

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลิ้นจี่

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ แหล่งปลูก และความสำคัญของลิ้นจี่

ลิ้นจี่เป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน (Subtropical fruit) มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Litchi, Lychee, Litchee, Lici, Laichi และ Leechee เป็นต้น จัดอยู่ในตระกูล Sapinadales วงศ์ Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lichi Chinensis* Sonn. ลิ้นจี่จัดเป็นผลไม้กลุ่ม Non climacteric fruit คือ กลุ่มของผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ขณะที่ผลสุก ซึ่งเป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มให้สุกได้ (สุนทร, 2550) เนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมาก และเอทิลีน (Ethylene) ไม่มีผลต่อการสุก ดังนั้นการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่จึงควรเก็บในระยะที่ผลแก่เต็มที่เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่จะดูการเปลี่ยนของสีเปลือกลิ้นจี่เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ สังเกตได้จากสีเปลือกลิ้นจี่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมชมพู สีชมพู หรือสีแดง ซึ่งเกณฑ์การเปลี่ยนสีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา เกณฑ์อีกลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ คือ การดูหนามของผลลิ้นจี่ ซึ่งลิ้นจี่ที่มีผลแก่หนามบนเปลือกผิวจะห่างกัน (นิริยาและคณัย, 2533) ลิ้นจี่ยังเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะภาคเหนือตอนบน ซึ่งแหล่งที่ปลูกลิ้นจี่มากที่สุด คือ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเหมาะสม (สุนทร, 2550)

ปี 2557 ในประเทศไทยมีเนื้อที่การเพาะปลูกลิ้นจี่ทั่วประเทศ (ตารางที่ 2.1) คือ 131,078 ไร่ ซึ่งลดลงจากปี 2556 ประมาณ 1,282 ไร่ (ร้อยละ -0.97) ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 64,743 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2556 ประมาณ 16,977 ตัน (ร้อยละ 35.54) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557ก)

ตารางที่ 2.1 เนื้อที่ให้ผลผลิตต่อไร่และผลผลิตของลิ้นจี่ในประเทศไทยปี 2556-2557

ประเทศ/ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2556	2557	ร้อยละ	2556	2557	ร้อยละ
รวมทั้งประเทศ	132,360	131,078	-0.97	47,766	64,743	35.54
ภาคเหนือ	115,326	114,936	-0.34	46,750	58,462	25.05
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,798	3,561	-6.24	937	983	4.91
ภาคกลาง	13,236	12,581	-4.95	79	5,298	6,606.33
เชียงราย*	30,450	28,369	-6.83	8,263	8,734	5.7
พะเยา*	15,855	15,814	-0.26	8,076	9,805	21.41
ลำปาง	705	690	-2.13	133	172	29.32
เชียงใหม่*	50,114	52,027	3.82	24,997	33,525	34.12
แม่ฮ่องสอน	285	285	0	82	112	36.59
ตาก	65	55	-15.38	13	14	7.69
แพร่	357	349	-2.24	66	86	30.3
น่าน*	16,805	16,681	-0.74	4,865	5,749	18.17
เพชรบูรณ์	690	666	-3.48	255	265	3.92
เลย	3,232	3	-5.69	830	866	4.34
อุดรธานี	18	18	0	2	2	0
หนองคาย	50	50	0	8	10	25
ชัยภูมิ	280	238	-15	50	51	2
นครราชสีมา	218	207	-5.05	47	54	14.89
จันทบุรี	3,784	3,405	-10.02	1	1,709	170,800.00
กาญจนบุรี	860	796	-7.44	64	107	67.19
ราชบุรี	614	600	-2.28	5	68	1,260.00
สมุทรสงคราม	7,950	7,752	-2.49	-	3,403	100

หมายเหตุ *คณะทำงานสำรวจข้อมูลไม้ผลเศรษฐกิจภาคเหนือ วันที่ 20 พฤษภาคม 2557

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2557ก)

ผลผลิตลิ้นจี่สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศทั้งในรูปของผลสด และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท (ตารางที่ 2.2) โดยตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ ฮองกง ญี่ปุ่น ญวต แคนาดา ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา ซาอุดีอาระเบีย อังกฤษ เยอรมัน เดนมาร์ก ฝรั่งเศส ไต้หวัน เนเธอร์แลนด์ เบลเยียม และสวีเดน เป็นต้น ผลผลิตของลิ้นจี่จะออกสู่ตลาดในช่วงกลางเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกรกฎาคม (สุนทรี, 2550)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าส่งออกลิ้นจี่ของไทยปี 2554-2557

ชนิดสินค้า	2554		2555		2556		2557	
	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**
ลิ้นจี่สด	3,750	65.4	11,642	227.7	3,461	58.4	7,263	115.7
ลิ้นจี่แช่เย็นจนแข็ง	5	0.9	35	1.6	27	1.9	18	0.7
ลิ้นจี่บรรจุภาชนะที่ อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้	5,931	311.2	6,989	341.4	5,516	306.6	2,123	111.3
ลิ้นจี่อบแห้ง	183	13.7	1,112	18.7	1	0.4	2	0.5

หมายเหตุ *ปริมาณ มีหน่วยเป็น ตัน

**มูลค่า มีหน่วยเป็น ล้านบาท

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2557ข)

2.1.2 สายพันธุ์ของลิ้นจี่

พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม (สุนทรี, 2550) ตามแหล่งปลูก ดังนี้

1) กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในภาคกลางหรือที่ลุ่ม เป็นพันธุ์ลิ้นจี่ที่สามารถออกดอกได้โดยไม่ต้องอาศัยการกระตุ้นจากอากาศเย็น สามารถปลูกได้ในที่ราบต่ำ เช่น อำเภอมัญจาคีรี และอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม ได้แก่ พันธุ์ค่อม (ค่อมลำเจียก) กะโหลกใบยาว ลำเถาแก้ว กระจับปี่ทอง พระโรง เขียวหวาน สาแหรกทอง จีน ไทยธรรมดา ไทยใหญ่ กะโหลกใบไหม้ กะโหลกใบเตา ซ่อระกำ และพันธุ์ทิพย์ เป็นต้น

2) กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือหรือที่ดอน เป็นกลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่คาดว่ามีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยหลังกลุ่มพันธุ์ที่ลุ่ม โดยลิ้นจี่พันธุ์นี้ต้องการความหนาวเย็นต่ำและยาวนานมากระตุ้นก่อนการออกดอกมากกว่าพันธุ์ที่ปลูกทางภาคกลาง นิยมปลูกเป็นการค้ากันแพร่หลายใน

ภาคเหนือบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และจังหวัดใกล้เคียง พันธุ์ลิ้นจี่ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พันธุ์กิมจี กิมเจ็ง กวางเจา ไกวแม่ จักรพรรดิ พันธุ์ทิพย์ ลูกลาย โอวเอียะ ฮงฮวย ชมพู ฮาวาย โอวเอียะ และ ไกวแม่ฟิงค์ เป็นต้น

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางสรีระวิทยาของผลลิ้นจี่สุก

ผลลิ้นจี่เมื่อถึงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มหรือแดงอมชมพู ที่ผิวเปลือกด้านในมีสีชมพูหรือแดงเรื่อ ๆ ร่องระหว่างหนามจะแยก ความแหลมของหนามจะลดลงใช้มือถูผิวของผลจะทราบถึงความแตกต่างระหว่างผลอ่อนและผลแก่ (นภคผล และคณะ, 2543) ส่วนประกอบทางเคมี และลักษณะทางสรีระวิทยาที่สำคัญของผลลิ้นจี่สุกแสดงในตารางที่ 2.3

ปัญหาที่พบภายหลังการเก็บเกี่ยว คือ เปลือกผลลิ้นจี่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลภายใน 1-2 วัน หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ถึงแม้การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ไม่มีผลต่อรสชาติ แต่ลดมูลค่าทางการค้าของผลลิ้นจี่ การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดไม่เกิดอันตราย หรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ คือ ที่อุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 ผลลิ้นจี่จะมีอายุการเก็บรักษา 3-5 สัปดาห์ การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมักมีสาเหตุมาจากการแห้งของเปลือก โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และควบคุมบรรยากาศที่มีออกซิเจนร้อยละ 3-5 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3-5 ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาล และคุณภาพของผลลิ้นจี่ไว้ได้ดี (นิธิยาและคณะ, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางสรีระวิทยาของผลลิ้นจี่สุก

องค์ประกอบ/ลักษณะทางสรีระวิทยา	หน่วย	ปริมาณ
คลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือก		
คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A)	ไมโครกรัม/100มิลลิกรัม	25
คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B)	ไมโครกรัม/100มิลลิกรัม	14
น้ำตาลในเนื้อ		
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)	ร้อยละ	13-20
ฟรุคโตส (Fructose)	กรัม/100กรัม น้ำหนักสด	1.6-3.1
กลูโคส (Glucose)	กรัม/100กรัม น้ำหนักสด	5
ซูโครส (Sucrose)	กรัม/100กรัม น้ำหนักสด	8.5
กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)	มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด	40-50
การสร้างแอทจิน (C ₂ H ₄)	ไมโครลิตร/กิโลกรัม ที่ 25 องศาเซลเซียส	1-5
อัตราการหายใจ (CO ₂)	ไมโครลิตร/กิโลกรัม ที่ 25 องศาเซลเซียส	25

ที่มา: นภดล และคณะ (2543)

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อลิ้นจี่สด

ลิ้นจี่แต่ละพันธุ์มีส่วนประกอบทางเคมี ปริมาณสารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการ ในเนื้อแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.4) ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ ฤดูกาล การจัดการระหว่างการปลูก และระยะ ความแก่อ่อนหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่วนประกอบทางเคมี และปริมาณสารสำคัญในเนื้อลิ้นจี่มีดังนี้ (นิธิยาและคณะ, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อลิ้นจี่สดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	หน่วย	ปริมาณ
พลังงาน (Energy)	แคลอรี	63.00-64.00
ปริมาณน้ำ (Water content)	ร้อยละ	81.90-84.83
โปรตีน (Protein)	กรัม	0.68-1.00
ไขมัน (Fat)	กรัม	0.30-0.58
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	กรัม	13.31-16.40
กลูโคส (Glucose)	กรัม	5
ฟรุกโตส (Fructose)	กรัม	3.2
ซูโครส (Sucrose)	กรัม	8.6
เส้นใยอาหาร (Fiber)	กรัม	0.23-0.40
เถ้า (Ash)	กรัม	0.37-0.50
แคลเซียม (Calcium)	มิลลิกรัม	8.00-10.00
เหล็ก (Iron)	มิลลิกรัม	0.4
โซเดียม (Sodium)	มิลลิกรัม	3
โพแทสเซียม (Potassium)	มิลลิกรัม	170
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	มิลลิกรัม	33
วิตามินบี 1 (Vitamin B1)	ไมโครกรัม	28
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	ไมโครกรัม	0.4
วิตามินบี 3 (Vitamin B3)	มิลลิกรัม	0.05
กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)	มิลลิกรัม	24.00-60.00

ที่มา: นกคต และคณะ (2543)

- 1) ปริมาณน้ำ (Water content) เนื้อลีนจี่มีปริมาณน้ำร้อยละ 77-78 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์
- 2) โปรตีน (Protein) เนื้อลีนจี่มีโปรตีนเล็กน้อย คือ ร้อยละ 0.8-0.9 และปริมาณสูงสุดอาจมีได้ถึงร้อยละ 1.5 โปรตีนที่พบมักอยู่ในรูปเอนไซม์มากกว่ารูปอื่นๆ
- 3) ไขมัน (Fat) ลีนจี่มีไขมันน้อยกว่าร้อยละ 1 ไขมันส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ และไขเคลือบผิว
- 4) น้ำตาล (Sugar) เนื้อลีนจี่มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20-60 โดยอยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส (Sucrose) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) คาร์โบไฮเดรตในเนื้อลีนจี่ประกอบไปด้วยน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 15.3 เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 81.7 ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด
- 5) กรดอินทรีย์ (Organic acid) ชนิดของกรดที่พบมากในลีนจี่ (ตารางที่ 2.5) คือ กรดมาลิก (Malic acid) รองลงมา คือ กรดซิตริก (Citric acid) กรดซักซินิก (Succinic acid) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) กรดกลูตามิก (Glutamic acid) กรดมาโลนิค (Malonic acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) ปริมาณกรดในเนื้อลีนจี่จะแปรผันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ภูมิประเทศ และอุณหภูมิ ปริมาณกรดในเนื้อลีนจี่จะลดลง เมื่อเนื้อลีนจี่สุกและเก็บรักษาเป็นระยะเวลายาวนานขึ้น
- 6) วิตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and Minerals) วิตามินที่พบมากในเนื้อลีนจี่ คือ กรดแอสคอร์บิก มีปริมาณ 40-90 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ปริมาณกรดแอสคอร์บิกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (Salunkhe and Kadam, 1995) งานวิจัยของ Wall (2006) พบว่าลีนจี่สายพันธุ์ Kaimana, Groff และ Bosworth-3 มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก 33.2, 21.2 และ 22.5 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณแร่ธาตุในผลลีนจี่ Wall (2006) ได้ทำการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในลีนจี่ พบว่า การบริโภคลีนจี่ 100 กรัม จะได้ปริมาณแร่ธาตุที่แนะนำให้บริโภคร้อยละ 2-4 ซึ่งได้แก่ ฟอสฟอรัส (Phosphorus) โพแทสเซียม (Potassium) แมกนีเซียม (Magnesium) เหล็ก (Iron) สังกะสี (Zinc) และแมงกานีส (Manganese)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่พบในผลลิ้นจี่

