บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ต้นตาลโตนดสามารถพบได้หลายพื้นที่ในประเทศไทย จังหวัดที่มีต้นตาลโตนดมาก เช่น จังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช เพชรบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี ชัยนาท พิษณุโลก บุรีรัมย์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) โดยจังหวัดที่มีต้นตาลโตนดมากที่สุดคือจังหวัดสงขลา มีต้นตาลโตนดจำนวนมากกว่า 3 ล้านต้น (สุรพล จันทร์เรือง, 2545) ซึ่งต้นตาลโตนดนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำลำต้นไปใช้ทำเครื่องเรือน รากใช้เป็นยาขับปัสสาวะ ใบใช้ทำพัด เครื่องจักรสาน ช่อดอกใช้ผลิตน้ำหวาน เป็นต้น (กีย์ ทรีบุลย์, 2527) น้ำตาลโตนดสดที่ได้จากช่อดอกนั้น สามารถนำมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น น้ำตาลเข้มข้น น้ำส้มสายชูหมัก น้ำตาลปึก น้ำตาลแว่น น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์และน้ำตาลโตนดสเตอริไลซ์ (สุรพล จันทร์เรือง, 2545 2545 ; สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547) ปกติน้ำตาลสดหากเก็บอย่างระมัดระวังในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว สามารถเก็บไว้โดยไม่เน่าเสียชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่ถ้าเก็บโดยปราศจากความระมัดระวัง น้ำตาลสดจะเน่าเสียอย่างรวดเร็วโดยมีจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมเข้าไปเจริญเติบโตทำให้เกิดการหมักขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์ที่เป็นปัญหาสำคัญในการทำให้เกิดการหมักในน้ำตาลสดนั้นมีทั้งพวกแบคทีเรีย ยีสต์และรา (Faparsui and Barsir, 1971)

ในการแปรรูปน้ำตาลโตนดสดโดยทั่วไปที่นิยมทำกันก็คือ นำไปกรองด้วยผ้าขาวบางแล้วเทลงในกระทะ ให้ความร้อนนาน 10-15 นาที จนน้ำตาลเริ่มเดือดจึงหยุดให้ความร้อน แล้วบรรจุใส่ขวด ปิดฝา และแช่เย็น รอการจำหน่าย ซึ่งปัญหาที่พบจากการผลิตด้วยวิธีนี้ก็คือ จะมีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้นโดยเก็บได้เพียงแค่ 3 วัน เกิดการบูดเสียง่าย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ความร้อนในการแปรรูปเพื่อทำลายจุลินทรีย์นั้น จะส่งผลให้คุณภาพของน้ำตาลที่ได้นั้นไม่สม่ำเสมอเนื่อง

จากการควบคุมคุณภาพของเกษตรกรผู้ผลิต และนอกจากนี้ยังทำให้สารให้กลิ่นรสที่อยู่ในน้ำตาลโตนดนั้นสูญเสียไปในระหว่างการให้ความร้อนอีกด้วย (สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547)

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้มากขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน ซึ่งนิยมนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ให้ใส (Girard and Fukumoto, 2000) เนื่องจากสามารถแยกองค์ประกอบหรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คอลลอยด์ สารประกอบโพลีฟีนอลิก แป้ง เพกติน และจุลินทรีย์ออกจากน้ำผลไม้ได้ตามขนาดของรูพรุนของเมมเบรนที่แตกต่างกัน จึงทำให้ได้น้ำผลไม้ที่มีความใส และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ (Carneiro *et al.,* 2002) กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้น้ำผลไม้คงความสด ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหารไปเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน และมีความคงตัวของสารให้กลิ่นรส (Girard and Fukumoto, 2000 ; Vaillant *et al.,* 2001) อีกทั้งยังสามารถคงลักษณะการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้แปรรูปให้มีลักษณะใกล้เคียงของสด (Campos *et al.,* 2002) นอกจากนี้กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนยังให้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ เนื่องจากไม่ต้องใช้สารช่วยกรองและใช้แรงงานในการผลิตน้อยเพราะการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ (Rao *et al.,* 1987)

โครงการวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน และใช้เมมเบรน และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา

การตรวจเอกสาร

1. น้ำตาลโตนด

น้ำตาลโตนดเป็นน้ำหวานที่ได้จากต้นตาลโตนด (Pamyra Palm) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* เป็นพืชตระกูลปาล์มที่สามารถขึ้นได้ในเขตร้อน พบโดยทั่วไปในประเทศอินเดีย ไทย พม่า ศรีลังกา และเขมร (กีย์ ทรีบุลย์, 2527) ซึ่ง

ต้นตาลโตนดนั้นสามารถพบได้หลายพื้นที่ในประเทศไทย จังหวัดที่มีต้นตาลโตนดมาก เช่น จังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช เพชรบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี ชัยนาท พิษณุโลก บุรีรัมย์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) โดยจังหวัดที่มีต้นตาลโตนดมากที่สุดคือ จังหวัดสงขลา มีต้นตาลโตนดจำนวนมากกว่า 3 ล้านต้น ครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดสงขลาจำนวน 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอสทิงพระ อำเภอสิงหนคร อำเภอกระแสสินธุ์ อำเภอระโนด อำเภอควนเนียง และอำเภอรัตภูมิ ซึ่งน้ำตาลโตนดสดนั้นสามารถนำมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น น้ำตาลเข้มข้น น้ำส้มสายชูหมัก น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์และน้ำตาลโตนดสเตอริไลซ์ เป็นต้น (สุรพล จันทร์เรือง, 2545 ; สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547)

1.1 ลักษณะทางสรีรวิทยาและนิเวศวิทยาของตาลโตนด

ตาลโตนดเป็นไม้วงศ์ปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว แต่ตาลโตนดมีความแข็งแรงทนทาน และอายุยืนยาวกว่ามะพร้าวมาก โดยมีอายุยืนยาวประมาณ 80-100 ปี โตเต็มที่จะสูงประมาณ 27 เมตร (90 ฟุต) หรือมากกว่า มีเส้นรอบวงโคนต้นอยู่ระหว่าง 60-120 เซนติเมตร (2-4 ฟุต) และมีใบเป็นรูปพัด (fan leaf) ขนาดใหญ่แข็งและหนา โดยจะให้ผลผลิตหลังจากปลูกแล้วประมาณ 10-15 ปี ตาลโตนดขึ้นได้บนดินทุกชนิด ทนทั้งความแห้งแล้งและน้ำท่วม มีรากลึกมาก โดยรากของตาลโตนดไม่แผ่ออกด้านข้าง จึงสามารถปลูกร่วมกับพืชอื่นได้ดี ตาลโตนดที่ขึ้นอยู่ในบริเวณนาข้าวก็ไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันลมพายุ และเป็นที่อยู่อาศัยของนกและค้างคาว ซึ่งช่วยควบคุมแมลงและให้ปุ๋ยแก่ชาวนาอีกด้วย ตาลโตนดที่ขึ้นอยู่โดยทั่วไปมีลักษณะและส่วนประกอบดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

(ก) ราก รากเป็นเส้นกลมยาว เป็นกระจุกคล้ายมะพร้าว แต่หยั่งลึกลงไปในดินได้ลึกมาก ไม่แผ่ไปตามผิวดินเหมือนรากมะพร้าว จึงยึดกับดินได้ดี โอกาสที่จะโค่นล้มหรือถอนรากเป็นไปได้ยาก จึงใช้ปลูกเพื่อเป็นหลักในการแบ่งเขตของคันนาหรือเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับดินในบริเวณที่ทำการทดน้ำเข้านา

(ข) ลำต้น ตาลโตนดเป็นพืชลำต้นเดี่ยวที่มีลักษณะสูงชะลูด ความสูงโดยทั่วไปประมาณ 18-20 เมตร โตเต็มที่จะสูงประมาณ 25-27 เมตร (บางต้นอาจสูงถึง 30 เมตร)

ลำต้นตรงหรือโค้งเล็กน้อย โคนต้นอวบใหญ่วัดโดยรอบได้ประมาณ 1 เมตร เมื่อมีความสูงประมาณ 4 เมตร ลำต้นจะเริ่มเรียวลง วัดโดยรอบได้ประมาณ 40 เซนติเมตร ระยะความสูง 10 เมตรนับจากพื้นดิน ลำต้นจะเริ่มขยายออกใหม่ วัดโดยรอบได้ประมาณ 50 เซนติเมตร และคงขนาดนี้ไปจนถึงยอด เปลือกลำต้นขรุขระ และมีสีขี้เถ้าเป็นวงซ้อนๆ กัน เป็นเสี้ยนแข็ง เหนียว ไม่หักง่าย ส่วนเนื้อไม้ภายนอกแข็งแรง และค่อยๆ อ่อนเข้าไปสู่ภายในลำต้น

(ค) ใบ มีลักษณะเป็นรูปพัด (flobellate หรือ fan leaf หรือ palmate) ขนาดใหญ่ แข็งและหนา โดยแต่ละใบจะมีใบย่อยเรียกว่า segment ซึ่งจะแตกออกจากจุดๆ เดียวกันที่ปลายก้านใบ ยอดตาลแต่ละต้นประกอบด้วยใบตาลประมาณ 25-40 ใบ (แล้วแต่อายุตาล) ใบมีสีเขียวเข้มเป็นรูปพัด ถ้าตาลต้นใดไม่ได้ใช้ประโยชน์ ใบแก่จะมีสีน้ำตาลอ่อนห้อยแนบลำต้น ความกว้างของใบวัดได้ประมาณ 50-70 เซนติเมตร ใบแต่ละใบอายุไม่เกิน 3 ปี ตาลโตนดต้นหนึ่งๆ สามารถให้ใบตาลได้ 12-15 ใบต่อปี ส่วนที่เป็นก้านใบหรือทางตาลยาวประมาณ 1-2 เมตร ทางตาลนี้จะหนาโค้งตามความยาว รอบขอบทางตาลทั้งสองข้างมีหนามแหลมสั้น ขนาดไม่สม่ำเสมอกัน

(ง) ดอก ออกดอกเป็นช่อ โดยดอกตัวผู้และตัวเมียจะอยู่แยกต้นกัน ช่อดอกของต้นผู้เรียก “งวงตาล” แตกแขนงออกเป็น 2-4 งวงต่อข้อ ยาวงวงละประมาณ 30-40 เซนติเมตร ในแต่ละงวงมีดอกเล็กๆ ต้นตัวผู้ต้นหนึ่งจะมีช่อดอก 3-9 ช่อ ส่วนช่อดอกของต้นตัวเมียเรียก “ปลีตาล” ต้นตัวเมียจะออกช่อหลังต้นตัวผู้เล็กน้อยมีประมาณ 10 ช่อ ขนาดใหญ่และชุ่มน้ำหวานมากกว่า ในแต่ละช่อจะมีดอกน้อยกว่าดอกตัวผู้ โดยทั้งต้นตัวผู้และต้นตัวเมียจะทยอยออกช่อเรื่อยๆ สามารถเก็บรองน้ำตาลได้ตลอดปี

(จ) ผล จะออกกับต้นตัวเมียเท่านั้น ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บผลอ่อนใช้เวลาประมาณ 75-80 วัน โดยผลจะออกเวียนรอบต้นตามก้านใบ โดยในแต่ละก้านใบจะออกหนึ่งปลี โดยแต่ละปลีจะให้ช่อดอกประมาณสามช่อ ในหนึ่งช่อดอกให้ผลหนึ่งทะลาย โดยในแต่ละทะลายมี 10-20 ผล ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำเป็นมัน เนื้อภายในเป็นเส้นใยละเอียด เมื่อสุกเต็มที่จะประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล มีสีเหลืองแก่และมีกลิ่นหอม นิยมนำไปใช้ทำขนมตาล และใช้แต่งสีขนมต่างๆ โดยทั่ว

ไปในแต่ละผลจะประกอบด้วยเมล็ดตาลสามเมล็ดอยู่ภายในผลเมล็ดมีลักษณะแบนๆ ยาวประมาณ 4 นิ้ว และหนาประมาณ 1.5 นิ้ว

1.2 การเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนด

น้ำตาลสดจะได้จากช่อดอกส่วนที่เรียกว่า "งวงตาล" และ "ปลีตาล" ซึ่งให้น้ำหวานได้ทั้งสองชนิด โดยมีวิธีการในการเก็บเกี่ยวที่คล้ายกัน แตกต่างกันบ้างเฉพาะไม้ที่ใช้นวดงวงและปลี ซึ่งของต้นตัวผู้จะใช้ไม้นวดที่แบนกว่าของต้นตัวเมีย โดยไม้ที่ใช้นวดเรียกว่า "ไม้คาบตาล" (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

1.2.1 วิธีการเก็บน้ำตาลสดจากต้นตาลตัวผู้

ขนาดของต้นตาลที่เหมาะในการเก็บน้ำหวาน คือ หลังจากที่ออกงวงยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ดอกบานพอประมาณ ให้รวบงวงตาลเข้าด้วยกัน ใช้ไม้คาบตาลบีบงวงตาลเบาๆ วันละครั้ง ทำติดต่อกันประมาณ 3-4 วัน หักปลายงวงทิ้งประมาณ 1 นิ้ว ใส่กระบอกแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 3 คืน วันรุ่งขึ้นเทน้ำในกระบอกออกทิ้งไว้ 1 คืน ทดลองปาดตาลโดยทำในตอนเช้า ถ้ามีน้ำไหลซึมออกมาไม่หยุดถือว่าใช้ได้ โดยใช้กระบอกน้ำตาลสด ซึ่งทำจากกระบอกไม้ไผ่ใส่ไม้พยอม (*Shorea floribunda*) หรือไม้เคี่ยม (*Cylylelobium lanceolatum*) ที่ตัดเป็นชิ้นๆ ขนาด 3-5 กรัม แขวนรองรับน้ำตาลที่ไหลซึมออกมาจากงวงตาลนั้น แต่ถ้าปาดแล้วรอยแผลไม่มีน้ำไหลก็ใช้ไม่ได้ โดยไม้เคี่ยมหรือไม้พยอมจะช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่ให้น้ำตาลสดบูด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544 ; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545 ; สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547)

1.2.2 วิธีการเก็บน้ำตาลสดจากต้นตัวเมีย

ช่วงเวลาที่เหมาะในการเก็บน้ำหวานคือ หลังจากช่อดอกบานเป็นจั่นแล้วขนาดเท่าลูกละมุดหรือใหญ่กว่า ให้นวดตาลระหว่างจั่นโดยใช้ไม้คาบตาลนวดติดต่อกันประมาณ 3 วัน หักปลายจั่นทิ้งประมาณ 1 นิ้ว ทดลองปาดจั่นดู ถ้ามีน้ำไหลออกมาไม่หยุดแสดงว่าใช้ได้ หลังจากนั้นใช้กระบอกไม้ไผ่ที่มีการเติมไม้เคี่ยมหรือไม้พยอมประมาณ 3-5 กรัม แขวนรองรับน้ำตาลสดที่ซึมออกมา แต่ถ้าปาดแล้วไม่มีน้ำออกมาให้นำจั่นแช่น้ำในกระบอกทิ้งไว้ 1 คืน วันรุ่งขึ้นเทน้ำในกระบอกทิ้ง ทดลองปาดหน้าตาล

ใหม่ ถ้าไม่มีน้ำไหลออกมาก็เปลี่ยนต้นใหม่ โดยทั่วไปเกษตรกรไม่นิยมเก็บน้ำหวานจากต้นตัวเมีย ส่วนใหญ่จะปล่อยให้ออกจั่นติดผลเพื่อเก็บผลตาลเป็นทะลายมากกว่า (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

ช่วงเวลาในการเก็บน้ำตาลโตนดอยู่ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงปลายเดือนพฤษภาคม โดยจะเก็บได้วันละ 2 ครั้ง คือในช่วงเช้ามืดและช่วงบ่าย หลังจากนั้นเกษตรกรจะหยุดเนื่องจากเป็นช่วงหน้าฝนมีฝนตกชุก และเป็นช่วงที่ต้นตาลให้ผลผลิตน้อยลง โดยเฉลี่ยต้นตาลตัวเมียจะให้น้ำตาลสดวันละ 4-5 ลิตรต่อต้น ส่วนต้นตาลตัวผู้จะให้น้ำตาลสดวันละ 3 ลิตรต่อต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544) น้ำตาลโตนดที่เก็บในตอนเช้าจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำตาลโตนดที่เก็บในตอนเย็นเพราะอากาศในตอนกลางคืนเย็นกว่าตอนกลางวัน ทำให้อัตราการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาลโตนดในตอนกลางคืนเป็นไปได้ช้า นอกจากนี้พบว่าการเก็บน้ำตาลโตนดในตอนเช้าให้ปริมาณมากและมีความหวานสูงกว่ากว่าการเก็บน้ำตาลโตนดในช่วงบ่ายอีกด้วย (กีย์ ทรีบุลย์, 2527)

1.3 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำตาลโตนด

จากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านเกี่ยวกับองค์ประกอบของน้ำตาลโตนดสดมีรายงานดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบในน้ำตาลโตนดสด

Composition of fresh palm sap

Composition	Yield	References
Specific gravity at 29°C	1.058-1.077	Child (1974)
pH	5.50	กนก ติระวัฒน์ (2531)
	4.69	เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532)
	5.09	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
	5.76	สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)
Total soluble solid	11.60°Brix	กนก ติระวัฒน์ (2531)
	13.93°Brix	เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532)
	13.80°Brix	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
	11.20°Brix	สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)
Total acidity	0.098 % (as citric acid)	เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532)
	0.036 % (as citric acid)	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
	0.032 % (as lactic acid)	สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)
Reducing sugar	1.8 %	กนก ติระวัฒน์ (2531)
	0.67 %	สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)
Sucrose	15.0 %	กนก ติระวัฒน์ (2531)
	12.3-17.4 g/100 ml	Child (1974)
Total sugar	13-18 %	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
	11.54 %	เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532)
	12.34 %	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
	16.8 %	กนก ติระวัฒน์ (2531)
	10.91 %	สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)
Protein	0.37 %	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
	360 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Composition	Yield	References
Protein	0.23-0.32 g/100 ml	Child (1974)
Ash	0.11-0.41 g/100 ml	Child (1974)
	1.04 %	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)
Phosphorus	110 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
Potassium	1,900 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
Calcium	60 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
Magnesium	30 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
Vitamin B	3.9 I.U.	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
Vitamin C	132 mg	สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2543)
	0.084 mg/ml	เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)

1.4 จุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนด

Faparsui และ Barsir (1971) ศึกษาการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดที่ปล่อยให้เกิดการหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าภายใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมักจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากคือ *Lactobacillus* sp., *Leucocostoc* sp. และ *Saccharomyces cerevisiae* หลังจาก 48 ชั่วโมงจะตรวจพบ *Acetobacter* sp. และหลังจาก 72 ชั่วโมงหลังการหมักจะเริ่มตรวจพบเชื้อยีสต์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งประกอบด้วย *Pichia* sp., *Schizosaccharomyces pomb* และ *Candida mycoderma* นอกจากนี้ยังพบเชื้อราพวก *Aspergillus flavus, Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.

Faparsui และ Barsir (1971) รายงานว่าน้ำตาลโตนดมีพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-7.2 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *Lactobacillus* sp. และ *Leucocostoc* sp. โดยตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในน้ำตาลสด ภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พีเอชจะลดลงเหลือ 4.5 ซึ่งภายใต้สภาวะนี้ *Saccharomyces cerevisiae* จะเจริญได้ดีที่สุด แต่หลังจากการหมักได้ 3 วัน แอลกอฮอล์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยยีสต์จะมีมาก

เพียงพอมีผลทำให้ *Acetobacter* sp. เจริญ และเมื่อแบคทีเรียชนิดนี้เพิ่มจำนวนมากขึ้น น้ำตาลสดนั้นก็จะมีรสเปรี้ยวไม่เหมาะสำหรับใช้ดื่มอีกต่อไป

Okafor (1975) รายงานว่าในน้ำตาลเมาที่ได้จากต้นปาล์มจากประเทศไนจีเรีย มีแบคทีเรียที่พบบ่อย 5 จีนัส (genus) ได้แก่ Micrococcus, Leuconostoc, Streptococcus, Lactobacillus และ Acetobacter ส่วนแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่พบ ได้แก่ Serratia และ Aerobacter จะสร้างกรดทำให้พีเอชของน้ำตาลสดลดลงจาก 7.0 เหลือประมาณ 4.5

Shamala และ Sreekantiah (1988) ศึกษาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักน้ำตาลสดจากอินทผลัมป่า (*Phoenix sylvestris*) เป็นไวน์ โดยแยกเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำตาลสดจากอินทผลัมป่า พบว่าจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae, Schizosaccharomyces pomb, Acetobacter aceti, Acetobacter rancens, Acetobacter suboxydans, Leucocostoc dextranicum, Micrococcus* sp., *Pediococcus* sp., *Bacillus* sp. และ *Sarcina* sp.

Okafor (1972) แยกยีสต์จากน้ำหมักที่ได้จากการหมักน้ำตาลสดของปาล์มในสกุล *Elaeis* และ *Raphia* ซึ่งเก็บจากสถานที่ต่างกัน พบยีสต์ 17 สายพันธุ์ โดยที่เป็นยีสต์ในสกุลของ *Saccharomyces* 12 สายพันธุ์ *Candida* 4 สายพันธุ์ และ *Endomycopsis* 1 สายพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของยีสต์ในไวน์ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของปาล์ม และสถานที่เก็บน้ำตาลสด ยีสต์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำตาลโตนด โดยจะทำให้เกิดกลิ่นรสของน้ำตาลสด ซึ่งเกิดการหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งมีประโยชน์ในการทำน้ำตาลเมา แต่มีผลเสียต่อคุณภาพน้ำตาลโตนดสดโดยจะเกิดฟอง มีกลิ่นเหม็น และสูญเสียปริมาณน้ำตาล (Faparusi, 1973)

วรวุฒิ โกยสมบัติ (2536) ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสดที่เก็บเกี่ยวโดยวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร จากอำเภอสทิงพระและอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา พบว่า ตัวอย่างน้ำตาลโตนดสดที่ใช้ไม้เคี่ยมและไม่ใช้ไม้เคี่ยมเป็นวัตถุกันเสียมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นทั้งหมดเท่ากับ 10^8 และ 10^9 โคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับปริมาณโคลิฟอร์มพบว่า ทั้งในตัวอย่างที่ใช้ไม้เคี่ยมและไม่ใช้ไม้เคี่ยมมีปริมาณสูงถึง 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง และเมื่อแยกกลุ่มจุลินทรีย์ที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถแยกกลุ่มจุลินทรีย์

ได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มแบคทีเรียมี 8 ลักษณะ กลุ่มยีสต์มี 5 ลักษณะ และกลุ่มรามี 2 ลักษณะ

1.5 การป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาลโตนด

เนื่องจากการรองรับน้ำตาลสดจากต้นจะต้องใช้เวลานานกว่า 10 ชั่วโมง ดังนั้น จุลินทรีย์หลายชนิด เช่น ยีสต์ แบคทีเรีย และราที่ปนเปื้อนอยู่ในสภาพแวดล้อมมีโอกาสเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่รองรับน้ำตาลสดทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพ มีรสเปรี้ยว เป็นเมือก มีฟองและมีปริมาณน้ำตาลลดลง วิธีที่ง่ายที่สุดในการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาล คือ การทำความสะอาดภาชนะที่จะนำไปรองน้ำตาลสดก่อนโดยการรมควันหรือลวกน้ำร้อน การลวกน้ำร้อนอาจจะใช้น้ำตาลสดที่กำลังเดือดลวกภาชนะก็ได้ แต่ต้องมีที่คว่ำที่เหมาะสมเพื่อป้องกันแมลงหรือมดรบกวน (ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2521)

สัณทกุล มาลี และพูนสุข อัตถะสัมปุณณะ (2517) รายงานว่าความสะอาดของกระบอกรองรับมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาลสดมาก จากการใช้กระบอกที่ทำความสะอาด 3 วิธี คือ ล้างน้ำ ต้ม และนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน ไปรองรับน้ำตาลสดโดยไม่มีการเติมสารใดเลยพบว่า น้ำตาลสดในกระบอกที่ฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำไม่เกิดกลิ่นบูดเปรี้ยวหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 9 ชั่วโมง ในขณะที่น้ำตาลสดจากกระบอกที่ล้างด้วยน้ำมีกลิ่นเปรี้ยวเกิดขึ้นตั้งแต่นำลงมาจากต้น การชะลอการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยใช้เปลือกไม้บางชนิด เช่น ไม้เคี่ยม (*Cotylebium lanceolatum*) สับเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ไว้ในภาชนะรองรับน้ำตาลสดประมาณ 4-5 กรัมต่อน้ำตาลสด 1 ลิตร สารประกอบพวกโพลีฟีนอลในไม้เคี่ยมจะช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2532 ; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545 ; สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547) ในประเทศศรีลังกาจะใช้ hal bark (Vateria acuminata L.) ในประเทศฟิลิปปินส์ใช้ผงของเปลือกไม้โกงกาง เช่น *Rhizophora muronata Lam.* หรือ *Ceriops tagal* ในการยับยั้งการหมักในน้ำตาลสด (Child, 1974) ประเทศไนจีเรียใช้เปลือกของต้น *Saccoglottis gabonensis* ซึ่งเป็นพืชอยู่ในวงศ์ Humiriaceae เปลือกไม้ชนิดนี้มีขายตามท้องตลาดในลักษณะแผ่นแห้ง (Faparsui and Barsir, 1972) สำหรับ

ประเทศไทยนอกจากไม้เคี่ยมแล้ว ยังนิยมใช้ไม้ พยอม (*Shorea floribunda*) ไม้ตะเคียน (*Hopea adorata*) และไม้มะเกลือ (*Diospyros mollis*) (ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2521)

Faparsui และ Barsir (1972) ศึกษาผลของสารที่สกัดจากเปลือกไม้ *Saccoglottis gabonensis* ต่อชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำตาลสด พบว่าสารที่สกัดจากเปลือกไม้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดี เนื่องจากมีสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรด แต่ไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ($P \geq 0.05$) นอกจากนี้พบว่า การใช้สารเคมีในการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาลสด เช่น การใช้กรดเบนโซอิกเข้มข้นร้อยละ 0.2 จะสามารถยับยั้งการหมักแอลกฮอล์และการเกิดกรดอะซิติกได้อย่างสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารเคมีในระดับนี้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในเรื่องรสชาติ (Child, 1974) นอกจากนี้มีการใช้ซัลฟานิลาไมด์ 10-60 ส่วนในล้านส่วนระหว่างการเก็บรักษาน้ำตาลสด แต่การใช้สารเคมีชนิดนี้ในเครื่องดื่มทำให้เกิดรสขม ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมเช่นกัน (Woodroof, 1979)

Tirawat และคณะ (1986) ศึกษาผลของการใช้โซเดียมเบนโซเอท โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ และปูนขาวเปรียบเทียบกับการใช้ไม้เคี่ยม ในการถนอมรักษาคุณภาพของน้ำตาลสด โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของน้ำตาลโตนดสด พบว่าคุณภาพทางเคมีไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แต่ปูนขาวและสารผสมระหว่างโซเดียมเบนโซเอทกับโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสารชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้สารผสมระหว่างโซเดียมเบนโซเอทกับโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์จะทำให้น้ำตาลสดมีคุณสมบัติดีกว่าการใช้ปูนขาว เนื่องจากการใช้ปูนขาวจะทำให้น้ำตาลสดที่ได้มีคุณภาพด้อยลง

2. เอนไซม์ในน้ำผลไม้

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของน้ำผลไม้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

2.1 เอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) มีชื่อเรียกว่า แอลฟา-กลูโคสิเดส และบีตา-ฟรักโทฟูราโนสิเดส ฟรักโทส มีชื่อตามรหัสคือ E.C.3.2.1.23 (ปราณี อ่านเปรื่อง,

2539) เอนไซม์เหล่านี้สร้างจากจุลินทรีย์เช่น *E.coli* ยีสต์ในนม รา *Aspergillus niger* เป็นต้น ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส (ดังสมการ)

$$\text{sucrose} + H_2O \xrightarrow{\text{invertase}} \text{glucose} + \text{fructose}$$

เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาดังกล่าว แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แอลฟา-ดี-กลูโคซิเดส (α-D-glucosidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างจากเชื้อรา สามารถย่อยน้ำตาลซูโครสทางปลายโมเลกุลของกลูโคส และเบต้า-ดี-ฟรุกโตราโนซิเดส (β-D-fructoranosidase) เป็นเอนไซม์ที่สร้างจากยีสต์ สามารถย่อยสลายน้ำตาลซูโครสทางปลายโมเลกุลของฟรุกโตส เอนไซม์อินเวอร์เทสทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 3.5-5.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-55°ซ ในอาหารที่มีสารละลายน้ำตาลเจือจาง และในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 65-70°ซ เอนไซม์อินเวอร์เทสจะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของน้ำผลไม้ โดยจะทำให้เกิดการหมักของน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้มีรสชาติและกลิ่นเปลี่ยนไป (Kulp, 1975)

2.2 เอนไซม์เพกติเนส (pectinase) พบทั่วไปในพืชชั้นสูง โดยเมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์เพกติเนสและเพกตินจะเคลื่อนเข้าใกล้กัน ทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้เปลี่ยนแปลงไป โดยผักผลไม้จะนิ่มลงและมีผลทำให้น้ำผลไม้สูญเสียความข่น อุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เพกติเนสอยู่ระหว่าง 40-55°ซ และ 4.5-6.0 ตามลำดับ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533 ; Kulp, 1975) เอนไซม์เพกติเนสสามารถแบ่งออก ได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.2.1 เอนไซม์เพกตินเอสเทอเรส (pectinesterase, PE)

มีชื่อเรียกว่า pectin pectylhydrolase (E.C.3.1.1.11), pectase, pectin methoxylase, pectin demethoxylase, pectolipase, pectin methylesterase ทำหน้าที่แยกกลุ่มเมทธอกซิล (methoxyl) ออกจากโมเลกุลของเพกตินแต่ไม่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิก จัดอยู่ในกลุ่มของกลุ่มย่อย (subdivision) ของไฮโดรเลส (hydrolase) ที่ดึงน้ำออกจากเอสเทอร์ของกรดคาร์บอกซิลิก (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533) กลไกการทำงานเอนไซม์

เพกตินเอสเทอเรสคือจะเข้าทำปฏิกิริยากับเพกตินที่ละลายในน้ำผลไม้ โดยดึงหมู่เมทธิล ($-CH_3$) ทำให้เกิดหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (-COOH) ในโมเลกุลของเพกตินมากขึ้นเกิดเป็นกรดเพกติน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับอิออนบวกชนิดไดวาเลนต์ (divalent cation) เช่น แคลเซียมอิออน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของแคลเซียมเพคเตทซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้อนุภาคต่างๆที่ก่อให้เกิดความขุ่นไม่คงตัวแยกชั้นออกมา จึงทำให้สูญเสียลักษณะความขุ่นในน้ำผลไม้ไป (ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2538)

2.2.2 เอนไซม์โพลีกาแลกทูโรเนส (polygalacturonases, PG)

มีชื่อเรียกว่า poly-α-1,4 galacturonide glycanohydrolase (E.C.3.2.1.15) ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิก ในสารประกอบเพคติกให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดเพคติกสายสั้นๆ ที่ละลายน้ำได้ (soluble short-chain pectic acid) และ/หรือกรดโอลิโกกาแลกทูโรนิก (oligogalacturonic acid) (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533)

2.2.3 เอนไซม์เพกเตทไลเอส (pectate lyases)

มีชื่อเรียกว่า poly-α-1,4-D galacturonide lyase จะย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกโดยวิธี trans elimination ของ H^+ จาก C(4) และ C(5) ของส่วน aglycone ของสารตั้งต้นแล้วได้ผลผลิตเป็นพันธะคู่ เอนไซม์นี้อยู่ในกลุ่มของไลเอส (lyase) (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533)

เอนไซม์เพกติเนสจะทำงานได้ดีเมื่อมีสารตั้งต้นซึ่งได้แก่ เพกตินและอนุพันธ์ของเพกติน (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533) เช่น

ก. สารประกอบเพกติน (pectic substance) คือ คอลลอยด์คาร์โบไฮเดรตในพืช ประกอบด้วยหน่วยของกรดแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid)

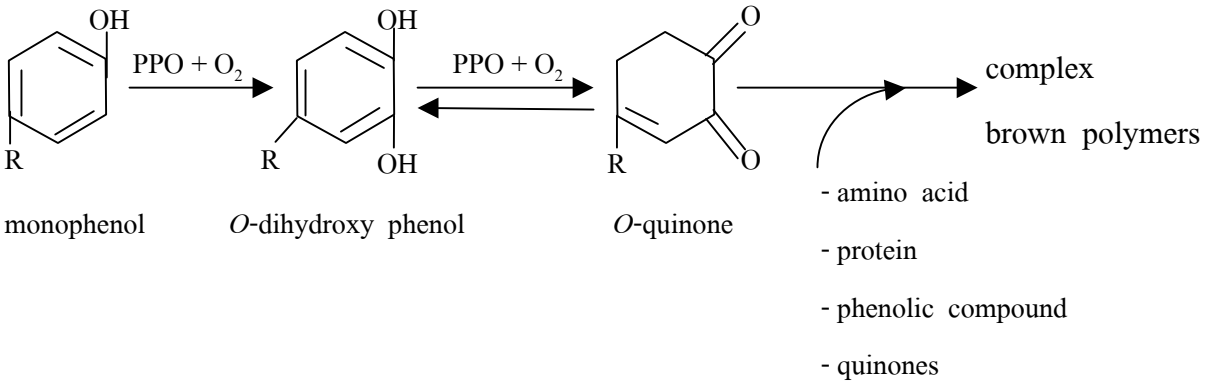
ข. โปรโตเพกติน (protopectin) คือ ส่วนที่ไม่ละลายน้ำของสารประกอบเพกตินในพืช

ค. เพกติน (pectin) เป็นรูปทั่วไปของสารประกอบเพกตินประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลร้อยละ 75 ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมธานอล เพกตินเป็นสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลระหว่างกรดและน้ำตาล (sugar-acid gels)

ง. กรดเพคติก (pectic acid) คือ โพลีเมอร์ของกรดแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก และมีหมู่คาร์บอกซิลที่เป็นอิสระ

จ. กรดเพกตินิก (pectinic acid) คือ รูปทั่วไปของเพกตินที่มีกลุ่มเมธิลเอสเทอร์เล็กน้อย

2.3 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในน้ำผลไม้ ซึ่งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีชื่อเรียกตามระบบว่า *o*-diphenol : oxygen oxidoreductase และมีชื่อสามัญต่างๆ กัน เช่น tyrosinase, polyphenolase, phenolase, catechol oxidase, cresolase และ catecholase เป็นต้น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 128 กิโลดาลตัน ในการพิจารณาคุณภาพน้ำผลไม้คั้นสดที่อุณหภูมิห้องจะพิจารณาจากสีของน้ำผลไม้ น้ำผลไม้มีสีคล้ำเมื่อมีการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในสภาวะที่มีออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่สารประกอบจำพวกโมโนฟีนอล (monophenol) ถูกเติมหมู่ไฮดรอกซิลเกิดเป็นสารออโทไดไฮดรอกซีฟีนอล (*o*-dihydroxy phenol) ซึ่งถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นออโทควิโนน (*o*-quinone) โดยสารออโทควิโนนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโนและสารอื่น เกิดเป็นสารที่มีสีที่มีโครงสร้างซับซ้อน (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538) ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

Enzymatic browning reaction from polyphenoloxidase

ที่มา : ประสาร สวัสดิ์ชิตัง (2538)

3. สาเหตุความขุ่นของน้ำผลไม้

สาเหตุความขุ่นของน้ำผลไม้ เกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ในน้ำผลไม้ เช่น แทนนิน เพกติน แป้ง เจลาติน กัม โปรตีนจากผลไม้ที่มีอยู่ในพืชหลายชนิด นิวเคลียส และองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และเกิดการแขวนลอยในน้ำผลไม้ได้ (Tressler and Joslyn, 1961) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในน้ำผลไม้ที่เป็นสาเหตุให้เกิดความขุ่นมี 4 ประเภท คือ กลุ่ม cinnamic acid, อนุพันธ์กลุ่ม flavan และ flavanol, กลุ่ม glycoside dihydrochalcone และ glycoside และกลุ่ม tannin (Wakayama and Lee, 1987) ความขุ่นของน้ำผลไม้เป็นสาเหตุทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนสี กลิ่นรสได้ นอกจากนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกติน เช่น เพกตินเอสเทอเรส ในสารประกอบที่แขวนลอยเหล่านั้นโดยอาจเป็นสารพวกน้ำมัน ไขมัน สารที่ให้สีจากผิวผลไม้หรือเนื้อผลไม้ (Calderon *et al*., 1968)

4. การทำน้ำผลไม้ให้ใส

น้ำผลไม้ที่คั้นจากผลไม้ จะมีสิ่งปะปนต่างๆ เช่น เศษเนื่อเยื่อ เมล็ด ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนการทำให้ใส และน้ำผลไม้บางชนิดนิยมดื่มในลักษณะที่มีความใส เช่น น้ำองุ่น แอปเปิล มะนาว เป็นต้น จึงต้องมีการกำจัดสารพวกโพลีฟีนอลิก โปรตีน และเพกตินที่ทำให้เกิดคอลลอยด์ที่มีความขุ่น (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540) การทำน้ำผลไม้ให้ใสทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

4.1 การกรอง โดยใช้ถุงกรองซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายแต่ได้ผลไม่ดีนัก อาจใช้ร่วมกับสารช่วยกรอง (filter aid) ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่ทำให้น้ำผลไม้เปลี่ยนแปลงและกักสารที่ก่อให้เกิดความขุ่นเอาไว้ นอกจากนี้อาจใช้เครื่องกรองชนิดต่างๆ เช่น pulp filter และ filter press

4.2 การทิ้งให้น้ำผลไม้ตกตะกอน จะได้ส่วนน้ำผลไม้ใสตอนบนแยกออกมาโดยไม่ต้องผ่านการกรองอีก

4.3 การใช้สารเคมีช่วยตกตะกอน (fining agent) โดยสารเคมีที่ใช้จะต้องมีลักษณะที่สามารถจับสารที่ทำให้เกิดลักษณะขุ่นเอาไว้ได้ เช่น ไข่ขาว เคซีน แทนนิน เจลาติน และเบนโตไนท์ ซึ่งเบนโตไนท์จะเป็นผงดินเหนียวมอนโมริลโลไนท์ (montmorillonite clay) อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมซิลิเกท (complex hydrated aluminium silicate) ซึ่งประกอบด้วยแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมักเป็นโซเดียมไอออน เบนโตไนท์ที่แขวนลอยในสารละลายเป็นซิลิเกท (silicate) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเล็กๆ (small platelets) และไม่ละลายน้ำ แผ่นเล็กๆ ของเบนโตไนท์จะมีประจุลบและมีพื้นที่ผิวมาก โดยจะมีพื้นที่ผิวประมาณ 750 ตารางเมตรต่อกรัม เบนโตไนท์จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับโดยมักเลือกดูดซับพวกโปรตีน ซึ่งการดูดซับนั้นเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกของโปรตีนและประจุลบของซิลิเกท และอนุภาคของเบนโตไนท์ที่ปกคลุมด้วยโปรตีนที่ถูกดูดซับจะดูดซับสารพวกแทนนิน และเกิดเป็นตะกอนที่รวมเอาพวกฟีนอลิกและแทนนินตกลงมา โดยตะกอนจะมีลักษณะแน่น (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545 ; Mobius and Gortges, 1977)

ผงถ่านกัมมันตร์ (activated carbon) ซึ่งทำจากวัตถุดิบประกอบด้วยคาร์บอนจำนวนมาก อาจทำจากไม้ ถ่าน หรือเปลือกมะพร้าว ซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 2,000°ซ ภายใต้ความดันสูงซึ่งทำให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนที่ผิวหน้าผงถ่านกัมมันตร์ โดยมีลักษณะเป็นรูขนาดเล็กที่แข็งแรง จะเป็นตัวกรองที่มีพื้นที่ผิวหน้าแบนราบ สามารถดักจับก๊าซและอนุภาคต่างๆ ห่อหุ้มก๊าซไว้ในโมเลกุล

เรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ทดลองทำใสน้ำตาลโตนดสดก่อนนำไปทำไซรัป โดยใช้กระดาษกรอง เบนโตไนท์ และผงถ่านกัมมันตร์ พบว่าไซรัปที่ผ่านการทำใสโดยใช้เบนโตไนท์ และผงถ่านกัมมันตร์ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าไซรัปที่ผ่านการทำใสโดยใช้กระดาษกรอง ($P \leq 0.05$)

พรพงษ์ สุทธิรักษ์ (2536) ทดลองปรับปรุงความใสของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลโตนด โดยใช้สารตกตะกอน 6 ชนิด คือ ไคโตแซน ไข่ขาว ผงทรายละเอียด เอนไซม์เพกตินเนส เจลาติน และเบนโตไนท์ จากการศึกษาพบว่า เบนโตไนท์เป็นสารที่ให้ผลการทำใสดีที่สุด โดยการใช้ผงเบนโตไนท์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ความใสของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลโตนดดีขึ้น ($P \leq 0.05$)

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2545) ศึกษาการทำน้ำฝรั่งให้ใสโดยใช้เบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้น 2000 และ 4000 ppm และเจลาตินที่ระดับความเข้มข้น 300, 500 และ 700 ppm ใช้ระยะเวลาในการกวนนาน 10, 20 และ 30 นาที โดยจากการทดลองพบว่าเบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้น 4000 ppm ให้น้ำฝรั่งมีความใสมากที่สุด ($P \leq 0.05$) สำหรับระยะเวลาในการกวนนั้นพบว่าไม่มีผลต่อความใสของน้ำฝรั่ง ($P \geq 0.05$)

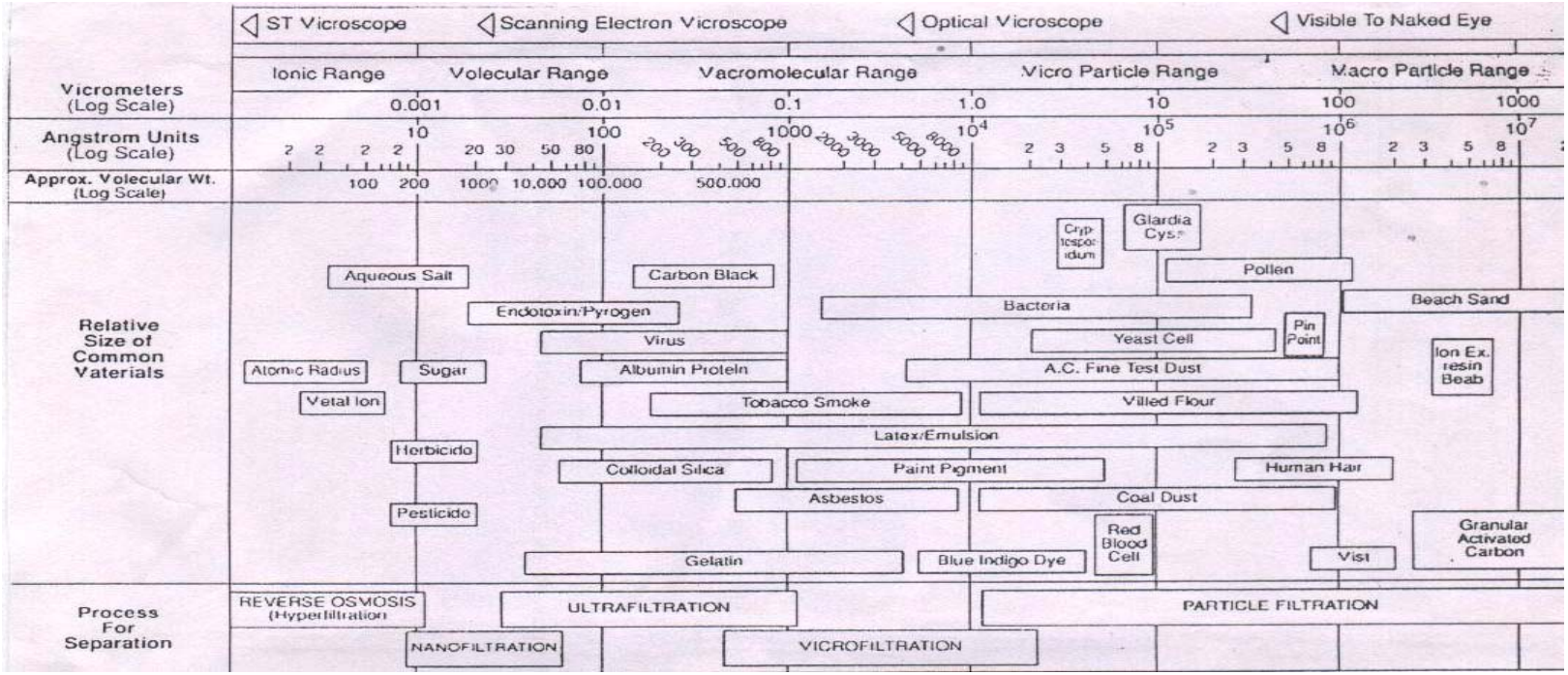
4.4 การใช้เอนไซม์ การเติมเอนไซม์ที่ย่อยเพกตินได้จะทำให้เพกตินซึ่งเป็นสารไม่ละลายน้ำ มีขนาดโมเลกุลใหญ่และแขวนลอยได้ ถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีผลทำให้สารที่แขวนลอยในน้ำผลไม้จับตัวเป็นตะกอนแยกออกจากส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้น้ำผลไม้มีความหนืดน้อยลงง่ายต่อการกรอง (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540)

5. กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน

กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม เช่น การแยกจุลินทรีย์ สารโมเลกุลขนาดเล็ก หรือสารแขวนลอย (Girard and Fukumoto, 2000)

หลักการของกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน คือเป็นการกรองที่อาศัยแรงดันสารละลายจะถูกป้อนเข้าสู่เมมเบรน ส่วนของของแข็งหรืออนุภาคขนาดใหญ่จะถูกกักไว้ที่ผิวหน้าเมมเบรน ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้เรียกส่วนนี้ว่า รีเทนเทต (retentate) แต่ส่วนของของเหลวและอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถผ่านไปได้ โดยสารละลายที่ผ่านเมมเบรนออกมาเรียกว่า เพอมิเอท (permeate) นอกจากความดันแล้วปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มข้นของสารละลาย ความเร็วของการไหล และอุณหภูมิ ซึ่งจะมีผลต่อฟลักซ์ของเพอมิเอท (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541)

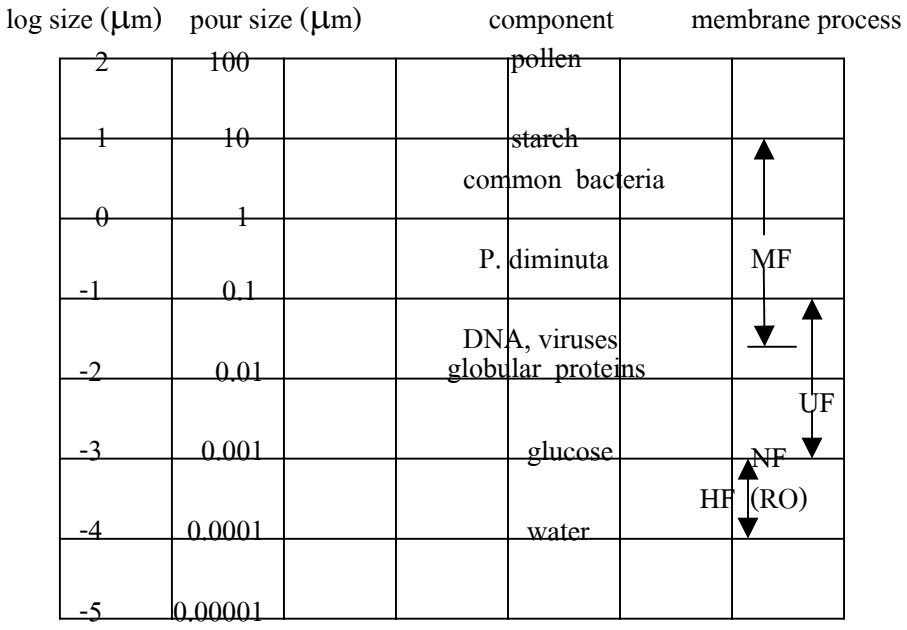
องค์ประกอบของสารละลายที่ได้จากการแยกโดยใช้เมมเบรนนั้นจะแตกต่างกันทั้งนี้จะขึ้นกับขนาดของรูพรุนที่ใช้ และขนาดของสารละลาย โดยสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ได้ดังภาพประกอบที่ 2-3 ซึ่งแยกตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนในเมมเบรนแต่ละชนิดและขนาดขององค์ประกอบต่างๆ (Girard and Fukumoto, 2000)



ภาพประกอบที่ 2 ขนาดของการใช้เมมเบรนและขนาดอนุภาคของสาร

Size range of membrane filtration processes and common substances

ที่มา : Girard และ Fukumoto (2000)



ภาพประกอบที่ 3 ขนาดรูพรุนของเมมเบรนเทียบกับขนาดของอนุภาคที่สามารถแยกได้

Pore size range of membrane, compared to dimension of some components separated by membrane process

ที่มา : Zeman และ Zydney (1996)

หมายเหตุ : MF : Microfiltration

UF : Ultrafiltration

NF : Nanofiltration

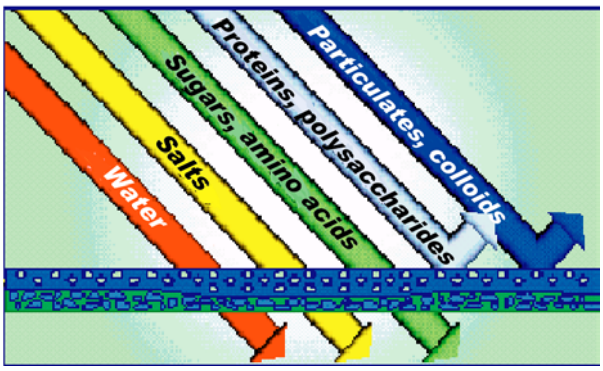
HF (RO) : Hyperfiltration (Reverse Osmosis)

5.1 ชนิดของเมมเบรน

กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนนั้นมีอยู่หลายชนิด โดยในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ส่วนใหญ่ได้นำกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและกระบวนการไมโครฟิลเตรชันมาประยุกต์ใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส ดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ 2 กระบวนการนี้

5.1.1 กระบวนอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)

อัลตราฟิลเตรชันเป็นการกรองโมเลกุลหรือสารแขวนลอยในสารละลายผ่านเมมเบรนโดยใช้ความดัน หลักการของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันคือ ตัวทำละลายในด้านสารละลายที่เข้มข้นจะแพร่ผ่านเยื่อกรองไปยังด้านสารละลายที่เจือจางจนกระทั่งถึงจุดสมดุล ถ้ามีการให้ความดัน (P) ทางด้านสารละลายที่เข้มข้น โดยที่มีค่าสูงกว่าผลต่างของความดันออสโมติก ($\Delta\pi$) มากๆ ($P>>\Delta\pi$) ก็จะทำให้สารละลายตั้งต้นที่มีความเข้มข้นแพร่ผ่านเยื่อกรองไปยังอีกด้านซึ่งจะมีสารละลายที่เจือจาง จะเห็นได้ว่ากระบวนอัลตราฟิลเตรชัน มีหลักการที่คล้ายคลึงกับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสมาก โดยที่ความแตกต่างของทั้งสองกระบวนการนี้คือ ความดันที่ใช้ โดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะใช้ความดันอยู่ในช่วง 1.38-13.78 บาร์ ต่ำกว่ารีเวอร์สออสโมซิสซึ่งใช้ความดันในช่วง 13.78-103.42 บาร์ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2545) สำหรับเยื่อกรองที่ใช้เป็นเยื่อกรองไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนา 0.1–2 ไมครอน มีขนาดรูพรุน 10-500°A หรือเทียบเท่ากับ Molecular Weight Cut Off (MWCO หมายถึง สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กที่สุดร้อยละ 90 ที่สามารถถูกแยกโดยเยื่อกรอง) ระหว่าง 500-300 กิโลดาลตัน มีการนำกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมากมายในปัจจุบัน เช่น ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นโปรตีนในหางนม ใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นเจลาติน รวมไปถึงการใช้งานในการบำบัดน้ำ–น้ำทิ้ง และงานทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Girard and Fukumoto, 2000)



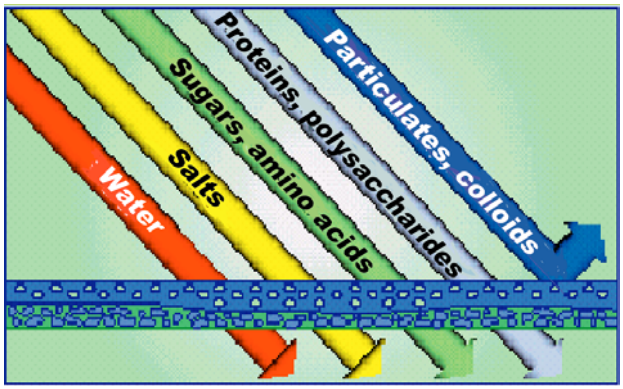
ภาพประกอบที่ 4 ความสามารถในการแยกของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

Separated ability of ultrafiltration

ที่มา : Liquid Purification Engineering International Co., Ltd. (2002)

5.1.2 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration)

กระบวนการไมโครฟิลเตรชันเป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเยื่อที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ขนาด 0.1-10 ไมครอน สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ๆ สารแขวนลอยหรืออนุภาคเล็กๆ ออกจากของเหลว โดยตัวถูกละลายที่ใช้แยกผ่านเยื่อกรองชนิดนี้มีขนาดที่เทียบเป็นน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไป ช่วงความดันหรือแรงขับดันในการป้อนสารละลายต่ำกว่าออสโมติกผันกลับและอัลตราฟิลเตรชัน คือ อยู่ในช่วง 1-5 บาร์ มีการนำกระบวนการไมโครฟิลเตรชันมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมากมายในปัจจุบัน เช่น ในอุตสาหกรรมนมและอาหารโดยใช้ในการแยกแบคทีเรียออกจากน้ำนมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา อุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่มโดยใช้ในการทำไวน์และใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส แทนการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน เนื่องจากเมมเบรนมีราคาถูกกว่า และให้ค่าฟลักซ์ที่สูงกว่า รวมไปถึงการใช้งานในการบำบัดน้ำ–น้ำทิ้ง และงานทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Girard and Fukumoto, 2000)



ภาพประกอบที่ 5 ความสามารถในการแยกของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

Separated ability of microfiltration

ที่มา : Liquid Purification Engineering International Co., Ltd. (2002)

5.2 วัสดุสำหรับผลิตเมมเบรน

วัสดุที่ผลิตจากโพลีเมอร์และวัสดุอนินทรีย์เมื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นเมมเบรนมีข้อดีคือ สามารถใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิและพีเอชที่กว้าง ซึ่งโพลีเมอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ polypropylene, polyethylene, polycarbonate, polysulfone และ polyvinylidene fluoride

เป็นต้น ส่วนเมมเบรนที่ผลิตจากวัสดุอนินทรีย์ ได้แก่ stainless steel, silver และ ceramic เป็นต้น (Belfort *et al.,* 1994) แต่อย่างไรก็ตามเมมเบรนที่ผลิตจากโพลีเมอร์ยังมีข้อจำกัดทางด้านการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของตัวโพลีเมอร์เอง ไม่ว่าจะเป็นความคงทนต่อสารเคมี ความร้อนและการละลายในตัวทำละลายต่างๆ จึงเป็นปัญหาต่อการนำมาผลิตเป็นแผ่นเมมเบรน ดังนั้นการใช้แผ่นเมมเบรนที่ผลิตจากเซรามิก หรือวัสดุอนินทรีย์อื่นๆ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตเพราะทนทานต่อสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด ทนอุณหภูมิและความดันสูง สามารถนำไปฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ หรือทนต่อความดันสูง มีอายุการใช้งานนานกว่า แต่มีราคาแพงกว่าเมมเบรนที่ผลิตจากโพลีเมอร์ ซึ่งการเลือกวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนนั้นจะจำเพาะกับสารละลายที่ป้อนเข้าไป ซึ่งจะต้องคำนึงถึงการทนต่อความดัน อุณหภูมิ พีเอช และสารเคมี โดยที่ขีดจำกัดของความดันจะขึ้นกับขนาดของรูปแบบของเมมเบรน วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนโดยส่วนใหญ่ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและ ไมโครฟิลเตรชันจะมีสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ 1-10 บาร์ อุณหภูมิ 20-55°ซ และพีเอชอยู่ในช่วง 2.5-4 (Girard and Fukumoto, 2000)

5.3 รูปแบบของเมมเบรน

สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ (Girard and Fukumoto, 2000) คือ

5.3.1 แบบท่อ (tubular) มีลักษณะคล้ายท่อน้ำซึ่งภายในบุด้วยแผ่นเมมเบรน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-25 มิลลิเมตร โดยสารละลายจะไหลผ่านข้างในท่อ น้ำจะซึมผ่านเมมเบรนออกมาอยู่ภายนอกรอบๆ ท่อ ข้อดีของเมมเบรนชนิดนี้คือสามารถทำให้สารละลายเข้มข้นมากๆ โดยไม่เกิดการอุดตันของเมมเบรน เนื่องจากของเหลวหมุนเวียนได้ดี และล้างทำความสะอาดง่าย โดยเมมเบรนชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปรรูปน้ำผลไม้ เนื่องจากสามารถป้อนสารละลายได้มากและให้ผลผลิตที่สูงกว่าเมมเบรนชนิดอื่น

5.3.2 แบบเส้นใย (hollow-fiber หรือ capillary-fiber elements) เมมเบรนชนิดนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กประมาณ 0.5-3 มิลลิเมตร เท่ากับเส้นผมของคน เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงสามารถบรรจุได้มาก ทำให้มีความหนาแน่นสูงดังนั้นจึงมีพื้นที่ของเยื่อกรองมาก โดยจะรวมกันอยู่ภายในท่อพลาสติก และมีท่อรวมเพอมิเอท ซึ่งส่วนของ

เพอมิเอทจะซึมผ่านออกไปทางด้านนอกของเมมเบรน เมมเบรนชนิดนี้สามารถใช้ได้ที่ความดันต่ำ และเกิดการสะสมของชั้นอนุภาคพอสมควร

5.3.3 แบบแผ่นเรียบ (plate and frame element) เมมเบรนชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นแนบประกบอยู่ระหว่างแผ่นกั้น ทำให้เกิดช่องสำหรับให้ของเหลวไหลผ่านโดยสารป้อนจะถูกป้อนผ่านช่องว่าง ส่วนเพอมิเอทจะไหลผ่านทางแผ่นเมมเบรน ซึ่งเมมเบรนชนิดนี้สามารถทนความดันสูงได้ แต่จะเกิดฟาล์วลิ่งได้ง่าย ข้อดีของเมมเบรนชนิดนี้ คือ สามารถถอดทำความสะอาดได้ง่าย แต่มีข้อด้อยในเรื่องการใช้แรงงานมากและการรั่วไหลเนื่องจากปะเก็นยาง

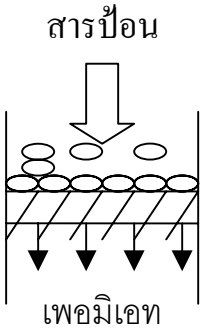
5.3.4 แบบม้วน (spiral-wound element) เมมเบรนชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรองประกบอยู่ทั้งสองด้านของแผ่นยึด ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปลายด้านหนึ่งของเยื่อกรองจะเชื่อมติดกับท่อ สำหรับให้น้ำไหลออก มีแผ่นตะแกรงวางทับบนเยื่อกรองอีกชั้นหนึ่ง และทั้งเยื่อกรองและแผ่นตะแกรงจะถูกพันรอบท่อที่จะให้น้ำไหลออก มีลักษณะคล้ายม้วนผ้า ตะแกรงจะทำหน้าที่เป็นช่องว่างสำหรับให้สารละลายไหลผ่าน ส่วนน้ำจะซึมผ่านเยื่อกรองและออกไปอยู่นอกท่อ ข้อดีของเยื่อกรองชนิดนี้คือ ออกแบบง่าย มีพื้นที่ของเยื่อกรองมากและสามารถทำงานที่ความดันสูงๆ ได้ สำหรับข้อเสียคือ อาจเกิดการอุดตันได้ ถ้าสารละลายนั้นมีพวกของแข็งหรือพวกเส้นใยปนอยู่มาก

5.4 รูปแบบของกระบวนการกรอง

รูปแบบของกระบวนการกรอง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ

5.4.1 การกรองแบบปิดตาย (dead-end filtration)

การกรองแบบปิดตาย จะเป็นการป้อนสารละลายในทิศทางตั้งฉากกับเมมเบรนซึ่งจะมีการสะสมของอนุภาคบนผิวหน้าแผ่นเมมเบรน เรียกว่า ชั้นเค้ก (cake) ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลที่เรียกว่า ฟลักซ์ (flux) และมีค่าความต้านทานของการกรองเพิ่มขึ้น การกรองแบบนี้จะเหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่มากนักหรืออาจใช้ในการแยกสารละลายในปริมาณน้อยเพื่อการวิเคราะห์ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541)



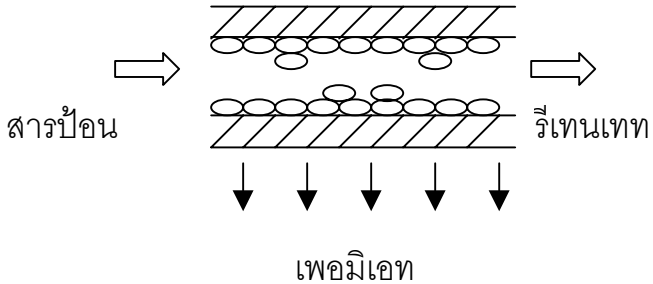
ภาพประกอบที่ 6 การกรองแบบปิดตาย

Dead-end filtration

ที่มา : รัตนา จิระรัตนานนท์ (2541)

5.4.2 การกรองแบบไหลขวาง (crossflow filtration)

การกรองแบบไหลขวางจะมีการป้อนสารละลายขนานกับเมมเบรน หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมิเอท ซึ่งการกรองแบบไหลขวางสามารถลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อกรองเมมเบรนได้ ซึ่งจะเหมาะกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง โดยที่การเคลื่อนที่ของสารละลายจะพัดพาตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองไปด้วย โดยอัตราการกรองค่อนข้างคงที่และมีค่าสูง (Valentas *et al.,* 1997 และ Kroner *et al.,* 1984)



ภาพประกอบที่ 7 การกรองแบบไหลขวาง

Crossflow filtration

ที่มา : รัตนา จิระรัตนานนท์ (2541)

5.5 การเลือกเมมเบรน

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกเมมเบรน ประกอบไปด้วยรูปแบบของเมมเบรน วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนและขนาดของรูพรุน ซึ่งการเลือกขนาดของรูพรุนจะต้องคำนึงถึงชนิดของน้ำผลไม้ และส่วนประกอบในน้ำผลไม้ที่เราต้องการ โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์นั้นจะขึ้นกับขนาดของรูพรุน แต่บางกรณีการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ก็ไม่ได้แปรผันตรงกับขนาดของรูพรุนเสมอไป เนื่องจากเมมเบรนที่มีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่นั้นจะนำไปสู่การเกิดฟาวลิ่งที่เร็วขึ้น โดยสัดส่วนของอนุภาคขนาดเล็กและคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำผลไม้ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้เกิดการอุดตันของรูพรุนขึ้น องค์ประกอบในน้ำผลไม้ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่น เกลือแร่ วิตามิน กรด และน้ำตาล จะมีการกักเก็บที่ต่ำมาก เช่นเดียวกับสารที่ระเหยได้ เช่น แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ และเอสเทอร์ (Rao *et al.,* 1987) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เช่น พวกเพกติน และสตาร์ช พบว่ามีการกักเก็บที่สูง (Girard and Fukumoto, 2000) อย่างไรก็ตามสารส่วนที่ระเหยได้ในน้ำส้มจะสามารถกักเก็บเอาไว้ได้มากเมื่อใช้กระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน สำหรับสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ ในน้ำส้มนั้นสามารถผ่านเมมเบรนได้ ในขณะที่พวกเทอร์ปีน (terpene) เช่น ลิโมนิน (limonene) วาลิซีน (valencene) และพวกแอลดีไฮด์ที่ไม่มีขั้วจะไปเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ ทำให้สารกลุ่มนี้ถูกกักเก็บไว้ในส่วนของรีเทนเทต (Johnson *et al.,* 1996)

5.6 การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนในการแปรรูปน้ำผลไม้

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมาเทคโนโลยีเมมเบรนได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและในตัวผลิตภัณฑ์ อาหารหลายประเภทโดยในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้นั้นได้มีการนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่นการนำกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสมาใช้ในการทำน้ำผลไม้เข้มข้น สำหรับกระบวนการไมโครฟิลเตรชันนิยมใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส และลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้โดยใช้ทดแทนการใช้ความร้อนหรือลดการใช้ความร้อนในการแปรรูปน้ำผลไม้ (Grandison and Lewis, 1996) โดยทั่วไประหว่างกระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูปจะต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งอาจทำให้น้ำผลไม้มีกลิ่น สี และรสชาติ

เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการใช้การกรองด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ และทำให้น้ำผลไม้แปรรูปมีกลิ่น สี รสชาติใกล้เคียงของสด (Barefoot *et al*., 1989) นอกจากนี้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันยังได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่ม เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการนี้สามารถแยกโปรตีน คอลลอยด์ สารประกอบโพลีฟีนอลิก แป้ง เพกติน และจุลินทรีย์ออกจากน้ำผลไม้ได้ ซึ่งนิยมใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำองุ่น น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำมะนาว และน้ำแอปเปิล ในส่วนคุณภาพของน้ำผลไม้หลังผ่านการกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าเยื่อกรองของกระบวนการสามารถกักเก็บส่วนประกอบของน้ำผลไม้ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการขุ่นไว้ การกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจะทำให้ได้น้ำผลไม้ที่มีความใสมากกว่าน้ำผลไม้ที่ผ่านการกรองแบบอื่น อีกทั้งยังทำให้จำนวนแบคทีเรียและจุลินทรีย์ลดลง จึงไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ นอกจากนี้ยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี เนื่องจากกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นกลิ่นและองค์ประกอบที่ทำให้เกิดรสชาติจึงถูกทำลายไปเล็กน้อยเท่านั้น (Zeman and Zydney, 1996)

5.7 ผลของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

5.7.1 คุณภาพทางเคมี

Yu และคณะ (1986) ศึกษาความสามารถในการเก็บกักกลิ่นรสของน้ำเสาวรสที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนที่มี MWCO 25 กิโลดาลตัน พบว่าน้ำเสาวรสส่วนเพอมิเอทมีสารให้กลิ่นรส เช่น hexyl butyrate, hexyl hexnanote, cis-3-hexenol และ cis-3-hexyl butyrate สูงถึงร้อยละ 99-100 ส่วนสารให้กลิ่นรสชนิดอื่น เช่น ethyl hexanoate, β-ionone และ linalool มีมากกว่าร้อยละ 50 ในขณะที่ ethyl butyrate จะมีประมาณร้อยละ 20 ขณะที่ Rao และคณะ (1987) ศึกษาถึงความสามารถในการกักเก็บกลิ่นรสของน้ำแอปเปิลของเยื่อกรองที่มีขนาด MWCO ต่างกัน โดยใช้เยื่อกรอง 2 ขนาด คือ polysulfone membrane cartridge (PM-50) ซึ่งมีขนาด MWCO เท่ากับ 50 กิโลดาลตัน และ polyamide membrane cartridge (PA-30) ซึ่งมีขนาด MWCO เท่ากับ 30 กิโลดาลตัน โดยใช้ความดันเท่ากับ 1.38 บาร์ น้ำแอปเปิลหลังการกรองจะถูกนำไป

วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นรสที่มีอยู่ในส่วนรีเทนเทตและเพอมิเอท พบว่าน้ำแอปเปิลที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้เยื่อกรองขนาด 30 กิโลดาลตัน จะมีค่าการกักเก็บกลิ่นรสที่สูงกว่าเยื่อกรองขนาด 50 กิโลดาลตัน

Zarate-Rodriguez และ Ortega-Rivas (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำแอปเปิลภายหลังการกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรน 2 ขนาด คือ PM-10 และ PM-50 ซึ่งมีขนาด MWCO เท่ากับ 10 และ 50 กิโลดาลตัน พบว่าน้ำแอปเปิลเริ่มต้น และน้ำแอปเปิลที่ผ่านการกรองด้วย PM-10 และ PM-50 มีค่าพีเอช เท่ากับ 3.75 3.65 และ 3.69 ตามลำดับ ($P \geq 0.05$) มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 12.42 11.71 และ 11.95 ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) และมีค่าปริมาณกรดเท่ากับ 5.46 4.61 และ 4.85 ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ PM-10 จะสามารถกักเก็บองค์ประกอบไว้ในส่วนของรีเทนเทตได้มากกว่า PM-50

5.7.2 คุณภาพทางกายภาพ

สีคล้ำที่เกิดขึ้นในน้ำผลไม้ เกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน จะมีเยื่อกรองที่สามารถแยกเอนไซม์ชนิดนี้ไม่ให้ผ่านไปรวมกับส่วนของเพอมิเอทได้ ดังนั้นน้ำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันจึงมีสีที่จางกว่ากระบวนการอื่น เช่น กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Wu *et al*., 1990 ; Zeman and Zydney, 1996)

Matta และคณะ (2004) ศึกษากระบวนการทำใสน้ำ acerola โดยใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน ภายหลังกระบวนการกรองพบว่า สามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 42.59 และมีความสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.96 นอกจากนี้ยังสามารถลดความหนืดในน้ำ acerola ลงได้เท่ากับร้อยละ 96.45 เช่นเดียวกับการทดลองของ Carvalho และคณะ (1998) ศึกษากระบวนการทำใสน้ำสับปะรดโดยใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรน 2 ขนาด คือ 50 กิโลดาลตัน และ 0.22 ไมครอน ผลการทดลองพบว่าเมมเบรนทั้ง 2 ขนาดมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำสับปะรด โดยสามารถลดความขุ่นได้ถึงร้อยละ 92.41 และ 85.68 ตามลำดับ นอกจากนี้ Wu และคณะ (1990) ศึกษาคุณภาพของน้ำแอปเปิลที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรน 2 ขนาด คือ 5 และ 50 กิโลดาลตัน

และไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน พบว่าน้ำแอปเปิลที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน นั้นจะมีความขุ่นและค่าสีมากกว่าน้ำแอปเปิลที่ผ่านเมมเบรนขนาด 5 และ 50 กิโลดาลตันและเมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าน้ำแอปเปิลที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันจะได้รับความนิยมมากว่าน้ำแอปเปิลที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

Campos และคณะ (2002) ศึกษาผลของความคงตัวของน้ำมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ ที่อุณหภูมิห้อง (30°ซ) และ 4°ซ เป็นเวลา 60 วัน พบว่าน้ำมะม่วงหิมพานต์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ยังคงความเหมาะสมสำหรับการบริโภคโดยที่ยังคงเป็นแหล่งของวิตามินซีที่ดี และมีความใส ขณะที่ Padilla-Zakour และ Mclellan (1989) ศึกษาถึงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาน้ำแอปเปิลที่อุณหภูมิ 18 และ 43°ซ เป็นเวลานาน 6 เดือน โดยน้ำแอปเปิลจะถูกผ่านการกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรน 4 ขนาด คือ 10, 50, 100 และ 500 กิโลดาลตัน พบว่าน้ำแอปเปิลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18°ซ มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน ขณะที่น้ำผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 43°ซ จะมีความขุ่นและค่าสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น

5.7.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

Fukumoto และคณะ (1998) ศึกษาการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนขนาด 0.02 ไมครอน และกระบวนการไมโครฟิลเตรชันที่ใช้เมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และทดสอบจุลินทรีย์โดยใช้ *Pseudomonas diminuta* (*Brevundimonas diminuta*) ซึ่งเป็นหนึ่งในแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมมเบรน ขนาด 0.2 และ 0.02 ไมครอน มีประสิทธิภาพในการผลิตเพอมิเอทที่ปราศจากเชื้อได้ นอกจากนี้ Girard และ Fukumoto (1999) ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกจุลินทรีย์โดยใช้จุลินทรีย์ชนิด *P. diminuta* เติมลงในน้ำแอปเปิล พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ถึง 6 และ 7 log cycle เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 9 และ 25 กิโลดาลตัน

Carneiro และคณะ (2002) ศึกษาคุณภาพด้านความใสและความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาน้ำสับปะรดที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (8°ซ) ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณคงที่ตลอดการเก็บรักษานาน 28 วัน และอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยสอดคล้องตามมาตรฐานน้ำผลไม้ของประเทศบราซิล

6. กระบวนการพาสเจอไรซ์ (pasteurization)

6.1 หลักการกระบวนการพาสเจอไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์ คือ การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมาก โดยมุ่งทำลายแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์และก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ (pathogenic bacteria) และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ แต่ทั้งนี้อาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ต้องอาศัยความเย็นช่วยในการเก็บรักษา เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543 ; Wim jongen, 2002) โดยการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

6.1.1 ระบบช้าอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Long Time : LTLT) เป็นระบบที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนนาน ซึ่งระบบนี้อาจจะมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น อุณหภูมิ 60°ซ นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที เป็นวิธีที่ง่ายและทำได้ในครัวเรือน (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543)

6.1.2 ระบบเร็วอุณหภูมิสูง (High Temperature Short Time : HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลงคือ ที่อุณหภูมิ 72°ซ นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยเร็ว มักทำเป็นระบบต่อเนื่อง เช่น น้ำผลไม้ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงระยะเวลาที่กำหนดตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2543)

กระบวนการพาสเจอไรซ์ได้เข้ามามีบทบาทในการแปรรูปน้ำผลไม้ ซึ่งการใช้ความร้อนต่ำระดับพาสเจอไรซ์ ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์และทนร้อนได้สูง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถเจริญได้ในน้ำผลไม้ที่มีความ

เป็นกรดสูง (pH<4.0) ส่วนพวกยีสต์ถูกทำลายได้ง่ายที่อุณหภูมิ 60-65°ซ นาน 2-3 นาที แบคทีเรียแลกติกจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 72°ซ นาน 2 นาที และสปอร์ของเชื้อราที่ทนร้อนจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 80°ซ นาน 20 นาที โดยทั่วไปน้ำผลไม้จะถูกพาสเจอไรซ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 70-80°ซ ถ้าเป็นน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงอาจใช้วิธีการ พาสเจอไรซ์ก่อนการบรรจุโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85-95°ซ เป็นเวลาไม่กี่วินาทีแล้ว ลดอุณหภูมิให้เหลือ 80°ซ บรรจุในภาชนะบรรจุและปิดผนึก คว่ำภาชนะบรรจุลงเพื่อฆ่าเชื้อที่ฝานาน 1-2 นาที เสร็จแล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว หรืออาจทำการพาสเจอไรซ์ทั้งภาชนะบรรจุปิดผนึกโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80°ซ นาน 20 นาที แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (Cruess, 1958)

ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์นั้นขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการผลิตและชนิดของอาหาร อาจจะใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นหรืออุณหภูมิต่ำระยะเวลานานก็ได้ เช่น การพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้นั้นจะใช้ความร้อนระดับเท่าใดขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของน้ำผลไม้และปริมาณการบรรจุ ถ้าน้ำผลไม้ถูกพาสเจอร์ไรซ์หลังการบรรจุขวดมักใช้อุณหภูมิ 76.7°ซ นาน 30 นาที แต่ถ้าทำการพาสเจอร์ไรซ์ก่อนการบรรจุขวดจะใช้อุณหภูมิ 80-85°ซ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2539)

6.2 ผลของกระบวนการพาสเจอไรซ์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

6.2.1 คุณภาพทางเคมี

ระหว่างกระบวนการพาสเจอไรซ์ จะมีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำผลไม้นั้นลดลง และอาจเกิดกลิ่นคล้ายกลิ่นหุงต้ม (cooked flavor) Su และ Wiley (1998) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสในน้ำแอปเปิล พบว่าในน้ำแอปเปิลสดมีสารให้กลิ่นรสที่สำคัญ 6 ชนิด คือ iso-butyl acetate, ethyl butyrate, ethyl–2-methyl butyrate, hexanol, propyl butyrate และ trans-2-hexanal และเมื่อผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 85°ซ เป็นเวลา 10 นาที ความเข้มข้นของ iso-butyl acetate, ethyl butyrate, ethyl –2-methyl butyrate และ hexanol ลดลงเหลือร้อยละ 73.4, 79.1, 79.6 และ 90.9 ตามลำดับเทียบจากปริมาณเริ่มต้น เช่นเดียวกับการทดลองของ

Pino และคณะ (2000) ศึกษาชนิดของสารให้กลิ่นรสในน้ำองุ่น พบว่าสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในน้ำองุ่นมีประมาณ 20 ชนิด แต่สารให้กลิ่นรสที่มีอยู่มากและมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำองุ่น ได้แก่ ethyl acetate, methyl butyrate, ethyl butyrate, limonene, octanal, cis-3-hexanal, linalool, terpinen-4-ol, α- terpineol และ nootkatone โดยกลิ่นรสดังกล่าวเมื่อผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์จะลดลงเหลือร้อยละ 35.7, 61.1, 19.2, 77.1, 57.1, 63.6, 80.9, 77.8, 84.6 และ 86.2 ตามลำดับเทียบจากปริมาณเริ่มต้น ขณะที่ Yen และ Lin (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นรสในน้ำฝรั่งเมื่อผ่านการให้ความร้อน โดยให้ความร้อนแก่น้ำฝรั่งที่อุณหภูมิ 95°ซ นาน 5 นาที พบว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำฝรั่ง ซึ่งได้แก่กลุ่มของเอสเทอร์ และแอลกอฮอล์ นั้นมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับน้ำฝรั่งสด และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 25°ซ เป็นเวลา 60 วัน พบว่าน้ำฝรั่งที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้กลิ่นรสเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำฝรั่งที่เก็บที่อุณหภูมิ 2.5°ซ ซึ่งจะมีการลดลงของปริมาณสารให้กลิ่นรสจากเริ่มต้นเท่ากับ 7.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหลือเพียง 4.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Weemaes และคณะ (1998) ศึกษาผลของระดับการใช้ความร้อนต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจากน้ำแอปเปิล อาโวกาโด องุ่น ลูกแพร์ และพลัม พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-65°ซ นาน 30 วินาที สามารถยับยั้ง กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำลูกแพร์ อาโวกาโด องุ่นและพลัม กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำแอปเปิลจะถูกยับยั้งเมื่อใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72.5°ซ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำแอปเปิลมีค่า D (Decimal reducing time) ที่อุณหภูมิ 72.5°ซ เท่ากับ 50.1 นาที

6.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

สาเหตุหลักที่ทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี คือ การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจะมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งการเกิดสีน้ำตาล สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด โดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 °ซ นาน 10 15 และ 20 นาที พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ค่า L

และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a และ b สูงขึ้น ($P \leq 0.05$) ส่วนระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่า L a b และค่าการทะลุผ่านของแสงเล็กน้อย ($P \leq 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ Parish (1998) ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มภายหลังการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 และ 98°ซ นาน 10 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ พบว่าการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 98°ซ มีผลให้น้ำส้มมีความข่นคงตัวไม่แยกชั้นตกตะกอนได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิที่ระดับ 75°ซ

6.2.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

องอาจ แพรกม่วง (2532) ศึกษาการผลิตน้ำตาลสดพาสเจอไรซ์ โดยนำน้ำตาลโตนดสดมาทำใสโดยใช้สารช่วยกรอง ผ่านเครื่อง filter press และใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80°ซ นาน 20 นาที พบว่าสามารถ เก็บน้ำตาลโตนดไว้ที่อุณหภูมิต่ำได้นาน 4 สัปดาห์โดยไม่เกิดการเน่าเสีย และเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสเบื้องต้นโดยใช้ผู้ทดสอบชิม พบว่าผู้ทดสอบสามารถได้กลิ่นตาลจากน้ำตาลโตนดสดพาสเจอไรซ์ที่เก็บเป็นเวลานาน 3 สัปดาห์ และได้กลิ่นตาลที่เจือจางในสัปดาห์ที่ 4 แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 จะได้กลิ่นบูดซึ่งบ่งบอกการเน่าเสีย ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่ามีเท่ากับ 0.2×10^3 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณยีสต์เท่ากับ 1.20×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ขณะที่น้ำตาลโตนดพาสเจอไรซ์เริ่มต้นมีจำนวน จุลินทรีย์น้อยกว่า 10 เซลล์ต่อมิลลิตร นอกจากนี้ Yeom และคณะ (2000) ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มภายหลังการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์โดยให้น้ำส้มไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ 94.6°ซ นาน 30 วินาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ พบว่าน้ำส้มมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6 log โคโลนีต่อมิลลิลิตร และหลังการแปรรูปพบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตลอดระยะเก็บรักษานาน 112 วัน

Piyasena และคณะ (2003) ศึกษาใช้ความร้อนในการยับยั้ง *Pediococcus* sp. ในน้ำแอปเปิลซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 3.40 โดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์แบบ HTST

พบว่าการใช้อุณหภูมิ 71°ซ นาน 16 วินาที นั้นสามารถลดปริมาณ *Pediococcus* sp. ลงได้ถึง 5 log cycle นอกจากนี้ Duried และคณะ (2002) ศึกษาการอยู่รอดของจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Lactobacillus plantarum* และ *Saccharomyces cerevisiae* ในระหว่างกระบวนการพาสเจอไรซ์น้ำส้มซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 3.6 $\pm$ 0.05 ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 60°ซ นาน 40 วินาที และ 55°ซ นาน 40 วินาที พบว่าระดับความร้อนที่ใช้สามารถลดปริมาณ *Lactobacillus plantarum* ลงได้ 2.5 และเหลือน้อยกว่า 1 log โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และสามารถลดปริมาณ *Saccharomyces cerevisiae* ได้มากกว่า 6 และ 2 log โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด
2. ศึกษาผลของสารทำให้ใสต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด
3. ศึกษาคุณภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน และการใช้เมมเบรน และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา