บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมาก ทุกวันนี้คนเอเชียประมาณ 3,000 ล้านคนบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงนับว่ามีความสำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์นับแต่อดีตถึงปัจจุบัน จากสถิติพบว่าประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวลำดับที่ 6 ของโลก (ร้อยละ 4.30) รองจากประเทศจีน (ร้อยละ 30.41) อินเดีย (ร้อยละ 22.12) อินโดนีเซีย (ร้อยละ 7.98) บังคลาเทศ (ร้อยละ 7.23) และเวียดนาม (ร้อยละ 5.88) โดยมีผลผลิตข้าวรวม 20.26 ล้านตันข้าวสาร (USDA, 2012) อย่างไรก็ตามข้าวจัดเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ครองสถิติอันดับหนึ่งของประเทศไทยในด้านปริมาณการผลิตหลายทศวรรษติดต่อกัน ซึ่งผลผลิตข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 และผลผลิตข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 จะแสดงดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ นอกจากนี้การส่งออกข้าวของไทย จาก พ.ศ. 2554 จนถึง 2558 มีแนวโน้มสูงขึ้น และผลการสำรวจล่าสุดในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมียอดการส่งออกข้าวมากถึง 10.8 ล้านตันข้าวสาร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557)

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

รายการ	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
ผลผลิตรวม	20.460	20.200	20.460	20.500	0.20

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

ประเทศ	ปี พ.ศ.				ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	
จีน	140.700	143.000	142.530	144.000	1.03
อินเดีย	105.310	105.240	106.540	102.000	-4.26
อินโดนีเซีย	36.500	36.550	36.000	37.000	2.78
บังกลาเทศ	33.700	33.820	34.390	34.600	0.61
เวียดนาม	27.152	27.537	28.000	28.200	0.71
ไทย	20.460	20.200	20.460	20.500	0.20
ฟิลิปปินส์	10.710	11.428	11.858	12.200	2.88
อื่นๆ	40.627	41.100	41.978	41.196	-1.86

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

จากการคาดการณ์ของ World Market and Trade หรือ USDA ประเทศสหรัฐอเมริกา คิดเป็นเมตริกตัน เปรียบเทียบระหว่าง 7 ประเทศที่มีการผลิตข้าวสูงที่สุดของโลก (จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และไทย) ทั้งนี้ประเทศไทยมีการบริโภคข้าวระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 อยู่ในเกณฑ์ 10.4-10.9 ล้านตันข้าวสาร และคาดว่าจะบริโภคเพิ่มขึ้นอีกในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการบริโภคข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

ประเทศ	ปี พ.ศ.				ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	
จีน	139.600	144.000	146.300	148.000	1.16
อินเดีย	93.334	94.031	99.180	99.000	-0.18
อินโดนีเซีย	38.188	38.127	38.500	39.200	1.82
บังกลาเทศ	34.300	34.500	34.900	35.200	0.86
เวียดนาม	19.650	21.900	22.000	21.900	-0.45
ไทย	10.400	10.600	10.875	10.900	0.23
ฟิลิปปินส์	12.860	12.850	12.850	13.200	2.72
อื่นๆ	60.128	62.087	63.766	63.523	-0.38

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

ข้าวอุดมไปด้วยความหลากหลายทางพันธุกรรมกับจำนวนของสายพันธุ์ที่ปลูกทั่วโลก ในข้าวธรรมชาติที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการขัดสี (Un-milled) จะมีสีที่แตกต่างกันออกไปเป็นจำนวนมาก ทั้งสีขาว สีน้ำตาล สีแดง สีม่วง และ สีดำ (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)

ที่มา บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด (2555)

ภาพที่ 2.1 สีของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ก่อนผ่านกระบวนการขัดสี)

เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีสีสันแตกต่างกันเหล่านี้ จะมีสารอาหารที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจะมีปริมาณสารอาหารสูงกว่าข้าวขาวหรือข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้ว ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.4 ปัจจุบันพบว่ามีข้าวเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายของคนทั่วโลก ได้แก่ ข้าวกล้อง (Brown rice) และ ข้าวขาวหรือข้าวขัดสี (White - polished rice) จากงานวิจัยแห่งสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลปี พ.ศ. 2538 เขียนไว้โดย Anonymous ได้รวบรวมและเปรียบเทียบเป็นตารางข้อมูลคุณค่าโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวที่ขัดสี (ข้าวขาว) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการผลิตข้าวที่สูงและมีการบริโภคเป็นจำนวนมาก ข้าวยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อีก เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวอื่นๆ เส้นหมี่หรือเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมปังกรอบ และ แป้งแผ่นทำจากข้าว เป็นต้น (Juliano, 1985)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารอาหารในข้าวชนิดต่างๆ

ชนิดของข้าว	โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)
สีขาว-ข้าวขัด	6.8	1.2	0.5	0.6
สีน้ำตาล	7.9	2.2	0.5	2.8
สีแดง	7.0	5.5	3.3	2.0
สีม่วง	8.3	3.9	2.2	1.4
สีดำ	8.5	3.5	-	4.9

ที่มา FAO: Food and Nutrition Division (2004)

อรอนงค์ นัยวิกุล (2556) ได้แบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าว ไทยเป็น 4 กลุ่มหลักได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดข้าว เช่นข้าวกล้อง หรือข้าวสาร บรรจุถุงแบบธรรมดา หรือแบบสุญญากาศ เมื่อนำข้าวกล้อง หรือข้าวสารมาแปรรูปอีกขั้น เป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูป คือข้าว 7 นาที ข้าวผสมหุง 5 นาที และข้าวสำเร็จรูป คือ ข้าวบรรจุกระป๋อง หรือบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว และข้าวแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าว ทำเป็นอาหารเส้น เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน เส้นหมี่ อาหารว่าง เช่น ขนมอบกรอบ อาหารหวาน เช่น ขนมถ้วย และขนมชั้น เป็นต้น

3. ผลิตภัณฑ์หมักดอง เช่น ข้าวหมาก สาโท เหล้าขาว และน้ำส้มสายชู เป็นต้น

4. ผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้ของข้าว เช่น รำข้าวทำเป็นน้ำมันรำข้าว และนำส่วนของรำที่สกัดไขมันออกแล้วไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารอื่น เพื่อเป็นแหล่งเส้นใยอาหารได้อีกมากมายหลายชนิด ส่วนแกลบนำไปทำเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่

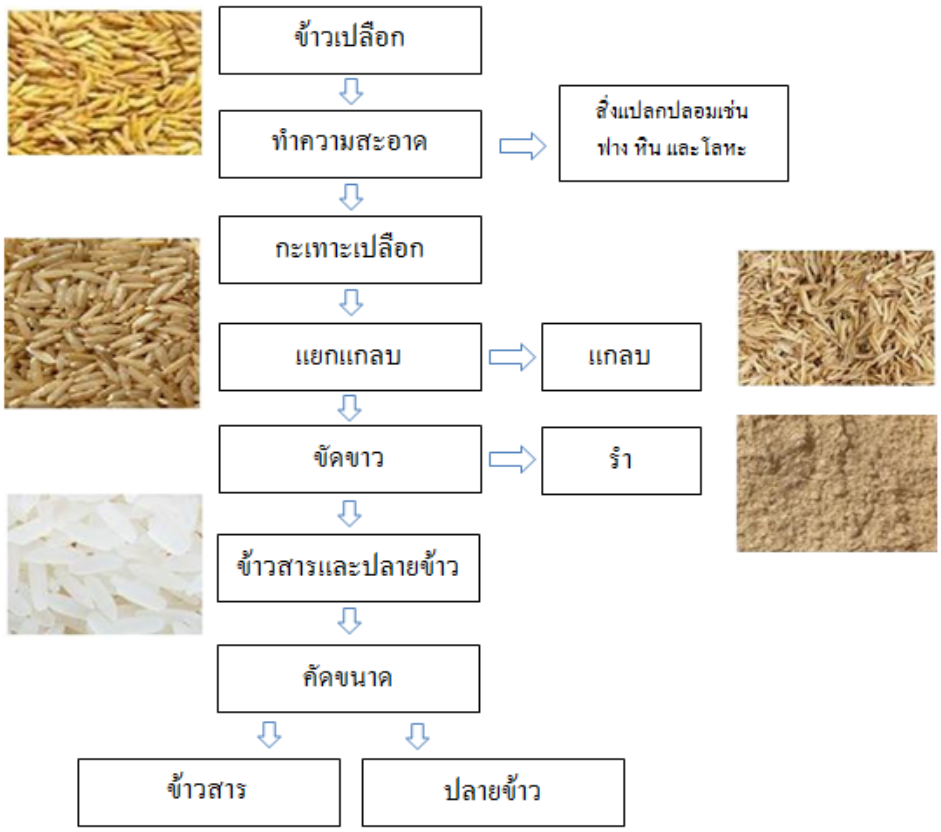
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารต่อข้าว 100 กรัม ระหว่างข้าวกล้องกับข้าวขัดสี

สารอาหาร	**ข้าวกล้อง**	**ข้าวขัดสี**
คาร์โบไฮเดรต	75.10	79.40
โปรตีน	7.10	6.70
ไขมัน	2.00	0.80
ใยอาหาร	2.10	0.70
โซเดียม	84.00	79.00
โพแทสเซียม	144.00	121.00
แคลเซียม	9.00	6.00
ฟอสฟอรัส	276.00	195.00
แมกนีเซียม	60.00	27.00
เหล็ก	1.30	1.20
สังกะสี	0.49	0.48
ทองแดง	0.11	0.14
วิตามิน บี1	0.26	0.07
วิตามิน บี 2	0.04	0.02
ไนอะซิน	5.40	1.79

ที่มา Anonymous (2538)

2.2 กระบวนการสีข้าว

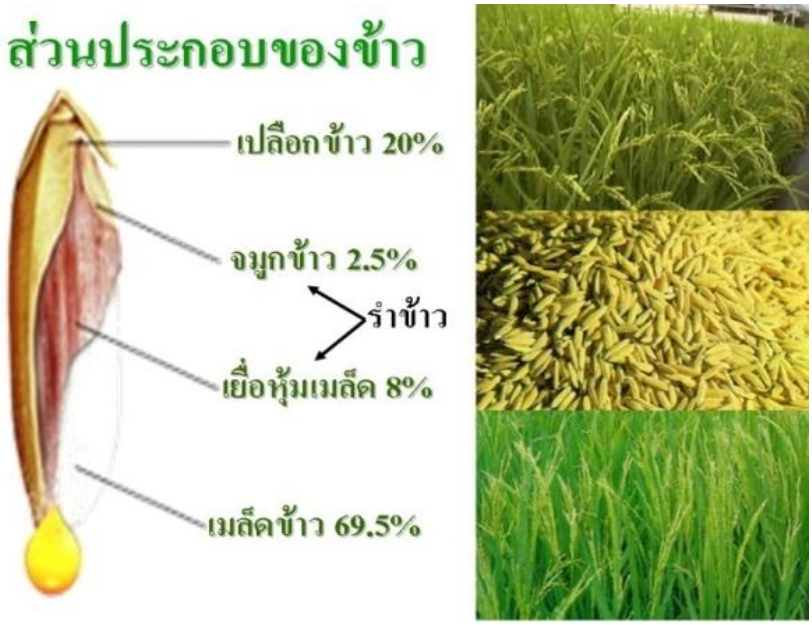
กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของประเทศไทยได้รายงานสถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลกว่า ในปี พ.ศ. 2555 ทั่วโลกมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวสูงถึง 988.63 ล้านไร่ ได้ผลผลิตเป็นข้าวเปลือกและข้าวสารประมาณ 700.7 และ 470.2 ล้านตัน ตามลำดับ ทั้งนี้ กระบวนการขัดสีข้าวเปลือกโดยทั่วไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวสารประมาณร้อยละ 68-70 แกลบร้อยละ 20-24 และรำข้าวร้อยละ 8-10 นั่นคือในช่วงปีที่ผ่านมามีปริมาณเศษวัตถุดิบที่ไม่ถูกใช้ประโยชน์ซึ่งได้จากกระบวนการขัดสีข้าวทั่วโลกมากกว่า 200 ล้านตัน และในประเทศไทยประมาณ 8.6 ล้านตัน แบ่งเป็นแกลบและรำข้าวประมาณ 5.8 และ 2.8 ล้านตัน ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการสีข้าวโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนหลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ที่มา พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2556)

ภาพที่ 2.2 กระบวนการสีข้าว

อย่างไรก็ตามจากกระบวนการสีข้าวนอกจากจะได้เมล็ดข้าวที่เป็นผลผลิตหลักกว่าร้อยละ 69.5 แล้ว (ภาพที่ 2.3) ยังมีผลิตผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสีข้าว ได้แก่ เปลือกข้าว ร้อยละ 20 จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดหรือที่เรียกว่า “รำข้าว” อีกประมาณร้อยละ 10.5 ของข้าวทั้งเมล็ด (ศูนย์หัวใจสิริกิติ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555) ซึ่งในเมล็ดข้าวจะมีวิตามิน แร่ธาตุ และสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายรวมกว่า 20 ชนิด แต่ข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าของสารอาหารที่กล่าวมานี้ จะต้องผ่านการสีแต่น้อย คือ สีเอาเปลือกข้าวหรือที่ชาวบ้านเรียกว่า "แกลบ" ออกโดยที่ยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เราเรียกว่า "รำ" อยู่ ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้ยังคงมีคุณค่าอาหารที่มีประโยชน์มากมายอีกด้วย



ที่มา ศูนย์หัวใจสิริกิติ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2555)

ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

2.3 รำข้าว

รำข้าว (Rice bran) หมายถึง ส่วนเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ส่วนของ Nucellus, Aleurone และ Sub-aleurone และมักจะรวมส่วนของคัพภะเข้าไว้ด้วย เนื่องจากในกระบวนการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร ส่วนใหญ่ต้องการข้าวสารที่ขาวจึงขัดผิวข้าวกล้องจนถึงชั้น Sub-aleurone ทำให้คัพภะหลุดจากเนื้อเมล็ดรวมอยู่ด้วย ดังนั้น ปริมาณ ชนิดของโครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ได้จากกระบวนการขัดสีข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว สภาวะแวดล้อมที่ปลูก รวมถึงกรรมวิธีในการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง รำข้าวเป็นส่วนที่ได้จากกระบวนการสีและกระบวนการขัดขาวข้าว โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ รำหยาบ (ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง) และรำละเอียด (ได้จากการขัดขาวและขัดมัน) แต่อย่างไรก็ตามรำข้าวที่ได้ยังมีคุณค่าทางอาหารในด้านโภชนาการค่อนข้างสูง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า วิตามิน และเกลือแร่ต่างๆ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอย่างแพร่หลาย ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีที่สำคัญของรำข้าว (ไขมันเต็ม และสกัดน้ำมัน) รำข้าวหยาบ และรำข้าวละเอียดจะแสดงในตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

ชนิดของรำข้าว	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
ไขมันเต็ม	12.0	13.7	12.1	14.4	25.4
สกัดน้ำมัน	18.3	5.4	11.2	8.6	31.6

ที่มา Connor, Saunders and Kohler (1976)

พบว่าในรำข้าวไขมันเต็มจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 25-43) รองลงมาคือ ไขมัน (ร้อยละ 13-20) โปรตีน (ร้อยละ 12-14) เถ้า (ร้อยละ 12) และเส้นใย (ร้อยละ 8-14) และเมื่อสกัดไขมันออกแล้วองค์ประกอบหลักซึ่งมีมากเป็นอันดับที่ 2 ในรำข้าวสกัดไขมันรองจากคาร์โบไฮเดรตคือ โปรตีน (ร้อยละ 13-18) (Connor et al. 1976) จากองค์ประกอบดังกล่าวทำให้รำข้าวมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมันรำข้าว หรือถูกนำไปผลิตเป็น

อาหารสัตว์ หรือในบางครั้งจะมีการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากกากรำข้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกไปแล้วได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนจากรำข้าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้หลายชนิด เช่น ขนมปัง (Tuncel et al, 2014) อาหารเช้าธัญพืช อาหารเสริมโปรตีน เครื่องดื่ม และเป็นส่วนประกอบในอาหารทารกหรืออาหารเด็กเล็กอีกด้วย เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นที่เด็กต้องการ (ดังแสดงในตารางที่ 2.8) และไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Shih, 2003) อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดสายพันธุ์ของข้าว หรือแหล่งที่ปลูกของข้าว เป็นต้น

รำข้าวนอกจากประกอบไปด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นแล้ว ยังอุดมไปด้วยวิตามิน ซึ่งได้แก่ วิตามินอี ไทอามีน ไนอะซิน รวมไปถึงเกลือแร่ เช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม คลอรีน เหล็ก แมงกานีส แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม และสังกะสี อีกด้วย (Sunders, 1990) นอกจากนี้ยังพบว่ารำข้าวยังประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำคัญในปริมาณสูงซึ่งมีผลต่อการป้องกันโรคในร่างกายมนุษย์ (Ryan, 2011) ซึ่งรำข้าวนอกจากเป็นแหล่งชีวโมเลกุลที่สำคัญแล้ว ยังมีปริมาณของแกมมาออริซานอล (γ-Oryzanols) สูง อีกทั้งยังมีสารในกลุ่มไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) กลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenols) และวิตามินอี ทั้งชนิดโทโคเฟอรอล (Tocopherols) และโทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) (แสดงในตารางที่ 2.10) สารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีคุณค่าต่อสุขภาพจากการมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันที่มีในรำข้าวทุกชนิดสามารถช่วยลดอนุมูลอิสระในร่างกายได้จึงลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidation stress) ที่เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน เป็นต้น (บังอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และอรุณศรี ปรีเปรม, 2548)

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวหยาบ และรำข้าวละเอียดจากข้าว

องค์ประกอบทางเคมี (คิดที่ความชื้นร้อยละ 14)	**รำหยาบ**	**รำละเอียด**
โปรตีน (ร้อยละไนโตรเจน×6.25)	12.0-15.6	11.8-13.0
ไขมัน (ร้อยละ)	15.0-19.7	10.1-12.4
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	7.0-11.4	2.3-3.2
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	34.1-52.3	51.1-55.0
เถ้า (ร้อยละ)	6.6-9.9	5.2-7.3
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.3-1.2	0.5-0.7
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	5.0-13.0	6.0-7.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	11.0-25.0	10.0-22.0
ไฟทิน ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	9.0-22.0	12.0-17.0
ซิลิกา (มิลลิกรัมต่อกรัม)	6.0-11.0	2.0-3.0
สังกะสี (ไมโครกรัมต่อกรัม)	43.0-258.0	17.0-60.0
วิตามิน		
ไทอะมีน (บี 1) (ไมโครกรัมต่อกรัม)	12.0-24.0	3.0-19.0
ไรโบเฟลวิน (บี 2) (ไมโครกรัมต่อกรัม)	1.8-4.3	1.7-2.4
ไนอะซิน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	267.0-499.0	224.0-389.0

ที่มา อรอนงค์ นัยวิกุล (2556)

ตารางที่ 2.8 กรดอะมิโนในรำข้าว

กรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน/โปรตีน			
	Houston et al. (1969)	**Juliano (1985)**	**Wang et al. (1999)**	**Tang et al. (2003)**
ไลซีน	4.81	5.50	4.70	5.40
ฮิสทิดีน	2.71	3.00	2.90	3.30
อาร์จีนีน	8.28	9.00	8.90	10.20
กรดแอสพาร์ติก	9.09	10.50	8.00	11.20
ทรีโอนีน	3.78	4.40	3.70	3.70
เซรีน	4.68	5.30	4.10	4.50
กรดกลูตามิก	13.58	15.30	12.50	18.10
โพรลีน	4.23	-	-	-
ไกลซีน	5.47	6.10	5.40	6.20
อะลานีน	6.15	6.80	6.10	7.30
ซิสเทอีน	2.32	2.60	1.60	-
วาลีน	6.00	5.70	6.30	7.00
เมไธโอนีน	2.32	2.00	2.20	-
ไอโซลิวซีน	3.94	3.00	3.90	4.50
ลิวซีน	6.91	8.00	7.40	8.00
ไทโรซีน	3.13	3.70	3.30	3.70
ฟีนิลอะลานีน	4.43	5.10	4.60	5.10
ทริปโตเฟน	-	0.70	1.20	-
แอสพาราจีน	-	-	-	-
กลูตามีน	-	-	-	-

ที่มา Fabian and Ju (2011)

จากตารางที่ 2.8 ซึ่งจะมีกรดอะมิโนเพียง 8 ชนิดเท่านั้นที่ถือว่าเป็นกรดอะมิโนจำเป็น เพราะร่างกายจะไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากการรับประทานอาหารต่างๆ รวมไปถึงอาหารเสริม และยังมีกรดอะมิโนจำเป็นอีกตัวหนึ่ง คือ ฮิสทิดีน ซึ่งจัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็นสำหรับเด็กและทารกเท่านั้น นอกจากนี้ก็ยังมีกรดอะมิโนไม่จำเป็นซึ่งร่างกายสามารถสร้างขึ้นเองได้ อย่างไรก็ตามกรดอะมิโนแต่ละตัวทั้งที่ร่างกายสามารถสร้างเองได้ และไม่สามารถสร้างเองได้มีความสำคัญและหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไปต่อร่างกายมนุษย์ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความสำคัญและประโยชน์ของกรดอะมิโนแต่ละชนิดต่อร่างกายมนุษย์

ชนิดกรดอะมิโน	**ความสำคัญ/หน้าที่/ประโยชน์**
กรดอะมิโนไม่จำเป็น	
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	หน้าที่หลักคือเป็นเชื้อเพลิงให้แก่สมอง ช่วยจัดการกับแอมโมเนียส่วนเกิน
กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid)	ช่วยในการขับแอมโนเมียซึ่งเป็นสารอันตรายออกจากร่างกาย จึงช่วยปกป้องระบบประสาทส่วนกลาง
กลูตามีน (Glutamine)	เป็นส่วนหนึ่งของกลูต้าไธโอน มีส่วนช่วยให้ฉลาดขึ้น และช่วยเพิ่มระดับของโกรทฮอร์โมน
ไกลซีน (Glycine)	ช่วยรักษาภาวะต่อมใต้สมองทำงานน้อย รักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อลีบ รักษาภาวะน้ำตาลต่ำ
ซิสเทอีน (Cysteine)	ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ และมีความจำเป็นสำหรับทารกและผู้สูงอายุ
เซรีน (Serine)	ช่วยเผาผลาญไขมัน เพิ่มการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อและระบบภูมิคุ้นกันในร่างกาย
ไทโรซีน (Tyrosine)	ช่วยส่งเสริมการทำงานของต่อมหมวกไต ต่อมใต้สมอง ต่อมไทรอยด์ และช่วยรักษาอาการซึมเศร้า
โพรลีน (Proline)	ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ และช่วยปรับปรับโครงสร้างผิว
อะลานีน (Alanine)	ช่วยคุมระดับน้ำตาลในเลือดและลดอาการต่อมลูกหมากโต

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

ชนิดกรดอะมิโน	**ความสำคัญ/หน้าที่/ประโยชน์**
อาร์จีนีน (Arginine)	กระตุ้นการหลังโกรทฮอร์โมน เพิ่มจำนวนอสุจิ เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ช่วยเผาผลาญไขมันในร่างกายและลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดดี
แอสพาราจีน (Asparagine)	ช่วยแก้ไขความบกพร่องทางสมองในเด็กที่มีปัญหาพันธุกรรมผิดปกติ
กรดอะมิโนจำเป็น	
ทริปโตเฟน (Tryptophan)	ลดความเครียด บรรเทาอาการไมเกรน ช่วยส่งเสริมการนอนหลับอย่างเป็นธรรมชาติ
ทรีโอนีน (Threonine)	ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน ช่วยเผาผลาญไขมัน และมีส่วนสำคัญในการสร้างกรดอะมิโนอย่าง ไกลซีน และ เซรีน
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine)	เพิ่มความตื่นตัวเสริมความจำ บรรเทาอาการซึมเศร้า ลดความอยากอาหาร และช่วยเพิ่มความสนใจในเรื่องเพศ
เมไธโอนีน (Methionine)	เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระอันทรงพลัง และช่วยในการย่อยสลายไขมัน
ลิวซีน (Leucine)	ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มพลังให้กล้ามเนื้อ และช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น
ไลซีน (Lysine)	ช่วยเสริมสมาธิ ช่วยป้องกันโรคเริมและโรคกระดูกพรุน บรรเทาปัญหาด้านการสืบพันธุ์
วาลีน (Valine)	ช่วยกระตุ้นสมรรถนะของสมอง และช่วยประงานกันของกล้ามเนื้อ
ไอโซลิวซีน (Isoleucine)	ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโต และเสริมสร้างการทำงานของระบบประสาท ช่วยพัฒนาการเรียนรู้
ฮิสทิดีน (Histidine)	เป็นกรดอะมิโมจำเป็น สำหรับทารกและเด็กเท่านั้น

ที่มา นันทยา จงใจเทศ (2549)

ตารางที่ 2.10 สารสำคัญในรำข้าวที่มีผลต่อสุขภาพ

สารสำคัญ	**ปริมาณ (ส่วนในล้านส่วน: ppm)**
ไฟโตสเตอรอล	2,230-4,400
แกรมมาออริซานอล	2,200-3,000
โทโคเฟอรอล และโทโคไตรอีนอล	210-440
โพลิฟีนอล	305-309
สควารีน	4,000

ที่มา บังอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และอรุณศรี ปรีเปรม (2548)

2.4 การนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

จากประโยชน์ของรำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวนั้น นักวิจัยและผู้ประกอบการมีความต้องการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวทั้งชนิดหยาบและละเอียด จึงมีการศึกษาและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 การใช้ประโยชน์จากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว	การประยุกต์ใช้รำข้าว	แหล่งอ้างอิง
น้ำมันรำข้าว	เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับบริโภคที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีคลอเรสเตอรอลต่ำ	Friedman (2013) Rigo, Pohlmann, Guterres & Ruver Beck (2014) Kaewboonnum, Wachararuji & Shotipruk (2008)
ไขข้าว	สามารถใช้เป็นสารเคลือบในอาหาร เช่น เคลือบช็อกโกแลต และผลไม้	บุญชัย เบญจรงคกุล (2557)
อาหารเสริม	ใช้สาร Gamma-oryzanol, Lecithin และวิตามินอี จากการสกัดรำข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม	Shih (2003) และบุญชัย เบญจรงคกุล (2557)
ส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อนหรือทารก	ใช้รำข้าวแบบละเอียดมาผสมในอาหารเด็กอ่อนเพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ	Shih (2003)
อาหารสัตว์	ใช้รำข้าวชนิดหยาบเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์	บุญชัย เบญจรงคกุล (2557)
ส่วนผสมในขนมปัง	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Tuncel et al. (2014)

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว	การประยุกต์ใช้รำข้าว	แหล่งอ้างอิง
อาหารเช้าธัญพืช อาหารเสริมโปรตีน เครื่องดื่ม	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Shih (2003)
เครื่องสำอางและครีมบำรุงผิว	นำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางและครีมบำรุงผิว หรือโลชั่นต่างๆ เนื่องจากในน้ำมันรำข้าวประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น แกรมมาออริซานอล และวิตามินอี ซึ่งช่วยบำรุงผิวพรรณให้ความชุ่มชื้น และชะลอความเหี่ยวย่นของผิวได้	Lerma-García, Herrero-Martínez, Simó-Alfonso, Mendonça & Ramis-Ramos (2009) Friedman (2013)
เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อและไส้กรอก	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Prakash (1996)
เครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ (แต่งกลิ่น และรสชาติ)	ใช้รำข้าวแบบละเอียดในการผลิตเป็นเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์แต่งกลิ่นรสช็อคโกแลตและสตอเบอรี่	Faccin, Miotto, Vieira, Barreto & Amante (2009)
ผลิตภัณฑ์นม (โยเกิร์ต) และอื่นๆ เช่น โยเกิร์ตพร้อมดื่ม	ใช้สารสีที่อยู่ในรำข้าวสีดำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	Nontasan, Moongngarm & Deeseenthum (2012) Gao, Kaneko, Hirata, Toorisaka, & Hano (2008) Li, Lu, Yang, Han, & Tan (2012)

2.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทยนับว่าเป็นตลาดที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจัยหนุนที่สำคัญคือ กระแสการรักษาสุขภาพเชิงป้องกัน ถึงแม้ว่าจะไม่มีรายงานอย่างชัดเจนจากทางการแพทย์ แต่ผู้คนส่วนใหญ่มีความเชื่อว่าการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มที่ดีต่อสุขภาพจะช่วยให้สุขภาพร่างกายไม่เจ็บป่วย และสามารถช่วยลดภาวะเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บได้ จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ทั้งการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลง ความกดดันจากสภาพเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อมในสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการตระหนักถึงเรื่องสุขภาพมากขึ้นของผู้บริโภคในปัจจุบัน

ธัญพืช ได้แก่ ข้าว ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และงา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ใช้เป็นอาหารสัตว์และส่งออกไปประเทศต่างๆ ทั่วโลก ในตลาดโลกมีการแข่งขันทางการค้ามากขึ้น การกีดกันการนำเข้าธัญพืช ทำให้ธัญพืชของไทยมีราคาไม่แน่นอน บางปีตกต่ำมาก และบางปีประสบปัญหาภาวะล้นตลาด ดังนั้นถ้าสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับธัญพืช และช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น รวมถึงยังอาจเป็นสินค้าส่งออกไปต่างประเทศ ช่วยลดการเสียดุลการค้าของประเทศไทยลงได้เช่นกัน

ปัจจุบันพบเครื่องดื่มประเภทนมมากมายในท้องตลาดที่ผลิตจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและจากแหล่งอื่น เช่น พืชและธัญพืช ซึ่งเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่เลียนแบบนมชนิดที่นิยมส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบจากพืช อาจใช้ในรูปของการใช้เมล็ดพืช เช่น เมล็ดพืชน้ำมันและธัญพืช มาผลิตโดยตรง หรืออาจใช้ในรูปของโปรตีนสกัดจากเมล็ดพืชและใบพืช อาจเรียกเครื่องดื่มว่า นมพืช (Vegetable milk) ผลิตภัณฑ์เลียนแบบนมและผลิตภัณฑ์นมจากพืชที่พัฒนาตัวแรกๆ คือ ถั่วเหลืองและถั่วลิสง นมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่บริโภคกันมากและผลิตหลายรูปแบบแต่ยังมีปัญหาด้านกลิ่นรส ซึ่งผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับทำให้การขยายตัวอยู่ในวงจำกัด เป็นผลให้การศึกษาค้นคว้าโดยการนำเอาวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์หลายแหล่งมาใช้ในการผลิต ซึ่งวัตถุดิบจากสัตว์ได้แก่ เวย์โปรตีน, หางนมผง, โปรตีนเคซีน, โปรตีนปลาเข้มข้น เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบจากพืช เช่น ถั่วพู งา และเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ จากธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ในรูปของโปรตีนเข้มข้น (Protein isolates) หรือรูปโปรตีนสกัดจากใบพืช (Leaf protein) รวมทั้งโปรตีนเซลล์เดียว (Single cell protein) จากยีสต์ มากไปกว่านั้นการพัฒนาน้ำนมพืชนี้ ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำนม เหมาะสำหรับผู้ที่มีอาการแพ้นม (Lactose intolerant) เนื่องจากขาดเอนไซม์แลกเตส และต้องการใช้ไขมันจากพืชแทนไขมันสัตว์

เพราะไขมันสัตว์มีผลต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดและความดันโลหิตสูง โดยทั่วไปเครื่องดื่มเลียนแบบนมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยสรุปดังนี้

2.5.1 เครื่องดื่มเลียนแบบนมจากเมล็ดพืชน้ำมัน (Oilseed) เช่น เครื่องดื่มจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่วลิสง เมล็ดถั่วพู และเมล็ดงา เป็นต้น

2.5.2 เครื่องดื่มเลียนแบบนมจากเมล็ดธัญพืช (Cereal grain) เช่น เครื่องดื่มจากข้าวโพด และข้าวเจ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพสามารถทำได้จากวัตถุดิบต่างๆ ที่มีประโยชน์ หนึ่งในนั้นรวมถึงข้าวที่เป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในโลก ซึ่งข้าวสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มน้ำนมข้าวได้และในปัจจุบันนี้มีการผลิตขึ้นมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว เนื่องจากข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์ มีคลอเรสเตอรอลต่ำและยังปราศจากน้ำตาลแลกโตส ซึ่งไม่ทำให้เกิดการแพ้และเป็นผลดีต่อผู้บริโภคที่ไม่สามารถบริโภคน้ำนมวัวได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าข้าวจะสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำนมข้าวได้เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนน้ำนมวัวในปัจจุบัน แต่ในนมข้าวก็ยังมีข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมวัว ตัวอย่างเช่น มีปริมาณแคลเซียมต่ำ รวมถึงปริมาณโปรตีนในน้ำนมข้าวด้วย ดังนั้นนมข้าวส่วนใหญ่ที่พบในเชิงพาณิชย์มักจะมีการเติมแคลเซียม หรือสารอาหารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นธัญพืชที่มีประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ใกล้เคียงกับน้ำนมวัวมากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากมายในท้องตลาดที่ผลิตขึ้นมาจากพืชและธัญพืช ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้อาจจะไม่ได้ให้พลังงานที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมวัว แต่เครื่องดื่มเหล่านี้หรือที่เรียกว่า “Functional drink” จะช่วยในการทำให้ร่างกายสดชื่น มีการเติมคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามิน แร่ธาตุต่างๆ เพื่อช่วยเสริมสร้างการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ และสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้อีกด้วย

2.6 การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในปัจจุบัน มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค และความเป็นไปได้ในการผลิตนั้นๆ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่พบในเชิงพาณิชย์จะมีกระบวนการผลิตหลักๆ ที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ การผลิตแบบพาสเจอร์ไรส์ การผลิตแบบสเตอร์ริไรส์ และการผลิตแบบผงพร้อมชง

2.6.1 การผลิตแบบพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization)

พาสเจอร์ไรส์ (Pasteurize) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน การฆ่าเชื้อวิธีนี้สามารถทำลายเอนไซม์ต่างๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต้องไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส โดยผู้ผลิตสามารถเลือกใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า หรือใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิตู้เย็น เพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้ วิธีการพาสเจอร์ไรส์มี 2 วิธีดังนี้

2.6.1.1 วิธีใช้ความร้อนต่ำ - เวลานาน (LTLT: Low Temperature - Long Time)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 62.8 - 65.6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อผ่านความร้อนโดยใช้ เวลาตามที่กำหนดแล้ว ต้องเก็บอาหารไว้ในที่เย็นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 7.2 องศาเซลเซียส กรรมวิธีการ นี้นอกจากจะทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคแล้วยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยไขมันชนิดไลเปส (Lipase) ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดกลิ่นหืนในน้ำนมด้วย

2.6.1.2 วิธีใช้ความร้อนสูง - เวลาสั้น (HTST: High Temperature - Short Time)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีแรก แต่ใช้เวลาน้อยกว่าคืออุณหภูมิ 71.1 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 15 วินาที อาหารที่ผ่านความร้อนแล้วจะได้รับการบรรจุลง กล่องหรือขวดโดยวิธีปราศจากเชื้อ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส (ชมภูนุช เผื่อนพิภพ และปรัชญา แพมงคล, 2554)

ในปี 2009 พบว่ามีการนำรำข้าวไปประยุกต์ใช้กับเครื่องดื่มพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งเป็นการศึกษาของ Faccin et al. (2009) โดยใช้รำข้าวที่ได้มาจากข้าวสายพันธุ์ในประเทศบราซิล ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มพาสเจอร์ไรส์ที่ทำจากรำข้าวด้วยการเติมกลิ่น รสของโกโก้ สตอเบอรี่และสารให้ความหวานลงไป และตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในด้าน กายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และการประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ของทั้งสองรสชาติไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในด้านขององค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องดื่มนี้สามารถให้พลังงาน 450-478 กิโลจูลต่อลิตร ต่อการบริโภคในหนึ่งครั้ง ปริมาณของกรดไขมันในเครื่องดื่มไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของกรดไขมันในตัวรำข้าวที่ใช้ผลิต แต่พบว่าปริมาณของกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมากกับตัวรำข้าว อย่างไรก็ตาม ผลของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์นี้มีคะแนนความชอบมากกว่า

6 คะแนนและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ ดังนั้นนักวิจัยสรุปว่ารำข้าวอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้ แต่อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของจุลชีววิทยา สภาวะการเก็บรักษา และความปลอดภัยต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านของกลิ่น สี รสชาติ และลักษณะปรากฏ ให้มีคุณภาพที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการนำรำข้าวมาเพิ่มมูลค่าโดยนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจอย่างมากในปัจจุบัน และควรมีการศึกษาค้นคว้า วิจัยเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตอย่างต่อเนื่องอีกด้วย เพื่อเป็นการนำผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการสีข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับภาคอุตสาหกรรม (Faccin et al., 2009)

2.6.2 การผลิตแบบสเตอริไรส์ (Sterilization)

การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ รวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสปอร์ส่วนใหญ่ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย กรรมวิธีการฆ่าเชื้อนี้ต้องใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่เหมาะสม ปริมาณความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะอยู่ในระดับที่เรียกว่า การฆ่าเชื้อเชิงการค้า (Commercial sterilization) หรือใช้ความร้อนในการสเตอริไรส์จะสูงกว่าจุดเดือด คือประมาณ 100-130 องศาเซลเซียส วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น UHT (Ultra High Temperature) โดยจะใช้อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-4 วินาที อาหารที่ผ่านการแปรรูปในระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้าอาจยังมีสปอร์ของแบคทีเรียทนร้อน (Thermophiles) หลงเหลืออยู่ แต่ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากอาหารถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส สปอร์ของแบคทีเรียทนร้อนจึงไม่สามารถงอกและเพิ่มจำนวนต่อการทำให้อาหารเน่าเสียได้ (เยาวพา สุวัตถิ, 2557)

2.6.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอีมันชัน (Emulsion) และของเหลวชนิดต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของผงแห้ง มักใช้วิธีนี้ในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีวางขายในปัจจุบันได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยา และสีย้อม การทำแห้งด้วยวิธีนี้ นอกจากจะใช้สำหรับทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้ว ยังเป็นวิธีการที่มีประโยชน์มากในการลดขนาดและปริมาตรของของเหลวอีกด้วย จากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องกันมาทำให้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้ทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปัจจุบัน โดยหลักการของกระบวนการผลิตแบบผงจะมีดังนี้ คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการ

พ่นของเหลว (Feed) เป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับอาหารเหลวนั้น จะเริ่มทำตั้งแต่ใส่อาหารเหลวลงในเครื่อง แล้วรอจนอาหารเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นตัวทำละลาย สารประเภทอิมัลชัน หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (วสันต์ ด้วงคำจันทร์, 2546; รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535; สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

2.7 มาตรฐาน / ข้อกำหนด คุณภาพและการตรวจวัดคุณภาพ

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 198 ปี พ.ศ.2543 อ้างโดยสำนักงานคณะกรรมการองค์การอาหารและยา (2543) ว่าด้วยการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานน้ำนมถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทไว้ดังนี้

ข้อ 1 น้ำนมถั่วเหลือง หมายความว่า ของเหลวที่ได้จากถั่วเหลืองหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของถั่วเหลือง และอาจผสมวัตถุอื่นที่มีคุณค่าทางอาหารด้วยหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ ให้หมายความรวมถึงน้ำนมถั่วเหลืองชนิดเข้มข้นที่ต้องเจือจางก่อนบริโภค และน้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้งที่ต้องละลายก่อนบริโภค

ข้อ 2 การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง ต้องใช้ถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก และในกรณีที่เป็นน้ำนมถั่วเหลืองชนิดเหลวต้องผ่านกรรมวิธีแล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้

1) พาสเจอร์ไรส์ หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อุณหภูมิและเวลาอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1.1) อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

1.2) อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

2) สเตอริไลส์ หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

3) ยู เอช ที หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 133 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 1 วินาที แล้วบรรจุในภาชนะและในสภาวะที่ปราศจากเชื้อ ทั้งนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย

4) กรรมวิธีอย่างอื่นที่มีมาตรฐานเทียบเท่ากรรมวิธีตาม 1) 2) หรือ 3) ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการอาหารและยา

5) กรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 3 เครื่องดื่มน้ำนมถั่วเหลืองจากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด จะต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1) มีกลิ่นและรสตามลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองนั้น

2) มีลักษณะเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน

3) มีโปรตีนจากถั่วเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนัก

4) มีไขมันจากถั่วเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

5) ไม่มีวัตถุกันเสีย

6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

8) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 2.2 ต่อน้ำนมถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตร โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most probable number)

9) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*) ในน้ำนมถั่วเหลือง 0.1 มิลลิลิตร

10) ตรวจไม่พบแบคทีเรียในน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธีสเตอริไลส์ 0.1 มิลลิลิตร และมีแบคทีเรียไม่เกิน 10 ในน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธี ยู เอช ที 1 มิลลิลิตร

11) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาลนอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

12) ไม่มีสารปนเปื้อน เว้นแต่

12.1) สารหนู ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.3) ทองแดง ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.4) สังกะสี ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.5) เหล็ก ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.6) ดีบุก ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.7) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

ข้อ 4 น้ำนมถั่วเหลืองชนิดเข้มข้นเมื่อเจือจางตามที่กำหนดไว้ในฉลากแล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 3

ข้อ 5 น้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1) มีลักษณะเป็นผงไม่เกาะเป็นก้อน

2) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก

3) มีแบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ในน้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้ง 1 กรัม

4) เมื่อละลายหรือผสมน้ำตามที่กำหนดไว้ในฉลากแล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 3

ข้อ 6 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าน้ำนมถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 7 การใช้ภาชนะบรรจุน้ำนมถั่วเหลือง ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 8 การแสดงฉลากของน้ำนมถั่วเหลือง ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

2.8 แนวโน้มตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทยนับว่าเป็นตลาดที่น่าสนใจ แม้ว่าภาวะเศรษฐกิจโดยรวมจะชะลอตัวก็ตาม อย่างไรก็ตามมีการส่งผลกระทบที่น้อยมากต่อตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เนื่องจากปัจจัยหลักที่สำคัญคือ กระแสการรักษาสุขภาพเชิงป้องกัน จากศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร สถาบันอาหาร พบว่าพฤติกรรมผู้บริโภคและทัศนคติต่อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในกลุ่ม “อาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูป หรือ อาหารเพื่อสุขภาพบรรจุภาชนะ (Packaged health food)” ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตลาดค่อนข้างใหญ่ด้วยมูลค่าตลาด 79,311 ล้านบาท หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55.35 ของมูลค่าตลาดอาหารเพื่อ

สุขภาพทั้งหมดโดยมีการแยกสัดส่วนตลาดออกเป็นสัดส่วนได้ดังนี้ คือ 1) ผลิตภัณฑ์บำรุงร่างกาย ชนิดเครื่องดื่มหรือชนิดน้ำ (ร้อยละ 42.0) 2) ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพทั่วไป (ทั้งชนิดเม็ดและผง ไม่รวมวิตามิน) (ร้อยละ 35.0) 3) กลุ่มวิตามิน (ร้อยละ 16.0) และ 4) กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็ก (ร้อยละ 7.0) ตามลำดับ โดย Euromonitor International คาดว่าตลาดอาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูปในไทยจะเติบโตอย่างรวดเร็วร้อยละ 14 ภายในปี พ.ศ. 2558 โดยมีปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญ คือ แนวโน้มผู้บริโภคที่หันมานิยมอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ในด้านช่องทางการกระจายสินค้ามีความสะดวกสบายทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อได้ง่ายขึ้น และที่สำคัญการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการนำนวัตกรรมใหม่ๆ มาสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์เพื่อให้ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคเฉพาะด้านคุณค่าอาหารที่ได้รับ เช่น กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเพื่อผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมคลอเรสเตอรอล ไขมันและน้ำตาล ผลิตภัณฑ์สำหรับความสวยงามด้านผิวพรรณ ผลิตภัณฑ์สำหรับสมอง และผลิตภัณฑ์สำหรับบำรุงหัวใจ เป็นต้น รวมทั้งการสร้างสรรค์บรรจุภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ดูดี เข้ากับรูปแบบการใช้ชีวิต การแสดงคุณค่าหรือคุณประโยชน์หรือความเป็นมาของส่วนผสมที่นำมาแสดงบนบรรจุภัณฑ์ ล้วนแล้วเป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูป

อย่างไรก็ตามคาดว่าแนวโน้มในอนาคตของธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทย และทั่วโลกยังคงขยายตัวได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผู้คนหันมาให้ความใส่ใจด้านสุขภาพอนามัยมากขึ้น ทำให้ผู้คนมีการใช้จ่ายในเรื่องที่เกี่ยวกับการป้องกันและรักษาสุขภาพให้แข็งแรงมากขึ้น โดยทั้งคนไทยและคนชาติอื่นๆ บางส่วนเชื่อว่า การบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ช่วยให้สุขภาพแข็งแรงและอาจช่วยลดอัตราการเสี่ยงของการเกิดโรคด้วยเช่นกัน ดังนั้นตลาดผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจะยังคงมีการขยายตัวทั้งในแง่ของผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ และบริษัทรายใหม่ที่ทยอยเข้ามาในตลาด ซึ่งนับว่าเป็นผลดีกับผู้บริโภค เนื่องจากจะเกิดการแข่งขันของผู้ประกอบการที่สูง จึงส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องพัฒนาตนเองมากขึ้น โดยเฉพาะด้านคุณภาพ มาตรฐานของสินค้าและราคาอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

โดยสรุปแล้วธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพนับว่าเป็นธุรกิจที่น่าจับตามอง เนื่องจากยังคงมีโอกาสในการขยายตัวได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยหนุนคือ กระแสการรักษาสุขภาพเชิงป้องกัน รวมทั้งการขยายฐานลูกค้า โดยการที่ผู้ประกอบการให้ความรู้และข้อมูลที่ถูกต้องของอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ซึ่งอ้างอิงมาจากผลงานวิจัยและพัฒนาของสถาบันที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ดังนั้นการจะประกอบธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพให้ได้ผลสำเร็จหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ประกอบการแต่ละรายที่จะต้องมีมาตรการทางการตลาดที่ดี สามารถขายแข่งขันกับคู่แข่งได้ ในราคาที่ไม่แพง และสินค้ามีคุณภาพดี โดยต้องผ่าน

การรับรองจากองค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเท่ากับเป็นการรับรองคุณภาพและความปลอดภัยในการบริโภค เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอันดับต้นๆ ในการพิจารณาเลือกซื้ออาหารเสริมเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคในอนาคต

2.9 ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ หมายถึง พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลิเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ สารกลุ่มนี้ไม่ละลายในน้ำ แต่จะแขวนลอย (Disperse) อยู่ในน้ำ โดยจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี โดยทั่วไปจะเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจประกอบไปด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมด (โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์) เช่น เดกซ์แทรน และฟอสโฟแมนแนน หรือประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิด (เฮทเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์) เช่น กัมอะราบิก และกัมคารายา เป็นต้น

กัม (Gums) หมายถึง สารที่มีลักษณะเหนียว เมื่อละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำจะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงได้นำสารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Emulsifier) สารแขวนตะกอน (Suspending agent) สารทำให้เกิดเจล (Gelling agent) สารทำให้เกิดฟิล์ม (Film-forming agent) เป็นสารห่อหุ้ม (Encapsulating agent) และหน้าที่อื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารอีกมากมาย ซึ่งหน้าที่ดังกล่าวนั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่ดี รวมถึงช่วยยืดอายุการวางขายของผลิตภัณฑ์อาหารได้นาน

ไฮดรคอลลอยด์สามารถจำแนกเป็นชนิดต่างๆได้ 2 วิธี คือ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

1. จำแนกตามแหล่งที่มา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1.1) ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ยาง เมล็ด ราก หัว และได้จากสาหร่ายทะเลบางชนิดได้มาจากสัตว์ เช่น เจลาติน

1.2) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอนุพันธ์ของสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือดัดแปลสารจากธรรมชาติ (Modified natural) เช่น อนุพันธ์ของเซลลูโลส และอนุพันธ์ของสตาร์ช

1.3) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นสารสังเคราะห์ (Synthetic) เช่น พอลิไวนิลไพโรลิดีน และพอลิเอทิลีนออกไซด์พอลิเมอร์

อย่างไรก็ตามไฮโดรคอลลอยด์ที่มักเป็นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ได้แก่ ไฮโดรคอลลอยด์ในกลุ่มที่ได้จากธรรมชาติ

2. จำแนกตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลและ Functional หรือ Reactive group ที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งอาจเป็นประจุลบ (Anionic) ไม่มีประจุ (Non-ionic) หรือเป็นกลาง (Neutral) สำหรับพอลิแซ็กคาไรด์กัมชนิดที่มีประจุลบ คือ พวกที่มีหมู่ซัลเฟต หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ฟอสเฟต

2.9.1 สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์

2.9.1.1 การกระจายตัวในน้ำ (Dispersibility in water)

ไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่จะสามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เช่น กัมอะราบิก และกัมบางชนิดจะละลายได้บ้างในตัวทำละลายอินทรีย์ การที่ไฮโดรคอลลอยด์มีความสามารถในการละลายหรือการกระจายตัวได้ในน้ำผันแปรแตกต่างกันเรียกว่า “Degree of solubility” ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิและความเข้มข้น ไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมส่วนใหญ่จะละลายได้ดีที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1-2 ในขณะที่อนุพันธ์ของเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากมีความหนืดต่ำ อย่างไรก็ตามการละลายของไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อน และการละลายกัมจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เนื่องจากกัมเหล่านี้มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้เกิดการดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน

2.9.1.2 ความหนืด (Viscosity)

ไฮโดรคอลลอยด์หรือสารพวกกัม เมื่อละลายในน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดมากขึ้น และจะมีความหนืดต่างกันในสารละลายกัมต่างชนิดกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลาย ได้แก่ ธรรมชาติชนิดของกัม อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย เป็นต้น

ตารางที่ 2.12 ปริมาณการใช้กัมแต่ละชนิดตามหน้าที่ในอุตสาหกรรมอาหาร

หน้าที่	ร้อยละ
เพิ่มความคงตัว, ช่วยพยุงตัว และ ช่วยกระจายคราบน้ำมัน	25
เพิ่มความหนืด	23
สารช่วยให้เกิดฟิล์ม	17
สารช่วยกักเก็บน้ำ	12
ช่วยทำให้รวมตัว / แข็งตัว	7
คอลลอยด์	6
สารหล่อลื่น และ ลดแรงเสียดทาน	5
อื่นๆ	5

ที่มา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553)

2.9.1.3 การเกิดเจล (Gel formation)

เพกทิน เอการ์ สตาร์ช แอลจิเนต และคาร์ราจีแนน เป็นกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์กัมที่สามารถเกิดเจลได้เมื่อได้รับสภาวะที่เหมาะสม เช่น เพกทินจะเกิดเจลได้เมื่อมีน้ำร้อน น้ำตาลและกรด สตาร์ชละลายในน้ำร้อนหรือต้มกับนมจะได้เจลที่มีเนื้อนุ่ม เอการ์ก็เช่นเดียวกัน จะเกิดเจลได้ดีเมื่อต้มจนเดือด ส่วนคาร์ราจีแนนจะเกิดเจลเมื่อละลายในน้ำร้อนแล้วตั้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดอาจต้องใช้สภาวะที่พิเศษ เช่น ต้องการโพแทสเซียมไอออน หรือแคลเซียมไอออน ในการทำให้เกิดเจล ดังนั้นจากสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมานั้นจึงทำให้มีการนำไฮโดรคอลลอยด์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ต้องขึ้นอยู่กับสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด และหน้าที่ที่ต้องการแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 2.12 และ ตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด และปริมาณจำกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่			ปริมาณจำกัดในการใช้ (ร้อยละ)
	เพิ่มความหนืด	เกิดเจล	เพิ่มความคงตัว	
กัวร์กัม	+	-	-	1.5
โลคัสบีนกัม	+	-	-	1.5
เพกทิน	-	+	+	2.0
แอลจิเนต	+	+	+	1.0
เอการ์	-	+	+	1.0
คาร์ราจีแนน	-	+	+	1.5
กัมทรากาแคนต์	+	-	-	2.0
กัมอะราบิก	+	-	+	50.0
สตาร์ช	+	-	+	2.0
แซนแทนกัม	+	-	+	1.0

ที่มา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553) และ Viebke, Al-Assaf and Phillips (2014)

2.9.2 การใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์

ปัจจุบันไฮโดรคอลลอยด์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างแพร่หลาย ประเทศสหรัฐอเมริการายงานปริมาณการใช้ของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.14 อย่างไรก็ตามการนำพอลิแซ็กคาไรด์กัมมาใช้ทำหน้าที่ในผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ นั้น ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสมบัติเฉพาะตัวของกัมชนิดนั้นๆ ด้วย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดอาจใช้ไฮโดรคอลลอยด์มากกว่าหนึ่งชนิดมาผสมกันเพื่อให้เกิดลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็ได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันการนำกัมมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ นั้นยังคงมีการค้นคว้าวิจัยอย่างต่อเนื่อง และยังมีการพัฒนาไฮโดรคอลลอยด์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมาด้วย เพื่อช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น

ตารางที่ 2.14 ปริมาณการใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรม

ไฮโดรคอลลอยด์	ปริมาณการใช้ (ล้านปอนด์)		
	อุตสาหกรรมอาหาร	อุตสาหกรรมอื่นๆ	ปริมาณทั้งหมด
แป้งข้าวโพด	600.0	2,500.0	3,100.0
กัมอาระบิก	24.0	7.0	31.0
กัวร์กัม	20.0	45.0	65.0
คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส	16.0	100.0	116.0
เพกทิน	12.0	-	12.0
แอลจิเนต	10.0	2.0	12.0
กัมแกตติ	10.0	1.0	11.0
โลคัสต์บีนกัม	9.0	3.0	12.0
คาร์ราจีแนน	9.0	0.2	9.2
แซนแทนกัม	3.0	9.0	12.0
เมทิลเซลลูโลส	3.0	53.0	55.0
กัมทรากาแคนต์	1.3	0.2	1.5
กัมคารายา	1.0	7.0	8.0
เอการ์	0.3	0.4	0.7
เฟอเซลลาแรน	0.3	-	0.3

ที่มา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553)

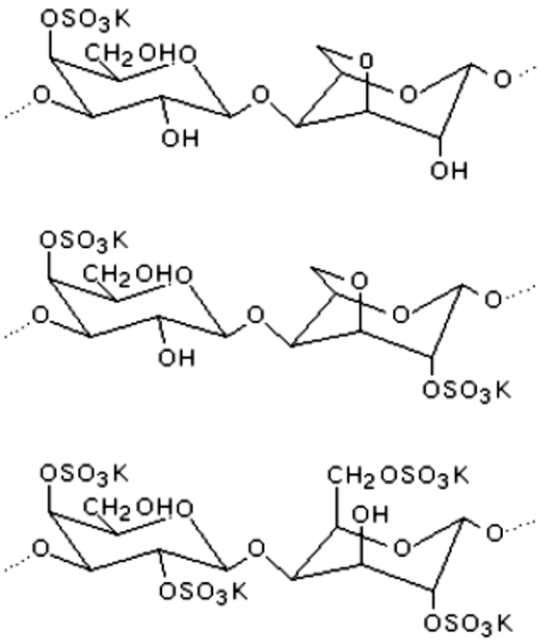
2.9.3 คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนนเป็นพอลิแซคคาไรด์ซัลเฟต (Polysaccharidesulfate) ชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง คาร์ราจีแนนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ แคปปา-คาร์ราจีแนน (κ ; kappa), ไอโอตา-คาราจีแนน (ι ; iota), และแลมดา-คาร์ราจีแนน (λ ; lambda) ในสาหร่ายส่วนใหญ่มีคาร์ราจีแนนอย่างน้อย 2-3 ชนิดผสมกันอยู่ แคปปา และไอโอตาคาร์ราจีแนนเท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้เมื่อมีโปแตสเซียมไอออน ส่วนแลมดาคาร์ราจีแนนเกิดเจลไม่ได้ (Thomas, 1997)

คาร์ราจีแนนทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ตำแหน่งและระดับต่างๆ กัน แคปปาคาร์ราจีแนนเป็น galactose-4-sulfate ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ 3,6-anhydro-D-galactose ด้วยพันธะ 1-4 ในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟตประมาณร้อยละ 20-30 และบางส่วนของพันธะ 1-4 อาจเป็น galactose-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-D-galactose แคปปาคาร์ราจีแนนมีความไวต่อโปแตสเซียม และสามารถตกตะกอนแยกออกมาจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้โดยใช้โปแตสเซียมคลอไรด์

โครงสร้างโมเลกุลของ แลมดาคาร์ราจีแนน ประกอบด้วย galactose-2- sulfate ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ galactose-2,6-disulfate ด้วยพันธะ 1-4 บางครั้งที่พันธะ1-3 อาจต่อกับกาแลคโตสก็ได้ แลมดาคาร์ราจีแนนไม่ไวต่อโปแตสเซียม ไอโอตาคาร์ราจีแนนเป็นชนิดที่มีความไวต่อแคลเซียม สกัดได้จาก *Eucheuma spinosum* ในโมเลกุลประกอบด้วย galactose-4-sulfate ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และมี 3,6-anhydro-D-galactose-2- sulfate มาต่อพันธะ 1-4 และบางครั้งที่พันธะ 1-4 อาจมีหมู่ซัลเฟตอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ก็ได้

การใช้คาร์ราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาร์ราจีแนนจะทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ ดังนั้นการนำคาร์ราจีแนนไปใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์นม เช่น เติมคาร์ราจีแนนลงในส่วนผสมของไอศครีมจะช่วยให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกระหว่างการเก็บรักษา คาร์ราจีแนนที่มีอยู่หลายชนิดสามารถนำไปใช้ร่วมกับสารอื่นๆ ได้มากมายหลายชนิดในอุตสาหกรรมอาหาร ตัวอย่างเช่น แป้ง น้ำตาล และ กัม เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) ภาพโครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิดจะแสดงดังภาพที่ 2.4



ที่มา Clegg (1995)

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนชนิดต่างๆ แคปปา (A) แลมดา (B) และไอโอตา (C)

สมบัติของคาร์ราจีแนน (ตารางที่ 2.15) จะขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลเป็นสำคัญและยังแตกต่างกันในแต่ละชนิดของคาร์ราจีแนนด้วย ทำให้มีสมบัติเด่นในการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับอาหารที่มีน้ำนมเป็นส่วนผสมได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

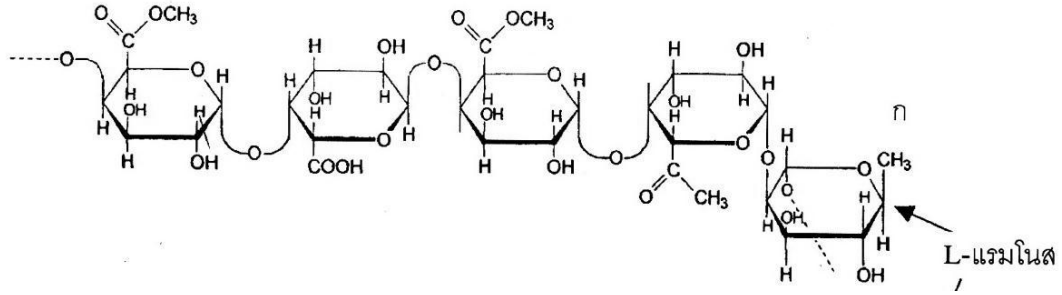
ตารางที่ 2.15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด

สมบัติ	ชนิดของคาร์ราจีแนน		
	แคปปา (kappa, κ)	แลมดา (lambda, λ)	ไอโอตา (iota, ι)
ปริมาณซัลเฟต (ร้อยละ)	25	35	32
ปริมาณของหมู่ 3-6-แอไฮโดร	ร้อยละ 28	0	30
ผลของไอออนของโลหะ	เกิดเจลกับ K^+	ไม่เกิดเจล	เกิดเจลกับ Ca^{2+}
สมบัติของเจล	เปราะและเกิดซินเนอเรซิสง่าย / ใส	-	ยืดหยุ่นและไม่เกิดซินเนอเรซิส / ใส
การละลายน้ำ	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน

ที่มา Graham (1978)

2.9.4 เพกทิน (Pectin)

เพกทินทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างที่พบในพืชทุกชนิดโดยเฉพาะที่ผนังเซลล์และระหว่างเซลล์ (Intercellular) มีมากในผลไม้หลายชนิด เช่น เปลือกส้มและเปลือกมะนาว (ร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก) และแอปเปิ้ล (ร้อยละ 15) เป็นต้น ในพืช เพกทินทำหน้าที่เปรียบเหมือนตัวเชื่อมยึดเซลล์ต่างๆ ของเนื้อเยื่อไว้ทำให้ผลไม้คงรูปอยู่ได้ โมเลกุลเพกทินประกอบขึ้นจากกรด α-D-กาแลกโทไพแรโนซิลยูโรนิก ต่อเชื่อมกันเป็นสายโซ่ตรงและยาว โดยจับระหว่างกันด้วยพันธะ α -1, 4-ไกลโคซิดิก บางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล บนสายโซ่จะมีหมู่เมทิลมาเอสเทอริฟายด์ด้วย (ภาพที่ 2.5) เพกทินยังมีพวกสายกิ่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดที่เป็นกลาง โดยเฉพาะน้ำตาล L-แรมโนส น้ำตาลอื่นที่พบได้แก่ D-กาแลกโทส และ L-อาราบิโนส เป็นต้น โมเลกุลเฉลี่ยของเพกทินประมาณ 10^4 ถึง 10^5 ดาลตัน นอกจากนี้เพกทินยังมีความเสถียรสูงสุดที่ค่า pH ประมาณ 3.5



ที่มา วรรณา ตุลยธัญ (2551)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างพอลิกาแลกทูโรแนนของเพกทิน

โมเลกุลของเพกทินประกอบไปด้วยทั้งหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ในรูปของ $–COOCH_3$ และ -COOH อิสระ ดังนั้นเพกทินที่ผลิตในทางการค้าจึงสามารถแบ่งตามระดับของเมทิลเอสเทอริฟิเคชั่นได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. เพกทินที่มีเมทอคซิลสูง (HM-เพกทิน) เป็นกลุ่มที่มีระดับของเมทิลเลชัน (DM) มากกว่าร้อยละ 50

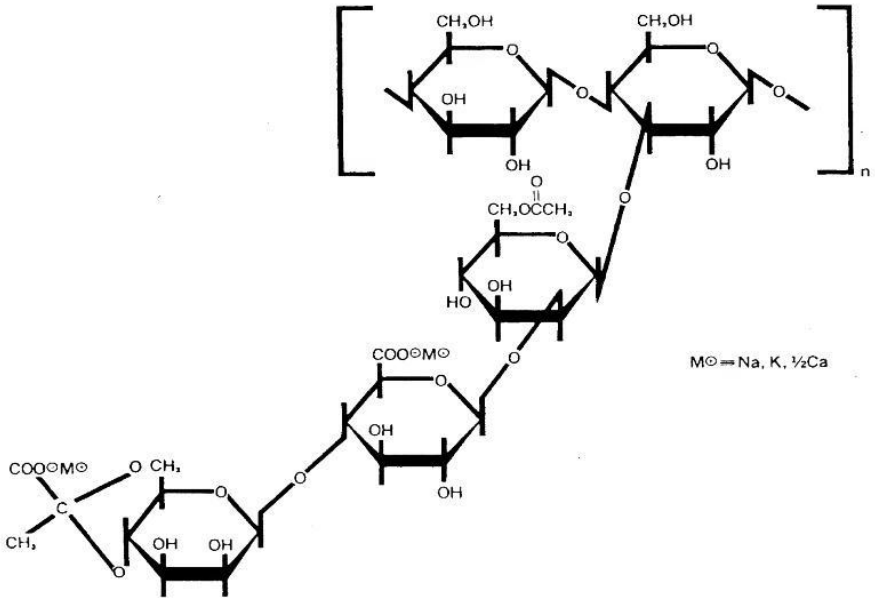
2. เพกทินที่มีเมทอคซิลต่ำ (LM-เพกทิน) เป็นกลุ่มที่มีค่า DM ต่ำกว่าร้อยละ 50 นั่นหมายถึงหมู่คาร์บอกซิลอื่นๆ จะอยู่ในรูปของ –COOH อิสระ

อย่างไรก็ตามเพกทินทั้งสองชนิดจะเกิดเจลได้ด้วยกลไกที่แตกต่างกัน โดย HM-เพกทิน จะเกิดเจลได้ต้องมีของแข็งละลายได้ เช่น น้ำตาลมากกว่าร้อยละ 55 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ค่า pH ประมาณ 2-3 (จะต้องไม่มากกว่า 3.5) ส่วน LM-เพกทิน จะเกิดเจลนั้นอาจไม่ต้องมีของแข็งละลายได้ แต่ต้องมีพวกไอออนชนิดสองบวก เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ประมาณร้อยละ 3 ในสารละลายนั้น รวมทั้งค่า pH ต้องไม่มากกว่า 6.5 (วรรณา ตุลยธัญ, 2551)

2.9.5 แซนแทนกัม (Xanthan gum)

แซนแทนกัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ สังเคราะห์โดยแบคทีเรีย *Xanthomonas* โดยเฉพาะ *X. campestris* NRRL-B-1459 ด้วยกระบวนการหมักแบบใส่อากาศ (Submerged) มี D-กลูโคสเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนหลักหรืออาจใช้น้ำตาลซูโครสหรือสตาร์ชก็ได้ แซนแทนกัมมีโครงสร้างเป็นน้ำตาล 5 ตัวต่อกันประกอบด้วย D-กลูโคส 2 หน่วย D-แมนโนส 2 หน่วย และกรด D-กลูคูโรนิก 1 หน่วย (ภาพที่ 2.6) ถ้าพิจารณาเฉพาะสายโซ่หลักจะเป็น β-D-กลูโคส ต่อกัน

ด้วยพันธะ α-1, 4-กลูโคซิดิก คล้ายกับโครงสร้างของเซลลูโลส แล้วมีไตรแซ็กคาไรด์ (D-แมนโนส 2 หน่วย และ กรด D-กลูคูโรนิก 1 หน่วย) เป็นสายกิ่งจับต่อกับ D-กลูโคส ของสายโซ่หลักด้วยพันธะ α-1, 3-ไกลโคซิดิก โดยจับเว้นสลับไปทีละหนึ่ง D-กลูโคส (จับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้าง)



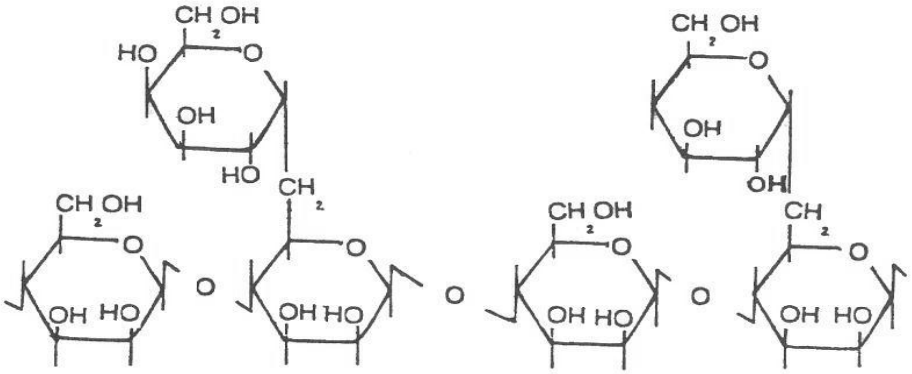
ที่มา วรรณา ตุลยธัญ (2551)

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างปฐมภูมิของแซนแทนกัม

แซนแทนกัมละลายได้ในสภาวะทั้งน้ำเย็นและน้ำร้อน และให้ของเหลวที่มีความหนืดสูง แม้จะใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น ร้อยละ 0.3-0.5 แซนแทนกัมมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 3×10^5 ถึง 8×10^6 ดาลตัน นอกจากนี้แซนแทนกัมยังมีข้อดีคือ จะให้ความหนืดที่สเถียรของค่า pH ที่กว้าง (pH 2-13) และแซนแทนกัมยังแสดงสมบัติการเป็นพลาสติกเทียม (Pseudoplasticity) ที่ดีอีกด้วย จึงทำให้มีการนำแซนแทนกัมไปใช้ในอาหารหลายอย่าง เช่น การใช้ในไอศกรีม จะช่วยควบคุมการเกิดผลึกของน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ ทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นและละลายช้าลง ใช้ในน้ำเชื่อมหรือไซรัป เช่น ไซรัปช็อคโกแลต ซึ่งแซนแทนกัม (ร้อยละ 0.05-0.1) จะช่วยให้ผงโกโก้กระจายตัวดีขึ้นในตัวอย่างไซรับ หรือตัวอย่างที่เป็นสารละลาย

2.9.6 กัวร์กัม (Guar gum)

กัวร์กัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากเมล็ดของพืชวงศ์ถั่ว (Cyamopsis tetragonolobus และ C. psoraloides) ในวงศ์ Leguminosae กัวร์กัมคือกาแลกโทแมนแนนชนิดหนึ่ง ประกอบขึ้นจากน้ำตาล D-กาแลกโทส และ D-แมนโนส ในอัตราส่วน 1:2 โดยสายโซ่หลักจะประกอบด้วย β-D-แมนโนไพแรโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4 ไกลโคซิดิก และมีโมเลกุลเดี่ยวของ α-D-กาแลกโทส เป็นสายกิ่งที่เชื่อมต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ α-1, 6-ไกลโคซิดิก โดยเว้นระยะทีละหนึ่งหน่วยของ β-D-แมนโนไพแรโนส ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ที่มา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553)

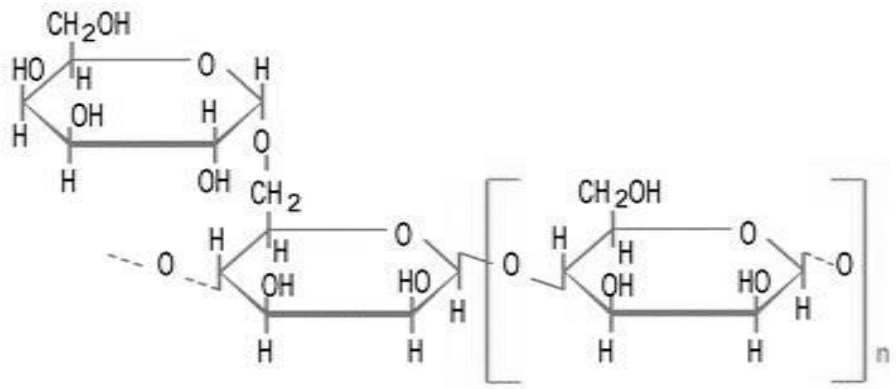
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม

กัวร์กัมมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 – 300,000 ดาลตัน แต่เนื่องจากมีสายกิ่งมากจึงสามารถทำให้สารละลายหนืดได้เมื่อละลายน้ำ ซึ่งกัวร์กัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในน้ำ จะให้ความหนืดประมาณ 2,500 – 5,000 Pa.s ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และกัวร์กัมจะทนต่อ pH ได้ในช่วงกว้าง (ประมาณ pH 1 - 10) ดังนั้นกัวร์กัมจึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอาหารได้มากมาย เนื่องจากกัวร์กัมสามารถไฮเดรตน้ำและให้ความหนืดที่สูง จึงสามารถใช้เป็นสารช่วยให้ข้นและช่วยให้เกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น ไอศกรีม เนยแข็งชนิดป้ายทา และน้ำตาลไอซิ่ง เป็นต้น

2.9.7 โลคัสต์บีนกัม (Locust bean gum)

โลคัสต์บีนกัมได้จากเมล็ดของต้นคารอบ (Carob, Ceratonia siliqua) เป็นพืชในวงศ์ถั่ว เช่นเดียวกับกัวร์กัม (Leguminosae) โลคัสต์บีนกัมประกอบด้วยกาแลกโทแมนแนนเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 73) และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความชื้น โปรตีน และเส้นใย โครงสร้างของโลคัสต์บีนกัมคล้ายกัวร์กัมคือ ประกอบด้วยน้ำตาล D-กาแลกโทส และ D-แทนโนส โดยทั่วไปอัตราส่วนของ D-กาแลกโทส และ D-แทนโนส จะเป็น 1:4 มีสายโซ่หลักประกอบด้วย β-D-แมนโนไพแรโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4 ไกลโคซิดิก และมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว α-D-กาแลกโทไพแรโนส ซึ่งจับต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ 1, 6 ไกลโคซิดิก แต่สายกิ่งจะมีเฉพาะบางช่วงของโซ่หลักโดยจะพบที่ทุกๆ หน่วยของน้ำตาลและสลับกับบางช่วงของโซ่หลักที่ไม่มีสายกิ่งเลย

โลคัสต์บีนกัมจะไม่ละลายน้ำ แต่การต้มจะช่วยให้ละลายดีขึ้น การต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะช่วยให้โลคัสต์บีนกัมไฮเดรตน้ำได้สมบูรณ์และเมื่อเย็นตัวลงจะมีการกระจายตัวอยู่ในน้ำ จึงสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดได้ กลไกสำคัญของการต้มคือความร้อนจะไปทำลายพันธะที่จับยึดระหว่างบริเวณของสายโซ่หลักของ β-1, 4-D-แมนแนน บริเวณที่ไม่มีสายกิ่งทำให้น้ำสามารถเข้าไปได้และทำให้การไฮเดรตน้ำดีขึ้น โลคัสต์บีนกัมเป็นสารที่ให้ความหนืดได้ดีมาก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 หลังจากนำไปต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็น พบว่าสารละลายมีความหนืดประมาณ 3,500 Pa.s (ที่ 25 องศาเซลเซียส) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ความหนืดจะขึ้นสูงถึง 28,000 Pa.s



ที่มา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553)

ภาพที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสบีนกัม

อย่างไรก็ตามโลคัสต์บีนกัมเป็นอีกหนึ่งชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อพวกไส้กรอก เนยแข็งชนิดป้ายทา น้ำสลัด และซอสมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้ในอาหารสัตว์กระป๋องที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิของหม้อนึ่งความดันสูงอีกด้วย ซึ่งโลคัสต์บีนกัมจะจับยึดน้ำไว้ ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความหนืดตามที่ต้องการ (วรรณา ตุลยธัญ, 2551)

แม้ว่าไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือความต้องการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการเป็นหลัก เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์แต่ละตัวมีสมบัติที่แตกต่างกันจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้ และปริมาณการใช้ด้วยเช่นกัน ตารางที่ 2.16 สรุปชนิด หน้าที่ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.16 ชนิด หน้าที่ และการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

ไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
กัวร์กัม	สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความหนืด	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอไรซ์ครีมสเตอริไรส์ ครีมยูเอชที วิปปิงครีม และครีมไขมันต่ำ	Javidi, Razavi, Behrouzian, and Alghooneh (2016) Tuinier, ten Grotenhuis and de Kruif (2000)
	ใช้เป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ขนมปัง เค้ก และแป้งขนมปังแช่แข็ง)	Skara, Novotni, Cukelj, Smerdel, and Curic (2013)
	สารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้ (น้ำแครอท)	Liang, Hu, Ni, Wu, Chen, and Liao (2006)
	สารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มโยเกิร์ต และเครื่องดื่มจากธัญพืช	Koksoy and Kilic (2004)
แซนแทนกัม	สารเพิ่มความคงตัว	เบเกอรี่ (แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวสาลี และขนมปัง)	Shittu, Aminu and Abulude (2009)
	ใช้เป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มอิมัลชัน	Mirhosseini, Tan, Hamid, and Yusof (2008)
	สารเพิ่มความคงตัว และความหนืด	ไอศกรีม	Javidi et al. (2016)

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

ชนิดไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
โลคัสบีนกัม	สารเพิ่มความคงตัว	สารละลายซูโครสแช่แข็ง	Fernández, Martino, Zaritzky, Guignon, and Sanz (2007)
	สารเพิ่มความคงตัว และช่วยให้เนื้อสัมผัสเนียน	ไอศกรีม	Javidi et al. (2016)
	ช่วยลดปริมาณไขมันในอาหารประเภทอิมัลชั่น	อาหารประเภทอิมัลชัน	Chung, Degner, and McClements (2013)
เพกทิน	ใช้เป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ขนมปัง เค้ก และแป้งขนมปังแช่แข็ง)	Skara et al. (2013)
	สารเพิ่มความคงตัว และป้องกันการตกตะกอน	ผลิตภัณฑ์นม และนมเปรี้ยว (ป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน)	Kiani, Mousavi, Razavi, and Morris (2010) Krzeminski, Prell, Weiss, and Hinrichs (2014)
	สารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง	Krongsin Gamonpilas, Methacanon, Panya, and Goh (2015)

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

ชนิดไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
คาร์ราจีแนน	สารเพิ่มความหนืด	ผลิตภัณฑ์ชีส	Cerníkova, Bunka, Pavlinek, Brezina, Hrabe, and Valasek (2008)
	ช่วยลดการขุ่นมัวของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ชนิดต่างๆ (แอปเปิ้ล พีช และฝรั่ง เป็นต้น)	Ibrahim, Hassan, Abd-Elrashid, El-Massry, Eh-Ghorab, Manal, and Osman (2011)
	สารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์นม (Skimed milk และ whey protein)	Jensen, Rolin, and Ipsen (2010) Matia-Merino and Singh (2007)

2.10 เอนไซม์

เอนไซม์ คือ โปรตีนที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต การทำงานของเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อชนิดของสับสเตรต ที่เปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการ

เอนไซม์

สับสเตรต ----------> ผลิตภัณฑ์

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนเรียงต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลผันแปรตั้งแต่ 12,000 – 1,000,000 ดาลตัน เอนไซม์บางชนิดอาจมีสารอื่นเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลด้วย เช่น มีคาร์โบไฮเดรต ฟอสเฟต แร่ธาตุ หรือมีโคแฟกเตอร์ต่างๆ เอนไซม์ทุกชนิดมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับโปรตีนทุกประการ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของโปรตีนเอนไซม์และโปรตีนที่ไม่ใช่เอนไซม์ คือ เอนไซม์จะมีความจำเพาะเจาะจงในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีบทบาทในการควบคุมทิศทางของปฏิกิริยา และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะทางโครงสร้าง (Stereospecific) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เป็นอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ หรือเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอาหาร หรือแม้แต่การเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหารก็ขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ด้วยเช่นกัน และในกระบวนการแปรรูปอาหารบางชนิดจะต้องเติมเอนไซม์ลงไป เพื่อปรับปรุงหรือเร่งกระบวนการผลิต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะและคุณภาพที่ดี

เอนไซม์สามารถจำแนกตามลักษณะของปฏิกิริยาทางเคมี ที่มีเอนไซม์เป็นคะตะลิสต์ได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ (1) ออกซิโดรีดักเตส (2) ทรานส์เฟอเรส (3) ไฮโดรเลส (4) ไลเอส (5) ไอโซเมอเรส และ (6) ไลเกส อย่างไรก็ตามแม้ว่าเอนไซม์จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของสิ่งมีชีวิตแล้ว การทำงานของเอนไซม์จะมีสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ ความเข้มข้นของสับสเตรต ความเข้มข้นของเอนไซม์ ผลของพีเอช (pH) ผลของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำอิสระ / ความเข้มข้นของน้ำ

2.11 การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารและในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การใช้เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การนำเอนไซม์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย ได้แก่ อุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งและผลิต อุตสาหกรรมเบเกอรี่และขนมปังกรอบ อุตสาหกรรมสารปรุงแต่งรสชาติอาหาร อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มและนม และอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและน้ำผลไม้ รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อสัตว์แปรรูป (วิราสิณี จันทร์เป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์, 2556) นอกจากนี้ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์กับกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มดัง แสดงในตารางที่ 2.17 เนื่องจากเอนไซม์ช่วยลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและการแปรรูปอาหารได้ เช่น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น หรือนำไปใช้กำจัดสารประกอบที่ปนเปื้อน หรือนำไปช่วยย่อยสลายสารประกอบบางชนิดที่มีอยู่ในอาหาร อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารยังมีข้อดีอีกมากมาย เช่น เอนไซม์เป็นโปรตีน จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ทำงานได้ดีในอุณหภูมิต่ำ จึงลดการใช้พลังงานได้ ทำงานได้ในช่วงพีเอชที่เป็นกลาง ทำงานได้รวดเร็วและมีความจำเพาะเจาะจงต่อสับสเตรต เอนไซม์ที่ใช้ในแต่ละครั้งจะมีปริมาณที่น้อยจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อาหาร และสามารถยับยั้งหรือหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ง่ายโดยใช้ความร้อนทำลาย เอนไซม์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น ส่วนใหญ่มักจะสกัดมาจากพืช เช่น สกัดออกมาจากเมล็ดพืช หรือสัตว์ โดยสกัดออกมาจากเซลล์เยื่อบุผนังกระเพาะ ลำไส้ และตับอ่อน หรือได้จากการเลี้ยงจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรีย เป็นต้น ตัวอย่างการใช้เอนไซม์บางชนิดในกระบวนการแปรรูปอาหารมีดังนี้

ตารางที่ 2.17 การใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่างๆ

กลุ่ม / ชนิดของเอนไซม์	หน้าที่ / วัตถุประสงค์	แหล่งอ้างอิง
1. เอนไซม์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นม		
โคไมซิน	ตกตะกอนโปรตีนในน้ำนม	วิราสิณี จันทร์เป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
โคไมซิน และโปรตีเอสจากเชื้อรา	ใช้ในการทำเนยแข็งชนิดครีมเนย (Cottage cheese) และ Brick cheese	วิราสิณี จันทร์เป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
2. เอนไซม์ที่ใช้ในการทำขนมอบ		
อะไมเลส	เร่งการหมักให้เกิดได้สูงสุด และป้องกันไม่ให้ขนมปังแห้งแข็ง ปรับปรุงด้านความยืดหยุ่นของโด	Li, Yang, Yang, Zhu, and Wang (2012)
3. เครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์ และการทำเบียร์		
แอลฟา- และ บีตา- อะไมเลส	เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลสำหรับหมัก เพื่อแยกแป้งออกจากสารละลาย จะช่วยลด ความขุ่น และความหนืด	วิราสิณี จันทร์เป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
เซลลูเลส	เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กในกลุ่มของธัญพืช เช่น บาร์เล่ โอ๊ต ข้าวสาลี เป็นต้น	Liu, Zheng, Song, Liu, Kopparapu, Wang, and Zheng (2015)

ตารางที่ 2.17 (ต่อ)

กลุ่ม / ชนิดของเอนไซม์	**หน้าที่ / วัตถุประสงค์**	**แหล่งอ้างอิง**
โปรตีเอส	ไฮโดรไลซ์โปรตีนไปเป็นกรดอะมิโนเพื่อเป็นอาหารยีสต์ และใช้ไฮโดรไลซ์โปรตีนเพื่อให้เบียร์ใส	Araujo, Casal, and Cavaco (2008)
4. เครื่องดื่มน้ำผลไม้		
อะไมเลส	เพื่อแยกและทำลายแป้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อผลไม้	Li et al. (2012)
เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูเลส	ทำหน้าที่เกี่ยวกับการไฮโดรไลซ์เพกทินที่ละลายน้ำได้ องค์ประกอบต่างๆบนผนังเซลล์ และช่วยให้มีความหนืดลดลง รวมถึงช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัสที่ดี	Li et al. (2012) Araujo et al. (2008)
เพกทิเนส	ช่วยสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อเยื่อให้ผลิตผลสูง	Ribeiro, Henrique, Oliveira, Macedo, and Fleuri (2010)
นารินจิเนต	เพื่อลดสารขมในผลไม้ตระกูลส้ม	Ribeiro et al. (2010)