ชนิดของกรดอินทรีย์	ปริมาณของ Methyl ester (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณอนุพันธ์ของ Trimethylsilyl (มิลลิกรัม/100กรัม)
กรดมาลิก (Malic acid)	4.16	3.57
กรดซิตริก (Citric acid)	0.52	0.04
กรดซักซินิก (Succinic acid)	0.04	0.25
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	-	0.2
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	-	0.04
กรดมาโลนิก (Malonic acid)	0.02	-
กรดแลคติก (Lactic acid)	0.02	-
กรดลิวูลินิก (Levulinic acid)	0.1	น้อยมาก
กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)	0.28	0.28
กรดที่ระเหยได้ (Volatile acid)	0.13	0.13
ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity)	5.18	4.51
ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (Total acidity from titration)	4.6	4.6

ที่มา: Salunkhe and Kadam (1995)

2.1.5 ลักษณะประจำพันธุ์ของลิ้นจี่พันธุ์สงขลา

ลิ้นจี่พันธุ์สงขลา เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดทางภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ติดผลได้ดีเกือบทุกปี ลักษณะประจำพันธุ์ จะมีทรงพุ่มกว้างใหญ่ แดกกิ่งห่าง ผิวเปลือกของต้นออกสีหม่นตกรกระสีขาว มีเปลือกบาง ใบใหญ่ยาวรี โคนใบกว้าง ริมใบเป็นคลื่น ปลายใบไม่แหลมมาก แตกยอดอ่อนมีสีเขียวอมแดง ออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม ผลแก่เดือนพฤษภาคม ผลมีลักษณะสีแดงอมชมพู รูปทรงของผลกลมรี รูปไข่ มีขนาดผลโตปานกลาง (ภาพที่ 2.1) ขนาดผลกว้าง 3.44 เซนติเมตร ยาว 3.83 เซนติเมตร ผลหนักประมาณ 25-35 กรัม ผลทรงหัวใจ ออกยาว หนามเกิดห่าง เปลือกบาง ผิวสีแดงอมชมพู เนื้อผลสีขาวขุ่น รสหวานอมเปรี้ยว คุณภาพดี เมล็ดโต ความหวานประมาณ 17 องศาบริกซ์ นกคด และคณะ (2543)



ภาพที่ 2.1 ลิ้นจี่พันธุ์สงขลา

2.2 มะม่วง

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ แหล่งปลูก และความสำคัญของมะม่วง

มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นไม้ผลเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศพม่าและอินเดีย มีลักษณะเป็นพุ่มยืนต้น สูงประมาณ 10-15 เมตร ลำต้นตรง เรือนยอดกลม ทึบ ใบเดี่ยว การเกาะติดของใบบนกิ่งแบนเวียน ออกดอกเดือนธันวาคมถึงมกราคม ดอกออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง ในแต่ละช่อดอกจะมีช่อย่อยหลายช่อ ผลสุกเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ประเทศไทยมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสมสำหรับปลูกมะม่วงเป็นอย่างมาก มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่รู้จักกันดีและนิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง (วิจิตร, 2529) สำหรับพื้นที่ปลูกมะม่วงส่วนใหญ่จะอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา สุพรรณบุรี ฉะเชิงเทรา อุดรธานีและอุทัยธานี และได้ขยายไปสู่เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ อ่างทอง สระแก้ว ไปจนถึงพิจิตร พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ เชียงใหม่ และเชียงราย โดยในปี 2555 ในประเทศไทยมีเนื้อที่การเพาะปลูกมะม่วงรวมทุกพันธุ์ (ตารางที่ 2.6) ประมาณ 2,046,280 ไร่ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2554 ประมาณ 26,300 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 2,985,530 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2554 ประมาณ 191,890 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)

ตารางที่ 2.6 เนื้อที่ให้ผลผลิตต่อไร่และผลผลิตของมะม่วงในประเทศไทยปี 2553-2555

ปี	เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
2553	1,944,051	2,550,595	1,312
2554	2,019,980	2,793,640	1,383
2555	2,046,280	2,985,530	1,459

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั่วโลก ในรูปของผลสด และแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท (ตารางที่ 2.7) โดยตลาดหลักของ มะม่วงผลสดคือ ญี่ปุ่น เวียดนาม มาเลเซียและเกาหลี ตลาดหลักของมะม่วงแช่แข็งคือ ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ ตลาดมะม่วงกระป๋องคือ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย อังกฤษ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี และตลาด ของมะม่วงอบแห้งคือ สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 ปริมาณและมูลค่าส่งออกมะม่วงของไทยปี 2554-2557

ชนิดสินค้า	2554		2555		2556		2557	
	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**	ปริมาณ*	มูลค่า**
มะม่วงสด	37,500,735	699,878.45	44,449,733	934,811,998	33,035,207	853,482,431	39,220,717	912,235,572
มะม่วงแช่เย็นแช่แข็ง	3,962,903	323,361,101	3,331,304	319,145,037	3,491,978	352,275,393	1,350,389	143,984,842
มะม่วงบรรจุภาชนะที่ อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้	22,053,802	884,570,880	26,030,084	1,068,625,321	30,456,530	1,279,793,421	13,348,931	589,003,766
มะม่วงอบแห้ง	290,056	95,270,326	250,147	83,936,254	618,336	156,605,356	589,199	118,705,000

หมายเหตุ *ปริมาณ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

**มูลค่า มีหน่วยเป็น บาท

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2557ข)

2.2.2 พันธุ์มะม่วง

พันธุ์มะม่วงสามารถแบ่งออกตามสายพันธุ์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (วิจิตร, 2533)

1) มะม่วงกลุ่มสายพันธุ์อินเดีย เป็นมะม่วงที่มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศปากีสถาน สหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก ลักษณะที่สำคัญ คือ เมื่อเพาะเมล็ดจะให้ต้นกล้า 1 ต้นต่อเมล็ด และเป็นต้นกล้าลูกผสมกลายพันธุ์ไม่ตรงตามต้นแม่ มะม่วงในกลุ่มนี้มีสีสะดุดตามากกว่าสายพันธุ์อินโดจีน เช่น สีแดง สีม่วงและสีส้ม เนื้อผลมีกลิ่นแรง

2) มะม่วงกลุ่มสายพันธุ์อินโดจีน เป็นมะม่วงที่มีถิ่นกำเนิดอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ลักษณะที่สำคัญ คือ เมล็ดที่เพาะจะให้ต้นกล้าได้มากกว่า 1 ต้นต่อเมล็ดและต้นกล้าที่ได้ส่วนมากจะตรงตามต้นแม่ ผลมะม่วงมีสีเขียวหรือสีเหลือง เนื้อผลมีกลิ่นไม่แรง

2.2.3 พันธุ์มะม่วงที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย

มะม่วงการค้าในประเทศไทยแบ่งออกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้ 3 ประเภท คือ (วิจิตร, 2533)

1) มะม่วงเพื่อการรับประทานผลดิบ (**Green delicious mango**) ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่วัยยังไม่แก่จนถึงแก่จัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ บางพันธุ์ต้องปล่อยให้ผลอยู่ในสภาพแก่จัดเสียก่อนจึงจะอร่อย มะม่วงมันมีตลาดอยู่อย่างจำกัด ส่วนใหญ่เราใช้บริโภคภายในประเทศ มีส่งออกไปขายตลาดต่างประเทศบ้างไม่มากนัก พันธุ์มะม่วงมันของไทย เช่น พิมเสนมัน เขียวสวย ศาลายา ฟาลัน หนองแซง เป็นต้น

2) มะม่วงเพื่อการรับประทานผลสุก (**Ripe delicious mango**) ผลของมะม่วงประเภทนี้ขณะที่ดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก แต่พอเริ่มสุกแข็งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล พอสุกได้ที่รสจะหวานอร่อย ตลาดโลกส่วนใหญ่รู้จักแต่มะม่วงกินสุกเท่านั้น นอกจากจะใช้ประโยชน์ในรูปรับประทานผลสุกแล้วยังใช้ประกอบอาหารหวานได้อีกหลายอย่าง พันธุ์มะม่วงกินสุกของไทย เช่น อกร่อง ทองแดง แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ เป็นต้น

3) มะม่วงเพื่อการแปรรูป (**Processing mango**) ผลมะม่วงอาจนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น มะม่วงคอง แยมมะม่วง ไวน์มะม่วง มะม่วงตากแห้ง เป็นต้น มะม่วงทุกพันธุ์ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทุกชนิด ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการพันธุ์มะม่วงที่มีลักษณะเฉพาะ โดยจะมีลักษณะเนื้อหนา แน่น ไม่มีเส้นใย สีเข้ม มีกลิ่นหอมเด่นชัด รสหวาน พันธุ์มะม่วงที่มีบทบาทในการแปรรูปนั้น จะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและราคาไม่แพงจนเกินไป

2.2.4 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีการติดผลในลักษณะเป็นพวง ลักษณะเด่นคือ เป็นมะม่วงออกดอกทะวาย ซึ่งเป็นลักษณะของมะม่วงลูกผสม คือ สามารถออกดอกได้ตลอดปีและไม่กลัวฝน ผลมีขนาดปานกลางเฉลี่ยยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร หนา 6.2 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ย 270 กรัมต่อผล ผลดิบมีสีเขียวอ่อนผิวเรียบ เมื่อดิบรสชาติผลจืด เมื่อสุกผิวสีเหลืองส้ม (ภาพที่ 2.2) เปลือกหนา 0.2 เซนติเมตร ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่หนา จึงเหมาะในการเก็บรักษานาน ๆ และการขนส่งไกล ๆ ปริมาณเนื้อของผลมีประมาณร้อยละ 62 เนื้อผลสีเหลืองเข้ม รสหวาน ความหวานประมาณ 20 องศาบริกซ์ มีเส้นใยปานกลาง (วิชชัยและศิวาพร, 2542)

จุดเด่นของมะม่วงโชคอนันต์: ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่กั้นคาร์ได้ดี

จุดด้อยของมะม่วงโชคอนันต์: รูปร่างของผลอาจไม่แน่นอน (วิชชัยและศิวาพร, 2542)



ภาพที่ 2.2 มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

2.2.5 องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหาร และยังมีอุดมด้วยแร่ธาตุ (ตารางที่ 2.8) ในเนื้อผลมะม่วงดิบประกอบด้วยสตาร์ช (Starch) ร้อยละ 58 น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ร้อยละ 2.9 โปรตีน (Protein) ร้อยละ 5.7 เพกติน (Pectin) ร้อยละ 0.8 ไขมัน (Fat) ร้อยละ 0.3 และแทนนิน (Tannin) ร้อยละ 1.1 ต่อน้ำหนักแห้ง (Kaur et al., 2004) ทั้งนี้

ปริมาณขององค์ประกอบจะแปรผันตามสายพันธุ์ แหล่งที่ปลูกและระดับความแก่-อ่อนของมะม่วง องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

1) **ปริมาณน้ำ (Water content)** น้ำในมะม่วงมีปริมาณร้อยละ 83.46 โดยน้ำหนัก (คัดแปลงจาก USDA Agricultural Research Service (2014)) จึงเป็นผลไม้ที่นำเสิร์ฟได้ง่าย นอกจากนี้จะมีวิธีกำจัดหรือลดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity หรือ a_w) ให้น้อยลงหรือใช้วิธีการแปรรูปที่เหมาะสมอื่นๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อเชื้อจุลินทรีย์

2) **คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)** เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลไม้ที่ให้รสชาติคุณค่าทางโภชนาการและเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว คาร์โบไฮเดรตในผลไม้อยู่ในรูปอาหารสะสม เช่น แป้ง น้ำตาล และเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเซลล์ที่ให้ความแข็งแรง ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) และสารประกอบเพกตินต่างๆ (จริงแท้, 2544)

2.1) **สตาร์ช** มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีสตาร์ชสะสมอยู่มากโดยเฉพาะในช่วงที่แก่จัดและยังดิบอยู่ เมื่อผลไม้สุกจะเกิดการไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) เป็นน้ำตาล ทำให้ปริมาณสตาร์ชลดลง สำหรับปริมาณอะไมโลสที่พบในเนื้อมะม่วงสายพันธุ์ต่าง ๆ มีดังนี้ พันธุ์โตนดาบุรีร้อยละ 16.3 พันธุ์ลังการร้อยละ 14.0 และพันธุ์คัมปี้ร้อยละ 11.3 และพันธุ์แคสฮีอีร้อยละ 9.7 (Kaur et al., 2004)

2.2) **น้ำตาล** น้ำตาลในผลไม้ที่สำคัญมี 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งสะสมอยู่ในส่วน Vacuole ของพืช อัตราส่วนของน้ำตาลทั้งสามชนิดในผลไม้แต่ละชนิดจะแปรผันแตกต่างกันไป ทำให้ผลไม้แต่ละชนิดมีรสหวานต่างกัน น้ำตาลฟรุกโตสจะให้รสหวานมากที่สุด รองลงมาคือซูโครสและกลูโคส ตามลำดับ ในระหว่างการสุกจะเกิดการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลชนิดหนึ่งเป็นน้ำตาลอีกชนิดหนึ่งได้โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ น้ำตาลรีดิวิซ์ ที่พบมากในผลมะม่วง ได้แก่ กลูโคสและฟรุกโตส ระหว่างการสุกของผลมะม่วงจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในช่วงการสุก ได้แก่ ซูโครสและฟรุกโตส (Castrillo et al., 1992)

2.3) **คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์** ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเพกติน (Pectin) คาร์โบไฮเดรตทั้ง 3 ประเภทนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับรสชาติของผลไม้โดยตรง แต่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยเมื่อผลไม้เริ่มสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่โมเลกุลของสารต่างๆ ในผนังเซลล์ โดยเพกตินจะเปลี่ยนรูปจากโปรโตเพกติน (Protopectin) ซึ่งเป็นเพกตินชนิดที่ไม่ละลายน้ำเป็นเพกตินชนิดที่ละลายน้ำ เนื่องจากถูกย่อยด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ โพลีกาลแลคตูโรเนส (Polygalacturonase, PG) และเพกตินเอสเตอเรส (Pectin esterase, PE) (จริงแท้, 2544; Muda et al., 1995)

3) **โปรตีน (Protein)** ผลไม้ไม่ใช่แหล่งโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนอยู่น้อย โดยพบว่า ผลไม้ทั่วไปมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 1 และเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้อง

กับการทำงานหรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เรียกว่า Functional protein ได้แก่ เอนไซม์และโคเอนไซม์ต่างๆ นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์คะตะเลส (Catalase) และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ในผลมะม่วงด้วย (วิจิตร, 2529)

4) ไขมัน (Lipid) ผักและผลไม้สารประเภทไขมันในปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยอาจอยู่ในรูปของสารอาหารสะสม สารปกคลุมผิว หรือองค์ประกอบของ Cell membrane ไขมันส่วนใหญ่ในมะม่วงจะอยู่ในรูปสารปกคลุมผิวของผล โดย แวกซ์ (Wax) ที่ปกคลุมผิวผลอาจอยู่ในสองลักษณะคือ เป็นพื้นผิวราบเรียบหรือเป็นเส้นสาย (Filament) ยื่นออกมาทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า “นวล” บนผิว ซึ่งลักษณะดังกล่าวช่วยป้องกันการคายน้ำและป้องกันความเสียหายจากการสัมผัสกับเชื้อโรคพืช ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันของมะม่วงพันธุ์เคนซิงตัน ไพร์ด (Kensington Pride) พบว่า กรดไขมันที่พบมากในผลมะม่วง ได้แก่ กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) กรดปาล์มิโทเลอิก (Palmitoleic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) ซึ่งในระหว่างการสุกของเนื้อผลมะม่วงจะมีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้น ชนิดของกรดไขมันที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการสุกของผลมะม่วง ได้แก่ กรดคาโปรอิก (Caproic acid) กรดลอริก (Lauric acid) กรดไมริสติก (Myristic acid) กรดปาล์มิติก กรดปาล์มิโทเลอิก และกรดโอเลอิก (Lalel et al., 2003)

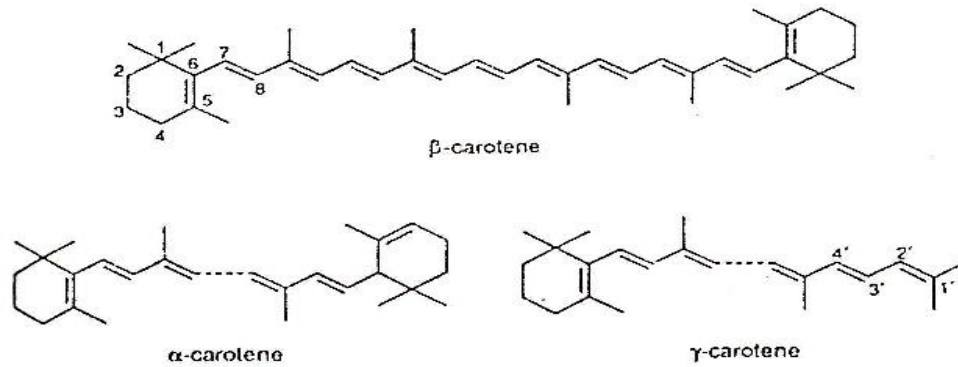
5) กรดอินทรีย์ (Organic acid) กรดอินทรีย์สะสมอยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) ที่มีปริมาณมากและมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพทางด้านรสชาติของผลไม้ ปริมาณกรดอินทรีย์ในผลมะม่วงลดลงตามระยะเวลาการสุกที่เพิ่มขึ้น (Mizrach et al., 1999) โดยทั่วไปเมื่อผลไม้ยังเป็นผลอ่อนอยู่จะมีปริมาณกรดอินทรีย์สูง ทำให้มีค่าพีเอชต่ำ ไม่เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และเมื่อผลไม้สุกมีปริมาณกรดลดลงทำให้รสชาติดีขึ้น

6) รงควัตถุ (Pigment) สารสีที่พบมากในมะม่วงมีหลายชนิด สีของผลจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสารสีที่เป็นองค์ประกอบดังต่อไปนี้

6.1) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยอะตอมของแมกนีเซียมล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนและไนโตรเจน (Prophyrin ring) และส่วนที่เป็นสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า Phytol โมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยวการสูญเสียของสีเขียวทำให้สารสีอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้วในผลไม้ปรากฏขึ้น ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อผลไม้สุกสีเขียวจะหายไปและมีสีเหลืองหรือแดงปรากฏขึ้นแทน (จริงแท้, 2544)

6.2) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon) ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม โมเลกุลประกอบด้วยพันธะคู่อยู่จำนวนมากจึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) โดยสามารถจับกับสาร Free radical ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งได้ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์มีหลายชนิด ที่พบมากใน

มะม่วง ได้แก่ แครอทิน (Carotene) แบ่งออกเป็น α , β และ δ -carotene (ภาพที่ 2.3) ซึ่งจะอยู่ในรูปของ บีต้า-แครอทิน (all-trans- β -carotene) มากที่สุด โดยมีถึงร้อยละ 60 ของแครอทินชนิดทั้งหมด (ณรงค์, 2538)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของแครอทินชนิดต่างๆ

ที่มา: Coultate and Tom (2002)

7) สารประกอบฟีนอล (Phenolic compound) ที่พบในมะม่วงส่วนใหญ่เป็นพวกแทนนิน ซึ่งเป็นสารที่มีรสฝาดและขม ละลายได้ในน้ำ ในมะม่วงสุกมีปริมาณแทนนินสูงกว่าในมะม่วงดิบ มะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีแทนนิน 32.41 มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ส่วนมะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงแรดมีแทนนิน 15.47 และ 13.81 มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ (ริญ และรัชนี้, 2551)

8) วิตามิน (Vitamins) ผักและผลไม้เป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญ วิตามินที่พบมากใน มะม่วง ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบีต่างๆ และวิตามินซี

8.1) วิตามินเอ (Vitamin A) พบในรูปของแครอทินซึ่งเป็นสารให้สี มี 3 รูป ได้แก่ α , β และ δ -carotene โดยจะพบ β -carotene ในปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือ α -carotene และ δ -carotene พบน้อยที่สุด ทั้งนี้ β -carotene 1 โมเลกุล สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ 2 โมเลกุล เมื่อผลไม้อสุกจะมีการสังเคราะห์ชนิดและปริมาณแครอทินเพิ่มมากขึ้น (Macrae, 1982)

8.2) วิตามินบี (Vitamin B) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์พืช วิตามินบีที่พบ ได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง (Thiamine), วิตามินบีสอง (Riboflavin) และ ไนอะซิน (Niacin) ผลการวิเคราะห์ผลมะม่วงจากบอมเบย์พบปริมาณวิตามินบีต่างๆ ดังนี้ วิตามินบีหนึ่ง 40.80-130.50 ไมโครกรัม วิตามินบีสอง 69.39-198.20 ไมโครกรัม และไนอะซิน 1.38-6.27 ไมโครกรัม (วิจิตร, 2529)

8.3) วิตามินซี (Vitamin C) วิตามินซีที่มีคุณค่าต่อร่างกายจะอยู่ในรูป L-ascorbic acid โดยมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น Dehydro-L-ascorbic acid และถูกเปลี่ยนเป็น Diketo-L-gulonic acid ซึ่งเป็นรูปที่ไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซีเหลืออยู่จึงไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีเกิดขึ้นมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ทั้งนี้การสูญเสียของวิตามินซีเกิดจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น Ascorbic oxidase, Polyphenol oxidase และ Peroxidase ซึ่งมีอยู่แล้วในผลไม้ และอาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น การเกิดออกซิเดชันโดยมีแสง ออกซิเจนและอนุมูลโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิตามินซีเป็นวิตามินที่พบมากที่สุด ในเนื้อมะม่วงมีวิตามินซี 27.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (จริงแท้, 2544)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.8 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	หน่วย	ปริมาณ
น้ำ (Water)	กรัม	83.46
พลังงาน (Energy)	กิโลจูล	60
โปรตีน (Protein)	กรัม	0.82
ไขมันทั้งหมด (Total fat)	กรัม	0.38
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	กรัม	14.98
เส้นใย (Fiber)	กรัม	1.6
น้ำตาล (Sugar)	กรัม	13.66
แคลเซียม (Calcium)	มิลลิกรัม	11
เหล็ก (Iron)	มิลลิกรัม	0.16
แมกนีเซียม (Magnesium)	มิลลิกรัม	10
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	มิลลิกรัม	14
โพแทสเซียม (Potassium)	มิลลิกรัม	168
โซเดียม (Sodium)	มิลลิกรัม	1
สังกะสี (Zinc)	มิลลิกรัม	0.09
กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)	มิลลิกรัม	36.4
ไทอามีน (Thiamine)	มิลลิกรัม	0.028
ไรโบฟลาวิน (Riboflavin)	มิลลิกรัม	0.038
ไนอะซิน (Niacin)	มิลลิกรัม	0.669
โฟเลต (Folate)	ไมโครกรัม	43
วิตามินบี 6 (Vitamin B6)	มิลลิกรัม	0.12
วิตามินเอ (Vitamin A)	ไมโครกรัม	54
วิตามินอี (Vitamin E)	มิลลิกรัม	0.9
วิตามินเค (Vitamin K)	ไมโครกรัม	4.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก USDA Agricultural Research Service (2014)

2.3 น้ำผลไม้

น้ำผลไม้สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้ (ไพโรจน์, 2535)

2.3.1 น้ำผลไม้แท้ (Single strength juice) คือ ของเหลวที่คั้นได้จากผลไม้ตามธรรมชาติโดยวิธีเชิงกล (Mechanical process) ผลไม้ที่ใช้คั้นสุกบางครั้งการทำโดยผ่านกรรมวิธีทางด้านให้ความร้อนก่อนการคั้นไม่มีการเจือปนน้ำตาลหรือสิ่งอื่นใดลงไปอาจจะใช้ความเย็นความร้อนหรือสารเคมีเพื่อจุดมุ่งหมายในการเก็บรักษาน้ำผลไม้แท้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) น้ำผลไม้ชนิดใส (Natural clear juice) หมายถึง ผลผลิตที่ได้จากการบีบอัดเนื้อผลไม้ทำให้ได้ของเหลวที่ค่อนข้างใสไม่มีการปรุงแต่งด้วยสารประกอบใดๆทั้งสิ้น

2) น้ำผลไม้แบบพิวเร (Puree) ซึ่งหมายถึง น้ำผลไม้ที่ได้จากการตีปั่นเนื้อผลไม้ทำให้ได้ผลผลิตที่มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลวมีปริมาณ ของแข็งสูงกว่าน้ำผลไม้สดและไม่มีการปรุงแต่งด้วยสารประกอบใดๆเช่นกัน (สินธนา, 2542)

