrow)	
Low capital cost	Suitable for disposal of whey	
Low operating cost		
Less sludge problems than A.S. and T.F.		
Disadvantages	*Disadvantages*	*Disadvantages*
BOD reduction below A.S., T.F. and A.L.	Amount of land required and in some cases, distance from the factory	High capital costs
Algae growth	Surface runoff	High operating costs
Large land requirements	Ponding	Significant land requirements
Insect problems	Seepage to ground water supplies	Constant supervision
Odours	Health hazards to animals	Sludge disposal problems
Ordinances restricting location	Soil-clogging and compaction	
	Vegetation damage	
	Insect propagation	
	Odours	
	Spray carry-over	
	Maintenance problems—clogging nozzles, freeze up, and the requirement that lines be relocated to allow 'rest periods'	
	Cold water surface icing	
	Sludge build up (ridge and furrow only)	
	State ordinances limiting location	

ที่มา: Zadow (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การใช้ประโยชน์ของน้ำเวย์

เวย์โปรตีนเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงมีบทบาทและมีประโยชน์ทางด้านอาหาร มีการประเมินว่ามีการผลิตทั่วโลกเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และได้นำมาใช้ในการเป็นส่วนผสมหรือส่วนประกอบต่างๆในอาหาร ลักษณะของคุณค่าทางโภชนาการและบทบาทหน้าที่จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและลักษณะทางชีวภาพของโปรตีน ในปัจจุบันยังเป็นที่สนใจในเรื่องของคุณค่าทางอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และยังมีประสิทธิภาพต่อสูตรอาหารสำหรับวัยทารกในการเจริญเติบโตด้วยเช่นกัน ซึ่งยังรวมไปถึงอาหารสำหรับลดน้ำหนักและอาหารเสริมสุขภาพ โดยใช้ในรูปของโปรตีนธรรมชาติและโปรตีนที่ย่อยง่าย (Wit, 1998) เวย์โปรตีนได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยการพัฒนาเป็นฟิล์ม และสารเคลือบผิว (coating) ซึ่งมีสมบัติเป็น barrier ที่ดีต่อออกซิเจน สารให้กลิ่น (aromas) และน้ำมันได้ ทำให้สามารถนำมาใช้เคลือบผิวผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดเพื่อช่วยยืดอายุ โดยเฉพาะอาหารประเภทที่ไวต่อออกซิเจน (oxygen-sensitive foods) เช่น ถั่ว ผัก และผลไม้สดเป็นต้น (นิธิยา, 2541) และด้วยอีกคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่เป็นโปรตีน นั่นคือ จะมีความสามารถในการเกิดฟอง การเกิดฟองจะเกิดได้ดีที่ค่าพีไอ (pI) ของโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ จึงไม่เกิดการผลักกัน โมเลกุลโปรตีนจึงรวมตัวกันได้ดี เกิดเป็นฟิล์มที่เหนี่ยว คงตัวเก็บกักอากาศไว้ได้ดี นอกจากนี้การจะให้ฟองมีความคงตัวต้องมีความเข้มข้นของโปรตีนที่เพียงพอ เช่น การเกิดฟองของโปรตีนในไข่ขาวถูกนำมาใช้ในการขึ้นฟูของขนมเค้ก ขนมไข่และขนมสาลี่ เป็นต้น (ปราณี, 2549) นอกจากนี้ยังป้องกัน (block) ไม่ให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำมัน (oil migration) เข้าไปสู่องค์ประกอบอื่นในอาหาร หรือช่วยลดการเสียหายและปรับปรุงพวกประเภทอาหารแห้งภายหลังการเคลือบด้วยเวย์โปรตีนแล้ว สารเคลือบผิวจะเป็นมัน (glossy) และมีลักษณะใส (transparent) ช่วยป้องกันเรื่องกลิ่นและรสชาติไม่ให้เปลี่ยนไป (นิธิยา, 2541) นอกจากนี้น้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็งนั้น มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในหลายด้านด้วยกัน เช่น นำน้ำเวย์ไปใช้ผลิตน้ำตาลแลคโตส และกลูโคส/แลคโตสไซรัพเป็นอุตสาหกรรมได้ และยังนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว (single cell protein, SCP) กรดแลคติค วิตามินบีสิบสอง หรือนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแอมโมเนียได้เป็นแอมโนเนียมแลคเตต

เนื่องจากน้ำตาลแลคโตสมีความหวานประมาณ 1/3 เท่าของน้ำตาลซูโครส หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์เวย์มีรสหวานมากขึ้น ควรไฮโดรไลซ์น้ำตาลแลคโตสในเวย์ด้วยเอนไซม์แลคเตสได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตส ซึ่งจะมีความหวานมากกว่าน้ำตาลแลคโตส ทำให้สามารถนำเวย์ไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น นำไปผสมในเครื่องดื่มประเภทต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ เครื่องดื่มแบบอาหารเช้า (liquid breakfasts), เครื่องดื่มแบบรับประทานยามว่าง (snack drink),

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องดื่มแบบมีแอลกอฮอล์ (alcoholic drink), ไอศกรีม (ice cream), เชอเบท (sherbet) และผลิตภัณฑ์ขนมอบ อีกทั้งยังมีการวิจัยเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นไวน์อีกด้วย (นิธิยา, 2541)

ในด้านที่เกี่ยวกับสุขภาพมีการนำน้ำเวย์ไปใช้ผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพให้แก่ร่างกาย ได้แก่ เวย์โปรตีน เนื่องจากนักกีฬาจะต้องฝึกฝนร่างกายอย่างหนักจึงทำให้ร่างกายต้องการโปรตีนมากขึ้นกว่าคนปกติทั่วไป โปรตีนนอกจากจะมีความจำเป็นต่อการทำงานของร่างกายหลายอย่างแล้ว ยังจำเป็นอย่างยิ่งต่อการสร้างและซ่อมแซมกล้ามเนื้อ เวย์โปรตีนคือแหล่งของโปรตีนคุณภาพสูงที่ดีที่สุดสำหรับนักกีฬา อุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นและที่สำคัญต่อการสร้างเสริมและซ่อมแซมกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ยังเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่มีลักษณะเป็นแขนง (branched chain amino acids, BCAA) ทั้ง 3 ตัวคือ ไอโซลิวซีน ลิวซีนและวาลีน ร่างกายจะมีความต้องการ BCAA มากเป็นพิเศษเมื่อมีการออกกำลังกาย และช่วงที่ร่างกายซ่อมแซมกล้ามเนื้อ อีกทั้งช่วยเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนและป้องกันการสลายตัวของกล้ามเนื้อซึ่งถือเป็นเป็นส่วนสำคัญในการสร้างกล้ามเนื้อจากกีฬาเพาะกาย สำหรับคนที่ไม่ได้เป็นนักกีฬาสามารถที่จะได้รับประโยชน์จากเวย์โปรตีนได้เช่นกัน โดยเมื่อเกิดความเครียดทางจิตใจและสมอง ทำให้ร่างกายมีการหลั่งสาร อีฟิเนฟริน (Epinephrine) เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีนในร่างกายมากขึ้น จึงจำเป็นต้องได้รับโปรตีนเพิ่มกว่าปกติ เพื่อให้ร่างกายไม่อ่อนเพลีย และจะทำให้สดชื่น หรือระบบการย่อยอาหารและระบบทางเดินอาหารเสื่อมลง ร่างกายมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายและดูดซึมสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง โปรตีนสำหรับผู้สูงอายุจึงควรเป็นโปรตีน ที่ย่อยง่าย และมีคุณภาพสูง และสตรีที่มีครรภ์ ต้องการโปรตีนสูงกว่าปกติ เพื่อเสริมสร้างร่างกาย และสมองของทารก นอกจากนี้ยังช่วยในการผลิตน้ำนมของมารดาอีกด้วย สตรีมีครรภ์ที่ขาดโปรตีนอาจทำให้ทารกที่คลอดออกมาไม่แข็งแรง อย่างไรก็ตาม สตรีมีครรภ์ควรปรึกษาแพทย์ก่อน (บอดี้ฟิตนิวทริชั่น, 2550)

ในตลอดหลายปีที่ผ่านมา มีการคำนึงถึงการพัฒนาและปรับปรุง บทบาทหน้าที่และสมบัติของเวย์โปรตีน โดยใช้วิธีการการผลิตต่างๆ อีกทั้งมีการศึกษาของงานวิจัยเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเมล์ลาร์ด (Maillard reaction) โดยในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะมีการรวมตัวของน้ำตาลรีดิวซิงกับ ε amino group ของไลซีน ที่มีกลูโคสและแลคโตสเป็นสารตั้งต้น โดยที่เกิดขึ้นเองภายใต้สภาวะที่มีการให้ความร้อนปราศจากผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่เป็นพิษ ช่วยในการปรับปรุงสมบัติการเกิดฟองของบีต้า-แลคโตกลอบูลิน (Medrano *et al*., 2009)

มีการนำเวย์ในรูปแบบต่างๆ มาใช้ในการวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ในหลายๆ ด้านในทางอาหาร เช่น Kontogiorgos *et al*. (2009) มีการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของสารผสมระหว่าง oat β-glucan กับ whey protein isolate (WPI) สารผสมทั้งสองมีจะค่า pH เป็น 3.0 และ 7.0 โดยมีการเติมซูโครสในปริมาณ 10 % w/v และแบบไม่เติมซูโครส วิเคราะห์ค่าต่างๆ ด้วยการวัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหนืด การทำอิเล็คโตรโฟริซิส และการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบ fluorescent microscopy แสดงภาพของโครงสร้าง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จาก 7.0 ถึง 3.0 โดยมีการเติมซูโครสเพื่อช่วยให้มีการผสมให้เข้ากันได้ดี หลังจากนั้นค่า pH ลดลงมาอยู่ที่ 3.0 การวัดความหนืดของสารผสมในระบบจะได้ลักษณะการไหลเป็นแบบ pseudoplastic คือ เป็นของไหลที่มีค่าความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน หรือ ยิ่งกวนเร็ว ยิ่งเกิดการได้ไหลง่าย และพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปนั้นจะเป็นไปตามปัจจัยความเข้มข้นของสารผสม

Tedeschi *et al.* (2009) ได้นำเวย์โปรตีนมาเป็นส่วนผสมในการเคลือบผิวของสารตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบการสลายตัวของ bioaccessibility และ bioavailability (มีลักษณะคล้ายกับสารประเภทวิตามิน หรือสารต้านอนุมูลอิสระ) เพื่อใช้คาดคะเนกระบวนการย่อยที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย โดยให้มีการแพร่กระจายอย่างช้าๆ และมีการละลายพร้อมทั้งถูกดูดซึมที่ลำไส้ ซึ่งต้องมีความคงตัวในระหว่างกระบวนการผลิตมาเป็นอาหาร และสามารถคาดการณ์การปลดปล่อยของสารออกมาจากวัสดุเคลือบผิว ภายใต้สภาวะที่เลียนแบบลำไส้เล็ก เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของวัสดุที่ใช้เคลือบผิวอาหารที่มีประสิทธิภาพต่อการปลดปล่อยสารที่ต้องการออกมา โดยจะทำการศึกษาในหลอดทดลองที่จำลองสภาวะการย่อยแบบในลำไส้เล็ก โดยมีการจะบรรจุสาร green tea extract (GTE) ใน whey protein hydrogels แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-vis absorption spectroscopy ซึ่งสาร GTE มีสมบัติเป็นสารที่ต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น อีกทั้งเป็นสารป้องกันการอักเสบและช่วยในการขยายตัวของหลอดเลือด สาร GTE นี้สามารถช่วยป้องกันโรคที่เกี่ยวกับหัวใจได้

Yamul และ Lupano (2005) ศึกษาโครงสร้างและสมบัติการทำงานของเจลที่ทำจากเวย์เข้มข้นที่มีส่วนประกอบของน้ำผึ้งและแป้งสาลี โดยมีค่า pH เป็น 3.75 4.2 และ 7.0 แล้ววิเคราะห์ทางโครงสร้างสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบ scanning electron microscopy และมีการให้ความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและเกิดเป็นเจลขึ้น จากนั้นจึงประเมินผลด้วยเครื่อง differential scanning calorimetry แล้วจึงนำเจลมาทดสอบ โดยการนำมาขึ้นรูปเป็นเป็นแผ่นเจล (polyacrylamid gel electrophoresis, PAGE) และศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น แรงยึดเหนี่ยวภายใน ระยะเวลาการคืนรูป เป็นต้น ซึ่งคุณลักษณะที่ได้พบว่า ที่ค่า pH 3.75 สมบัติของเจลที่มีการเสริมด้วยน้ำผึ้งและแป้งสาลีจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

นอกจากนี้มีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโยเกิร์ต คือ pH และอุณหภูมิที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตและการเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วยเวย์โปรตีนเข้มข้น สำหรับเวย์โปรตีนเข้มข้นนี้จะช่วยเสริมลักษณะของโยเกิร์ตให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น ความข้นหนืดและลักษณะการอุ้มน้ำของเนื้อสัมผัสให้สูงขึ้น (Sodini *et al.*, 2006) และการปรับปรุงบทบาทหน้าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเวย์โปรตีนเข้มข้นด้วยเพคติน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่างๆ ทั้งด้านกายภาพและเคมี เช่น สมบัติของการละลาย อิมัลชัน การเกิดเป็นเจล พฤติกรรมของการเกิดฟอง ให้ดีเพิ่มขึ้น และประยุกต์ใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นในทางอุตสาหกรรมอาหารได้ต่อไป (Mishra *et al*., 2001) จะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเวย์โปรตีนมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ทางด้านอาหารอย่างมาก

2.9 กระบวนการทำเกิดฟองในอาหาร

โฟม (foam) เป็นระบบคอลลอยด์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยก๊าซ หรือก๊าซผสมกระจายตัวอยู่ในของเหลวที่มีความหนืดสูง ฟองอากาศขนาดเล็กๆ จะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบางๆ ของของเหลว การทำให้เกิดฟอง หรือทำให้อากาศ หรือก๊าซสามารถกระจายตัวเป็นฟองเล็กๆ แทรกอยู่ในของเหลว ทำได้โดยการใช้เครื่องตี หรือปั่นในเครื่องปั่นไฟฟ้า (electric mixer) หรือการพ่นฟองอากาศ (simple bubbling หรือ sprayer) หรือใช้ลวดสำหรับตีปั่น (wire whip) หรือโดยการแพร่กระจายผ่าน porous dispenser เครื่องมือเหล่านี้ได้ออกแบบขึ้น เพื่อทำให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปอยู่ในของเหลวให้ได้มากที่สุดและเร็วที่สุด ระหว่างผิวของอนุภาคก๊าซและของเหลวที่เป็นตัวกลางในฟอง จะมีลักษณะเหมือนกับระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดในอิมัลชัน ฟองอากาศเล็กๆ จะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบางๆ ของของเหลว ผิวของของเหลวที่ล้อมรอบฟองอากาศจะขยายตัวได้เมื่อถูกความร้อน ทำให้ไม่ค่อยคงตัวต้องอาศัยสารที่มีความไวต่อผิวสัมผัส (surface-active agent) หรือสารช่วยทำให้เกิดฟอง (foaming agent) เพื่อช่วยให้ฟองมีความคงตัวอยู่ได้นานขึ้น การเกิดฟองจะเกิดขึ้นได้ทั่วไปในกระบวนการผลิตอาหารซึ่งจะพบได้ในการผลิต วิปครีม ไอศกรีม ท็อปปิง มูส เบียร์และแชมเปญ รวมไปถึงอาหารที่มีฟองอากาศอยู่ภายในเนื้ออาหาร เช่น meringue, sponge cake, marshmallows และ aerated chocolate เป็นต้น (นิธิยา, 2545)

2.9.1 สารก่อให้เกิดฟอง (Foaming agent)

การใช้สารก่อให้เกิดฟองในอาหารควรเป็นสารไม่มีรสชาติ ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถทำให้เกิดฟองได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำและปลอดภัยต่อการบริโภค

จุดประสงค์ของการเติมสารก่อให้เกิดฟองลงในอาหารเหลวมีจุดประสงค์ 2 ประการ คือ

1. ทำให้เกิดฟองขึ้นในอาหาร หลังการตีด้วยเครื่องตีความเร็วสูง
2. ทำให้ฟองที่เกิดขึ้นมีความคงตัว

สารก่อให้เกิดฟองมีมากมายหลายชนิด (ตารางที่ 2.9) สำหรับสารก่อให้เกิดฟองที่นิยมใช้มากที่สุด คือ solubilized soybean protein (Gunther's D-100) รองลงมาคือ glyceryl monostearate (GMS) ปริมาณความเข้มข้นต้องเพียงพอที่จะก่อให้เกิดฟองที่มีความหนาแน่นตามต้องการ สำหรับ D-100 โดยทั่วไปใช้ปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 0.25 เพื่อให้เกิดฟองที่มีความหนาแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.3-0.4 กรัมต่อมิลลิเมตร ความเร็วในการตีผสมระดับสูงสุดที่ระดับ 10 ระยะเวลาตี 6 นาทีสำหรับ D-100 และ 10 นาทีสำหรับ GMS

สารก่อให้เกิดฟอง ที่นิยมเติมลงไปในอาหารเหลวก่อนตีให้เกิดฟอง เพื่อเพิ่มความข้นหนืดและช่วยให้ฟองคงทนไม่ยุบตัว ได้แก่ methocel 90 HG 400cps (MC-400) ซึ่งให้ฟองที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสสม่ำเสมอ (นิธิยา และไพโรจน์, 2547)

2.9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟองและความคงตัวของฟอง

ในการตีส่วนผสมด้วยเครื่องตีความเร็วสูง เพื่อให้ได้ฟองที่มีความหนาแน่นน้อยและมีความคงตัว จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.9.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

อาหารบางชนิดมีสารก่อให้เกิดฟองอยู่ด้วยตามธรรมชาติ เช่น น้ำสับปะรด ประกอบด้วยสาร galactose mannans ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดฟองที่คงทน จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารก่อให้เกิดฟอง ก็สามารถเกิดฟองที่คงทนได้จากการตีส่วนผสม ขณะที่น้ำเสาวรสไม่มีสารที่ก่อให้เกิดฟอง จึงจำเป็นต้องเติมทั้งสารก่อให้เกิดฟองและสารเพิ่มความคงตัว เช่น D-100 ที่ระดับวามเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ MC-400 ที่ร้อยละ 1.0

2.9.2.2 ปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด

อาหารที่มีปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดยิ่งมากฟองที่ได้ก็ยิ่งมีความหนาแน่นมาก ส่งผลให้ฟองมีความคงได้มาก

2.9.2.3 ปริมาณของเนื้ออาหาร

น้ำผลไม้ที่มีเนื้อผลไม้ปนมาด้วยจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของฟองเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความคงตัวของฟองระหว่างการทำแห้ง

2.9.2.4 ชนิดของสารก่อให้เกิดฟอง

สารก่อให้เกิดฟองมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติและวิธีการใช้แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.10)

2.9.2.5 ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของฟอง

การเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของฟองมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร (ตารางที่ 2.11)

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความหนาแน่นของฟอง คือ ความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดฟอง เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (นิธิยา และไพโรจน์, 2547) ฟองแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจะสามารถจำแนกออกได้ตามชนิดของอาหารที่นำมาใช้ และกรรมวิธีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิต โดยฟองที่ทำมาจากผลิตภัณฑ์จากนมจะเป็นระบบคอลลอยด์แบบก๊าซแทรกตัวในของเหลว และคงตัวอยู่ได้ด้วยองค์ประกอบของสารภายในน้ำนม แต่จะคงตัวได้ไม่ค่อยดี โปรตีนในน้ำนมมีแรงตึงผิวต่ำทำให้เกิดฟองได้ง่าย สมบัติในการเกิดฟองของโปรตีนขึ้นกับความสามารถดังนี้ (1) แรงตึงผิวของระหว่างทั้งสองเฟส คือ ของเหลวกับก๊าซ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซึมได้ที่ผิวสัมผัสทั้งสองเฟส (2) บริเวณผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับก๊าซจะมีการจับพันธะของโปรตีน โดยอาศัยสมบัติของไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และสุดท้ายคือ (3) โปรตีนที่ถูกทำให้เสียสภาพสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ (Borcherding *et al*., 2008b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.9 สารเพิ่มความคงตัวของฟองและวิธีการเตรียมสาร

ชื่อสารเพิ่มความคงตัว	ชื่อทางการค้า	FDA รับรอง	ความเข้มข้นที่ใช้	วิธีการเตรียม
กลีเซอริลโมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate)	ไมวีรอล 1800	ได้	5-10% โดยน้ำหนัก	ละลายในน้ำอุณหภูมิ 170°ฟ ตีด้วยเครื่อง เก็บรักษาที่ 130°ฟ
โซลูบิไลซ์ซอญาโปรตีน (solubilized soya protein)	D- 100 WA	ได้	สารละลาย 20%	ละลายในน้ำอุณหภูมิ 70°ฟ
เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose)	Methocel 10 cps และ 8000 cps Methocel 65 HG	ได้	0.1-0.5%	ละลายในน้ำร้อนทีละน้อยจนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำเย็นจนได้ปริมาตรที่ต้องการ
กัวกัม (guar gum)	Jaguar 307	ได้	-	ละลายในน้ำเย็น
ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรต (sorbitan monostearate)	Span 60	ได้	9.2% Span 60 ผสมกับ 0.8% Tween 60 โดยน้ำหนัก	ละลายในน้ำ เก็บรักษาที่ 70 - 140°ฟ
พอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทนโมโนสเตียเรต (polyoxyethylene sorbitan monostearate)	Tween 60	ได้	9.2% Span 60 ผสมกับ 0.8% Tween 60 โดยน้ำหนัก	ละลายในน้ำ เก็บรักษาที่ 70-140°ฟ
ซูโครสโมโนลอเรต (sucrose monolaurate)	-	ไม่ได้	1-5% โดยน้ำหนัก	ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิ 160-180°ฟ และเก็บรักษาที่ 70°ฟ
ซูโครสโมโนปาลมิเทต (sucrose monopalmitate)	-	ไม่ได้	1-5% โดยน้ำหนัก	ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิ 160-180°ฟ ที่ความเข้มข้น 1% เก็บรักษาที่ 70°ฟ ที่ความเข้มข้น 5% เก็บรักษาที่ 130°ฟ
ไข่ขาว (egg albumin)		ไม่ได้	10% โดยน้ำหนัก	ผสมกับน้ำที่ 70°ฟ

ที่มา: นิธิยา และไพโรจน์ (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.10 ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวและฟองในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณสารที่ละลายได้ (%)	ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว	ความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัว (%)	ความหนาแน่นของโฟม (กรัม/มล.)	อุณหภูมิทำให้เกิดโฟม (°ฟ)	เวลาที่ใช้ตีให้เกิดโฟม (นาที)
แอปริคอท	32	A	1.1	0.43	32	10
น้ำแอปเปิล	47.2	C และ D	0.1,0.02	0.15	100	10
เนื้อแอปเปิลตีป่น	20	E	1.5	0.25	70	10
น้ำเกรฟฟรุต	39	B และ I	2.0,0.45	0.17	70	11
น้ำมะนาวเข้มข้น	60	A	1.0	0.25	70	5
นมสด	42	-	-	0.35	70	10
น้ำส้มคั้น	50	B และ I	0.8,0.2	0.30	40	20
น้ำองุ่นเข้มข้น	46	B และ I	1.0,0.2	0.25	70	4
น้ำสับปะรด	46	B	1.0	0.28	70	2
กาแฟ	30	F,G และ A	1.0,1.0,1.0	0.30	70	15
ลูกแพร์	13	A	7.7	0.21	70	5
นมถั่วเหลือง	24.4	B และ H	4.0,0.5	0.23	32	10
สตรอเบอร์รี + น้ำตาล (1/3)	40	A	1.5	0.28	70	10
เนื้อมะเขือเทศเข้มข้น	30	A	1.0	0.40	70	4

ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว :-

A = glyceryl monostearate
B = solubilized soya protein
C = sucrose monopalmitate
D = sucrose monolaurate
E = egg albumin
F = guar gum
G = polyoxyethylene sorbitan monostearate
H = methycellulose 8000 cps
I = methycellulose 10 cps.

ที่มา: นิธิยา และไพโรจน์ (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.11 ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวในน้ำผลไม้เมืองร้อน

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณสารที่ละลายได้ (° บริกซ์)	ปริมาณเนื้อในน้ำผลไม้คั้น (%)	ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว	ความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัว (%)	ความหนาแน่นของโฟม (กรัม/มล)	เอกสารอ้างอิง
น้ำสับปะรด	45	10	AและB	0.1,0.06	0.28	2
น้ำเสาวรส	17	40	AและB	0.5,0.25	0.33	2
เนื้อฝรั่งปั่น	8	52	AและB	0.1,0.25	0.31	2
เนื้อมะม่วงปั่น	14	-	C	1	0.33	2
เนื้อมะละกอปั่น	14	-	C	0.5	0.37	2
น้ำลำไยปั่น	45	70	CและD	0.13,0.13	0.31	1
เนื้อมะเฟืองปั่น	7	91	D	0.4	0.15	10

ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว :- A = solubilized soya protein (Gunther D-100)
B = methocel 90 HG 400 cps.
C = glycerol monostearate
D = methocel 65 HG

ที่มา: นิธิยา และไพโรจน์ (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10 การประยุกต์ใช้การสร้างฟองในอาหาร

การสร้างฟองเป็นการเติมก๊าซเข้าผสมและกระจายตัวเข้าไปในของเหลว ฟองของอากาศจะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของของเหลว ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตฟองจะมีส่วนสำคัญนอกเหนือจากสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเวย์ด้วย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น คุณภาพในการแยกโปรตีนออกจากสารละลายที่จะขึ้นอยู่กับขนาดของฟองก๊าซ เพราะด้วยขนาดที่เล็กและมีปริมาณฟองที่มาก ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการจับกับโปรตีนได้มากขึ้น ประสิทธิภาพของการแยกโปรตีนออกมาจะเพิ่มขึ้น โดยจะมีปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องกับขนาดของฟองก๊าซ (Nicorescu *et al*., 2009) บ่อยครั้งในวงการอาหาร การสร้างฟองนั้นต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นฟู แต่ก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ผลิต สำหรับฟองในอาหารที่เกิดขึ้นทำให้มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคได้และเป็นกุญแจที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมอาหาร ส่วนสำคัญในการเกิดฟองในอาหารนั่นคือ โปรตีนที่เป็นตัวสร้างฟองและตัวโปรตีนนั้นต้องช่วยให้การเกิดฟองมีความเสถียรได้ดี ซึ่งเวย์โปรตีนนั้นมีคุณสมบัติที่ดีต่อการช่วยสร้างฟองในอาหาร เกิดฟองได้ง่ายและมีความคงตัวสูง (Narchi *et al*., 2009) ซึ่งโปรตีนสามารถแบ่งลักษณะการมีประจุและการมีขั้วของโซ่ข้าง (side chain) ได้คือ โซ่ข้างที่ไม่มีขั้ว (nonpolar or hydrophobic R group) กลุ่มนี้จะไม่ชอบน้ำ โซ่ข้างที่มีขั้วแต่ไม่มีประจุ (uncharged polar R group) โซ่ข้างที่มีประจุบวก (positive charged R group) และ โซ่ข้างที่มีประจุลบ (negative charged R group) (รัชฎา, 2544) และยังมีปัจจัยอื่นอีกที่มีผลต่อการเกิดฟองและความคงตัวของฟองได้ คือ น้ำตาล ไขมัน และความเข้มข้นของโปรตีน (นิธิยา, 2545)

Marinova *et al*. (2009) ศึกษาพฤติกรรมของฟองที่สร้างมาจากโปรตีนนมสองแบบคือ เคซีนและเวย์โปรตีน (flexible caseins และ globular whey proteins) โดยสร้างแบบจำลองการสร้างฟองจากโปรตีนทั้งสองเปรียบเทียบกับฟองที่มีองค์ประกอบของสารอื่นอย่างครบถ้วนรวมอยู่ด้วย นอกเหนือจากโปรตีนทั้งสองแบบแล้วยังมีการวิเคราะห์ต่างๆ เช่นความหนาของแผ่นฟิล์มจากฟอง แรงตึงผิวของฟอง การดูดซับโปรตีน เป็นต้น โดยศึกษาที่ค่า pH และค่า ion strength หลายระดับ พบว่าการสร้างฟองเกิดขึ้นได้ดีและยังมีการดูดซับเพิ่มขึ้น ส่วนแรงตึงผิวมีค่าลดลงแต่ระยะเวลาในคงตัวของฟองเพิ่มขึ้น

Murray *et al*. (2010) ได้ศึกษาความคงตัวของฟองและการเกิดอิมัลชันของสารผสม บางชนิดที่ใช้ในอาหารได้ สารพวกโปรตีนสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นและมีความหนืดสูงได้ โดยนำไปใช้ในการสร้างฟองและเป็นสารอิมัลซิไฟอิงที่เป็นตัวช่วยไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันในอาหาร โดยมีการนำโปรตีนเคซีนและเวย์โปรตีนมาเติมสารบางชนิดเพื่อทำให้โครงสร้างและองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ (1) stable, non-spreading oil

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

droplets (2) hydrophobically-modified cellulose fragments และ (3) hydrophobically-modified starch granule particulates

นอกจากนี้การเติมซูโครสก็มีผลต่อลักษณะและสมบัติทางกายภาพของฟอง ลักษณะของ air/water interface และขนมเค้กสีขาวที่ทำด้วยไข่ขาว ของโปรตีนจากไข่ข่าวและเวย์โปรตีนไอโซเลต ซึ่งช่วยปรับปรุงลักษณะของฟองที่เกิดขึ้นในอาหาร (Yang and Foedeing, 2010) สำหรับการติดตามผลของฟองที่สร้างขึ้นมา ว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอหรือไม่ สามารถศึกษาจากพฤติกรรมการแตกตัวของฟองกลายเป็นของเหลว หรือเรียกว่า drainage foam ซึ่งเป็นการวัดปริมาตรของของเหลว เพื่อทำให้ทราบและสามารถออกแบบระบบการสร้างฟองและควบคุมโครงสร้างของฟองได้ โดยใช้เทคนิคการวัดความต้านทานไฟฟ้า (Barigou *et al*., 2001) หรือวัดค่าความนำไฟฟ้าของระบบแบบหลายจุดของฟองจากโปรตีน ที่ถูกสร้างขึ้นในคอลัมน์ที่มีการติดตั้งตำแหน่งของแผ่นอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าไว้หลายจุดบนคอลัมน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัวของฟอง (Phianmongkhol and Varley, 1999)

2.11 การแยกสารโดยอาศัยเทคนิคการสร้างฟองร่วมในงานปฏิบัติการ

การแยกโดยอาศัยการสร้างฟอง (foam fractionation) เป็นหนึ่งในวิธีการแยก (separation process) ที่รู้จักกันดีว่าเป็นการใช้เทคนิคการเกิดฟองในการดูดซับองค์ประกอบในสารละลายของผสม เพื่อทำให้เกิดการแยกของสารละลายนั้นๆ พื้นฐานของการแยกด้วยวิธี foam fractionation นี้จะอาศัยความแตกต่างของ surface activity ของโมเลกุล ในสารละลายที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงๆ ในฟอง เทคนิคนี้สามารถใช้ในการทำให้สารมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นและเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารลดแรงตึงผิว และสารที่มีสมบัติ surface activity การใช้วิธี foam fractionation นี้จะใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การผลิตไม่ซับซ้อนและค่อนข้างน้อย การดำเนินการกับเครื่องมือง่าย และมีราคาค่าใช้จ่ายที่ต่ำ (Lockwood *et al*., 1997) ในปัจจุบันวิธี foam fractionation สามารถใช้แยกของเสียที่เป็นสารละลายอินทรีย์จากน้ำทิ้ง เพื่อเป็นการเพิ่มการละลายออกซิเจนในน้ำและยังสามารถใช้เพื่อการแยกโปรตีนได้อีกด้วย กระบวนการนี้เป็นวิธีที่ดีในการนำโปรตีนกลับมาใช้ใหม่และยังเป็นวิธีที่ช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมยาและอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าเป็นโปรตีนที่สกัดได้มาจากเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น จากพืช ซึ่งจะมีสารปนเปื้อนตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อเหล่านี้โดยอาจจะมีสารที่ต้านทานและยับยั้งการเกิดฟองระหว่างการทำ foam fractionation ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือควรหาสาเหตุของสารปนเปื้อนตามธรรมชาติว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร จึงทำให้มีผลกระทบต่อการใช้วิธีนี้ ในการแยกโปรตีนที่มีสารปนเปื้อนอยู่เกิดขึ้นอย่างไม่ได้ตั้งใจ ในขั้นตอนการหาสาเหตุ อาจใช้วิธีการปฏิบัติที่เป็นไปได้ในการแยกสารต้านทานและยับยั้งการเกิดฟอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกไป เช่น การควบคุมสภาวะในการทดลองในเรื่องของ pH หรือประเภทของก๊าซที่ใช้ในการพ่นให้เกิดฟอง (Ko *et al*., 2001) ฟองที่เกิดขึ้นจะมีโมเลกุลของโปรตีนที่ถูกดูดซึมอยู่ที่ผิวที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามธรรมชาติ ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุล โดยจะปรับตัวเข้าหันด้านทางส่วนhydrophobic ของโมเลกุลที่อยู่ระหว่างเฟสก๊าซ (Clarkson *et al*., 1999) ทำให้สามารถที่จะแยกเอาโปรตีนส่วนหนึ่งออกมาจากของเหลวได้ ซึ่งพื้นฐานการแยกโดยใช้ฟองในการแยกออกเป็นส่วนๆ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างใน surface activity ของเปปไทด์ในโปรตีนที่อยู่ในสารประกอบนั้นร่วมกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวหน้า ต่อปริมาตรที่มีค่าสูงของการเกิดฟอง การแยกด้วยการเกิดฟองนี้จะเป็นวิธีหลักในการทำให้มีความเข้มข้นของโปรตีนจากสารละลายเจือจางหรือใช้แยกโปรตีนออกจากสารละลาย (Vanhoute *et al*., 2008)

การดำเนินการด้วยวิธี foam fractionation เพื่อการแยกและทำให้สารละลายโปรตีนเข้มข้นสามารถปฏิบัติได้ทั้งแบบกะ (batch operation) และแบบต่อเนื่อง (continuous operation) Stevenson และ Jameson (2007) ได้ทำการศึกษาเรื่องการแยกเชื้อแบคทีเรียจากน้ำทะเลชายฝั่งด้วยวิธี foam separation โดยใช้การกระจายตัวของฟองเป็นตัวกักเก็บเชื้อแบคทีเรีย พบว่าขนาดของฟองก๊าซมีผลต่อการแยกเชื้อแบคทีเรียออกจากตัวอย่างน้ำทะเล เพราะขนาดฟองก๊าซขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าขนาดฟองก๊าซขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบในอัตราส่วน อากาศต่อปริมาตรน้ำที่สภาวะเดียวกัน อย่างไรก็ตามการดำเนินการด้วยวิธีแบบต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพการแยกด้อยกว่าด้วยวิธีแบบกะ เพราะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสกันระหว่างฟองอากาศกับเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีแบบต่อเนื่องจะมีระยะเวลาน้อยกว่า ในขณะที่ด้วยวิธีแบบกะจะใช้เวลาในการสัมผัสกันได้นานขึ้น (Suzuki *et al*., 2008)

Wang และ Liu (2003) ทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนด้วยวิธี foam fractionation ซึ่งสร้างแบบจำลองของกระบวนการแยกสารอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องในการแยกโปรตีนออกจากสารผสม (Saleh and Hossain, 2001) โดยใช้ bovine serum albumin (BSA) เป็นตัวอย่างในการทดสอบเพื่อศึกษาปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารที่ป้อน ความสูงของฟอง ความเร็วของอัตราการไหลของก๊าซ และค่า pH ของสารละลาย พบว่าปัจจัยนั้นส่งผลต่อความเข้มข้นของตัวอย่างหลังจากเกิดกระบวนการแยกสารโปรตีนด้วยการสร้างฟอง

Stower *et al*. (2009) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการแยกโปรตีนด้วยการสร้างฟองที่ใช้ไข่ไก่เป็นตัวอย่างในการทดสอบ โดยแยกโปรตีนจากไข่ขาวและไข่แดงซึ่งเลือกใช้สภาวะของอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะต่อการแยก วัดปริมาณความเข้มข้นโปรตีนที่ได้จากฟองของไข่ขาวและไข่แดง จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแต่ละเฟสในไข่ไก่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งอัตราการไหลของอากาศนี้ จะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการแยกโปรตีนในแต่ละเฟสของไข่ไก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากแบบจำลองที่ออกแบบส่วนใหญ่ภายในคอลัมน์จะมีเพียงชั้นเดียวที่เป็นพื้นที่สำหรับการสร้างฟองจากสารละลายตัวอย่าง Darton *et al*. (2004) จึงมีความต้องการจะพัฒนาระบบของเครื่องมือจากวิธี foam fractionation ให้เป็นแบบหลายๆ ชั้นในคอลัมน์ (multistaged foam fractionation column) เพราะหลังจากฟองเกิดการยุบตัวลงกลายเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นของโปรตีนถูกแยกออกมาแล้วจะมีเพียงชั้นเดียวที่รองรับ หรือถ้าเป็นการเก็บฟองจากปลายคอลัมน์ด้านบนก็จะได้ตัวอย่างเพียงรอบเดียว การออกแบบเป็น multistaged จะสามารถเพิ่มจำนวนชั้นของการแยกโปรตีนได้มากขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์หรือในสารละลายที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกสารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนเช่น เอนไซม์ ตัวอย่างคือ การแยกเอนไซม์เซลลูเลส (cellulose) ที่มีค่า pH ของสารละลายที่ระดับต่างๆ (Lambert *et al*., 2003) หรือเป็นการแยกเอนไซม์แลคเคสซี (laccase C) ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสิ่งทอและกระดาษ (Gerken *et al*., 2006) อีกทั้งในส่วนของการบำบัดน้ำเสีย เช่น โรงงานแปรรูปหอยแมลงภู่ในประเทศนิวซีแลนด์ โดยมีการนำน้ำร้อนมาลวกเพื่อทำให้สุก (Chan *et al*., 2007) ต่างก็ใช้หลักการของวิธี foam fractionation ด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved