บทนำ

น้ำตาลโตนดถือว่าเป็นน้ำผลไม้ชนิดหนึ่งได้มาจากต้นตาลโตนดที่มีชื่อสามัญเป็นภาษาอังกฤษว่า Palmy Palm เป็นพืชในตระกูลปาล์มมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn สามารถขึ้นได้ในเขตร้อน พบโดยทั่วไปในประเทศอินเดีย ไทย พม่า ศรีลังกา และกัมพูชา สำหรับประเทศไทยต้นตาลโตนดขึ้นหนาแน่นในแถบภาคใต้ของประเทศนับตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีถึงจังหวัดสงขลา (กีย์ เทรบุยล์, 2527) การผลิตน้ำตาลโตนดพร้อมดื่ม ผลิตได้โดยการรวบรวมน้ำตาลสดจากต้นตาลโตนดโดยใช้กระบอกไม้ไผ่หรือพลาสติกรองรับน้ำหวานจากงวงตาลใช้เวลาประมาณ 10 –14 ชั่วโมง และมีการใส่ไม้เดี่ยม (*Cotylobium lanceolatum*) ชิ้นเล็กๆไว้ที่ก้นกระบอกด้วยในประมาณ 4 – 5 กรัมต่อน้ำตาลสดหนึ่งลิตร เพื่อป้องกันและยับยั้งการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด (ธีรวัฒน์ โชติเกียรติ, 2528) จากนั้นนำน้ำตาลโตนดสดที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วเทลงในกระทะ ให้ความร้อนนาน 10-15 นาที จนน้ำตาลเริ่มเดือด แล้วหยุดให้ความร้อน ปล่อยไว้ให้เย็น บรรจุในขวดปิดฝาและเก็บโดยการแช่เย็นเพื่อรอจำหน่าย อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบจากการผลิตน้ำตาลโตนดพร้อมดื่มวิธีนี้ คือ ระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น สามารถเก็บรักษาได้เพียง 3 วันเท่านั้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนทั้งการใช้ความร้อนระดับพลาสเจอร์ไรซ์เซชั่นและสเตอริไรเซชั่นต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดยังไม่มีรายงาน นอกจากการใช้ความร้อนปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการใช้ความดันสูง (high pressure) มาใช้ในการแปรรูปอาหาร ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องใช้ความร้อน (non-thermal processing) สามารถใช้ได้ทั้งอาหารเหลวและอาหารแห้ง โดยใช้ความดันในช่วงระหว่าง 100-900 เมกกะปาสคาล (Farkas and Hoover, 2000) การใช้ความดันสูงมีข้อดีกว่าการใช้ความร้อน คือ สามารถปรับปรุงและรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ทุกรูปร่างและทุกขนาด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะสม่ำเสมอและสามารถทำได้รวดเร็ว (Palou *et al.*, 1999) ช่วยรักษากลิ่นรส สี และคุณค่าทางโภชนาการได้ใกล้เคียงกับของสด (Bruna *et al.*, 1998) และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้อีกด้วย (Farkas and Hoover, 2000) การใช้ความร้อนแม้ว่าจะสามารถทำลายจุลินทรีย์และยับยั้งเอนไซม์ได้แต่ความร้อน ทำให้คุณภาพน้ำผลไม้สูญเสียไประหว่างการให้ความร้อน การใช้ความดันสูงจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการรักษาคุณภาพในน้ำผลไม้ให้คงอยู่ใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สด อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความดันสูงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตาลโตนดยังไม่มีการศึกษามาก่อน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาผลการใช้ความร้อนและความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. น้ำตาลโตนด

1.1 แหล่งและลักษณะและส่วนประกอบของต้นตาลโตนด

น้ำตาลโตนดเป็นน้ำหวานที่ได้จากต้นตาลโตนดที่มีชื่อสามัญเป็นภาษาอังกฤษว่า Palmy Palm เป็นพืชในตระกูลปาล์มมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. สามารถขึ้นได้ในเขตร้อน พบโดย

ทั่วไปในประเทศอินเดีย ไทย พม่า ศรีลังกา และกัมพูชา สำหรับประเทศไทย ต้นตาลโตนดขึ้นหนาแน่นในแถบภาคใต้ของประเทศ นับตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีถึงจังหวัดสงขลา (กีย์ เทรบุยล์, 2527) (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ยังพบในจังหวัดอื่นๆ เช่น พิษณุโลก บุรีรัมย์ สิงห์บุรี ชัยนาถ สุพรรณบุรี นครปฐม นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นต้น โดยจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่มีจำนวนต้นตาลโตนดมากที่สุดประมาณ 3 ล้านต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

ภาพที่ 1 ต้นตาลโตนด

1.2 วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนด

วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดโดยทั่วไปมีหลักการคล้ายคลึงกัน คือการทำให้ส่วนของช่อดอกหรือยอดอ่อนช้ำ ต้นตาลโตนดจะส่งน้ำตาลโตนดมาตามท่อน้ำตาลเพื่อรักษาอาการบอบช้ำนั้น เมื่อปาดส่วนของช่อดอกหรือเจาะที่ส่วนยอดก็จะมีน้ำหวานไหลออกมา ตาลโตนดเมื่ออายุประมาณ 12-15 ปี จะเริ่มให้น้ำตาลโตนดและสามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดได้ นานถึง 80 ปี การเก็บเกี่ยวจะทำได้ตลอดทั้งปี โดยจะเก็บวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย โดยใช้ภาชนะรูปทรงกระบอก เช่น กระบอกไม้ไผ่ ขนาดความจุ 1-3.5 ลิตร แขวนรองรับน้ำตาลโตนดที่ไหลออกจากงวงตาล โดยใช้ไม้เคี่ยม (*Cylylelobium lanceolatum*) หรือไม้พะยอม (*Shorea floribunda*) ตัดเป็นชิ้นใส่ลงในกระบอกประมาณ 3-5 กรัม ก่อนแขวนรองน้ำตาลโตนดที่งวงตาลเพื่อชะลอการเสื่อมเสียของน้ำตาลโตนดระหว่างเก็บเกี่ยว (Ohler, 1984) คุณภาพของน้ำตาลโตนดที่เก็บในตอนเช้าจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำตาลโตนดที่เก็บในตอนบ่าย เนื่องจากในการรองรับน้ำตาลโตนดในเวลากลางคืนมีอุณหภูมิต่ำกว่าเวลากลางวัน จึงทำให้การเสื่อมเสียของน้ำตาลโตนดที่รองรับในเวลากลางคืนเกิดช้ากว่า (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดมี 2 วิธี คือ

1. การเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดจากต้นตัวผู้ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนด คือ หลัง

จากที่ออกงวงยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ดอกบานพอประมาณให้รวบงวงตาลเข้าด้วยกัน ใช้ไม้คาบตาล (ต้นตัวผู้) บีบงวงตาลเบาๆ วันละครั้ง ทำติดต่อกัน 3-4 วัน หักปลายงวงทิ้งประมาณ 1 นิ้ว ใส่กระบอกแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 3 คืน จากนั้นเทน้ำในกระบอกทิ้งจากนั้นปาดตาลในตอนเช้า ถ้ามีน้ำไหลซึมออกมาไม่หยุด แสดงว่าสามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดจากต้นตัวผู้ได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

2. การเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดจากต้นตัวเมีย ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนด คือ หลังจากที่ช่อดอกบานเป็นจั่นแล้ว โดยใช้ไม้คาบตาลนวดระหว่างจั่น ทำติดต่อกันประมาณ 3 วัน หักปลายจั่นทิ้งประมาณ 1 นิ้ว ทดลองปาดจั่น ถ้ามีน้ำไหลออกมาไม่หยุด แสดงว่าใช้ได้ แต่ถ้าปาดแล้วไม่มีน้ำไหลออกมา ให้นำจั่นแช่น้ำในกระบอกทิ้งไว้ 1 คืน แล้วเทน้ำในกระบอกทิ้ง ทดลองปาดหน้าตาลใหม่ ถ้าไม่มีน้ำไหลออกมาก็เปลี่ยนตัวใหม่ โดยทั่วไปเกษตรกรไม่นิยมเก็บน้ำตาลโตนดจากต้นตัวเมีย ส่วนใหญ่จะปล่อยให้ออกจั่นติดผลเพื่อเก็บผลตาลมากกว่า (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

1.3 ผลิตของน้ำตาลโตนด

การเก็บน้ำตาลโตนดจะสามารถทำได้ตลอดปี โดยปกติจะเริ่มประมาณปลายเดือนธันวาคมของทุกปี เนื่องจากปริมาณฝนเริ่มลดน้อยลงและงวงตาลหรือช่อดอกของต้นตาลโตนดจะเจริญเติบโตเต็มที่ในช่วงนี้ ส่วนระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจะสิ้นสุดปลายฤดูแล้งประมาณเดือนเมษายนหรือพฤษภาคม ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละปี หลังจากนั้นจะ มีช่อดอกให้ปาดเพื่อรองรับน้ำตาลสดได้น้อยลง (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) Child (1974) รายงานว่าปริมาณน้ำตาลโตนดที่รองรับได้ขึ้นอยู่กับอายุของต้นตาลโตนด ฤดูกาล และสภาพดินฟ้าอากาศ ในประเทศศรีลังกา ผลผลิตรวมของน้ำตาลสดในช่วงการรองรับน้ำตาลสด 8 เดือน จากเริ่มต้นจนสิ้นสุด เฉลี่ยประมาณ 13.16-65.80 ลิตรต่องวง หรือ 225.60 ลิตรต่อต้น แต่อย่างไรก็ตามต้นตาลโตนดที่ดีควรให้ผลผลิตประมาณ 500-600 ลิตรต่อปี หรือประมาณ 1350-1600 มิลลิลิตรต่อวัน Ohler (1984) กล่าวว่า ถ้ามีการรองน้ำตาลโตนดวันละ 1 ครั้ง จะได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 0.6-1.2 ลิตรต่อต้นต่อวัน แต่ถ้ารองรับน้ำตาลโตนดวันละ 2 ครั้ง ผลผลิตจะอยู่ในช่วง 0.6-3.0 ลิตรต่อต้นต่อวัน สำหรับผลผลิตรวมของน้ำตาลโตนดเริ่มต้นจนสิ้นสุดเฉลี่ยประมาณ 16-18 ลิตรต่องวง หรือประมาณ 270 ลิตรต่อต้น

1.4 องค์ประกอบของน้ำตาลโตนด

Child (1974) รายงานว่าน้ำตาลโตนดมีองค์ประกอบดังนี้ คือ ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 1.058–1.077 ปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15.2–19.7 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลซูโครสอยู่ระหว่าง 12.3–17.4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 0.11–0.41 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 0.23–0.32 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร นอกจากนี้ กนก ติรวัฒน์ และคณะ (2521) ได้รายงานองค์ประกอบของน้ำตาลโตนดไว้ดังนี้ คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 องศาบริกซ์ พีเอช 5.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 16.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับร้อยละ 1.8 และปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับร้อยละ 15.0 เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532) ศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลโตนดสดโดยเปรียบเทียบน้ำตาลโตนดที่ไม่ใช้สารกันบูด น้ำตาลโตนดสดที่ใช้ไม้เคี่ยมเป็นสารกันบูดและน้ำตาลโตนดสดที่ใช้สารเคมีเป็นสารกันบูดไว้ดังตารางที่ 1 เรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดอายุเก็บเกี่ยว 12 ชั่วโมงที่ใส่ไม้พยอมและไม่ใส่ไม้พยอมไว้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลโตนด

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำตาลโตนดสด*	น้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม**	น้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมสารเคมี***
พีเอช	7.55 ± 0.35	4.69 ± 0.27	5.10 ± 0.11
ปริมาณกรด (%คิดในรูปกรดซิตริก)	0.068 ± 0.003	0.098 ± 0.013	0.074 ± 0.005
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	-	0.78 ± 0.04	0.67 ± 0.05
น้ำตาลทั้งหมด (%)	13.48 ± 1.31	11.54 ± 0.45	12.95 ± 0.19
อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรด	-	0.067 ± 0.013	0.053 ± 0.010
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{0}Brix)	13.70 ± 0.99	13.93 ± 1.48	13.48 ± 0.93

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 2 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

** เติมไม้เคี่ยมลงในกระบอกรองน้ำตาลโตนดและทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 14 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

*** เติมสารเคมีเช่น potassium metabisulfite, sodium benzoate ปริมาตร 0.45 กรัมต่อลิตรและทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 14 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

ที่มา : เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล (2532)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดที่ใส่และไม่ใส่เปลือกไม้พยอม

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำตาลโตนดสดที่เติมไม้พยอม	น้ำตาลโตนดสดที่ไม่เติมไม้พยอม
พีเอช	5.09	4.15
วิตามินซี (มก./มล.)	0.084	0.088
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{0}Brix)	13.8	14.2
น้ำตาลทั้งหมด (%)	2.34	13.11
ความชื้น (%)	84.47	84.65
ปริมาณกรด (%คิดในรูปกรดซิตริก)	0.036	0.131
โปรตีน (%)	0.37	0.32
เถ้า (%)	1.04	1.00

หมายเหตุ: น้ำตาลโตนดผ่านระยะเวลารองในกระบอกรองน้ำตาลโตนดมา 12 ชั่วโมงและเก็บนำมาเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำตลอดเวลาก่อนทำการวิเคราะห์

ที่มา : เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)

2. น้ำผลไม้

น้ำผลไม้ หมายถึง ของเหลวที่สกัดได้จากผลไม้ที่ใช้บริโภคโดยใช้แรงหรือวิธีการเชิงกลอื่นๆ (วัฒนา วิริวุฒิกร, 2540) น้ำผลไม้เป็นเครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมกันมาก เพราะมีประโยชน์ต่อร่างกายสูง (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527)

2.1 ประเภทของน้ำผลไม้ สำหรับเครื่องดื่มจากน้ำผลไม้ที่ไม่มีแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์นิยมแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. น้ำผลไม้เข้มข้น (fruit juice concentrate) หมายถึงน้ำผลไม้ที่ยังไม่ได้ปรุงแต่ง และได้ผ่านกรรมวิธีระเหยน้ำออกจนเข้มข้น น้ำผลไม้เข้มข้นเป็นน้ำผลไม้ที่สะอาดปราศจากจุลินทรีย์ได้จากการสกัดน้ำผลไม้ที่สุกสะอาด ไม่เน่าเสีย ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งส่วนที่ละลายได้ของผลไม้ไม่ต่ำกว่าสองเท่าของส่วนที่ละลายได้ของผลไม้ที่มีอยู่เดิมก่อนเอาน้ำออก และต้องมีการถนอมรักษาเพื่อให้เก็บไว้นาน โดยการใช้ความร้อนหรือสารเคมี น้ำผลไม้เข้มข้นอาจจะใสหรือขุ่น น้ำผลไม้เข้มข้นทั่วไปนิยมทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 4 เท่า คือต้องเติมน้ำ 3 ส่วนลงในเครื่องดื่ม 1 ส่วนก่อนการบริโภค (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540)

2. น้ำผลไม้พร้อมดื่ม (fruit juice) หมายถึง น้ำผลไม้ที่ใช้ดื่มได้ทันทีซึ่งจะมีร้อยละของน้ำผลไม้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ที่นำมาเป็นวัตถุดิบ วิธีการผลิตของโรงงานน้ำผลไม้พร้อมดื่ม แบ่งตามวิธีการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ (วรรณี เชษฐ์ศุทธยางกูร, 2535)

2.1 น้ำผลไม้แท้ เป็นของเหลวที่สกัดได้จากผลไม้เท่านั้น โดยไม่มีการเจือน้ำลงไป อาจมีการเติมน้ำตาลและกรดลงไปเล็กน้อยเพื่อปรับองค์ประกอบให้เหมือนน้ำผลไม้ตามธรรมชาติมีทั้งชนิดที่ดื่มได้ทันที (single strength) หรือชนิดเข้มข้น (concentrated fruit juice) (วรรณี เชษฐ์ศุทธยางกูร, 2535)

2.2 น้ำผลไม้ดัดแปลงหรือน้ำผลไม้กึ่งแท้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลไม้ที่มีรสเด่นรสเดียว เช่น เปรี้ยว หรือหวานจัด หรือมีกลิ่นแรง แต่มีน้ำน้อยหรือมีเนื้อมาก นำมาปรุงแต่งโดยการเติมน้ำและสารประกอบอื่นๆ เพื่อให้น่าดื่มยิ่งขึ้น (วรรณี เชษฐ์ศุทธยางกูร, 2535) ได้แก่

- เนคต้า (nectar) เป็นเครื่องดื่มที่ทำจากผลไม้ที่มีเนื้อมาก เช่น มะม่วง มะละกอ กล้วย ฝรั่ง เป็นต้น นำมาบดผสมกับน้ำ น้ำตาล กรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะมีปริมาณของเนื้อผลไม้ในผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่างร้อยละ 25–50 และใช้วิธีการถนอมรักษาโดยวิธีทางกายภาพเท่านั้น และสามารถใช้ดื่มได้ทันทีโดยไม่ต้องเจือน้ำอีก (Luh, 1980)

- สควอช (squash) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ เนื้อผลไม้ผสมกับน้ำเชื่อม ซึ่งอาจแต่งสี กลิ่น รส ตามกรรมวิธีที่เหมาะสมและถูกสุขลักษณะ (สำนักงาน มาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) ส่วนใหญ่สควอชจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำส้ม มีลักษณะขุ่น โดยมีส่วนผสมของน้ำผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ค่าความเป็นกรดประมาณร้อยละ 1.2–1.5 และถนอมรักษาไว้ได้ด้วย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 350 ส่วนในล้าน หรือเบนโซเอท 1000 ส่วนในล้าน (Kefford and Chandler, 1977)

- คอร์เดียล (cordial) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมะนาว มีลักษณะใส ประกอบด้วยน้ำผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ปริมาณกรดอยู่ในช่วงร้อยละ 2.0-2.5 และถนอมรักษาไว้ได้ด้วยสารเคมี อาจใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 350 ส่วนในล้าน หรือเบนโซเอท 1000 ส่วนในล้าน (Kefford and Chandler, 1977)

- น้ำเชื่อมน้ำผลไม้ (fruit syrup) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้เจือน้ำและปรุงแต่งกลิ่นรส ถนอมรักษาไว้ได้ด้วยปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่สูงถึง 65-68 องศา บริกซ์ ได้แก่ น้ำกระเจี๊ยบ น้ำมะขาม เป็นต้น (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527)

3. น้ำผลไม้ผงสำเร็จรูป ผลิตโดยเอาผลไม้มาคั้นและระเหยน้ำออก แล้วปั่นให้แห้งเป็นผงบรรจุในภาชนะหรือถุงสะดวกในการบริโภค ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ยังทำจากพืชและผักชนิดอื่นๆ ที่นิยมในท้องถิ่น ได้แก่ มะตูม ขิง เก๊กฮวย เป็นต้น (วรรณี เชษฐ์ศุทธยางกูร, 2535)

4. น้ำผลไม้ปรุงแต่งกลิ่นรส ผลิตโดยใช้น้ำผลไม้ชนิดต่างๆ มาผสมกับน้ำตาล และกรดมะนาวใส่สีแต่งกลิ่น มีทั้งชนิดพร้อมดื่มและชนิดทำให้เข้มข้นโดยน้ำตาล เช่น น้ำมะนาว น้ำกระเจี๊ยบ น้ำมะตูม เป็นต้น ซึ่งจะมีสัดส่วนน้ำผลไม้อยู่ระหว่างร้อยละ 5-10 (วรรณี เชษฐ์ศุทธยางกูร, 2535)

5. น้ำผลไม้ผสมเนื้อผลไม้ (fruit puree) มีลักษณะเหมือนซุป ทำเป็นอาหารเสริมสำหรับเด็กทารก หรือใช้ในอุตสาหกรรมทำขนมเค้ก ผลิตภัณฑ์นม น้ำผลไม้ และอื่นๆ ผลไม้ชนิดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ เช่น กล้วย แอปเปิ้ล แพร์ และผักต่างๆ (Luh, 1980)

2.2 คุณลักษณะของน้ำผลไม้ น้ำผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปจะมีคุณภาพที่แตกต่างจากน้ำผลไม้สด ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ได้จากลักษณะทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา ดังนี้

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญในน้ำผลไม้ ได้แก่ ความข่นและสี โดยความข่นในน้ำผลไม้ เกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น แทนนิน เพคติน แป้ง เจลาติน กัม โปรตีน นิวเคลียสและองค์ประกอบอื่นๆในน้ำผลไม้จะประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอยอยู่รอบๆ ชั้นของน้ำที่ถูกดูดซับและประจุที่อยู่รอบๆ ไอออนที่ถูกดูดซับจะเกิดการแตกตัวเป็นหมู่คาร์บอนิลอิสระ การให้ความร้อนอาจทำให้อนุภาค คอลลอยด์รวมตัวกับอีกอนุภาคหนึ่งหรือถ้าอนุภาคแขวนลอยที่มีประจุตรงกันข้ามอยู่รวมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการตกตะกอน (Tressler, 1961) ในน้ำตาลโตนดความข่นที่เกิดขึ้นอาจมาจากโปรตีนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำตาลโตนด โดยที่น้ำตาลโตนดจะมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.32 (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) สีในน้ำผลไม้เกิดจากการที่มีรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ เช่น แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น น้ำตาลโตนดจะมีสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) นอกจากนี้พบว่าซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์เป็นการเปลี่ยนสีที่เป็นผลมาจากการออกซิเดชันของโมโนฟีนอลในสภาพที่มีออกซิเจนซึ่งถูกเร่งโดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสแล้วเกิดเป็นสารออโทฟีนอลซึ่งจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นออโทควิโนนซึ่งเป็นสารที่มีสี

น้ำตาล สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งมี 2 ปฏิกิริยา คือ คาราเมลไลเซชัน เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้น้ำตาลภายใต้สภาวะที่ไม่มีน้ำ (anhydrous condition) หรือการปฏิกิริยาของน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงๆ กับกรดเจือจาง และปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับเอมีนหรือกรดอะมิโนจนได้เมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำตาล (ประสาร สวัสดิ์ชัง, 2538)

2.2.2 ลักษณะทางเคมี

ลักษณะทางเคมีที่สำคัญในน้ำผลไม้ ได้แก่ กลิ่นรสและเอนไซม์ โดยกลิ่นรสเป็นลักษณะทางเคมีเฉพาะตัวที่สำคัญมากอย่างหนึ่งสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการตัดสินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งแสดงถึงการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค คำว่า กลิ่นรส เป็นการรวมความรู้สึก 2 อย่าง คือ ความรู้สึกต่อรส (taste) และความรู้สึกต่อกลิ่น (odor) ของสาร (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2532) สารให้กลิ่นรสในน้ำผลไม้เป็นกลิ่นเดียวกันกับกลิ่นในผลไม้สด (Shewfelt, 1986) สามารถจำแนกประเภทหลักๆ ดังนี้ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2532)

1) กรดอินทรีย์ (organic acid) เช่นกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีกลิ่นฉุนและแรง แสบจมูก เอทธิลเอสเทอร์ของกรดนี้มีกลิ่นคล้ายผลไม้ กรดอะซิติกมีกลิ่นที่ฉุนและเปรี้ยวเป็นกรดน้ำส้ม เอทิลเอสเทอร์ของกรดนี้มีกลิ่นคล้ายผลไม้ กรดโพรพิโอนิกมีกลิ่นเปรี้ยวและหืน เอทิลเอสเทอร์ของกรดเป็นของเหลวมีกลิ่นผลไม้แรง กรดบิวทิริกและกรดไอโซบิวทิริก มีกลิ่นเปรี้ยวและหืนมาก เอทธิลเอสเทอร์ของกรดบิวทิริกมีกลิ่นผลไม้ค่อนข้างแรงคล้ายกลิ่นของสับปะรด กรดวาเลอิกและกรดไอโซาเลอิกมีกลิ่นหืนและเปรี้ยวคล้ายกลิ่นเหงื่อ เอทิลเอสเทอร์ของกรดนี้มีกลิ่นคล้ายกลิ่นแอปเปิ้ล กรดคาโพรอิกพบในนมของแพะและในกะทิ อยู่ในรูปกลีเซอไรด์ เอทิลเอสเทอร์ของกรดนี้มีกลิ่นคล้ายผลไม้ แต่ไม่มีกลิ่นแรงของเอสเทอร์ กรดเฮปทิริก มีกลิ่นไม่เปรี้ยวเหมือนกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่มีกลิ่นฉุน

2) แอลกอฮอล์ (alcohols) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ละลายได้ในน้ำ เช่น เดซิลแอลกอฮอล์ (decyl alcohols) มีกลิ่นเหมือนดอกส้ม

3) เอสเทอร์ (esters) เอสเทอร์ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดและส่วนที่เป็นแอลกอฮอล์ ถ้าขนาดของโมเลกุลของหมู่แอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ความแรงของกลิ่นของเอสเทอร์นั้นจะลดลง สารแต่ละตัวมีกลิ่นจำเพาะของมัน เช่น บิวทิลอะซิเตต (butyl acetate) มีกลิ่นรสคล้ายผลไม้ ไอโซเอมิลอะซิเตต (isoamyl acetate) มีกลิ่นหอมคล้ายกล้วยหอม เอมิลอะซิเตต (amyl acetate) และเอมิลบิวทีเรท (amyl butyrate) มีกลิ่นหอมที่คล้ายคลึงกัน อะซิเตตที่มีแอลกอฮอล์ขนาดใหญ่กว่านี้ เช่น ออกติลอะซิเตต โนนิลอะซิเตต และเดซิลอะซิเตต มีกลิ่นคล้ายพวกส้มและไม่ฉุนมากเหมือนพวกเอสเทอร์ที่มีแอลกอฮอล์ขนาดเล็ก

4) คีโตน (ketones) กลิ่นรสกลุ่มคีโตนเป็นสารที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่เจ็ดตัวขึ้นไป เช่น เมทิลเอมีลคีโตน (methyl amyl ketone) ไอโอโนน (ionone) ซึ่งให้กลิ่นรสของผลไม้พวกเบอร์รี่

5) เทอร์พีนแอลกอฮอล์ (terpene alcohols) เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งมีอนุพันธ์จากอะไซคลิกเทอร์พีน (acyclic terpenes) มีความสำคัญในการให้กลิ่นรส พบในน้ำมันหอมระเหย (essential oils) เช่น เจรานิออล (geraniol) ซึ่งเป็นทรานส์ไอโซเมอร์ (trans-isomer) พบอยู่ในน้ำมันหอมระเหยของมะนาว ส้ม ส่วนเนรอล (nerol) ซึ่งเป็นซิสไอโซเมอร์ของสารตัวเดียวกัน ให้กลิ่นที่มีลักษณะคล้ายดอกไม้และผลไม้

6) อัลดีไฮด์ (aldehyde) อัลดีไฮด์เป็นสารอีกกลุ่มหนึ่งที่ให้กลิ่นรสสำคัญ ได้แก่ อัลดีไฮด์ไม่อิ่มตัว เช่น ซิทรัล (citral) ซึ่งอยู่ในน้ำมะนาว (lemon oil) มีกลิ่นรสของมะนาว

เอนไซม์เป็นลักษณะทางเคมีอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำผลไม้ ชนิดของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในน้ำผลไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

1) เอนไซม์อินเวอร์เทส มีชื่อเรียกว่า แอลฟากลูโคซิเดส และบีตาฟรักโทฟูราโนซิเดส ฟรักโทส มีชื่อตามรหัสคือ E.C.3.2.1.23 (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2539) เอนไซม์เหล่านี้สร้างจากจุลินทรีย์ เช่น *Escherichia coli* และ *Aspergillus niger* เป็นต้น ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส เอนไซม์อินเวอร์เทสทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 3.5-5.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-55 องศาเซลเซียส ในอาหารที่มีสารละลายน้ำตาลเจือจาง และในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 65-70 องศาเซลเซียส เอนไซม์อินเวอร์เทสจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ โดยจะทำให้เกิดการหมักของน้ำผลไม้ทำให้มีรสชาติและกลิ่นเปลี่ยนไป (Kulp, 1975)

2) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) มีชื่อเรียกว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิโดรีดักเทส (hydrogen-peroxide oxidoreductase) มีชื่อตามรหัสคือ E.C.1.11.1.7 เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยเฉพาะ fig sap และ horseradish นอกจากนี้ยังพบในเนื้อเยื่อสัตว์บางชนิดและจุลินทรีย์ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2533) สำหรับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีระหว่างการเก็บรักษา (Hendrickx *et al.*, 1998)

3) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) มีชื่อเรียกตามระบบว่า *o*-diphenol: oxygen oxidoreductase และมีชื่อสามัญต่างๆ กัน เช่น tyrosinase, polyphenolase, phenolase, catechol oxidase, cresolase และ catecholase เป็นต้น เอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดสมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 128,000 ดาลตัน เอนไซม์นี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำผลไม้ จึงใช้ในการพิจารณาคุณภาพน้ำผลไม้ หากน้ำผลไม้มีสีคล้ำลงแสดงว่ามีการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเกิดขึ้น โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะทำให้เกิดปฏิกิริยาใน 2 ลักษณะ คือ hydroxylation และ dehydrogenation โดยสารฟีนอลในน้ำผลไม้จะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ซึ่งมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่ง จะได้เป็น *o*-quinone (ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538)

2.2.3 ลักษณะทางจุลชีววิทยา

ลักษณะทางจุลชีววิทยาที่สำคัญในน้ำผลไม้ ได้แก่ แลกติกแบคทีเรีย ยีสต์และรา

1) แลกติกแบคทีเรียสามารถทำงานได้ดีอยู่ในช่วงพีเอช 3.5-5.0 อุณหภูมิที่สามารถเจริญได้ตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส แต่จะถูกทำลายเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส และจะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อ a_w ต่ำกว่า 0.90 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นพวกที่สามารถใช้น้ำตาลแล้วเปลี่ยนให้เป็นกรดแลกติก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวกคือโฮโมเฟอร์เมนเตทีฟ (homofermentative) หมายถึงพวกที่หมักน้ำตาลกลูโคสแล้วให้กรดแลกติกปริมาณร้อยละ 90 ได้แก่ *Pediococcus*, *Streptococcus* และ *Lactobacillus* บางชนิด อีกพวกหนึ่งคือเฮเทอโรเฟอร์เมนเตทีฟ (heterofermentative) คือพวกที่หมักน้ำตาลกลูโคสแล้วให้

กรดแลกติก กรดอะซิติก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ *Leuconostoc* และ *Lactobacillus* บางชนิด (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2530) แลกติกแบคทีเรียที่พบในน้ำตาลโตนด เช่น *Lactobacillus*. *Leuconostoc* ซึ่งแลกติกแบคทีเรียจะหมักน้ำตาลให้เกิดแลกติกทำให้น้ำตาลโตนดมีรสเปรี้ยวหรืออาจเกิดฟองก๊าซขึ้น น้ำตาลโตนดสดที่มีรสเปรี้ยวหากนำไปเคี่ยวเป็นน้ำตาลปี๊บหรือน้ำตาลก้อน จะทำให้น้ำตาลไม่ตกผลึก (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537) ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มแลกติก เช่น

- *Lactobacillus* มีลักษณะรูปร่างท่อน ติดสีแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ ไม่สร้างเอนไซม์คาตาเลส ต้องการออกซิเจนในการเจริญ มี 2 พวกคือพวกที่หมักน้ำตาลแล้วให้กรดแลกติกเป็นส่วนใหญ่ เช่น *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus. acidophilus*, *Lactobacillus casei*. *Lactobacillus plantarum* ส่วนอีกพวกเป็นพวกที่หมักน้ำตาลแล้วให้กรดแลกติก กรดอะซิติก เอทานอล และคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus buchneri* (Frazier and Westhoff, 1978)

- *Leuconostoc* รูปร่างกลม ติดสีแกรมบวก เรียงตัวเป็นคู่หรือเป็นสาย ไม่สร้างเอนไซม์คาตาเลส เป็นพวกเฮเทอโรเฟอเมนเตทีฟ เป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงๆ ได้ เช่น *Leuconosto mesenteriodes* ทนได้สูงถึงร้อยละ 55-60 พวกนี้เมื่อเจริญในน้ำตาลซูโครสจะสร้างเมือกออกมาเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำเชื่อมเสียได้ (Frazier and Westhoff, 1978)

- *Pediococcus* รูปร่างกลม มักเรียงตัวเป็นคู่หรือ 4 เซลล์ ติดสีแกรมบวก ไม่สร้างเอนไซม์คาตาเลส เป็นพวกโฮโมเฟอร์เมนเตทีฟ ต้องการออกซิเจนเล็กน้อยในการเจริญ ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในอาหารที่มีเกลือร้อยละ 5.5 (Frazier and Westhoff, 1978)

2) ยีสต์ (yeast) เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียแต่มีขนาดเล็กกว่าเชื้อรา ยีสต์ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อที่ปลายของเซลล์ เมื่อโตเต็มที่จะหลุดออกจากเซลล์แม่ทันทีและอาจแตกหน่อต่อไปได้อีก ยีสต์ที่พบมากได้สุดได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) ยีสต์สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้ น้ำเชื่อมและสามารถทนต่ออาหารที่มีกรดได้ เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวและผักดอง พีเอชที่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์ประมาณ 3-5 ค่า a_w เท่ากับ 0.88 อุณหภูมิที่ยีสต์สามารถเจริญได้ในอาหารมีช่วงอุณหภูมิกว้างมากตั้งแต่ 0-40 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขยายพันธุ์คือ 25-30 องศาเซลเซียส ยีสต์ไม่ทนต่อความร้อนแต่อยู่รอดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ สปอร์ของยีสต์ไม่ทนต่อความร้อนเช่นกัน ความร้อนที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส สามารถทำลายสปอร์ของยีสต์ได้ ยีสต์เจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ในสภาพที่มีออกซิเจนยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนหรือในสภาพการหมัก ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ (Murdock, 1977) ยีสต์ที่พบในน้ำตาลโตนดสด เช่น *Kloeckera apiculataa*, *Candida sp* *Saccaromyces chevalievi*, *Saccharomycodes ludwigii*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Pichia membranefaciens*, *Saccaromycse cevevisiae* โดยยีสต์จะหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้น้ำตาลโตนดมีกลิ่นแอลกอฮอล์ เกิดฟองและมีการสูญเสียปริมาณน้ำตาล (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537)

3) รา (mold) สามารถเจริญได้ในอาหารหลายชนิด เพราะสามารถสร้างเอนไซม์เอกตราเซลลูลาร์

(extracellular enzyme) ได้ เช่น อะมัยเลส เพคติเนส โปรตีเนส หรือไลเปส อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของราอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส มีบางชนิดที่เป็นไซโครไฟล์สามารถเจริญได้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิระหว่าง -5 ถึง -10 องศาเซลเซียส ส่วนพวกเทอร์โมไฟล์มีน้อยมาก ราเจริญได้ในอาหารที่มีพีเอชกว้างระหว่าง 2.0-8.5 แต่ส่วนใหญ่ชอบพีเอชค่อนข้างเป็นกรดพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตประมาณ 5-6 ดังนั้นอาหารที่มีสภาพเป็นกรดจะเกิดการเน่าเสียได้เนื่องจากเชื้อรา ราต้องการความชื้นในการเจริญเติบโตน้อยกว่าแบคทีเรียและยีสต์ คือ มีค่า a_w ต่ำสุดในการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.80 ในขณะที่แบคทีเรียและยีสต์เจริญเติบโตได้เมื่อมี a_w เท่ากับ 0.91 และ 0.88 ตามลำดับ (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) ราที่พบในน้ำตาลโตนดได้แก่ *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Mucor mueedo*, *Rhizopus nigricans* (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537)

Faparusi และ Bassir (1971 อ้างโดย ปราณี จรูญศิริเสถียร, 2536) ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสดที่ปล่อยให้เกิดการหมักเป็นเวลานาน 7 วัน พบว่าภายใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก จุลินทรีย์ที่มีบทบาทคือ *Lactobacillus spp.*, *Leuconostoc spp.* และ *Saccaromyces cerevisiae* หลังจาก 48 ชั่วโมงของการหมัก จะตรวจพบเชื้อ *Acetobacter spp.* และหลังจาก 72 ชั่วโมงของการหมัก จะเริ่มตรวจพบเชื้อยีสต์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งประกอบด้วย *Pichia spp.*, *Schizosaccharomysis pombe* และ *Candida mycoderma* นอกจากนี้ยังพบเชื้อราพวก *Aspergillus flavus*, *Mucor spp.* และ *Rhizopus spp.* ในช่วง 72 ชั่วโมงของการหมักทั้งนี้เนื่องจากปกตินำ้ตาลสดมีพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-7.2 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *Lactobacillus spp.* และ *Leuconostoc spp.* ดังนั้นจึงตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ในน้ำตาลสดภายใน 24 ชั่วโมง เมื่อเกิดการหมักพีเอชจะลดลงเหลือ 4.5 ซึ่งภายใต้สภาวะนี้ *Saccaromyces cerevisiae* จะเจริญได้ดีที่สุดแต่หลังจากการหมักได้ 3 วัน จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่ถูกสร้างขึ้นทำให้ *Acetobacter spp.* เจริญ และเมื่อแบคทีเรียชนิดนี้เจริญเพิ่มจำนวนมากขึ้นน้ำตาลโตนดสดนั้นก็จะมีรสเปรี้ยวไม่เหมาะสมสำหรับใช้ดื่มอีกต่อไป

ในการรองรับน้ำตาลโตนดสดจากต้นตาลโตนดจะต้องใช้เวลานานกว่า 10 ชั่วโมง และไม่ได้ใช้เทคนิคปลอดเชื้อ ดังนั้นทำให้จุลินทรีย์หลายชนิด เช่น ยีสต์ แบคทีเรียและราปนเปื้อนและมีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่รองรับน้ำตาลโตนดสด ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้องกันการเสียของน้ำตาลโตนดสด คือ การทำความสะอาดภาชนะที่จะนำไปรองรับน้ำตาลโตนดก่อน โดยการรมควันหรือการลวกน้ำร้อน ในการลวกน้ำร้อนอาจใช้น้ำตาลโตนดสดที่เดือดกำลังเดือดลวกได้ แต่ต้องมีที่คว่ำให้เหมาะสม กันแมลงหรือมดรบกวนที่ทำให้ภาชนะสกปรก (ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2521) สัณหกุล มาลี และ พูนสุข อัตถะสัมปุณณะ (2517) รายงานว่าความสะอาดของกระบอกรองรับมีผลต่อการเสื่อมเสียของน้ำตาลมะพร้าวมาก จากการใช้กระบอกที่ทำความสะอาดทั้ง 3 วิธี คือ ล้างน้ำ ต้ม และนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน แล้วนำกระบอกที่ทำความสะอาดทั้ง 3 วิธีไปรองรับน้ำตาลมะพร้าวโดยไม่เติมสารใดเลย พบว่าน้ำตาลมะพร้าวในกระบอกที่ฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำไม่เกิดการบูดเปรี้ยวหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วประมาณ 9 ชั่วโมง ในขณะที่น้ำตาลมะพร้าวจากกระบอกที่ล้างด้วยน้ำมีกลิ่นเปรี้ยวเกิดขึ้น ตั้งแต่นำลงมา

จากต้นมะพร้าว การใช้เปลือกไม้บางชนิดเช่น ไม้เคี่ยมสับเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ไว้ในภาชนะรองรับน้ำตาลโตนดสดในปริมาณ 3-5 กรัม ต่อน้ำตาลโตนดสด 1 ลิตร สามารถป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลโตนดสดได้ เนื่องจากในเปลือกไม้มีสารประกอบพวกโพลีฟีนอลซึ่งจะช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดได้ ในประเทศศรีลังกาใช้ Hal bark (*Vateria acuminata* L.) ในฟิลิปปินส์ใช้ผงของเปลือกไม้โกงกาง เช่น *Rhizophora murnata* L หรือ *Ceriops tagal* C.B. Robinson ในการยับยั้งการหมักในน้ำตาลโตนดสด สำหรับประเทศไทยนอกจากไม้เคี่ยมแล้วยังนิยมใช้ไม้พยอม (*Shorea floribunda)* ไม้ตะเคียน *(Hopea adorata)* และไม้มะเกลือ *(Diospyros mollis)* (Scalbert, 1991 อ้างโดย Chanthachum and Beuchat, 1997; ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2521; เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2532; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) ซึ่งไม้เหล่านี้อยู่ในวงศ์ Dipterocarpaceae แต่ในทวีปแอฟริกาเช่น ประเทศไนจีเรียจะใช้เปลือกของต้น *Saccoglottis gabonensis* ซึ่งเป็นพืชอยู่ในวงศ์ Houmiriaceae เปลือกไม้ชนิดนี้มีขายตามท้องตลาดในลักษณะแผ่นแห้ง จากการวิเคราะห์พบว่าเป็นสารประกอบพวกฟีนอล Faparusi และ Bassir (1971 อ้างโดย ปราณี จรูญศิริเสถียร, 2536)

3. การใช้ความร้อนในการแปรรูปน้ำผลไม้

การใช้ความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมในการแปรรูปอาหาร ทั้งนี้เพื่อให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคตามต้องการ การใช้ความร้อนเป็นวิธีในการถนอมรักษาอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ในอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร (วิไล รังสาดทอง, 2545) ซึ่งระดับความร้อนสามารถจำแนกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การให้ความร้อนระดับพาสเจอรไรส์และระดับสเตอริไลส์

3.1 การพาสเจอร์ไรส์

3.1.1 หลักการของการพาสเจอร์ไรส์

การพาสเจอร์ไรส์เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำลายจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540) การพาสเจอร์ไรส์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่แต่ไม่ใช่จุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร วัตถุประสงค์หลักในการพาสเจอร์ไรส์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำคือการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ส่วนวัตถุประสงค์ในการพาสเจอร์ไรส์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง คือการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เวลาและอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อนของเซลล์จุลินทรีย์หรือเชื้อโรคที่ต้องการทำลายและความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์ (วิไล รังสาดทอง, 2545) ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วต้องเข้าสู่กระบวนการต่อไปหรือต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บรักษาน้ำผลไม้พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำ

3.1.2 ประเภทของการพาสเจอร์ไรส์ แบ่งเป็น 2 ประเภท ตามระบบให้การความร้อนคือ

- ระบบช้าอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Long Time, LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนไม่สูงมาก

นักแต่ใช้เวลานานเช่น การใช้อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วทำให้เย็นทันที เป็นวิธีที่ง่าย และสามารถทำได้ในครัวเรือน (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540)

- ระบบเร็วอุณหภูมิสูง (High Temperature Short Time, HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับที่สูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง เช่น อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยทันที มักทำเป็นระบบต่อเนื่องโดยให้อาหารต่อเนื่อง เช่น น้ำนม น้ำผลไม้ ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงเวลาที่กำหนดตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540)

วิธีการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527) คือ

- การพาสเจอร์ไรส์อาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว เป็นการพาสเจอร์ไรส์หลังการบรรจุอาหารลงภาชนะ โดยบรรจุน้ำผลไม้ลงในขวด ปิดผนึก แล้วให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วลดอุณหภูมิลง

- การพาสเจอร์ไรส์อาหารก่อนการบรรจุ อาจทำการพาสเจอร์ไรส์น้ำผลไม้ที่อุณหภูมิ 85-95 องศาเซลเซียส แล้วคงอุณหภูมินี้ไว้ไม่กี่นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส บรรจุในภาชนะและปิดผนึก คว่ำกระป๋องลงเพื่อฆ่าเชื้อที่ส่วนฝานาน 1-2 นาที แล้วลดอุณหภูมิลง

3.1.3 ผลของการพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

การพาสเจอร์ไรส์เป็นกระบวนการที่เป็นการใช้ความร้อนที่ไม่สูงมากนักจึง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านโภชนาการและประสาทสัมผัสของอาหารน้อยมาก วิธีนี้สามารถยืดอายุของผลิตภัณฑ์ไปได้หลายวันหรือหลายอาทิตย์ (วิไล รังสาดทอง, 2545)

Parish (1998) ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มภายหลังการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 75 และ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส มีผลให้น้ำส้มมีความข่นคงตัวไม่แยกชั้นตกตะกอนได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิที่ระดับ 75 องศาเซลเซียส ส่วน Yeom และคณะ (2000) ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มภายหลังการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์โดยให้น้ำส้มไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ 94.6 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำส้มมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6 log (cfu/ml) และหลังการแปรรูปพบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงน้อยกว่า 1 log (cfu/ml) ตลอดระยะเก็บรักษานาน 112 วัน เมื่อพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส พบว่าภายหลังการพาสเจอร์ไรส์มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงร้อยละ 98 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสด นอกจากนี้น้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์จะมีค่า L ลดลง แต่มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นหลังจากการเก็บรักษานาน 28 วัน นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Weemaes และคณะ (1998) ซึ่งศึกษาผลของระดับการใช้ความร้อนต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจากน้ำแอปเปิ้ล อาโวกาโด องุ่น ลูกแพร์และพลัม รายงานว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำลูกแพร์ อาโวกาโด องุ่นและพลัม กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำแอปเปิ้ลจะถูกยับยั้งเมื่อใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72.5 องศาเซลเซียส โดยเอนไซม์โพ

ลีฟนอลออกซิเดสในน้ำแอปเปิ้ลมีค่า D (Decimal reducing time) ที่อุณหภูมิ 72.5 องศาเซลเซียส เท่ากับ 50.1 นาที

3.2 การสเตอริไลส์

3.2.1 หลักการของการสเตอริไลส์

การสเตอริไลเซชัน (Sterilization) คือ การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิภายใต้น้ำเดือดหรืออุณหภูมิที่สูงกว่าการพาสเจอร์ไรส์ภายใต้ความดัน (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2540) จุดมุ่งหมายหลักของการสเตอริไลส์ คือการทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และทำลายเชื้อจุลินทรีย์หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตในอาหารได้ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาตามปกติ นั่นคือ อาหารที่ผ่านการสเตอริไลส์แล้วจะต้องเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องแช่เย็น ทั้งนี้อาจมีจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเหลืออยู่บ้างในอาหารแต่สภาวะแวดล้อมทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตขึ้นมาได้ อย่างไรก็ตามต้องไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเหลือรอดอยู่ จึงเรียกกระบวนการให้ความร้อนตามหลักการนี้ว่า การฆ่าเชื้อเชิงการค้า (commercial sterilization) (วิไล รังสาดทอง, 2545)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการแปรรูปโดยใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ คือค่าพีเอชของอาหาร โดยสามารถแบ่งอาหารตามค่าพีเอชได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอาหารที่เป็นกรดสูงมีพีเอชน้อยกว่า 3.7 กลุ่มอาหารที่เป็นกรดมีพีเอชระหว่าง 3.7-4.5 และกลุ่มอาหารที่เป็นกรดต่ำมีพีเอชมากกว่า 4.5 (Rammaswamy *et al.*, 2002) น้ำตาลโตนดมีพีเอชอยู่ระหว่าง 5.58-5.94 จึงจัดเป็นอาหารที่เป็นกรดต่ำ สำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำที่ต้องการแปรรูปโดยใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์จะต้องสามารถทำลาย *Clostridium botulinum* ได้หมด (Rammaswamy *et al.*, 2002) โดยจะใช้ความร้อนในการ ฆ่าเชื้อเท่ากับ 12D ของ *Clostridium botulinum* ซึ่งหมายถึงความร้อนที่สามารถลดจำนวนสปอร์จำนวน 10^{12} สปอร์ของ *C. botulinum* ลงเป็น 1 สปอร์ต่อมิลลิลิตรหรือต่อกรัม ในความเป็นจริงจำนวนสปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ไม่สูงถึง 10^{12} สปอร์ต่อมิลลิลิตรหรือต่อกรัมก็ตาม แต่การใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ 12D จะเชื่อมั่นได้ว่าสามารถทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* ได้หมด ค่า D ที่อุณหภูมิ 121.1 องศาเซลเซียสของ *Clostridium botulinum* เท่ากับ 0.21 นาที ดังนั้น 12D เท่ากับ 2.52 นาที ซึ่งเป็นค่า F_0 ต่ำสุดที่จะทำให้มีความปลอดภัยทางสาธารณสุขสำหรับอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537)

3.2.2 ประเภทของการสเตอริไลส์ สามารถแบ่งตามวิธีการให้ความร้อน เป็น 2 ประเภท คือ

- การให้ความร้อนทางอ้อม (indirect type) เป็นการให้ความร้อนผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเหมือนกับการพาสเจอไรส์แต่อุณหภูมิสูงกว่า (รุ่งนภา วิสิฐอุตรการ, 2539)

- การให้ความร้อนทางตรง (direct type) เป็นการใช้ไอน้ำร้อนเป็นตัวให้ความร้อนโดยตรง โดยฉีดลงไปผสมกับอาหารโดยตรงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฉีดไอน้ำจะถูกฉีดเป็นละอองไปยังอาหารเหลวเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียสในทันที หลังจากการควบคุมอุณหภูมิของผลิต

ภัณฑ์ตามเวลาที่เหมาะสมแล้วจะทำให้อาหารเย็นตัวลงทันทีในภาชนะสุญญากาศ และมีการกำจัดไอน้ำและสารระเหยที่ควบแน่นในผลิตภัณฑ์ออกไป (วิไล รังสาดทอง, 2545) ความร้อนที่ใช้การสเตอริไลส์ส่วนใหญ่มักใช้ความร้อนชื้น (moisture heat) เช่น การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (รุ่งนภา วิสิฐอุตรการ, 2539)

3.2.3 ผลของการสเตอริไลส์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

Lambert (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นรสในสตรอเบอรี่หลังจากการผ่านการใช้ความดันสูงและการใช้ความร้อน โดยนำสตรอเบอรี่มาปั่นให้ความดันที่ 200, 500 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที และให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วนำมาสกัดสารให้กลิ่นรสและวิเคราะห์ด้วย GC/MS พบว่าสตรอเบอรี่ที่ผ่านการให้ความดันที่ 200 และ 500 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที จะไม่มีความแตกต่างของชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นรสเมื่อเปรียบเทียบกับสตรอเบอรี่สด ส่วนสตรอเบอรี่ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการสเตอริไลส์ที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีชนิดของสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้นจากสตรอเบอรี่สด เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ ได้แก่ geraniol, vanillin และสารที่ไม่ทราบชนิดชื่ออีก (unknown) 1 ชนิด

4. การใช้ความดันสูงในการแปรรูปน้ำผลไม้

4.1 หลักการของการใช้ความดันสูง

การใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหาร เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องใช้ความร้อน (non-thermal processing) สามารถใช้ได้ทั้งอาหารเหลวและอาหารแห้งทั้งที่มีบรรจุภัณฑ์และไม่มีบรรจุภัณฑ์ (Farkas and Hoover, 2000) ความดันที่ใช้เป็นความดันไฮโดรสเตติก คือ ความดันที่เกิดจากตัวกลางที่ส่งผ่านความดันที่อยู่รอบๆ อาหาร ซึ่งความดันมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งต่อจุลินทรีย์และโปรตีน (รุ่งนภา วิสิฐอุตรการ, 2539) หลักการสำคัญของความดันสูง เป็นไปตามหลักการของเลอ ชัตตาเลย์ (Le Chatelier principle) โดยปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นพร้อมกับการลดปริมาตรซึ่งเกิดจากความดันสูง ในขณะที่ปฏิกิริยาที่ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจะถูกยับยั้ง (Palou *et al.*, 1999) การใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหารจะใช้ความดันในระดับ 100-900 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส โดยจะเกิดผลกระทบเล็กน้อยจาก adiabatic heat ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียสต่อการเพิ่มความดัน 100 เมกกะปาสคาล อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปด้วยความดันสูงจะมีการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถทนต่อความดันที่เพิ่มขึ้นภายในได้ (Tauscher, 1999 อ้างโดย Palou *et al.*, 1999) เวลาที่ใช้ในการเพิ่มความดันถึงระดับที่ต้องการจะเร็วมาก อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพของอาหารจะยังคงสภาพใกล้เคียงอาหารสด เนื่องจากการใช้ความดันสูงจะไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ในองค์ประกอบของอาหาร (Tauscher, 1999 อ้างโดย Palou *et al.*, 1999) การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูงจะมีทั้งลักษณะการผลิตเป็นแบบกะ (batch processing) หรือแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi continuous) ปริมาณการผลิตอาหารขึ้นกับข้อจำกัดของขนาดถังความดัน รูปแบบการผลิตที่ใช้

ความดันสูงมี 2 รูปแบบ คือ การบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์แล้วผ่านให้ได้รับความดันในบรรจุภัณฑ์เรียกว่า hyperbar และการผลิตอาหารแล้วผ่านความดันในปริมาณบรรจุมาก (bulk) แล้วจึงแบ่งบรรจุภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ (พันธ์จิต พัฒโนภาษ, 2543)

4.2 ประเภทของการใช้ความดันสูง แบ่งตามวิธีการให้ความดันได้เป็น 3 ประเภท (Palou *et al.*, 1999) คือ

- การอัดลูกสูบโดยตรง (direct compression) ตัวกลางของความดันในภาชนะ ความดันสูงจะถูกอัดโดยตรงด้วยลูกสูบที่ขับเคลื่อนด้วยปลายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ด้วยปั๊มความดันต่ำ วิธีนี้ทำให้เกิดการอัดเร็วมาก แต่การใช้จำกัดเพียงในระบบความดันสูงในห้องทดลองหรือในโรงงานต้นแบบเท่านั้น

- การอัดลูกสูบโดยอ้อม (indirect compression) ตัวกลางของความดันจะมีปั๊มในการเพิ่มความดันจากภาชนะที่เก็บจนกระทั่งได้ความดันตามที่ต้องการ ซึ่งวิธีการให้ความดันโดยการอัดลูกสูบโดยอ้อมนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

- การให้ความร้อนกับตัวกลางของความดัน (heating of pressure medium) ตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะขยายตัวและมีแรงดันเพิ่มขึ้น ส่วนมากนิยมใช้เมื่อต้องการใช้ร่วมกับการใช้อุณหภูมิ (Palou *et al.*, 1999)

4.3 ระบบของการให้ความดันแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Mertens, 1995) คือ

- cold isostatic pressing วิธีนี้กระทำที่อุณหภูมิห้อง ตัวกลางความดันที่ใช้ คือ น้ำ อิมัลซิไฟเออร์ของน้ำ หรือน้ำมัน ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 50-600 เมกกะปาสคาล ระบบนี้นิยมใช้ในการขึ้นรูปสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก เซรามิก คาร์บอน กราไฟต์ และพลาสติก

- warm isostatic pressing วิธีนี้ใช้สำหรับการขึ้นรูปโดยใช้ความดันร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ระบบนี้เหมาะสมที่จะใช้กับปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการให้ความดัน

- hot isostatic pressing วิธีนี้กระทำที่อุณหภูมิ 2000-2200 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 100-400 เมกกะปาสคาล ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กและเซรามิก โดยให้ความร้อนและความดันแก่วัสดุอย่างสม่ำเสมอ และใช้ก๊าซ เช่น ก๊าซอาร์กอน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซฮีเลียม หรืออากาศ เป็นตัวกลางส่งผ่านความดัน เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบประมาณ 6-12 ชั่วโมง

เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูปด้วยความดันสูงจะเป็นเครื่องมือที่ใช้กับอาหารที่มีปริมาตร 500-1000 มิลลิลิตร และความดันที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 600-1000 เมกกะปาสคาล (รุ่งนภา วิสิฐอุตรการ, 2539) เครื่องความดันสูงประกอบด้วยตัวภาชนะพร้อมที่ปิดซึ่งทำจากวัสดุที่สามารถทนความดันสูงได้ (vessel and closure) ระบบเพิ่มความดัน (pressure generation system) อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ (temperature control device) และระบบยึดจับอาหาร (material handling system) (Mertens, 1995) การทำงานของเครื่องความดันสูงเริ่มจากการใส่ตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่าง (vessel) แล้วเครื่องจะทำงานในระบบปิด ตัวกลางส่งผ่านความดัน (pressure-transmitting medium) จะถูกเติมใส่ในช่องใส่ตัวอย่าง อากาศจะถูกกำจัดออกจากช่องใส่ตัวอย่าง โดยปั๊มจะดึงอากาศออกจากช่องใส่ตัวอย่างร่วมกับวาล์วกำจัดอากาศอัตโนมัติ

(automatic deaeration valve) จากนั้นจะเข้าสู่ระบบความดันที่กำหนดไว้อย่างรวดเร็ว (Palou *et al.*, 1999) โดยใช้เวลาเพียง 90 วินาทีเพื่อให้ได้ความดันสูงสุดเท่ากับ 700 เมกกะปาสคาล ดังนั้นอาหารที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความดันจะปราศจากสารปนเปื้อนที่เป็นอันตราย (Mertens, 1995)

4.4 ผลของการใช้ความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

การใช้ความดันสูงเป็นการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ และยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการได้ใกล้เคียงธรรมชาติจึงมีศักยภาพสูงในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงวัตถุดิบแต่มีอายุการเก็บรักษานาน มีรายงานการศึกษาจลนศาสตร์และกลไกการทำลาย *Escherichia coli* และ *Listeria spp.* กล่าวว่าการทำลายของจุลินทรีย์ที่ความดันสูงคาดว่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการแทรกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ เอนไซม์และโปรตีนถูกทำลาย ผลดังกล่าวอาจไม่สามารถทำลายเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์แต่อาจทำให้เกิดบาดแผลหรือความเสียหาย (วิไล รังสาดทอง, 2545) Park และคณะ (2002) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ความดันต่ำ (0.98 2.94 และ 4.90 เมกกะปาสคาล) ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้ความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำแครอทพบว่าการใช้ความดันที่ 4.90 เมกกะปาสคาลร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ (0.8 โมลต่อลิตร) นาน 5 นาทีและการใช้ความดันสูงที่ 300 เมกกะปาสคาลนาน 5 นาที สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ นอกจากนี้การใช้ความดันสูงที่ 600 เมกกะปาสคาลและการใช้ความดันที่ 4.90 เมกกะปาสคาลร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ (0.8 โมลต่อลิตร) สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ไลปอกซิจิเนสและเพคตินเมทิลเอสเทอเรสได้ โดยจะลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 11.3 8.8 และ 35.1 ตามลำดับ เทียบกับกิจกรรมเริ่มต้นของทุกเอนไซม์ จากการทดลองของ Yen และ Lin (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสในน้ำฝรั่งเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการใช้ความร้อนกับการใช้ความดันสูง โดยนำน้ำฝรั่งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มาปรับพีเอชให้เท่ากับ 3.8 ปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 12 องศาบริกซ์ บรรจุตัวอย่างลงในถุงพลาสติกเพื่อนำไปให้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที แล้วเปรียบเทียบคุณภาพน้ำฝรั่งกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที โดยหลังผ่านกระบวนการแปรรูปทั้งการให้ความร้อนหรือความดันแล้วน้ำฝรั่งจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน และตรวจวัดสารให้กลิ่นรสด้วย purge and trap/gas chromatography/mass spectrometry โดยพบว่าสารให้กลิ่นรสทั้งหมด (total volatile flavor) ในน้ำฝรั่งสดมีทั้งหมด 30 ชนิดโดยมีปริมาณเท่ากับ 11.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมฝรั่งสด โดยจำแนกเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ 4 ชนิด สารประกอบเอสเทอร์ 10 ชนิด สารประกอบอัลดีไฮด์ 4 ชนิด สารประกอบคีโตน 3 ชนิด สารประกอบเทอร์พีน 8 ชนิด และสารประกอบอื่นๆ อีก 1 ชนิด น้ำฝรั่งสดที่ผ่านการใช้ความดันสูงที่ 600 เมกกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีปริมาณสารให้กลิ่นรสทั้งหมดลดลงเหลือเท่ากับ 10.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมฝรั่งสด (คิดเทียบเป็นการลดลงของสารให้กลิ่นรสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5.22) ในขณะที่การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีผลให้ปริมาณสารให้ กลิ่นรสทั้งหมดลดลงเหลือเท่ากับ 7.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมฝรั่งสด (คิดเทียบเป็นการลดลงของสารให้กลิ่นรสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 36.5) ส่วนGoodner และคณะ (2000) ศึกษาผลของการยับยั้งเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectinesterase) ในน้ำส้มและน้ำองุ่นด้วยความดันสูงโดยใช้ความดันที่

ระดับ 600 700 800 และ 900 เมกกะปาสคาล ใช้เวลานาน 1, 15 และ 30 วินาที และที่ความดัน 500 เมกกะปาสคาล ใช้เวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 1 ชั่วโมง พบว่าน้ำส้มที่ผ่านความดัน 900 เมกกะปาสคาล นาน 1 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรสได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 93 และในน้ำองุ่นที่ผ่านความดัน 800 เมกกะปาสคาล นาน 1 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรสได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 87

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาในน้ำตาลโตนดสด
2. ศึกษาผลของการใช้ความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาในน้ำตาลโตนด
3. ศึกษาผลของการใช้ความดันสูงที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาในน้ำตาลโตนด
4. เปรียบเทียบผลของกระบวนการแปรรูปต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดระหว่างการเก็บรักษา