บทที่ 2
แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะดัน

มะดัน (*Garcinia schomburgkiana* Pierre.) มีชื่อพื้นบ้านว่า มะดัน ส้มมะดัน ส้มไม่รู้ถอย เป็นไม้ยืนต้นประเภทไม่ผลัดใบชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในวงศ์ GUTTIFERAE ไม้ที่อยู่ในพวกเดียวกัน ได้แก่ ชะมวง (*Garcinia atroviridis* Griff.) มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) มะพูด (*Garcinia vilersiana* Pierre.) ผลมะดันเป็นผลเดี่ยว เนื้อหุ้มเมล็ด ฉ่ำน้ำ ผลมีสีเขียว มันวาว มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาว 5-7 เซนติเมตร ปลายแหลม กว้าง 2-3 เซนติเมตร เนื้อผลหนามีเส้นใยมาก ภายในผลมีเมล็ดลักษณะกลมรีปลายแหลมจำนวน 3-6 เมล็ด ผลอ่อนมีเมล็ดเป็นสีขาว ผลแก่มีเมล็ดสีน้ำตาล แข็ง และมีรสเปรี้ยวมาก มะดันติดผล 2 ครั้ง ระหว่างเดือน เมษายน-มิถุนายน และระหว่างเดือนสิงหาคม-ตุลาคม (วุฒิ วุฒิธรรมเวช, 2540; ดวงจันทร์ เกรียงสุวรรณ, 2546; ศูนย์ปฏิบัติการพืชเศรษฐกิจ, 2553)

ผลมะดัน นิยมรับประทานสด โดยจิ้มเกลือหรือกะปิหรือน้ำปลาหวาน แต่รสเปรี้ยวมากใช้แทนมะนาวได้ดี สามารถนำมาใช้ในการทำน้ำพริกกะปิหรือนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงแต่ง หรือเครื่องชูรสในอาหารประเภทปลาหรือกับข้าวอื่นๆ ผลมะดันเมื่อนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารไทย จำพวกยำหลายชนิด เช่น ยำปูเค็ม ผลมะดันสามารถนำมาใส่เพิ่มในข้าวผัดกะปิกุ้งหรือข้าวคลุกกะปิ นอกจากนี้ผลมะดันสามารถนำมาแปรรูปได้หลากรสชาติ เช่น ดองเปรี้ยว ดองเค็ม แช่อิ่ม หรือเชื่อม (เดชา ศิริภัทร, 2542; ศูนย์ปฏิบัติการพืชเศรษฐกิจ, 2553)

คุณค่าทางโภชนาการของผลมะดัน 100 กรัม ให้พลังงาน 31 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย เส้นใย 0.6 กรัม แคลเซียม 103 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 8 มิลลิกรัม วิตามินเอ 225 IU วิตามินบีหนึ่ง 0.01 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.04 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.2 มิลลิกรัม วิตามินซี 16 มิลลิกรัม (สำนักงานเกษตรจังหวัดลำปาง, 2555)

การใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพรของผลมะดัน ได้แก่ ล้างเสมหะ ฟอกโลหิต แก้ไอ แก้ประจำเดือนผิดปกติ ข้อมูลการวิจัยที่สำคัญ พบว่ารสเปรี้ยวของมะดันเกิดจากกรดอินทรีย์ชื่อ (-)-hydroxycitric acid (HCA) ซึ่งกรดอินทรีย์ชนิดนี้พบในใบชะมวงและผลส้มแขก (ศูนย์ปฏิบัติการพืชเศรษฐกิจ, 2553)

การศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากพันธุ์ไม้หายากในสกุล Garcinia โดยใช้ผลมะดันมาแปรรูปเป็นมะดันแช่อิ่มอบแห้งและเยลลี่มะดัน พบว่า การใช้น้ำเชื่อมความเข้มข้นเริ่มต้น 30 องศาบริกซ์ สำหรับการแช่อิ่มทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสของความเหี่ยวย่นน้อยซึ่งเป็นลักษณะที่ดี สำหรับผลิตภัณฑ์เยลลี่มะดันที่เติมคาราจีแนนเพื่อเพิ่มลักษณะเนื้อที่ระดับปริมาณ 1.4 1.6 และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าการใช้คาร์ราจีแนน 1.6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งและความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสที่ดี (พรพิมล เลิศพานิช, 2548)

2.2 น้ำตาล

น้ำตาล (Sugar) คือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของน้ำตาล เช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลกรวด น้ำตาลก้อน น้ำตาลปี๊บ เป็นต้น แต่ในทางเคมี โดยทั่วไปหมายถึง ซูโครส หรือ แซคคาโรส ไดแซคคาไรด์ ที่มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว ประกอบไปด้วยกลูโคส (Glucose) และฟรักโทส (Fructose) อย่างละ 1 โมเลกุล ในทางการค้าน้ำตาลผลิตจากอ้อย (Sugar Cane) ต้นตาล (Sugar Palm) ต้นมะพร้าว (Coconut Palm) ต้นเมเปิ้ลน้ำตาล (Sugar Maple) และ หัวบีท (Sugar Beet) ฯลฯ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553)

น้ำตาลทราย หรือซูโครส (Sucrose) เป็นน้ำตาลที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมานาน ทั้งนี้เพราะหาได้ง่ายและมีราคาถูก น้ำตาลเป็นสารเพิ่มความหวานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น แยม เยลลี่ ผลไม้แช่อิ่ม ขนมอบ เป็นต้น ซึ่งเมื่อเลือกใช้เป็นส่วนผสมของอาหารบางชนิดนั้น ควรใช้น้ำตาลทรายที่ผ่านการฟอกสีแล้วเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเกิดกลิ่นรสแปลกปลอม (สินธนา ลีนานุรักษ์, 2542)

การใช้ประโยชน์ของน้ำตาลในอุตสาหกรรมอาหาร

การนำเอาน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร อาจพิจารณาได้จากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำตาล (อัญชลินทร์ สิงห์คำ และทศพร นามโฮง, 2554) ได้แก่

1. ความหวานและกลิ่นของน้ำตาล (Sweetness and Flavor)

น้ำตาลแต่ละชนิดมีความหวานไม่เท่ากัน การเปรียบเทียบความหวานจะใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ โดยให้ความหวานของซูโครสมีค่าเป็น 100 เท่า ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบความหวาน เรียกว่า ความหวานสัมพัทธ์ (Relative Sweetness)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำตาล	ความหวานสัมพัทธ์
ซูโครส	100
ฟรักโทส	140-175
น้ำตาลอินเวิร์ต (Invert Sugar)	100-130
น้ำผึ้ง	97
กลูโคส	70-75
กากน้ำตาล (Molasses)	74
น้ำเชื่อมข้าวฟ่าง (Sorghum Syrup)	69
น้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn Syrup)	60
มอลโทส	30
แลคโทส	15

ที่มา : ดัดแปลงจากอัญชลินทร์ สิงห์คำ และทศพร นามโฮง (2554)

ซูโครสมีสมบัติอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือไปจากการให้ความหวาน คือ ทำหน้าที่ให้กลิ่นรสแก่อาหารได้แม้ว่าความหวานของอาหารอาจจะไม่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำซูโครสมาผสมกับเกลือแล้ว จะช่วยลดความเค็ม ซึ่งนับว่ามีความสำคัญมากสำหรับการถนอมอาหารด้วยเกลือเช่น เนื้อเค็ม อาหารหมักดอง เป็นต้น

2. การเกิดน้ำตาลไหม้ (Caramel Formation)

น้ำตาลไหม้หรือคาราเมล เกิดจากซูโครสซึ่งเป็นของผสมของน้ำตาลที่ปราศจากน้ำ (Sugar Anhydrides) น้ำตาลไหม้ให้ประโยชน์ในการผลิตอาหารโดยเป็นสารให้สี และกลิ่นรส เช่น ใช้ผสมทำเบียร์ บรั่นดี เครื่องดื่ม น้ำเชื่อม อาหารดอง และลูกกวาด เป็นต้น สมบัติบางประการที่ควรคำนึงถึงคือน้ำตาลไหม้ควรมีความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น น้ำตาลไหม้ที่ใช้สำหรับทำเบียร์ควรมีความเป็นกรดด่าง 6.9 สำหรับทำเครื่องดื่มควรมีความเป็นกรดด่าง 3 เป็นต้น การใช้น้ำตาลไหม้ที่มีความเป็นกรดด่างไม่เหมาะสมในการผลิตอาหารแต่ละชนิดอาจทำให้เกิดตะกอนในอาหาร

3. การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant Effect)

ซูโครสมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียสี กลิ่น รส และกรดแอสคอร์บิคในอาหาร ทั้งนี้เพราะกาซออกซิเจนสามารถละลายอยู่ในสารละลายซูโครสได้น้อยกว่าในน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำตาลความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ จะมีอากาศละลายอยู่เพียง 1/6 เท่าของอากาศที่สามารถละลายได้ในน้ำ

การเกิดออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิคในผลไม้แช่แข็ง จะถูกยับยั้งได้ร้อยละ 10-90 ถ้ามีซูโครส กลูโคส ฟรักโทส หรือน้ำเชื่อมข้าวโพด อย่างใดอย่างหนึ่งผสมอยู่ นอกจากนี้ซูโครสยังช่วยลดการสูญเสียกลิ่นและรสของผลไม้ ช่วยลดการเกิดกลิ่นหืนของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยลดการสูญเสียวิตามินเอระหว่างการผลิตไข่ผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) อีกด้วย

4. น้ำตาลในอาหารประเภทเจล (Sugar in Gels)

อาหารประเภทเจล เช่น แยม และเยลลี่ เป็นต้น โดยทั่วไปประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 75 และเพคทินร้อยละ 1-2 มีความเป็นกรดด่างระหว่าง 2.6-3.4 ซึ่งน้ำตาลจะทำหน้าที่เป็นสารดูดน้ำในเจล ขณะทำแยมในช่วงการต้มน้ำตาลกับผลไม้ จะเกิดน้ำตาลอินเวิร์ตบางส่วน ซึ่งน้ำตาลอินเวิร์ตนี้จะช่วยป้องกันการตกผลึกของแยมในระหว่างการเก็บรักษา และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่ถ้ามีน้ำตาลอินเวิร์ตมากเกินไปก็จะทำให้แยมมีลักษณะเหลวเหมือนน้ำผึ้งในขณะเก็บรักษา

น้ำตาลเหลว หรือน้ำเชื่อม (Liquid Sugar or Syrup) เป็นสารละลายของน้ำตาลซูโครสในน้ำ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี 3 ชนิด คือ น้ำเชื่อมซูโครส (Sucrose Type) น้ำเชื่อมอินเวิร์ต (Inverted Type) และน้ำเชื่อมที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล และจากวัตถุดิบอื่นๆ มักมีสีน้ำตาลดำ หรือเกือบดำ นำมาใช้เป็นสารให้กลิ่น รส และสีของอาหาร เช่น น้ำตาลไหม้ (Caramel Syrup) กากน้ำตาลโมลาส และน้ำเชื่อมที่ผลิตจากแป้ง (Starch Hydrolysate) เป็นต้น

น้ำตาลอินเวิร์ต (Invert Sugar) ได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสด้วยกรด และผ่านการให้ความร้อน โดยซูโครสจะแตกตัวให้กลูโคสและฟรักโทส ทำให้ได้น้ำตาลอินเวิร์ตที่มีความหวานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยทั่วไปคุณภาพของน้ำตาลอินเวิร์ตกำหนดเป็นร้อยละของน้ำตาลที่แตกตัวไป เช่น L50 หมายถึง ปริมาณน้ำตาลที่แตกตัวไปเป็นน้ำตาลอินเวิร์ตร้อยละ 50 นิยมใช้น้ำตาลอินเวิร์ตในการผลิตลูกกวาด และขนมหวานเนื่องจากช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการตกผลึกของน้ำตาลได้

2.3 น้ำผึ้ง (Honey)

น้ำผึ้งเป็นของเหลวรสหวานซึ่งผึ้งผลิตขึ้นจากน้ำหวานของดอกไม้แล้วสะสมไว้ในรังผึ้ง ผึ้งจะบ่มน้ำหวานโดยผสมเอนไซม์ลงไปและไล่ความชื้นออก โดยผึ้งงานจะกระพือปีกให้อากาศจากภายนอกหมุนเวียนถ่ายเทเข้าไปในรังผึ้ง ดึงความชื้นออกจากน้ำหวานในหลอดรวงต่างๆ ทำให้น้ำหวานกลายเป็นน้ำผึ้งในที่สุด ซึ่งน้ำผึ้งที่ได้รับการบ่มได้ที่แล้วจะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 20 หรืออาจน้อยกว่า (ภานุวรรณ จันทวรรณกูร, 2552)

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำผึ้ง 100 กรัม ให้พลังงาน 304 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 82.4 กรัม น้ำตาล 82.12 กรัม ใยอาหาร 0.2 กรัม ไขมัน 0 กรัม โปรตีน 0.3 กรัม น้ำ 17.10 กรัม ไรโบฟลาวิน 0.038 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.012 มิลลิกรัม กรดแพนโททีนิก 0.068 มิลลิกรัม วิตามินบี 60.024 มิลลิกรัม โฟเลต 2 ไมโครกรัม วิตามินซี 0.5 มิลลิกรัม เหล็ก 0.42 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 2 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 52 มิลลิกรัม เกลือโซเดียม 4 มิลลิกรัม สังกะสี 0.22 มิลลิกรัม (นิสากร ปานประสงค์, 2554)

ส่วนประกอบของน้ำผึ้ง (วีระพันธุ์ ตันติพงษ์, 2542) ประกอบด้วย

1. ปริมาณความชื้น

น้ำผึ้งที่ดีมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 17-18 สามารถเก็บไว้ได้นานโดยจะเปลี่ยนแปลงสภาพเพียงเล็กน้อย

2. น้ำตาลของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งเป็นแหล่งของสารอาหารคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ เนื่องจากองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ น้ำตาลที่พบในน้ำผึ้งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยฟรักโทสและกลูโคสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เด่นที่สุดของน้ำผึ้งที่ร่างกายของคนนำไปใช้ได้ง่าย และใช้เป็นพลังงานได้ทันที โดยน้ำผึ้ง 100 กรัม จะให้พลังงานโดยประมาณ 300 แคลอรี (ภานุวรรณ จันทวรรณกูร, 2552) นอกจากนี้ยังทำให้น้ำผึ้งมีคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ น้ำผึ้งที่ดีควรมีน้ำตาลทั้งสองชนิดไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ฟรักโทสยังมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 1.6 เท่า ขณะที่ร่างกายดูดซึมได้ช้า จึงสามารถใช้น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทั่วไปได้ สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักในระดับที่ไม่เคร่งครัดนัก น้ำผึ้งที่ได้จากน้ำหวานดอกไม้จะมีฟรักโทสมากกว่ากลูโคส นอกจากน้ำตาลทั้งสองชนิดแล้ว น้ำผึ้งยังประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส มอลโทส แล็กโทส และน้ำตาลอื่นๆ รวม 17 ชนิด

3. กรดในน้ำผึ้ง

เนื่องจากน้ำผึ้งมีรสหวานจัด รสเปรี้ยวของกรดจึงถูกบดบังเอาไว้ กรดในน้ำผึ้งมีหลายชนิด เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดซักซินิก กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก กรดบิวไทริก กรดแลกติก กรดไพโรกลูตามิก กรดที่สำคัญที่สุดในน้ำผึ้งคือ กรดกลูโคนิก ในน้ำผึ้งยังมีกรดอะมิโนถึง 16 ชนิด นอกจากนี้ยังมีกรดอนินทรีย์ คือกรดฟอสฟอริกและกรดไฮโดรคลอริกอีกด้วย ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำผึ้งอยู่ระหว่าง 3.2-4.5 ซึ่งเป็นสภาพที่แบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ (นิสากร ปานประสงค์, 2554)

4. แร่ธาตุในน้ำผึ้ง

ปริมาณแร่ธาตุในน้ำผึ้งมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.17 ของน้ำหนักน้ำผึ้ง แร่ธาตุที่พบในน้ำผึ้ง ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส ทองแดง ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำผึ้งแม้จะมีไม่มากนัก แต่ก็อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม การเติมน้ำผึ้งลงไปแทนน้ำตาลในอาหารชนิดต่างๆ เป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็นแก่ร่างกาย และยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารอย่างอื่นอีกด้วย

5. เอนไซม์ในน้ำผึ้ง

เอนไซม์สำคัญที่สุดที่พบในน้ำผึ้ง คือ อินเวอร์เทส ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสในน้ำหวานของดอกไม้ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส ในน้ำผึ้งมีเอนไซม์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ ไดแอสเทสหรืออะไมเลส จะทำหน้าที่ย่อยแป้งหรือไกลโคเจนเป็นน้ำตาลหน่วยเล็กๆ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ชนิดอื่นๆ ในน้ำผึ้ง ได้แก่ เอนไซม์คาตาเลส และฟอสฟาเทส และในรายงานล่าสุดพบว่าในน้ำผึ้งมีเอนไซม์อีกชนิดหนึ่งคือ กลูโคสออกซิเดส เป็นเอนไซม์จากฟาริงเกลแกลนด์ของผึ้ง ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดกลูโคนิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรืออินฮิบิทที่ทำหน้าที่ยับยั้งและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้

6. วิตามินในน้ำผึ้ง

ในน้ำผึ้งมีวิตามินอยู่หลายชนิด ได้แก่ ไทอามีน (บี1) ไรโบฟลาวิน (บี2) กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ไพริด็อกซิน (บี6) กรดแพนโทธินิก กรดนิโคตินิก หรือที่เรียกรวมกลุ่มว่า วิตามินบีคอมเพล็กซ์ ปริมาณวิตามินในน้ำผึ้งแต่ละชนิดแตกต่างกันตามที่มาของน้ำผึ้ง นอกจากนี้น้ำผึ้งยังประกอบไปด้วย โคลินและอะซิติลโคลิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานของสมองและเซลล์ประสาทด้วย (ภานุวรรณ จันทวรรณกูร, 2552)

7. สารแขวนลอยในน้ำผึ้ง

สารแขวนลอย หมายถึง โมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของโมเลกุลขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่ในของเหลวนั้นๆ โมเลกุลของสารแขวนลอยจะไม่ตกตะกอน สารแขวนลอย

ส่วนใหญ่ในน้ำผึ้งจะเป็นเกสรดอกไม้ ทั้งที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ และที่ถูกย่อยแล้วบางส่วน และพบว่ามีโปรตีน 4-7 ชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกัน ปริมาณโปรตีนในน้ำผึ้งจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.1-0.6

ปัจจุบันตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดให้น้ำผึ้งเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานโดยมีสี กลิ่น และรส ตามลักษณะเฉพาะของน้ำผึ้ง มีน้ำตาลรีดิวซิ่งคิดเป็นน้ำตาลอินเวิร์ตไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนัก มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 21 ของน้ำหนัก มีน้ำตาลซูโครสไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก มีสารที่ไม่ละลายน้ำไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนัก มีเถ้าไม่เกินร้อยละ 0.6 ของน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรดด่างไม่เกิน 40 มิลลิอิควิวาเลนต์ของกรดต่อหนึ่งกิโลกรัม มีค่าไดแอสเตสแอกติวิตี (Diastase Activity) ไม่น้อยกว่า 3 โกเตสเกล (Gothe Scale) และมีค่าไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล (Hydroxymethylfurfural) ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัม นอกจากนี้ยังต้องไม่ใช้วัตถุเจือปนอาหาร ไม่ใช้สี ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่มีสารพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่อาจมียีสต์และราได้ไม่เกิน 10 โคโลนีต่อน้ำผึ้งหนึ่งกรัม ไม่มีสารปนเปื้อนเว้นแต่สารหนูไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำผึ้งหนึ่งกิโลกรัม และตะกั่วไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำผึ้งหนึ่งกิโลกรัม (นิสากร ปานประสงค์, 2554)

2.4 การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration) หรือการแช่อิ่ม เป็นกระบวนการดึงน้ำออกและการทำให้ชุ่มโดยการแช่ (Dewatering and Impregnation Soaking Process, DISP) ในสารละลายออสโมติก (Osmotic Solution) หรือสารละลายที่มีค่าแรงดันสูง (Hypertonic Solution) และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่าของอาหารนั้น เช่น น้ำตาล เกลือ ซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอล (พรพิมล เลิศพานิช, 2548) เป็นกระบวนการแปรรูปผลไม้สดอีกวิธีหนึ่งเพื่อทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณน้ำในอาหารภายในวัตถุดิบก่อนที่จะนำอาหารเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบดั้งเดิม การทำอาหารให้เข้มข้น และการแช่เยือกแข็งเป็นต้น โดยสามารถลดความชื้นเบื้องต้นลงได้ถึงร้อยละ 50-60 โดยไม่ใช้ความร้อนหรือทำให้มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ช่วยทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้การกำจัดน้ำออกจากผักผลไม้โดยการแช่ในสารละลาย สามารถยับยั้งปฏิกิริยาเคมี เช่น ลดการเกิดสีน้ำตาลและการออกซิเดชัน เนื่องจากสารละลายออสโมติกจะทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนเข้าสู่เนื้อเยื่ออาหารลดลง ช่วยรักษาวิตามินซี คลอโรฟิลล์และแอนโธไซยานินส์ของผลไม้อบแห้ง มีค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือและการดำเนินการต่ำ ลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการ

ทำแห้ง สามารถเพิ่มองค์ประกอบที่ต้องการในอาหารได้และควบคุมค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water Activity, a_w) ของอาหารซึ่งเป็นการช่วยถนอมอาหาร จึงเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายจากความร้อนน้อยมาก ทั้งยังรักษาสารระเหย (กลิ่นรส) และรงควัตถุตามธรรมชาติไว้ และมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไว้ได้ (ปิยะวิทย์ ทิพรส, 2544 ; พีรยา โชติถนอม, 2551)

การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการแช่อิ่ม มีวัตถุประสงค์เพื่อดึงเอาน้ำออกจากผลไม้ให้มีปริมาณลดต่ำลงและเพิ่มปริมาณน้ำตาล พบว่าการสูญเสียน้ำในขั้นตอนนี้จะทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลงไปร้อยละ 40-50 เทคนิคการแช่ในสารละลายน้ำตาลมี 2 วิธี (สินธนา ลีนานุรักษ์, 2542) คือ

1) การแช่อิ่มแบบเร็ว เป็นวิธีการใช้ความร้อนเพื่อเร่งให้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อของผักผลไม้อย่างรวดเร็วจนความเข้มข้นของน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผักหรือผลไม้นั้นมีค่าประมาณร้อยละ 55-70 ทำได้โดยแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 30-40 ที่อุณหภูมิสูงจนกระทั่งน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นร้อยละ 60-70 แล้วผึ่งแดดให้แห้ง ถ้าอุณหภูมิของน้ำเชื่อมสูงขึ้นจะช่วยทำให้น้ำซึมออกจากเซลล์และน้ำตาลแพร่เข้าไปในเซลล์ได้เร็วขึ้น การแช่ในสารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นสูงๆ มักจะมีปัญหาการตกผลึกของน้ำตาลได้ แต่สามารถป้องกันปัญหานี้ได้โดยการเติมกรดซิตริกความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.1 วิธีนี้ใช้เวลาสั้นทำให้ผลไม้หดตัวมากจนมีลักษณะเหี่ยวย่นและมีรสหวานไม่สม่ำเสมอ มีสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็งเนื่องจากน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นสูง

2) การแช่อิ่มแบบช้า เป็นวิธีการแช่อิ่มที่ไม่มีการเร่งให้น้ำเชื่อมหรือน้ำตาลเข้าสู่เนื้อเยื่อผักผลไม้ด้วยความร้อน การแพร่ของน้ำเชื่อมจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ทำได้โดยแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 30-40 นาน 24 ชั่วโมง แล้วปรับความเข้มข้นน้ำเชื่อมให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10 ทุกๆ 24 ชั่วโมง ทำซ้ำๆ ไปเช่นนี้เป็นเวลา 6-7 วัน จนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำเชื่อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 เมื่อผลไม้อิ่มตัวด้วยน้ำตาลแล้วนำชิ้นผลไม้ออกไปผึ่งแดดหรืออบแห้ง วิธีนี้ใช้เวลานาน แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีดีเนื่องจากเสียหายจากความร้อนน้อยมาก เนื้อสัมผัสไม่เละหรือเหี่ยวย่น การหดตัวและความหวานในเนื้อเยื่อสม่ำเสมอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่อิ่มแบบเร็ว

ผลไม้แช่อิ่มที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลนั้น สามารถดึงน้ำออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้นซึ่งมีความชื้นเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 30 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ในช่วงระหว่าง 0.60-0.85 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Product) จึงไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์นี้ไว้ได้นาน ดังนั้นหากต้องการเก็บไว้นานขึ้นต้องนำไปอบแห้งเพื่อให้มีความชื้นต่ำลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

อยู่ในระดับอาหารแห้ง หรือมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.60 (จินตนา ศรีผุย, 2546; สินธนา ลีนานุรักษ์, 2542)

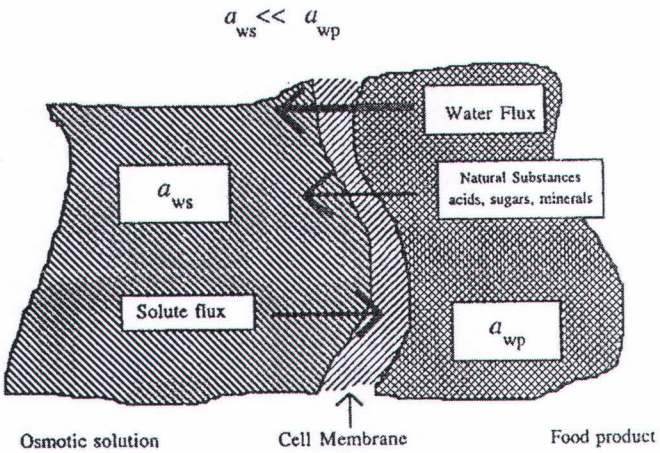
ส่วนมากการแช่อิ่มจะใช้กับผลไม้ แต่ก็มีผักหลายชนิดนำมาแช่อิ่มแล้วได้รับความนิยมมากพอควร เช่น มะเขือเทศ มะละกอดิบ แครอท เป็นต้น ลักษณะที่ดีของผักและผลไม้แช่อิ่ม คือ การมีสีสันที่สดใสไม่ดำคล้ำ คงรูปร่างได้ดี ไม่นิ่มและหรือเหี่ยวย่น มีความหวานสม่ำเสมอกันทั้งชิ้น ผลไม้ที่จะนำมาแช่อิ่มควรเลือกชนิดที่มีกลิ่นรสจัด มีสภาพแก่จัด-ห่าม ผลไม้สุกจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสนิ่มเละ ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวมากหรือฝาดควรจะแช่ในน้ำเกลือเข้มข้นประมาณร้อยละ 15 ก่อนการแช่อิ่ม เพื่อลดรสชาติแปลกปลอมดังกล่าว หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์กรอบและมีเนื้อสัมผัสคงตัวดีควรแช่ในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมคลอไรด์ก่อนนำไปแช่อิ่ม สำหรับผักหรือผลไม้ที่มีเนื้อแน่นแข็ง ก่อนนำไปทำการแช่อิ่มแบบช้า ควรลวกก่อนเพื่อให้เนื้อของผักหรือผลไม้นั้นอ่อนนุ่มลง ทำให้น้ำเชื่อมซึมเข้าได้ง่ายขึ้น และยังช่วยทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้อีกด้วย (สินธนา ลีนานุรักษ์, 2542)

2.4.1 การถ่ายโอนมวลสาร

เมื่อมีการแช่อาหารในสารละลายออสโมติก จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหารขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) ระหว่างความเข้มข้นภายในเซลล์ผักผลไม้กับสารละลายจึงเกิดแรงขับ (Driving Force) ให้มีการถ่ายเทมวลสาร กล่าวคือ น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ผักผลไม้ ขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายเคลื่อนที่เข้าสู่เนื้อเยื่อเซลล์ผักผลไม้ผ่านเยื่อเลือกผ่าน ดังภาพที่ 2.1 การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าไปในเซลล์ผักผลไม้ ขณะเดียวกันน้ำก็จะแพร่ออกจากเซลล์ผักผลไม้ ทำให้ผักผลไม้มีปริมาณน้ำลดลง (Water Loss, WL) และปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (Solid Gain, SG) การแพร่ของตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลที่แพร่ได้ การแพร่ของน้ำตาลและของน้ำจะสมดุลได้เร็วขึ้นหากเซลล์ของผักผลไม้ถูกทำลาย (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532 ; ศรีวิกรณ์ ดิษฐอุดมโพธิ์ และชลธิชา ปิตตาระเต, 2550 ; พิรยา โชติถนอม, 2551)

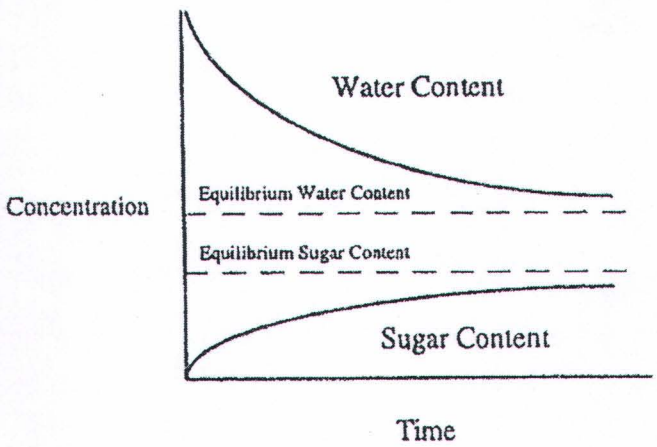
การกำจัดน้ำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของกระบวนการแล้วจึงค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่สมดุลเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันของแข็งในเนื้อเยื่อผักผลไม้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนเข้าสู่สมดุลเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 2.2

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 4 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247241
เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 2.1 Mass transport during osmotic dehydration

ที่มา : Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado (1996)



ภาพที่ 2.2 Water and sucrose content during osmotic dehydration

ที่มา : Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado (1996)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์ผลไม้

(อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)

1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก

ผลไม้บางชนิดสามารถกำจัดน้ำได้เร็ว ขณะที่บางชนิดกำจัดน้ำได้ช้า ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ พบว่ากระบวนการออสโมซิสของน้ำในสับปะรดเกิดขึ้นได้เร็วกว่ามะละกอและมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ จะมีอัตราในการกำจัดน้ำต่างกันด้วย นอกจากนี้พบว่าผลไม้สุกจะเกิดการออสโมซิสของน้ำได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่หากผลไม้สุกเกินไป ผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน

2) ชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย

ชนิดของสารละลายที่ใช้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายโอนมวลสาร พบว่าสารละลายกลูโคสช่วยกำจัดน้ำได้ดีกว่าฟรักโทสและดีกว่าซูโครส เนื่องจากตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีความดันออสโมติกสูง จึงมีการกำจัดน้ำได้มาก (พีรยา โชติถนอม, 2551) สารละลายชนิดเดียวกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันตัวถูกละลายจะซึมเข้าไปในผลไม้ได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งของวิธีการนี้เพราะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่หวานเกินไป

3) อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิของน้ำเชื่อมที่ใช้แช่สูงขึ้น น้ำจะซึมออกจากเซลล์ได้เร็วขึ้นด้วย งานวิจัยของวนิดา สระทองคำและปราณี อ่านเปรื่อง (2544) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส พบว่าอุณหภูมิการออสโมซิสที่สูงจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป คือ เยื่อหุ้มเซลล์ จึงมีผลให้ความแน่นเนื้อของฟักทองเปลี่ยนแปลงด้วย การซึมผ่านของน้ำและน้ำตาลเกิดขึ้นได้ดีและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ น้ำในเนื้อเยื่อจึงถูกดึงออกมาได้มากขึ้น

4) สัดส่วนของสารละลายออสโมติกต่อผลไม้

เมื่อสัดส่วนของสารละลายออสโมติกต่อผลไม้เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ได้มากขึ้น ทั้งนี้ในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นสูง น้ำที่แพร่ออกมาจะไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายมากนัก ทำให้ความแตกต่างของน้ำภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์มีมาก แรงขับ (Driving Force) จึงสูงอยู่ตลอดเวลา

5) การกวน

ขณะเกิดการถ่ายโอนมวลสารจะเกิดการสะสมของน้ำที่ซึมออกมาบริเวณผิวหน้าของผลไม้ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่สัมผัสกับผลไม้ลดลง ส่งผลให้แรงขับลดลง การกวนช่วยลดการสะสมของน้ำบริเวณผิวหน้าผลไม้ทำให้การถ่ายโอนมวลสารเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้

ในอุตสาหกรรมอาจใช้วิธีระเหยน้ำในสารละลายออก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแล้วทำให้ไหลเวียนผ่านผลไม้อย่างต่อเนื่อง (Continuous Re-concentration)

6) รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ผลไม้ถ้าเป็นชิ้นใหญ่น้ำจะซึมออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากในทั้งสองกรณีนี้ พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าน้อย วัตถุดิบที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก หรือมีขนาดชิ้นบาง ปริมาณการสูญเสียน้ำ (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) สูง อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) มีค่าสูงอาจทำให้ค่าการสูญเสียน้ำลดลงได้ เนื่องจากของแข็งที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อขัดขวางการแพร่ของน้ำ ผลไม้ที่มีขนาดชิ้นบางและมีความชื้นสูง ปริมาณการสูญเสียน้ำ (WL) จะมีค่าสูง นอกจากนี้ความเป็นรูพรุน (Porosity) ของตัวอย่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำ ผลไม้มีขนาดของรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสียน้ำสูง แต่อย่างไรก็ตามความเป็นรูพรุนไม่สามารถใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นของของแข็งได้หมด เนื่องจากมีผลของการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายมาเกี่ยวข้อง (พีรยา โชติถนอม, 2551)

7) Pretreatment

การบ่ม การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปในการนึ่ง และการแช่ซัลไฟด์จะทำให้เนื้อเยื่อเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ ตัวถูกละลายจึงซึมเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น

2.5 การทำแห้ง

การทำแห้ง (Drying) เป็นการลดความชื้นในอาหาร เพื่อลดค่าวอเตอร์แอคติวิตีลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร และทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพอยู่ในระดับต่ำสุด

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการถนอมและแปรรูปโดยการทำแห้ง หมายถึง อาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Food, LMF) โดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.6 และสามารถนำมาบริโภคได้เลย ส่วนอาหารที่ทำให้แห้งอีกประเภทหนึ่ง จะมีปริมาณน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 15-50 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ระหว่าง 0.60-0.85 อาหารเหล่านี้จัดว่าเป็นประเภทอาหารกึ่งแห้งที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food, IMF) (นวพร ล้ำเลิศกุล, 2552)

2.5.1 ผลของการทำแห้งต่อจุลินทรีย์ในอาหาร

แบคทีเรียต้องใช้ความชื้นสูงในการเติบโต ในขณะที่ยีสต์ เชื้อรา ต้องการความชื้นในการเติบโตน้อยกว่าแบคทีเรีย แบคทีเรียส่วนใหญ่ต้องการค่าวอเตอร์แอคติวิตีในการเติบโตมากกว่า 0.90 ดังนั้นจึงไม่ค่อยพบแบคทีเรียมีบทบาทในการทำอาหารแห้งเสีย ในอาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีระหว่าง 0.80-0.85 มักพบการเสียโดยเชื้อราภายในเวลา 1-2 สัปดาห์ ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.75 จะพบการเน่าเสียช้าลง เนื่องจากมีจุลินทรีย์ไม่กี่ชนิดที่สามารถเติบโตได้ ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.70 การเน่าเสียลดลง โดยเก็บอาหารได้นานขึ้น ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีมีจุลินทรีย์น้อยชนิดที่สามารถเติบโตได้ อาหารกลุ่มนี้สามารถเก็บได้นาน 2 ปี อาหารที่จะเก็บได้นานเป็นปีต้องเป็นอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง และลดค่าวอเตอร์แอคติวิตีลงเหลือประมาณ 0.65-0.75 หรือเฉลี่ย 0.70 (Jay, Loessner and Golden, 2005)

ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.90 มักพบยีสต์ และเชื้อราเป็นส่วนมาก เชื้อราบางชนิดสามารถเติบโตได้ในที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.60-0.62 ออสโมฟิลิกยีสต์ (osmophilic yeast) เช่น *Zygosaccharomyces rouxii* สามารถเติบโตในที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.65 ภายใต้สภาวะบางประการ มีรายงานว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุดสำหรับการงอกของสปอร์และการเจริญของราและยีสต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ในผลไม้ตากแห้ง มักเสื่อมเสียโดยเชื้อราพวก *Aspergillus glaucus* และ *Xeromyces bisporus* สปอร์ของเชื้อดังกล่าวสามารถเติบโตได้ที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี 0.605 เป้าหมายในการผลิตอาหารแห้งจะต้องมีจำนวนของจุลินทรีย์ไม่มากไปกว่า 100,000 ต่อกรัม และโดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับว่าอาหารแห้งควรปราศจากเชื้อโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ (Jay, Loessner and Golden, 2005)

การเอาความชื้นออกจากอาหารจนมี วอเตอร์แอคติวิตีของอาหารลดลง จึงมักพบเชื้อราเติบโตบนอาหารแห้งที่เก็บในที่มีความชื้นในที่มีวอเตอร์แอคติวิตี 0.70 หรือต่ำกว่า จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เติบโต แต่เชื้อราที่ชอบเติบโตในที่มีความแห้ง (xerophilic fungi) สามารถเติบโตได้ในที่มีวอเตอร์แอคติวิตี 0.65 และออสโมฟิลิกยีสต์เติบโตได้ในที่มีวอเตอร์แอคติวิตี 0.60 อาหารแห้งควรมีความชื้นต่ำกว่าที่จุลินทรีย์จะใช้ในการเติบโต (บุษกร อุตรภิชาติ, 2550)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุดสำหรับการเจริญของยีสต์และราที่ทำให้อาหารเสีย

จุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุด
Candida utilis	0.94
Botrytis cinerea	0.93
Rhizopus stolonifer (nigricans)	0.93
Mucor spinosus	0.93
Candida scottii	0.92
Trichosporon pullulans	0.91
Candida zeylanoides	0.90
Saccharomycopsis vernalis	0.89
Alternaria citri	0.84
Aspergillus glaucus	0.70
Aspergillus echinulatus	0.64
Zygosaccharomyces rouxii	0.62

ที่มา : Jay, Loessner and Golden (2005)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัฒนา ศรีวรมย์ (2536) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำผึ้งและน้ำตาลซูโครสในการแปรรูปสับปะรดแช่อิ่ม โดยใช้อัตราส่วนของน้ำผึ้งและน้ำตาลในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0 : 10, 2 : 8 และ 1 : 9 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส

ดุลย์จิรา สุขบุญญสถิต (2537) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของสับปะรดหลังการออสโมซิส จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ 60 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง เมื่อเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจะขัดขวางการเคลื่อนที่ออกของน้ำในสับปะรด

ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา (2542) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณชิ้นมะม่วงต่อปริมาณสารละลายออสโมติกและจำนวนขั้นตอนในการแช่ในสารละลายออสโมติกต่อการลดปริมาณน้ำในชิ้นมะม่วง คุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้ง พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณชิ้นมะม่วงต่อปริมาณสารละลายออสโมติกและจำนวนขั้นตอนในการแช่ในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ถูกขจัดออกจากชิ้นมะม่วงมีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณลักษณะทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพบางประการ แต่การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งไม่แตกต่างกัน

วนิดา สระทองคำและปราณี อ่านเปรื่อง (2544) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส ได้แก่ ผลของอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปต่อปริมาณการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่าเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น ปริมาณการสูญเสียน้ำ (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) จะเพิ่มขึ้นด้วย อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิส คือ 1:3 การศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทอง พบว่าฟักทองอ่อนที่มีความชื้นร้อยละ 87-92 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) 6.0-9.0 องศาบริกซ์ เมื่อนำมาทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำ (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

ศรีวิกรณ์ ดิษฐอุดมโพธิ์ และชลธิชา ปิตตาระเต (2550) ศึกษาผลของตัวถูกละลายออสโมติก ได้แก่ ซูโครส ซอร์บิทอล และมอลทิทอล ที่มีต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิสมะเขือเทศ เมื่อแช่มะเขือเทศในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ พบว่าการใช้มอลทิทอลทำให้มะเขือเทศมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดและการใช้ซอร์บิทอลทำให้มีของแข็งเพิ่มมากที่สุด เนื่องจากซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย จึงทำให้มีของแข็งเพิ่มขึ้นมากและอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียน้ำและการเพิ่มของแข็งน้อย

อาภัสสร ศิริจริยวัตร และสิรินาฏ เนติศรี (2552) ศึกษาอิทธิพลของระยะการสุก สารละลายที่ใช้ในการแช่อิ่ม และอุณหภูมิในการแช่อิ่มต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่ม พบว่าผู้บริโภคให้ค่าคะแนนความชอบต่อผลหม่อนแช่อิ่ม ระยะผลสีแดงมากกว่าระยะผลสีชมพูในทุกด้าน การแช่อิ่มในสารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส (60 % w/w) และเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ไม่เติมเกลือและเติมเกลือ 1% w/w) และใช้อุณหภูมิในการแช่อิ่ม 3 ระดับ (30 50 และ 70 องศาเซลเซียส) ผลที่ได้พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิในการแช่อิ่ม โดยการใช้สารละลายแช่อิ่มผสมระหว่างน้ำตาล (60% w/w) และเกลือ (1% w/w) ที่อุณหภูมิในการแช่อิ่ม 70 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำสูงที่สุด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณิตตา พัฒนาภา และนันทวัน เทอดไทย (2552) ศึกษาอิทธิพลของสารละลายออสโมติก 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ได้แก่ สารละลายซูโครส สารละลายกลีเซอรอลและสารละลายผสมระหว่างซูโครสกับกลีเซอรอล ต่อคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุด ส่วนผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ในสารละลายผสมระหว่างซูโครสกับกลีเซอรอลได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบ

Lerici, Pinnavaia, Rosa and Bartolucci (1985) ศึกษาผลของสารละลายออสโมติก ได้แก่ สารละลายซูโครส สารละลายฟรักโทส สารละลายกลูโคส สารละลายผสมระหว่างกลูโคสและฟรักโทสในอัตราส่วน 1 : 0.8 และน้ำเชื่อมจากแป้งข้าวโพดที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed Corn Starch Syrup) รวมทั้งผลของการเติมโซเดียมคลอไรด์ และรูปทรงของตัวอย่าง ต่อคุณภาพของแอปเปิลแช่อิ่ม พบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้ขึ้นอยู่กับ a_w ของสารละลายออสโมติกเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างด้วย ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายออสโมติก รูปทรงของตัวอย่าง และธรรมชาติของตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายออสโมติกจะเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ในกระบวนการทำแห้งแอปเปิลแช่อิ่ม

Cohen and Yang (1995) ศึกษาการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสในผลเชอร์รีเด็ดขั้ว ผลบลูเบอร์รี และแครอทหั่นลูกเต๋า โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจุดเดือด) ความดัน (ความดันบรรยากาศและสุญญากาศ) ชนิดของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติก (ซูโครส ฟรักโทส เด็กซ์โทรส มอลโตเด็กซ์ทริน น้ำผึ้ง และเกลือ) และสัดส่วนของสารละลายออสโมติกต่อตัวอย่างอาหาร (2:1 และ 4:1) ผลการศึกษาสรุปได้ว่าปัจจัยต่างๆ มีผลต่อปริมาณของแข็งในอาหาร โดยสภาวะการทำแห้งแบบออสโมซิสที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ การใช้อุณหภูมิจุดเดือด ณ ความดันบรรยากาศ สารละลายซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีที่สุด และสัดส่วนของสารละลายออสโมติกต่อตัวอย่างอาหารที่ 4:1 ทำให้ปริมาณของแข็งในอาหารเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้สัดส่วน 2:1 เพียงเล็กน้อย

Riva, Compolongo, Leva, Maestrelli and Torreggiani (2005) ศึกษาการทำแห้งแบบออสโมติกใน แอปริคอตหั่นลูกเต๋าร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของผลไม้อบแห้ง โดยใช้สารละลายซูโครส และสารละลายซอร์บิทอลเป็นสารละลายออสโมติก พบว่าการทำแห้งแบบออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครสช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งในช่วงแรกของเฟสอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate phase) ปรับปรุงความคงตัวของสี ลดการหดตัวของโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดี การใช้ซอร์บิทอลช่วยรักษาความคงตัวของสีและปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด

El-Aouar, Azoubel, Barbosa Jr. and Murr (2006) ศึกษาผลของสารละลายออสโมติก (ซูโครสและน้ำเชื่อมข้าวโพด) ต่อการทำแห้งแบบออสโมซิสของมะละกอหั่นชิ้น โดยมีตัวแปรอิสระคือ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ตัวอย่าง ตัวแปรตามคือการลดลงของน้ำหนัก (Weight Reduction; WR) ปริมาณการสูญเสียน้ำ (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ผลการศึกษาพบว่าที่แรงดันออสโมติกเดียวกัน การใช้สารละลายซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกส่งผลให้ WR, WL และ SG ของผลิตภัณฑ์สูงกว่าการใช้น้ำเชื่อมข้าวโพด เนื่องจากสารละลายซูโครสมีความหนืดและปริมาณโพลีแซคคาไรด์สูงกว่าน้ำเชื่อมข้าวโพด แต่ทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าการใช้น้ำเชื่อมข้าวโพด

Ali, Moharram, Ramadan and Ragab (2010) ทดลองทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสในกล้วยหั่นแว่นและมะเขือเทศฝานและหั่นครึ่งตามแนวยาว โดยศึกษาผลของสารละลายออสโมติกต่อกลไกการทำแห้ง คุณลักษณะด้านสี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า น้ำหนักของอาหารลดลงมากที่สุดเมื่อใช้สารละลายซูโครส 100% ในกล้วย ส่วนในมะเขือเทศพบการลดลงของน้ำหนักอาหารมากที่สุดเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 30% และสารละลายผสมระหว่างซูโครสกับเกลือในอัตราส่วน 1:1.5 คุณลักษณะด้านสีพบว่าค่า Chroma (C*) และค่าสีแดง (a*) ของมะเขือเทศลดลงตลอดระยะเวลาการทำแห้ง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณสารละลายซูโครสและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทำแห้งแบบออสโมติกในมะเขือเทศมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าการยอมรับโดยรวม