บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะเกี๋ยง หม่อน เสาวรส สับปะรด ส้ม และแตงโม

2.1.1 มะเกี๋ยง มะเกี๋ยงเป็นพืชในอันดับ Myrtales จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cleistocalyx nervosum* var. paniala เป็นพืชยืนต้นที่มีขนาดใหญ่สูง 10-15 เมตร ลักษณะของผลมะเกี๋ยง เป็นผลสดมีเนื้อนุ่ม (berry) รูปไข่ ผลอ่อนสีเหลืองปนเขียว ผลแก่เปลือกบางสีแดง แดงปนม่วง ถึงม่วงปนดำ เนื้อผลสีขาวหนา 3–5 มิลลิเมตร เนื้อผลชั้นในเป็นเยื่อบางหุ้มรอบเมล็ด ในหนึ่งผล มีเมล็ดเพียง 1 เมล็ด เนื้อผลมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมเฉพาะ ผลมะเกี๋ยงจะเริ่มทยอยสุกและสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน เป็นพืชยืนต้นที่มีขนาดใหญ่สูง 10-15 เมตร แตกกิ่งก้านสาขามากมาย เปลือกลำต้นสีเทาปนขาว เปลือกร่อนเป็นแผ่น พบมากในแถบจังหวัดภาคเหนือตอนบน เช่น เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา และน่าน เติบโตดีในพื้นที่สูง โดยเฉพาะพื้นที่ริมห้วย หนอง คลองบึง ที่มีความชุ่มชื้น ตลอดปี ไม่มีน้ำท่วมขัง มักขึ้นอยู่ใกล้แหล่งที่อาศัยของมนุษย์ ผลมะเกี๋ยงนิยมนำมาบริโภคทั้งในรูปผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของผลมะเกี๋ยง มีผู้ศึกษาหลายท่านพบว่า มีฤทธิ์ในทางยาหลายๆ ด้าน จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า มีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยในส่วนเปลือกของมะเกี๋ยงพบสารในกลุ่มโพลีฟีนอล และแทนนิน ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกับที่พบในเปลือกและเมล็ดองุ่น สารนี้ทำหน้าที่จับกับสารกระตุ้นการเกิดมะเร็งที่เป็นอนุมูลอิสระทำให้ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้ จากคุณค่าทางโภชนาการของมะเกี๋ยง จึงมีการศึกษาการแปรรูปผลมะเกี๋ยงและพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำมะเกี๋ยงพร้อมดื่ม ไวน์มะเกี๋ยง เนคต้าร์มะเกี๋ยง มะเกี๋ยงแช่อิ่มแห้ง ชามะเกี๋ยง เยลลี่มะเกี๋ยง มะเกี๋ยงหยี มะเกี๋ยงดอง โยเกิร์ตมะเกี๋ยง และสีผสมอาหารจากมะเกี๋ยง (ทนงศักดิ์, 2544)

2.1.2 หม่อน หม่อนมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus spp.* ผลหม่อนมีลักษณะเป็นผลขนาดเล็ก เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง และมีสีแดงเข้มหรือแดงดำเมื่อสุกงอม เนื่องจากมีสารสีในกลุ่มของแอนโทไซยานินอยู่สูง และเป็นสารต้านออกซิเดชัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 8-10 ผลหม่อนมีสรรพคุณทางยา เช่น ใช้รักษาโรคไขข้ออักเสบ โรคโลหิตจาง โรคเบาหวาน อาการท้องผูก อาการขาดประจำเดือน และมีการศึกษาวิจัย พบว่ามีสารประกอบเคอร์ซิทินที่เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และในผลหม่อนสุกมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ เช่น คาร์โบไฮเดรต 21.35 กรัม/100 กรัม เหล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

43.48 มิลลิกรัม/100 กรัม วิตามินบีหนึ่ง 50.65 มิลลิกรัม/100 กรัม และวิตามินบีหก 390.10 มิลลิกรัม/100 กรัม เป็นต้น (วสันต์, 2546) แต่เนื่องจากผลหม่อนสดเป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่าย จึงมีการนำผลหม่อนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งในด้านการบริโภคในรูปผลสด และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำหม่อน ไวน์ ลูกอมผลหม่อน แยมผลหม่อน เยลลี่ผลหม่อน ผลหม่อนแช่อิ่ม และผลหม่อนอบแห้ง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเรื่องการเน่าเสียของผลหม่อนสุกลงได้ (ธิติพันธ์, 2549)

2.1.3 เสาวรส เสาวรสมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Passiflora laurifolia* Linn. (พันธุ์ผลสีเหลือง) เสาวรสเป็นไม้ผลประเภทเถาเลื้อย โดยมีลักษณะลำต้นเป็นเถา มีมือเกาะออกตามซอกใบ และเมื่อผลสุกจะมีสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกมี 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ผลสีม่วง พันธุ์ผลสีเหลือง และพันธุ์ลูกผสม เสาวรสสามารถเจริญได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย การดูแลรักษาไม่ยุ่งยากให้ผลผลิตต่อไร่สูง จึงเป็นพืชที่สามารถทำรายได้ให้เกษตรกรได้ดี ประกอบกับตลาดต่างประเทศมีความต้องการสูง เนื่องจากเสาวรสนิยมนำมาทำเป็นน้ำผลไม้ มีรสเปรี้ยว กลิ่นหอม นิยมดื่มมากกว่าทานสด เสาวรสขนาดกลาง 1 ผลให้คุณค่าสารอาหารดังนี้ แคลเซียม 2 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 12 มิลลิกรัม เหล็ก 0.3 มิลลิกรัม โซเดียม 5 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 63 มิลลิกรัม วิตามินเอ 130 IU (International Unit) วิตามินซี 5 มิลลิกรัม และแมกนีเซียม 5 มิลลิกรัม ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสาวรสประกอบด้วย น้ำร้อยละ 76-85 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 17.4 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ร้อยละ 3.4 นอกจากนั้นยังมีพวกสารแคโรทีนอยด์ สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบที่ให้กลิ่น วิตามิน รวมทั้งเอนไซม์ด้วย (วิภาพรรณ, 2547)

2.1.4 สับปะรด สับปะรดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* Merr. สับปะรดเป็นพืชล้มลุกหลายปี ลำต้นสั้น และแข็ง ใบออกสลับโดยรอบต้น ใบเรียวยาว ปลายแหลม ดอกออกเป็นช่อ ช่อดอกมีก้านยาว ผลมีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือทรงกระบอก การปลูกนิยมใช้หน่อปลูก สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ชอบดินร่วนปนทราย ไม่ชอบน้ำขัง สับปะรดมีหลากหลายสายพันธ์ เช่น พันธุ์ปัตตาเวีย มีเนื้อแน่น รสหวานปานกลางหรือหวานจัด ปลูกได้ทั่วไปเหมาะสำหรับส่งโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อผลิตเป็นสับปะรดกระป๋อง และผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำสับปะรดเข้มข้น สับปะรดกวน และสับปะรดสดแช่แข็ง เป็นต้น พันธุ์นางแล ใบมีขอบเรียบหรือมีหนามเล็กน้อย ผลรูปทรงกลม ตานูน เปลือกบาง เนื้อหวานจัด สีเหลืองทอง ภูเก็ต ตราดสีทอง และสวี ขอบใบมีหนามมาก ผลมีตาลึก เมื่อแก่จัดเปลือกสีส้ม และมีส่วนของกลีบดอกอยู่ที่เปลือก เนื้อหวานกรอบมีรูพรุน สีเหลืองเข้ม พันธุ์สวีจะมีผลสั้นกว่าพันธุ์ภูเก็ตและพันธุ์ตราดสีทอง สับปะรดเป็นพืชที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมเกษตร นอกจากจะนิยมบริโภคสดแล้ว ยังสามารถแปรรูปเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดกวน สับปะรดอบแห้ง และอื่นๆ สับปะรดมีเกลือแร่ วิตามินต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (สาลิกา, 2545) ในเนื้อสับปะรด 100 กรัม มีส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการคือ มีความชื้น 84.90 กรัม พลังงาน 54.0 แคลอรี ไขมัน 0.30 กรัม คาร์โบไฮเดรต 14.0 กรัม โปรตีน 0.40 มิลลิกรัม แคลเซียม 22.0 มิลลิกรัม เส้นใยมี 0.50 กรัม วิตามินซี วิตามินบี 1 และวิตามินบี 6 (กองโภชนาการ, 2548)

2.1.5 ส้ม ส้มมีชื่อวิทยาศาตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco. อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตติดต่อระหว่างพื้นที่ของประเทศจีนตอนใต้ อินเดีย คาบสมุทรมลายู ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย (กาญจน์ และคณะ, 2553) เป็นไม้พุ่มขนาดใหญ่หรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูง 5-15 เมตร มีใบแบบสลับและเป็นไม้ไม่ผลัดใบ ออกดอกเดี่ยวหรือเป็นช่อดอกขนาดเล็ก ผลกลม จนถึงยาว พืชสกุลนี้มีความสำคัญทางการค้า โดยหลายชนิดมีการปลูกเพื่อนำผลไปกินสดๆหรือคั้นเป็นน้ำผลไม้ ผลมีกลิ่นหอม เนื่องจากมีสารฟลาโวนอยด์ และ ลิโมนอยด์ (วิกิพีเดีย, 2553) คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อส้ม มีวิตามินซี วิตามินเอ วิตามินบี แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส กรดอินทรีย์หลายชนิด (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2553)

2.1.6 แตงโม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrullus vulgaris* Schrad. เป็นผลไม้ที่มีน้ำประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เป็นพืชล้มลุก อายุสั้น เถาจะเลื้อยไปตามพื้นดิน ถิ่นกำเนิดอยู่ในทะเลทรายคาลาฮารี แตงโมต้องการดินที่มีความชุ่มชื้นพอเหมาะ น้ำไม่ขัง มักปลูกกันในดินร่วนปนทราย ในประเทศไทยมีการปลูกแตงโมทั่วทุกภูมิภาค และปลูกได้ทุกฤดู คุณค่าทางโภชนาการ ในผลดิบ 100 กรัม ให้พลังงาน 32 กิโลแคโรลี่ โปรตีน 0.62 กรัม ไขมัน 0.43 กรัม เส้นใย 0.3 กรัม ฟอสฟอรัส 9 มิลลิกรัม เหล็ก 0.17 มิลลิกรัม แคลเซียม 8 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 11 มิลลิกรัม วิตามินเอ 366 IU วิตามินบีหนึ่ง 0.08 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.02 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.2 มิลลิกรัม และ วิตามินซี 9.6 มิลลิกรัม (นิรนาม ก, 2554)

2.2 เทคโนโลยีการทำน้ำผลไม้เข้มข้น

ในปัจจุบันเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะน้ำผลไม้เพื่อสุขภาพที่อุดมไปด้วยวิตามิน และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ดีต่อสุขภาพ ดังนั้น การผลิตน้ำผลไม้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยเพิ่มราคาและเพิ่มคุณค่าของผลไม้ ซึ่งผลไม้หลายชนิดในประเทศไทยมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงในแง่น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ และวิตามิน อีกทั้งมีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์ที่ชวนรับประทานหรือนำมาผลิตเป็นน้ำผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 ประเภทของน้ำผลไม้

น้ำผลไม้สามารถแบ่งออกได้ตามกรรมวิธีการผลิต ได้ดังนี้

1. น้ำผลไม้พร้อมดื่ม เป็นชนิดที่สามารถดื่มได้ทันที ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำผลไม้ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และวิธีการผลิตของโรงงาน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภทย่อย คือ น้ำผลไม้ร้อยละ 100 (น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำหม่อน และน้ำเสาวรส) และน้ำผลไม้ร้อยละ 25-50 (น้ำมะเกี๋ยง น้ำฝรั่ง และน้ำมะม่วง) ซึ่งไม่สามารถผลิตเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่มร้อยละ 100 ได้ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำอยู่น้อย ทำให้สกัดเอาน้ำออกมาได้ยาก แต่ต้องนำมาเจือจาง และปรุงแต่งรสชาติก่อนการบริโภค (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

2. น้ำผลไม้ปรุงแต่งกลิ่น ผลิตจากการนำผลไม้ หรือเนื้อผลไม้ประมาณร้อยละ 25 ขึ้นไป เจือสีสังเคราะห์ แล้วทำให้เข้มข้นด้วยน้ำตาล โดยต้องนำไปผสมน้ำตามอัตราส่วนที่ระบุ เพื่อลดความเข้มข้นลงก่อนการบริโภค ทั้งนี้น้ำผลไม้ประเภทปรุงแต่งกลิ่นของแต่ละผู้ผลิต จะมีอัตราส่วนของการเจือจางที่แตกต่างกัน

3. น้ำผลไม้สำเร็จรูปชนิดผง ผลิตโดยการนำน้ำผลไม้มาคั้นระเหยน้ำออก ทำให้แห้งเป็นผง แล้วนำไปบรรจุในถุงชง เพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และบริโภค น้ำผลไม้สำเร็จรูปชนิดผงที่เห็นกันมากที่สุด ได้แก่ส้ม มะตูม ขิง เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

4. น้ำผลไม้เข้มข้น เป็นน้ำผลไม้ที่ผลิตได้จากการนำผลไม้แท้ ไปผ่านกระบวนการทำเข้มข้นโดยใช้วิธีต่าง ๆ เช่น การทำเข้มข้นแบบใช้อุณหภูมิสูง การทำเข้มข้นแบบระเหยภายใต้สุญญากาศ และวิธีการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออก จนได้เป็นน้ำผลไม้ที่เข้มข้น ซึ่งมีสารที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549) เมื่อนำไปบริโภคต้องมีการเจือจางด้วยน้ำตามสัดส่วน เพื่อให้ได้รสชาติตามที่ต้องการ น้ำผลไม้ประเภทนี้นิยมผลิตเพื่อส่งออกเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้น้ำผลไม้เข้มข้นส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

2.3 กระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้เข้มข้นแบบการระเหยภายใต้สุญญากาศ การทำให้เข้มข้นแบบการระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูง และการทำให้เข้มข้นโดยเทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

1. **การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporation)** วิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารหรือผลไม้ที่มีสารที่ไม่ทนต่อความร้อน (heat

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

sensitivity) การระเหยใช้สภาวะสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) ซึ่งจะสามารถกำจัดปริมาณน้ำออกจากอาหารเหลวได้มาก โดยไม่ทำลายคุณภาพของส่วนประกอบที่ไวต่อความร้อนมากนัก เนื่องจากในสภาพสุญญากาศจะทำให้น้ำระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ (รุ่งนภา, 2535) เครื่องมือที่ใช้ในการทำเข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้เข้มข้นได้แก่ เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบโรตารี (rotary vacuum evaporator) และเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบไหลเป็นฟิล์มบาง (climbing film evaporator)

2. **การระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูง (High temperature evaporation)** วิธีการนี้ใช้ความร้อนสูงในการระเหยน้ำออก เนื่องจากเป็นการต้มระเหยน้ำภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) วิธีการนี้สามารถทำได้ง่าย ใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน จึงเหมาะสำหรับการผลิตในครัวเรือน เช่น การทำน้ำตาลปี๊บจากน้ำอ้อย เป็นต้น วิธีการนี้มีจุดอ่อนคือ ทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น วิตามิน กลิ่นรส สี (คณาจารย์, 2539)

3. **การทำให้เข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)** วิธีการนี้เป็นการทำให้อาหารที่เป็นของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งมีหลักการ คือการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวให้ต่ำลงจนกระทั่งอาหารบางส่วนแข็งตัว อาหารในช่วงนี้มีลักษณะเป็นกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (slurry) เพราะในอาหารเหลวประกอบไปด้วยผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) อยู่รวมกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้อาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากน้ำในอาหารเหลวบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ถ้าผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในสภาวะที่เหมาะสมผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มาก เมื่ออาหารเหลวมีลักษณะเป็น slurry แล้วก็จะทำการแยกเอาผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้คืออาหารเหลวที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งมีสองวิธี คือ วิธี progressive crystallization หลักการ เริ่มจาก ผลึกน้ำแข็งจะเกิดชั้นบาง ๆ บนผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จนกระทั่งได้ความหนาที่เหมาะสมของชั้นน้ำแข็ง จึงปาดเอาชั้นน้ำแข็งส่วนนี้ออก แล้วนำไปเข้าเครื่องแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวที่เข้มข้นขึ้น และวิธีที่สอง suspension crystallization หลักการ เริ่มจากอาหารเหลวจะถูกกวนอยู่ในภาชนะทรงกระบอก (vessel) ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของ vessel ภาชนะทรงกระบอกนี้อาจจะเป็น scraped-surface heat exchanger หรือ jacketed kettle vessel ก็ได้ ผลึกน้ำแข็งจะเกิดภายใน vessel โดยแขวนลอยอยู่ในอาหารเหลวที่เข้มข้น จากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง คือการลดลงของจุดเยือกแข็งและการเกิดจุดยูเทคติก (eutectic point) ในระหว่างการแช่เยือกแข็งอาหารเหลวที่มีตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือ น้ำตาล ซึ่งจะไม่ทำให้อาหารเหลวแข็งตัวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่จะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ถ้ามีปริมาณตัวถูกละลายอยู่มากจะทำให้จุดเยือกแข็งของอาหารเหลวยิ่งต่ำลง ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นจนมาถึงจุดสมมูล ของเหลวจะมีความหนืดมากและทำให้การแยกผลึกน้ำแข็งออกไปได้ยาก (สมชาย และคณะ, 2551) ข้อจำกัดของการทำให้เข้มข้นโดยเทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง คือ ความเข้มข้นของอาหารที่ได้ต่ำกว่าวิธีการระเหย ถ้าใช้วิธีการระเหยจะทำให้ได้อาหารที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 70-95 แต่ถ้าทำเข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง จะได้อาหารที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 40-55 (Marcus, 2003)

2.4 กระบวนการทำน้ำผลไม้เข้มข้นโดยใช้การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง

การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำให้อาหารเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น โดยมีหลักการ คือ การลดอุณหภูมิของอาหารเหลวให้ต่ำลงจนกระทั่งอาหารบางส่วนแข็งตัว อาหารในช่วงนี้มีลักษณะเป็นกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (slurry) เพราะในอาหารเหลวประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) อยู่รวมกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้อาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากน้ำในอาหารเหลวบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง เมื่ออาหารเหลวมีลักษณะเป็น slurry แล้วผลึกน้ำแข็งจะถูกแยกออกจากของเหลว โดยมีของเหลวติดไปกับผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ อาหารเหลวที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การทำให้อาหารเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งกระทำในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ ไม่มีการใช้ความร้อน ดังนั้นคุณภาพของอาหารจึงไม่ถูกทำลาย ไม่มีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสของอาหาร (วสันต์, 2550)

การทำให้เข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (crystallization) และการแยกผลึกน้ำแข็ง (crystal separation)

ขั้นตอนที่ 1 การทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (Crystallization) เริ่มจากการเกิดนิวเคลียสของผลึกน้ำแข็งและการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง โดยการทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งต้องควบคุมให้เกิดผลึกน้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งอาหารเหลว และเป็นผลึกน้ำแข็งที่เหมาะสมแก่ขั้นตอนการแยก นั่นคือ ผลึกน้ำแข็งควรมีรูปร่างกลม มีขนาดใหญ่และมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นได้ง่าย และลดปริมาณอาหารเหลวเข้มข้นที่จะติดไปกับผลึกน้ำแข็ง (รุ่งนภา, 2544) การเกิดผลึกน้ำแข็ง (crystal formation) หรือที่เรียกว่า นิวคลีเอชัน (nucleation) เป็นจุดเริ่มต้นของการแช่แข็ง ที่ก่อให้เกิดนิวคลีไอ (nuclei) ขนาดเล็ก ๆ ซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางของผลึกต่อไป ที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง โดยทั่วไปแล้วนิวคลีเอชันจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คือ โฮโมจีเนียส (homogeneous) และเฮทเทอร์โรจีเนียส (heterogeneous) ซึ่งแบบแรกนั้นจะเกิดขึ้นค่อนข้างน้อยเฉพาะในระบบที่น้ำถูกทำให้บริสุทธิ์อย่างมาก โดยนิวคลีไอจะเป็นกลุ่มของโมเลกุลน้ำที่รวมตัวกัน ส่วนการเกิดแบบเฮทเทอร์โรจีเนียสนั้นอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในสารละลายจะทำตัวเป็นนิวคลีไอแล้วเกิดเป็นผลึกขึ้น อนุภาคเหล่านี้ต้องมีโครงสร้างผลึกคล้ายกับที่เกิดจากน้ำแข็ง ส่วนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง (crystal growth) เกิดขึ้นหลังจากเกิดนิวคลีไอเกิดขึ้นในจำนวนที่มากพอ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแช่เยือกแข็ง ขนาดของผลึกน้ำแข็งนี้จะขึ้นกับจำนวนของนิวคลีไอที่เกิดขึ้น ระหว่างการแช่แข็งคือ ถ้าเกิดนิวคลีไอจำนวนเล็กน้อยจะได้ผลึกขนาดใหญ่ แต่ถ้าเกิดนิวคลีไอจำนวนมาก ก็จะได้ผลึกขนาดเล็กจำนวนมากด้วย เนื่องจากการเกิดนิวคลีไอจะขึ้นกับระดับการทำให้เย็นยิ่งยวด (super cooling) ดังนั้นขนาดของผลึกที่ได้จึงขึ้นกับอัตราการแช่แข็งด้วย ถ้าอัตราการกำจัดความร้อนช้า นิวคลีไอที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่ถ้าความร้อนถูกกำจัดออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว จะเกิดนิวคลีไอจำนวนมากและมีการเพิ่มขนาดที่จำกัด ขนาดของผลึกน้ำแข็งจะขึ้นอยู่กับเครื่องแช่เยือกแข็ง

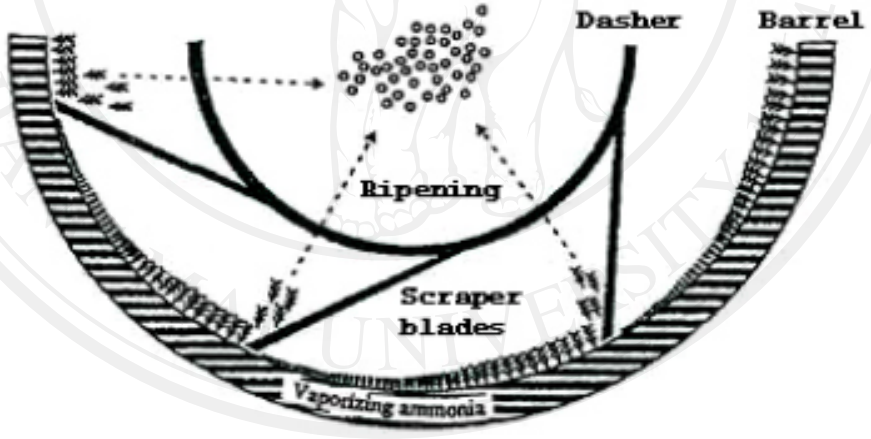
เครื่องทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (crystallizer) มี 2 แบบ คือเครื่องแช่แข็งที่สารให้ความเย็น (refrigerant) สัมผัสกับอาหารโดยตรง (direct – contact freezers) และเครื่องแช่แข็งที่สารให้ความเย็นไม่สัมผัสกับอาหารโดยตรง (indirect – contact freezers)

1. เครื่องแช่แข็งที่สารให้ความเย็นสัมผัสกับอาหารเหลวโดยตรง (Direct–contact freezers) เครื่องแช่แข็งแบบนี้สารให้ความเย็นจะสัมผัสกับอาหารเหลวโดยตรง สารให้ความเย็นที่ใช้กันได้แก่ freon และ butane เป็นต้น ที่ความดันสูงสารให้ความเย็นจะมีสถานะเป็นของเหลวส่วนที่ความดันต่ำสารให้ความเย็นจะมีสถานะเป็นก๊าซ สารให้ความเย็นจะถูกฉีดออกมาด้วยความดันสูง สารให้ความเย็นจึงมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อสารให้ความเย็นสัมผัสกับอาหารเหลวความดันจะต่ำลงสารให้ความเย็นจึงเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ในขณะเดียวกันก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอาหารเหลวทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในอาหารเหลว เรียกเครื่องแช่แข็งแบบนี้ว่าเป็นแบบ bubbling of expanding refrigerant ส่วนแบบ vacuum vaporization of solvent วิธีนี้นิยมใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีและในการเปลี่ยนน้ำทะเลให้กลายเป็นน้ำจืด แต่ไม่นิยมใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นอาหารเหลว โดยเป็นเครื่องแช่แข็งที่ภายในเป็นสุญญากาศสูงมากจนน้ำในสารละลายกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะสัมผัสกับสารให้ความเย็นแล้วไอน้ำจะควบแน่นเป็นผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากใน เครื่องแช่แข็งแบบนี้จะมีไอน้ำอยู่รวมกับน้ำที่มีสถานะเป็นของเหลว หากใช้วิธีนี้กับอาหารเหลวจะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ของอาหารเหลวไปกับไอน้ำ ทำให้คุณภาพของอาหารเหลวเข้มข้นที่ได้ไม่ดีไปกว่าการทำให้เข้มข้นโดยการระเหยเลย นี่คือเหตุผลสำคัญที่ไม่นิยมใช้วิธีนี้ในการทำให้อาหารเหลวเข้มข้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. เครื่องแช่แข็งที่สารให้ความเย็นไม่สัมผัสกับอาหารโดยตรง (Indirect–contact freezers) จะมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารให้ความเย็นกับอาหารเหลว ผ่านผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแช่เยือกแข็งที่การเย็นลงของอาหารเหลว และการเกิดผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในบริเวณเดียวกัน โดยแบ่งย่อยได้เป็น

2.1) แบบผลิตพร้อมกับเลี้ยงผลึก โดยทั่วไปของอุปกรณ์ชนิดนี้ คือ จะมีส่วนของการสร้างผลึก และส่วนของการเลี้ยงผลึกอยู่ในตัวเดียวกัน โดยมีการทำงานของเครื่อง คือเมื่อผิวเย็นทำหน้าที่ของการสร้างผลึกเล็ก (nucleation zone) แล้วผลึกเล็ก ๆ เหล่านั้นจะถูกใบมีดทำการขูดผลึกเหล่านั้นออกมาให้อยู่ในส่วนของการเลี้ยงผลึก (growth zone) (ภาพที่ 2.1)ใบมีดของอุปกรณ์ชนิดนี้ ทำหน้าที่ในการกวนสารละลายเพื่อเพิ่มความเป็นเทอร์บูเลนท์ให้กับสารละลายด้วย ข้อดีของการผลิตผลึกแบบนี้ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ มีราคาถูกกว่า จึงเหมาะสำหรับการผลิตแบบแบทช์ และสามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ง่าย ส่วนข้อเสียของอุปกรณ์นี้ คือ มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบตกผลึกภายนอก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมพลังงานของการกวนได้เพราะใบกวน และใบขูดติดอยู่ในชุดเดียวกัน

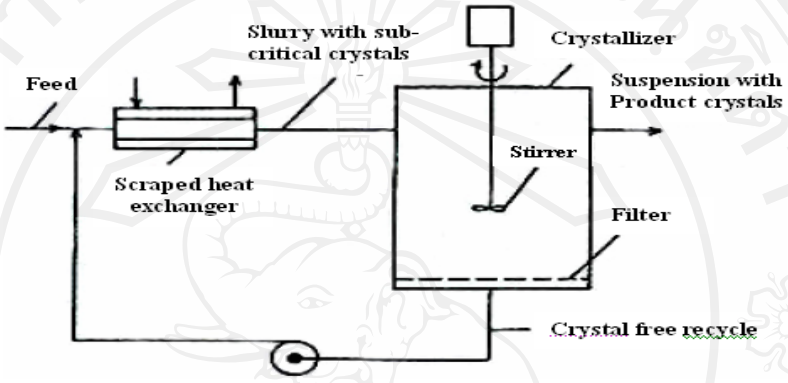


ภาพที่ 2.1 ลักษณะของการเกิดผลึกพร้อมกับการขูดผลึกของใบมีด
ที่มา : Hartel, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2) แบบตกผลึกภายนอกระบบ หลักการผลิตด้วยเครื่องผลิตผลึกด้วยวิธีนี้คือ การแยกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำเนิดผลึกออกจากถังกวน เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะได้ดีกว่าแบบแรก เหมาะสำหรับระบบการผลิตที่เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous type) แต่มีการลงทุนที่สูง และต้องการการควบคุมสภาวะที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก โดยวิธีผลิตผลึกแบบนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ เครื่อง scrap surface heat exchanger อัตราทำความเย็นสูง ถังบ่มผลึก (ripening tank) และปั๊ม (pump) ที่ทำหน้าที่ส่งสารละลายที่เป็นของเหลวกลับมาทำความเย็นได้อีก ในกระบวนการผลิตผลึก

ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนังของ scrap surface heat exchanger ในอัตราที่สูง ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นนี้ อยู่ในรูปของ subcritical crystal จากนั้นผลึกน้ำแข็งเหล่านั้นจะถูกส่งอย่างต่อเนื่องไปสู่เครื่องผลิตผลึก (crystallizer) ผลึกที่ถูกส่งมาจะเกิดการละลายไปรวมกับผลึกที่มีขนาดใหญ่กว่าที่มีแล้วอยู่ในระบบ โดยในส่วนของการผลิตผลึกนี้จะใช้เวลาไม่ต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ระบบของเครื่องผลิตผลึกแบบเลี้ยงผลึกภายนอก
ที่มา : Hartel, 1996

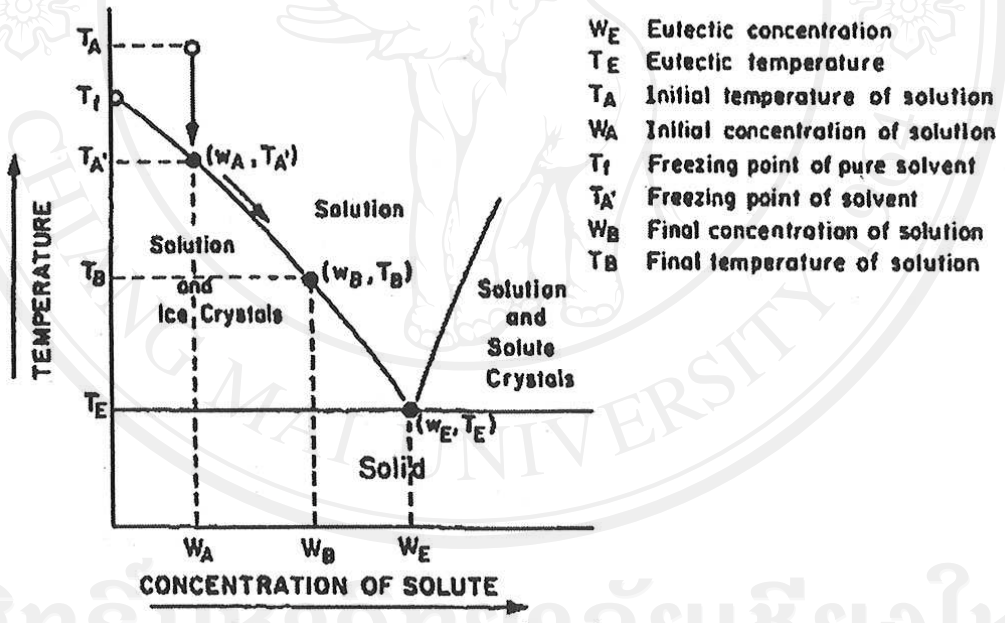
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง ได้แก่ การลดลงของจุดเยือกแข็งและการเกิดจุดยูเทคติค (eutectic) วิธีการเตรียมอาหารเหลวก่อนนำอาหารเหลวไปแช่แข็ง ความหนืดของอาหารเหลวโดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น

การลดลงของจุดเยือกแข็งและการเกิดจุดยูเทคติค (eutectic) กราฟสถานะของสารละลายที่มีองค์ ประกอบสองอย่างแสดงไว้ในภาพที่ 2.3 จากภาพจะเห็นว่าเมื่อของเหลวถูกทำให้เย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง (จากจุด TA – TA') ของของเหลว น้ำจะแยกตัวออกมาเป็นผลึกน้ำแข็งในปริมาณเท่ากับ WA เมื่อของเหลวถูกทำให้เย็นลงกว่านี้ ความเข้มข้นของของเหลวจะเพิ่มขึ้นจากจุด (WA – TA') ถึงจุด (WA – TB) จนถึงจุดสมมูล ความเข้มข้น WE องค์ประกอบในผลึกของแข็งและในส่วนที่ยังเป็นของเหลวจะเท่ากัน เนื่องจากเมื่อของเหลวมีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีความหนืดมากและทำให้การแยกผลึกน้ำแข็งออกเป็นไปได้ยากกระบวนการแช่เยือกแข็งจึงมักจะหยุดก่อนที่จะถึงจุดสมมูล คือ จุดยูเทคติค (Marcus, 2003)

วิธีการเตรียมอาหารเหลวก่อนนำอาหารเหลวไปแช่เยือกแข็ง ประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะสูงขึ้นได้หากมีการเตรียมอาหารเหลวให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของอาหารเหลว เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ หรือโดยใช้วิธีการแยกทางกายภาพ เช่น การหมุนเหวี่ยง และการกรอง เพื่อแยกองค์ประกอบบางอย่างออกไปจากอาหารเหลว เช่น การแยกองค์ประกอบพวกเศษเนื้อ และเพคตินออกไป การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในน้ำผลไม้ทำได้โดยนำน้ำผลไม้ไปให้ความร้อน ซึ่งจะเป็นการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ และทำลายเอนไซม์เพคติเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้น้ำผลไม้ขุ่น การใช้ความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านจุลชีววิทยาและมีความใส โดยไม่ทำให้คุณภาพด้านอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป ตัวอย่างเช่น น้ำองุ่น pH 3.0 3.5 และ 3.8 ถ้าถูกทำให้ความร้อน 0.8 วินาที ที่อุณหภูมิ 88 93 และ 96 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสได้ อย่างสมบูรณ์ การแยกเศษเนื้อออกไปแล้วมาทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการแยกจะสูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียตัวถูกละลายไปในขั้นตอนการแยกด้วยเครื่องแยกแบบคอลัมน์



ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบของแข็งและของเหลวผสม
ที่มา: Marcus, 2003

ความหนืดของอาหารเหลวโดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น ความหนืดของอาหารเหลวจะเพิ่มขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น น้ำเชื่อมที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ถ้ามีความเข้มข้นร้อยละ 20 และร้อยละ 50 จะมีความหนืด 3.8 และ 93.9 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ความหนืดที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง จะเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของอาหารเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่จะทำได้ เพราะประสิทธิภาพในการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นจะลดลง หากความหนืดของอาหารเหลวสูงขึ้น ความหนืดยังมีผลต่อขั้นตอนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งด้วย โดยอัตราการเพิ่มขนาดผลึกน้ำแข็งจะช้าลงหากความหนืดของอาหารเหลวสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ในสารละลายที่มีองค์ประกอบพวกน้ำตาล โปรตีน และสตาร์ช (starch) ซึ่งองค์ประกอบพวกนี้ทำให้สารละลายมีความหนืดมากกว่าน้ำ พบว่าสารละลายที่มีองค์ประกอบเหล่านี้จะมีอัตราการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งช้ากว่าอัตราการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งในน้ำบริสุทธิ์ ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในอาหารเหลวบางชนิดจะสามารถป้องกันการเกิดนิวเคลียสของผลึกของตัวถูกละลายได้ ซึ่งก็จะช่วยให้การแช่เยือกแข็งดำเนินต่อไปได้แม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าจุดยูเทคติกแล้วก็ตาม

ขั้นตอนที่ 2 การแยกผลึกน้ำแข็ง (Crystal separation) เมื่อน้ำผลไม้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแล้ว จะได้สารละลายที่อยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมกับผลึกน้ำแข็ง แต่เนื่องจากต้องการสารละลายเข้มข้นเพียงอย่างเดียว จึงต้องมีการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลาย ซึ่งกระบวนการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งนี้ มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ วิธีใช้แรงเหวี่ยงแยก (centrifuge) วิธีใช้กระบอกล้าง (wash column) และวิธีกดบีบ (pressing)

1) วิธีเหวี่ยงแยก (Centrifuge) เป็นวิธีการแยกผลึก โดยอาศัยแรงเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และมีแผ่นกรองเป็นตัวกันมิให้น้ำแข็งกลับไปผสมกับสารละลายเข้มข้นอีก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเหวี่ยงแยกได้แก่ ความเร็วการหมุนของตะแกรงแยก ขนาดของผลึก และความหนืดของสารละลายที่นำมาเหวี่ยงแยกออกจากผลึกน้ำแข็ง พบว่าการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็งด้วยวิธีนี้ มีประสิทธิภาพในการแยกผลึกสูงกว่า ในอุตสาหกรรมมีการใช้วิธีนี้อยู่บ้าง แต่ไม่กว้างขวาง เนื่องจากวิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียรสชาติ กลิ่นได้ง่ายและมีการสัมผัสกับอากาศโดยตรงขณะทำการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็ง

2) วิธีกระบอกล้าง (Wash column) เป็นการแยกผลึกน้ำแข็งชนิดหนึ่งที่มีมาตรฐาน และมีประสิทธิภาพสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทำให้เข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบปิด และไม่มีช่องว่างของอากาศอยู่เลย จึงสามารถรักษากลิ่นรสของสารละลายเข้มข้นได้เป็นอย่างดี วิธีการแยกผลึกน้ำแข็งสามารถทำได้ โดยจะทำการส่งสารละลาย crystal slurry เข้ามาทางด้านล่างของคอลัมน์ จากนั้นบังคับให้ผลึกน้ำแข็งเคลื่อนไปยังส่วนบน โดยใช้สกรู หรือลูกสูบที่มีรูพรุน ซึ่งมีน้ำล้างที่ได้จากการละลายของผลึกน้ำแข็งบางส่วน ไหลสวนทางกับผลึกน้ำแข็ง แล้วถูกแยกออกจากส่วนบนของคอลัมน์ ส่วนสารละลายเข้มข้นนั้นจะถูกแยกออกทางส่วนล่างของคอลัมน์

3) วิธีกดบีบ (Pressing) เป็นวิธีที่ใช้ความดันช่วยในการเหวี่ยงแยกผลึกน้ำแข็ง โดยที่จะใช้ความดันอัดผ่านชั้นกรอง (filter press) ทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลายได้ แต่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุตสาหกรรมไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากจะมีสารละลายเข้มข้นปนอยู่ในน้ำแข็งมาก ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือ มีการสูญเสียกลิ่นน้อยมาก เนื่องจากเป็นระบบปิด กลิ่นไม่สามารถกระจายออกไปได้

กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง มีข้อดีและข้อด้อย ดังนี้ (ทะนง, 2542) ข้อดี เป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาเอนไซม์ในน้ำผลไม้ช้าลง น้ำแข็งที่แยกออกไปสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้ เช่น นำกลับมาควบแน่นทำความเย็น เป็นวิธีที่สามารถเก็บรักษากลิ่นหอมระเหยได้มากกว่าวิธีอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อเจือจางแล้วจะได้น้ำผลไม้ที่มีรสชาติใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด ส่วนข้อด้อย ได้แก่ ระดับความเข้มข้นที่ต้องการมักทำได้อย่างจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำผลไม้ โดยเฉพาะความหนืด โดยปกติแล้วปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง และมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นั้น จะมีผลึกอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ของเหลวมีความหนืดสูง ทำให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ลำบากขึ้น วิธีการนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ เพียงแต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่านั้น และการกำจัดผลึกน้ำแข็งออกโดยที่ไม่มีการสูญเสียของสารละลายเลยนั้นทำได้ยาก คือ เมื่อทำให้บริสุทธิ์ในน้ำผลไม้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของแข็งบางส่วนในน้ำผลไม้จะติดกับน้ำแข็งที่แยกออกไป เช่น สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ (Fellows, 1990)

2.5 อนุมูลอิสระ (Free radicals)

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเลคตรอนในวงโคจรของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร จึงพยายามจับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียงให้มีอิเล็กตรอนครบคู่เพื่อความเสถียร เมื่อโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงถูกดึงอิเล็กตรอนออกไป ต้องไปจับเอาอิเล็กตรอนจากอะตอมหรือโมเลกุลข้างเคียงตัวอื่นต่อ ๆ ไป เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปไม่มีที่สิ้นสุด และถ้าหากอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ 2 ตัวจับคู่กันพอดี เช่น อนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radical; $H^{\cdot}$) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical; $HO^{\cdot}$) และอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxideanion radical; $O_2^{\cdot-}$) เป็นต้น จะเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่เสถียร อนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 4 ชนิด (สุวลี, 2549) ได้แก่

1. ซูเปอร์ออกไซด์ (Super oxide) อนุมูลอิสระชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อไมโตคอนเดรียในเซลล์นำออกซิเจนมาใช้เป็นพลังงาน

2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) เป็นสารที่มีความเสถียรพอประมาณ คือ มากกว่าซิงเลทออกซิเจน และไฮดรอซีล เรดิคัล จึงปล่อยอิเล็คตรอนออกมาเป็นสารพิษต่อเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ซิงเลทออกซิเจน (Singlet oxygen) เป็นอนุมูลอิสระที่สามารถก่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นรุนแรง เกิดขึ้นได้ในร่างกายเมื่อได้รับรังสีเอ็กซ์ และรังสีอัลตราไวโอเลต แล้วจะเกิดซิงเลทออกซิเจน จำนวนมาก

4. ไฮดรอซีล เรดิคัล (Hydroxyl radical) เป็นอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ก่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นรุนแรงที่สุด ทำให้ร่างกายแก่เร็ว เกิดโรคมะเร็ง

เนื่องจากอนุมูลอิสระมีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่อยู่ในโมเลกุล จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในร่างกาย อนุมูลอิสระมีผลมากในการทำให้เกิดสภาวะเสื่อม ทำให้ระดับเซลล์เสียหายได้หลายรูปแบบ เช่น อาจช่วยกระตุ้นให้สารก่อมะเร็งมีฤทธิ์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ ทำลายโครงสร้างทางเคมีของ DNA หรือ โครโมโซมทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) และการแบ่งเซลล์ผิดปกติ เป็นสาเหตุของโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคความจำเสื่อม โรคมะเร็ง ต้อกระจก และเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นบนใบหน้า รอบดวงตา ผิวพรรณ อนุมูลอิสระมีที่มาทั้งแหล่งภายนอกร่างกาย ได้แก่ มลพิษในอากาศ โอโซน ไนตรัสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่น ควันบุหรี่ อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสงแดด ความร้อน รังสีแกมม่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยาบางชนิด สารปรุงแต่งอาหาร เป็นต้น (Gutteridge, 1993)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจัดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (free radical chain reaction) ระหว่างไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและออกซิเจน การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวถูกเร่งให้เร็วขึ้นได้โดยตัวกระตุ้น (initiator) ได้แก่ ไอออนของโลหะ (metal ion) สารที่ไวต่อแสง (photosensitizers) แสงอัลตร้าไวโอเลต (ultraviolet light) และเอนไซม์จำเพาะ กลไกทั้งหมดของปฏิกิริยาออกซิเดชันมี 3ขั้นตอน (Chaiyasit *et al*., 2007) คือ

1. ขั้นการเกิดอนุมูลอิสระ (Initiation)

$$In^{\cdot} + LH \longrightarrow InH + L^{\cdot}$$

ขั้นตอนนี้เป็นการเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันหรืออนุมูลแอลคิล (alkyl radical; $L^{\cdot}$) ซึ่งเกิดจากการที่ไฮโดรเจนแตกออกจากกรดไขมัน (LH) ในสภาวะที่มีตัวกระตุ้น ($In^{\cdot}$)

2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (Propagation)

$$L^{\cdot} + O_2 \longrightarrow LOO^{\cdot}$$

$$LOO^{\cdot} + LH \longrightarrow LOOH + L^{\cdot}$$

ขั้นตอนนี้เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับอนุมูลอัลคิล เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical; $LOO^{\cdot}$) ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอนุมูลอัลคิล ดังนั้นอนุมูลเปอร์ออกซิลจึงสามารถดึงเอาไฮโดรเจนมาจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวอื่นมาเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide; LOOH) และเกิดอนุมูลอัลคิลใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ขั้นการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (Termination)

$$LOO\bullet + LOO\bullet \longrightarrow LOOL + O_2$$

$$L\bullet + LOO\bullet \longrightarrow LOOL$$

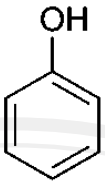
$$L\bullet + L\bullet \longrightarrow LL$$

ขั้นตอนนี้เกิดจากการที่อนุมูลอิสระ 2 ตัวทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาก็จะหยุดลง

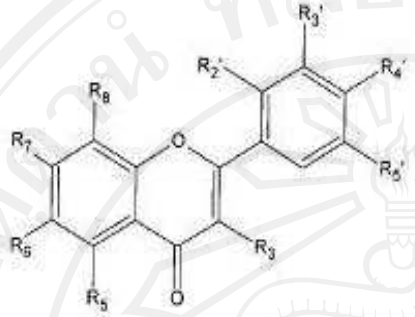
2.6 สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

2.6.1 สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) เป็นสารอินทรีย์ สามารถละลายได้ในน้ำ พบในพืชมักรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบ glycosides หน้าที่ของสารประกอบฟีนอล เช่น ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช แอนโทไซยานินเป็นสารให้สีในดอกไม้ ฟลาโวนอยด์ควบคุมการเจริญของพืชจำพวกถั่ว (ศิริวรรณ และสุวรรณา, 2527) มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวน hydroxyl group อย่างน้อยหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล (ภาพที่ 2.4) ส่วนมากสารประกอบฟีนอลมักเชื่อมอยู่กับ mono และ polysaccharides เกิดเป็นโครงสร้างที่หลากหลาย สารประกอบฟีนอลในธรรมชาติจึงมีอยู่หลายชนิด ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลมักพบอยู่รวมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาล สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิค และลิกนิน เป็นต้น นอกจากนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกุล ชนิด พันธุ์ และปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอลในการรักษาโรค เช่น มีฤทธิ์ต่อต้านอาการอักเสบ และอาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและไวรัส ในผลมะเกี๋ยงมีสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต่อต้านอาการอักเสบ และอาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและไวรัส (Duthie *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

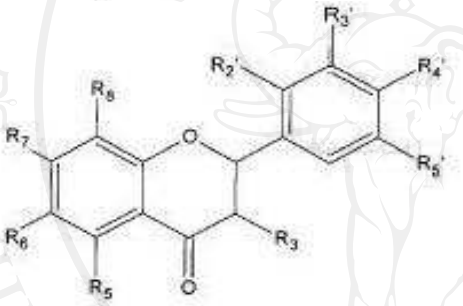


Phenol



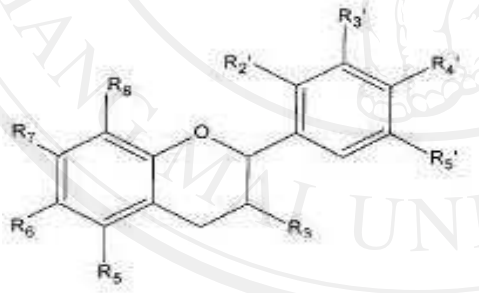
A: flavone/ flavonol

quercetin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'



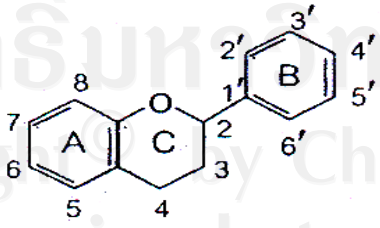
B: flavanone/ flavanonol

taxifolin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'



C: flavanol

catechin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'



D: anthocyanidin

cyanidin = OH : 3, 5, 7, 3', 4'

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลบางชนิด

ที่มา: Dzyubak, 2007

2.6.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) คือ สารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้น หรือชะลอการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือออโตออกซิเดชันของไขมันได้อย่างช้าๆ กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายแบบ เช่น การขนย้ายออกซิเจนออกไป การยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งสารธรรมชาติ และเป็นสารสังเคราะห์ เช่น วิตามินอี บิวทิเลเตดไฮดรอกซีอะนิโซล (BHA) บิวทิเลเตดไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) วิตามินเหล่านี้จะพบมากในผักและผลไม้หลายชนิด ผู้ที่บริโภคผักและผลไม้ที่มีวิตามินเหล่านี้ก็จะทำให้มีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) สารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่สั่งการ และควบคุมระบบภูมิคุ้มกันทางชีววิทยาที่สำคัญที่สุดของร่างกาย อีกทั้งช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกาย (Hudson, 1990) มักพบสารต้านอนุมูลอิสระ ในอาหารจำพวกผักและผลไม้ ได้แก่ วิตามินอี (vitamin E) ได้จากเมล็ดทานตะวัน วิตามินซี (vitamin C) ได้จากผักใบเขียวทั่วไป แคโรทีนอยด์ (carotenoids) พบในมะเขือเทศ สารประกอบฟีนอล (phenolic) พบในองุ่น สารประกอบเคอร์ซิทิน (quercetin) พบในผลหม่อน และผักพื้นบ้าน ได้แก่ กระถิน ชะพลู และผักชีล้อม เป็นต้น (นวลศรี และอัญชนา, 2545)

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีหลากหลายวิธี ได้แก่

1. 2,2-diphennyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สันติ และวรวรรณ, 2544) มีหลักการดังนี้ สารเคมี 2,2-diphennyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) นี้เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีความคงตัว เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย DPPH จะมีสีม่วง และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยผสม DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการทดสอบ (AH) ในหลอดทดลอง ซึ่งเกิดปฏิกิริยากันดังสมการนี้

$$DPPH\bullet + (AH) \longrightarrow DPPH\text{-}H + (A\bullet)$$

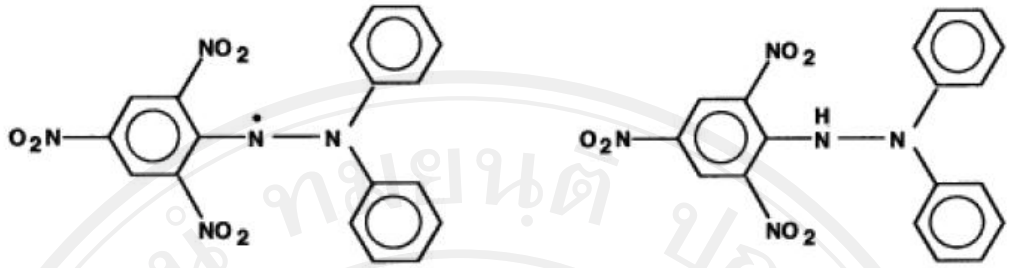
อนุมูลอิสระใหม่ที่เกิดขึ้น (A•) จะทำปฏิกิริยาต่อไป (radical-radical interaction) โดยกระบวนการ radical disproportionation จนกระทั่งได้เป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว (A-A) ดังสมการ

$$DPPH\bullet + A\bullet \longrightarrow (n)\ DPPH\text{-}A\ (n)$$

$$A\bullet + A\bullet \longrightarrow A\text{-}A$$

เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH• ได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระที่นำมาทดสอบ สารละลาย DPPH ก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ลดลง

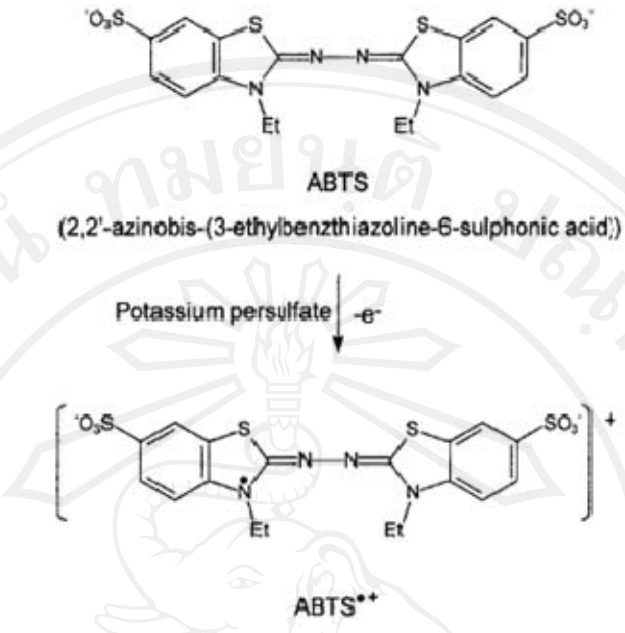
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของ DPPH ที่เป็นอนุมูลอิสระ (A.) และไม่เป็นอนุมูลอิสระ (B.)
ที่มา : Molyneux (2004)

2. 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical decolorization assay เป็นการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการคล้ายกับวิธี DPPH คือ สร้างอนุมูลอิสระที่มีสีขึ้น โดยสร้างอนุมูลอิสระจากการทำปฏิกิริยาของสารละลาย ABTS กับ oxidizing agent คือ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อ ABTS ถูกออกซิไดซ์ ด้วย oxidizing agent จะเกิด ABTS free radical (ABTS•+) สารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการนำมาทดสอบจะขจัด ABTS•+ ที่เกิดขึ้นแล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm โดยหากค่าการดูดกลืนแสงลดลงมาก หรือสีของสารละลายจางลงมาก จะแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี (อนุพงษ์ และคณะ, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของ ABTS ที่อยู่ในรูปไม่เป็นอนุลอิสระ (A.) และเป็นอนุมูลอิสระ (B.)

3. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) เป็นการวัดความสามารถรวมในการรีดิวซ์โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก เฟอริค Fe^{3+} -TPTZ (ferric tripyridyltriazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมของเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านออกซิเดชั่น ได้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส Fe^{2+}-TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงิน ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (Benzie and Strain, 1996)

4. วิธี Antioxidant activity ซึ่งการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระของกรดลิโนลีอิค ในการต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระของกรดลิโนลีอิคจึงวัดโดยเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงในสารละลายที่มีกรดลิโนลีอิคผสมอยู่ ทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จากนั้นใช้เครื่อง UV Spectrophotometer วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร ค่าที่ได้นี้แปรผันกับความเข้มข้นของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นดังนั้นการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงจึงบ่งบอกได้ถึงความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ (นิรนาม ข, 2552)

5. วิธี Reducing power เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ สารที่เป็นรีดิวซิงเอเจนต์สามารถจ่ายอิเล็คตรอนให้กับอะตอมหรือโมเลกุลในตระกูลของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

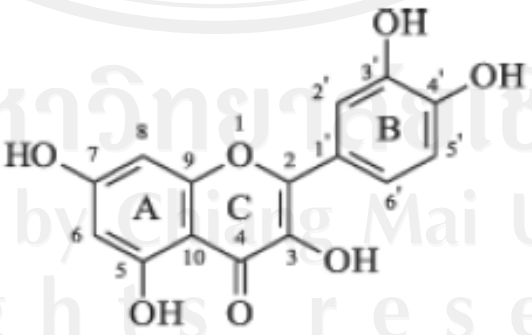
โลหะที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ (เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น) เหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์ริคไอออน (Fe^{3+}) มีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ ได้ดี ในด้านชีวเคมี อนุมูลอิสระที่พบมากที่สุดเป็นสารที่มีออกซิเจนและไวต่อปฏิกิริยา (ROS) ไอออนอิสระของเหล็กสามารถเป็นตัวเร่งการเกิด ROS เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของแต่ละสารที่สกัดได้ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริคไอออนกับสารสกัดแต่ละชนิดมีค่าคงที่ และค่าของการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร (นิรนาม ข, 2552)

6. วิธี Oxygen radical antioxidant capacity (ORAC) เป็นปริมาณการดูดจับอนุมูลออกซิเจน คือ การวัดศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระที่จะทำให้อนุมูลอิสระกลายเป็นกลาง (Neutralize) ปริมาณค่า ORAC ที่สูงกว่าหรือมากกว่า จะมีผลต่อต้านการทำลายของอนุมูลอิสระได้มากกว่า (Prior *et al*. 2003)

7. วิธี Thiobarbituric reactive substances (TBARS) วิธีนี้เป็นการติดตามปริมาณสารประกอบ อัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ low density lipoprotein (LDL) กับโลหะไอออน เช่น Fe^{2+} Cu^{2+} โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (Pokorny *et al*, 2001)

ในผลมะเกี๋ยงพบสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ ได้แก่ สารเคอร์ซิทินและแอนโทไซยานิน ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติทั่วไป และประโยชน์ดังนี้

สารเคอร์ซีทิน (Quercetin) เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonol) เกิดจากการที่สารประกอบฟลาโวนมีการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 3 (ภาพที่ 2.7) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในหัวหอม แอปเปิล ใบชา และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของเคอร์ซีทิน

ที่มา: Castaeda-Ovando *et al.*, 2009

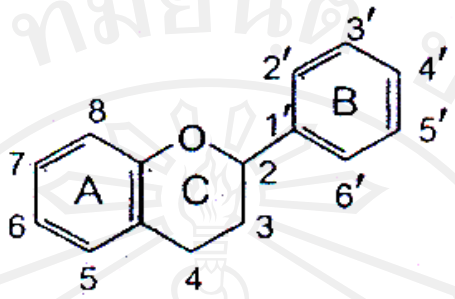
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายงานการวิจัยพบว่าสารเคอร์ซีทิน สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ และเส้นเลือดสมองตีบ การเสริมสารเคอร์ซีทินช่วยลดความดันโลหิตในสัตว์ที่มีความดันโลหิตสูง (Manach, 2005) และได้มีการศึกษาการเสริมสารเคอร์ซีทินในผู้ป่วยทั้งชายและหญิงที่เริ่มมีความดันโลหิตสูง และเป็นความดันโลหิตสูงขั้นที่หนึ่ง โดยเสริมสารเคอร์ซีทินวันละ 730 มิลลิกรัม เป็นเวลา 28 วัน พบว่าหลังการเสริมสารเคอร์ซีทิน ความดันโลหิตในกลุ่มที่เริ่มมีความดันโลหิตสูงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งตรงข้ามกับกลุ่มที่มีความดันโลหิตสูงขั้นที่หนึ่งที่มีความดันโลหิตจะลดลง (Nutrition update, 2007) ได้มีการศึกษาปริมาณการดูดซึมของสารเคอร์ซีทินในอาสาสมัครที่ทำศัลยกรรมสร้างทางผ่านเข้าไปในลำไส้เล็กท่อนปลาย โดยทางผนังช่องท้อง (ileostomy) เพื่อป้องกันการสูญเสียสารประกอบฟลาโวนอยด์ เนื่องจากแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ และได้รับสารเคอร์ซีทินจากหัวหอมทอด ซึ่งมีสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์ในปริมาณสูง (เทียบเท่ากับอะไกลโคน 89 มิลลิกรัม) สารเคอร์ซีทินรูติโนไซด์บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นสารเคอร์ซีทินหลักในชาเทียบเท่ากับอะไกลโคน 10 มิลลิกรัม หรือสารเคอร์ซีทินอะไกลโคนบริสุทธิ์ 100 มิลลิกรัม พบว่าภายใน 13 ชั่วโมง สารเคอร์ซีทิน หรือไกลโคไซด์ของสารเคอร์ซีทินในของเหลวจากทางเดินอาหารมีการสลายตัวน้อยมาก มีการดูดซึมของสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์จากหัวหอมทอดร้อยละ 52 สารเคอร์ซีทินรูติโนไซด์ ร้อยละ 17 และสารเคอร์ซีทินอะไกลโคนบริสุทธิ์ร้อยละ 24 การขับออกของสารเคอร์ซีทิน หรือไกลโคไซด์ของสารเคอร์ซีทินเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณที่ถูกดูดซึม แสดงว่าสารเคอร์ซีทินไกลโคไซด์จากหัวหอมถูกดูดซึมได้ในลำไส้เล็ก (Pietta and Simonetti, 1999)

สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) แอนโทไซยานิน เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีสีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน พบในผัก ผลไม้ และดอกไม้ ละลายอยู่ใน vacuole sap ในเซลล์ของพืช เช่น มะเขือม่วง กะหล่ำปลี สีม่วง แอปเปิล กระเจี๊ยบ องุ่น และผลไม้ประเภทเบอร์รี่ เป็นต้น สามารถละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่น acetone, chloroform และ ether จัดอยู่ในกลุ่มของรงควัตถุพวกฟลาโวนอยด์ สารแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิด โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง (Lazze *et al*., 2004) แอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปตามค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยจะเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ และมีสีม่วงหรือสีน้ำเงินที่พีเอชเป็นกลางหรือที่ความเป็นกรด-ด่างสูง โมเลกุลของแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) (ภาพที่ 2.8) สีของแอนโทไซยานินถูกควบคุมด้วยโครงสร้างวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิล ($-OCH_3$) เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีแอนโทไซยานิน รงควัตถุของแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลไม้ถูกทำลายได้ง่าย การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง พีเอชและภาวะที่มีออกซิเจนจะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินเกิดได้เร็วขึ้น (นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Dzyubak, 2007

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน เช่น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง โครงสร้างในส่วนของวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมธอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้นโดยสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วยและการเพิ่มหมู่เมธอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้สีแดงเพิ่มมากขึ้น การใช้ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน เช่น อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง นมเปรี้ยว และไวน์แดง เป็นต้น ซึ่งสีของแอนโทไซยานินจะคงสภาพได้ดีที่ความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 3 และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดจะให้สีคงทน (สันติ, 2534)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดและผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

รายงานการพัฒนาไซรัปเข้มข้นจากกล้วยหอมทองโดยการใช้เอนไซม์ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำกล้วยหอมคือ เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูโลส อุณหภูมิและเวลาในการบ่ม โดยเมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูโลส และเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำกล้วยหอมและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการบ่มมากขึ้น สภาวะเหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอมให้ได้ปริมาณน้ำกล้วยหอม และของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด คือ เอนไซม์ เพคติเนส และเซลลูโลส 0.06 และ 0.13 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียส และใช้เวลาในการบ่ม 150 นาที โดยที่สภาวะดังกล่าวจะได้ปริมาณน้ำกล้วยหอมร้อยละ 75.22 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 15.71 (ชิดชัย และคณะ, 2547) ส่วนการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำส้มสายน้ำผึ้ง เพื่อเตรียมน้ำหมักสำหรับการผลิตแอลกอฮอลล์ จากการใช้เอนไซม์เซลลูเลสทางการค้าสูงถึงระดับ 1,500 ppm ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำส้ม แต่การใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้าที่ระดับ 150 ppm สามารถช่วยในการบีบคั้นน้ำส้มออกมาได้เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20 (ศราวุธ, 2550)

การทำให้เข้มข้นโดยเทคนิคแบบแช่เยือกแข็งจาก 20 ถึง 40 องศาบริกซ์ ก่อนนำไปต้มให้เดือด พบว่าสามารถช่วยลดการเกิดคาราเมล (caramelisation) ในน้ำอ้อยได้ ลดการเกิดสีน้ำตาลในน้ำอ้อย และยังช่วยลดปริมาณของชานอ้อยลงได้ด้วย ถ้าเปรียบเทียบกับวิธีการทำให้เข้มข้นแบบใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (Siddharth, 2005) และในการผลิตน้ำหม่อนเข้มข้นโดยเทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง โดยเริ่มทำการสกัดด้วยวิธีปั่นแล้วคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบไฮดรอลิค และใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ระดับร้อยละ 0.10 ใช้เวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง ให้ผลผลิตร้อยละ 79.13 เมื่อนำน้ำหม่อนที่สกัดได้ไปทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง 3 รอบ รอบละ 30 นาที แต่ละรอบเหวี่ยงแยกน้ำหม่อนเข้มข้นออกจากผลึกน้ำแข็ง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก 10.93 เป็น 38.73 องศาบริกซ์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นจาก 1,329.02 เป็น 3,193.88 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจาก 723.01 เป็น 1,588.59 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร (ปัทมา, 2552)

การศึกษาการผลิตน้ำผลไม้ผสมเข้มข้นโดยใช้เทคนิคการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำผลไม้ผสมประกอบด้วย น้ำหม่อนสกัด 15 ส่วน น้ำเสาวรสสกัด 14 ส่วน และน้ำสับปะรดสกัด 71 ส่วน โดยน้ำหนัก นำไปศึกษาการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสร้างผลึกน้ำแข็ง คือ 20 นาที แล้วเหวี่ยงแยก 3 ครั้ง ได้น้ำผลไม้ผสมเข้มข้นซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิมสองเท่า ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 2.30±0.16 และได้ผลผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นร้อยละ 52.00±0.25 หลังจากต้มฆ่าเชื้อ 4 นาที และเก็บที่อุณหภูมิห้อง 30 วัน พบว่าคุณภาพด้านเคมีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย วิตามินซีลดลง ปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพการยอมรับใกล้เคียงน้ำผลไม้สด (สีทอน, 2552) ต่อมา มีการศึกษาการผลิตน้ำมะเกี๋ยงสกัดเข้มข้นโดยใช้เทคนิคการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า วิธีการสกัดน้ำมะเกี๋ยงที่เหมาะสมที่สุดคือ การบดผสมกับน้ำอีกครึ่งส่วนโดยน้ำหนัก แล้วคั้นแยกด้วยเครื่องคั้นแบบไฮโดรลิค โดยได้น้ำมะเกี๋ยงที่ใส ไม่มีสารแขวนลอย มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 4.00±0.00 องศาบริกซ์ และได้ผลผลิตน้ำมะเกี๋ยงสกัดร้อยละ 71.4±5.8 และหลังจากการสร้างผลึกน้ำแข็งแล้วเหวี่ยงแยก และทำซ้ำต่อเนื่องกัน 3 รอบ พบว่าในแต่ละรอบได้น้ำมะเกี๋ยงที่มีปริมาณของแข็งที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอล และสารแอนโทไซยานิน เพิ่มขึ้นตามลำดับ (ปัฐมาภรณ์ และพราวไพลิน, 2553)

จากการศึกษาการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์ ผลหม่อนในน้ำเชื่อมที่บรรจุภัณฑ์ทนร้อนชนิดอ่อนตัวในน้ำเดือดที่ระยะเวลาต่างกัน 3 ระดับ คือ 2, 4 และ 6 นาที พบว่าเวลาที่ใช้ในการต้มฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับ สามารถทำลายฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และกลุ่มของเชื้อยีสต์และราลดลงเหลือน้อยกว่า $0.1x10^2$ cfu/ml หลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน พบว่าในผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนยังมีจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 cfu/ml ส่วนกลุ่มของเชื้อยีสต์และรามีจำนวน 10 cfu/g (สงกรานต์ และสมชาย, 2550) ต่อมา มีการศึกษากระบวนการผลิตน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น โดยการใช้เทคนิคทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) พบว่าร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่สามารถทำให้เข้มข้นได้สูงสุด มีค่าอยู่ที่ 32±2 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 2 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นของวัตถุดิบด้วย โดยทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับในระดับที่ต่ำ เนื่องจากมีรสชาติที่เปรี้ยว ดังนั้นจึงได้มีการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ให้มีค่าอยู่ที่ 35 องศาบริกซ์ โดยทำการปรับด้วยน้ำตาลทราย ทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคอีกครั้งจึงทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับในระดับที่ดี (สมชาย และคณะ, 2551)

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารแอนติออกซิแดนซ์ในน้ำผลไม้

รายงานการศึกษาการทำน้ำมะเขือเทศเข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่แข็ง แบบ progressive พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 2.8 องศาบริกซ์ เป็น 4.8 องศาบริกซ์ ปริมาณวิตามินซี และสีของน้ำมะเขือเทศเข้มข้นที่ได้ยังคงรักษาไว้ได้ใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศคั้นสด (Liu *et al*., 1999) ส่วนในองุ่นแดง และผลิตภัณฑ์จากองุ่นแดง ทั้งน้ำองุ่นที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ หรือสเตอริไรซ์ และไวน์องุ่นเป็นแหล่งของสารแอนติออกซิแดนซ์ ช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ LDL (LDL oxidation) ในร่างกาย แต่ทั้งนี้สารแอนติออกซิแดนซ์ มักเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (Meyer *et al*., 1998)

การศึกษาปริมาณของแอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลในส้มและแครอทม่วง พบว่าแอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลมีปริมาณลดลงในระหว่างการเก็บรักษาทั้งในส้มและแครอทม่วง (Alasavar *et al*., 2004) การสกัดแอนโทไซยานินจาก กระหล่ำปลีม่วง พบว่าการใช้น้ำกลั่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.8 และใช้เวลาในการสกัด 120 นาที ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด คือ 153.53 มิลลิกรัม ที่ค่าการดูดกลืนแสง 350 นาโนเมตร (รักษิณา และสาริวรรณ, 2547) ปริมาณของสารแอนติออกซิแดนซ์ ในสตรอเบอรี่ 3 สายพันธุ์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6, 16 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน ผลที่ได้พบว่าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิต่ำ ปริมาณวิตามินซี และแอนโทไซยานินไม่เปลี่ยนแปลง แต่สารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นลดลงในปริมาณสูง (Cordenunsi *et al*., 2005) ส่วนการศึกษาเพื่อตรวจหาปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ และผลของการแปรรูปโดยใช้ความร้อนต่อคุณสมบัติของสารแอนติออกซิแดนซ์ ในน้ำมะเกี๋ยงที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในสภาวะต่างๆ กัน พบว่าปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ ในน้ำมะเกี๋ยงคือ แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และวิตามินซี มีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ความร้อนที่สูงและระยะเวลานานมากขึ้น โดยพบว่าการพาสเจอไรส์แบบวิธีใช้ความร้อนต่ำระยะเวลานาน (LTLT: Low Temperature-Long Time) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับการศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ ที่พบว่าทั้งความสามารถในการรีดิวซ์และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลง (อนุพงศ์ และคณะ, 2549)

ในการทำน้ำเบอร์รี่เข้มข้นโดยการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.0 เป็นร้อยละ 8.9 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นจาก 2.98 เป็น 3.02 เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นโดยการใช้เครื่อง gas chromatography (GC) พบว่าสารที่ให้กลิ่นในเบอร์รี่ คือ geraniol ไม่เปลี่ยนแปลงและยังทำให้มีกลิ่นที่ดีขึ้น (Ramos, 2005)

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลมะเกี๋ยงและการใช้ประโยชน์

จากการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของลูกมะเกี๋ยงสุก โดยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี พบว่าสีของเปลือกผลมีสารกลุ่ม anthocyanin เป็นองค์ประกอบหลัก คือ cyanidin 3-glucoside ส่วนเนื้อผลสุกพบว่ามีกรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่ให้รสเปรี้ยว และคุณค่าทางโภชนาการของมะเกี๋ยง พบว่าในมะเกี๋ยงมีโปรตีน 7.18 กรัม ไขมัน 2.8 กรัม กาก 24.8 กรัม เถ้า 5.04 กรัม คาร์โบไฮเดรต 60.2 กรัม พลังงาน 294.6 กิโลแคลโลรี่ และแคลเซียม 475.4 มิลลิกรัม (ทวีพร, 2530) เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ไทยชนิดต่าง ๆ ได้แก่ มะไฟ มะเฟือง ละมุดไทย และมังคุด พบว่ามะเกี๋ยงมีปริมาณโปรตีน ปริมาณกากและแคลเซียมสูงกว่าผลไม้ไทยชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะแคลเซียมมีปริมาณที่สูงกว่ามาก (ศรีสุดา, 2546) ส่วนสภาพทางกายภาพของน้ำหมักมะเกี๋ยงโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีระยะในการเก็บตั้งแต่ 0, 7, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิก ในรูปของกรดแกลลิค โดยใช้เทคนิคการไทเทรต และเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ตามลำดับ รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส ค่าความหวาน และความเป็นแอลกอฮอล์ ควบคู่กันไปด้วย พบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาในการจัดเก็บเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณวิตามินซี พบว่าในน้ำมะเกี๋ยงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.78-1.40 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.80-1.50 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในรูปของกรดแกลลิก พบว่าระยะแรกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ช้าลง ในน้ำมะเกี๋ยงหมักที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดแกลลิคมากที่สุดคือมีปริมาณกรดแกลลิค 380 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการวิจัยจะเห็นชัดเจนว่า น้ำมะเกี๋ยงหมักจัดเป็นน้ำเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่งเนื่องจากมีสารแอนติออกซิแดนท์ในปริมาณที่สูงมาก (วดี และกัญญาภัค, 2548)

การศึกษาสารสกัดจากเมล็ดมะเกี๋ยงพบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาพฤกษเคมีเบื้องต้น พบว่ามีองค์ประกอบของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ชนิดฟลาโวนอล และฟลาโวน ซาโปนิน แทนนิน และแอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (พิมพร, 2547) และสารสกัดจากเมล็ดมะเกี๋ยง พบว่ามีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Propionibacterium acnes* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิว (พิมพ์ใจ, 2549) นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า การนำเมล็ดมะเกี๋ยงมาสกัดเป็นสารให้กลิ่นในอาหาร เป็นสารในกลุ่ม terpene alcohol เมื่อทำการศึกษากิจกรรมแอนติออกซิแดนท์ของสารสกัดของเมล็ดมะเกี๋ยง ด้วยเอทธานอลเปรียบเทียบกับแอลฟา-โทโคเฟอรอล และ BHT พบว่า สารสกัดเมล็ดมะเกี๋ยงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า แอลฟา-โทโคเฟอรอล และสารสกัดจากเมล็ดมะเกี๋ยงยังสามารถเป็นแหล่งของสารแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติได้ (พิชญ์อร,2552)

รายงานการศึกษาการเก็บรักษามะเกี๋ยงที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 11 วัน ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าปริมาณแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวซ์เพิ่มขึ้นมากที่สุดที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส แต่พบการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถรักษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ และยังพบว่าระหว่างการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของความสามารถบางประการคือการกำจัดอนุมูล $ABTS^{o+}$ และความสามารถในการรีดิวส์ อย่างไรก็ตามความสามารถในการจับอิออนเฟอร์รัสมีค่าลดลง แต่ปริมาณฟีนอลทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกสภาวะ (วรงค์ศิริ, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved