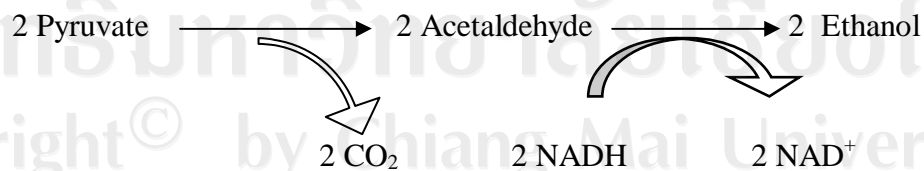
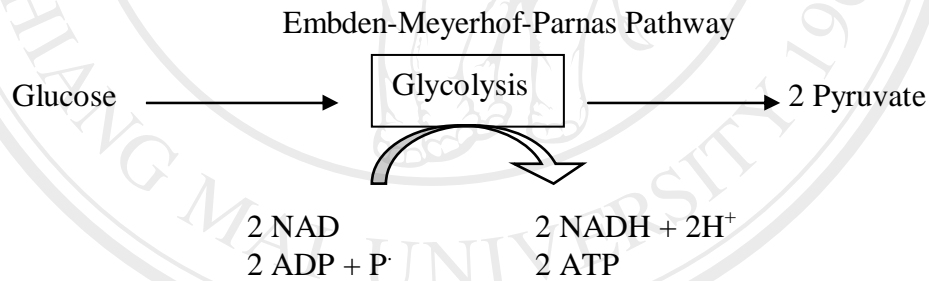


บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

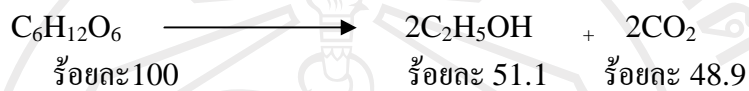
2.1 กระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

การหมักให้เกิดแอลกอฮอล์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีอากาศ โดยยีสต์สกุล *Saccharomyces sp.* ซึ่งแอลกอฮอล์จะถูกสร้างขึ้นโดยผ่าน Embden-Meyerhof-Parnas Pathway โดยเริ่มจากกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท 2 โมเลกุล และ ATP อีก 2 โมเลกุล จากนั้นไพรูเวทจะสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล ได้อะเซตาลดีไฮด์ (acetaldehyde) 2 โมเลกุลด้วยเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซิเลส (pyruvate decarboxylase) จากนั้นอะเซตาลดีไฮด์ จะถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์แอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) ได้เป็นเอทานอล 2 โมเลกุล (รูป 2.1)



รูป 2.1 กระบวนการเปลี่ยนกลูโคสเป็นเอทานอล

กระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์นั้น จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 51.1 และเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนักของน้ำตาลที่ถูกย่อย แต่ในความเป็นจริงปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล (glycerol), เอสเทอร์ (ester), แอลดีไฮด์ (aldehyde), เอมีล แอลกอฮอล์ (amyl alcohol), ไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ (isobutyl alcohol), ฟลูเซลออยล์ (fusel oil) และกรดบางชนิด โดยทั่วไปมักจะได้อัลกอฮอล์อยู่ ระหว่างร้อยละ 80-95 ของทฤษฎี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ สภาพแวดล้อมในระหว่างการ หมักและสายพันธุ์ของยีสต์



รูป 2.2 สมการการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

ยีสต์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์จะอยู่ในสกุล *Saccharomyces sp.* ซึ่งมีอยู่ หลายชนิด ได้แก่ *S. cerevisiae*, *S. bayanus* และ *S. Carlbergensis* เป็นต้น ยีสต์เหล่านี้สามารถ หมักได้อย่างรวดเร็วให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูง และทนต่อสภาวะแวดล้อมเช่น ปริมาณแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง (ก่าเนิด, 2534) ยีสต์ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปจะมี 2 แบบ (ประคิชฐ์, 2545) คือ ยีสต์ผง และยีสต์สดหรือยีสต์ที่อยู่ในอาหารเหลว ยีสต์ ผง (active dry yeast) ผลิตจากยีสต์สด โดยนำมาทำแห้งจนมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 8 การใช้ยีสต์ผงในการหมักจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม เนื่องจากเป็นยีสต์ที่มีการ ศึกษา คัดเลือก และทำการผสมจากยีสต์หลายๆสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติที่ดีเช่น ให้กลิ่นหอม สร้างคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ และอาจมีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการใน การหมักได้อีกด้วย ยีสต์ผงสามารถเก็บได้เป็นปี และมีการคงตัวในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ การใช้ยีสต์ผงอาจจะต้องมีการเติมน้ำ (Rehydration) โดยการเติมน้ำอุ่นประมาณ 37-41 องศาเซลเซียส เขย่าเล็กน้อย ส่วนยีสต์สดมักไม่สะดวกในการต่อการใช้งาน เช่น การจัดเก็บเพราะอายุ การเก็บค่อนข้างสั้นประมาณ 3-4 เดือน ต้องเก็บในที่เย็น และการเตรียมหัวเชื้อโดยวิธีนี้ค่อนข้างจะ ยุ่งยาก เป็นต้น

Saccharomyces cerevisiae เป็นยีสต์ที่มีความสำคัญต่อการผลิตสุรากลั่นเป็นอย่างมาก เพราะยีสต์ชนิดนี้มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการผลิตสุราต่างๆทั้งในรูปแบบของยีสต์แห้งพร้อมใช้ ผลิตจำหน่ายเป็นการค้าของหลายบริษัท และที่เป็นยีสต์สดมีการต่อเชื้อใช้เองในโรงงานสุราต่างๆ ในหลายประเทศ สำหรับ *Saccharomyces sp.* สายพันธุ์ที่มีจำหน่าย และมีใช้งานในประเทศไทย มีดังต่อไปนี้

1) K1V-1116 เป็น *S.cerevisiae* ที่นำมาจำหน่ายในประเทศไทยเมื่อประมาณ 4-5 ปีมาแล้ว เพื่อใช้ในการทำไวน์ผลไม้ทั้งไวน์ขาวและไวน์แดง ระดับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่ใช้หมักคือ 18-22 °Brix ใช้เวลาหมัก 1-3 สัปดาห์ หมักได้ในช่วงอุณหภูมิ 15-40 องศาเซลเซียส (แต่ควรหมักที่อุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส) จึงเหมาะกับประเทศไทยที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงและใช้ได้ดีกับผลไม้ไทยหลายชนิด เพราะให้กลิ่นหอมของผลไม้เป็นธรรมชาติ เหมาะสมที่จะใช้ทำสุรากลั่นจากผลไม้

2) EC1118 เป็น *S.cerevisiae* ที่นำเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยเมื่อประมาณ 4-5 ปีที่แล้วพร้อมกับ K1V-1116 เพื่อใช้ในการทำไวน์ผลไม้ทั้งไวน์ขาวและไวน์แดง ระดับความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่ใช้หมักคือ 18-22 °Brix ใช้เวลาหมัก 2-4 สัปดาห์ หมักได้ในช่วงอุณหภูมิ 15-35 องศาเซลเซียส (ควรหมักที่อุณหภูมิไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้กลิ่นรสที่ดี) ให้แอลกอฮอล์สูงกว่าและทนแอลกอฮอล์ได้สูงกว่า K1V-1116 ใช้ในการแก้ปัญหาหยุดหมักได้ดีหรือใช้ในการทำแชมเปญ ใช้ได้ดีกับผลไม้ไทยหลายชนิด ให้กลิ่นหอมของผลไม้เป็นธรรมชาติและกลิ่นที่ซับซ้อน เหมาะที่จะใช้ทำสุรากลั่นจากผลไม้ (Lallemand Inc., 2004)

นอกจากนี้ยังมียีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์อื่นๆที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก และเรียกแตกต่างกัน ตัวอย่างสายพันธุ์ยีสต์ที่มีจำหน่ายในทางการค้าในรูปแบบของยีสต์ผง (ตาราง 2.1)

2.1.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของยีสต์

ยีสต์เป็นสิ่งมีชีวิตจึงต้องการสารอาหารและปัจจัยอื่นๆ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ปัจจัยที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. สารอาหาร (Nutrients) ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนโดยสามารถทนความเข้มข้นของน้ำตาลได้สูงสุดประมาณร้อยละ 22 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรสารละลาย ถ้าเกินจากนี้จะทำให้ยีสต์เจริญได้ช้า และทำให้การหมักไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดกรดแลกติก กรดน้ำส้ม และสารอินทรีย์อื่นๆ น้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กๆเช่น กลูโคสและฟรุกโตส จะทำให้อัตราการหมักเกิดได้เร็วกว่าโมเลกุลใหญ่ เช่น ซูโครส ทั้งนี้เป็นเพราะยีสต์สามารถนำน้ำตาลโมเลกุลเล็กมาใช้ได้ทันที

(รัฐพงศ์, 2545) แหล่งของไนโตรเจน (Arrizon and Others, 2007) ยีสต์ใช้ในรูปของสารละลายเกลือแอมโมเนียม ไม่นิยมใช้ในรูปของไนโตรทและไนเตรท ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์เช่นกัน ซึ่งจะใช้สร้าง ATP (Adenosine - 5 - triphosphate) และตั้งเคราะห์นิวคลีโอโปรตีน เป็นต้น โดยสามารถใช้ในรูปของ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต โพแทสเซียมฟอสเฟต เป็นต้น ส่วนแมกนีเซียมจำเป็นต่อการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิดใน Embden-Meyerhof-Parnas Pathway

ตาราง 2.1 ตัวอย่างยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ต่างๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมไวน์

สายพันธุ์หรือรหัสทางการค้า	คุณสมบัติ
Enoferm BDX (<i>S.cerevisiae</i>)	สำหรับหมักไวน์แดง หมักได้ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v)
Fermivin (<i>S.cerevisiae</i>)	สำหรับหมักไวน์แดง และไวน์ขาว หมักได้ระหว่าง 15 -35 องศาเซลเซียส ทนแอลกอฮอล์ร้อยละ 16 (v/v) ผลิตกรดระเหยต่ำกว่า 0.15 กรัม/ลิตร ผลิตอะซิตาลดีไฮด์ต่ำกว่า 20 มิลลิลิตร ผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) ต่ำ
Fermivin PDM (<i>S.cerevisiae var.bayanus</i>)	สำหรับหมักไวน์แดง และไวน์ขาว หมักได้ระหว่าง 14 -28 องศาเซลเซียส ทนแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 16 (v/v) ผลิตกรดระเหยต่ำกว่า 0.15 กรัม/ลิตร ผลิตอะซิตาลดีไฮด์ต่ำกว่า 10 มิลลิลิตร ผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) ต่ำ

ที่มา : Lallemand. Inc. (2004) ; DSM Specialties Food Beverage Ingrediens (2004)

2. ความเป็นกรดต่างของน้ำหมัก มีผลต่อการหมัก โดยทั่วไปยีสต์เจริญได้ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 3.5-5.5 โดยถ้าต่ำกว่า 3.5 อัตราการเจริญของยีสต์จะลดลง ถ้าต่ำกว่า 3.0 ยีสต์ไม่เจริญ ดังนั้นจึงนิยมปรับความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ซึ่งยีสต์มีประสิทธิภาพในการเจริญได้ดี และยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ (Lea and Others, 1995)

3. ออกซิเจน ยีสต์ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวน ซึ่งยีสต์สามารถแบ่งตัวเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลาไม่ถึงชั่วโมง และมีการเพิ่มจำนวนถึงล้านเซลล์เมื่อเวลาผ่านไปภายใน 24 ชั่วโมง การปนเปื้อนของเชื้อ acetobacter ซึ่งจะผลิตกรดน้ำส้ม มีผลในการเจริญของยีสต์ลดลง ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์น้อยลงด้วย ดังนั้นในระหว่างการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ควรใช้อุปกรณ์ดักอากาศ (air lock) ซึ่งจะป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ถังหมักได้ แต่สามารถให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากยีสต์ออกมาจากถังได้ (โชคชัย, 2546)

4. อุณหภูมิ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของยีสต์ และมีผลทางอ้อมต่อปริมาณแอลกอฮอล์ ดังนั้นในช่วงแรกของการหมัก จึงควรปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 25-26 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า แต่ไม่ควรต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส และเมื่อหมักไปในช่วงสุดท้ายของการหมัก ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงมากๆ จะทำให้เอนไซม์ในยีสต์เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) อัตราการเจริญของยีสต์จะลดลงในระหว่างที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 55-85 องศาเซลเซียส และอาจทำให้ยีสต์ตายได้ (รัฐพงษ์, 2545)

5. คาร์บอนไดออกไซด์ และความดัน คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการใช้น้ำตาลของยีสต์จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ถ้าไม่มีการระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากถังหมัก จะทำให้ความดันในถังหมักสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วของการหมักลดลง (Fleet, 1994)

6. ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ในกรณีที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงขึ้นถึงขีดจำกัดคือ ร้อยละ 15 โดยปริมาตร (โดยขีดจำกัดนี้อาจสูงหรือต่ำกว่านี้ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ยีสต์) ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงนี้จะยับยั้งการทำงานของยีสต์ ทำให้การหมักหยุดชะงักลงแม้ยังมีน้ำตาลเหลืออยู่ใน น้ำตาล (รัฐพงษ์, 2545)

ความแตกต่างของสายพันธุ์ยีสต์ในแง่ของคุณภาพในการผลิตกลีนาส ในการหมักและสภาวะในการหมักมีความสำคัญต่อการสร้างกลีนาสในสุรากลีนาสเช่นกัน เช่นปริมาณยีสต์ที่ใช้ในการหมักและอุณหภูมิในการหมัก (Varnam and Sutherland, 1994)

2.1.2 สารเคมีอื่นที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

1. เอสเทอร์ การหมักทำให้เกิดแอลกอฮอล์ประกอบด้วยสารระเหยหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ กรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น ซึ่งสารต่างๆเหล่านี้โดยมากมาจากกิจกรรมของยีสต์ในระหว่างการหมัก แต่สารระเหยบางตัวมาจากกิจกรรมของราขณะย่อยแป้ง เช่น เอทิลลิควินิน ที่เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมเฉพาะของสาเก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์สารระเหยได้ของยีสต์ในระหว่างการหมัก เช่น องค์ประกอบของข้าว สายพันธุ์ยีสต์ พบว่า สารเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกผลิตขึ้นขณะที่ยีสต์อยู่ในระยะกำลังเจริญ และวิถีการสังเคราะห์เอสเทอร์โดยยีสต์ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ และกรดคาร์บอกซิลิกที่มีอยู่ในสารละลายด้วย (นัยทัศน์, 2542)

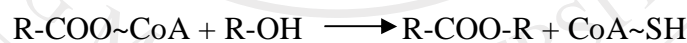
เอสเทอร์ เป็นสารหอมระเหย ที่มีความสำคัญในการให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ (Cortes and Others, 2005) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Acyl CoA และ Free Alcohols โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Esterase และ Alcohol acetyl transferase ทำให้เกิดกลิ่นหอม

ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ มี 2 รูปแบบ ดังสมการต่อไปนี้

แบบที่ 1 เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์กับกรดอะซิติก



แบบที่ 2 เกิดจากปฏิกิริยา Alcoholysis ของสารประกอบ Acyl CoA



2. แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลใหญ่ (Higher alcohols) มีที่มาจากกระบวนการสลายกลูโคส และกรดอะมิโน เกิดขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของยีสต์ ได้แก่ amyl alcohol, isobutyl alcohol และ 2-phenylethanol ชนิดและปริมาณของสารดังกล่าวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ยีสต์ และองค์ประกอบของสารอาหารเริ่มต้น (นัยทัศน์, 2542)

3. แอลดีไฮด์ (Aldehyde) เป็นสารในกลุ่ม carbonyl ซึ่งมีบทบาทต่อกลิ่นรสของสาโท เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแอลกอฮอล์ ปริมาณแอลดีไฮด์ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของยีสต์และสภาวะในการหมัก โดยทั่วไปแล้วปริมาณแอลดีไฮด์ควรมีค่าอยู่ในช่วง 60-190 มิลลิกรัมต่อลิตร (พัฒนาพงษ์, 2543)

4. เอทิลคาร์บาเมต (Ethyl carbamate) เป็นสารประกอบที่สร้างขึ้นในระหว่างการหมักด้วยยีสต์ ใช้ยูเรียเป็นสารตั้งต้น (precursor) และเปลี่ยนแปลงด้วยเอนไซม์ urease (พัฒนาพงษ์, 2543)

5. ฟลูเซทออยล์ (Fusel oil) เกิดจากกระบวนการสลายกรดอะมิโน valine, leucine, isoleucine และ phenylalanine และเกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรดอะมิโน ชนิด threonine, glutamic acid, isoleucine และ valine ตัวอย่างของฟลูเซทออยล์ ได้แก่ แอลกอฮอล์มวลโมเลกุล สูงๆ เช่น 2-methyl-1-butanol, 3-methyl-1-butanol, 3-pentanol และ 1-hexanol (พัฒน์พงษ์, 2543)

6. เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) ในกระบวนการหมักสุราแช่ประเภทต่างๆ ได้แก่ สาโท ไวน์ และไวน์ผลไม้ นั้น ยีสต์มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตเป็น แอลกอฮอล์และสารอื่นๆได้ ในชนิดและปริมาณต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะในการหมัก ในบางสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น ในกระบวนการผลิตไวน์ผลไม้บางชนิดที่ใช้เอนไซม์เพคตินเอสในการเตรียมน้ำผลไม้ ก็ทำให้เกิดเมทิลแอลกอฮอล์ขึ้นได้ เป็นต้น

2.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักนั้น ต้องใช้วัตถุดิบที่ให้น้ำตาล ซึ่งยีสต์สามารถหมักได้ในสภาวะที่เหมาะสม วัตถุดิบดังกล่าวแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. วัตถุดิบที่เป็นแป้ง (Starchy materials) เป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานของยีสต์ได้ แต่จะต้องมีการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อน โดยอาจใช้กรดหรือเอนไซม์จากเมล็ดพืชที่งอก (malt) หรือใช้จุลินทรีย์ชนิด ที่สร้างเอนไซม์อะไมเลสหรือการใช้เอนไซม์ทางการค้าที่สร้างจากจุลินทรีย์ ซึ่งวัตถุดิบในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

1.1 เมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาเลย์ และข้าวฟ่าง เป็นต้น

1.2 พืชที่เก็บแป้งไว้ในหัว และราก ได้แก่ มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็นต้น

2. วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาล (Saccharide materials) เช่น น้ำตาล น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง และกากน้ำตาล เป็นต้น การผลิตสุราจากวัตถุดิบประเภทนี้จะได้จากการหมักด้วยเชื้อยีสต์ซึ่งจะทำให้หน้าทีในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ และเนื่องจากวัตถุดิบประเภทนี้มีน้ำตาลอยู่แล้ว การทำสุราจึงมีการปรับปริมาณน้ำตาลให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม และสามารถหมักได้เร็ว เพราะยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ทันที (กล้าณรงค์ และคณะ, 2545)

3. วัตถุดิบที่เป็นเซลลูโลส (Cellulosic materials) เช่น ไม้ ของเสียจากอุตสาหกรรมป่าไม้ ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ยากต่อการย่อยสลายซึ่งจำเป็นต้องมีการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อน น้ำตาลที่ย่อยได้จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 65-88 ประกอบด้วยกลูโคส ฟรุคโตส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส จากนั้นยีสต์จะหมักต่อเป็นแอลกอฮอล์

4. วัตถุดิบจากผลพลอยได้จากระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น หางนม และของเสียจากผลไม้ (Fruit waste) เป็นต้น ซึ่งมีน้ำตาลอยู่ เมื่อนำไปหมักด้วยเชื้อยีสต์ก็จะได้อแอลกอฮอล์

2.2 สุรากลั่น

สุรากลั่นเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้จากระบวนการหมักวัตถุดิบต่างๆแล้วนำไปกลั่น ทำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงกว่าเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสุรากลั่นแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เช่น บรันดี (brandy) ได้มาจากการกลั่นไวน์ (wine) รัม (rum) ได้มาจากการหมักน้ำตาลอ้อยหรือกากน้ำตาลอ้อย (molasses) วอดก้า (vodka) และยีน (gin) ได้มาจากการหมักธัญพืชชนิดต่างๆ หรือแป้งมันฝรั่ง เป็นต้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุรากลั่นได้ให้ความหมายของสุราว่าหมายถึง เครื่องดื่มที่มีแรงแอลกอฮอล์เกินร้อยละ 0.5 (v/v) แต่ไม่เกินร้อยละ 80 (v/v) ส่วนสุรากลั่นหมายถึง สุราที่ได้จากการกลั่นน้ำต่ำเป็นสุรา หรือกลั่นน้ำต่ำเป็นแอลกอฮอล์ก่อนแล้วปรุงแต่งให้เป็นสุรา ทั้งนี้รวมถึงสุรากลั่นที่ผสมกับของอื่น หรือเครื่องดื่มชนิดอื่น และชื่อของสุรากลั่นนั้น ส่วนมากจะเรียกตามกรรมวิธีการผลิตนั้นๆ เช่น สุราผสม สุราปรุงพิเศษ สุราขาว วอดก้า ยีน วิสกี้ บรันดีและรัม เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

2.2.1 ประเภทและชนิดของสุรากลั่น

กรมสรรพสามิตได้กำหนดประเภทและชนิดของสุรากลั่นที่อนุญาตให้ทำขึ้นในราชอาณาจักร ตามความในมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติภาษีสสุรา พ.ศ.2493 ไว้ดังนี้

สุราขาว คือ สุราที่กลั่นจากข้าวหรือน้ำตาล โดยปราศจากเครื่องย้อมหรือสิ่งปรุงแต่งอย่างใด และเมื่อนำออกจากโรงงานเพื่อเสิร์ฟ ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ระดับต่างๆ ดังนี้คือร้อยละ 28, 30, 35 และ 40 (v/v)

สุราสามทับ (แอลกอฮอล์) คือสุรากลั่นที่ปราศจากเครื่องย้อมหรือสิ่งปรุงแต่ง และเมื่อนำออกจากโรงงานเพื่อเสิร์ฟ จะต้องมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ตั้งแต่ร้อยละ 80 (v/v) ขึ้นไป (เป็นแอลกอฮอล์ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆเช่น อุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และเคมีภัณฑ์ เป็นต้น)

สุราผสม คือ สุรากลั่นที่มีกรรมวิธีใช้สิ่งปรุงแต่งขึ้นจากสุราขาวหรือสุราสามทับ เมื่อผสมปรุงแต่งแล้ว และเมื่อนำออกจากโรงงานเพื่อเสิร์ฟ ต้องมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ระดับต่างๆดังนี้คือ ร้อยละ 28, 30 และ 35 (v/v)

สุราปรุงพิเศษ คือ สุรากลั่นที่ผสมปรุงแต่งขึ้นจากสุราขาวและสุราสามทับโดยมีกรรมวิธีพิเศษ เมื่อผสมปรุงแต่งแล้วจะต้องได้รับอนุมัติว่าเป็นสุราปรุงพิเศษจึงถือว่าเป็นสุราปรุงพิเศษและเมื่อนำออกจากโรงงานเพื่อเสิร์ฟ ต้องมีแรงแอลกอฮอล์ขนาดต่างๆ ดังนี้คือร้อยละ 35 และ 40 (v/v)

สุราพิเศษ คือ สุรากลั่นโดยตรงจากข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ผลองุ่น หรือพืชผลอื่นๆ หรือสุราที่ผสมปรุงแต่งขึ้นจากสุราที่กลั่นได้นั้น โดยกรรมวิธีพิเศษ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์สุรากลั่น ของสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดนิยามของสุรากลั่นต่างๆ ดังนี้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

สุราผสม สุราผสมพิเศษ สุราปรุงพิเศษ หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการนำสุราขาวและหรือแอลกอฮอล์บริสุทธิ์มาปรุงแต่งหรือแช่กับผลไม้ พืช สมุนไพร เพื่อให้ได้กลิ่นรสตามต้องการ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 40 (v/v)

สุราผลไม้ (Fruit spirit) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นไวน์ที่ทำจากองุ่นหรือผลไม้อื่น มีแรงแอลกอฮอล์ต่ำกว่าร้อยละ 95 (v/v) ไม่มีการบ่ม ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 50 (v/v)

วอดก้า (Vodka) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการนำสุรากลั่นที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นที่เกิดจากวัตถุดิบ โดยวิธีการกลั่นซ้ำหรือกรองด้วยถ่าน ทั้งนี้อาจมีการปรุงแต่งกลิ่นรส หรือไม่ก็ได้ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 38 (v/v)

ยีน (Gin) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำส่ำร่วมกับหรือผ่านผลจูนิเปอร์ (juniper) หรืออาจผสมสุรากลั่นกับสารสกัดของผลจูนิเปอร์ ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 45 (v/v)

วิสกี้ (Whisky) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำส่ำของธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลต์ ข้าวโพด ข้าวเหนียว มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 95 (v/v) และเก็บบ่มในถังไม้ที่เหมาะสมไม่น้อยกว่า 2 ปี ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 (v/v)

บรันดี (Brandy) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นไวน์ที่ทำจากองุ่นหรือผลไม้อื่น มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 95 (v/v) และเก็บบ่มในถังไม้ที่เหมาะสมเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ปี ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 38 (v/v)

รัม (Rum) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำส่ำจากน้ำอ้อย น้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลอ้อย แล้วนำมาบ่มที่แรงแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 80 (v/v) ในถังไม้ที่เหมาะสมไม่น้อยกว่า 1 ปีในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 (v/v)

ไลต์รัม (Light rum) หมายถึง หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการกลั่นน้ำสำจากน้ำอ้อย น้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลอ้อย ในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน ร้อยละ 40 (v/v)

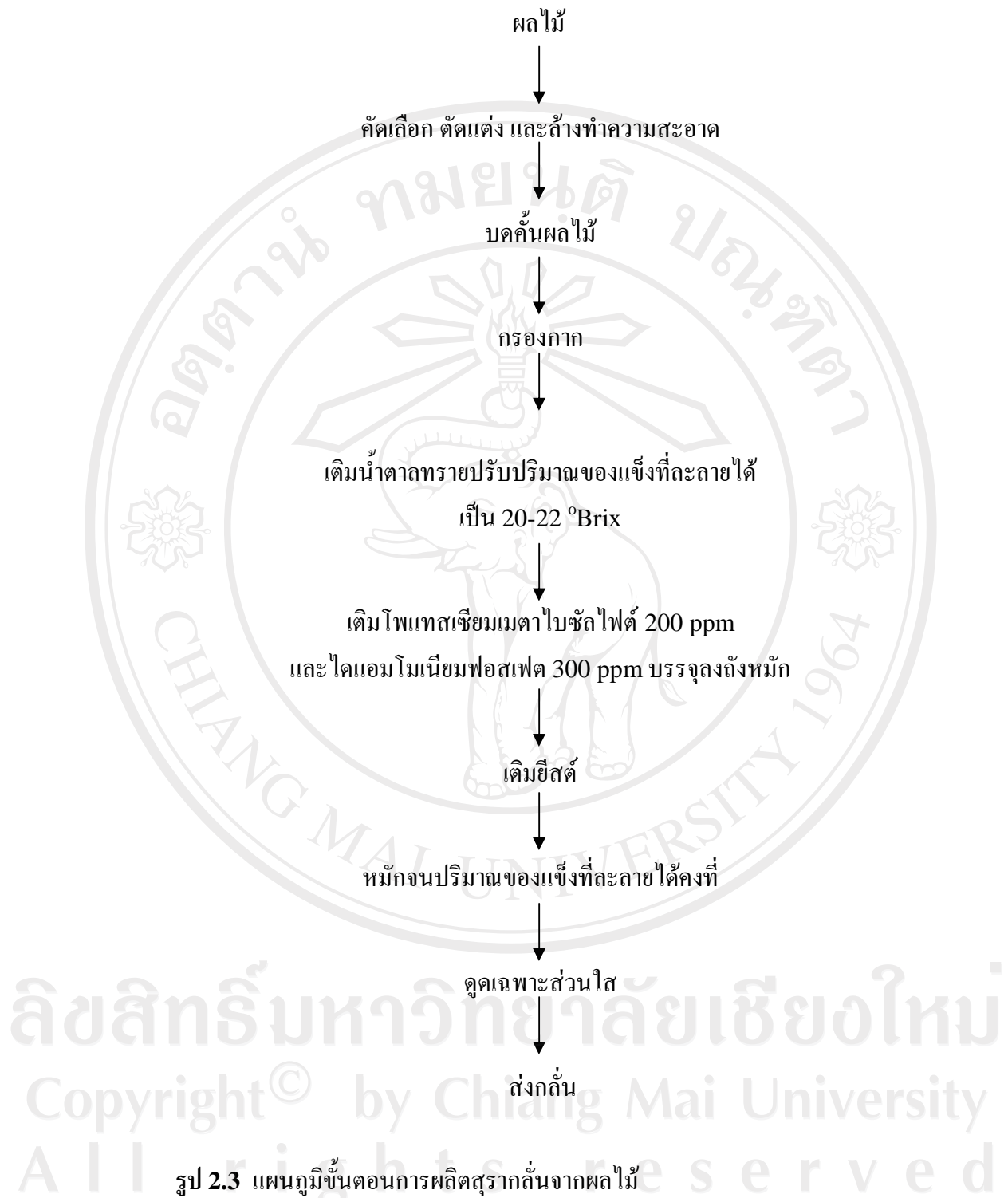
คอร์เดียล หรือลิเคียวร์ (Cordial or Liqueur) หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการผสมสุรากลั่น หรือกลั่นสุราร่วมกับ หรือผ่านผลไม้ ดอกไม้ หรือพืชผลไม้ หรือสารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติ แล้วปรุงแต่งรสด้วยน้ำตาล หรือน้ำเชื่อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

2.2.2 การผลิตสุรากลั่นจากผลไม้

การผลิตสุรากลั่นจากผลไม้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ การเตรียมน้ำหมัก การหมัก การกลั่นและการบ่ม (Tanner and Brunner, 1982) โดยเริ่มการบดเนื้อผลไม้ เติมสารอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์แล้วบรรจุลงถังหมัก ทำการเติมเชื้อยีสต์ลงไป ปล่อยให้ยีสต์หมัก โดยทำการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นระยะๆ ในช่วงที่ทำการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมัก นำน้ำสำที่ได้ไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูป 2.3

ผลไม้ที่เหมาะสมจะนำมาทำสุรา มีข้อพิจารณาในการคัดเลือกใกล้เคียงกับผลไม้ที่ใช้ในการทำไวน์ คือ มีรสชาติหวานและเปรี้ยว มีกลิ่นหอม ที่สำคัญคือ ไม่ควรนำเอาผลไม้ที่เนื้อมีสารประกอบพวกเพคตินอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น แอปเปิล หรือ ฝรั่ง มาทำการหมัก เพราะเสี่ยงต่อการเกิดเมทิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีความเป็นพิษต่อร่างกาย (คุณวุฒิ, 2547) วิธีการทำสุรากลั่นจากผลไม้ใช้แนวทางเดียวกับการทำไวน์ผลไม้คือ คั้นเอาแต่น้ำผลไม้มาหมัก (ไม่นิยมเอาเปลือกหรือเนื้อมาผสมระหว่างหมักด้วย เนื่องจากเสี่ยงต่อการเกิดเมทิลแอลกอฮอล์) แต่อาจเปลี่ยนจากการใช้ยีสต์ทำไวน์มาเป็นยีสต์สุรากลั่นชนิดที่หมักเร็วและให้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูง การทำสุรากลั่นผลไม้ควรที่จะเน้นไปที่กลิ่นของผลไม้ จึงไม่จำเป็นต้องหมักนานเพื่อเอากลิ่นที่ซับซ้อนแบบไวน์ ดังนั้นจึงอาจใช้เวลาในการหมัก 5-7 วันเป็นอย่างมาก ช่วงอุณหภูมิที่หมักก็ไม่จำเป็นต้องต่ำมากเกินไป ประมาณ 28-32 องศาเซลเซียส แต่อย่างสูงว่านี้เพราะกลิ่นหอมของผลไม้อาจจะระเหยหมดไปก่อน (คุณวุฒิ, 2547)

Hernandes-Gomes and Others (2003) รายงานว่า การผลิตสุรากลั่นจากผลแตง (Cucumis melo) ที่มีการเตรียมน้ำหมักจากผลแตงทั้งผลบด เมื่อนำไปกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่นแบบ copper pot still พบว่ามีปริมาณเมทิลแอลกอฮอล์สูงที่สุด 4,564 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาเป็นน้ำแตงสด และเนื้อแตงบด (1,539 และ 613 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีการย่อยสารประกอบจำพวกเพคตินในเปลือกแล้วปล่อยเมทิลแอลกอฮอล์ออกมา



รูป 2.3 แผนภูมิขั้นตอนการผลิตสุรากลั่นจากผลไม้

2.2.3 การกลั่นสุราและเครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นสุรา

การกลั่นแอลกอฮอล์ หมายถึง การแยกเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากน้ำสำ โดยอาศัยจุดเดือด (boiling point) และความดันไอ (vapor pressure) ของแอลกอฮอล์กับสารระเหยที่ต่างกัน

โดยแอลกอฮอล์ที่ได้ จะมีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใดจะขึ้นกับปัจจัยหลักๆคือ ชนิดของเครื่องกลั่นชนิดของหม้อกลั่น โดยการกลั่นจะสามารถแยกสารบางชนิดที่ไม่ต้องการออกได้ ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักเช่น เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ ฟลูเซลอยด์ และสารระเหยต่างๆ แต่อาจมีสารระเหยบางอย่างเช่น เอสเทอร์อาจหลงเหลืออยู่บ้าง ซึ่งจะมีกลิ่นเฉพาะในแต่ละชนิดของน้ำหมักซึ่งจะเป็นเอกลักษณ์ของสุราแต่ละชนิดที่ผลิต (โชคชัย, 2546)

ระบบการกลั่นสุราที่ได้รับความนิยมในระดับอุตสาหกรรมแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ การกลั่นแบบหม้อต้ม (pot still distillation) และการกลั่นลำดับส่วน (fractionation distillation) จุดประสงค์ในการกลั่นคือต้องการแยกแอลกอฮอล์และสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ออกมาให้ได้ความเข้มข้นมากที่สุด (Hardy and Brown, 1989)

เครื่องกลั่นสุราสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้ (โชคชัย, 2546)

1. เครื่องกลั่นสุราแบบดั้งเดิม คือ เครื่องกลั่นสุราที่ใช้กันมาแต่โบราณส่วนประกอบของเครื่องกลั่นจะเป็นหม้อที่ทำจากดินใช้ใส่น้ำหมักระหว่างต้ม เหนือหม้อต้มขึ้นไปจะเป็นไหที่รองกันด้วยผ้าชุบน้ำ ซึ่งตัวไหจะออกแบบเป็นพิเศษ โดยการเจาะตรงกลางใส่ท่อสำหรับให้น้ำสุราไหลออกมา ปลายท่อด้านในจะทำเป็นลักษณะคล้ายช้อนขนาดใหญ่ เพื่อให้น้ำสุราที่ควบแน่นจากกันกระตะไหลดกที่ช้อนนี้ซึ่งจะไหลออกมาตามท่อสู่ภาชนะที่ใส่บรรจุสุรา ส่วนข้างบนไหจะมีกระตะวางทับ ซึ่งภายในกระตะจะเติมน้ำเปล่าไว้ซึ่งน้ำนี้ต้องเป็นน้ำเย็น

วิธีการกลั่น และการทำงานของเครื่องกลั่น เริ่มจากการใส่น้ำหมักลงในหม้อต้ม ใช้ผ้าชุบน้ำพันรอบปากหม้อแล้ววางไหลดกบนผ้า จัดปลายช้อนสำหรับรองน้ำสุราให้อยู่ตรงกลางไห วางกระตะลงบนปากไห เติมน้ำเย็นลงบนกระตะทำการต้ม เมื่อความร้อนถึงระดับหนึ่งจะมีไอระเหยเกิดขึ้น เมื่อไอน้ำนี้ลอยขึ้นไปกระทบกันกระตะที่มีความเย็น จึงเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำที่ก้นกระตะและตกลงบนช้อน แล้วไหลออกมาตามท่อสู่ภาชนะรองรับน้ำสุราที่อยู่ภายนอก

2. เครื่องกลั่นสมัยใหม่ ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นจากเครื่องกลั่นแบบโบราณ โดยเครื่องกลั่นชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องกลั่นแบบธรรมดา (pot still) เครื่องกลั่นแบบไหลย้อนกลับ (reflux still) และเครื่องกลั่นแบบแยกลำดับส่วน (fractionating column)

2.1 เครื่องกลั่นแบบธรรมดา เป็นหม้อกลั่นที่ไอระเหยๆ ขึ้นมากระทบกับความเย็นโดยตรง การแยกไอแอลกอฮอล์กับไอน้ำออกจากกันได้ไม่มากนัก ซึ่งการควบแน่นมักใช้ท่อยาวๆมาขดในน้ำโดยทั่วไปจะได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 40-60 (v/v) ความสามารถในการแยกสารระเหยต่างๆจะไม่ดีเท่ากับอีก 2 ชนิด

การกลั่นสุรา ใช้หลักการแยกสารที่ผสมกันอยู่ โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด ทำการต้มน้ำสำจนถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ คือ 75 องศาเซลเซียส แอลกอฮอล์จะระเหยออกมา ไป

กระทบกับความเย็นจากชุดควบแน่นก็จะควบแน่นกลายเป็นหยดของเหลวได้ แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากจะได้เอทิลแอลกอฮอล์ที่กินได้แล้ว ในการกลั่นสุราจะมีเมทิลแอลกอฮอล์เป็นแอลกอฮอล์ที่เป็นพิษระเหยออกมาด้วย ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย (ตาราง 2.2) แต่จะมีจุดเดือดต่ำกว่าเอทิลแอลกอฮอล์ จึงระเหยออกมาก่อน ซึ่งสามารถแยกส่วนนี้ออกไปได้ เรียกว่าส่วนหัว ซึ่งในขณะที่ทำการกลั่นจะต้องมีการสังเกตอุณหภูมิให้ดี คือที่อุณหภูมิ 60-77 องศาเซลเซียส ให้เก็บส่วนหัวแยกออก เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 78-90 องศาเซลเซียส ให้เก็บส่วนนี้ไว้ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ เมื่อทำการกลั่น ไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูงเกิน 90 องศาเซลเซียส แอลกอฮอล์ส่วนนี้เรียกว่าส่วนหาง มีสารพิษที่เมื่อดื่มแล้วจะทำให้มีอาการปวดหัว ตาและ และยังทำให้สุราที่ได้มีกลิ่นฉุน โดยสารพวกนี้จะเป็นฟลูเชลอลอยด์ และเฟอร์ฟูรัล ดังนั้นไม่ควรกลั่นเกิน 90 องศาเซลเซียส (ห้างหุ้นส่วนจำกัด โคราซ ทรีท เคมิคอล, 2548) และต้องมีการควบคุมให้เฉพาะเอทิลแอลกอฮอล์ออกมาโดยมีการปนเปื้อนจากสารประกอบหัวและหางให้น้อยที่สุด ไม่ควรเร่งอุณหภูมิให้น้ำออกมามาก เพราะอุณหภูมิที่สูงเกินไป นอกจากจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารเฟอร์ฟูรัลที่มีกลิ่นไหม้แล้ว ยังเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้ได้สุราที่เจือน้ำ (ยุพกนิษฐ์, 2548)

2.2 เครื่องกลั่นแบบไหลย้อนกลับ ไอระเหยจากหม้อต้มจะระเหยไปที่ตัวควบแน่นซึ่งของเหลวที่ได้จากการควบแน่นส่วนหนึ่งจะไหลย้อนมาที่หม้อต้มเพื่อกลั่นซ้ำ อีกส่วนหนึ่งจะไหลออกมาสู่ถังเก็บสุราข้างนอก ความเข้มข้นของสุราที่ได้อยู่ที่ประมาณร้อยละ 75-85 (v/v) โดยขึ้นอยู่กับความยาวท่อ ระบบเครื่องกลั่นนี้สามารถกำจัดกลิ่นของสารปนเปื้อนในสุราได้ดีกว่าแบบแรก นิยมใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตวอดก้า

2.3 เครื่องกลั่นแบบแยกลำดับส่วน เป็นเครื่องกลั่นที่ให้ความบริสุทธิ์มากที่สุด โดยท่อจะบรรจุด้วยวัสดุดูดซับ เพื่อให้ไอระเหยไหลวนไปมา ประมาณ 9 ส่วน ใน 10 ส่วนจะไหลย้อนกลับลงมาที่หม้อต้ม ความเข้มข้นของสุราที่ได้อาจจะมีความบริสุทธิ์สูงมากถึงร้อยละ 95 (v/v) นิยมใช้ในการกลั่นเพื่อผลิตวิสกี้ และเหล้ารัมชนิดต่างๆ

การกลั่นลำดับส่วนเป็นระบบการกลั่นที่อาศัยคุณสมบัติของของเหลวที่ว่า ของเหลวแต่ละชนิดต่างมีจุดระเหยกลายเป็นไอที่แตกต่างกัน แต่เมื่อเข้ามาอยู่รวมกันเป็นของเหลวผสมจะมีค่าจุดระเหยกลายเป็นไอค่าอีกค่าหนึ่ง การกลั่นแบบลำดับส่วนเหมือนกับเป็นการกลั่นแบบ pot still จำนวนนับครั้งไม่ถ้วน โดยการสร้างบริเวณสัมผัสขึ้นมาจากในคอลัมน์ (rectifier) เพื่อให้เกิดการระเหยและควบแน่นภายในแต่ละส่วนของคอลัมน์ ดังนั้นถ้าทำการควบแน่นแล้วทำการกลั่นต่อไปเรื่อยๆ ในที่สุดจะได้เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นประมาณร้อยละ 96 (v/v) จากหลักการดังกล่าวจึงได้มีการแบ่งคอลัมน์ที่ใช้ในการกลั่นออกเป็นสองส่วนย่อย โดยใช้ rectifier กันในแต่ละส่วนออกจากกัน โดย rectifier นี้จะยอมให้เฉพาะส่วนที่เป็นไอน้ำผ่านไปได้เท่านั้น ดังนั้นในแต่ละส่วนของคอลัมน์

จะมีการระเหยและควบแน่นสลับกันไป จนกระทั่งในปลายด้านบนไอที่ระเหยออกมาคือส่วนของผสมที่มีเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 96 (v/v) ณ จุดดังกล่าวสัดส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์ในสมดุลไอและในสมดุลของเหลวมีค่าเท่ากัน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 78.15 องศาเซลเซียส

ตาราง 2.2 สารเคมีปนเปื้อน จุดเดือดและความเป็นพิษในสุรากลั่น

ชื่อสาร	จุดเดือด (°C)	ความเป็นพิษ
Acetone	56.5	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และประสาทตา ดับ ใจ
Methyl alcohol	64.5	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และประสาทตา ดับ ใจ
Ethyl acetate	77.2	ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ดับ ใจ
Ethyl alcohol	78	แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นน้ำสุรา
<i>n</i> -propyl alcohol (1-propanol)	97	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร
Water (น้ำ)	100	
Butanol	116	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใจ
Butyl acetate	126	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใจ เชื้อบูตา ระบบทางเดินอาหาร
Fusel oil (isoamyl alcohol)	130	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใจ
Fusel oil (<i>n</i> -amyl alcohol)	134-138	ผิวหนัง ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหายใจ ใจ
Furfural	161	ระบบทางเดินอาหาร มะเร็งตับ
Ethyl carbonate (Urethane)	182-184	ตา ระบบทางเดินอาหาร มะเร็งตับ

ที่มา : โศกชัย (2546)

2.3 เอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร แบ่งได้เป็น 2 ประเภท โดยแบ่งตามต้นกำเนิด เอนไซม์ คือ เอนไซม์ในอาหาร (endogenous enzymes) และเอนไซม์นอกอาหาร (exogenous enzymes) เอนไซม์ในอาหาร หมายถึง เอนไซม์ที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเยื่อพืช และสัตว์โดยธรรมชาติ และมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นได้ทั้งในลักษณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นที่ต้องการและไม่ต้องการ เช่น เกิดกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส ตัวอย่างเช่น กลิ่นเทอร์พีน, เอมีน, กลิ่นหืน เป็นต้น ส่วนเอนไซม์นอกอาหาร หมายถึง เอนไซม์ที่เติมลงไปในการแปรรูปอาหารเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ โดยทั่วไปของการนำเอนไซม์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะเป็นแบบเอ็กโซจีนัสทั้งสิ้น เช่น เอนไซม์เซลลูเลส ช่วยทำให้น้ำผลไม้ใส เอนไซม์เพคตินเนส ช่วยทำให้ไวน์ใส ลดความหนืดของน้ำผลไม้ เป็นต้น (ปราณี, 2547)

การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม มีวัตถุประสงค์แตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องดื่ม ซึ่งพอจะสรุปได้ดังตาราง 2.3 สำหรับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นั้น จะอาศัยบทบาทของจุลินทรีย์ในระหว่างการเจริญแล้วสร้างแอลกอฮอล์จากสารนั้นๆ ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล เป็นต้น น้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์จะมีสารอาหารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กๆและละลายได้ในปริมาณที่เพียงพอที่จะให้จุลินทรีย์ใช้เป็นวัตถุดิบในการเจริญและสร้างแอลกอฮอล์ เช่น แป้งจะถูกย่อยด้วยอะไมเลส จนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือคู่ นอกจากนี้ถ้าเป็นเซลลูโลสก็จะถูกย่อยด้วยเซลลูเลส จนได้เป็นสารประกอบโมเลกุลคู่ คือ เซลโลไบโอส รวมถึงสารประกอบโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส ได้เช่นกัน (ปราณี, 2547)

2.3.1 การใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัดน้ำผลไม้และสารให้กลิ่นรสจากผลไม้

ผลไม้ คือส่วนที่พัฒนาจากรังไข่ซึ่งมีทั้งส่วนเดี่ยวหรือหลายส่วน เกิดเป็นผลเดี่ยวหรือผลรวม ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อและของเหลวที่เป็นรวมของสารให้กลิ่นและรสชาติเฉพาะของผลไม้ นั้นๆ ผลไม้เนื้อนุ่มหรือผลไม้ในระยะเนื้อนุ่ม จะมีปริมาณน้ำไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ส่วนที่เหลือพบว่าเป็นสารประกอบที่รวมเป็นเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบต่างๆ เช่น แป้ง น้ำตาล โยอาหาร ซึ่งส่วนของโยอาหารนี้ได้แก่ เพคติน และเซลลูโลส เป็นหลัก ปริมาณเพคตินที่พบในผลไม้มีประมาณร้อยละ 7-20 โดยน้ำหนัก ดังนั้นบทบาทของเอนไซม์เพคตินเนสจึงมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำผลไม้ และกลิ่นรสที่ละลายในน้ำผลไม้

ตาราง 2.3 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำผลไม้

เอนไซม์	ประเภทเครื่องดื่ม	วัตถุประสงค์หรือลักษณะ ปฏิกิริยาการใช้เอนไซม์
อะไมเลส	เครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์	เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล สำหรับหมัก
เซลลูเลส	เครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์	เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสเป็น น้ำตาลโมเลกุลเล็กสำหรับหมัก แอลกอฮอล์
เพคตินเนส	ไวน์ผลไม้ น้ำผลไม้	ช่วยย่อยสลายเพคตินในวัตถุดิบ ทำให้ไวน์ใส กรองง่าย ช่วยสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อเยื่อให้ ผลผลิตสูง โดยเฉพาะกลุ่มที่มี เพคตินสูง

ที่มา : ปราณี (2547)

จากบทบาทของเอนไซม์เพคตินเนส และเซลลูเลสจะทำให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารหลายอย่าง ถ้าเลือกชนิด และลักษณะปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับผลไม้ เช่น ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำผลไม้ที่สกัดได้ ซึ่งโดยทั่วไปการสกัดน้ำผลไม้จะใช้วิธีการบีบอัดทางกายภาพ ทำให้เนื้อเยื่อในผนังเซลล์ฉีกขาดและทำให้แตกลง (Nilay, 2001) ผลผลิตจะขึ้นกับปริมาณแรงอัดและลักษณะเนื้อผลไม้ ความแก่อ่อน ถ้าเนื้อสัมผัสแข็ง ผลไม้อ่อน สดมาก จะสกัดด้วยแรงกลได้ง่าย เช่น ส้ม การใช้เอนไซม์ย่อยเนื้อเยื่อจะช่วยให้ได้น้ำมากขึ้น

เอนไซม์นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมาย ซึ่งประมาณร้อยละ 70 ของการใช้เอนไซม์ในกลุ่มของไฮโดรเลส (hydrolase) และคาร์โบไฮโดรเลส (carbohydrolase) ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพเริ่มใช้เอนไซม์เซลลูเลสมาตั้งแต่ปี 1980 โดยเริ่มจากอาหารสัตว์ก่อน หลังจากนั้นได้นำมาใช้ในด้านอาหาร (Chesson, 1987) ส่วนเอนไซม์เพคตินเนสมีการรายงานว่าเริ่มใช้ใน ปี 1930 จากนั้นก็ได้มีการใช้เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเครื่องดื่ม การผลิตไวน์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Whitaker, 1990)

ความสำคัญและการประยุกต์ใช้เอนไซม์เซลลูเลส และเพคตินเอส ในการสกัดน้ำผลไม้ และการผลิตไวน์ มีดังต่อไปนี้

1. ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำผลไม้

ในอดีตกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ โดยเฉพาะการสกัดน้ำจะมีปัญหาในเรื่องการสกัดน้ำได้ปริมาณน้อย (Bhat, 2000) จึงต้องมีการพัฒนาวิธีในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำขึ้นมา และในปี 1930 จึงเริ่มนำเอนไซม์เซลลูเลสและเพคตินเอสเข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาปริมาณผลผลิตต่ำ และการอุดตันของแผ่นกรอง ซึ่งพบว่าเมื่อมีการใช้เอนไซม์แล้วสามารถแก้ปัญหานี้ได้ (Uhlig, 1998)

เอนไซม์เซลลูเลส และเพคตินเอส เรียกว่าเป็น macerating enzyme ซึ่งใช้ในกระบวนการสกัดน้ำ (Galante and Others, 1998) ในกระบวนการผลิตหลังจากการบีบคั้นน้ำแล้ว อาจยังมีน้ำหลงเหลืออยู่ โดยแทรกตัวอยู่กับกากที่คั้นแล้ว การใช้ macerating enzyme เติมลงไปหลังจาก crushing เอนไซม์จะทำปฏิกิริยาทำให้เนื้อผลไม้มีขนาดเล็กลง (Alkorta and Others, 1998) และทำให้มีของเหลวเกิดขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่จะเพิ่มผลผลิตได้เพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถลดระยะเวลาในการบีบคั้นน้ำอีกด้วย (Pilnik and Vorragen, 1993)

2. ใช้ในกระบวนการผลิตไวน์

ในกระบวนการผลิตไวน์จะมีตัวแปรอยู่ 2 ชนิดคือ สายพันธุ์ยีสต์และเอนไซม์ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงให้กระบวนการผลิตดีขึ้น มีความพยายามที่จะพัฒนาสายพันธุ์ยีสต์ให้มีความเหมาะสมในการหมักเพื่อให้การหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นก็ได้มีการนำเอนไซม์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตด้วย โดยเฉพาะเอนไซม์เซลลูเลส และเพคตินเอส ซึ่งมีประโยชน์หลักๆคือ ช่วยสกัดสีออกจากวัตถุดิบซึ่งทำให้ไวน์มีสีที่ดีขึ้น ช่วยลดการอุดตันของแผ่นกรอง และทำให้ไวน์ที่ได้มีความคงตัว (Galante and Others, 1998)

เอนไซม์เพคตินเอสตัวแรกที่ผลิตในการจำหน่ายทางการค้าสำหรับใช้ในการผลิตไวน์ ได้ผลิตมาจากเชื้อ *Aspergillus* ซึ่งหลักๆจะประกอบด้วยเอนไซม์เพคติน เอสเทอร์เลส (pectin esterase) พอลิกลาคทูโรเนส (Polygalacturonase) เพคเตต ไลเอส (Pectate lyase) และ เซลลูเลส (Cellulase) เมื่อนำไปเติมลงในวัตถุดิบจะช่วยในการบีบคั้นน้ำ ช่วยในการสกัดน้ำ และยังช่วยลดเวลาในการ Clarified อีกด้วย (Galante and Others, 1998)

Galante and Others (1998) รายงานว่า การใช้เอนไซม์ Cytolase 217 (ซึ่งเป็นเอนไซม์ทางการค้าที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และเพคตินเอส) ในการย่อยของุ่นขาวสายพันธุ์ Soave, Chardonnay และ Sauvignon พบว่าสามารถสกัดน้ำหมักได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 10-35 ช่วยเพิ่มอัตรา

การกรองได้ร้อยละ 70-180 ลดความข้นหนืดของน้ำหมักได้ร้อยละ 30-70 และยังช่วยประหยัดพลังงานในระหว่างการหมักได้ถึงร้อยละ 40

Al-Hooti and Others (2002) รายงานว่า การสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากผลอินทผลัมโดยเอนไซม์ผสมระหว่างเซลลูเลสกับเพคตินเอสที่ระดับร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 ต่อน้ำหนักเนื้อ พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการสกัดคือร้อยละ 1.0 ต่อน้ำหนักเนื้อ ซึ่งให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นสูงสุดคือร้อยละ 68 รองลงมาเป็นร้อยละ 2.0, 0.5 และ 0 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 67.97, 66.58 และ 35) ตามลำดับ

Pifferi and Others (1989) รายงานว่า สารประกอบเพคตินในผลไม้มีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5-4 โดยน้ำหนัก ซึ่งเพคตินที่พบส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ดี ซึ่งทำให้มีความข้นหนืดสูง การใช้การ crushing กับผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินสูงๆ จะทำให้น้ำที่สกัดได้มีความหนืดสูงไปด้วยซึ่งยากต่อการแยกน้ำออกมาด้วยการบีบคั้น หรือด้วยวิธีอื่นๆ ดังนั้นการใช้เอนไซม์เพคตินเอสจะช่วยลดความหนืดของน้ำผลไม้ลง จึงเป็นผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น

Kashyap and Others (2001) รายงานว่า การใช้เอนไซม์เพคตินเอสสำหรับการสกัดน้ำส้มที่ระดับความเข้มข้น 0.5 – 2.0 กรัมต่อเนื้อส้ม 100 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิห้องจะสามารถสกัดน้ำตาลและปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น

2.3.2 สารประกอบเพคติน

ลักษณะของเพคตินเอส คือ สารประกอบประเภทเพคติน และอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ของ α - 1, 4 - D - galacturonopyranose units มีหลายประเภท ดังนี้

1. สารประเภทเพคติน (Pectin substances) เป็นคอลลอยด์ของคาร์โบไฮเดรตในพืช ประกอบด้วย anhydrogalacturonic acid units และอนุพันธ์
2. โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็นสารเพคตินต้นต่อที่ไม่ละลายน้ำของพืช
3. เพคติน (Pectin) เป็นทอมทั่วไปสำหรับเรียกสารประเภทเพคติน ที่มีหมู่คาร์บอกซิลประมาณร้อยละ 75 ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 5.1 เพคตินเป็นสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลระหว่างน้ำตาลและกรดได้ดี นำไปใช้ในการทำแยมและเยลลี่
4. กรดเพคติก (Pectic acid) เป็นพอลิเมอร์ของ anhydrogalacturonic acid units มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ
5. กรดเพคตินิก (Pectinic acid) เป็นสารที่รวมหมายถึงเพคตินซึ่งมีหมู่เมทิลเอสเทอร์เล็กน้อย

แหล่งพบสารประเภทเพคติน โดยทั่วไปพบในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง และชั้นระหว่างเซลล์ของพืช ซึ่งช่วยเพิ่มลักษณะการคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้

2.3.2 เอนไซม์เพคตินเอส

แหล่งพบเพคตินเอส

พบทั่วไปในพืชชั้นสูง เช่นเดียวกับที่พบสารเพคติน แต่อยู่คนละชั้นของเซลล์ แต่เมื่อเซลล์พืชอีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพคตินจะเคลื่อนเข้าใกล้กัน ทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะการคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้เสียไป ผัก-ผลไม้จะนิ่มลง ปัจจุบันได้มีการผลิตเพคตินเอสเพื่อการค้าจากการสกัดจากเชื้อจุลินทรีย์

2.3.2.1. เพคตินเอสเทอร์เลส

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบว่า Pectin pectylhydrolase, EC 3.1.1.11 ตามลักษณะเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่เมทิลจากสารประเภทเพคตินที่มีการเติมหมู่เมทิลที่หมู่คาร์บอกซิล ทั้งนี้ไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิด และยังคงจัดอยู่ในกลุ่มการย่อยของไฮโดรเลสที่ย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ เหมือนเช่นลิปีด ดังนั้นชื่อสามัญจึงเป็นไปได้หลายชื่อ ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กับลักษณะปฏิกิริยาทั้งสิ้น คือ เพคโตไลเปส (pectolypase) เพคติน เมทิลเอสเทอร์เลส (pectin methylesterase) เพคติน ดีเมทอกซิเลส (pectin demethoxylase) เพคติน เมทอกซิเลส (pectin methoxylase) และเพคเตส (pectase)

ปฏิกิริยาของเพคตินเอสเทอร์เลสมีลักษณะสำคัญที่น่าสังเกตได้ดังนี้

1. มีความจำเพาะต่อพันธะเอสเทอร์ ที่อยู่สลับที่กับหมู่คาร์บอกซิลของ anhydrogalacturonic unit
2. มีความจำเพาะต่อส่วนของเอสเทอร์ที่มาจากแอลกอฮอล์ (alcohol moiety) ที่เป็นเมทิลแอลกอฮอล์ ยกเว้น เอทิลแอลกอฮอล์ จะให้ความเร็วปฏิกิริยาลดลงเหลือร้อยละ 3-13 สำหรับไกลคอด กลีเซอรอล เอนไซม์ไม่สามารถไฮโดรไลซ์เอสเทอร์ที่มาจากกลุ่มสารเหล่านี้ได้
3. ผลผลิตจากปฏิกิริยาได้ กรดเพคติก กรดเพคตินิก และเมทิลแอลกอฮอล์ ดังนั้นการติดตามแอกติวิตีของเอนไซม์จึงใช้วิธีวัดปริมาณสารดังกล่าวนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมทิลแอลกอฮอล์

2.3.2.2. พอลิกาแลคทูโรเนส

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบว่า poly - α - 1,4 galacturonide glyconohydrolase, EC 3.2.1.15 ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดในสารประกอบประเภทเพคติน และมีชื่อสามัญว่า พอลิกาแลคทูโรเนส (polygalacturonases) แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย ตามชนิดสับสเตรต คือ พอลิเมทิล กาแลคทูโรเนส (polymethyl galacturonase) และแบ่งการย่อยไปตามลักษณะการย่อยสลาย คือ แบบสุ่ม และแบบเป็นระเบียบ จึงแบ่งกลุ่มย่อยเป็นดังนี้

การแบ่งกลุ่มย่อยของพอลิกลาเลคทูโรเนส

1. กลุ่มย่อยสลายแบบกลุ่ม

1.1 จำเพาะต่อสับสเตรทที่มีเมทิลเอสเทอร์ (Endo-polymethylgalacturonases) จะไฮโดรไลซ์สับสเตรทที่เป็นเพคติน ได้ดีกว่ากรดเพคติก และมีลักษณะการย่อยแบบไม่เป็นระเบียบ (endo splitting) ในสายพอลิเมอร์

1.2 จำเพาะต่อสับสเตรทที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ (Endo-polymethylgalacturonases) จะไฮโดรไลซ์สับสเตรทที่เป็นกรดเพคติก ได้ดีกว่าเพคติน และมีลักษณะการย่อยแบบ 1.1

2. กลุ่มย่อยสลายแบบเป็นระเบียบ

2.1 จำเพาะต่อสับสเตรทที่มีเมทิลเอสเทอร์ (Exo-polymethylgalacturonases) จะไฮโดรไลซ์สับสเตรทที่เป็นเพคติน ได้ดีกว่ากรดเพคติก และมีลักษณะการย่อยแบบเป็นระเบียบ จากปลายสายพอลิเมอร์ (Exo splitting)

2.2 จำเพาะต่อสับสเตรทที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ (Endo-polymethylgalacturonases) จะไฮโดรไลซ์สับสเตรทที่เป็นกรด เพคติก ได้ดีกว่าเพคติน และมีลักษณะการย่อยแบบ 2.1

2.3.2.3. เพคเตดไลเอส

เพคเตด ไลเอส และมีชื่อตามระบบว่า poly - α - 1,4 - D - galacturonide lyase (EC 4.2.2.2) ไม่ควรเรียกชื่อว่า ทรานซ์-อีลิมีเนส (trans-eliminase) แม้ว่าปฏิกิริยาจะอยู่ในลักษณะการย้ายข้ามของ H^+ จาก C(4) และ C(5) ของส่วนอะไกลโคนของสับสเตรท แล้วได้เพคตินที่มีพันธะคู่ที่ปลาย มีลักษณะปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดในเพคติน หรือกรดเพคติก แล้วได้สารพอลิเมอร์สายสั้นที่ปลายหนึ่งมีปลายรีดิวซ์ และอีกสายพอลิเมอร์มีพันธะคู่

การแบ่งกลุ่มย่อยของเพคเตดไลเอส

1. การย่อยสลายแบบสุ่ม

1.1 จำเพาะต่อสับสเตรทที่มีเมทิลเอสเทอร์ โดยสับสเตรทเป็น เพคติน

1.2 จำเพาะต่อสับสเตรทที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ โดยสับสเตรทเป็น กรดเพคติก

2. กลุ่มย่อยสลายแบบมีระเบียบ

2.1 จำเพาะต่อสับสเตรทที่มีเมทิลเอสเทอร์ โดยสับสเตรทเป็น เพคติน

2.2 จำเพาะต่อสับสเตรทที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ โดยสับสเตรทเป็น กรดเพคติก

ตาราง 2.4 บทบาทของเพคตินต่อการย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้

เอนไซม์	ปฏิกิริยาที่เกิด	ผลิตภัณฑ์ที่ได้
เพคตินเอสเทอร์เรส (PE) ร่วมกับเกลือแคลเซียม	เกิดปฏิกิริยา deesterification ที่ผนัง เซลล์พืช	ทำให้ผลไม้มีความแน่นเนื้อ ลดลง
PG, PL, PAL	สลายเพคตินที่ผนังเซลล์บางส่วน	ทำให้เนื้อผลไม้อ่อนตัว (softening)
PG หรือ PL	สลายเพคตินที่ middle lamella บางส่วน ทำให้เนื้อเยื่อที่รวมอยู่แยก ออกจากกัน	ทำให้เนื้อผลไม้ยุ่ยและ (maceration)
PG + PE และ/หรือ PL ร่วมกับเอมิเชลลูโลส เช่นอะ ราบินอส	ย่อยสลายเพคติน อะราบินแนน ในส่วน ที่เกี่ยวข้องที่ผนังเซลล์	ทำให้เนื้อเยื่อเซลล์ผลไม้ ทั้งหมดถูกทำลาย เกิดการ ปล่อยของเหลวละลาย
เซลลูเลส + PE + PG และ/ หรือ PL	เกิดการย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์ ทั้งหมดของผนังเซลล์พืช	ทำให้เป็นของเหลว ไหลริน ได้ดี สารให้กลิ่นรสละลาย มี กลิ่นเฉพาะผลิตภัณฑ์

ที่มา : ปราณี (2547)

2.4 ส้มเขียวหวานและส้มสายน้ำผึ้ง

2.4.1 ความเป็นมาของส้มเขียวหวาน

ส้ม (Citrus spp.) ที่มีปลูกในภูมิภาคต่างๆของโลก มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในประเทศจีนและญี่ปุ่น ซึ่งมีการแพร่กระจายไปยังสหรัฐอเมริกา ยุโรป และออสเตรเลีย จนเป็นพืชที่สามารถปลูกกันได้ทั่วไปทั้งในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (เปรมปรี, 2544) สายพันธุ์ส้มที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา และยุโรป เป็นส้มสายพันธุ์เดียวกันที่ผลิตในประเทศบราซิลซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตส้มมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก ส้มที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา และยุโรป เป็นส้มที่มี

รสชาติค่อนข้างเปรี้ยวกว่าส้มที่ปลูกในแถบเอเชีย ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในการบริโภคของคนในภูมิภาคนั้นๆ

สำหรับความเป็นมาของส้มเขียวหวานในประเทศไทยเริ่มมีมานานกว่า 100 ปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) น่าจะเป็นกิ่งพันธุ์ที่ชาวจีนที่อพยพนำเข้ามาด้วย และเริ่มมีการปลูกเพื่อการค้าเมื่อ 70 ปีที่ผ่านมา มีการปลูกกันมากที่ตำบลบางมด (เปรมปรี, 2544) ซึ่งเป็นที่มาของ ส้มบางมด แต่ประสบกับปัญหาจากการขยายตัวของเมือง และสภาพน้ำเค็มในภาคกลางจึงทำให้พื้นที่เพาะปลูกลดลง จึงได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ของส้ม เพื่อสามารถนำไปขยายพันธุ์ได้ในทุกภูมิภาค และมีการเปลี่ยนชื่อเรียกตามแหล่งที่ปลูก เช่น นำมาปลูกที่เชียงใหม่จะเรียกว่า ส้มสายน้ำผึ้ง ในขณะที่เดียวกันเมื่อนำไปปลูกที่จังหวัดยะลา จะถูกเรียกว่า ส้มโชกุน ซึ่งเป็นส้มที่มีชื่อเสียงของจังหวัดยะลา จึงได้ชื่อว่า เพชรยะลา (เปรมปรี, 2544)

ส้มเขียวหวานจัดเป็นผลไม้ที่ทุกคนรู้จักและนิยมบริโภคเนื่องจากมีรสชาติอร่อย ราคาไม่แพง และมีวางจำหน่ายอยู่ทั่วไป ทั้งยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคทั้งในรูปผลสดหรือในรูปสินค้าแปรรูป เช่นน้ำส้มคั้น ซึ่งนอกจากจะให้คุณค่าทางอาหารสูงแล้วยังเป็นที่รวมของเส้นใยและกากนั้นก็สามารถเป็นยาระบายอ่อนๆ ได้เป็นอย่างดี

ผลส้มจัดเป็น berry type ชนิดพิเศษที่เรียกว่า hesperidium ซึ่งเจริญมาจากรังไข่ของดอกส้ม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. เปลือก (peel) ประกอบด้วย เซลล์ผิว (epidermis) มีชั้น cuticle หุ้มอยู่ด้านบน ชั้นนอกสุด (exocarp) จะมีการสะสมมากขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของผล ความหนาของชั้น cuticle ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม flavedo เป็นเซลล์ที่อยู่ใต้ชั้นเซลล์ผิวมีสีเขียว สีเหลืองหรือสีส้ม เนื่องจากมี chloroplast ที่สามารถเปลี่ยนเป็น chromoplast ได้ ถ้าเก็บเกี่ยวผลล่าช้าในชั้นของ flavedo นี้มีส่วนของต่อมน้ำมัน (oil gland) อยู่ เซลล์ที่อยู่ใกล้กับต่อมน้ำมันเป็นแหล่งสำคัญในการสะสมน้ำมัน เมื่อผลแก่ผนังเซลล์ที่อยู่ใกล้ต่อมน้ำมันจะบาง และถูกทำลายได้ง่ายในชั้น flavedo นี้ไม่มีกลุ่มท่อลำเลียง ชั้น albedo เป็นเซลล์พวก spongy parenchyma เกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ คล้ายร่างแห ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นจำนวนมาก เซลล์ของชั้น albedo มีสีขาวไม่มี chloroplast หรือ chromoplast

2. กลีบ (segment หรือ section) เป็นส่วนของชั้นกลาง (mesocarp) ไม่มีสีเขียวประกอบด้วย segment wall ที่เป็นผนังบางๆ แบ่งระหว่าง locule มีเยื่อ 2 ชั้นของ 2 locule มาประกบกัน จึงสามารถแยกออกจากกันเป็นกลีบได้ถูก (juice sac) เป็นส่วนที่เจริญมาจากผนังของ segment wall เข้าไปภายใน locule และเป็นส่วนของผลที่นำมารับประทาน ภายในตัวกิ่งประกอบด้วยน้ำตาลและกรด ซึ่งส่วนมากเป็นกรดซิตริก เมล็ดมีขนาด รูปร่าง และจำนวนแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์

3. ใ้กลาง (juice vesicle) ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มท่อลำเลียงหลายอันรวมกัน อย่าง หลวมๆ และมีเนื้อเยื่อ spongy อยู่รอบๆ กลุ่มท่อลำเลียงบางเส้นต่อกับด้าน stylar end ของเมล็ด

2.4.2 ชนิดและพันธุ์ส้ม

ส้มเป็นผลไม้ที่มีพันธุ์หลากหลายสามารถแบ่งเป็นกลุ่ม (เปรมปรี, 2544) ได้ดังนี้

1. กลุ่มส้มเกลี้ยง (The Orange Groups) ส้มกลุ่มนี้นิยมปลูกเพื่อรับประทานสดหรือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น น้ำส้มบรรจุกระป๋อง ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (marmalade) เป็นต้น ลักษณะของส้มกลุ่มนี้คือ เปลือกไม่ล่อนออกจากเนื้อ กลีบส้มแต่ละกลีบติดกันแน่น ทำให้การแกะเปลือกออกจากเนื้อและการแยกกลีบออกจากกันทำได้ยาก กลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน ดังต่อไปนี้

1.1 Sweet Orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) หมายถึง กลุ่มของส้มเกลี้ยงทั้งหมด เป็นส้มที่ปลูกกันมากที่สุดในโลก แบ่งเป็นประเภทย่อยลงไปได้อีก ดังนี้

Common Oranges กลุ่มนี้มีการปลูกประมาณ 2 ใน 3 ของส้มเกลี้ยงทั้งหมด โดยพันธุ์ที่รู้จักและมีความสำคัญ ได้แก่ Valencia, Pineapple, Hamlin, Shamouti, Vernia, Mosambi และ Belladonna ในที่ปลูกในประเทศไทยคือ พันธุ์ส้มเกลี้ยง

Sugar หรือ Acidless Oranges ไม่ค่อยปลูกกันมากนัก เป็นส้มเกลี้ยงที่มีปริมาณกรดต่ำกว่าปกติมากจึงมีรสหวานโดยตลอด พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ Succari, Sucrena และ Vainiglia สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยคือ ส้มตรา (ส้มกา หรือ ส้มเซ็ง)

Pigmented หรือ Blood Oranges พันธุ์ส้มกลุ่มนี้มีสีของแอนโทไซยานิน นอกเหนือจากแคโรทีนอยด์ จึงทำให้มีสีออกไปทางสีแดง ปลูกมากในแถบเมดิเตอร์เรเนียน พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ Moro, Tarocco, Sanguinello Comune และ Spanish Sanguinelli

Navel Oranges เอกลักษณะของส้มกลุ่มนี้คือ มีรังไข่หรือผลที่สองที่ไม่มีการพัฒนาต่อ (rudimentary secondary ovary) เกิดขึ้นทับซ้อนที่ส่วนปลายของรังไข่แรก จึงทำให้เกิดลักษณะเป็นรูที่ส่วนก้นผลขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสะดือ (navel) อันเป็นที่มาของชื่อส้มกลุ่มนี้ โดยพันธุ์ที่ปลูกกันมากเป็นการค้าหลักของโลกที่รู้จักกันมากที่สุด คือ Washington Navel ซึ่งชื่อพันธุ์ดั้งเดิมคือ Bahia หรือ Baia นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์ใหม่ออกมาอีกเป็นจำนวนมาก

1.2 Sour หรือ Bitter Oranges (*Citrus aurantium* L.) บางครั้งเรียกส้มกลุ่มนี้ว่า Seville orange สำหรับในประเทศไทยรู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า ส้มซ่า ส้มชนิดนี้มีความสำคัญในแถบเมดิเตอร์เรเนียน เนื่องจากใช้ในการผลิตน้ำอบ (Colonge) หัวน้ำหอม (Perfume) และเครื่องสำอางอื่นๆอีก กลุ่มพันธุ์ที่รู้จักกันอยู่ได้แก่ Bonquet และ Bergamot เป็นต้น

2. กลุ่มส้มเปลือกอ่อน (Mandarins) จัดเป็นกลุ่มส้มที่ปลูกมากที่สุดในทวีปเอเชีย ซึ่งแหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ จีน ไต้หวัน ไทย ออสเตรเลีย และย่านเมดิเตอร์เรเนียน ส่วนประเทศในเอเชียอื่นที่ปลูกกันมากได้แก่ ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย โดยมีลักษณะสำคัญคือ เปลือกอ่อนและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย สามารถแบ่งออกได้ 5 กลุ่มย่อยดังนี้

2.1 Satsuma Mandarins (*Citrus unshiu* Mar.) จัดเป็นส้มกลุ่มหลักของญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดคือ Miyagawa Wase

2.2 King Mandarin (*Citrus nobilis* Lour.) เรียกกันย่อๆว่า King บางครั้งก็เรียกว่า King of Siam อย่างไรก็ตามส้มชนิดนี้ไม่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เป็นส้มที่มีรสชาติดี มากชนิดหนึ่ง แต่มีผิวหนาและขรุขระ

2.3 Mediterranean Mandarins (*Citrus deliciosa* Ten.) ไซ้เป็นไม้ประดับ และใช้ในการสกัดน้ำมันสำหรับเครื่องสำอาง มีเพียงพันธุ์เดียวคือ Willowleaf

2.4 Common Mandarins (*Citrus Reticulata* Blanco) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากในประเทศไทยโดยพันธุ์ที่สำคัญได้แก่ เขียวหวาน โชกุน (หรือสายน้ำผึ้ง) Ponkan, Cravo, Dancy, Clementine และ Ellendale นอกจากนี้ยังมีส้มลูกผสมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ที่เชื่อว่าเป็น Tangor (ลูกผสมระหว่าง Tangarine และพันธุ์ Orange) ได้แก่ tankan และส้มจุก (Som-Chuk หรือ Somjook) สำหรับพันธุ์ฟรีเมนต์ (Fremont) เป็นลูกผสมระหว่าง Clementine และพันธุ์ Ponkan

2.5 Small Fruited Mandarins เนื่องจากมีลักษณะคล้ายส้มเปลือกอ่อน แต่มีรสเปรี้ยวจัดนอกจากนี้ยังมีส้มที่คล้ายลูกผสมของ mandarins อีกหลายชนิดที่สำคัญได้แก่ Calamondin (*Citrus madurensis* Lour.) หรือเรียกกันว่า Calamansi

2.4.3 ส้มสายน้ำผึ้ง

ประวัติส้มสายน้ำผึ้ง

ประวัติส้มสายน้ำผึ้งที่แน่ชัดนั้นยังไม่สามารถระบุได้ แต่ได้มีนักวิชาการและเกษตรกรให้ข้อมูลหลายๆด้าน เช่น

1. ส้มสายน้ำผึ้ง เป็นสายพันธุ์หนึ่งที่เป็นพันธุ์เดียวกับส้มโชกุนของจังหวัด ยะลา และมีการนำส้มโชกุนจากจังหวัด ยะลา มาปลูกที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยอากาศที่หนาวเย็นจะช่วยให้ผิวส้มสวย มีสีเหลืองนวล ซึ่งทางเชียงใหม่เรียกส้มพันธุ์นี้ว่า สายน้ำผึ้ง

2. ส้มสายน้ำผึ้ง ได้รับการผสมขึ้นมาเองจากเกษตรกรในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ไม่ได้เป็นสายพันธุ์เดียวกันกับส้มโชกุนของจังหวัด ยะลา

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มสายน้ำผึ้งที่แตกต่างจากส้มพันธุ์อื่น ดังนี้

1. ทรงพุ่มจะสูงและแน่นกว่าส้มเขียวหวาน
2. กิ่งและใบจะมีลักษณะตั้งขึ้น (Erect form) ส่วนส้มเขียวหวานจะมีลักษณะตก หรือ ย้อยห้อยลงมา
3. ใบมีสีเขียวเข้มมีขนาดเล็กและเรียกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย และเมื่อนำใบมาชี้ดมดู จะมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีน
4. ลำต้นส่วนสูงจะแข็งแรงกว่าทั้งทางด้านโครงสร้าง และความต้านทานโรค
5. มีดอกสีขาวใหญ่กว่าส้มเขียวหวาน เล็กน้อย ออกดอกมากในเดือนมกราคม ถึง เดือน กุมภาพันธ์ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ 10 เดือน
6. ผล รูปร่างและขนาดไม่แตกต่างจากส้มเขียวหวานมากนัก ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ได้แก่ เปลือกบางกว่า เนื้อสีแดงเข้มกว่า จำนวนผลมากกว่า เนื้อในแน่นกว่า ปริมาณน้ำของผลมีมากกว่า มีความหวานมากกว่า สีของผลส้มเหลืองขึ้นกับอุณหภูมิ ที่พิเศษ ไปมากกว่านั้นเป็นส้มที่ อร่อยหวานมีกลิ่นหอม และเมื่อเปรียบเทียบผลส้มสายน้ำผึ้ง กับส้มเขียวหวานที่มีขนาดเท่ากัน ส้มสายน้ำผึ้งจะมีขนาดน้ำหนักมากกว่า

ส่วนลักษณะอื่นๆนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ไม่ได้มีความคิดแตกต่าง ไปจากลักษณะประจำพันธุ์ส้มเขียวหวาน โดยทั่วไป กล่าวคือ ผลส้มมีทรงกลมเป็นเล็กน้อย ปลายผลราบเป็นแอ่งตื้นๆ ฐานผลส่วนใหญ่มน ผิวผลเรียบ เปลือกอ่อน ปอกง่าย กลีบแยกออกจากกัน ใ้ได้ง่ายมีประมาณ 11 กลีบ (วรพงษ์, 2542)