

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

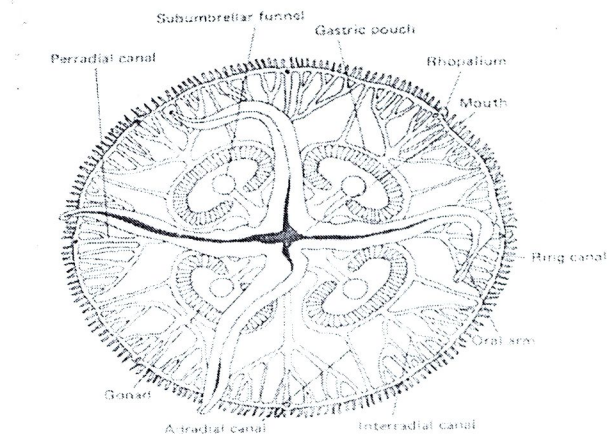
2.1 แมงกะพรุน

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

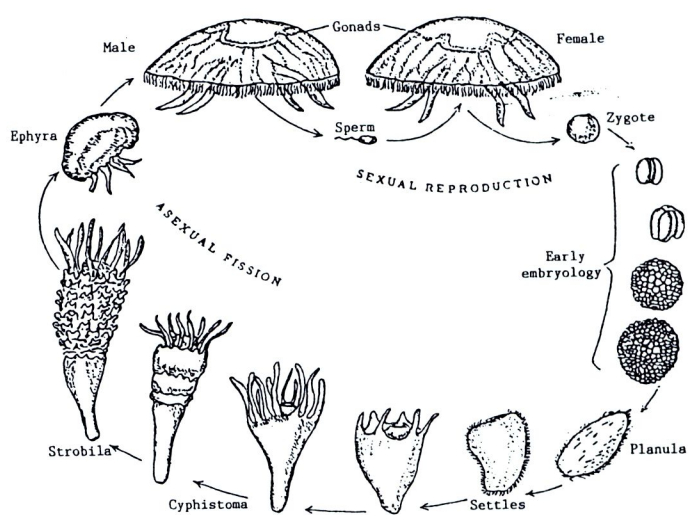
แมงกะพรุนเป็นแพลงก์ตอนชนิดที่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้ อยู่ไฟลัมซีเลนเตอรตา (Coelenterata) คลาสไฮโฟซัว (Scyphozoa) ไม่มีกระดูกสันหลัง ผนังลำตัวประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือ เนื้อเยื่อชั้นนอก (Epidermis) และ เนื้อเยื่อชั้นใน (Gastrodermis) (บพิธ และนันทพร, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 2-1 เป็นได้ทั้งผู้บริโภครูปภูมิและหุติภูมิ พบได้ทั้งในน้ำทะเลและน้ำจืด มีรูปร่างสมมาตรคล้ายระฆังคว่ำ โครงสร้างประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้น มาบรรจบกันเป็นปาก และกระเพาะอาหาร มีช่องเปิดออกเพียงช่องเดียว ทำหน้าที่เป็นปากและทวารหนักระหว่างเนื้อเยื่อ 2 ชั้น มีสารที่มีลักษณะคล้ายวุ้นเรียกว่า มีโซเกลีย (Mesoglea) ทำหน้าที่ยึดเนื้อเยื่อทั้งสองเข้าด้วยกัน แมงกะพรุนส่วนใหญ่บริโภคลูกกุ้ง ลูกปลา หรือแพลงก์ตอนขนาดเล็ก บริเวณขา (Radial Canals) มีเข็มพิษ (Nematocyst) ใช้ในการดักจับสัตว์และป้องกันตัว พิษของแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน (ลัดดา, 2541) แมงกะพรุนมีอวัยวะสำหรับการสืบพันธุ์แบบ 2 เพศแยกจากกัน คือมีทั้งเพศผู้และเพศเมีย โดยการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมีการปล่อยไข่ และสเปิร์ม ลงสู่น้ำผสมกันได้ตัวอ่อนและแบบไม่อาศัยเพศมีการแตกหน่อ เมื่อหน่อเจริญเต็มที่หลุดและเจริญเป็นตัว ดังแสดงในรูปที่ 2-2 อวัยวะสืบพันธุ์ของแต่ละสายพันธุ์มีรูปร่างและตำแหน่งแตกต่างกันไป (ลัดดา, 2541)

2.1.2 การจำแนกชนิดของแมงกะพรุน

แมงกะพรุนเป็นสัตว์ดึกดำบรรพชนิดหนึ่งสามารถพบได้ในทะเลทั่วทุกมุมโลก ปัจจุบันมีแมงกะพรุนประมาณ 260 ชนิด แมงกะพรุนสามารถแบ่งเป็นชนิดที่นำมาบริโภคได้และบริโภคไม่ได้ (มีพิษ) ปัจจุบันพบแมงกะพรุนที่รับประทานได้ไม่น้อยกว่า 13 ชนิดใน 5 วงศ์คือ Cepheidae, Catostylidae, Lobonematidae, Rhizostomatidae และ Stomolophidae ดังแสดงในตารางที่ 2-1 (Omori and Nakano, 2001; Mianzan and Cornelius, 1999; สมบัติ, 2530; เบญจวรรณ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของแมงกะพรุน (บพิท และนันทพร, 2540)



ภาพที่ 2-2 วงจรชีวิตแมงกะพรุน (ถัดดา, 2541)

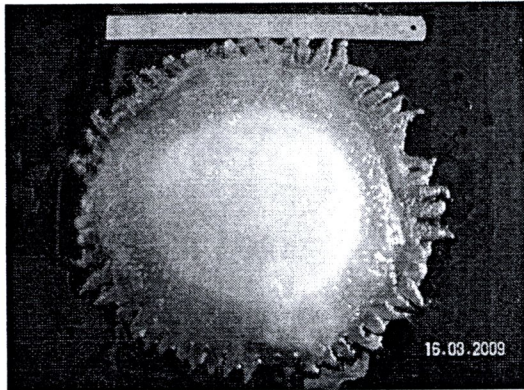
ตารางที่ 2-1 ชนิดแมงกะพรุนที่รับประทานได้

Class	Order	Suborder	Superfamily	วงศ์ (Family)	Genus	Species
Scyphomedusae	Rhizostomeae	Kolpophorae		Cepheidae	<i>Cephea</i>	<i>Cephea cephea</i>
				Mastigiidae	<i>Mastigias</i>	<i>Mastigias sp.</i>
				Catostylidae	<i>Acromitoides</i>	<i>Catostylus mosaicus</i>
	Daktyliophorae	Inscapulatae				<i>Crambionella mastigophora</i>
						<i>Crambionella orsisi</i>
						<i>Acromitus flagellatus</i>
						<i>Lobonema smithii</i>
						<i>Lobonemoides gracilis</i>
						<i>Rhizostoma pulmo</i>
						<i>Rhopilema esculentum</i>
						<i>Rhopilema hispidum</i>
						<i>Nemopilema nomurai</i>
						<i>Stomolophus meleagris</i>

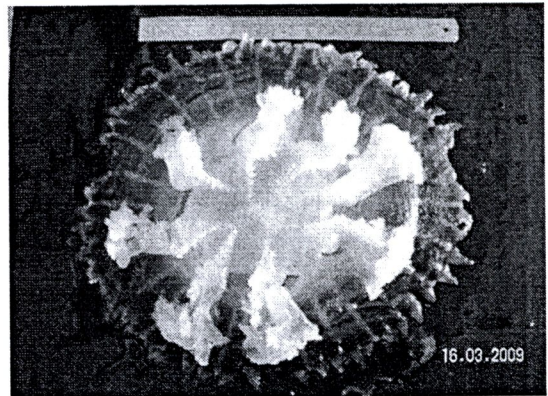
ที่มา : Omori and Nakano (2001); Mianzan and Cornelius (1999); สมบัติ (2530); เบญจวรรณ และคณะ (2552)

สำหรับในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบแมงกะพรุนที่สามารถรับประทานได้ 8 ชนิด โดยมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Red Type (*Rhopilema esculentum*), White Type (*Lobonema Smithii*), Sand Type (*Rhopilema hispidum*), River Type, Cilacap Type, Prigi Type (*Crambione mastigophora*), Semi-China Type และ Ball Type (*Crambionella orsisi*) (Omori and Nakano, 2001) สำหรับประเทศไทยพบได้ทั้งหมด 3 ชนิด ดังนี้

2.1.2.1 แมงกะพรุนลอดช่อง (*Lobonema smithii*) ส่วนใหญ่เป็นแมงกะพรุนที่มีรูปร่างใส แต่บางตัวอาจมีสีม่วง ส่วนรุ่มมีลักษณะคล้ายเส้นลอดช่องติดที่ผิวแมงกะพรุน ตัวมีความอ่อนนุ่มมาก ตัวเต็มวัยมีน้ำหนักต่อตัว เฉลี่ยประมาณ 15-20 กิโลกรัม เป็นสายพันธุ์ที่นิยมนำมาทำการแปรรูปในแถบจังหวัดตราด จันทบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง พังงา กระบี่ ภูเก็ต และสตูล (เบญจวรรณ และคณะ, 2552) ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ก. ด้านรุ่ม



ข. ด้านออร์ลอาร์ม

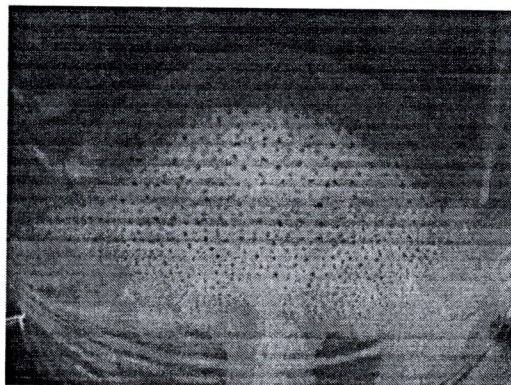
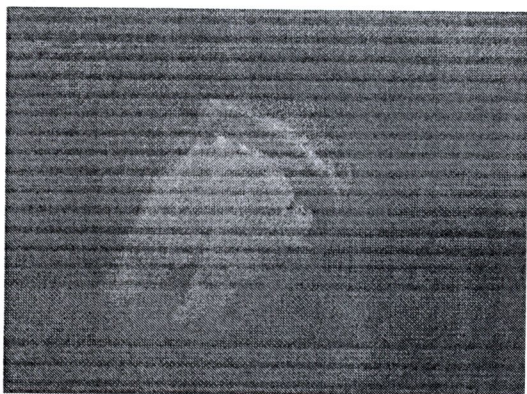
ภาพที่ 2-3 แมงกะพรุนลอดช่อง

2.1.2.2 แมงกะพรุนหนัง (*Rhopilema hispidum*) เป็นแมงกะพรุนที่มีรูปร่างใสมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนรุ่มจะมีลักษณะเด่นที่เป็นลายจุด ๆ สีน้ำตาลเข้ม ผิวหนังมีความสากเหมือนหนังหุ ตัวเต็มวัยมีน้ำหนักประมาณ 10-15 กิโลกรัม ใกล้เคียงกับแมงกะพรุนลอดช่อง โดยแมงกะพรุนหนังมักพบในแถบจังหวัดชลบุรี สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น (เบญจวรรณ และคณะ, 2552) ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แมงกะพรุนหนัง

2.1.2.3 แมงกะพรุนถ้วย (*Acromitus flagellatus*) เป็นแมงกะพรุนที่มีลักษณะใสมาก การว่ายน้ำเป็นลักษณะว่ายตะแคงข้าง โดยตัวเต็มวัยจะมีความกว้างเท่ากะลามะพร้าว น้ำหนักประมาณ 800 กรัม (เบญจวรรณ และคณะ, 2552) ดังแสดงในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 แมงกะพรุนถ้วย

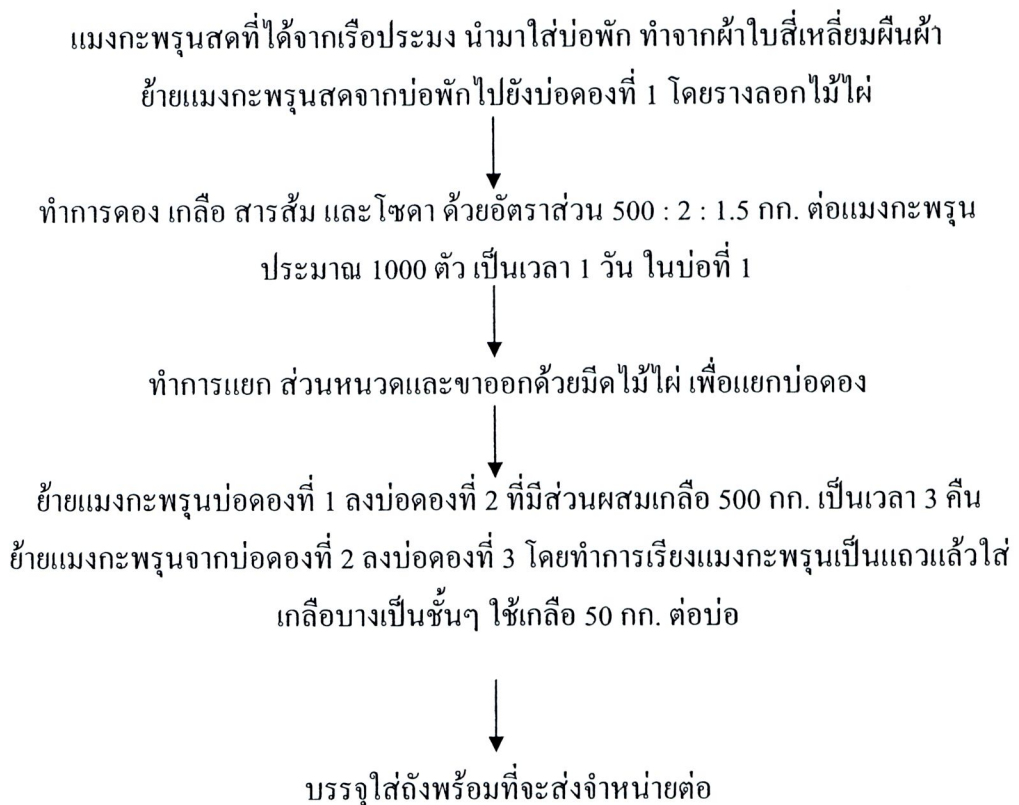
2.1.3 กระบวนการแปรรูปแมงกะพรุน

แมงกะพรุนส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำประมาณ 95% (Heish, et al., 2001) ทำให้มีค่า a_w สูงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย การดองแมงกะพรุนด้วยเกลือและสารเคมีจึงเป็นวิธีการป้องกันการเน่าเสีย โดยในการดองแมงกะพรุนนี้ ความเข้มข้นของเกลือจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตามการดองในแต่ละพื้นที่ก็มีกรรมวิธีและขั้นตอนแตกต่างกันเล็กน้อย

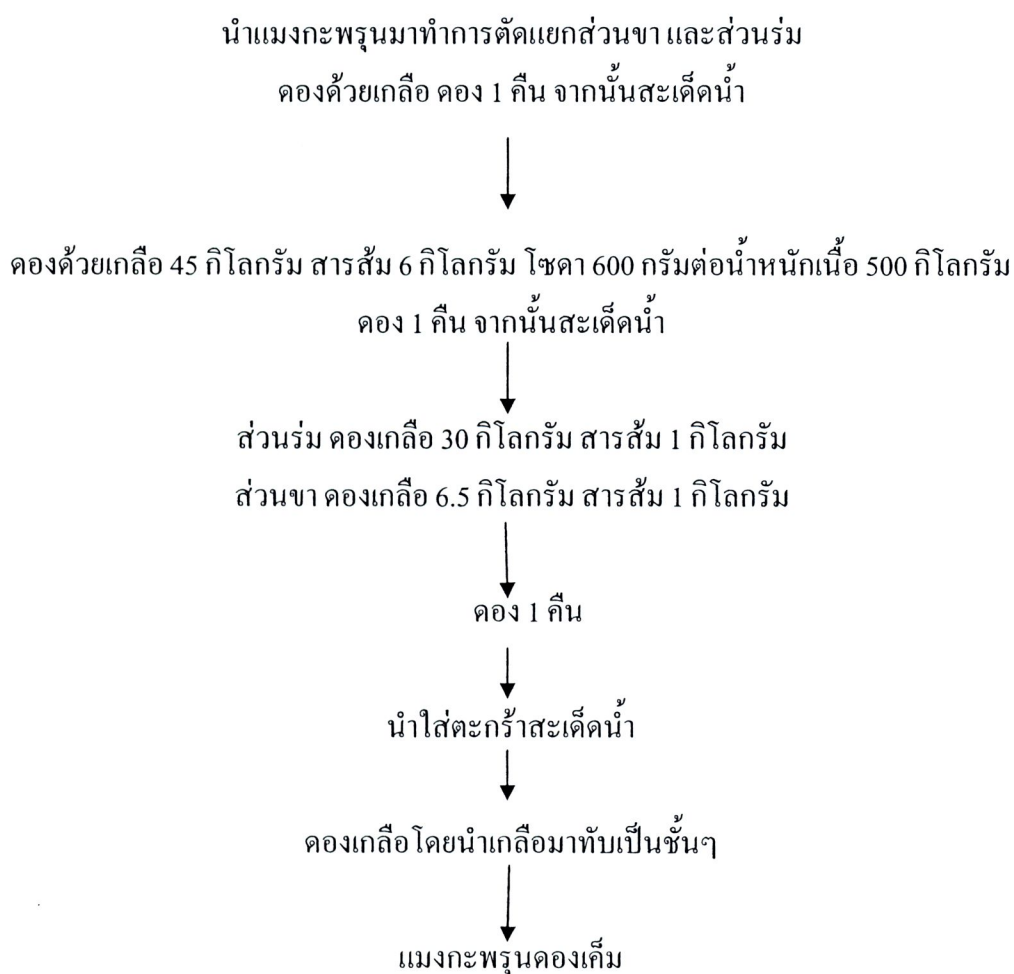
2.1.3.1 การดองเกลือ เป็นวิธีการดึงปริมาณน้ำออกจากตัวแมงกะพรุน ทำให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์น้อยลง การดองด้วยวิธีการนี้เป็นการดองที่ใช้กันมากในหลายประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก

การคองด้วยเกลือ สามารถมีอายุการเก็บรักษาได้ 1 ปีที่อุณหภูมิห้อง และ 2 ปีในอุณหภูมิตู้เย็น (Heish, et al., 2001)

กรรมวิธีการคองแอมกะพูนในเชิงการค้าสำหรับผู้ประกอบการในประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 2-6 (เบญจวรรณ และคณะ, 2552) ภาพที่ 2-7 (พิสิฐ, พูลทรัพย์ และเบญจวรรณ, 2551) พบว่า ขั้นตอนการคองใกล้เคียงกัน แตกต่างกันที่ปริมาณสารที่ใช้ซึ่งเป็นความลับทางการค้า คองด้วยเกลือเป็นหลัก และมีส่วนผสมอีก 2 ชนิด คือ สารส้ม และ โซดา (โซเดียมไบคาร์บอเนต) แต่ละส่วนผสมมีหน้าที่ ดังนี้คือเกลือทำให้เกิดการออสโมซิสของน้ำ (Osmosis) ออกจากตัวแอมกะพูน และเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้นเพิ่มแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) ทำให้เกิดภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ สารส้มเป็นตัวทำให้เนื้อสัมผัสของแอมกะพูนมีลักษณะกรอบและแน่นเนื่องจากเป็นตัวทำให้เกิดตะกอนโปรตีน นอกจากนี้สารส้มยังทำให้ค่า pH ลดลง และเป็นสารที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การใช้โซดาเป็นส่วนผสมในการคองทำให้เร่งการคองน้ำออกจากเซลล์ของแอมกะพูนและทำให้เนื้อสัมผัสกรอบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแผ่นบาง ๆ สีออกเหลืองอ่อน ๆ มีความเหนียว และแห้ง (Heish, et al., 2001)



ภาพที่ 2-6 กระบวนการผลิตแอมกะพูนคองเกลือ (เบญจวรรณ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2-7 ขั้นตอนการแปรรูปแมงกะพรุนคองเค็มของบริษัท 22 ฟาร์ม จังหวัดสมุทรสาคร
 (พิสิฐ และคณะ, 2551)

2.1.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์

แมงกะพรุนที่ผ่านการคองเกลือแล้ว สามารถนำมารับประทานเป็นอาหารได้ โดยนำมาปรุงเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น ประเทศญี่ปุ่นมีการนำแมงกะพรุนคองเกลือทำการล้างน้ำ และตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในสลัด หรือจิ้มกับซอส ประเทศจีน ช้องกงนิยมนำมาทำเป็นซูป ผัดน้ำมันงา ส่วนในประเทศไทย ผลิตภัณฑ์จากแมงกะพรุนยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ธารินี (2544) ศึกษาการผลิตลูกชิ้นปลาผสมแมงกะพรุน พบว่าปริมาณแมงกะพรุนที่ผสมกับซูริมิในสัดส่วน 75 : 25 ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด และทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมแมงกะพรุนในสภาพบรรยากาศปกติ ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับไนโตรเจนอัตราส่วน 60 : 40 และสภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส พบว่าการบรรจุสภาพบรรยากาศปกติอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 9 วัน สภาพปรับบรรยากาศมีอายุการเก็บรักษา

ไม่น้อยกว่า 21 วัน และสภาพสุญญากาศมีอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 12 วัน และไม่พบการปนเปื้อน จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

สมบัติ (2530) ศึกษาการผลิตแมงกะพรุนในน้ำปรงรส โดยทำการนำแมงกะพรุนดองเกลือที่ผ่านการล้าง หั่นเป็นชิ้นและนำไปใส่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ความเข้มข้น 500 ppm นาน 20-30 นาที จากนั้นลวกในน้ำเดือด 30-60 วินาที แล้วนำไปใส่ในน้ำปรงรส เติมน้ำโซเดียม 500 ppm เติมน้ำผักดอง พบว่าผู้ชิมชอบแมงกะพรุนที่มีผักดองอยู่ด้วย อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เก็บได้ 7 วัน และน้ำปรงรสที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีอายุนาน 15 วัน

สมบัติ (2526) ศึกษาการปรับปรุงแมงกะพรุนแห้ง พบว่าการใช้โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้น 500 หรือ 750 ppm เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำแมงกะพรุนไปตากแห้ง สีแมงกะพรุน ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล แต่เมื่อใช้โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium Metabisulfite) ที่ความเข้มข้น 250 ppm สีของแมงกะพรุนเข้มข้นเล็กน้อย และจากการทดลองการหาความชื้น ที่เหมาะสมในการคั่วตัวของแมงกะพรุนแห้ง คือ 38-42% จากการทดลองความชื้นของแมงกะพรุน ที่ต่ำเกินไปยังพบว่าส่วนขอบ ๆ แห่งกรอบเกินไป ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงการผลิตโดยอบในตู้อบ แสงแดดประมาณ 3 วัน จะได้แมงกะพรุนที่มีปริมาณความชื้น 21% และมีลักษณะที่น่ารับประทาน

อิสริ (2552) ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มน้ำแมงกะพรุนสกัดเข้มข้น พบว่าแมงกะพรุนส่วนร่วมและ ส่วนหนวดมีปริมาณคอลลาเจนอยู่ 2.76 และ 2.21% ตามลำดับ พบว่าแมงกะพรุนต่อกรดอะซิติก 0.01% สัดส่วน 70 : 100 (w/v) ให้ปริมาณโปรตีนและคอลลาเจนสูงที่สุด โดยสูตรนี้ผู้บริโภคยอมรับ มากที่สุด ประกอบด้วย แชนแทนกัม 0.1% น้ำตาลฟรุคโตส 0.8% Masking Agent 0.04% และ สารแต่งกลิ่นสละไซเดอร์ 0.04 %

2.1.5 ประโยชน์ของแมงกะพรุน

2.1.5.1 ประโยชน์ทางคุณค่าโภชนาการ ชาวจีนมีการบริโภคแมงกะพรุนมาแล้วกว่า 1,000 ปี เนื่องจากแมงกะพรุนเป็นอาหารที่บำรุงร่างกาย ปัจจุบันแมงกะพรุนยังมีการบริโภค ที่แพร่หลายในทวีปเอเชียและประเทศอเมริกาเนื่องจากแมงกะพรุนเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง และปริมาณไขมันต่ำ และมีเนื้อสัมผัสที่เฉพาะตัว จึงมีการนำแมงกะพรุนมาแปรรูปเป็นอาหารต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถนำมาเป็นอาหารของสัตว์ได้ เช่น อาหารเลี้ยงเต่าทะเล (วิเชียร, 2547) และ แมงกะพรุน *Cassiopea* sp. ยังนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับปลาจระเมียดดำ (ปลาเต้าโต๋ย) (เบญจวรรณ และคณะ, 2552)

2.1.5.2 ประโยชน์ทางการแพทย์ แมงกะพรุนนอกจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ สูงแล้ว ยังสามารถใช้เป็นยารักษาโรคได้ เช่น โรคไขข้ออักเสบ (Arthritis) โรคปวดตามข้อและ กล้ามเนื้อ (Rheumatoid) (Heish, et al., 2001) ความดันสูง อาการปวดหลัง นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณ



ในการรักษาแผลที่เกิดจากไฟไหม้ได้ โดยการนำแมงกะพรุนดองเกลือที่ผ่านการล้างน้ำออก ผสมน้ำผึ้งหลวงทาบริเวณที่เกิดแผล (เบญจวรรณ และคณะ, 2552)

2.2 เอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน

การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis) เป็นเทคโนโลยีการผลิตที่แพร่หลายเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าจากโปรตีนดั้งเดิม และยังเป็นการเพิ่มการทำงานและคุณค่าทางโภชนาการ โปรตีนที่ถูกย่อยกลายเป็นโอลิโกเปปไทด์ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้นกว่าโปรตีนดั้งเดิม โปรตีนที่ย่อยสลายจะกลายเป็นกรดอะมิโนอิสระซึ่งจะอยู่ในรูป ไดเปปไทด์ และไตรเปปไทด์ ซึ่งร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีในลำไส้เล็ก (Hindi-Tamelikecht, et al., 1997)

เอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนจัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์โปรตีเอส ซึ่งจำแนกตามลักษณะการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ คือ การย่อยพันธะจากด้านในสาย หรือ เอนโดเปปติเดส (Endopeptidase) และการย่อยสลายพันธะจากด้านปลายสาย (Exopeptidase) หรือจำแนกตามบริเวณตัดจำเพาะของเอนไซม์แบ่งได้ 4 ชนิด คือ ซีรีน โปรตีเอส, ซัลไฟดริลโปรตีเอส, โปรตีเอสที่มีหมู่โลหะ และโปรตีเอสที่เป็นกรด (White, 1972)

ซีรีนโปรตีเอส มีอนุโมลเชิลอยู่ที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ เอนไซม์ทั้งหมดเป็นพวกเอนโดเปปติเดส มีแอกติวิตีสูงสุดที่ pH 7-11 จัดเป็นโปรตีเอสที่เป็นด่าง (Alkaline Protease) ได้แก่ ไคโมทริปซิน และทริปซิน

ซิสทีนโปรตีเอส มีอนุโมลซัลไฮดริลที่บริเวณตัดจำเพาะ โดยเป็นพวกเอนโดเปปติเดส มีแอกติวิตีสูงสุดที่ pH 6-7.5 จัดเป็นโปรตีเอสที่เป็นกลาง ได้แก่ ปาเปน ฟิซิน และโบรมิเลน

โปรตีเอสที่มีหมู่โลหะ เป็นโปรตีเอสที่มีไอออนของโลหะรวมในโมเลกุลของเอนไซม์ในลักษณะโคแฟกเตอร์ สามารถถูกยับยั้งด้วยสารจับไอออนของโลหะ โดยทั่วไปโปรตีเอสจัดเป็นเอกโซเปปติเดส เกือบทั้งหมด เป็นเอนไซม์ที่มีแอกติวิตีสูงในช่วง pH 6.5-7.5 จัดเป็นโปรตีเอสที่เป็นกลาง ได้แก่ คาร์บอิกซีเปปติเดสเอ และอิมิโนไดเปปติเดส

โปรตีเอสที่เป็นกรด เป็นโปรตีเอสที่มีแอกติวิตีสูงสุดที่ pH 2-4 และไม่แสดงอนุโมลของกรดอะมิโนที่มีบทบาทในบริเวณตัดจำเพาะอย่างชัดเจน แต่พบว่าหมู่คาร์บอซิล มากกว่า 1 หมู่อยู่ที่บริเวณตัดจำเพาะ ได้แก่ เรนิน และ เปปซิน

ปัจจุบันมีการนำเอนไซม์จากพืชมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ซึ่งข้อดีหลายอย่าง เช่น ต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการนำมาใช้ ไม่จำเป็นต้องสกัดหรือทำให้บริสุทธิ์ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และพบได้ในพื้นที่ท้องถิ่น โดยมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอาหาร และเครื่องดื่ม (อัคกะบทกาน, 2550) แสดงดังตารางที่ 2-2 สำหรับในการศึกษานี้เลือกเอนไซม์โบรมิเลนมาใช้ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต

ตารางที่ 2-2 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอาหาร

เอนไซม์	EC number	แหล่งที่พบ	การประยุกต์ใช้
Actinidin	3.4.22.14	Kiwi fruit	อาหาร
α -Amylase	3.2.1.1	Malted barley	เบียร์
β - Amylase	3.2.1.2	Malted barley	เบียร์
Bromelain	3.4.22.4	Pineapple latex	เบียร์
β -Glucanase	3.2.1.6	Malted barley	เบียร์
Ficin	3.4.22.3	Fig latex	อาหาร
Lipoxygenase	1.13.11.12	Soybeans	อาหาร
Papain	3.4.22.2	Pawpaw latex	เนื้อสัตว์

ที่มา : อัครกะบัทคาน (2550)

2.2.1 เอนไซม์โบรมิเลน (Bromelain)

เอนไซม์โบรมิเลน (EC 3.4.22.33) เป็นเอนไซม์ที่มีหน้าที่ย่อยโปรตีน สามารถพบในเนื้อเยื่อของพืชในวงศ์ *Bromeliaceae* ของสับปะรด (*Ananas comosus*) โดยโบรมิเลนอยู่ในกลุ่มจำพวกซิสทีอินโปรติเอส (Cysteine Proteinases) โดยเอนไซม์โบรมิเลนทำงานขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันซัลไฮดริล (-SH) ซึ่งย่อยพันธะเพปไทด์แบบสุ่ม โดยเอนไซม์มีความจำเพาะต่อชนิดกรดอะมิโนในพันธะเพปไทด์ย่อยพันธะระหว่าง Arg-Ala และ Ala-Glu แต่ไม่สามารถย่อยพันธะระหว่าง Arg-Arg และ Lys-Tyr ได้ (Benucci, et al., 2010; Gupta, et al., 2007; Murachi and Neurath, 1960) โดยเอนไซม์โบรมิเลนมีมวลโมเลกุล 33 kDa (Murachi, 1964; Feinstein and Whitaker, 1964; Murachi, Yasui and Yasuda, 1963)

เอนไซม์โบรมิเลนปัจจุบันประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเวชกรรม (Devakate, et al., 2009) ในด้านอาหารมีการนำไปใช้ในเนื้อโดยใช้เป็นสารให้เนื้อนุ่ม (Meat Tenderizing) โดยเอนไซม์ย่อยเนื้อซึ่งเรียกว่า Forking และทำให้ได้เนื้อที่มีความนุ่มมากขึ้น และสามารถใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (อัครกะบัทคาน, 2550) ในทางการแพทย์พบว่า โบรมิเลนใช้รักษาการอักเสบ (Inflammation) (Bhattacharya and Bhattachaya, 2007) สมานบาดแผล รักษาเอ็นอักเสบ (Tendonitis) และรอยฟกช้ำ (Bruising) (Aiyegbusi et al., 2010) อีกทั้งยังมีรายงานว่ายังเป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งมะเร็ง (Bhattacharya and Bhattachaya, 2007)

Ketnawa, Rawdkuen and Chiwutl. (2010) รายงานว่า การใช้เอนไซม์โบรมิเลนปริมาณ 0.02 หน่วย ในการไฮโดรไลซ์คอลลาเจนจากวัว และปริมาณการใช้ 0.18 หน่วยให้เพปไทด์สายสั้น ๆ

Melendo, et al. (1995) ศึกษาการใช้เอนไซม์โบรมิเลนในการย่อยโปรตีนไส้กรอกเพื่อเพิ่มความนุ่ม พบว่าการใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 6 ยูนิต ต่อ 100 กรัม ทำให้ไส้กรอกนุ่มได้

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนไฮโดรไลเซท

Zhuang, et al. (2009) รายงานว่า ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับการเตรียมคอลลาเจนจากแมงกะพรุน (*Rhopilema esculentum*) ในส่วนร่ม (Bell) เพื่อหา Hydroxyl Radical Scavenging Activity ที่สูงสุด โดยคอลลาเจนที่สกัดด้วยเอนไซม์ Trypsin โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง คือ pH 7.75 อุณหภูมิที่ใช้ 48.77 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้น คือ 3.5% โดยให้ Hydroxyl Radical Scavenging Activity คือ 72.04% และเมื่อตรวจสอบ fraction ด้วย HPLC ได้ F1 >3000 Da, 1000 < F2 < 3000 Da และ F3 < 1000 Da

Wang, et al. (2007) ศึกษาการย่อยของโปรตีนกลูเตน จากแป้งสาลี (Wheat Gluten) จากเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต (By-product) ด้วยเอนไซม์ปาเปน ซึ่ง Protein Hydrolysate ถูกจำแนกออกตามขนาดโมเลกุลของเพปไทด์ด้วยวิธี Membrane Ultrafiltration (UF) แบ่งออกเป็น 3 Fractions คือ Protein Hydrolysate และเพปไทด์ขนาด 5 kDa เป็น Fraction (P) และส่วนที่เหลือเป็น Fraction (5-K) ในการตรวจ Antioxidant ด้วยวิธี TBA และ Scavenging (DPPH) ซึ่งทั้ง 3 Fractions พบว่า กรดไขมัน Linoleic acid มีหน้าที่เป็นสาร Antioxidant และมีคุณสมบัติของ Scavenging Activity มีปริมาณสูงใน Fraction (P) มีความเข้มข้นของขนาดโมเลกุล 4.2 kDa (86.5%) หลังจากที่ย่อยด้วย Gel จากนั้นวิเคราะห์ต่อยด้วย HPLC ใน Fraction (P) และ Fraction (5-K) มีพื้นผิวที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นที่ pH 7.0

Ruttanapornvareesakul, et al. (2005) รายงานว่า การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือที่ได้จากการทำประมง โดยได้ศึกษาโปรตีนไฮโดรไลเซทจากหัวกุ้ง (SHPH) จากกุ้ง 3 พันธุ์ คือ Northern Pink Shrimp, Endeavour Shrimp และ Black Tiger Shrimp โดยใช้เอนไซม์ Endopeptidase และ Exopeptidase ที่ความเข้มข้น 0.1% (w/w) ซึ่ง SHPH มีปริมาณโปรตีนมากถึง 90-91% และกรดอะมิโน 71-84% แต่มีปริมาณไขมันต่ำ (0.01-0.02%) เมื่อศึกษาขนาดโมเลกุลของ SHPH พบว่ามีขนาด 300- 1400 Da ซึ่งผลของ 5% SHPH (น้ำหนักฐานแห้ง) เมื่อเติมลงในน้ำ พบว่าเกิดการเสียสภาพของเนื้อเยื่อ Myofibril ในระหว่างกระบวนการ Dehydration โดยตรวจสอบได้จาก Desorption Isoterm และ Ca-ATPase Activity และเปรียบเทียบกับผลของ Sodium Glutamate ซึ่งได้พบว่า SHPH มีการลดลงของ Water Activity และ Ca-ATPase ไม่อยู่ในรูปที่ทำงานได้

Raghavan, et al. (2009) กล่าวว่า เศษเหลือในกระบวนการผลิตปลาให้อยู่ในรูปเพปไทด์ด้วยเอนไซม์ Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) ให้เป็นโปรตีนไฮโดรไลเซทของปลาชนิด โดยมี pH ที่เป็นด่าง pH 11.0 และต้องการเปลี่ยนให้มี pH 5.5 เพื่อรักษาความคงตัว โดยโปรตีน

ไฮโดรไลเซทมีการใช้เอนไซม์ Cryotin หรือ Flavourzyme มี %DH ที่ 7.5% และ 25% ตามลำดับ จากนั้นผ่านกระบวนการ Ultra-Filtration เพื่อแยกเป็น 3 Fraction คือ > 30 kDa, 10-30 kDa และ < 10 kDa โดยทั้ง Protein Hydrolysate และ Protein Fraction ถูกตรวจสอบการยับยั้งเอนไซม์ ACE ผลแสดงให้เห็นว่า Cryotin และ Flavourzyme มี %DH เท่ากับ 25% ทำให้การยับยั้งเอนไซม์ ACE ที่สูงสุด และพบว่า ขนาดโมเลกุลขนาดเล็กจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACE ได้ดีกว่า โมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่ง Fraction ของ Cryotin มี %DH ที่ 7.5 และ Flavourzyme มี %DH ที่ 25 ซึ่งมีความเหมาะสมในการยับยั้งเอนไซม์ ACE

Clemente, et al. (1999) รายงานว่า โปรตีนถั่วเขียวใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถั่วเขียวโปรตีนไฮโดรไลเซท (CPHs) โดยใช้เอนไซม์ Alcalase และ Flavourzyme ได้ %DH มากกว่า 50% และแยกขนาดโมเลกุลของ CPHs ด้วยเจลโครมาโตกราฟี ผลการทดลองพบว่า มีการลดลงของ Phe และ Arg หลังจากการ Hydrolysis ซึ่งกรดอะมิโนมีปริมาณเพียงพอต่อการอ้างอิงขององค์กร FAO และความสามารถในการย่อยโปรตีน CPHs ในหลอดทดลอง มีความใกล้เคียงกันกับวัตถุดิบเริ่มต้น โดย CPHs มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ในช่วง pH 2-10

Bueno-Solano (2009) ศึกษาโปรตีนไฮโดรไลเซทที่ใช้กระบวนการ Lactic Acid Bacteria ในการย่อยส่วนที่รับประทานไม่ได้จากกุ้ง ซึ่งเป็น By-product ของกระบวนการผลิตกุ้ง โดยกระบวนการผลิตต้องทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยสูญญากาศที่ 80 องศาเซลเซียส และผลิตเป็นผงแห้งด้วยการใช้ Spray Drying ที่สภาวะ 180 องศาเซลเซียส ต่อ 140 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิขาเข้าต่ออุณหภูมิขาออก ซึ่งการทดลองเปรียบเทียบองค์ประกอบของ Shrimp Protein Hydrolysate 3 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีน และเถ้าอยู่ในช่วง 8.43-46.75% และ 2.03-8.25% กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักเปียก

Chalamaiah, et al. (2010) รายงานว่า การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากของเหลือ Meriga Fish Egg โดยใช้เอนไซม์ Alcalase และ Papain พบว่า DH เท่ากับ 62% เมื่อใช้เอนไซม์ Alcalase และ DH เท่ากับ 17.4% เมื่อใช้เอนไซม์ Papain ย่อยที่เวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 50-55 และ 60-65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนผลิตภัณฑ์ที่ย่อยด้วย Alcalase มีปริมาณสูงกว่า 85% มากกว่า Papain Hydrolysate 70% ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 2 ได้เพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของ Fish Egg Protein Hydrolysate มากกว่า 72.4% ในช่วง pH 2-12 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Hydrolysate ที่ใช้ Alcalase มีประสิทธิภาพมากกว่า Papain

Mazorra-Manzono, et al. (2010) ได้ศึกษาโปรตีนไฮโดรไลเซทโดยใช้ปลา Pacific Whiting (*Merluccius productus*) ที่ pH 7.0 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้เอนไซม์ Endogenous Proteolytic ที่มีกิจกรรมสูงสุด พบว่า Yield 4.45 % ที่ระยะเวลาการย่อย 1 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีนทั้งหมด 28.9% การละลายน้ำได้ 100% ที่ pH 7 และ 10 และละลายน้ำได้น้อยที่ pH 4 (82.5%)

Pacheco-Aguilar, et al. (2008) รายงานว่าไฮโดรไลเซตจาก Pacific Whiting (*Merluccius productus*) จากเอนไซม์ Protease และ Alcalase โดยแปร % DH เท่ากับ 10%, 15% และ 20% ศึกษาคุณสมบัติโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ pH 4.0, 7.0 และ 10 โดยวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำ ความเป็นอิมัลชัน และความเป็นโฟม ซึ่งโปรตีนที่สามารถละลายได้ ได้เพิ่มคุณสมบัติของ %Yield เท่ากับ 48.6%, 58.6% และ 67.8% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดของ%DH ที่ 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ การผลิต Freeze-dried ไฮโดรไลเซต พบว่ามีคุณสมบัติการละลายได้ 100% คุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน Emulsifying Capacity, Emulsifying Activity Index และ Emulsifying Stability Index (EC, EAI และ ESI) ไม่มีผลต่อ %DH ทั้งหมดที่แสดงอยู่ โดยจะแสดงความจุของโฟมที่ต่ำมาก แต่ไม่มีผลต่อค่า pH โดยความคงตัวของโฟมจะมีค่าเท่ากัน หรือดีกว่า Bovine Serum Albumin เว้นแต่ที่ pH 4.0

Sakanaka and Tachibana (2006) รายงานว่า ไข่แดงโปรตีนไฮโดรไลเซต ที่ได้จากการย่อยด้วย เอนไซม์ย่อยโปรตีนจาก *Bacillus* sp. ช่วยในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของเบต้าแคโรทีน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ทำการฟอกสีเบต้าแคโรทีน ที่ 0.5% โปรตีนไฮโดรไลเซต ผลการศึกษา DPPH และ Hydroxyl Radical Scavenging Activity มีค่า 74.2% และ 91.7% ตามลำดับ

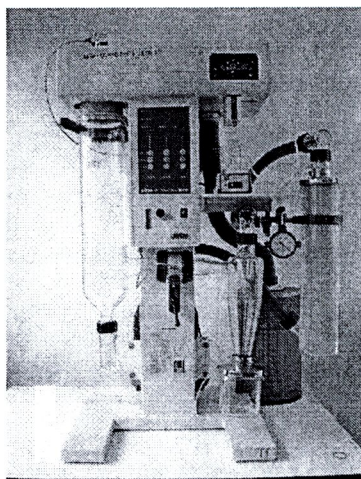
2.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

การทำแห้งแบบพ่นฝอย มักใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น นมผง ไข่ผง อาหารเด็ก เนื้อวัวสกัด โปรตีนสกัด และผลิตภัณฑ์ประเภทยา เช่น ยาผงสมุนไพร เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จะอยู่ในรูปที่พร้อมใช้งานได้เลย และสามารถเก็บรักษาได้ง่ายและเก็บได้เป็นเวลานาน (วันวิสาข์, 2548)

2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เป็นวิธีที่นิยมในการทำแห้งของสารละลาย อินทรีย์ สารอิมัลชัน และสารที่อยู่ในรูปของเหลว โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะอยู่ในรูปผงแห้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมี และอาหาร ซึ่งเป็นวิธีทำแห้งอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นวิธีลดขนาดและปริมาตรของของเหลวอีกด้วย กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้งในปัจจุบัน

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ดังแสดงในภาพที่ 2-8 โดยเริ่มต้นจากการป้อนอากาศผ่านกรอง และผ่านเครื่องให้ความร้อน จากนั้นอากาศร้อนจะผ่านเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) จากนั้นจะป้อนตัวอย่างของเหลวที่มีความเข้มข้นไม่สูงเกินไปเข้ามายังเครื่องผ่านหัวอะตอมไมเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่ทำให้เกิดละอองฝอย โดยพ่นมายังห้องอบแห้ง เมื่อละอองฝอยของตัวอย่างสัมผัสกับอากาศร้อนจึงทำให้เกิดการระเหยแห้งอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะผ่านมายังไซโคลนที่ทำหน้าที่ดูดผลิตภัณฑ์ให้ตกลงมายังขวดเก็บผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2-8 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (Master, 1991) คือ

2.3.2.1 การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of Feed)

กระบวนการนี้เป็นการทำให้ของเหลวที่ส่งเข้า (Feed) กระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้อะตอมไมเซอร์ (Atomizer) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่อง โดยมีใช้กันอยู่ 3 ชนิด คือ

ก) เซนตริฟิวกัล อะตอมไมเซอร์ (Centrifugal Atomizer) ของเหลวถูกส่งเข้าไปที่ตำแหน่งของกลางแกนหมุน ซึ่งมีการหมุนด้วยความเร็วรอบ 90-200 เมตร/วินาที และหยดของเหลวมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-60 ไมโครเมตร โดยเครื่องอะตอมไมเซอร์ (Atomizer) ประเภทนี้มีการพ่นที่สม่ำเสมอ เนื่องจากการพ่นมีตำแหน่งที่ตอนกลางของแกนหมุน

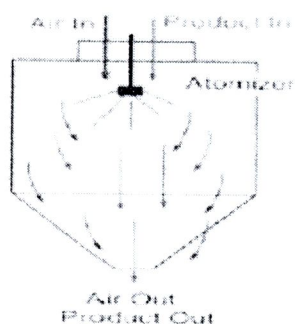
ข) เพรสเชอร์ นอสเชิล อะตอมไมเซอร์ (Pressure Nozzle Atomizer) ของเหลวถูกพ่นออกมาภายใต้สภาวะความดันระดับ 700-2,000 กิโลปาสกาลผ่านทางรูเล็ก ๆ ของหัวฉีด โดยหยดละอองมีอนุภาคประมาณ 180-250 ไมโครเมตร ลักษณะการพ่นเป็นรูปกรวย ทำให้สามารถให้สัมผัสกับอากาศร้อนภายใน Drying Chamber ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ค) ทูฟลูอิด นอสเชิล อะตอมไมเซอร์ (Two-fluid Nozzle Atomizer) ตัวอย่างของเหลวถูกอัดด้วยอากาศทำให้เกิดลักษณะการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ โดยใช้ความดันที่ระดับต่ำกว่าเครื่อง Pressure Nozzle แต่ขนาดของหยดละอองที่ได้จะมีช่วงที่กว้างกว่า

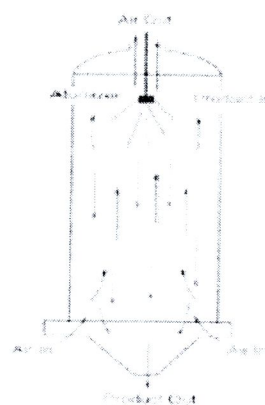
2.3.2.2 การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ ขั้นตอนนี้ละอองของเหลวที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน โดยเมื่อพิจารณาตำแหน่งของอะตอมไมเซอร์ (Atomizer) กับอากาศแห้งเขาจะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ ดังนี้

การไหลผ่านทางเดียวกัน (Co-current Flow) ทิศทางการฉีดของของเหลว (Feed) เป็นทิศทางเดียวกันกับการไหลของอากาศร้อน ละออง ของเหลว (Feed) จะสัมผัสและผสมเข้ากับอากาศร้อนขณะที่

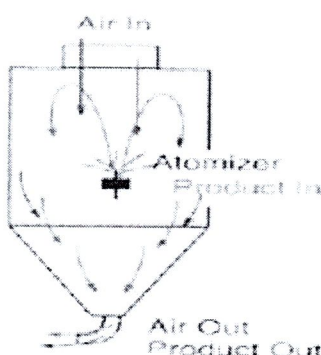
ยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำภายในอนุภาคมาก จากนั้นน้ำในผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ระเหยทันทีจนของแข็งกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) โดยทั่วไปแสดงในภาพที่ 2-9 (Master, 1991)



ภาพที่ 2-9 การไหลในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 2-10 การไหลสวนทางกัน



ภาพที่ 2-11 การไหลแบบผสมกัน (www.pharmainfo.net เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2550)

การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-current Flow) ทิศทางการฉีดของเหลว (Feed) เป็นทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยของเหลว (Feed) จะถูกฉีดลงมาจากด้านบนในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-10 (Master, 1991)

การไหลผ่านแบบผสม (Mixed Flow) การไหลของของเหลว (Feed) จะเคลื่อนที่ผ่านทั้งห้องที่มีการไหลของอากาศร้อนแบบผ่านทางเดียว (Co-current) และแบบผ่านสวนทางกัน (Counter-current) วิธีนี้เหมาะสำหรับทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบ และทนความร้อนได้สูงมาก ดังแสดงในภาพที่ 2-11 (Master, 1991)

2.3.2.3 การระเหยของละอองฝอย เมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการระเหยในชั้นไอน้ำอิมิดับริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวของละอองอยู่ที่

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้ง และจะแพร่เข้าสู่ชั้นผิวด้านในซึ่งอยู่ในสภาวะอิมตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยของน้ำ จนกระทั่งความชื้นอยู่ในระดับต่ำและไม่มีการแพร่เข้าสู่ผิวด้านในแล้ว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นที่มีความหนาขึ้นกับเวลา และมีอัตราการระเหยลดลง

2.3.2.4 ขั้นตอนการการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ระบบไซโคลอน (Cyclone) ซึ่งเกิดจากลมที่ส่งต่อมาจาก Chamber หมุนผ่าน Cyclone ทำให้เป็นลักษณะลมหมุน เป็นตัวเก็บผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่าง ส่วนอากาศที่ออกจากด้านบนของไซโคลอน (Cyclone) จะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้ายซึ่งอาจเป็น Wet Scrubber, Bag Filter หรือ Electrostatic Precipitator ขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มี และประสิทธิภาพการนำกลับมา

2.3.3 ระบบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งตามประเภทของอากาศที่ให้ความร้อนในการอบแห้ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ (Master, 1991) คือ

Open Cycle System ระบบนี้ อากาศที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นอากาศจากบรรยากาศซึ่งจะถูกนำเข้ามาในระบบโดยผ่านตัวกรอง จากนั้นหลังการเสร็จสิ้นกระบวนการ โดยที่ในอากาศไม่มีผลิตภัณฑ์หลงเหลืออยู่แล้วจึงถูกปล่อยกลับออกสู่บรรยากาศเดิม

Closed Cycle System ระบบนี้จะใช้ก๊าซ เช่น ไนโตรเจนในการหมุนเวียนอากาศภายในระบบ โดยที่ไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือเป็นระบบปิด ระบบนี้มักใช้กับการทำแห้งสารละลายที่ติดไฟได้ สารมีพิษและสารที่มีความไวต่อออกซิเจน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไปมักเป็นระบบเปิด และมีการไหลของอากาศร้อนเป็นแบบทางเดียวกัน (Co-current)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งของผลิตภัณฑ์

ในการทำแห้งด้วยระบบการพ่นฝอยนี้มีตัวแปรหลายตัวที่กำหนดประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามต้องการ (Master, 1991) ได้แก่

2.3.4.1 ความหนืด ถ้าอัตราการไหลของตัวอย่าง มีความหนืดสูง (อาจเกิดจากการลดลงของอุณหภูมิ) จะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ Atomizer เดียวกัน และหากมีความหนืดสูงมาก จะทำให้อัตราการไหลของตัวอย่างที่ฉีดออกมา มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ดังนั้น จึงไม่ควรใส่ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไป

2.3.4.2 อัตราการไหลของตัวอย่าง ถ้าอัตราการไหลของตัวอย่างสูงขึ้น จะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้นเนื่องจากตัวอย่างใช้เวลาที่สัมผัสกับอากาศร้อนน้อยเกินไป จึงจำเป็นต้องควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่างให้เหมาะสม

2.3.4.3 อัตราการไหลของอากาศ หากอัตราการไหลลดลงจะทำให้เวลาที่ละอองอยู่ในห้องอบแห้ง (Drying Chamber) นานขึ้น จึงทำให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น ส่งผลให้ความสามารถ

ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของตัวอย่างสูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิสูงเพียงพอ ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของห้องอบแห้ง (Drying Chamber) ได้

2.3.4.4 อุณหภูมิอากาศเข้า การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเข้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับการไหลของอากาศด้วย

2.3.5 จุดเด่นของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีหนึ่งที่ยิยมเลือกใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเหลวให้อยู่ในรูปผงแห้งในอุตสาหกรรม โดยมีข้อดีดังนี้

2.3.5.1 เนื่องจากของเหลวถูกพ่นฝอยให้เป็นละอองขนาดเล็กมากก่อนอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงมีความเร็วสูง และเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีเวลาสั้น ประมาณ 5-30 วินาที จึงสามารถอบแห้งได้แม้กระทั่งวัสดุเสื่อมเสียง่ายโดยความร้อน

2.3.5.2 สามารถทำผลิตภัณฑ์อบแห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่ใจกลางกลวง ดังนั้นจึงสามารถปรับขนาดอนุภาค และปรับความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density) ของชั้นอนุภาคให้อยู่ในช่วง 0.25-0.35 กรัม ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.5.3 สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ดและผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว ดังนั้น จึงสามารถประหยัดอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ต้องใช้ในการทำเม็ดหรือผง (เรียวโซ, 2529)

2.3.6 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

ในการอบแห้งจะต้องมีการให้พลังงาน ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธี (วัชรานนท์, 2548) คือ

2.3.6.1 การให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนจะทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นการพาความร้อน

2.3.6.2 การแผ่อาหารเป็นชั้นบาง ๆ บนผิวที่ให้ความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction) ทำให้อิทธิพลกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้อิทธิพลกระจายตัวได้ดีอาหารจึงแห้งในเวลาอันสั้น ๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งสามารถทำให้ลดความชื้นโดยมีอุณหภูมิของอาหารที่ไม่สูงได้

2.3.6.3 การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบโดยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

2.3.6.4 การปรับสภาพความดัน และอุณหภูมิให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (Triple Point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลง ทำให้มีการระเหิด

(Sublimation) น้ำเปลี่ยนจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่าการทำด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) (วัชรานนท์, 2548)

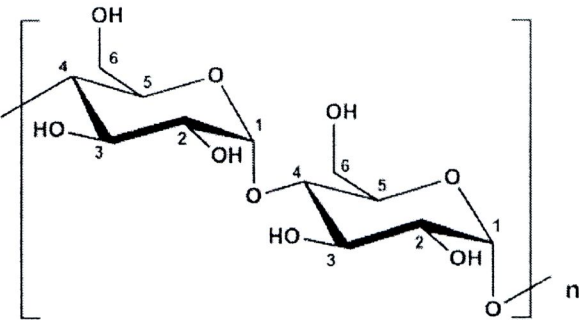
2.4 วัตถุเจือปนอาหารที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสายโพลิเมอร์ของแซคคาไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) หลายหน่วยต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 ดังแสดงในภาพที่ 2-12 มอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความหวานเล็กน้อย มอลโตเด็กซ์ตรินละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้มีความหนืดที่สม่ำเสมอ และเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ซึ่งมอลโตเด็กซ์ตรินทำหน้าที่เป็นตัวขนส่ง และช่วยกระจายสารเคมีบางอย่างที่อยู่ในอาหาร ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน โดยสารตัวพาทำหน้าที่ในการดักจับ และกักเก็บสารที่ระเหยง่าย นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังเป็นการเพิ่มของแข็งที่ละลายในน้ำกับอาหาร

การผสมมอลโตเด็กซ์ตรินก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ค่า DE ของมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ค่า DE ที่ 9-12 (อรอนงค์, 2544)

การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในผลิตภัณฑ์อาหารผง เนื่องจาก มอลโตเด็กซ์ตรินมีราคาถูก ละลายได้ดี ช่วยในการกระจายตัว และนิยมใช้ในการทำ Encapsulation ของสารให้กลิ่นรส เพราะช่วยลดการสูญเสียขององค์ประกอบของกลิ่นรส จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Macrae, et al., 1993; Kenyon, 1995)



ภาพที่ 2-12 โครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน (Wangsakan, 2004)

2.4.2 กรดอะซิติก

กรดอะซิติกเป็นกรดประเภทโมโนคาร์บอกซิลิก สูตรเคมี คือ CH₃COOH มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และอีเทอร์ได้ดี นอกจากนี้กรดอะซิติกยังเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำส้มสายชู ซึ่งกรดอะซิติกจัดเป็นสารเจือปนอาหารที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ Generally Recognized as Safe (GRAS) ดังนั้นกรดอะซิติกจึงอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้

อาหารที่มีส่วนผสมของอะซิดิก ได้แก่ มายองเนส น้ำสลัด ไข่กรอก ซอสมะเขือเทศ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งใช้เป็นตัวปรับความเป็นกรดแก่อาหาร รวมถึงการให้กลิ่นรสและยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้ (สิวาพร, 2546)

Adams and Hall (1988) พบว่ากรดอะซิดิกหรือกรดแลกติกที่ความเข้มข้น 16 มิลลิโมลาร์สามารถยับยั้งการเจริญของ *Salmonella enteritidis* และ *E. coli* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

Ahamad and Marth (1989) พบว่า กรดอะซิดิก กรดซิดิก และกรดแลกติก อย่างน้อย 0.1% สามารถยับยั้งการเจริญของ *Listeria monocytogenes* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อได้

Entani, et al. (1998) พบว่าการใช้กรดอะซิดิก 0.1% สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* O157 : H7, *S. enteritidis* *S. typhimurium* Vijayakumar ได้

2.5 ชา

ชาเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นพุ่ม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze ในวงศ์ Theaceae สูงประมาณ 9 เมตร มีอายุยืนถึง 100 ปี ชอบสภาพแวดล้อมที่มีความชุ่มชื้น อากาศค่อนข้างเย็น แดดน้อย (สุภนาถ, 2538)

2.5.1 ประเภทของชา

ชนิพรรณ และจินตนา (2542) ได้แบ่งประเภทของชาตามระยะเวลาในการหมักชา (Fermentation) ได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.5.1.1 ชาดำ (Black Tea) เป็นชาหมักเต็มรูป ได้จากการนำใบชาสดไปตากแดดจนแห้ง จากนั้นบดด้วยลูกกลิ้ง นำไปหมักจนใบชาเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ พอได้สีตามต้องการจะอบใบชาเพื่อหยุดกระบวนการหมัก และจากนั้นนำไปทำแห้งอีกครั้ง

2.5.1.2 ชาจีน (China Tea) เป็นชาที่ผ่านวิธีการหมักแบบกึ่งหมัก (Semi Fermented) ได้แก่ ชาอูหลง และชาเป่าจิ้ง

2.5.1.3 ชาเขียว (Green Tea) เป็นชาที่ไม่มีการหมักนิยมมากในประเทศญี่ปุ่น เป็นชาใบสดที่หลังเก็บเกี่ยวแล้วนำมาอบไอน้ำทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระบวนการหมัก จากนั้นนำมาบดด้วยลูกกลิ้ง แล้วอบแห้ง

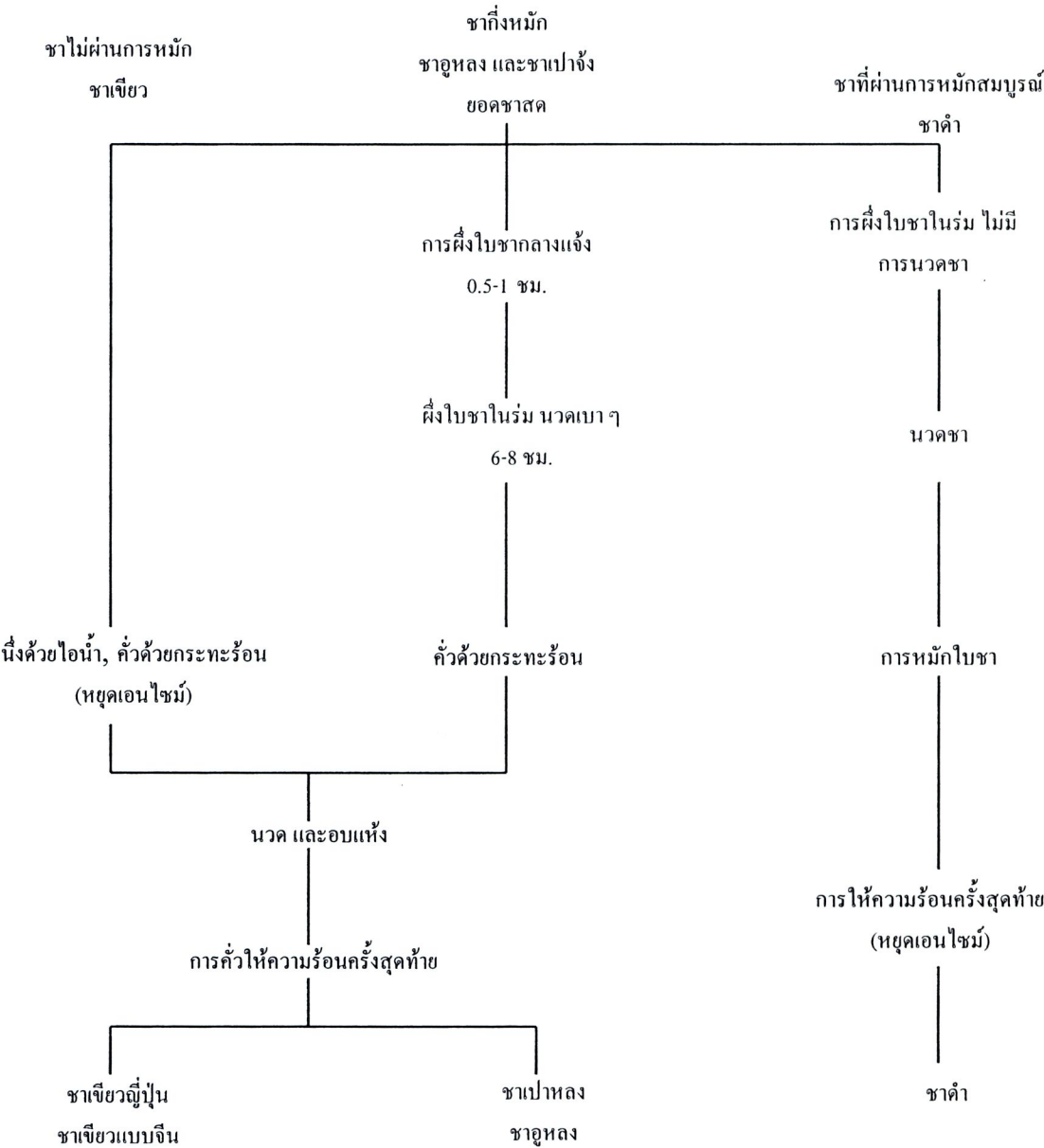
2.5.2 กรรมวิธีผลิตชา

กรรมวิธีผลิตชา แบ่งประเภทตามกระบวนการหมัก มี 3 ประเภท คือ ชาดำ และชาจีน ได้ชา 2 ชนิด คือ ชาอูหลง (Oolong Tea) และชาเป่าจิ้ง (Pouching Tea) และชาเขียว ได้ชา 2 ชนิด คือ ชาเขียวแบบญี่ปุ่น (Sen-cha) และชาเขียวแบบจีน (Chinese Green Tea) ดังแสดงในภาพที่ 2-13

2.5.3 สารประกอบในชาเขียว

สารที่พบมากในชาเขียวเป็นสารประเภทสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ โพลีฟีนอล (Polyphenol) คาเฟอีน (Caffeine) กรดอะมิโน (Amino Acid) และสารให้กลิ่น (Volatile Compound)

2.5.3.1 โพลีฟีนอล ในใบชาสดจะอยู่ในส่วน Cell Sap ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดรสฝาดและสีของน้ำชา สารโพลีฟีนอลส่วนใหญ่ ได้แก่ แทนนิน จำแนกได้ 4 กลุ่ม (สัทน์, 2544) คือ Catechins, Flavone Glycoside, Flavones และ Phenolic Acid โดยแทนนินทั้ง 4 กลุ่มนี้สามารถแตกตัวได้ด้วยน้ำ (Hydrolysable Tannins) เมื่อถูกความร้อนหรือกรดเจือจาง แทนนินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารคาเทชิน (Catechin) ซึ่งชาเขียวจะมีสารทั้ง 4 กลุ่ม ใกล้เคียงกับใบชาสด เนื่องจากชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักที่ทำให้เกิดการออกซิเดชัน



ภาพที่ 2-13 กรรมวิธีผลิต ชาเขียว ชาจีน และชาดำ (Takeo, 1992)

2.5.3.2 คาเฟอีน เป็นสารในกลุ่มไนโตรเจน ไม่มีสี มีรสขม ชาเขียวโดยทั่วไปมีคาเฟอีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 3% เป็นสารที่ส่งผลในการกระตุ้นประสาท ทำให้รสชาติของชาดีขึ้น (กฤษณา, 2543)

2.5.3.3 กรดอะมิโน ชาเขียวมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด ที่สูงที่สุด คือ Theanine มีปริมาณ 60-70% ของกรดอะมิโนที่พบทั้งหมด (Takeo, 1992)

2.5.3.4 สารให้กลิ่น กลิ่นในชาเขียวมีความใกล้เคียงกับใบชาสดมาก สามารถรักษากลิ่นได้ดี โดยชาเขียวมีสารเคมีให้กลิ่นที่น้อยกว่าชาจีนและชาดำ เนื่องจากไม่ผ่านกระบวนการหมักจากการทดสอบสารให้กลิ่นด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกการดูดความชื้น และการรวมตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์

Peleg and Mannheim (1977) ได้ศึกษากลไกการเกิดการรวมตัวเป็นก้อนของผงหอมหัวใหญ่ (Onion Power) พบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผงหอมหัวใหญ่เกิดการรวมตัวคือ ความชื้นจากสภาวะแวดล้อม โดยความชื้นทำให้ผิวของอนุภาคเปียก (Wet Surfaces of Particles) หลังจากนั้นจะเกิดการยุบตัว (Collapse) ของโครงสร้างเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่สามารถละลายน้ำ และจะเกิดการสร้าง Liquid Bridge ขึ้นระหว่างอนุภาคทำให้เกิดการรวมตัวเป็นก้อนขึ้นเรียกว่า Sticky หลังจากนั้นถ้าอนุภาคถูกทำให้แห้งอยู่สภาวะที่เรียกว่าเป็น Humidity Caking การป้องกันการเกิดกลไกการรวมตัวสามารถทำได้โดยการเติมสารป้องกันการรวมตัวของอนุภาค (Anticaking Agents) โดยสารเหล่านี้ทำหน้าที่จับความชื้นไว้ แต่ตัวสารเองเกิดการรวมตัวเป็นก้อน เมื่อสารเหล่านี้ไปเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคทำให้ไม่เกิดการสร้าง Liquid Bridge ขึ้น ดังนั้นการรวมตัวของอนุภาคก็ไม่เกิดขึ้น

Cal-Vidal and Carvolho (1985) ได้ศึกษาการรวมตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผลไม้ผงหลายชนิดซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาล พบว่าปัจจัยหลักที่สำคัญคือความชื้นจากอากาศ

Takakura, et al. (1993) ได้ทำการศึกษาผลของการทำแห้งของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ 20 ชนิด และเก็บในถุง Polyethylene ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่ากรดอะมิโน 5 ชนิด ได้แก่ Phenylalanine, Leucine, Tryptophan, Glutamic และ Aspartic มีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันการรวมตัว โดยในกรดอะมิโนทั้ง 5 มีหมู่ Hydrophobic Functional Groups อยู่ทำให้สูญเสียความสามารถในการจับตัวได้ง่าย

Kim, et al. (1992) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องปรุงผงในสภาวะที่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิ 40, 50 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 11, 32, 57, 65, 75 และ 95% ตามลำดับ โดยไม่มีวัสดุห่อหุ้มเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์และอากาศเข้าสู่สมดุล (Equilibrium) อย่างช้า ๆ ที่ระดับความชื้นต่ำกว่า 57% และความชื้นสัมพัทธ์

เข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็ว ที่ระดับความชื้นสูงกว่า 65% โดยปริมาณการดูดความชื้น (Hygroscopic) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสีทั้ง 2 ระดับ ของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง จะเพิ่มขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 57% แต่การรวมตัวเป็นก้อนในระหว่างการเก็บรักษาลดลง

Da Costa and Cal-Vidal (1988) ทำการศึกษาผลการรวมตัว (Caking) ของผลิตภัณฑ์กะทิ ผงอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยการเก็บกะทิผงไว้ในที่ความชื้นอากาศ 75% และ 96% อุณหภูมิ 5, 25 และ 45 องศาเซลเซียส รอจนถึงสภาวะสมดุล จากนั้นนำมาวัดอัตราการเกิดการรวมตัวของกะทิผง โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร เพื่อวัดการรวมตัวเป็นก้อนของกะทิผง พบว่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศสูงจะสามารถช่วยลดอัตราการเกิดการรวมตัวเป็นก้อนได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ขวัญตา (2546) และสายันต์ (2549) ทำการศึกษาการแปรรูปนมถั่วเหลืองผง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของนมถั่วเหลืองผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วในการพ่นฝอยที่ 19700, 21000 และ 22500 รอบต่อนาที พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้ง และความเร็วในการพ่นฝอยมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสภาวะที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และความเร็วในการพ่นฝอยที่ 19700 รอบต่อนาที ซึ่งนมถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งนี้มีสีเหลืองนวล มีค่า $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 90.25, -0.29 และ 9.69 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความชื้น ความหนาแน่น ปรากฏและขนาดอนุภาคเฉลี่ย พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 4.45 ± 0.08 , 0.54 ± 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร และ 22.54 ± 0.11 ไมครอน ตามลำดับ โดยลักษณะปรากฏของนมถั่วเหลืองที่ได้มีสีเหลืองนวล เมื่อนำไปคั้นรูปพบว่ามีสีขาวขุ่น โดยการเพิ่มอัตราการพ่นฝอยจะมีผลต่อขนาดอนุภาคในนมถั่วเหลืองผง ทำให้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นด้วย

ปรัชญา (2543) ศึกษาปัจจัยการแปรรูปต่อคุณภาพของน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่ากะทิผงมีปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันอิสระ และขนาดอนุภาคปรากฏ มีค่าอยู่ในช่วง 0.37-1.13 % w/w 66.31-76.94 %/% Total Fat และ 247-649 μm ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณวัตถุเจือปนอาหารต่ำสุดที่ยังสามารถอบแห้งกะทิให้เป็นผงได้อยู่ที่ระดับมอลโตเด็คซ์ตรินและโซเดียมเคซิเนต 3 : 1% โดยใช้ความเร็วรอบของ Homogenizer เท่ากับ 13500 รอบต่อนาที และอุณหภูมิป้อน 60 องศาเซลเซียส

ณัฐริพร (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเครื่องคั้นบ้วยผงสำเร็จรูปเป็นเวลา 2 เดือน พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.44 ถึง 0.61 ค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.35-0.45 และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบมีค่าสูงสุดที่ 13×10^2 โคโลนีต่อกรัม

สุทธรรมา (2547) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลสดผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดหัวฉีดพ่นฝอยแบบจานหมุน โดยศึกษาอุณหภูมิลมร้อนเข้า 3 ระดับ คือ



100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 3 ระดับ คือ 9.6, 17.4 และ 25.2 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารป้อน 3 ระดับ คือ 40, 45 และ 50%Brix คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลสดผงมาทำการศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 ในการใช้เป็นสารช่วยทำแห้ง (Drying Aid Agent) โดยศึกษาอัตราส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 ต่อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำตาลสด 3 อัตราส่วน คือ 30:70, 40:60, 50:50 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางจุลินทรีย์ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำตาลสดพบว่า น้ำตาลสดที่ได้จากต้นตาลโตนด (*Borassus flabellifer* L.) มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า และไขมัน ร้อยละ 84.17, 15.24, 0.35, 0.16 และ 0.08 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลสดผงแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 17.4 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารป้อน 45%Brix โดยอัตราส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำตาลสด คือ 40:60 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสดีที่สุด ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และเยื่อใย ร้อยละ 95.45, 1.89, 1.14, 0.87, 0.36 และ 0.29 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง และผลิตภัณฑ์ผงมีจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) รวมทั้งยีสต์และรา (PDA Count) มีปริมาณน้อยมาก และจากการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำตาลสดที่นำไปใช้ในการทำขนม พบว่าได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมมากกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำตาลปึก โดยผลิตภัณฑ์น้ำตาลสดผงมีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบ

อรอนงค์ (2544) ทำการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำตาลโตนดโดยงานวิจัยได้ศึกษาหาอุณหภูมิในการอบแห้ง เวลาในการอบแห้ง อัตราการป้อน และปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน ที่ความเข้มข้น 10%, 20% และ 30% พบว่า การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 280 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เวลาอบแห้ง 1.93 วินาที และความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน 10% จะได้น้ำตาลสดที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ความชื้นต่ำ เมื่อนำผงน้ำตาลสดอบแห้งมาทำการละลายในน้ำที่อัตราส่วน 1 : 3 และทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า กลิ่น รสชาติ และการยอมรับไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีคะแนนอยู่ในช่วง 3.2-3.6 การศึกษาอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนพบว่า กลิ่น รสชาติ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

วิลาวัลย์ (2547) ศึกษาการผลิตมะนาวผง พบว่าในการวิจัยใช้อัตราส่วนของน้ำมะนาวต่อมอลโตเด็กซ์ตริน 100 : 30 โดยน้ำหนัก และใช้อุณหภูมิเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอย 160 องศาเซลเซียส โดยการทำแห้ง 392.6 กิโลกรัม ทำการผลิต 14.25 ชั่วโมง ได้มะนาวผง

106.3 กิโลกรัม คิดเป็น 27.08% เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน พบว่าความชื้นอยู่ระหว่าง 5-6% ค่าการละลายลดลงตามอายุการเก็บรักษา และไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์

วรรณิ (2545) ศึกษากรรมวิธีการผลิตมะนาวผง โดยสารตัวพาที่เหมาะสมต่อการการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ มอลโตเด็กซ์ตริน กัมอารบิก และน้ำเชื่อมกลูโคส พบว่าการใช้น้ำตาลกลูโคสต่อ น้ำมะนาว DE 26 100 : 30 ให้ผลิตภัณฑ์มะนาวผงที่ดี แต่ต้องมีการเติมกลิ่นน้ำมันหอมจากเปลือกมะนาว โดยการเติมกลิ่น 0.3% ดีที่สุด ผลผลิตมะนาวผงคิดเป็น 20.6% และอายุการเก็บรักษามะนาวผงที่อุณหภูมิห้องเก็บได้มากกว่า 6 เดือน การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่ากลุ่มตัวอย่าง 72% คิดว่ามะนาวผงสามารถทดแทนมะนาวสดได้

พรรณจิรา และคณะ (2545) ศึกษาการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผง โดยใช้ส่วนผสมระหว่าง น้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะนาว เท่ากับ 49:34:17 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 16 %birx จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ตริน 16% และทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้าเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ดีที่สุด

วรรณวิบูลย์ และคณะ (2541) ศึกษาการผลิตซูริมิเป็นไฮโดรไลเซตผงแห้ง โดยทำการแช่ปลาในด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 8.5 นาน 90 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าการนำมาให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส ในหม้อความดัน จากนั้นย่อยด้วยอัลคาเลส 0.075 มิลลิตรต่อปลา 100 กรัม ย่อย 150 นาที ที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส 15 นาที แยกของเหลวใสด้วยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วสูง จากนั้นทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้า 160 องศาเซลเซียส โดยผงที่ได้มีความชื้น 3% และมีโปรตีน 81%

สโรบล (2549) ศึกษาการผลิตสับปะรดผง พบว่าการใช้อุณหภูมิเข้าที่ 130 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 43% ให้ผลผลิตที่สูงที่สุด ปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดที่ 2.04% โดยใช้ อุณหภูมิเข้า 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 43% พบว่า Bulk Density และ Packed Density สูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิเข้า 130 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 37%

กัลยาณี (2540) ศึกษาการผลิตกล้วยหอมผง พบว่า เมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ตริน หรือนมผงขาดมันเนยเป็นตัวพาพบว่า เมื่อสัดส่วนของกล้วยตากเพิ่มขึ้น กล้วยหอมผงมีสีเข้มขึ้น และมีความหนืด หลังการคั้นตัวของกล้วยสูง โดยการใช้นมผงขาดมันเนยเป็นสารตัวพา มีปริมาณความชื้น ความหนืด และสีเข้มกว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวพา

ฐิติทธิ์ (2549) ศึกษาการผลิตผงบุก พบว่าการใช้อุณหภูมิเข้าที่ 140 องศาเซลเซียส ผงบุกที่ได้มีสี ความหนืดเมื่อละลายน้ำ ขนาดอนุภาคและปริมาณกลูโคแมนแนนที่ดีที่สุด

อรพิน และประเสริฐ (2535) ได้ผลิตมอลโตเด็กซ์ตรินจากแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการทำแห้งแบบผงด้วยเครื่อง Drum Dryer และ Spray Dryer โดยปริมาณความชื้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ผลิตด้วยเครื่อง Spray Dryer มีความชื้นต่ำกว่าผลิตด้วยเครื่อง Drum Dryer

Kurozawa, et al. (2009) ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตจากเนื้อไก่ โดยใช้อุณหภูมิเข้า 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิออกที่ 91-102 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนตัวอย่าง และการไหลเวียนอากาศที่ 0.2 kg/h และ 0.6 m³/h ตามลำดับ

Abdul-Hamid, et al. (2002) รายงานว่า คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากปลาที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส/76 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเข้า/อุณหภูมิออก) และ 180 องศาเซลเซียส/90 องศาเซลเซียส มีโปรตีน 37.7-49.6%, ไขมัน 2.6-2.8%, ความชื้น 1.6-4% และ เถ้า 8.6-8.7% ซึ่งการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงทำให้มีการลดลงของกรดอะมิโนทั้งหมด แต่คุณภาพโปรตีนยังมีค่าสูง คือ 88.4 และ 92% ตามลำดับ

Fuchs, et al. (2006) ศึกษาการเอนแคปซูลชันของไขมันในแป้งโดยใช้ Spray Drying และ Fluidized Bed Agglomeration พบว่ามีอัตราการป้อนตัวอย่าง (24-68 ml/min) โดยใช้อุณหภูมิเข้า 200 หรือ 220 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออกอยู่ระหว่าง 100-130 องศาเซลเซียส โดยอนุภาคจาก Spray Dryer มีขนาดเล็ก 30 μ m ส่วน Fluidized Bed มีขนาด 200 μ m และในอนุภาคทั้ง 2 ประกอบด้วย 5% ไขมันที่ได้จาก (MD/AG) ที่มีพื้นผิวอนุภาคเล็กกว่า 0.5%

2.8 เยลลี่

เยลลี่ คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำผลไม้ที่ได้มาจากการคั้น หรือการสกัดจากผลไม้สด หรือน้ำผลไม้ที่ได้จากการทำให้เข้มข้น ผสมกับสารให้ความหวาน และทำให้มีความเหนียวที่พอเหมาะมีลักษณะเป็นเจลโปร่งใส (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2521) และยังรวมถึงเยลลี่ที่มีลักษณะแข็ง ซึ่งเยลลี่ที่ดีควรมีลักษณะที่ใส อ่อนนุ่มแต่ไม่ถึงกับเหนียวจนหนืด และไม่เหลว มีความหยุ่นตัว (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2531)

2.8.1 ประเภทของเยลลี่

สุวรรณ (2543) ได้แบ่งผลิตภัณฑ์เยลลี่สำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.8.1.1 เยลลี่ที่เป็นขนมหวาน (Confectionery Jelly)

เยลลี่ประเภทนี้มีรสชาติดหวานเพียงอย่างเดียว โดยใช้ส่วนประกอบของเจลาตินเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล และกลูโคสไซรัปลงไปด้วย

2.8.1.2 เยลลี่ที่เป็นอาหารว่าง (Dessert Jelly)

เยลลี่ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะใช้การจีแนเป็นสารทำให้เกิดเจล มีการ เติมน้ำตาล กรดซิตริก สารปรุงแต่งสีและกลิ่นรส โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่นี้จะมีรสชาติดหวานและเปรี้ยว

2.8.2 ส่วนประกอบของเยลลี่

ศรีสุวรรณ และคณะ (2531) ได้แบ่งส่วนประกอบของเยลลี่ คือ สารที่ทำให้เกิดเจล น้ำตาล สารเพิ่มความข้นหนืด สารแต่งกลิ่นรส สารแต่งสีอื่น ๆ

2.8.2.1 สารที่ทำให้เกิดเจล เป็นสารที่ทำให้เยลลี่เกิดลักษณะที่แข็งตัวมีความยืดหยุ่น เนื้อสัมผัสเหนียว โดยในทางอุตสาหกรรมนิยมใช้สารจำพวก กัม (Gums) มีหลายชนิด ได้แก่ คาราจีแนน เจลาติน วุ้น และเพคติน

2.8.2.2 น้ำตาล เป็นสารให้ความหวานในเยลลี่ ซึ่งสารให้ความหวานมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลอินเวิร์ต อินเวิร์ตไซรัป เดกซ์โตรส ฟรุกโตสไซรัป กลูโคสไซรัป และ กลูโคสไซรัปชนิดแห้ง ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตได้ (มอก. 236-2521)

2.8.2.3 สารเพิ่มความเป็นกรด-ด่าง ใช้เป็นสารช่วยในการปรับ pH ให้กับเยลลี่ โดยกรด-ด่าง ที่ใช้ในการผลิตเยลลี่ ได้แก่ กรดซิตริก (Citric Acid) กรดมาลิก (Malic Acid) กรดแลกติก (Lactic Acid) กรดฟูมาริก (Fumalic Acid) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (Potassium Bicarbonate) (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2521)

2.8.2.4 สารปรุงแต่ง ในการผลิตจำเป็นต้องมีการเติมแต่งไม่ว่า สี กลิ่น รสชาติ เพื่อให้ผู้บริโภคชื่นชอบ และนำรับประทานมากขึ้น โดยน้ำผลไม้ที่ใช้เป็นส่วนผสมเยลลี่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2521)

2.8.3 คาราจีแนน (Carrageenan)

คาราจีแนน เป็นสารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟต (Polysaccharidesulfate) โดยได้จากการสกัด สาหร่ายสีแดง จำแนกคาราจีแนนออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แคปปา-คาราจีแนน ไอโอต้า-คาราจีแนน และแลมด้า-คาราจีแนน (Thomas, 1997)

แคปปา-คาราจีแนน สามารถตกตะกอนด้วยโพแทสเซียม และตกตะกอนแยกออกมาจาก คาราจีแนนอื่น ๆ ได้โดยใช้สารโพแทสเซียมคลอไรด์ ในแลมด้า-คาราจีแนนจะไม่สามารถตกตะกอน เมื่อใช้โพแทสเซียม ส่วนไอโอต้า-คาราจีแนนสามารถตกตะกอนเมื่อใช้แคลเซียม

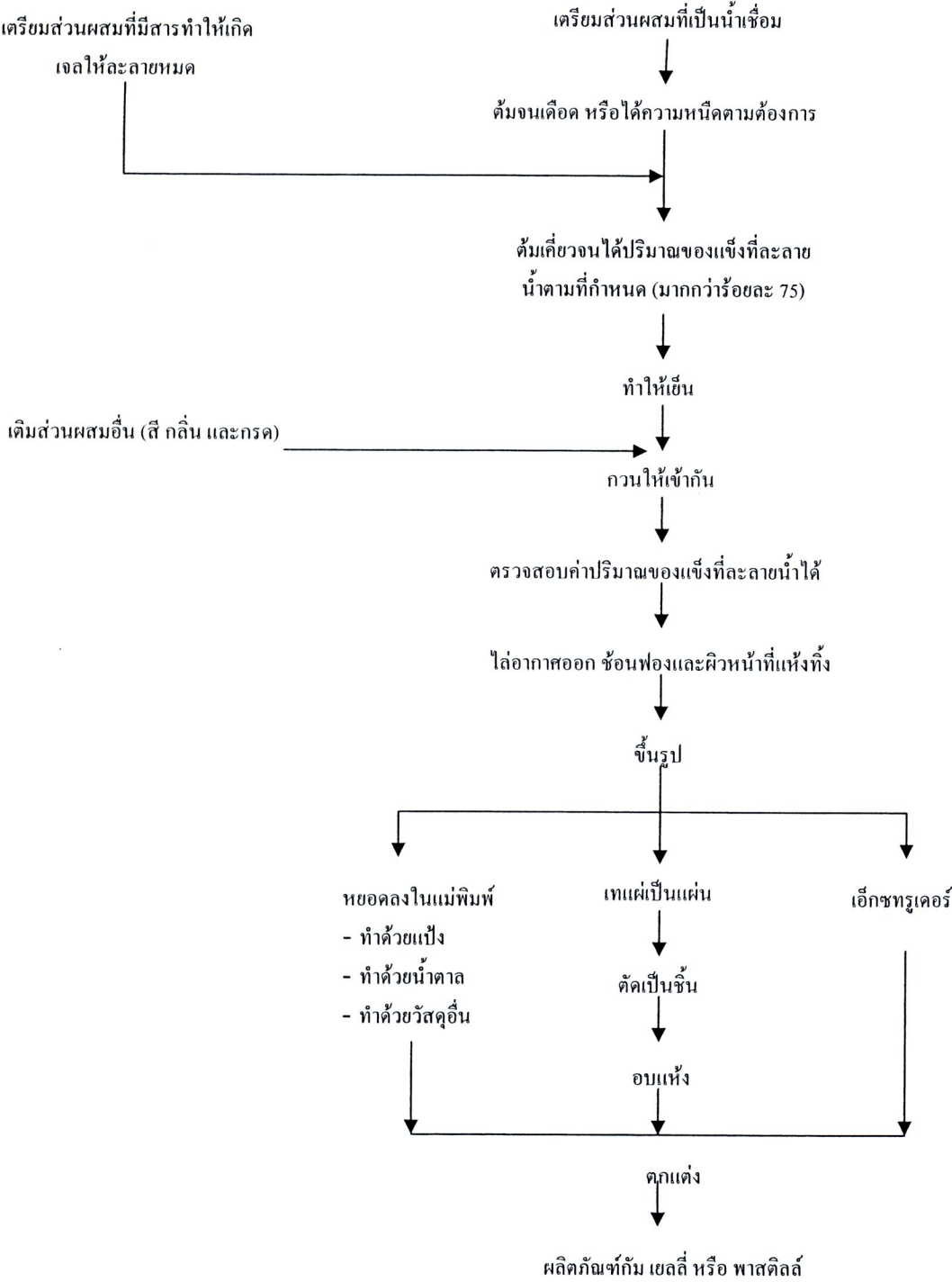
คาราจีแนนทุกชนิดสามารถละลายในน้ำได้ โดยไอโอต้า-คาราจีแนน และแคปปา-คาราจีแนน สามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์ แต่แลมด้า-คาราจีแนนละลายในน้ำเย็นไม่ดี คาราจีแนน สามารถละลายได้ดี และมีความคงตัวที่ความเป็นด่าง แต่ถ้าสภาวะเป็นกรด ความคงตัวจะลดลง โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และในสภาวะที่มีน้ำตาลเข้มข้นสูง แคปปา และแลมด้า-คาราจีแนน ยังสามารถละลายได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอ ส่วนไอโอต้า-คาราจีแนนจะละลายได้น้อยกว่า คาราจีแนนอีก 2 ชนิด (นิธิยา, 2545)

คาราจีแนนเป็นสารให้ความหนืด เมื่อทำให้เย็นความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล การเปลี่ยนสถานะจากสารละลายไปเป็นเจลขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของไอออนบวก โดยความเข้มข้นปกติของคาราจีแนนที่ใช้ในเยลลี่ คือ 1.5% โดยน้ำหนัก (นิธิยา, 2545)

คาราจีแนนแต่ละชนิดมีสมบัติในการเกิดเจลที่ต่างกัน โดยแลมด้า-คาราจีแนนไม่มีคุณสมบัติ ในการเกิดเจล แคปปาและไอโอต้า-คาราจีแนน สามารถเกิดเจลได้โดยจะเกิดเจลแบบผันกลับได้ด้วย ความร้อน กลไกการเกิดแบบ Double-helix Carrageenan Polymers โดยเมื่ออยู่ในรูปสารละลาย ลักษณะของโพลิเมอร์จะเรียงตัวกันเป็นโมเลกุลสายยาว เมื่อเย็นตัวจะเกิดโครงสร้างแบบ 3 มิติ และ

แต่ละสายของโพลีเมอร์จะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ และเมื่อเย็นตัวลงอีกจะมารวมตัวกันมากขึ้น และเกิดการแข็งตัวของเจลขึ้น

2.8.4 การผลิตเฮลลี่



ภาพที่ 2-14 กระบวนการผลิตกัม เฮลลี่ และพาสติลล์ (สุวรรณ, 2543)

2.8.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการแข็งตัวของเจล

ปัจจัยที่มีอิทธิพลช่วยให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะกันง่ายขึ้น และช่วยเร่งการแข็งตัวของเจล (นิธิยา, 2545) ได้แก่

2.8.5.1 ธรรมชาติของไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์เกิดเจลง่ายกว่าไฮโดรโฟบิกคอลลอยด์

2.8.5.2 ความเข้มข้นของอนุภาคคอลลอยด์ โดยถ้าความเข้มข้นของคอลลอยด์สูงจะเกิดเจลได้ง่ายกว่า แต่ต้องสัมพันธ์กับ อุณหภูมิ และเวลา

2.8.5.3 การลดอุณหภูมิของสารละลาย ส่งผลให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์เคลื่อนที่ได้ช้าลง โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกาะตัวกันได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เจลแข็งตัวเร็วขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เจลกลายเป็นโซล

2.8.5.4 ปัจจัยอื่น ๆ เช่น กรด ความเข้มข้นของเกลือ มีผลต่อการแข็งตัวของเจล เนื่องจากมีผลต่อ Degree of Hydration ของเจล

2.8.5.5 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ทำให้เจลเป็นของเหลวมักจะอยู่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลแข็งตัว ซึ่งช่วงห่างของอุณหภูมิที่ต่างกัน เรียกว่า ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

2.8.5.6 การกวน มีผลต่อการแข็งตัวของเจล เนื่องจากการกวนส่งผลให้เกิดการทำลายการเกาะตัวกันของโมเลกุล ถ้าหากทำการกวนหลังจากที่เจลแข็งตัวจะทำให้เจลแตก และมีของเหลวไหลออกมา

2.8.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเยลลี่

ลาวัลย์ (2539) ศึกษาการผลิตเยลลี่ผลไม้เสริมอาหาร โดยใช้ผงบุกที่ 3.5% ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีสเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิน้ำเดือดนาน 16 นาที โดยเจลมีสีส้ม ชื่นสับปะรดกระจายทั่วไป เนื้อสัมผัสนุ่มเหนียว ความหวาน 36% Brix ปริมาณกรด 0.41% ทดสอบความชอบ พบว่า ความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก และอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 30, 20 และ 5 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาการยอมรับเนื้อสัมผัสสามารถเก็บได้นาน 4, 12 และ 62 วัน ตามลำดับ

วิภาพร (2547) ศึกษาการผลิตเยลลี่มะม่วง โดยทำการเปลี่ยนแปลง 3 ปัจจัย คือ ปริมาณการเจี๊ยนที่ 0.3-0.9% ปริมาณผงบุก 0.3-0.9% และวุ้นมะพร้าว 0-12.2% พบว่า ปริมาณการเจี๊ยน แป้งบุก และวุ้นมะพร้าว มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพความแข็ง ความยากง่ายในการเคี้ยว และมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสูตรเยลลี่มะม่วงที่ได้รับความนิยมสูงสุดประกอบด้วย การเจี๊ยน, ผงบุก และวุ้นมะพร้าว ที่ 0.55, 0.4 และ 13 ตามลำดับ โดยสูตรส่วนผสมทั้งหมดของเยลลี่มะม่วง โดยมีสูตรการผลิตดังนี้ การเจี๊ยน, ผงบุก, วุ้นมะพร้าว, น้ำ, น้ำตาล, โปตัสเซียมซิเตรท และกรดซิตริก ที่อัตราส่วน 30.0, 0.55, 0.4, 13.0, 35.25, 20.0, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ มีปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และผู้บริโภคร 90% ให้คะแนนความชอบอยู่ที่ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

พจน์ (2546) ศึกษาการพัฒนาเยลลี่เจลาตินผสมชาเขียว จากการพัฒนาสูตรของเยลลี่เจลาติน จะประกอบด้วย เจลาติน 6.84% กลูโคสไซรัป 46.58% น้ำตาล 19.79% น้ำชาเขียว 25.90% ผงชาเขียว 0.38% เมนทอล 0.01% และกลีเซอรอล 0.5% มีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 28.10, 0.70 และ 8.16 ค่าความแข็ง 17.88 N ความสามารถในการเกาะตัวรวมกัน 0.78 ค่าความยืดหยุ่น 1.65 mm ค่าความเหนียว 18.38 N และค่า a_w 0.714 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บได้นานกว่า 8 สัปดาห์ จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคพบว่ามีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

สุทธิวัฒน์ และคณะ (2554) ศึกษาการพัฒนาเยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก โดยใช้ผัก 4 ชนิดคือ มะเขือเทศ แครอท ฟักทอง และกะหล่ำปลีม่วง โดยแปรปริมาณคาราจีแนน 0.8 และ 1.0% และใช้ความเข้มข้นน้ำมะเขือเทศ แครอท และฟักทอง ที่ 15, 20 และ 25% (w/w) และน้ำกะหล่ำปลีม่วง เป็น 5, 10 และ 15% (w/w) ผลการศึกษาพบว่าเยลลี่ลักษณะที่ดีที่สุดและได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบนั้นมีส่วนประกอบของคาราจีแนน 1% ใช้น้ำมะเขือเทศ น้ำแครอท และ น้ำฟักทอง 25% แต่ใช้น้ำกะหล่ำปลีม่วงได้เพียง 5% เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเจลกับผลิตภัณฑ์คาราจีแนนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดพบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่จากน้ำผักทั้ง 4 ชนิดจะมีค่าความแข็งของเจล (Hardness) น้อยกว่า แต่มีค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และ แรงที่ยึดเกาะกันทำให้วัตถุคงรูปได้ (Cohesiveness) ใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

2.9 ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

ผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นมีการผลิตเป็นจำนวนมาก และใช้ประกอบอาหารเป็นอาหารหลัก เช่นเดียวกับกับ ข้าว ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นมีอยู่ในท้องตลาดหลายชนิด เช่น ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก เส้นหมี่ บะหมี่ และขนมจีน หรือที่เป็นอาหารหวาน เช่น ลอดช่อง เป็นต้น (อรอนงค์, 2535)

2.9.1 แบ่งประเภทตามชนิดแป้ง หรือวัตถุดิบ

พจน์ (2540) ได้แบ่งผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นตามชนิดแป้งที่นำไปแปรรูป และมีการเรียกชื่อต่างกัน ดังนี้

2.9.1.1 เส้นจากแป้งสาลี ได้แก่ บะหมี่ หมี่ซั่ว เส้นราเมน อุด้ง เส้นโซบะ และเส้นพาสต้า เป็นต้น

2.9.1.2 เส้นจากแป้งข้าวเจ้า ทั่วไปเรียก เส้นก๋วยเตี๋ยว ได้แก่ เส้นใหญ่ เส้นเล็ก เส้นหมี่ เป็นต้น

2.9.1.3 เส้นจากแป้งอื่น ๆ ได้แก่ วัณเส้น กว๊ยเตี่ยวเซียงไฮ้จากแป้งถั่วเขียว และเส้นชีราตาจากมันเทศ เป็นต้น

2.9.2 แบ่งประเภทตามลักษณะของเส้น

ณรงค์ (2538) และ วิภา (2541) ได้จำแนกผลิตภัณฑ์ประเภทเส้น ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.9.2.1 กว๊ยเตี่ยวสด เป็นเส้นที่ได้จากการนำมาตัดโดยไม่ผ่านกระบวนการทำแห้ง มีขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร หรือเส้นใหญ่ มีขนาด 1.5-2.5 เซนติเมตร มีปริมาณความชื้น 62-64% อายุการเก็บรักษา 1-2 วัน

2.9.2.2 กว๊ยเตี่ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง เป็นเส้นที่ผ่านการผึ่งลม เพื่อลดความชื้นลง โดยมีปริมาณความชื้น 37% อายุการเก็บรักษา 1-2 วัน

2.9.2.3 กว๊ยเตี่ยวเส้นเล็กแห้ง เป็นเส้นที่มีการตัด และผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 13% สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม

2.9.2.4 แผ่นก๊วยจั๊ป เป็นเส้นที่นำไปนึ่งให้สุกเพียงครึ่งหนึ่งของความหนา เส้นมีขนาด 3.0-3.5 เซนติเมตร มักมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยม มีปริมาณความชื้นประมาณ 12% เมื่อนำมาต้มให้สุก จะเกิดการม้วนตัวเป็นหลอด

2.10 บะหมี่

บะหมี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์เส้นที่ทำจากแป้งสาลีอย่างเดียว หรือมีการผสมแป้งชนิดอื่น จากนั้นผ่านกระบวนการทำแห้ง และสุกที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นาน รวมถึงสามารถรักษาคุณภาพ กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ได้ (อรอนงค์, 2532)

บะหมี่เป็นอาหารหลักของชาวเอเชียมาช้านาน เริ่มตั้งแต่ 500 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งจากจีนริเริ่มการทำบะหมี่จีนเป็นอาหารที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายไปยังประเทศต่าง ๆ ในเอเชียโดยเฉพาะญี่ปุ่น ได้ดัดแปลงส่วนผสมและการผลิตจนกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่นในปัจจุบัน (อรอนงค์, 2540)

2.10.1 ประเภทของบะหมี่

Kruger, et al. (1996) ได้จำแนกบะหมี่จากขั้นตอนในการขึ้นรูป โดยมีรายละเอียดชนิดบะหมี่ดังนี้

2.10.1.1 บะหมี่จีน (Chinese Noodle) เป็นเส้นที่ทำจากแป้งสาลี เกลือ น้ำ และสารละลายด่าง หรือที่เรียกว่าคานซูย (Kansui) จากนั้นผสมวัตถุดิบต่าง ๆ ให้เข้ากัน พักให้เกิดโดยตัดเป็นเส้นโดยมีความหนาแตกต่างกันไป และสามารถนำไปผ่านกระบวนการอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความหลากหลาย บะหมี่ชนิดนี้มีลักษณะเด่น คือ มี pH ในช่วง 9-11 มีสีเหลือง เนื้อสัมผัสแน่นเหนียว ยืดหยุ่น และผิวสัมผัสเรียบเนียน

2.10.1.2 บะหมี่สด หรือบะหมี่ไข่ (Wonton Noodle) บะหมี่ประเภทนี้ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สุก มีปริมาณความชื้น 30-35% อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิในตู้เย็นประมาณ 3 วัน หากมากกว่านี้จะเกิดราและสีคล้ำขึ้น บะหมี่ชนิดนี้ต้องมีสีเหลือง การผลิตบะหมี่ไข่ต้องมีการพักโดก่อนการขึ้นรูป

2.10.1.3 บะหมี่เปียก หรือบะหมี่ฮอกเกี้ยน (Hokkien Noodle) บะหมี่ประเภทนี้มีการทำให้สุกก่อนบางส่วน โดยกระบวนการลวก ดังนั้นจึงมีปริมาณความชื้นสูงมาก ประมาณ 50% เมื่อผ่านการลวกแล้วจะทำการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นติดกัน หรืออาจใช้ลมเย็นเป่าแทน ในขณะที่ทำให้เย็นอาจมีการพ่นน้ำมันร่วมด้วย ซึ่งอายุการเก็บรักษาบะหมี่ประเภทนี้อายุค่อนข้างสั้น

2.10.1.4 บะหมี่แห้ง (Dried Noodle) ผลิตโดยนำบะหมี่สดมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดอย่างช้า ๆ หรือนำเข้าตู้อบ โดยควบคุมความร้อนให้ค่อยๆ สูงขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้เส้นบะหมี่ค่อย ๆ แห้งลง จากปริมาณความชื้น 35% ให้ลดลงเหลือ 8-10% บะหมี่ประเภทนี้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น มีลักษณะสีขาวขุ่น

2.10.1.5 บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Steam and Dry Noodle) บะหมี่ประเภทนี้ปรับปรุงจากบะหมี่สด โดยนำมาผ่านไอน้ำให้สุกก่อน และนำมาจับตัวรวมกันให้เป็นก้อน มีขนาดที่เหมาะสม จากนั้นทำให้แห้งโดยการอบในตู้ความควบคุมอุณหภูมิ โดยมีปริมาณความชื้นที่ 10-13% การเก็บรักษาได้นานเป็นปี เมื่อต้องการนำมาบริโภคจึงนำมาต้มต้มให้สุก

2.10.1.6 บะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant Fried Noodle) เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเก็บรักษาได้นาน และง่ายต่อการบริโภค เพียงลวก หรือชงในน้ำร้อน 3-5 นาที ใช้เวลาทำให้สุกสั้นกว่าบะหมี่แห้งสำเร็จรูป ผลิตโดยนำบะหมี่สดมาอบไอน้ำร้อน จับเส้นให้มีขนาดที่เหมาะสม จากนั้นนำไปทอดในน้ำมันให้สุก ทิ้งไว้ให้เย็น มีปริมาณความชื้น 5-8% จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่นาน เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะผู้บริโภคแถบเอเชีย

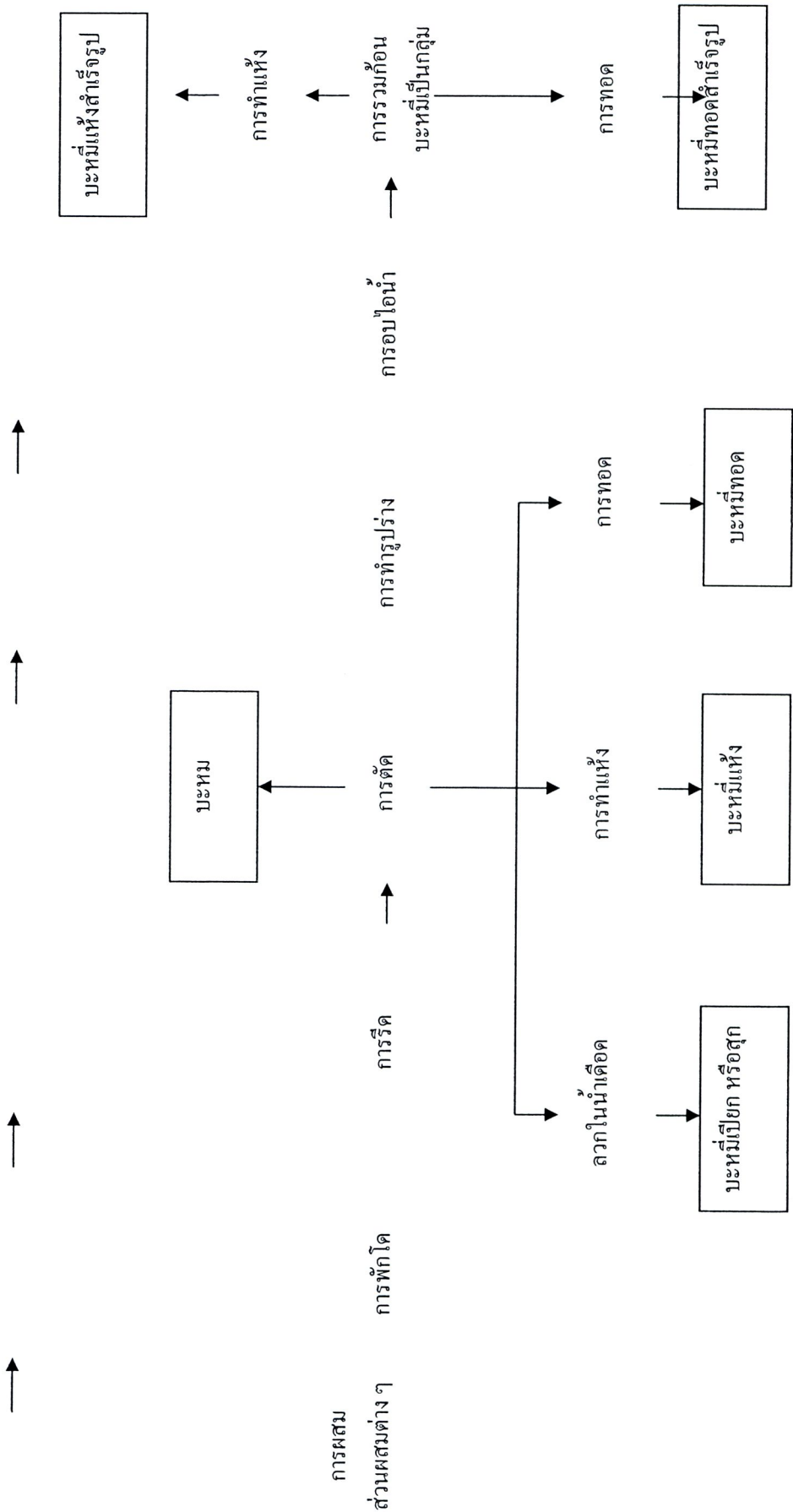
2.10.2 กรรมวิธีผลิตบะหมี่

สุภารัตน์ (2547) Kruger (1996) และชวลีกร (2549) ได้อธิบายการผลิตบะหมี่ตามแบบเอเชีย มีขั้นตอนการผลิต 3 ขั้นตอน และแสดงประเภทของบะหมี่ ดังแสดงในภาพที่ 2-15 ดังนี้

2.10.2.1 การผสม (Mixing) นำส่วนผสมได้แก่ แป้งสาลี น้ำ เกลือ และด่าง ผสมคลุกเคล้ากัน โดยใช้เวลาผสม 5-10 นาที โดยที่อุณหภูมิหลังผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์ในการผสมเพื่อเป็นการกระจายน้ำ และองค์ประกอบให้เข้ากัน จนเกิดลักษณะโดขึ้น จากนั้นพักโดอย่างน้อย 10-30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด

2.10.2.2 การรีดเป็นแผ่นบาง (Sheeting) เป็นการขึ้นรูปก้อนโดเพื่อเป็นการปรับความหนา ความชื้น เพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างกลูเตน และนำไปรีดผ่านเครื่องรีด

2.10.2.3 การตัดเส้น (Cutting) การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือแบน ทำให้ได้ขนาดตามต้องการ



ภาพที่ 2-15 กรรมวิธีการผลิตบะหมี่ตามแบบชาวเอเชีย (Oh, et al., 1983)

2.10.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบะหมี่

2.12.3.1 แป้งสาลี แป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักของบะหมี่ มีปริมาณ 90-95% ของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นบะหมี่จึงมีลักษณะทางเคมีและกายภาพมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในแป้ง ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน เอนไซม์ และลี โดยสตาร์ชเป็นองค์ประกอบในแป้งมากถึง 67% โดยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับโปรตีนในรูปกลูเตน (Baik and Lee, 2003) ให้ลักษณะความยืดหยุ่น และเมื่อนำแป้งมาผสมกับน้ำจนกลายเป็นโด สามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ เมื่อสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบของบะหมี่ได้รับความร้อนโดยการนำไปต้มให้สุก บะหมี่สามารถยืดตัวได้ดี ลักษณะเส้นเหนียว (อรอนงค์, 2540) โปรตีนในแป้งสาลีจึงมีส่วนสำคัญในการยืดตัว และความเหนียว ซึ่งบะหมี่แต่ละชนิดมีองค์ประกอบของโปรตีนที่อยู่ในเส้นแตกต่างกัน เช่น บะหมี่จีนมีโปรตีน 10-12% บะหมี่ญี่ปุ่นมีโปรตีน 9-10% เป็นต้น (Park, et al, 2003) กลูเตนประกอบไปด้วย Glutenin และ Gliadin ในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน Glutenin ทำหน้าที่อุ้มก้ำชาติที่ขึ้นฟูไว้ในโครงสร้าง ส่วน Gliadin ทำหน้าที่ให้กลูเตนมีสมบัติยืดตัว และยืดหยุ่นได้ (จิตรนา และอรอนงค์, 2525)

2.10.3.2 น้ำ น้ำเป็นส่วนผสมที่สำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตบะหมี่ ทำหน้าที่ให้เกิดการจับตัวกันของแป้งให้เกิดลักษณะโดเกิดขึ้น มีความยืดหยุ่น และสามารถรีดเป็นแผ่นได้ ปริมาณน้ำที่ผสมลงในสูตรการผลิตบะหมี่มีความสำคัญมาก หากเติมน้ำในส่วนผสมมากเกินไปจะทำให้และเหนียวติดมือ รีดไม่ได้ เมื่อตัดเป็นเส้นจะติดกันง่าย แต่เมื่อเติมน้ำในส่วนผสมน้อยเกินไปเส้นบะหมี่จะไม่แข็งแรง ร่วน และทำให้เส้นขาดง่าย โดยทั่วไปในการผลิตเส้นบะหมี่จะเติมน้ำ 30-40% นอกจากนั้นแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำยังส่งผลต่อการเกิดโด เช่น แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม มีผลต่อการดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างโดไม่เรียบ ทำให้ลักษณะเส้นบะหมี่ไม่ดี กลือของเหล็กและทองแดง มีผลต่อสี และกลิ่นหืนเมื่อเก็บไว้นาน (อรอนงค์, 2540) โดยรายงานเพิ่มเติมของ Kruger, et al. (1998) รายงานว่า เครื่องมือวัดปริมาณการดูดน้ำในขนมปังด้วยเครื่อง Mixograph ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กับบะหมี่ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือ หรือวิธีการในการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซึมน้ำได้อย่างเหมาะสม แต่มักอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในการผลิตบะหมี่เป็นผู้พิจารณา Park and Kim (1990) รายงานว่า การดูดซึมน้ำของโดที่มากเกินไปปริมาณที่เหมาะสมเพียง 2-3% จะส่งผลต่อการรีด และการตัดเป็นเส้น Oh, et al., (1985) ได้รายงานว่ ปริมาณการดูดซึมน้ำของโดมีผลต่อค่าสีในเส้นบะหมี่ ค่าความแข็ง พบว่าบะหมี่มีสีที่สว่างขึ้นเมื่อปริมาณน้ำที่ดูดซึบลดลง Hatcher, et al., (1999) ได้รายงานว่ ปริมาณน้ำที่เติมมีผลอย่างมากกับบะหมี่ที่เติมเกลือ มากกว่าบะหมี่ที่เติมด่าง ซึ่งปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อเนื้อสัมผัสด้านต่าง ๆ ให้ลดลง และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มลง

2.10.3.3 เกลือ เกลือที่เติมลงในสูตรบะหมี่ เพื่อให้เกิดการปรับสภาพน้ำในโดให้เหมาะสม ซึ่งสามารถใส่หรือไม่ใส่ก็ได้ โดยเกลือส่งผลให้กลูเตนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อเป็นเส้นบะหมี่จะไม่ติดกัน นอกจากนี้ เกลือสามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ประเภทย่อยโปรตีน เช่น อัลฟา-อะไมเลส ช่วยให้โคเหนียวและยืดหยุ่นนาน และสามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (อรอนงค์, 2540)

2.10.3.4 สารละลายด่าง สารละลายด่างที่ใช้ในบะหมี่ ได้แก่ NaCO_3 , NaOH , KCO_3 , CaOH_2 , และ Na_2SO_4 โดยใช้ปริมาณ 0.5-2.0% ส่งผลให้โดแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะที่ผ่านการต้มหรือลวก ช่วยให้มีเนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มได้นาน ไม่เปื่อยง่าย โดย pH ของบะหมี่อยู่ที่ 9-10 ทำให้บะหมี่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง บะหมี่ที่มีสภาพเป็นด่างจะเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Shiau, et al., 2001) นอกจากนี้ยังพบว่าบะหมี่ที่มีการเติมด่างจะใช้เวลาในการต้มสุกที่นานกว่าบะหมี่ที่เติมเกลือเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถต้มได้นานถึง 60-120 วินาที (Moss, et al., 1986)

2.10.3.5 ไข่ ทำให้เกิดสีในบะหมี่และช่วยเสริมให้โดแข็งแรง ยืดหยุ่นได้ดี และสามารถช่วยด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่ โดยเฉพาะคุณลักษณะในการกัดครั้งแรก (First Chew) เช่น ความแข็งแรง การเกาะตัวกัน ความแน่น (Janto, et al., 1998) นอกจากนี้ การเติมไข่ในการผลิตบะหมี่ยังช่วยเติมโปรตีนที่ร่างกายต้องการ และช่วยให้บะหมี่มีสีเหลืองสวย จึงทำให้บะหมี่ไข่มีราคาสูงกว่าบะหมี่ทั่วไป (อรอนงค์, 2540)

2.10.4 การเก็บรักษาบะหมี่

ระยะเวลาในการเก็บรักษาบะหมี่ให้มีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ บะหมี่สดและบะหมี่สุกมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นที่สุด คือเก็บได้เพียง 1-3 วัน บะหมี่แห้ง ที่ได้จากกระบวนการอบ ตาก หรือทอด มีอายุการเก็บรักษาที่นานเป็นเดือน หรือปีขึ้นกับภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันผลิตภัณฑ์ ผลที่เกิดขึ้นต่อบะหมี่ที่ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ได้แก่ การเปลี่ยนสีของบะหมี่ บะหมี่เป็นเมือก มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญ และบะหมี่มีกลิ่นหืน

การเปลี่ยนสีบะหมี่ในขณะเก็บรักษานั้นเกิดจากเอนไซม์ในแป้ง คือ โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ที่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไทโรซีน หรือสารฟีนอลอื่นในแป้งกลายเป็นสีน้ำตาล และเกิดจากแร่ธาตุเหล็กที่อยู่ในน้ำ สีที่เกิดขึ้นเป็นสีน้ำตาลเข้ม หรือเหลืองออกเขียวที่ต่างไปจากบะหมี่ปกติ โดยป้องกันได้โดยเลือกใช้แป้งที่ไม่มีเอนไซม์ มีสารให้สีในแป้งเหมาะสมกับด่างที่ใส่ และใช้น้ำอ่อนที่มีแร่ธาตุน้อยช่วยผลิตบะหมี่

การเกิดเมือกและจุลินทรีย์ในบะหมี่สดและสุก เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูง ถ้าเก็บรักษาในสภาพที่มีอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ก็ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน

วิธีที่ช่วยในการเก็บรักษาบะหมี่ให้อยู่ได้นาน คือ การทำแห้ง เพื่อลดปริมาณความชื้นในบะหมี่ให้ลดลง ปริมาณจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้

การหมิ่นหืนของบะหมี่ มักเกิดขึ้นกับกระบวนการทำแห้งบะหมี่ด้วยวิธีการทอด ซึ่งการหืนจะขึ้นกับปริมาณน้ำมันที่อยู่ในบะหมี่ คุณภาพของน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด เวลาที่ทอด และปริมาณโปรตีนในบะหมี่ เช่น ถ้าใช้น้ำมันที่มีคุณภาพต่ำทอดหลายครั้ง อุณหภูมิสูงเกินไป ทอดนานเกินไป โปรตีนในบะหมี่น้อย จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จนมีกลิ่นเหม็นหืนเมื่อเก็บรักษาเวลานาน ๆ การป้องกันทำได้ โดยใช้วิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมในการทอด และใส่สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่ได้รับอนุญาตจากกฎหมายอาหาร (อรอนงค์, 2540)

2.10.5 งานวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

สุภารัตน์ (2547) ศึกษาการใช้แป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งสาลีในบะหมี่ โดยใช้แป้งถั่วเขียวต่อแป้งสาลีร้อยละ 10 : 90, 20 : 80, 30 : 70 และ 40 : 60 ตามลำดับ พบว่าสูตร ที่ใช้แป้งถั่วเขียว ต่อแป้งสาลีร้อยละ 30 : 70 มีคะแนนความชอบมากที่สุด โดยอยู่ในระดับปานกลางถึงชอบมาก องค์ประกอบทางเคมีมีปริมาณความชื้น ไกมัน โปรตีน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ที่ 30.44, 0.45, 11.80, 1.22, 0.38 และ 56.12 ตามลำดับ ค่าสี L^* a^* b^* เท่ากับ 65.8, 0.70 และ 25.85 ตามลำดับ เมื่อทดสอบการต้านแรงดึง พบว่า บะหมี่มีการต้านแรงดึง 10.832 g-force เมื่อตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 300 โคโลนีต่อกรัม ไม่พบเชื้อ *Staphylococcus aureus* และเชื้อ *Salmonella* spp. ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบะหมี่สำเร็จรูป (มอก. 271-2533)

ชวลีกร (2549) ได้ผลิตบะหมี่จากแป้งข้าวพรีอัมบริโกลแซ่แข็ง พบว่าการนำแป้งข้าวและแป้งข้าวคั่วมาผลิตบะหมี่ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวชยันนาท1 : แป้งชยันนาท1พรีเจล : แป้งกช 6HMT ในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 มีปริมาณดูดกลืนน้ำ (118.75%) และการสูญเสียของแข็งในระหว่างการหุงต้มลดลง (8.61%) แต่ใช้ระยะเวลาในการต้มสุกนาน (8.55 นาที) พบว่าเนื้อสัมผัสของบะหมี่ภายหลังการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง 2 ครั้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสูตรควบคุม

กมลรัตน์ (2549) รายงานว่า ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของบะหมี่ดิบที่ผู้บริโภคมารับ คือ ค่า L^* เท่ากับ 72.44-73.93 ระยะที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด 1.60-1.73 มิลลิเมตร ปริมาณความชื้น 30.10-32.52% และลักษณะทางกายภาพ และเคมีของบะหมี่สุกที่ผู้บริโภคมารับ คือ ระยะที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาด 0.99-1.40 มิลลิเมตร เวลาในการทำให้สุก 40-60 วินาที และพบว่าการเก็บรักษาบะหมี่สดโดยการเติมโพรพิลีนไกลคอล 2% ในถุงที่มีสารดูดความชื้นและออกซิเจน ภายใต้บรรยากาศที่ปรับสภาพด้วยไนโตรเจน ที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 60 วัน และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เก็บรักษาได้นาน 20 วัน