2.3.2 น้ำผลไม้เข้มข้น (Concentrated fruit juice) คือน้ำผลไม้แท้ที่ผ่านกระบวนการระเหยเพื่อเอาน้ำออกการเตรียมเครื่องคั้นน้ำผลไม้พร้อมคั้นทำโดยนำน้ำผลไม้เข้มข้นไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะ

2.3.3 น้ำผลไม้กึ่งแท้หรือน้ำผลไม้ดัดแปลง (Modified fruit juice) คือน้ำผลไม้ที่ได้จากการเติมน้ำลงไปหรือเติม เอนไซม์ลงไปผลไม้บางชนิดที่มีน้ำอยู่น้อยในธรรมชาติแล้วจึงผ่านการบดคั้น อาจมีการเติมน้ำตาล กรดซิตริก (Citric acid) สีสผสมอาหาร หรือไม่เติมลงไปเลยก็ได้

2.3.4 น้ำผลไม้เทียม (Artificial fruit juice) คือ ของเหลวที่ไม่มีองค์ประกอบใดเลยมาจากผลไม้โดยตรงได้จากการผสมน้ำตาลหรือสารให้ความหวานอื่นๆ กลิ่น สี กรดอินทรีย์ตามแต่ว่าจะผลิตน้ำผลไม้กลิ่นรสใดก็เลียนแบบ รส กลิ่น สี ให้เหมือนธรรมชาติมากที่สุด น้ำผลไม้เทียมนี้อาจมีการอัดก๊าซหรือไม่เติมก็ได้

2.3.5 น้ำผลไม้เทียมเข้มข้นหรือน้ำหวานเข้มข้น (Concentrated artificial fruit juice) ได้จากการนำส่วนผสมน้ำผลไม้ผสมกับกลิ่นรส สี กรดอินทรีย์ และน้ำตาลในปริมาณมาก เพื่อให้ความเข้มข้นมากขึ้น เวลาดื่มจะต้องนำไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะก็จะได้เครื่องดื่มที่พร้อมดื่มได้ทันที

2.3.6 น้ำผลไม้ชนิดพร้อมดื่ม (Ready to drink fruit juice) หมายถึงผลผลิตที่ทำจากน้ำผลไม้แท้ที่อาจมีการปรุงแต่งด้วยน้ำตาลน้ำเกลือกรดสารเพิ่มความหนืดสีและกลิ่นสังเคราะห์ในกรณีที่ต้องการจะดื่มจะต้องมีน้ำผลไม้แท้เป็นส่วนประกอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20

2.3.7 น้ำผลไม้แห้ง (Dehydrated fruit juice) หมายถึง ผลผลิตที่ได้จากการระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งจนกระทั่งแห้งและมีความชื้นเหลือไม่เกินร้อยละ 20 อุปกรณ์ที่นิยมใช้

ในการระเหยน้ำ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dry) และเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze driers) เป็นส่วนใหญ่ (สินธนา, 2542)

2.4 กรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้

คุณภาพของน้ำผลไม้ที่ดี คือ การยังคงรักษาลักษณะกลิ่นและรสชาติของผลไม้ที่ได้ออกมาหลังจากผ่านการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งคุณภาพของน้ำผลไม้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลไม้ ชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระยะเวลาสุก และสภาวะที่ใช้ในการผลิตและการเก็บรักษา ซึ่งการรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้แต่ละชนิด จะมีปริมาณของน้ำผลไม้ในผลิตภัณฑ์แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 กำหนดของส่วนประกอบในเครื่องดื่มบางชนิด

ผลิตภัณฑ์	ร้อยละต่ำสุด	
	สารละลายของผลิตภัณฑ์	น้ำผลไม้ในผลิตภัณฑ์
ไซรัปผลไม้*	65	25
กรีซ (crush)*	55	25
สควอช (squash)*	40	25
คอร์ดียาล (cordial)*	30	25
น้ำผลไม้ธรรมชาติ**	ตามธรรมชาติ	100
เครื่องดื่มน้ำผลไม้**	10	85
เครื่องดื่มน้ำผลไม้อัดก๊าซ**	10	5
เนคแตร์น้ำมะม่วง**	15	20
น้ำผลไม้เข้มข้น**	32	100

หมายเหตุ: *การใช้สารเคมีหรือวัตถุกันเสียเพื่อการเก็บรักษา

**การใช้ด้วยความร้อนเพื่อการเก็บรักษา

***การใช้วัตถุกันเสียหรือความร้อนเพื่อการเก็บรักษา

ที่มา: สลักจิตร, 2550

ขั้นตอนการผลิตน้ำผลไม้ (สลักจิตร, 2550)

1) การคัดเลือกและการทำความสะอาด คัดเลือกเพื่อให้ได้ผลไม้ที่มีระยะเวลาการสุกเท่ากันสีของน้ำผลไม้จะได้คงที่ ส่วนการทำความสะอาดโดยการล้างนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์และสิ่งเจือปนที่ติดมากับผลไม้ อาจทำได้โดยการล้างน้ำด้วยมือ การแช่ในน้ำ หรือการฉีดด้วยน้ำ

ที่มีแรงดันสูง และอาจใช้สารเคมีบางชนิดช่วยในการล้างด้วย เช่น กรดเกลือจะช่วยลดปริมาณ จุลินทรีย์ได้แล้วจึงล้างน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่ง

2) การสกัดน้ำผลไม้ การสกัดน้ำผลไม้ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การตีป่นและการคั้นน้ำผลไม้ แต่ผลไม้บางชนิดอาจนำไปคั้นน้ำได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการตีป่น เช่น องุ่น และส้ม

การตีป่น (Pulping) เป็นขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวของผลไม้ให้มากขึ้นเพื่อต่อการคั้นน้ำผลไม้ โดยจะทำให้เนื้อผลไม้มีขนาดเล็กลงมีสภาพเป็นของเหลวกึ่งแข็ง เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า Pulper ซึ่งจะต้องทำจากเหล็กปลอดสนิมหรือโลหะเคลือบอลูมิเนียมเพื่อจะได้ไม่ทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนสีเกิดสีคล้ำหรือมีรสชาติเปลี่ยนแปลงไป

การคั้นน้ำผลไม้ (Pressing) เป็นขั้นตอนการสกัดของเหลวออกจากชิ้นส่วนของผลไม้โดยการคั้นซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี โดยอาจมีการให้ความร้อนกับผลไม้ เช่น การให้ความร้อนกับองุ่นก่อนการสกัดซึ่งจะช่วยสกัดสีจากน้ำองุ่นได้ดีขึ้น นอกจากนี้อาจเติมเอนไซม์ลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณของเหลวที่สกัดได้ ช่วยทำให้ใสและช่วยสกัดสีได้

3) การไล่อากาศ เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในน้ำผลไม้ที่เกิดจากขั้นตอนการสกัดน้ำผลไม้ เพราะออกซิเจนจะทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เรียกว่า ออกซิเดชัน (Oxidation) การไล่อากาศสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนโดยการบรรจุน้ำผลไม้ขณะร้อนลงในขวดหรือกระป๋องแล้วปิดผนึกฝาทันที และ การใช้เครื่องดูดอากาศ เป็นต้น

4) การเก็บรักษาน้ำผลไม้ วิธีการเก็บรักษาเพื่อให้ผลไม้มีสภาพคงตัวมากที่สุดเป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยไม่เสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมี จุลินทรีย์ เอนไซม์ และโลหะ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) การพาสเจอร์ไรซ์เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรงนักมักทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายเดือน เช่น น้ำผลไม้บรรจุขวด วิธีนี้สามารถใช้ถนอมอาหารได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น เชื้อแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา และจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด โดยการใช้ความร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที สามารถทำลายเซลล์เชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และราได้ ถ้าต้องการทำลายแต่เพียงเซลล์ยีสต์อาจใช้ความร้อนเพียง 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที ในน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงอาจใช้อุณหภูมิประมาณ 70-73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ปัจจุบันในโรงงานมีการใช้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ก่อนข้างสูงกว่าปกติในระยะเวลาสั้นแล้วทำให้เย็นทันที เช่น ใช้ความร้อนประมาณ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส ของน้ำผลไม้ น้อยมาก (ไพโรจน์, 2535)

ผลของการพาสเจอร์ไรซ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหาร เช่น ผลต่อสี กลิ่น และรสชาติ การพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ โดยเฉพาะเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งจะเกิดได้เร็วขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่โดยปกติมักจะไล่อากาศออกก่อนการพาสเจอร์ไรซ์ซึ่งจะสามารถช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนสารสีในผัก ผลไม้ มักไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการพาสเจอร์ไรซ์ สำหรับสารให้กลิ่นอาจมีการสูญเสียเล็กน้อยและอาจเกิด cooked flavor ได้ การพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้มีผลทำให้สูญเสียวิตามินได้ แต่มีการลดการสูญเสียวิตามินได้โดยการไล่อากาศออกเสียก่อน เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2543)

การพาสเจอร์ไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วต้องผ่านกระบวนการต่อไป หรือต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บรักษานมพาสเจอร์ไรซ์ หรือน้ำผลไม้พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ความรุนแรงของการให้ความร้อนกับผลการยืดอายุผลิตภัณฑ์กำหนดได้โดยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการพาสเจอร์ไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH>4.5) คือ ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ส่วนวัตถุประสงค์หลักในการพาสเจอร์ไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH<4.5) คือ การทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ส่วนการถนอมอาหารแบบอื่นที่ใช้ควบคู่กับการพาสเจอร์ไรซ์ ได้แก่ การใช้ความร้อน การใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น การใช้น้ำตาลในนมข้นหวาน การใช้กรด หรือการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในอาหาร เช่น เปลี่ยนแลคโตสไปเป็นกรดแลคติก หรือการบรรจุหีบห่อ เช่น รักษาสภาพไร้อากาศในขวดเบียร์จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น (วิไล, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้

เชื้อจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก พบกระจายอยู่ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหารและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบน้ำผลไม้ รวมทั้งตามมือและทางเดินอาหารของคนและสัตว์ เชื้อจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมคุณภาพและเน่าเสียหรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษ เชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำผลไม้ต้องการพลังงาน เริ่มด้วยการใช้เอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำผลไม้ จากนั้นจึงนำสารต่าง ๆ ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ การขยายพันธุ์ต่อไป น้ำผลไม้ที่เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายจะมีการเสื่อมคุณภาพและมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น จะมีกลิ่นหมักและรสเปรี้ยวเกิดขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

เชื้อจุลินทรีย์ที่พบเสมอในน้ำผลไม้ คือ *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Serratia*, *Staphylococcus* หรือ *Streptococcus* นอกจากนี้ยังพบยีสต์และเชื้อราด้วย โดยเฉพาะน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดและมีน้ำตาลในปริมาณสูงจะพบว่ามียีสต์และเชื้อราเจริญเป็นจำนวนมาก ส่วนน้ำผลไม้ที่มีน้ำตาลในปริมาณต่ำจะพบ Gram negative bacteria เจริญเป็นจำนวนมากแทน และถ้าในน้ำผลไม้มีการปนเปื้อนจากดินก็จะพบเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในดิน เช่น เชื้อรา แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ เป็นต้น และเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับน้ำผลไม้ อาจจะติดมากับผลไม้ในขั้นตอนการผลิตน้ำผลไม้ ซึ่งอาจจะทำให้น้ำผลไม้เน่าเสียได้ โดยโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียมีสาเหตุมาจากเชื้อ *Erwinia xanthomonas* โรคที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุมาจากเชื้อ *Botrytis* และ *Phytophthora* (สุมาลี, 2549)

Akond et al. (2009) ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในเครื่องดื่มอัดก๊าซที่ขายในบังกลาเทศ พบว่า มีการปนเปื้อนของ *Pseudomonas aeruginosa* มากที่สุด โดยมีจำนวนเชื้ออยู่ในช่วง 4-162 โคโลนี/100มิลลิลิตร *Streptococcus* spp. และ *Bacillus stearothermophilus* เป็นเชื้อที่พบรองลงมา โดยมีจำนวนเชื้ออยู่ในช่วง 6-122 และ 9-105 โคโลนี/100มิลลิลิตร ตามลำดับ ขณะที่ *Salmonella* spp. อยู่ในช่วง 2-90 โคโลนี/100 มิลลิลิตร ส่วน Total coliform และ Faecal coliform อยู่ในช่วง 5-213 และ 3-276 โคโลนี/100มิลลิลิตร ตามลำดับ

ยีสต์ที่พบมากในน้ำผลไม้ ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* ยีสต์เจริญได้ดีในอาหารที่มีความเป็นกรดสูงและมีปริมาณน้ำตาลมาก เช่น น้ำผลไม้ ดังนั้นยีสต์จึงทนต่อน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดได้ดีกว่า

แบคทีเรีย สปอร์ของยีสต์ไม่ทนต่อความร้อน อุณหภูมิเพียง 77 องศาเซลเซียส ก็สามารถทำลายสปอร์ของยีสต์ได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับสปอร์ของแบคทีเรียซึ่งทนต่อความร้อน ได้ดีมาก (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

ยีสต์มีทั้งชนิดที่ให้ประโยชน์และก่อโทษต่อน้ำผลไม้ ยีสต์ชนิดที่ให้ประโยชน์จะมีความสำคัญต่อกระบวนการหมักน้ำผลไม้ เช่น เบียร์ ไวน์ เป็นต้น ส่วนยีสต์ที่ก่อโทษต่อน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้เน่าเสีย มีกลิ่นหมัก มีเมือกและฝ้าเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้า น้ำผลไม้จะขุ่นและมีฟองก๊าซเกิดขึ้น นอกจากนี้ยีสต์ยังสามารถใช้เอนไซม์ย่อยกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการถนอมอาหาร เช่น กรดแลกติก กรดซิตริกและกรดแอซิดิกได้ เมื่อยีสต์ใช้กรดดังกล่าวแล้ว กรดจะมีความเข้มข้นลดลงเป็นผลให้น้ำผลไม้เหล่านั้นมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของน้ำผลไม้และเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้

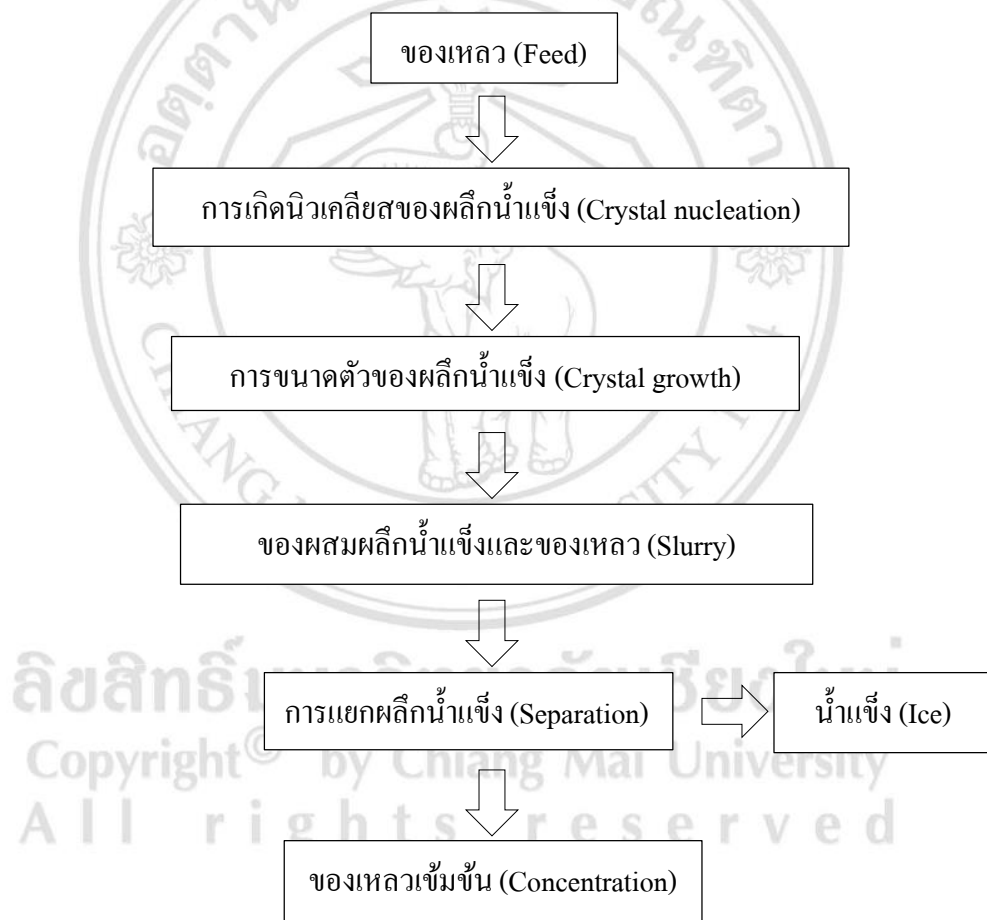
เชื้อราชนิดที่ให้ประโยชน์จะมีความสำคัญต่อกระบวนการหมักน้ำผลไม้ เนื่องจากเชื้อราบางชนิดผลิตกรดในน้ำผลไม้ เช่น กรดซิตริก เป็นต้น ส่วนเชื้อราที่ก่อโทษต่อน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้เกิดการเน่าเสีย มีสีและกลิ่นผิดปกติ เชื้อราส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำผลไม้ ได้แก่ *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* เป็นต้น การเน่าเสียของน้ำผลไม้ส่วนใหญ่มักเริ่มจาก เชื้อราใช้เอนไซม์ เช่น ทรานเซลิมิเนส (Transeliminase) และเอสเทอเรส (Esterase) ไปทำลายเนื้อเยื่อของผลไม้ เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ไปทำลายผนังเซลล์ของผลไม้ ส่วนเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) แอมิเลส (Amylase) และเอนไซม์อื่น ๆ ไปทำลายโปรโทพลาซึม (Protoplasm) จากนั้นเชื้อราจึงนำสารต่าง ๆ ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ต่อไป (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง

2.6.1 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)

กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งสามารถแยกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง (Crystal nucleation) การขยายตัวของผลึกน้ำแข็ง (Crystal growth) และการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำผลไม้ (Separation) (ภาพที่ 2.4) โดยส่วนของการผลึกน้ำแข็ง จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของเหลวจนกระทั่งน้ำในของเหลวเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง ในส่วนนี้ของเหลวจะเป็นของผสมระหว่างผลึกน้ำแข็งกับของเหลวที่เข้มข้นขึ้นซึ่งจะมีสภาพคล้ายโคลน (Slurry) จากนั้นจะทำการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำผลไม้ ได้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น



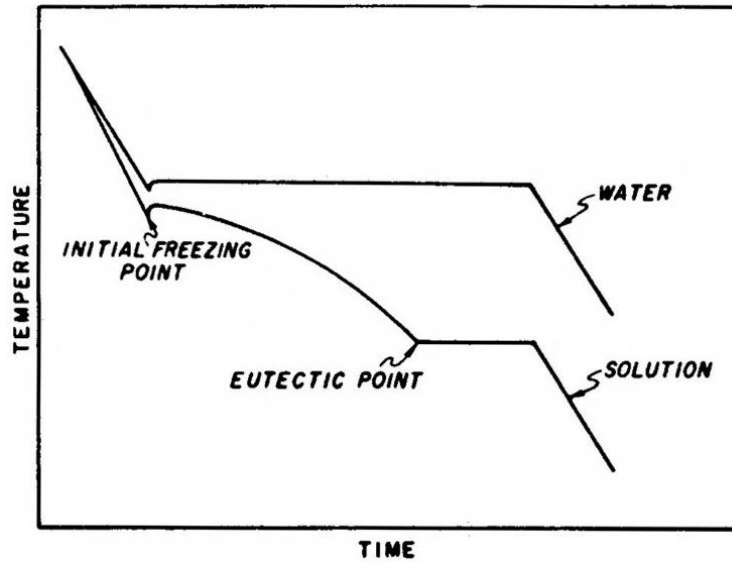
ภาพที่ 2.4 กระบวนการพื้นฐานของการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง

ที่มา: วสันต์ (2550)

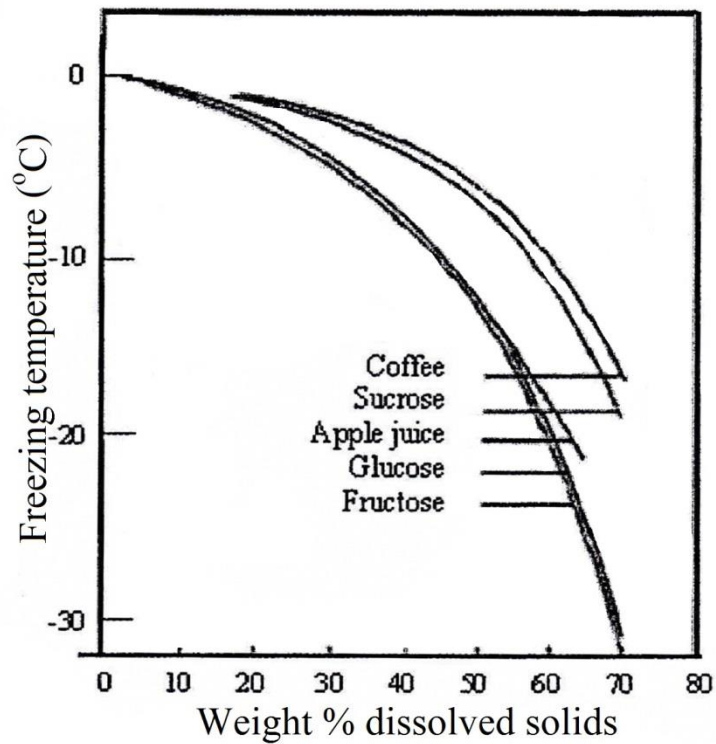
ในขั้นตอนของการลดอุณหภูมิของของเหลวเพื่อทำให้ของเหลวเกิดผลึกน้ำแข็งนั้น เมื่อความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของของเหลว ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเกิด Supercooling (ความเย็นยิ่งยวด คือ อุณหภูมิของน้ำลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลึกน้ำแข็งแต่ยังไม่เกิดผลึก) ในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปของความร้อนแฝงของน้ำ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง หลังจากน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งจนหมดแล้ว ถ้าความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบต่อไป อุณหภูมิก็จะลดลงอีก (ภาพที่ 2.5) ซึ่งการแช่แข็งช่วงเริ่มต้นจะก่อให้เกิดผลึกของน้ำแข็งของน้ำ เป็นผลให้สารละลายที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นขึ้น จุดเยือกแข็งของส่วนที่ยังไม่แข็งตัว (unfrozen) จะลดต่ำลงไปอีก ซึ่งกระบวนการแช่แข็งที่ดำเนินต่อไป จะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายเข้มข้นลดลงจนถึงจุดที่เรียกว่า จุดยูเทคติก (Eutectic point) หลังจากนั้นเมื่อกำจัดความร้อนออกไปอีกจะเกิดผลึกของตัวถูกละลายขึ้นมา (รุ่งนภา, 2535) กระบวนการการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งควรยุติก่อนถึงอุณหภูมิ จุดยูเทคติก ซึ่งโดยปกติแล้วกระบวนการจะหยุดก่อนถึงจุดยูเทคติกเสมอ เนื่องจากกระบวนการจะมีปัญหาที่เกิดจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นนั่นเองโดยทั่วไปเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิ จุดเยือกแข็งจะมีค่าลดต่ำลง (Freezing point depression) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากตัวถูกละลายโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำตาลที่มีอยู่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายเปลี่ยนแปลง ทำให้สารละลายนั้นมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจุดเยือกแข็งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่านั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของตัวถูกละลายนั้น (Thijssen, 1970)

เมื่อพิจารณากราฟการแช่แข็ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเยือกแข็งกับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ (ภาพที่ 2.6) พบว่า เมื่อทำการแช่แข็งน้ำแอปเปิลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ประมาณร้อยละ 11 ส่วนที่เป็นน้ำจะเริ่มเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -1 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 กราฟการลดลงของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งน้ำบริสุทธิ์และสารละลาย
ที่มา: Toledo (2007)



ภาพที่ 2.6 กราฟการแช่แข็งของน้ำกาแฟสกัด น้ำแอปเปิ้ล และสารละลายน้ำตาลบางชนิด
ที่มา: Thijssen (1970)

2.6.2 กระบวนการเกิดผลึก (Crystallization process)

กระบวนการเกิดผลึกประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเกิดผลึก หรือที่เรียกว่า นิวคลีเอชัน (Nucleation) และการเติบโตของผลึก (Crystal growth) ในหน่วยนี้ต้องมีการควบคุมให้เกิดผลึกน้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งอาหารเหลวและเป็นผลึกน้ำแข็งที่เหมาะสมแก่ขั้นตอนการแยก นั่นคือผลึกน้ำแข็งควรมีรูปร่างกลม ขนาดใหญ่และมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นได้ง่ายและลดปริมาณอาหารเหลวเข้มข้นที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็ง (รุ่งนภา, 2535)

2.6.2.1 นิวคลีเอชัน

เมื่อสารละลายถูกลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็ง น้ำจะเริ่มกลายเป็นของแข็ง โดยธรรมชาติของการลดอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อน ไม่สามารถที่จะทำให้ทุกจุดในสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากันได้ ผลึกน้ำแข็งจะเริ่มจากจุดเล็กๆ (Nuclei) ที่มีอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด (Supercooling) ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของสารละลาย อัตราการเกิดจุดผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ เหล่านี้จะมีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย คือ ถ้ามีอัตราการเกิดผลึกเล็ก ๆ มาก จะเป็นผลให้ความเข้มข้นของสารละลายสูง เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ในสารละลายได้เปลี่ยนรูปไปเป็นของแข็งมาก โดยทั่วไปแล้วนิวคลีเอชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ (Thijssen, 1970) คือ

1) นิวคลีเอชันปฐมภูมิ (Primary nucleation)

1.1) โฮโมจีเนียสนิวคลีเอชัน (Homogeneous nucleation) โฮโมจีเนียสนิวคลีเอชันจะเกิดขึ้นเฉพาะกับสารละลายที่มีความบริสุทธิ์อย่างมาก เช่น สารละลายที่ประกอบจากน้ำแข็งบริสุทธิ์ หรือตัวถูกละลายบริสุทธิ์ และน้ำบริสุทธิ์ โดยนิวคลีโอ (Nuclei) จะเป็นกลุ่มของโมเลกุลของน้ำที่รวมตัวกันอย่างสมส่วน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ โดยในความเป็นจริงแล้วโฮโมจีเนียสนิวคลีเอชัน มักไม่ค่อยเกิด และไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากควบคุมได้ยาก

1.2) เฮเทอโรจีเนียสนิวคลีเอชัน (Heterogeneous nucleation) เฮเทอโรจีเนียสนิวคลีเอชัน จะเกิดขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของน้ำหรืออาจจะเป็น โมเลกุลของตัวถูกละลายไปจับตัวกับสิ่งแปลกปลอม เช่น อนุภาคเล็กๆ ที่มีอยู่ในสารละลาย ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะกระทำตัวเป็นนิวคลีโอโดยอนุภาคเหล่านี้ต้องมีโครงสร้างคล้ายกับผลึกน้ำแข็ง

2) นิวคลีเอชันทุติยภูมิ (Secondary nucleation)

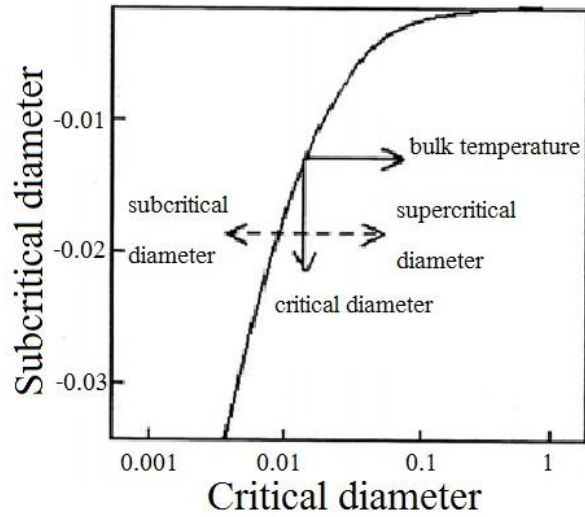
2.1) นิวคลีเอชันแบบเฉือนของของไหล (Fluid shear nucleation) เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลหรือหน่วยต่าง ๆ ที่รวมกันอยู่อย่างหลวม ๆ ถูกแยกออกมาจากผิวของผลึก หรือถูกหนีกลาดโดยแรงลากของของเหลวหนืดที่เคลื่อนที่ผ่านผิวของผลึกที่กำลังโตด้วยความเร็วสูง

2.2) นิวเคลียสแบบสัมผัส (Contact nucleation) เกิดจากการที่ผลึกที่มีอยู่เกิดการชนกันเอง หรือชนกับผนังใบกวนแล้วชิ้นส่วนเล็กๆ แยกออกจากผลึก โดยทั่วไปอัตราการเกิดผลึกหรือนิวเคลียสของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดผลึกจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม (Bulk supercooling) ของสารละลาย และขึ้นอยู่กับอัตราการกวนของสารละลาย การกวนจะมีผลทำให้อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดของจุดผลึกเล็กๆ ลดลง

2.6.2.2. การเติบโตของผลึก (Crystal growth)

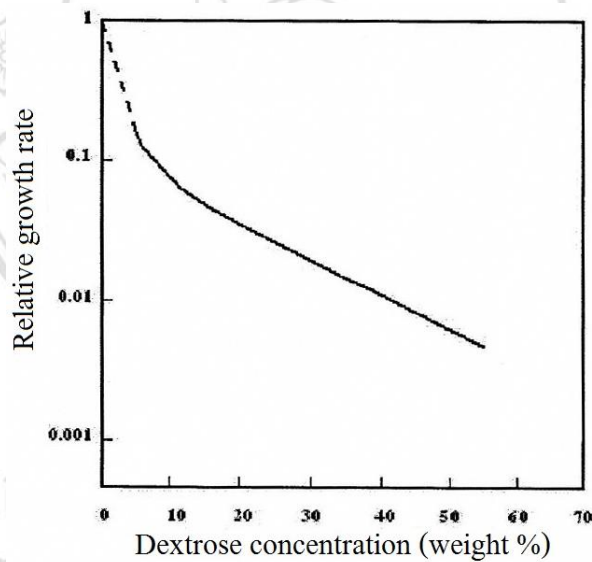
การเติบโตของผลึกจะเกิดขึ้นหลังจากมีการเกิดจุดผลึกน้ำแข็งเล็กๆ จำนวนหนึ่งขึ้นมาพอ โดยผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเกิดการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งเล็กๆ เหล่านั้น การรวมตัวกันที่เกิดขึ้น เกิดจากความสามารถในการละลายที่ไม่เท่ากันของผลึกก้อนเล็ก และผลึกก้อนใหญ่ที่มีในระบบ ผลึกก้อนเล็กสามารถละลายได้ง่ายกว่าผลึกก้อนใหญ่ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวและพลังงานอิสระที่ผิวต่ำกว่าผลึกก้อนใหญ่ ทำให้ผลึกก้อนเล็กเกิดการละลายมารวมกับผลึกก้อนใหญ่เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลึกที่สามารถเติบโตต่อไปได้นั้นจะต้องมีขนาดใหญ่ไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤต (Critical diameter) ของผลึกในระบบ (ภาพที่ 2.7) โดยปรากฏการณ์ที่ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งเล็กๆ นี้จะเรียกว่า การบ่ม (Ripening) ซึ่งขนาดของผลึกที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสารละลาย (ภาพที่ 2.8) อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม (Bulk supercooling) ระยะเวลาในการเลี้ยงผลึก (Resident time) และความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของสารละลาย (รุจิรา, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเยนยิ่งยวดรวมกับขนาดวิกฤตของผลึก

ที่มา: Thijssen (1970)



ภาพที่ 2.8 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่มีต่อการเติบโตของผลึกของสารละลาย

เดกโตรส

ที่มา: Thijssen (1970)

2.6.3 ลักษณะผลึกน้ำแข็ง

ลักษณะของผลึกน้ำแข็งที่ต้องการในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Schwartzberg and Rao, 1990) มีดังนี้

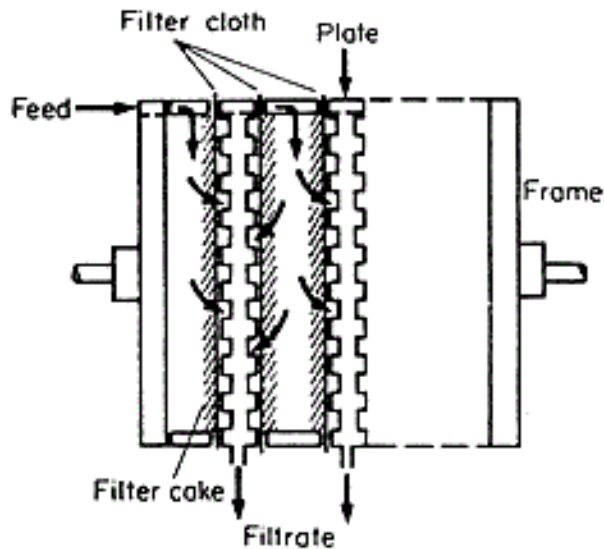
1) ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการแช่แข็งและความเข้มข้น พบว่าหากอัตราเร็วในการแช่แข็งช้าจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้อัตราการแช่แข็งที่เร็ว สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าจะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สามารถแยกออกจากสารละลายเข้มข้นได้ง่ายขึ้น และจะมีการสูญเสียของสารละลายที่ติดไปกับผลึกลดลง

2) ความสมมาตรของผลึกน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของตัวถูกละลาย พื้นที่ในการแช่แข็งกับอุณหภูมิในการแช่แข็ง โดยการที่จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรกันนั้นต้องมีการกระจายตัวของตัวถูกละลายที่ดี และมีพื้นที่ในการแช่แข็งที่เพียงพอ ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรจะช่วยลดการสูญเสียของตัวถูกละลายและของแข็งที่ติดไปกับผลึกโดยการกวน (Agitation) จะช่วยให้สารละลายเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีลักษณะคล้ายกันและมีความกลมซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียของตัวถูกละลายจากกระบวนการแยก

2.6.4 การแยกผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal separation)

น้ำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแล้ว จะได้สารละลายที่อยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมกับผลึกน้ำแข็ง แต่เนื่องจากต้องการสารละลายเข้มข้นเพียงอย่างเดียวจึงจำเป็นต้องมีการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลาย ซึ่งกระบวนการแยกผลึกน้ำแข็งมีหลายวิธี เช่น วิธีกดบีบ (Pressing) วิธีใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuge) และวิธีใช้กระบอกล้าง (Wash column) ประสิทธิภาพของเครื่องแยกผลึกน้ำแข็งนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งที่ต้องการแยก ผลต่างของความดันและความหนืดของของเหลว โดยมีหลักการดังต่อไปนี้ (Thijssen, 1970)

1) วิธีกดบีบ เป็นวิธีที่นำความดันเข้ามาช่วยในการแยกผลึกน้ำแข็งโดยที่จะใช้ความดันอัดผ่านชั้นกรอง (filter press) ทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลายได้ แต่ในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้เนื่องจาก จะมีสารละลายเข้มข้นปนอยู่ในน้ำแข็งมาก ข้อดีของวิธีนี้คือ จะมีการสูญเสียกลืนน้อยมาก เนื่องจากเป็นระบบปิด กลืนไม่สามารถกระจายออกไปได้ เครื่องมือที่ใช้ (ภาพที่ 2.9) เช่น Plunger press, Plate and frame press และ Screw press เป็นต้น

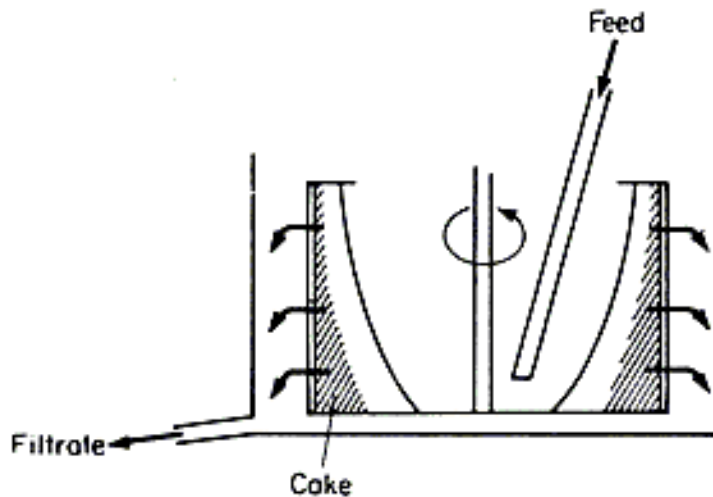


ภาพที่ 2.9 เครื่องบีบอัดแบบแผ่น (Plate and frame press)

ที่มา: Fellows (2009)

2) วิธีใช้แรงเหวี่ยง เป็นวิธีที่แยกผลึกโดยอาศัยแรงเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยอาศัยหลักการที่ว่า ความหนาแน่นของผลึกน้ำแข็งกับส่วนของเหลวเข้มข้นมีค่าไม่เท่ากัน ส่วนของเหลวเข้มข้นมีความหนาแน่นมากกว่าผลึกน้ำแข็ง ดังนั้นจะถูกหมุนเหวี่ยงไปได้ไกลกว่า ส่วนของเหลวเข้มข้นจึงเป็นส่วนที่อยู่ติดผนังของเครื่องหมุนเหวี่ยง และมีแผ่นกรองเป็นตัวกั้นไม่ให้ น้ำแข็งกลับไปผสมกับสารละลายเข้มข้นอีก (ภาพที่ 2.10) ปัจจัยที่มีผลต่อการแยกได้แก่ ความเร็วการหมุนของตะแกรงแยก ขนาดของผลึกและความหนืดของสารละลายที่จะนำมาแยก หากเปรียบเทียบกับวิธีแรกแล้วจะพบว่า การแยกผลึกน้ำแข็งโดยวิธีใช้แรงเหวี่ยงนี้มีประสิทธิภาพในการแยกผลึกสูงกว่า ในอุตสาหกรรมมีการใช้วิธีนี้อยู่บ้างแต่ไม่กว้างขวาง เนื่องจากวิธีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียรสชาติ และกลิ่นได้ง่าย เพราะมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรงขณะทำการแยกผลึกน้ำแข็ง

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.10 เครื่องปั่นเหวี่ยง

ที่มา: Earle (1983)

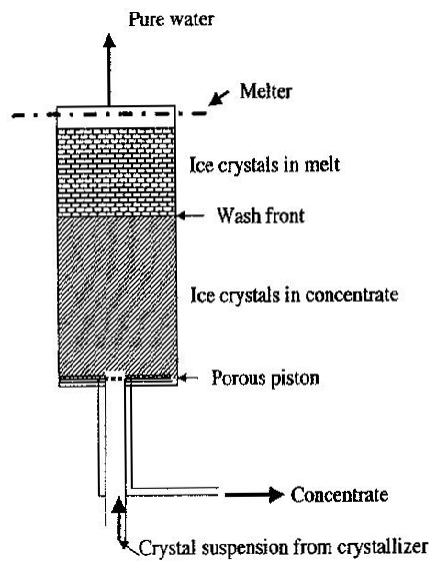
3) วิธีกระบอกล้าง (Wash column) เป็นวิธีการแยกผลึกน้ำแข็งที่มีมาตรฐานและประสิทธิภาพสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบปิดและไม่มีช่องว่างของอากาศอยู่เลย จึงสามารถรักษากลิ่นรสของสารละลายเข้มข้นได้เป็นอย่างดี วิธีการแยกผลึกน้ำแข็งทำได้โดยทำการป้อนสารละลายเข้มข้น (Crystal slurry) เข้ามาทางด้านล่างของคอลัมน์ จากนั้นจะบังคับให้ผลึกน้ำแข็งเคลื่อนที่ไปยังส่วนบนซึ่งอาจจะใช้สกรู หรือลูกสูบที่มีรูพรุน ซึ่งจะมีน้ำล้างที่ได้มาจากการละลายของผลึกน้ำแข็งบางส่วนไหลสวนทางมาที่ผลึกน้ำแข็ง โดยส่วนของผลึกน้ำแข็งจะถูกแยกออกจากส่วนบนของคอลัมน์ ส่วนสารละลายเข้มข้นนั้นจะถูกแยกทางด้านล่างของคอลัมน์ (ภาพที่ 2.11) เครื่องแยกผลึกน้ำแข็งแบบกระบอกล้าง ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด โดยจำแนกตามลักษณะของแรงที่ใช้ในการแยก ดังนี้

Buoyancy bed column ใช้หลักการความแตกต่างของความหนาแน่นของผลึกน้ำแข็งกับของเหลวเข้มข้นเพียงอย่างเดียว วิธีนี้ประสิทธิภาพในการแยกจะต่ำ

Screw conveyer หรือ Spiral column จะมี Screw หรือ Spiral mixer ช่วยพาผลึกน้ำแข็งเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนของคอลัมน์แล้วถูกแยกออกไป ส่วนของเหลวเข้มข้นจะเคลื่อนที่ลงด้านล่างของคอลัมน์แล้วผ่านตัวกรองออกไป

Piston bed column ภายในคอลัมน์จะมีลูกสูบอยู่ ด้านล่างของลูกสูบจะมีรูเปิดเล็กๆ (Porous) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นก็จะเกิดแรงผลักดันให้ผลึกน้ำแข็งเคลื่อนที่ขึ้นไป ส่วนของเหลวเข้มข้นจะเคลื่อนที่

ลงด้านล่าง ทำให้ด้านบนของลูกสูบมีลักษณะเป็น Packed bed ของผลึกน้ำแข็ง ต่อมาเมื่อน้ำแข็งทางด้านบนของ Pack bed หลอมเหลวเป็นน้ำก็จะไหลชะเอาของเหลวเข้มข้นลงมา



ภาพที่ 2.11 เครื่องแยกผลึกน้ำแข็งแบบกระบอกล้าง (wash column)

ที่มา: Fellows (2009)

2.6.5 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง

ข้อดีของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Thijssen, 1970) มีดังต่อไปนี้

- 1) ลดการเสื่อมเสียที่เกิดจากความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง
- 2) สามารถเก็บรักษากลิ่นหอมระเหยได้มากกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้นเมื่อเจือจางแล้วจะได้น้ำผลไม้ที่มีรสชาติใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด
- 3) การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาเอนไซม์ช้าลง
- 4) สามารถนำน้ำแข็งกลับมาใช้ในกระบวนการได้ เช่น นำกลับมาควั่นสารทำความ

เย็น

ข้อเสียของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Thijssen, 1970) มีดังต่อไปนี้

1) ระดับความเข้มข้นที่ต้องการมักทำได้อย่างจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลว โดยเฉพาะความหนืด โดยปกติปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ของน้ำผลไม้ต่างๆ จะมีค่าต่ำ และที่อุณหภูมิห้อง ของเหลวจะมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อทำให้ของเหลวเข้มข้นขึ้นในขณะอุณหภูมิต่ำๆ นั้น จะมีผลึกปนอยู่ด้วยจำนวนมาก ส่งผลให้ของเหลวมีความหนืดสูงมาก ทำให้การทำงานของระบบต่างๆ ลำบากขึ้น เครื่องตกลึกน้ำแข็งโดยทั่วๆ ไป จะออกแบบให้สามารถทำให้เข้มข้นได้ถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมดแต่ในการทำงานจริงไม่สามารถทำได้

2) ต้นทุนการผลิตสูง กระบวนการนี้จะมีต้นทุนสูงกว่าระบบอื่นๆ มาก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง (Capital cost) ค่าใช้จ่ายระหว่างการผลิตงานและค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียส่วนของเหลวเข้มข้นไปกับผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแยกผลึกน้ำแข็ง แม้ว่าระบบนี้จะใช้พลังงานน้อยกว่าโดยต้องการพลังงานเพียง 335 จูลต่อกรัม เพื่อให้ น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ในขณะที่ระเหยน้ำปกตินั้นต้องการพลังงานสูงถึง 2,323 จูลต่อกรัม

3) ถ้าทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว จะทำให้ส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ และเป็นที่ต้องการบางส่วนติดและหลุดออกไปพร้อมผลึกน้ำแข็งแทนที่จะอยู่ในส่วนที่เข้มข้นโดยสารแขวนลอยที่นำเข้าสู่ระบบจะทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอแทน ทำให้สารละลายที่เข้มข้นมีสีขุ่น และขาดกลิ่นรส เนื่องจากอนุภาคน้ำมันหอมระเหยซึ่งอยู่ศูนย์กลางผลึกน้ำแข็งถูกกำจัดออกจากระบบด้วย

4) ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ เพียงแต่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เท่านั้น

2.7 การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbonation)

การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญมากในเครื่องดื่มบางประเภท เนื่องจากก๊าซนี้มีผลต่อประสาทสัมผัสของการรับรส ทำให้เกิดความรู้สึกซ่า เป็นการกระตุ้นความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่ม นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มยังช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยเครื่องดื่มจะปราศจากก๊าซออกซิเจนเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาแทนที่ จึงยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะ (ไพโรจน์, 2535)

2.7.1 การเตรียมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเตรียมได้หลายวิธี ได้แก่ (ไพโรจน์, 2535)

1. การเผาไหม้หรือไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หินอ่อน หรือหินปูน สามารถเกิดได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

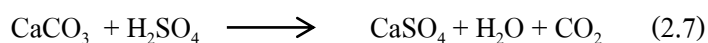
สมการ 2.1 แสดงการเผาไหม้ของแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, CaCO_3) ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide, CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2)



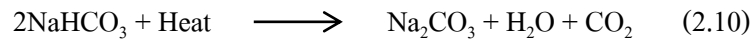
สมการ 2.2, 2.3 และ 2.4 แสดงการไฮโดรไลซิสของแคลเซียมคาร์บอเนต ด้วย ไฮโดรเจนเรดิคัล (Hydrogen radical, H°) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน



2. การไฮโดรไลซิสสารประเภท dolomite ได้แก่ MgCO_3 และ CaCO_3 เป็นองค์ประกอบ ด้วยกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) (สมการ 2.5-2.8) ซึ่งจะได้สารประกอบซัลเฟต (Sulfate, SO_4^{2-}) หรือ คลอไรด์ (Chloride, Cl^-) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์



3. การเผาไหม้สารประเภทไฮโดรคาร์บอเนต เช่น $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ และ NaHCO_3 ซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอเนต (Carbonate) น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10



4. การไฮโดรไลซิสสารประเภทไฮโดรเจนคาร์บอเนต เช่น $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ และ NaHCO_3 ด้วยกรดซัลฟิวริก ได้เป็นสารประกอบซัลเฟต (Sulfate, SO_4^{2-}) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



2.7.2 คุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติ ดังนี้ (Jacobs, 1959)

- 1) ไม่มีสี กลิ่นฉุน มีรสเป็นกรดเล็กน้อย
- 2) สามารถดับเปลวของกำมะถัน (Sulfur) และฟอสฟอรัส (Phosphorus)
- 3) ไม่ช่วยในการหายใจ แต่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
- 4) ถ้ามีสารประเภท โพแทสเซียม (Potassium) โซเดียม (Sodium) และลิเทียม (Lithium)

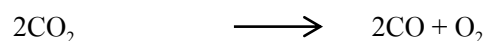
ติดไฟและมีเปลวไฟอยู่ จะลุกต่อไปได้ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์

5) เมื่อผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำปูนใส ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ก๊าซจะไม่ละลายในน้ำ และจะทำให้ น้ำปูนใสขุ่น



6) เมื่อละลายในน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน รสเปรี้ยวเล็กน้อย

7) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ได้คาร์บอนมอนอกไซด์และออกซิเจน



8) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำให้เป็นของเหลวได้โดยการเพิ่มความดันเป็น 50 เท่า ของบรรยากาศ (ประมาณ 50 บาร์) ส่วนการลดอุณหภูมิลงจะทำให้ก๊าซเปลี่ยนเป็นของแข็ง (dry ice)

2.7.3 การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหน่วยเป็น “ปริมาตร” ซึ่งหนึ่งปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 มิลลิลิตรต่อปริมาตรน้ำ 1 มิลลิลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน คือ ความดันหนึ่งบรรยากาศ และอุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายได้ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบด้วย (Woodroof and Phillips, 1981)

1) **ความดัน (Pressure)** การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ตามกฎของเฮนรี (Henry's Law) ที่กล่าวว่า การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิคงที่จะขึ้นอยู่กับความดันเพียงอย่างเดียว แต่ต้องไม่มีก๊าซอื่นผสมอยู่ การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเท่ากับหนึ่งปริมาตร ที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ และอุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงในตารางที่ 2.10

2) **อุณหภูมิ (Temperature)** ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิที่ต่ำมากกว่าที่มีอุณหภูมิสูง ถ้าอุณหภูมิสูงการละลายจะน้อยมาก ที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ (1 บาร์) และอุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในน้ำได้ 1.0 ปริมาตร แต่ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ 1.7 ปริมาตร ซึ่งผลของอุณหภูมิต่อการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในตารางที่ 2.11

3) **ความเข้มข้นของน้ำตาลในเครื่องดื่ม (Sugar concentration)** น้ำตาลซูโครสที่ละลายในเครื่องดื่มเป็นปัจจัยสำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่ม กล่าวคือ ถ้าหากมีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสสูงจะทำให้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (ตารางที่ 2.12) ที่ระดับความเข้มข้นของซูโครสร้อยละ 1 การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเท่ากับ 0.99 ปริมาตร ที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความเข้มข้นของซูโครสเพิ่มเป็นร้อยละ 13 การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเท่ากับ 0.90 ปริมาตร ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ตารางที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถละลายได้ใน 1 ปริมาตรของน้ำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดันภายในขวด ($\times 10^5$ ปาสคาล)										
	0	0.68	1.37	2.06	2.75	3.44	4.13	4.82	5.51	6.2	6.89
0	1.71	2.9	4	5.2	6.3	7.4	8.6	9.7	10.9	12.2	13.4
0.4	1.45	2.4	3.4	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.2	10.3	11.3
10	1.19	2	2.8	3.6	4.4	5.2	6	6.8	7.6	8.5	9.5
15.5	1	1.7	2.3	3	3.7	4.3	5	5.7	6.3	7.1	7.8
21.1	0.85	1.4	2	2.5	3.1	3.7	4.2	4.8	5.4	6.1	6.6
26.7	0.73	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.6	4.1	4.6	5.2	5.7
32.2	0.63	1	1.5	1.9	2.3	2.7	3.2	3.6	4	4.5	4.9
37.8	0.56	0.9	1.3	1.7	2	2.4	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jacobs (1959)

ตารางที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

อุณหภูมิของเครื่องต้ม (องศาเซลเซียส)	การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)	การสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
2.3	100	0
3.4	96	4
4.5	92	8
5.6	88	12
6.7	84	16
7.8	81	19
8.9	78	22
10	75	25

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jacobs (1959)

ตารางที่ 2.12 การละลายได้ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายน้ำตาลที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ความดัน 101325 ปาสกาล

น้ำตาล(ร้อยละ)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายได้
1	0.995
2	0.989
3	0.982
4	0.975
5	0.967
6	0.959
7	0.951
8	0.943
9	0.936
10	0.928

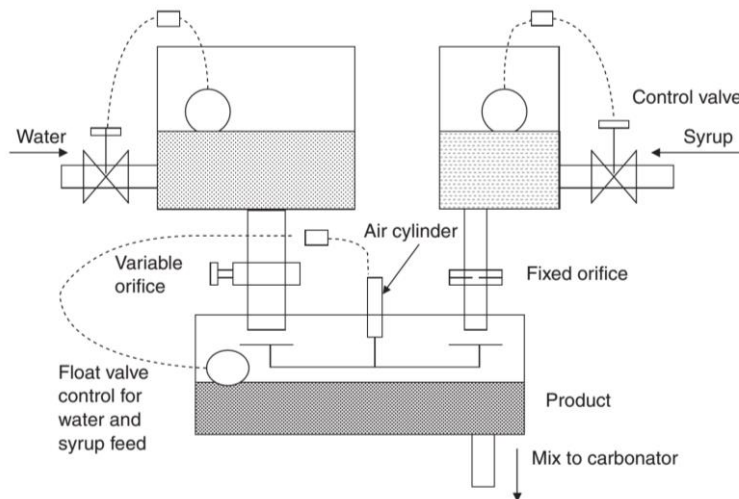
ที่มา: Jacobs (1959)

2.7.4 วิธีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในเครื่องดื่ม

วิธีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในเครื่องดื่มแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ (ไพโรจน์, 2535)

1) การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากผสมส่วนต่าง ๆ ของเครื่องดื่มแล้ว น้ำและน้ำเชื่อมจะไหลมารวมกันที่ห้องผสม ทำให้เย็นลงเพื่อลดอุณหภูมิ จึงอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบรรจุ ดังภาพที่ 2.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

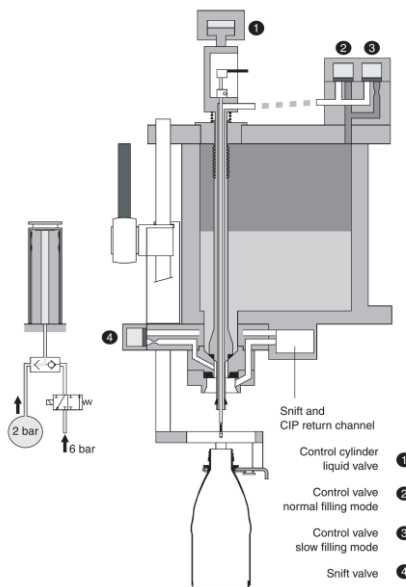


ภาพที่ 2.11 กระบวนการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังผสมส่วนต่างๆ

(Mojonnier proportioning system)

ที่มา: Steen and Ashurst (2008)

2) การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากบรรจุส่วนผสมของน้ำและน้ำเชื่อมลงในขวดที่มีสัดส่วนเหมาะสม อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่ถูกต้อง ปิดจุก เขย่าก๊าซและส่วนผสมให้เข้ากัน ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 เครื่องอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ electronic probe filler

ที่มา: Steen and Ashurst (2008)

2.7.5 การแบ่งประเภทเครื่องดื่มอัดก๊าซ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในเครื่องดื่มที่แสดงในตารางที่ 2.13 สามารถแบ่งประเภทของเครื่องดื่มอัดก๊าซได้ดังนี้ คือ (ไพโรจน์, 2535)

1) เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณก๊าซมากกว่า 3.5 ปริมาตรขึ้นไป ได้แก่ ginger ale โคล่า และ เครื่องดื่มประเภทใช้ผสม เช่น club soda และ tonics เป็นต้น

2) เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณก๊าซระหว่าง 2.5-3.5 ปริมาตร ได้แก่ เครื่องดื่มประเภท รุทเบียร์ เลมอน มะนาว คริมโซดา และเกรฟฟรุต

3) เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณก๊าซระหว่าง 1.0-2.5 ปริมาตร ได้แก่ เครื่องดื่มประเภท สตอเบอร์รี่ เชอร์รี่ องุ่น ส้ม สับปะรด และพีช

ในเครื่องดื่มอัดก๊าซนอกจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ก็แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.13 การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มชนิดต่างๆ

กลิ่นรสของเครื่องดื่ม	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ปริมาตร)
เชอร์รี่ (Cherry)	3.0-3.5
องุ่น (Grape)	2.1-2.5
เกรฟฟรุต (Grapefruit)	3.2-3.5
โคล่า (Cola)	3.5-3.7
เลมอน (Lemon)	3.5-4.0
เลมอนและมะนาว (Lemon and lime)	3.4-3.7
มะนาว (Lime)	3.5-4.0
ส้ม (Orange)	0.9-2.0
สับปะรด (Pineapple)	2.1-3.0
ราสเบอร์รี่ (Raspberry)	3.1-3.5
รุทเบียร์ (Root beer)	3.0-3.5
สตอเบอร์รี่ (Strawberry)	3.0-3.5

ที่มา: Jacobs (1959)

ตารางที่ 2.14 ส่วนประกอบของเครื่องดื่มอัดก๊าซที่แต่งกลิ่นรสด้วยผลไม้ชนิดต่างๆ

ชนิดของผลไม้	ปริมาณของแข็ง		ปริมาณกรด		ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
	ที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ปริมาตรก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ (ปริมาตร)	ทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)		
แอปเปิ้ล (Apple)	12	3	0.1		3.7
เชอร์รี่ (Cherry)	11.6	2.9	0.09		3.7
องุ่น (Grape)	13.2	2.2	0.1		3.7
พีช (Peach)	12.8	4.4	0.05		3
ราสเบอร์รี่ (Raspberry)	11.2	2.3	0.1		3
สตรอเบอร์รี่ (Strawberry)	12	3	0.08		3

ที่มา: Jacobs (1959)

2.7.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำผลไม้อัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Cheng et al. (2007) ศึกษาผลของการใช้คลื่นเสียง (sonication) และ การทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbonation) จากน้ำแข็งแห้งต่อคุณภาพของน้ำฝรั่ง พบว่า การใช้คลื่นเสียง การทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้คลื่นเสียงร่วมกับการทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด สภาพกรด (% acidity) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แต่ปริมาณกรดแอสคอร์บิก จะแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ส่วนคุณภาพด้านสี พบว่า การใช้คลื่นเสียงร่วมกับการทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ความใสลดลง และมีการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

Dizadji et al. (2012) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้คลื่นเสียง การทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากน้ำแข็งแห้งและการใช้คลื่นเสียงร่วมกับการทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของน้ำกีวี พบว่า ค่าความเป็นกรด สภาพกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกัน การใช้คลื่นเสียงร่วมกับการทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้มีฟองอากาศเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความใสลดลง เนื่องจากเกิดการแขวนลอยในส่วนของเพคตินในน้ำผลไม้ แต่ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

รุจิรา (2542) ทำการศึกษาการผลิตน้ำสาส์ไอซ์อัดก๊าซพันธุ์ Pathanak พบว่า ผลของค่า Brix/Acid ratio และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบในระดับ P เท่ากับ 0.05 คือ มี

ค่า Brix/Acid ratio เท่ากับ 56 และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3.4 ปริมาตร การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี L ปริมาณกรดทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ หลังอินเวิร์ต มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ค่าสี a* ค่าสี b* ความขุ่นและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวิร์ต มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

อมรรัตน์ (2545) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซจากน้ำผลไม้ 3 ชนิด คือ ส้ม สับปะรด และมะนาว โดยทำการศึกษาทั้งหมด 9 สูตร ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและทำการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ด้วยความดัน 6.89×10^5 ปาสคาล พบว่า องค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำส้มผสมน้ำสับปะรดอัดก๊าซ คือ น้ำส้ม-น้ำสับปะรดทั้งหมดร้อยละ 60 ต่อน้ำร้อยละ 40 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มผสมน้ำมะนาว และผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดผสมน้ำมะนาวอัดก๊าซ ควรใช้น้ำผลไม้ผสมทั้งหมดร้อยละ 40 ต่อน้ำร้อยละ 60 โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เหมาะสม คือ 14 บริกซ์ ปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในผลิตภัณฑ์ 1.85 ปริมาตร ค่าความเป็นกรดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำส้มผสมน้ำสับปะรดอัดก๊าซ และผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรดผสมน้ำมะนาวอัดก๊าซ คือ 3.3 และ 2.8 ตามลำดับ

2.8 น้ำแข็งแห้ง

น้ำแข็งแห้ง (Dry ice) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะของแข็ง เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง หรือ Solid carbon dioxide มีสถานะเป็นของแข็ง มีความเย็นจัดถึง -79 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิจึงจะระเหิดเป็นก๊าซโดยไม่หลอมละลายเป็นของเหลวเหมือนน้ำแข็งทั่วไป น้ำแข็งแห้ง เตรียมได้จากการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการอัดและทำให้เย็นลงภายใต้ความดันสูงกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์เหลว แล้วลดความดันลงอย่างรวดเร็วโดยการพ่นคาร์บอนไดออกไซด์เหลวสู่ความดันบรรยากาศ ผลที่ได้คือเกล็ดน้ำแข็งสีขาวขุ่น คล้ายเกล็ดหิมะ แล้วจึงนำมาอัดเป็นรูปแบบและขนาดต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ซึ่งมีทั้งรูปแบบเป็นก้อน (Block) เป็นแผ่น (Slice) เป็นแท่ง (Bar) เป็นต้น ดังนั้นความบริสุทธิ์ของน้ำแข็งแห้งจึงขึ้นอยู่กับปริมาณสารปนเปื้อน และความบริสุทธิ์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่นำมาผลิตเป็นน้ำแข็งแห้ง ในกรณีที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากการแยกก๊าซธรรมชาติ ต้องมั่นใจว่าผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification process) ที่มีประสิทธิภาพสูง ปราศจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก และสารปิโตรเคมีอื่นที่อาจเป็นพิษต่อสุขภาพ

ด้วยคุณสมบัติที่มีอุณหภูมิต่ำถึง -79 องศาเซลเซียส จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ดังนี้

- ใช้ในอุตสาหกรรมการถนอมอาหาร เช่น การแช่แข็งเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

- ใช้ในการขนส่งเวชภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่ต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำมาก
- ใช้ในอุตสาหกรรมด้านการทำความสะอาดเครื่องจักร
- ใช้เป็นส่วนสำคัญของชุดระบายความร้อนซีพียู ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของซีพียูลดต่ำลงไปกว่า

ศูนย์องศาเซลเซียส

- ใช้ในการทำหมอกควันในการแสดงบนเวทีต่างๆ โดยใช้คุณสมบัติในการระเหิดเป็นก๊าซได้ที่อุณหภูมิห้อง

นอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ควรระวังอันตรายจากการใช้น้ำแข็งแห้ง ด้วยเหตุผลหลายประการ คือ อุณหภูมิที่เย็นจัดถึง -79 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถสัมผัสได้โดยตรง เพราะผิวหนังอาจเกิดอาการไหม้จากอุณหภูมิที่เย็นจัด ทำให้เกิดอาการปวดแสบปวดร้อนมากกว่าอาการไหม้จากน้ำร้อนลวก การสัมผัสน้ำแข็งแห้งจึงควรสวมถุงมือ หรือมีกระดาษรองอีกชั้นหนึ่ง แต่อันตรายที่ร้ายแรงของน้ำแข็งแห้ง คือ น้ำแข็งแห้งเป็นก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์บริสุทธิ์ล้วนๆ ซึ่งจัดว่าเป็นก๊าซที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้น หากต้องอยู่กับน้ำแข็งแห้งที่มีการระเหิดมากๆ จึงควรอยู่ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทค่อนข้างดี หรืออยู่กลางแจ้ง นอกจากนี้ ไม่ควรเก็บน้ำแข็งแห้งในภาชนะที่ปิดสนิท เพราะคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ระเหิดออกมาอาจรวมตัวและเกิดระเบิดขึ้นได้ และไม่ควรเก็บน้ำแข็งในตู้เย็น เพราะอุณหภูมิของน้ำแข็งแห้งต่ำกว่าอุณหภูมิของตู้เย็นมาก การสลายตัวของน้ำแข็งแห้ง จะให้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ซึ่งจะกระจายสู่บรรยากาศ

ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เมื่อละลายน้ำหรือมีความชื้นจะมีสภาพเป็นกรดอ่อน ที่เรียกว่ากรดคาร์บอนิก ซึ่งหากหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมากๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟและไม่ช่วยให้ไฟติด (สุดาวรรณ, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved