บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหม่อน เสาวรส และสับปะรด

2.1.1 หม่อน (Mulberry) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ *Maraceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Morus* spp. ผลของหม่อนมีลักษณะเป็นผลขนาดเล็ก เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง และมีสีแดงเข้มหรือแดงดำเมื่อสุกงอม เนื่องจากมีสารสี (pigment) ในกลุ่มของแอนโทไซยานิน (anthocyanins) อยู่สูง และเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) น้ำจากผลหม่อนมีลักษณะเป็นสีแดงเข้มมีสัดส่วนของความเปรี้ยว (tartness) กับความหวาน (sweetness) ที่สมดุลกัน ใกล้เคียงกับผลองุ่น มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8-10% ผลหม่อนมีสรรพคุณทางยา เช่น ใช้รักษาโรคไขข้ออักเสบ โรคโลหิตจาง โรคเบาหวาน อาการท้องผูก อาการขาดประจำเดือน จากการที่ผลหม่อน มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรค จึงมีการศึกษาวิจัย พบว่ามีสารประกอบเควอซิตินที่เป็นสารในกลุ่มฟลาวานอยด์ (flavanoid) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซีเดชัน (antioxidant) จากผลหม่อนแห้งสุก 17.63 mg/100 g และในผลหม่อนสุกมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ เช่น คาร์โบไฮเดรตรวมน้ำตาล 21.35 g/100 g เหล็ก 43.48 mg/100 g วิตามินบีหนึ่ง 50.65 mg/100 g และวิตามินบีหก 930.10 mg/100 g (วสันต์, 2546)

โดยทั่วไปต้นหม่อนจะให้ผลในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคมของทุกปี และให้ผลผลิตเป็นระยะเวลาสั้น คือ ประมาณ 30-40 วันเท่านั้น หม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่ ให้ผลผลิตผลหม่อนสดประมาณ 600-700 kg/ไร่/ปี และเมื่อหม่อนมีอายุมากขึ้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนมากขึ้นตามลำดับ จากการวิจัยการเก็บรักษาผลหม่อนสดพันธุ์เชียงใหม่ที่ระยะความสุกแตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาผลหม่อนสุกงอมที่อุณหภูมิห้อง (31$\pm$4°C) พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานเพียง 2 วันเท่านั้นก็เกิดการเน่าเสียแล้ว (ธิติพันธ์, 2549) ผลหม่อนสดเป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่าย มีเนื้อที่อ่อนนุ่ม ผลบอบช้ำได้ง่ายมาก จึงมีการนำผลหม่อนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งในด้านการบริโภคในรูปผลสด และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไวน์ น้ำหม่อน ลูกอมผลหม่อน แยมผลหม่อน เยลลี่ผลหม่อน ผลหม่อนแช่อิ่ม และผลหม่อนอบแห้ง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเรื่องการเน่าเสียของผลหม่อนสุกลงได้ (ธิติพันธ์, 2549)

2.1.2 เสาวรส (Passion fruit) เป็นไม้ผลประเภทเถาเลื้อยอยู่ในตระกูล *Passifloraceae* โดยมีลักษณะลำต้นเป็นเถา มีมือเกาะออกตามซอกใบ และเมื่อผลสุกจะมีสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของพันธุ์ โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมี 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ผลสีม่วง พันธุ์ผลสีเหลือง และพันธุ์ลูกผสม เสาวรสสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นเขตอากาศเย็นทางภาคเหนือหรือเขตอากาศร้อนชื้นทางภาคกลาง และภาคตะวันออก ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย การดูแลรักษาไม่ยุ่งยากให้ผลผลิตต่อไร่สูง จึงเป็นพืชที่สามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกรได้ดี ประกอบกับตลาดต่างประเทศมีความต้องการสูง ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสาวรสประกอบด้วย น้ำ 76-85% ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 17.4% คาร์โบไฮเดรต 12.4% ปริมาณกรดอินทรีย์ 3.4% นอกจากนั้นยังมีพวกสารแคโรทีนอยด์ สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบที่ให้กลิ่น วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งเอนไซม์ด้วย (วิภาพรรณ, 2547)

2.1.3 สับปะรด (Pineapple) เป็นพืชที่มีชื่อ วิทยาศาสตร์ว่า *Ananus comosus* Merr. มีชื่อท้องถิ่นว่า มะขะนัด มะนัด (ภาคเหนือ) ขนุนทอง ยานัด (ภาคใต้) หมากนัด (ภาคอีสาน และลาว) สับปะรดเป็นพืชล้มลุกหลายปี ลำต้นสั้น และแข็ง ใบออกสลับโดยรอบต้น ใบเรียวยาว ปลายแหลม ดอกออกเป็นช่อ ช่อดอกมีก้านยาว ผลมีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือทรงกระบอก การปลูกนิยมใช้หน่อปลูก สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ชอบดินร่วนปนทรายไม่ชอบน้ำขัง สับปะรดมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเช่น มีเกลือแร่ วิตามินต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย การนำน้ำสับปะรดไปแช่เนื้อสามารถทำให้เนื้อนุ่มได้ด้วย (สาลิกา, 2545) ในเนื้อสับปะรด 100 g มีส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการคือ มีความชื้น 84.90 g พลังงาน 54.0 แคลอรี ไขมัน 0.30 g คาร์โบไฮเดรต 14.0 g โปรตีน 0.40 g ฟอสฟอรัส 8.0 mg เหล็ก 0.40 mg แคลเซียม 22.0 mg เส้นใยมี 0.50 g และวิตามินอื่น ๆ (กองโภชนาการ, 2548)

2.2 เทคโนโลยีการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้น

น้ำผลไม้เป็นอุตสาหกรรมเกษตรประเภทหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อประเทศลุ่มแม่น้ำโขงในแถบเอเชียตาวันออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีผลไม้ออกในฤดูกาล และมีปริมาณมากเกินความต้องการของตลาด ซึ่งทำให้ราคาตกต่ำ และเกิดความสูญเปล่าจากการเน่าเสีย ดังนั้นการนำผลไม้มาสกัดเพื่อแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ จะทำให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรให้สูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และลดความเสียหายที่เกิดจากข้อจำกัดของอายุการเก็บรักษาลง

2.2.1 ประเภทของน้ำผลไม้

น้ำผลไม้สามารถแบ่งออกได้ตามกรรมวิธีการผลิต และความนิยมของตลาดได้ดังนี้

1) น้ำผลไม้พร้อมดื่ม เป็นชนิดที่สามารถดื่มได้ทันที ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำผลไม้ที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และวิธีการผลิตของโรงงาน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภทย่อย คือ น้ำผลไม้ 100% (น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำหม่อน และน้ำเสาวรส) และน้ำผลไม้ 25 - 50% (น้ำฝรั่ง และน้ำมะม่วง) ซึ่งไม่สามารถผลิตเป็นน้ำผลไม้พร้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดื่ม 100% ได้ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำอยู่น้อย ทำให้สกัดเอาน้ำออกมาได้ยาก แต่ต้องนำมาเจือจาง และปรุงแต่งรสชาติก่อนการบริโภค (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

2) น้ำผลไม้ปรุงแต่งกลิ่น ผลิตจากการนำผลไม้ หรือเนื้อผลไม้ประมาณ 25% ขึ้นไป เจือสีสังเคราะห์ แล้วทำให้เข้มข้นด้วยน้ำตาล โดยต้องนำไปผสมน้ำตามอัตราส่วนที่ระบุ เพื่อลดความเข้มข้นลงก่อนการบริโภค ทั้งนี้น้ำผลไม้ประเภทปรุงแต่งกลิ่นของแต่ละผู้ผลิต จะมีอัตราส่วนของการเจือจางที่แตกต่างกัน

3) น้ำผลไม้สำเร็จรูปชนิดผง ผลิตโดยการนำน้ำผลไม้มาคั้นระเหยน้ำออก ทำให้แห้งเป็นผง แล้วนำไปบรรจุในถุงซง เพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และบริโภค น้ำผลไม้สำเร็จรูปชนิดผงที่เห็นกันมากที่สุด ได้แก่ ส้ม มะตูม ขิง เป็นต้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

4) น้ำผลไม้เข้มข้น เป็นน้ำผลไม้ที่ผลิตได้จากการนำผลไม้แท้ ไปผ่านกระบวนการทำเข้มข้นโดยใช้วิธีต่าง ๆ เช่น การทำเข้มข้นแบบใช้อุณหภูมิสูง การทำเข้มข้นแบบระเหยภายใต้สุญญากาศ และวิธีการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออก จนได้เป็นน้ำผลไม้ที่เข้มข้น ซึ่งมีสารที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เกิน 40% โดยน้ำหนัก (มาตระฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549) เมื่อนำไปบริโภคต้องมีการเจือจางด้วยน้ำตามสัดส่วน เพื่อให้ได้รสชาติตามที่ต้องการ น้ำผลไม้ประเภทนี้นิยมผลิตเพื่อส่งออกเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้น้ำผลไม้เข้มข้นส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

เนื่องจากการเก็บรักษาผลไม้ชนิดต่าง ๆ มักเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ทำให้ผลผลิตได้รับความเสียหาย นอกจากนี้การเก็บรักษาผลไม้ในรูปแบบผลสด ยังเป็นวิธีที่ใช้พื้นที่มาก และไม่สะดวกต่อการนำมาใช้ประโยชน์ การนำผลไม้มาผลิตเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นนั้น เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายโดยไม่ต้องผ่านหลายขั้นตอน แต่สามารถแยกเอาน้ำบางส่วนในน้ำผลไม้ออกไป ซึ่งน้ำผลไม้ที่ได้จะอยู่ในรูปของของเหลวที่เข้มข้นขึ้น สามารถเก็บรักษาได้นาน และยังคงรักษากลิ่นและรสของผลไม้ชนิดนั้น ๆ ได้ โดยที่ไม่ต้องมีการเติมกลิ่นลงไป

2.2.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

กรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีหลักดังนี้

1) การทำให้เข้มข้นโดยการใช้ความร้อน

1.1) การทำให้เข้มข้นแบบการระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูง เป็นวิธีการที่ทำให้น้ำผลไม้มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยการใช้ความร้อนไประเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ ผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การระเหย (evaporation) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น เช่น น้ำผลไม้เข้มข้น การระเหย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นวิธีการทำให้น้ำในน้ำผลไม้ร้อนขึ้น จนถึงจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำในน้ำผลไม้ระเหยกลายเป็นไอ แล้วแยกออกจากน้ำผลไม้ การระเหยน้ำออกโดยใช้อุณหภูมิสูงนั้นมีข้อดี คือ สามารถทำได้ง่าย ได้ผลไม้ที่มีความเข้มข้นตามต้องการ และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตต่ำ เป็นต้น ส่วนข้อเสียนั้นจะมีผลต่อสารหอมระเหยหลายชนิดที่มีการระเหยง่ายในน้ำผลไม้ เกิดการสูญเสียระหว่างการผลิต ทำให้ผลไม้เข้มข้นที่ได้ มีคุณภาพด้าน สี กลิ่น รสชาติต่ำ และมีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเหลวอีกด้วย (รุ่งนภา, 2549)

1.2) การทำให้เข้มข้นแบบการระเหยภายใต้สุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้นที่มีคุณภาพดี เช่น มีสี กลิ่น และรสชาติตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความดันต่ำลงจะทำให้จุดเดือดของน้ำผลไม้เกิดการระเหยลดต่ำลงตามไปด้วย ซึ่งเครื่องระเหยจะประกอบด้วย ตัวหม้อระเหยน้ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปั๊มสุญญากาศคอนเดนเซอร์ และทางออกของผลิตภัณฑ์เข้มข้น (รุ่งนภา, 2549)

2) การทำให้เข้มข้นโดยไม่ใช้ความร้อน

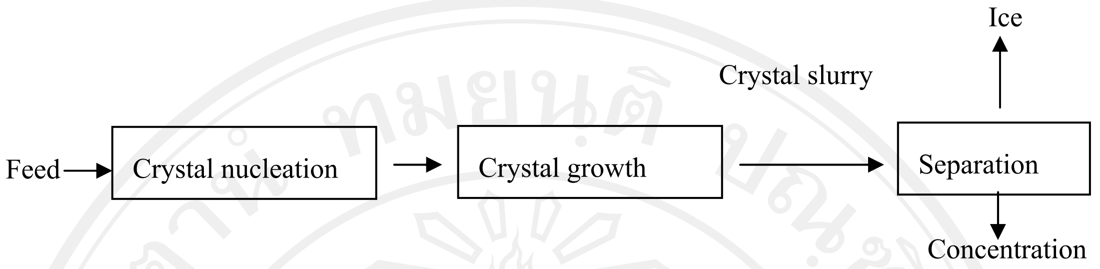
2.1) การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ทำให้เกิดการแข็งตัวน้ำบางส่วนในน้ำผลไม้ แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยการแยกเอาผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำผลไม้ ดังนั้นจะทำให้ส่วนประกอบหลักที่เป็นของแข็งถูกละลาย เกิดการรวมตัวกับปริมาณน้ำที่เหลือน้อยลง กระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งนี้มีข้อดี คือ ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของสารระเหยในอาหาร เนื่องจากเป็นกระบวนการแปรภาพที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และป้องกันการเสื่อมสลายของสารอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับการทำเข้มข้นแบบอื่น เช่น การทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยโดยใช้ความร้อนสูง ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารอาหารในปริมาณมาก ข้อเสียของกระบวนการนี้ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง เนื่องจากต้องใช้ระบบที่ซับซ้อน การกำจัดผลึกน้ำแข็งออกโดยที่ไม่มีการสูญเสียของสารถูกละลายเลยนั้นทำได้ยาก คือ เมื่อทำให้น้ำในน้ำผลไม้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ของแข็งบางส่วนในน้ำผลไม้จะติดไปกับน้ำแข็งที่แยกออกไป เช่น สี กลิ่น และรสชาติของน้ำผลไม้ ถึงแม้วิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความเข้มข้นขึ้น และมีรสชาติใกล้เคียงกับของสดก็ตาม (Fellows, 1998)

2.3 กระบวนการทำน้ำผลไม้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปกระบวนการทำน้ำผลไม้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง (crystal nucleation) การขยายตัวของผลึกน้ำแข็ง (crystal growth) และการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำผลไม้ (separation) (ภาพที่ 2.1) โดยส่วนของการผลิตผลึกน้ำแข็ง ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำผลไม้ จนกระทั่งน้ำในน้ำผลไม้เกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง ในส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นี้น้ำผลไม้จะเป็นของผสมระหว่างผลึกน้ำแข็งกับน้ำผลไม้ส่วนที่เหลือ ซึ่งจะมีสภาพคล้ายโคลน (slurry) จากนั้นเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำผลไม้ ได้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น

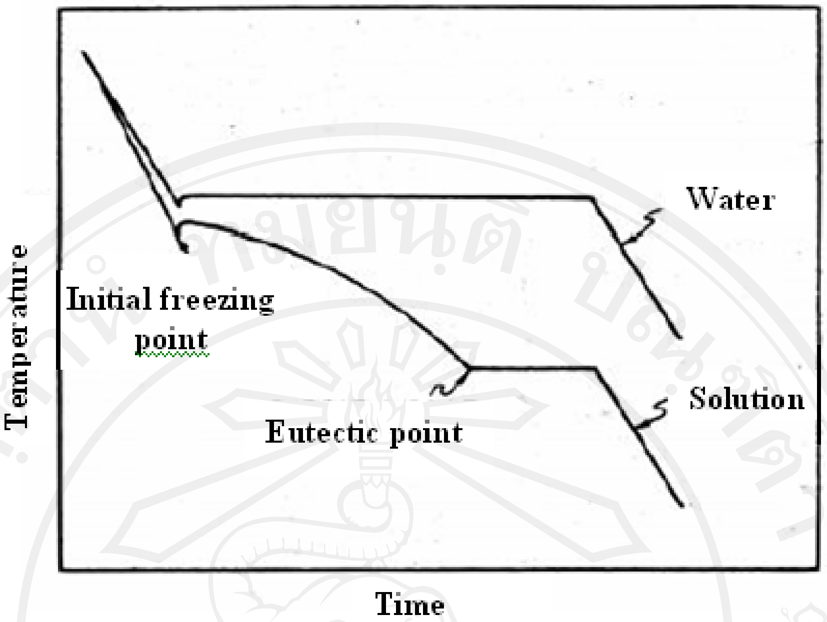


ภาพที่ 2.1 กระบวนการพื้นฐานของการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง

ที่มา : Thijssen, 1997

ขั้นตอนของการลดอุณหภูมิของของเหลว เพื่อทำให้น้ำในของเหลวเกิดผลึกน้ำแข็งนั้น เมื่อความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของของเหลว ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเกิดซุปเปอร์คูลลิ่ง (supercooling: การทำให้เย็นยิ่งยวด คือ อุณหภูมิของน้ำลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์ แต่ยังไม่เกิดผลึก) ในช่วงนี้ความร้อนจะถูกกำจัดออกไป ในรูปความร้อนแฝงของน้ำทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง หลังจากน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งจนหมดแล้ว ถ้าความร้อนถูกกำจัดอกจากระบบต่อไป อุณหภูมิก็จะลดลงอีก (ภาพที่ 2.2) ซึ่งการแช่เยือกแข็งช่วงเริ่มต้น จะก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งของน้ำ เป็นผลให้สารละลายที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นขึ้น จุดเยือกแข็งของส่วนที่ยังไม่แข็งตัว (unfrozen) จะลดต่ำลงไปอีก ซึ่งกระบวนการแช่แข็งที่ดำเนินต่อไป ทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายเข้มข้นลดลงจนถึงจุดที่เรียกว่า จุดยูเทกติก (eutectic point) หลังจากนั้นเมื่อกำจัดความร้อนออกไปอีก จะเกิดผลึกของตัวถูกละลายขึ้นมา (รุ่งนภา, 2535) กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยวิธีแบบแช่เยือกแข็งนี้ โดยปกติแล้วกระบวนการจะต้องหยุดก่อนถึงจุดยูเทคติกเสมอ เนื่องจากกระบวนการจะมีปัญหาที่เกิดจากความหนืดมากเกินไป จะเป็นผลให้ไม่สามารถแยกน้ำแข็งออกจากสารละลายเข้มข้นได้ (Deshpande *et al.,* 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

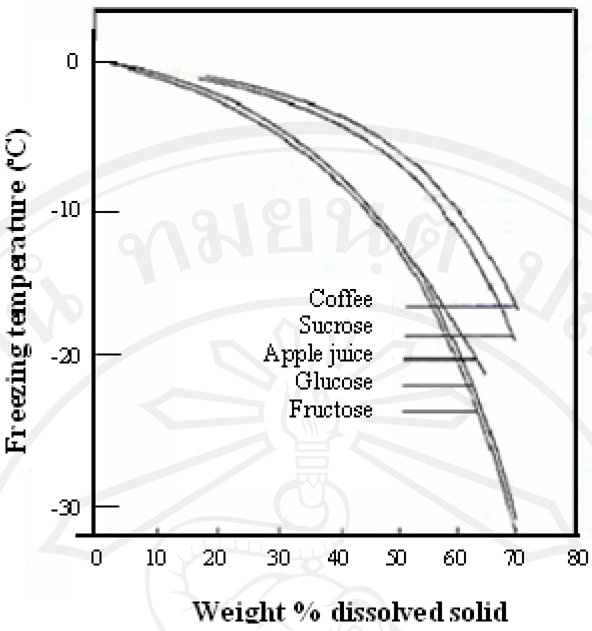


ภาพที่ 2.2 กราฟเปรียบเทียบการแช่แข็งของน้ำบริสุทธิ์และสารละลายที่มีตัวถูกละลายชนิดเดียว

ที่มา : Heldman and Singh, 1981

เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิจุดเยือกแข็งจะมีค่าลดต่ำลง (freezing point depression) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากตัวถูกละลายมีโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือ น้ำตาล ที่มีอยู่จะเป็นสาเหตุที่ทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้สารละลายนั้นมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า $0^{\circ}C$ ซึ่งจุดเยือกแข็งจะมีอุณหภูมิเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของตัวถูกละลายในสารละลายนั้น (Thijssen, 1975) เมื่อพิจารณาเส้นโค้งการแช่แข็ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเยือกแข็งกับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ (ภาพที่ 2.3) พบว่าเมื่อทำการแช่แข็งน้ำแอปเปิลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ประมาณ 11% ส่วนที่เป็นน้ำจะเริ่มเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ $-1^{\circ}C$ ในขณะที่ต้องใช้อุณหภูมิในการแช่แข็งประมาณ $-14^{\circ}C$ เพื่อทำให้น้ำแอปเปิลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อยู่ประมาณ 50% เกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง (Van Pelt and Swinkels, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.3 เส้นโค้งการแช่แข็งของสารละลายกาแฟสกัด น้ำแอปเปิลและสารละลายน้ำตาลบางชนิด
ที่มา : Thijssen, 1975

2.3.1 การเกิดผลึกน้ำแข็ง (Crystal nucleation)

เมื่อสารละลายถูกลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็ง น้ำจะเริ่มกลายเป็นของแข็ง โดยธรรมชาติของการลดอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนไม่สามารถที่จะทำให้ทุกจุดในสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากันได้ ผลึกน้ำแข็งจะเริ่มจากจุดเล็ก ๆ ที่มีอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด (supercooling) ซึ่งจะต่ำกว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของสารละลาย อัตราการเกิดจุดผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ เหล่านี้จะมีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย คือ ถ้ามีอัตราการเกิดจุดผลึกเล็ก ๆ มากจะเป็นผลให้ความเข้มข้นของสารละลายสูง เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ในสารละลายได้เปลี่ยนรูปไปเป็นของแข็งมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วนิวคลีเอชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) ไพรมารีนิวคลีเอชัน (Primary nucleation)

1.1) โฮโมจีเนียส นิวคลีเอชัน (Homogeneous nucleation) โฮโมจีเนียสนิวคลีเอชันจะเกิดขึ้นเฉพาะกับสารละลายที่มีความบริสุทธิ์อย่างมาก เช่น สารละลายที่ประกอบจากน้ำแข็งบริสุทธิ์ และน้ำบริสุทธิ์ โดยนิวคลีไอจะเป็นกลุ่มของโมเลกุลน้ำที่รวมตัวกันอย่างสุ่มส่วน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วโฮโมจีเนียสนิวคลีเอชัน มักไม่ค่อยเกิดและไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากควบคุมได้ยาก (รุ่งนภา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2) เฮเทอโรจีเนียส นิวคลีเอชัน (Heterogeneous nucleation) นิวคลีเอชันชนิดนี้เกิดขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของน้ำ หรืออาจจะเป็นโมเลกุลของตัวถูกละลายไปจับตัวกับสิ่งแปลกปลอม เช่น อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในสารละลาย ซึ่งอนุภาคเหล่านี้ จะกระทำตัวเป็น นิวคลีไอส โดยอนุภาคเหล่านี้ต้องมีโครงสร้างคล้ายกับผลึกน้ำแข็ง (รุ่งนภา, 2544)

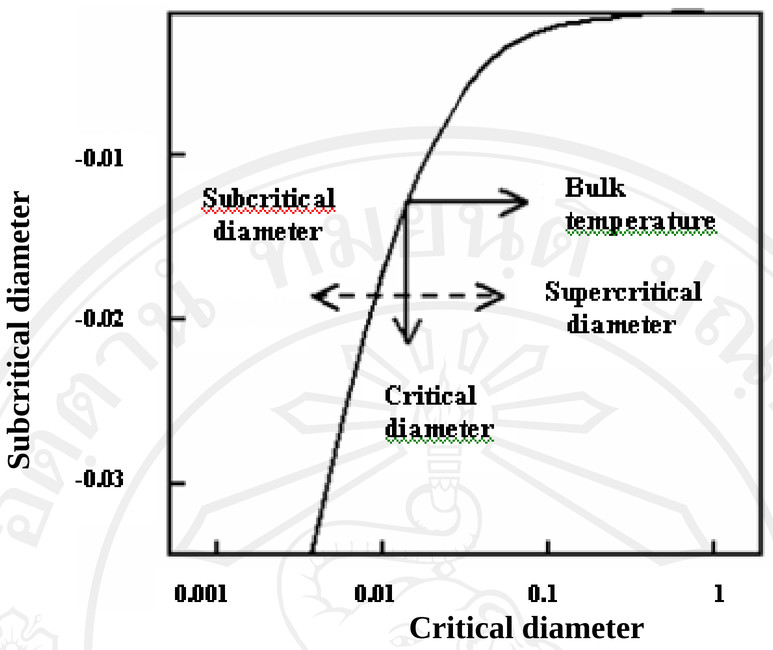
2) เซคอนดารี นิวคลีเอชัน (Secondary nucleation)

2.1) นิวคลีเอชันแบบสัมผัส (Contact nucleation) เกิดจากการที่ผลึกที่มีอยู่ เกิดการชนกันเอง หรือชนกับผนังใบกวนแล้วชิ้นส่วนเล็ก ๆ แตกออกจากผลึก โดยทั่วไปอัตราการเกิดผลึกหรือนิวคลีเอชันของอาหารเหลวจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดผลึกจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม ของสารละลาย และขึ้นอยู่กับการกวนของสารละลาย การกวนจะมีผลทำให้อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดของจุดผลึกเล็ก ๆ ลดลง (Thijssen, 1975)

2.2) นิวคลีเอชันแบบการเฉือนของของไหล (Fluid shear nucleation) เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุล หรือหน่วยต่าง ๆ ที่รวมกันอยู่อย่างหลวม ๆ ถูกแยกออกมาจากผิวของผลึก หรือถูกฉีกขาดโดยแรงลากของของเหลวหนืด ที่เคลื่อนที่ผ่านผิวของผลึกที่กำลังโตด้วยความเร็วสูง (Thijssen, 1975)

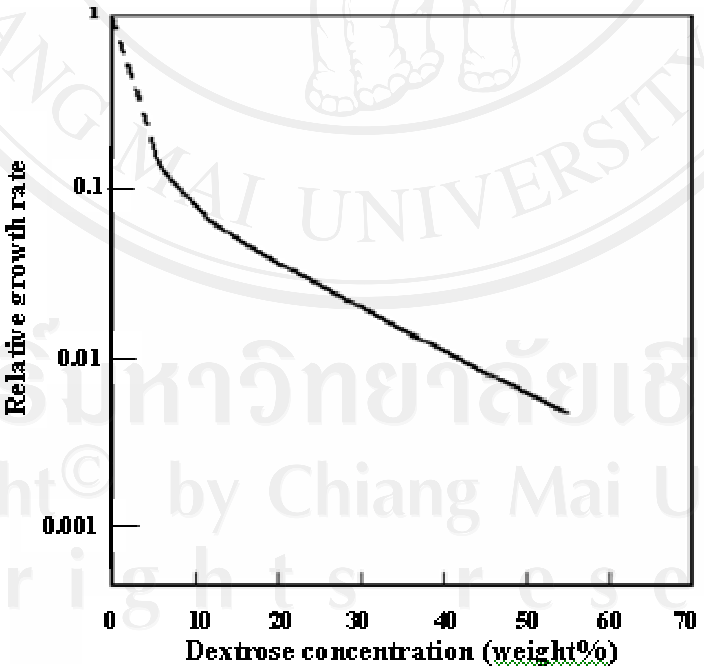
2.3.2 การขยายตัวของผลึกน้ำแข็ง (Crystal growth) การขยายตัวของผลึกน้ำแข็ง จะเกิดขึ้นหลังจากมีการเกิดจุดผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ จำนวนหนึ่งขึ้นมามากพอ โดยผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ เหล่านั้น การรวมตัวกันจะเกิดขึ้น เนื่องจากความสามารถในการละลายที่ไม่เท่ากันของผลึกก้อนเล็ก และผลึกก้อนใหญ่ที่มีในระบบ ซึ่งผลึกก้อนเล็กสามารถละลายได้ง่ายกว่าผลึกก้อนใหญ่ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลว และพลังงานอิสระที่ผิวต่ำกว่า (ภาพที่ 2.4) โดยทั่วไปอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของระบบ จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของผลึกก้อนใหญ่ และจะมีค่าสูงกว่าผลึกก้อนเล็ก ทำให้ผลึกก้อนเล็กเกิดการละลายมารวมกับผลึกก้อนใหญ่ เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลึกที่สามารถเติบโตต่อไปได้นั้นจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าเส้น ผ่าศูนย์กลางวิกฤต (critical diameter) ของผลึกในระบบ โดยปรากฏการณ์ที่ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นจาก การรวมตัวของผลึกเล็กๆ นี้จะเรียกว่าการบ่ม (ripening) ซึ่งขนาดของผลึกที่ได้จะขึ้นอยู่ที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลาย (ภาพที่ 2.5) อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวม (bulk supercooling) ระยะเวลาในการเลี้ยงผลึก (resident time) และความเป็นเทอร์บูเลนท์ (turbulence) ของสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดรวมกับขนาดวิกฤตของผลึก

ที่มา : Thijssen, 1975

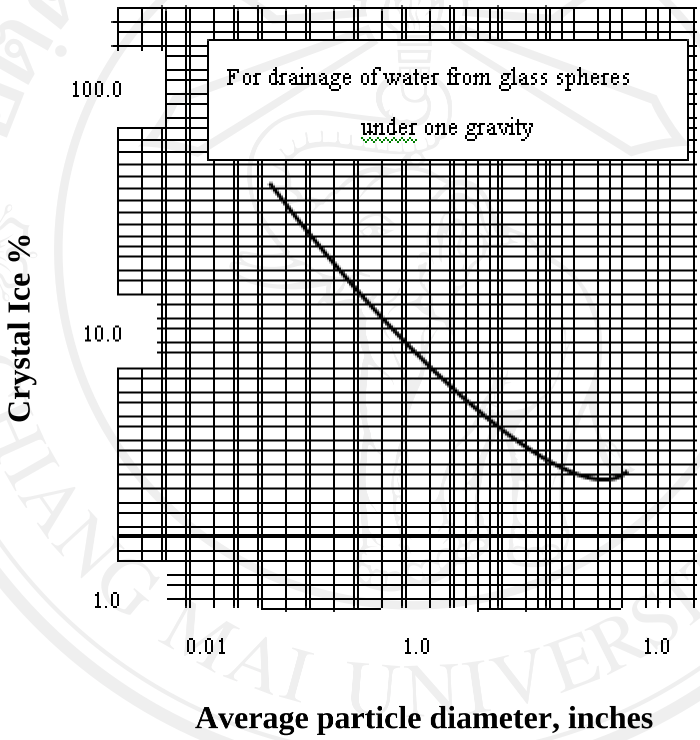


ภาพที่ 2.5 ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่มีต่อการเติบโตของผลึกของสารละลายเดกโตรส ที่มา : Thijssen, 1975

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแบบแช่เยือกแข็ง ต้องการผลึกน้ำแข็งที่มีลักษณะดังนี้

ก. ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ โดยขึ้นอยู่กับความเร็วในการแช่เยือกแข็ง และความเข้มข้น ซึ่งหากอัตราเร็วในการแช่แข็งช้าจะได้ผลึกน้ำแข็ง ที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้อัตราการแช่แข็งที่เร็ว โดยสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า (ภาพที่ 2.6) ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้สามารถแยกออกจากสารละลายเข้มข้นได้ง่ายขึ้น และมีการสูญเสียของสารละลายที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็งลดลง



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของผลึกกับปริมาณของเหลวที่จะติดไปบนผิวผลึก

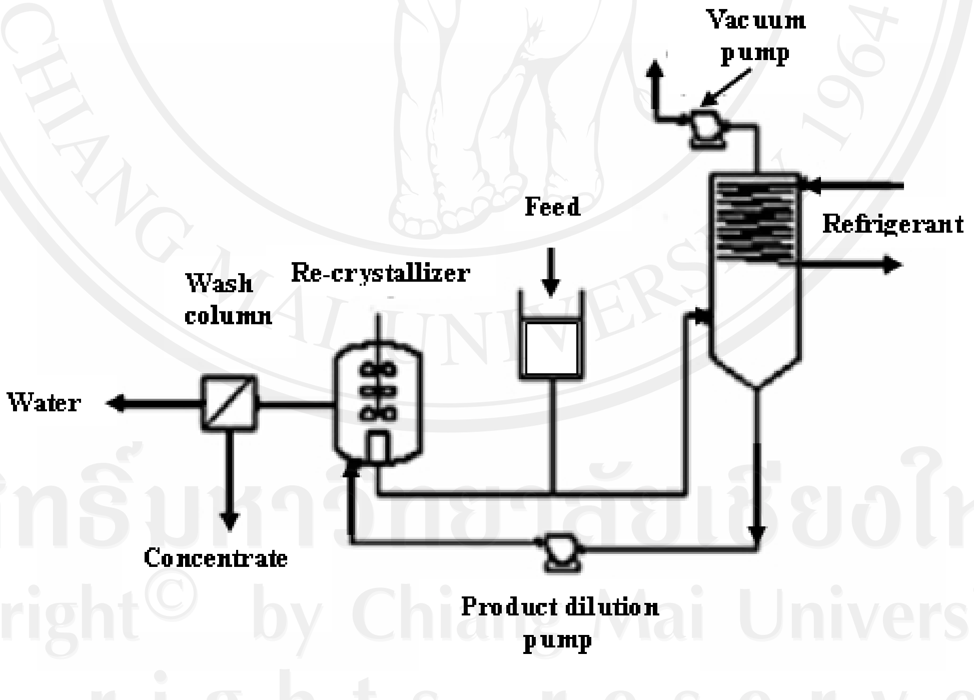
ที่มา: สมบัติ, 2535

ข. ความสมมาตรของผลึกน้ำแข็ง ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของตัวถูกละลาย พื้นที่ในการแช่เยือกแข็ง และอุณหภูมิในการแช่แข็ง โดยการที่จะได้ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรกันนั้นต้องมีการกระจายตัวของตัวถูกละลายที่ดี และมีพื้นที่ในการแช่แข็งที่เพียงพอ ผลึกน้ำแข็งที่มีความสมมาตรจะช่วยลดการสูญเสียของตัวถูกละลาย และของแข็งที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็ง โดยการกวนจะช่วยให้สารละลายเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง เป็นผลให้ได้ผลึกที่มีลักษณะคล้ายกัน และมีความกลมซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียของตัวถูกละลายจากกระบวนการเหวี่ยงแยก (Schwartzberg, 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างผลึกน้ำแข็ง ทำหน้าที่ดึงความร้อนแฝงของการกลายเป็นน้ำแข็ง (heat of crystallization) ออกจากของเหลว ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การดึงความร้อนออกจากสารละลายโดยตรง คือ การใช้การระเหยน้ำแบบสุญญากาศ และการดึงความร้อนออก โดยผ่านผนังเย็นจากระบบทำความเย็นดังนี้

1) การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนโดยตรง เป็นการผลิตผลึก โดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำ เมื่อความดันบรรยากาศลดลง ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในสารละลายลดลงตามไปด้วย เนื่องจากในขณะที่น้ำมีการระเหย จะมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปพร้อมกับการระเหย ส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายลดลง น้ำบริสุทธิ์ที่อยู่ในสารละลายมีอุณหภูมิลดลง (ภาพที่ 2.7) จนกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง จากการศึกษา พบว่าการผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนโดยตรงมีข้อดี คือ สิ้นเปลืองพลังงาน และเงินลงทุนน้อยกว่าการผลิตผลึก โดยการถ่ายเทความร้อนทางอ้อม แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้กลิ่นที่มีอยู่ในสารละลายระเหยไปพร้อมกับไอน้ำด้วย ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้ โดยการใช้วิธีดูดซับกลิ่นกลับคืน (Verschuurc *et al.,* 2002)



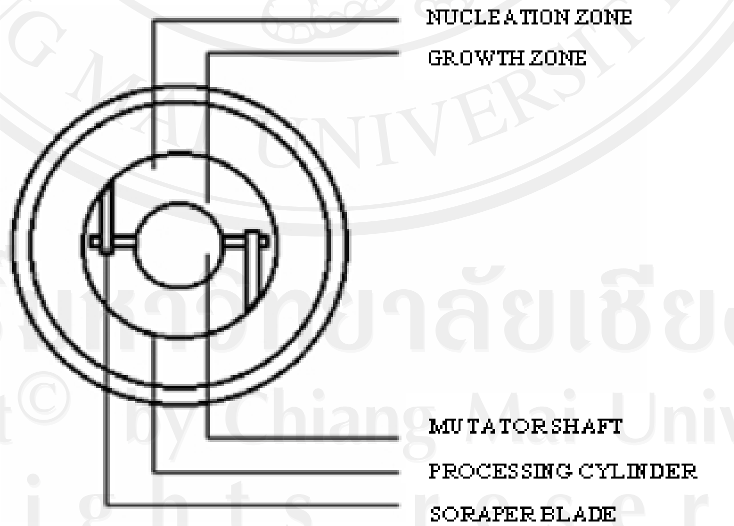
ภาพที่ 2.7 แผนภูมิกระบวนการผลิตผลึกด้วยการระเหยน้ำแบบสุญญากาศ

ที่มา : Verschuurc *et al.,* 2002

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) การผลิตผลึกโดยการถ่ายเทความร้อนทางอ้อม เป็นการผลิตผลึก โดยอาศัยหลักการดึงความร้อนออกจากสารละลาย ให้สารละลายผ่านผนังเย็น และนำความร้อนออก โดยใช้ระบบทำความเย็น อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวถ่ายเทความร้อนแบบขูดผิว (Van Pelt, 1975) ในการทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนด้านในของอุปกรณ์ประกอบด้วย ใบมีด ทำหน้าที่ขูดผลึกน้ำแข็งไม่ให้เกาะติดกับผนังเย็น ซึ่งอุปกรณ์ทำผลึกชนิดนี้แบ่งได้เป็น 2 ระบบตามรูปแบบของการทำงาน คือ

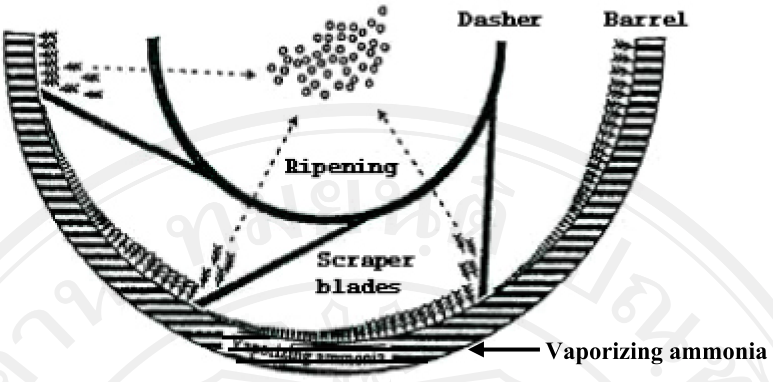
2.1) แบบผลิตพร้อมกับเลี้ยงผลึก โดยทั่วไปอุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วย ส่วนของการสร้างผลึก และส่วนของการเลี้ยงผลึกอยู่ในตัวเดียวกัน (ภาพที่ 2.8 และ 2.9) ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ โดยมีการทำงานของเครื่อง คือ เมื่อผิวเย็นทำหน้าที่ของการสร้างผลึกเล็ก (nucleation zone) แล้วผลึกเล็ก ๆ เหล่านั้นจะถูกใบขูดทำการขูดผลึกเหล่านั้นออกมาให้อยู่ในส่วนของการเลี้ยงผลึก (growth zone) ใบขูดของอุปกรณ์ชนิดนี้ ทำหน้าที่ในการกวนสารละลายเพื่อเพิ่มความเป็นเทอร์บูเลนท์ให้กับสารละลายด้วย ข้อดีของการผลิตผลึกแบบนี้ คือ อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูกกว่า จึงเหมาะสำหรับการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (batch type) และสามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ง่าย ส่วนข้อเสียของอุปกรณ์นี้ คือ มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบตกผลึกภายนอก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมพลังงานของการกวนได้เพราะใบกวน และใบขูดติดอยู่ในชุดเดียวกัน (Van Pelt, 1975)



ภาพที่ 2.8 ลักษณะภายในของเครื่องผลิตผลึกน้ำแข็งแบบใบขูด

ที่มา : Van Pelt, 1975

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของการเกิดผลึกพร้อมกับการขูดผลึกของใบปาด
ที่มา : Hartel, 1996

2.2) แบบตกผลึกภายนอกระบบ (External cooled crystallizer)

หลักการผลิตด้วยเครื่องผลิตผลึกด้วยวิธีนี้ คือ การแยกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำเนิดผลึกออกจากถังกวน เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะได้ดีกว่าแบบแรก เหมาะสำหรับระบบการผลิตที่เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous type) แต่มีการลงทุนที่สูง และต้องการการควบคุมสภาวะที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก โดยวิธีผลิตผลึกแบบนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ

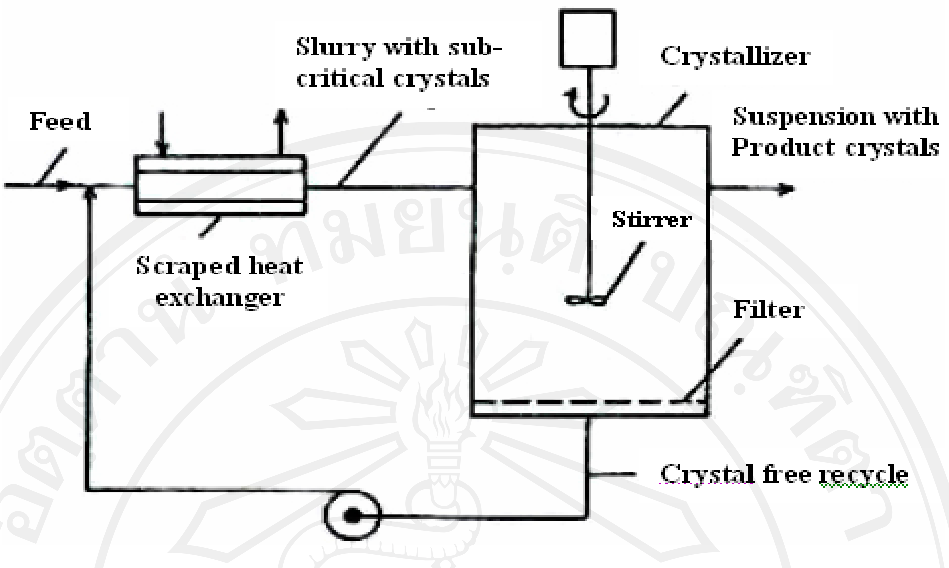
2.2.1) เครื่อง scrap surface heat exchanger อัตราทำความเย็นสูง

2.2.2) ถังบ่มผลึก (ripening tank)

2.2.3) ปั้ม (pump) ที่ทำหน้าที่ส่งสารละลายที่เป็นของเหลวกลับมาทำความเย็นได้อีก

ในกระบวนการผลิตผลึก ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนังของ scrap surface heat exchanger (ภาพที่ 2.10) ในอัตราที่สูง ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นนี้ อยู่ในรูปของ subcritical crystal เวลาที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะใช้เพียงไม่กี่วินาที จากนั้นผลึกน้ำแข็งเหล่านั้นจะถูกส่งอย่างต่อเนื่องไปสู่เครื่องผลิตผลึก (crystallizer) ผลึกที่ถูกส่งมาจะเกิดการละลายไปรวมกับผลึกที่มีขนาดใหญ่กว่าที่มีแล้วอยู่ในระบบ โดยในส่วนของการผลิตผลึกนี้จะใช้เวลาไม่ต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.10 ระบบของเครื่องผลิตผลึกแบบเลี้ยงผลึกภายนอก
ที่มา: Thijssen, 1975

2.3.3 การแยกผลึกน้ำแข็ง

เมื่อน้ำผลไม้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็งแล้ว จะได้สารละลายที่อยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมกับผลึกน้ำแข็ง แต่เนื่องจากต้องการสารละลายเข้มข้นเพียงอย่างเดียว จึงต้องมีการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลาย ซึ่งกระบวนการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งนี้ มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีกดบีบ (pressing) วิธีใช้แรงเหวี่ยงแยก (centrifuge) และวิธีใช้กระบอกล้าง (wash column)

1) วิธีกดบีบ เป็นวิธีที่ใช้ความดันช่วยในการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็ง โดยที่จะใช้ความดันอัดผ่านชั้นกรอง (filter press) ทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลายได้ แต่ในอุตสาหกรรมไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากจะมีสารละลายเข้มข้นปนอยู่ในน้ำแข็งมาก ซึ่งข้อดีของวิธีนี้ คือ มีการสูญเสียกลิ่นน้อยมาก เนื่องจากเป็นระบบปิด กลิ่นไม่สามารถกระจายออกไปได้

2) วิธีเหวี่ยงแยก เป็นวิธีการแยกผลึก โดยอาศัยแรงเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และมีแผ่นกรองเป็นตัวกันมิให้น้ำแข็งกลับไปผสมกับสารละลายเข้มข้นอีก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเหวี่ยงแยกได้แก่ ความเร็วการหมุนของตะแกรงแยก ขนาดของผลึก และความหนืดของสารละลายที่นำมาเหวี่ยงแยกออกจากผลึกน้ำแข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรกแล้ว พบว่าการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งด้วยวิธีนี้ มีประสิทธิภาพในการแยกผลึกสูงกว่า ในอุตสาหกรรมมีการใช้วิธีนี้อยู่บ้าง แต่ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กว้างขวาง เนื่องจากวิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียรสชาติ กลิ่นได้ง่ายและมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรงขณะทำการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็ง

3) วิธีกระบอกล้าง เป็นการแยกผลึกน้ำแข็งชนิดหนึ่งที่มีมาตรฐาน และมีประสิทธิภาพสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำให้เข้มข้นโดยวิธีแบบแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบปิดและไม่มีช่องว่างของอากาศอยู่เลย จึงสามารถรักษากลิ่นรสของสารละลายเข้มข้นได้เป็นอย่างดี วิธีการแยกผลึกน้ำแข็งสามารถทำได้ โดยจะทำการส่งสารละลาย crystal slurry เข้ามาทางด้านล่างของคอลัมน์ จากนั้นบังคับให้ผลึกน้ำแข็งเคลื่อนไปยังส่วนบน โดยใช้สกรู หรือลูกสูบที่มีรูพรุน ซึ่งมีน้ำล้างที่ได้จากการละลายของผลึกน้ำแข็งบางส่วน ไหลสวนทางกับผลึกน้ำแข็ง แล้วถูกแยกออกจากส่วนบนของคอลัมน์ ส่วนสารละลายเข้มข้นนั้นจะถูกแยกออกทางส่วนล่างของคอลัมน์

2.4 ข้อดี และข้อด้อยของกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง

กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็งมีข้อดี และข้อด้อยดังต่อไปนี้ (ทะนง, 2542)

2.4.1 ข้อดี

1) เป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาเอนไซม์ในน้ำผลไม้ช้าลง

2) น้ำแข็งที่แยกออกไปสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้ เช่น นำกลับมาควบแน่นสารทำความเย็น

3) เป็นวิธีที่สามารถเก็บรักษากลิ่นหอมระเหยได้มากกว่าวิธีอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อเจือจางแล้วจะได้น้ำผลไม้ที่มีรสชาติใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด

2.4.2 ข้อด้อย

1) ระดับความเข้มข้นที่ต้องการมักทำได้อย่างจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำผลไม้โดยเฉพาะความหนืด โดยปกติแล้วปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content) ของน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีค่าต่ำที่อุณหภูมิห้อง และมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้น จะมีผลึกปนอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ของเหลวมีความหนืดสูง ทำให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ลำบากขึ้น

2) วิธีทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ เพียงแต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่านั้น

3) การกำจัดผลึกน้ำแข็งออก โดยที่ไม่มีการสูญเสียของสารถูกละลายเลยนั้น ทำได้ยาก คือ เมื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์ในน้ำผลไม้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ของแข็งบางส่วนในน้ำผลไม้จะติดไปกับน้ำแข็งที่แยกออกไป เช่น สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ (Fellows, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำผลไม้เข้มข้น

จากการศึกษาการผลิตกาแฟผง โดยวิธีการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) หากขั้นตอนแรกได้มีการทำให้สารละลายกาแฟมีความเข้มขึ้นจาก 20% เป็น 40% โดยใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งก่อน แล้วจึงนำไปอบแห้งด้วยวิธีการระเหิดนั้น สามารถช่วยประหยัดต้นทุนลงได้ถึง 25% (สมบัติ, 2535)

Thijssen (1997) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นน้ำผลไม้ที่มีองค์ประกอบของสารระเหย (volatile) และกลิ่น (aroma) ระหว่าง กระบวนการระเหยพร้อมกับดูดซับกลิ่นกลับคืน กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส และกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่ากระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าอีก 2 แบบ ต่อมา (Bradock and Marcy, 1998) ได้นำวิธีการเพิ่มความเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งมาศึกษาในการผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตแบบใช้อุณหภูมิสูง พบว่าไม่มีความแตกต่างในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด ปริมาณแฮกโซส ปริมาณวิตามินซี ดัชนีบงชี้ความเป็นสีน้ำตาล สี และความหนืด แต่จะมีความแตกต่างทางด้านกลิ่นรสที่เกิดขึ้น โดยกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแบบแช่เยือกแข็งนั้นจะให้กลิ่นรสที่ดีกว่า

บุษรินทร์ และ รัชพล (2543) ได้ศึกษาน้ำสละในรูปของน้ำผลไม้เข้มข้น 25% โดยการแปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 15 และ 18% โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของเกลือที่ 0.10 และ 0.13% โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ 0.13 และ 0.16% โดยน้ำหนัก ผลการประเมินคุณภาพด้านรสหวาน รสเปรี้ยว สี กลิ่น และความชอบโดยรวม เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาต่อไป พบว่าสูตรความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15% โดยน้ำหนักเป็นสูตรที่มีความชอบโดยรวมดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ และจากการแปรผันความเข้มข้นใหม่ของน้ำสละที่ 10 13 และ 15% พบว่าสูตรน้ำสละที่มีความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดคือ 13% โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุด และเป็น ที่ยอมรับรวมของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ธนพล และ ศิวรักษ์ (2548) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ โดยศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำให้เข้มข้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือที่อุณหภูมิ 83.27°C ที่ความดัน 130 mbar ใช้เวลา 30.35 นาที ทำให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 75% ความชื้น 21.63%, a_w 0.719 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.19 ค่าสี L, a*, b* Chroma and Hue angle เท่ากับ 63.22, 10.11, 39.31, 40.59 และ 75.57° ตามลำดับ

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศเข้มข้น ด้วยวิธีการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็งแบบ progressive พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี ทั้งในด้านสี กลิ่น และคุณค่าทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โภชนาการใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศคั้นสดมากที่สุด (Liu *et al.*, 1998) การเกิดโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งนั้น พบว่าเมื่อสามารถควบคุมอัตราของการเกิดผลึกน้ำแข็งได้ด้วยวิธีการแบบ progressive ทำให้ได้ ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งง่ายต่อการแยกออกจากของเหลว (Miyawaki, 2001)

ปนัดดา และอัมพวัน (2546) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมะนาวเข้มข้นโดยใช้เทคนิคการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าเมื่อน้ำมะนาวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นนั้น จะมีการสูญเสียของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็งที่แยกออกไป ในปริมาณที่สูงด้วย ต่อมา (Siddharth, 2005) ก็ได้นำมาใช้ในการศึกษาการทำให้น้ำอ้อยเข้มข้นจาก 20% เป็น 40% เพื่อผลิตเป็นน้ำตาลทราย โดยเป็นการช่วยเพิ่มความเข้มข้นจากน้ำอ้อยที่ผ่านการต้มเดือดมาแล้ว พบว่าสามารถช่วยลดการเกิดคาราเมล (caramelisation) ในน้ำอ้อยได้ ทำให้ได้น้ำตาลที่มีสีขาวขึ้น และยังช่วยลดปริมาณของซางอ้อยลงได้ด้วย ถ้าเปรียบเทียบกับวิธีการทำให้เข้มข้นแบบใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะมีน้ำตาลซูโครสบางส่วนสูญเสียไปกับผลึกน้ำแข็งที่แยกออกไป

สงกรานต์ และสมชาย (2550) ได้ศึกษาการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์ผลหม่อนในน้ำเชื่อมที่บรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ทนร้อนชนิดอ่อนตัว ในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างกัน 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 นาที พบว่าเวลาที่ใช้ในการต้มฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับ สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และกลุ่มของเชื้อยีสต์และราลดลงเหลือน้อยกว่า $0.1x10^2$ cfu/g และ 10 cfu/g หลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ ห้องนาน 6 เดือน พบว่าในผลิตภัณฑ์ผลหม่อนยังมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า $0.1x10^2$ cfu/g ส่วนกลุ่มของเชื้อยีสต์และรามีจำนวน 30 cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved