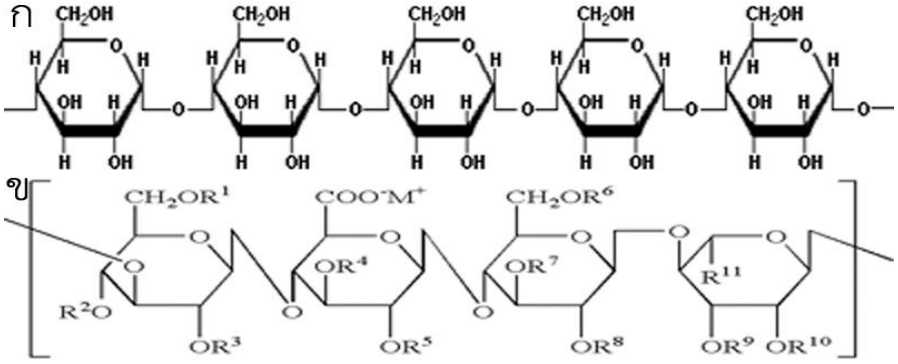
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เปลือกทุเรียน (Durian peel)

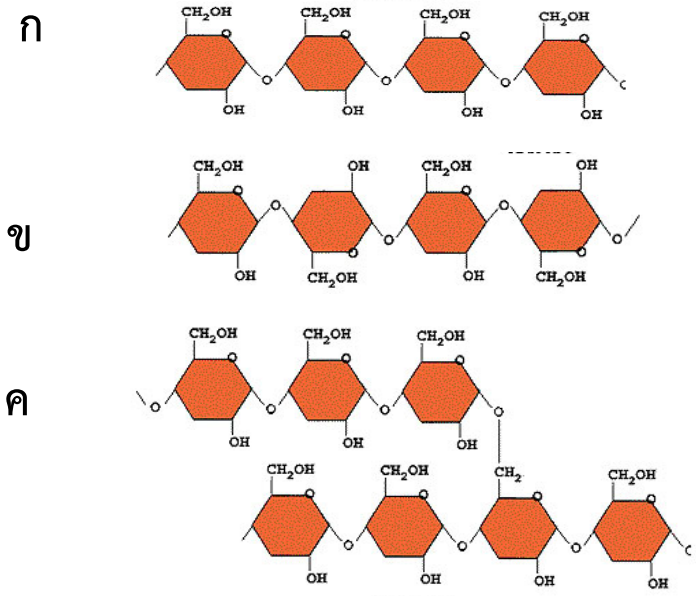
ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ปริมาณการผลิตทุเรียนของจังหวัดจันทบุรี ในปี พ.ศ. 2563 ประมาณ 399,169 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จากรายงานวิจัยของ วรวรรณ สังข์แก้ว (2554) ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง 1 ลูก จะประกอบด้วยน้ำหนักเนื้อ เมล็ด และเปลือกเท่ากับ 25.50, 7.10 และ 67.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวในปี พ.ศ. 2563 จะได้ส่วนเนื้อ เมล็ด และเปลือกทุเรียนประมาณ 101,788, 28,341 และ 269,040 ตัน ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่ามีปริมาณเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งเกษตรกรบางส่วนนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำปุ๋ย แต่ยังเหลืออีกจำนวนไม่น้อยที่ทิ้งกระจัดกระจายในพื้นที่ต่าง ๆ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ส่งกลิ่นเหม็น และทัศนียภาพไม่น่าดู จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*Duriozibethinus Murray*) ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน ไฟเบอร์ และคาร์โบไฮเดรตรวมเท่ากับ 30.92, 17.99, 7.69, 6.92, 3.15, 4.01, 0.26, 27.81 และ 57.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Unhasirikul et al., 2013) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่น่าสนใจหลายอย่างจึงมีการนำเปลือกทุเรียนมาใช้ประโยชน์ต่างๆ อาทิ เช่น ผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดโดยนำพลังงานคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นชิ้นไม้อัด คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าไปในแผ่นชิ้นไม้อัดที่นำมาทำการอบแห้งได้เพราะความร้อนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความแห้งที่เกิดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไปทุกตำแหน่งของตัวแผ่น (อนุชิต จิ๋วหยี และคณะ, 2555) ผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยกระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันภายใต้ความดันสุญญากาศ มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (สราวุธ ศรีคุณ, 2550) ผลิตแผ่นฟิล์มจากเปลือกทุเรียน โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose ; CMC) จากเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนในการผลิตฟิล์มซึ่งมีคุณสมบัติย่อยสลายได้ พร้อมทั้งพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้นด้วยการใส่สารเติมแต่ง เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก (อิสราภรณ์ โล่นารายณ์, 2557) ผลิตน้ำตาลจากเปลือกทุเรียนโดยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (Unhasirikul et al., 2013)

โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน (Polysaccharide from durian peel)

โพลีแซคคาไรด์เกิดจากการต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจนเป็นสายยาวมากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไป แบ่งเป็นสองชนิดคือ โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) หรือโฮโมไกลแคน (Homoglycan) ถ้าโมโนแซ็กคาไรด์มากกว่าหนึ่งชนิดจะเรียกว่าเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharide) หรือเฮเทอโรไกลแคนโพลีแซคคาไรด์ (Heteroglycanpolysaccharide) โพลีแซคคาไรด์ที่สำคัญได้แก่ สตาร์ช ไกลโคเจน และเซลลูโลส (อรพิน ภูมิภมร. 2523) แสดงดังภาพที่ 2.1 และ 2.2

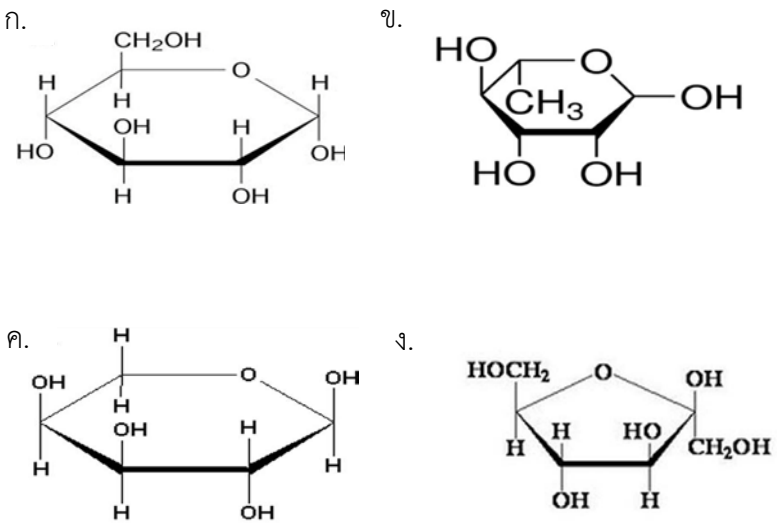


ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ (ก) โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์และ (ข) เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์
ที่มา: ญาณิศา ละอองอุทัย, 2556



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ที่สำคัญ (ก) สตาร์ช (ข) เซลลูโลส และ(ค) ไกลโคเจน
ที่มา: วสันต์ ศิริวงศ์, 2558

ในเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์เป็นกลูโคส (Glucose) แรมโนส (Rhamnose) อะราบิโนส (Arabinose) และฟรุคโตส (Fructose) ประมาณ 9.2 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 2.3 ความชื้น 9.1 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 54.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง เม็ดกลม สีน้ำตาลอ่อน จะเสียสภาพที่อุณหภูมิ 174-176 องศาเซลเซียส เมื่อละลายในน้ำจะได้เป็นตะกอนเหนียวข้นหนืด เมื่อละลายในเอทานอลจะได้เป็นเจล (Pongsamart and Panmaung, 1998)



ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างน้ำตาลที่พบในโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียน (ก) กลูโคส (ข) แรมโนส (ค) อะราบิโนส และ(ง) ฟรุคโตส

ที่มา: อนรรฆอร ศรีไสยเพชร, 2558

เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่น่าสนใจหลายด้านจึงมีการนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น นำโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนมาใช้ทางเภสัชกรรมโดยศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของโพลีแซคคาไรด์ พบว่าทนต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) และสามารถกักเก็บคอเลสเตอรอล (cholesterol) ได้ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ไว้ภายในไดอะไลซิสเมมเบรน (dialysis membrane) และมีคุณสมบัติการพองตัว ฟอร์มตัวเป็นเจลข้นหนืดในน้ำ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเป็นสารคาร์โบไฮเดรตพวกโพลีแซคคาไรด์ ไม่มีองค์ประกอบของอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตพวกน้ำตาลอะมิโน (Amino sugar) และน้ำตาลซัลโฟเนท (Sulfonated sugar) ทำให้คาดได้ว่าสารสกัดโพลีแซคคาไรด์น่าจะมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านอาหาร ยา และเครื่องสำอาง อาจนำมาใช้เป็นยาช่วยเตรียมเภสัชผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ได้แก่ ยาเม็ด ยาเม็ดเคลือบ ยาน้ำแขวนตะกอน ยาน้ำแขวนละออง เจล ครีม เป็นต้น และเตรียมผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งการเตรียมสูตรอาหารจะต้องทำให้โพลีแซคคาไรด์กระจายตัวได้ดีเมื่อเทลงในน้ำ

แต่เนื่องจากคุณสมบัติของโพลีแซคคาไรด์ เมื่อโปรยลงน้ำมักจะเกาะเป็นก้อนและละลายยาก จึงมีการเตรียมสูตรตำรับอาหารโดยมีสูตรการเตรียมอาหารผงสำเร็จรูป (สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ, 2542) ผลิตแผ่นฟิล์มแปะแผล แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะบางใส ไม่มีสีถึงสีชมพูจาง เมื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ พบว่าแผ่นฟิล์มที่เติมพลาสติไซเซอร์ มีความอ่อนตัว เหนียว และยืดหยุ่นกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่เติมพลาสติไซเซอร์ นอกจากนี้พบว่าแผ่นฟิล์มสามารถพองตัวและมีคุณสมบัติในการยึดกับเนื้อเยื่อ (สุนันท์ พงษ์สามารถ และ ปิยะรัตน์ จันทร์ศิริพรชัย, 2547) และนำมาผลิตน้ำยาบ้วนปากที่สกัดจากโพลิแซคคาไรด์เปลือกทุเรียน ซึ่งมีลักษณะเป็นเจลข้นหนืด มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Streptococcus mutans* และ *Actinobacillus actinomycetemcomitans* ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคฟันผุ และโรคปริทันต์ ตามลำดับ (สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ, 2554)

การตรึงเซลล์ (Immobilization cells)

การตรึงเซลล์เป็นการนำเซลล์มายึดติดกับวัสดุใด ๆ เพื่อเพิ่มความทนทานของเซลล์ในการใช้งานอีกทั้งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ผลผลิตที่ได้มีการปนเปื้อนน้อยลง เนื่องจากไม่มีโปรตีนของเซลล์ละลายอยู่ในสารละลายนั้นทำให้กระบวนการแยกผลผลิต (product recovery) ทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นการใช้เซลล์ตรึงยังสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเพิ่มหรือลดอัตราเร็วของการผลิต การดำเนินกระบวนการผลิตและการหยุดกระบวนการผลิตสามารถทำได้ง่ายโดยการแยกเอาเซลล์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกได้ทันที ยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยทำให้การทำปฏิกิริยาต่อเนื่องหลาย ๆ ขั้นตอน (multiple reactions) ทำได้ง่าย โดยการปล่อยให้สารละลายทำปฏิกิริยาผ่านเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ไปทีละขั้นตอนได้ (พุฒิพัฒน์ เบญจปรีชาพัฒน์, 2555)

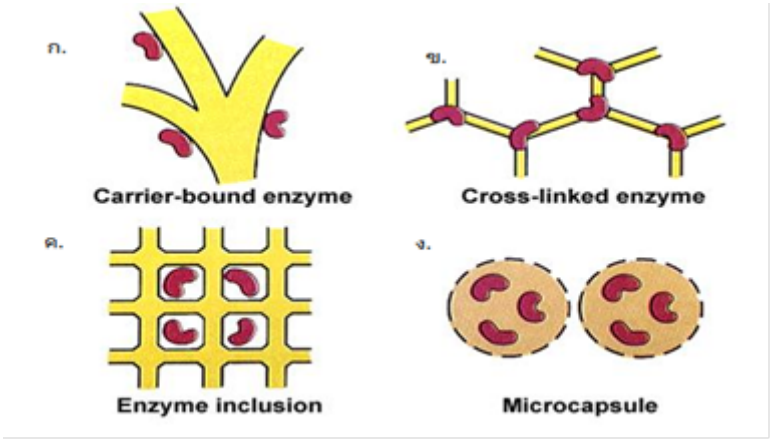
1. วิธีการตรึงเซลล์ แบ่งได้เป็น 3 วิธีการ (อารี ฤทธิบูรณ์ และคณะ, 2550) ได้แก่

1.1 วิธีการเชื่อมตัวพยุง (carrier binding) เป็นการเชื่อมพันธะระหว่างเซลล์ตรึงกับตัวพยุงที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายในตัวทำละลายบางชนิด ได้แก่ วิธีการดูดซับทางกายภาพ วิธีเชื่อมพันธะแบบอิออน เชื่อมระหว่างโปรตีนของเซลล์ตรึงกับตัวพยุงที่ไม่ละลายในสารละลายปฏิกิริยาโดยใช้พันธะอิออนิก (ionic bond) และพันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

1.2 วิธีการเชื่อมขวาง (cross-linking method) ไม่ต้องใช้ตัวพยุงเซลล์ตรึง จะตรึงรูปด้วยการสร้างพันธะเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของเซลล์ตรึง ทำให้เซลล์ตรึงหลายโมเลกุลเกาะกลุ่มกลายเป็นโมเลกุลใหญ่ ละลายน้ำได้ลดลง

1.3 วิธีห่อหุ้ม (entrapping method) ตรึงรูปแบบรวมเซลล์ตรึงอิสระไว้ในช่องว่างของตาข่ายโพลิเมอร์หรือห่อหุ้มเซลล์ตรึงอิสระไว้ด้วยเยื่อบางที่ยอมให้มีสารซึมผ่านได้บ้าง (semipermeable- membrane) เซลล์ตรึงไม่มีการเชื่อมพันธะใด ๆ กับสารห่อหุ้ม

วิธีการตรึงเซลล์แบบต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงวิธีการตรึงเซลล์แบบการเชื่อมพยุง (ก) การเชื่อมขวาง (ข) การห่อหุ้มเอนไซม์ในช่องตาข่าย (ค) และแบบห่อหุ้มเอนไซม์ในแคปซูลเล็ก (ง)

ที่มา: ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550

2. ข้อดีและข้อเสียของเซลล์ที่ถูกตรึง (พรรษชล พวงดี และคณะ, 2553)

ข้อดี คือ เซลล์ที่ถูกตรึงไม่เจริญเติบโต ทำปฏิกิริยาได้โดยไม่มีปฏิกิริยาอื่นแทรกซ้อนได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าเซลล์อิสระ สามารถนำเซลล์กลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย สะดวก ลดต้นทุน ควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อโดยการเจือจางอาหารได้ ลดการสูญเสียของเซลล์ในระบบได้ โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง และแยกผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าเซลล์อิสระ ส่วนข้อเสีย คือ การแพร่กระจายของสารอาหาร ทำให้เอนไซม์ภายในทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายในช่วงแรกของการทำสูงกว่าใช้เซลล์อิสระ

3. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกสารที่เหมาะสมในการตรึงเซลล์ ได้แก่ (ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550)

1) สมบัติทางกลไก เช่น ความคงตัว

2) สมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ลักษณะเป็นเม็ด หรือเป็นแผ่น หรือติดตามผนังภายในภาชนะ

3) ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ควรทนต่อสภาพแวดล้อมทางฟิสิกส์ สารเคมี และการย่อยสลายจุลินทรีย์

4) ความชอบน้ำ

5) ความชื้มซับ

6) ราคาและการยอมรับ

ไวน์

ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการหมักน้ำผลไม้ให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการหมักน้ำตาลของยีสต์ (Fermentation) โดยทั่วไปไวน์จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 8 - 14 เปอร์เซ็นต์ (ประดิษฐ์ ครุวัณณา และคณะ, 2545) ผลไม้ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ผลไม้ควรมีองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกับน้ำองุ่นหากเป็นไปได้ควรมีความเข้มข้นของน้ำตาล กรดอินทรีย์อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมและควรมีกลิ่นรสที่ดี มีเอกลักษณ์ สามารถจัดหาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีราคาไม่สูงนัก หากมีเพคตินสูง หรือมีกรด และน้ำตาลต่ำหรือสูงเกินไปก็ต้องมีการย่อยสลายเพคตินเพื่อลดความหนืดและทำให้สกัดน้ำผลไม้ได้ง่ายขึ้น ตลอดจนต้องทำการปรับระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ น้ำตาล และสารอาหารที่จำเป็นบางอย่างให้เหมาะสมกับการหมักและการเจริญของยีสต์ ผลไม้ที่ใช้ควรต้องแก่จัดและสุกเต็มที่เพื่อรสชาติและกลิ่นที่ดี (ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และพัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2549)

มีการประยุกต์นำกระบวนการผลิตไวน์องุ่นมาใช้เพื่อให้ได้ไวน์เขตร้อนที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น ด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) การเพิ่มความหวานของน้ำผลไม้ด้วยน้ำตาล และการเติมน้ำเพื่อลดความเป็นกรดนอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide) การควบคุมอุณหภูมิในการหมักการใช้ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate) ทำให้ไวน์เขตร้อนเป็นที่ยอมรับมากขึ้นนอกจากนี้ยังมีการใช้สารแต่งสีในไวน์เขตร้อนด้วย อย่างไรก็ตามการใช้สารแต่งสีในอาหารและเครื่องดื่มมีข้อจำกัดเนื่องจากอาจเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์เมื่อได้รับเป็นเวลานาน (Arubi and Offonry, 2009)

กระบวนการผลิตไวน์ผลไม้ ประกอบด้วยขั้นตอนการนำผลไม้มาล้างให้สะอาด บด จากนั้นคั้นน้ำหรือต้ม ปรับน้ำตาลและกรด เติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Metabisulfite) เพื่อฆ่าเชื้อ หมักโดยใช้เชื้อยีสต์ เมื่อหมักครบกำหนดทำการแยกส่วนใส เปลี่ยนถ่ายถังหมัก ทำให้ใสหรือตกตะกอนแล้วนำไปบ่มเพื่อให้ได้รสชาติที่ดี และนำไปบรรจุ (ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550)

การหมักเป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการหมักแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่ยีสต์ทำการแบ่งเซลล์ให้มีปริมาณมากที่สุด ในช่วงนี้จำเป็นต้องให้อากาศกับยีสต์ช่วงที่ 2 เป็นช่วงของการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ในช่วงนี้ยีสต์ไม่ต้องการอากาศ การหมักในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง (มากกว่า 28 องศา-เซลเซียส) จะทำให้เกิดการหมักอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสภาพการหมักที่ไม่ดี เพราะในระหว่างการหมักจะเกิดความร้อนขึ้นด้วย จึงทำให้ยีสต์ตายได้ ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการทนต่อปริมาณแอลกอฮอล์ของยีสต์ลดลงและชักนำให้เกิดกรด และการระเหยของแอลกอฮอล์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมัก คือที่ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นทันทีที่กระบวนการหมักเริ่มต้น ควรทำการลดอุณหภูมิการหมักลงเพื่อให้เกิดการหมักที่ช้าลงและใช้เวลานาน เพื่อให้ได้ไวน์ที่มีคุณภาพดี และเมื่อกระบวนการ

หมักใกล้สิ้นสุดลง ควรเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 24 - 26 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยให้ยีสต์ใช้น้ำตาลที่มีในน้ำหมักจนหมด (ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และคณะ, 2549)

ไวน์สามารถแบ่งออกได้หลายประเภทขึ้นกับว่าใช้อะไรเป็นหลัก หลักเกณฑ์ที่นิยมใช้ในการแบ่งประเภทของไวน์ มีดังนี้ (ปิยะรัชช์ กุลเมธี, 2552)

1. แบ่งไวน์ตามสีที่มองเห็นได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1 ไวน์แดง (red wine) คือ ไวน์ที่ได้จากการหมักน้ำองุ่นแดง มีสีแดงเข้ม

1.2 ไวน์ขาว (white wine) คือ ไวน์ที่ได้จากการหมักน้ำองุ่นเขียว มีสีเหลืองกึ่งสีทอง

1.3 ไวน์ชมพู (pink wine หรือ rose) คือ ไวน์ที่ได้จากการหมักน้ำองุ่นแดงและองุ่นเขียวรวมกัน มีสีแดงจาง

2. แบ่งตามความหวาน หรือปริมาณน้ำตาลที่มีในไวน์ คือ

2.1 ไวน์ไม่หวาน (dry wine) มีความเปรี้ยวเล็กน้อย มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 2 - 8 กรัม/ลิตร

2.2 ไวน์หวานเล็กน้อย (semi-dry wine) ความเปรี้ยวน้อยกว่าไวน์ไม่หวานมีปริมาณน้ำตาลประมาณ 9 - 70 กรัม/ลิตร

2.3 ไวน์หวาน (sweet wine) โดยทั่วไปจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ค่อนข้างสูงมีปริมาณน้ำตาลประมาณมากกว่า 70 - 100 กรัม/ลิตร

3. แบ่งตามปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีในไวน์ เป็น 2 ประเภท คือ

3.1 เทเบิลไวน์ (table wine) คือ ไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ระหว่าง 9 - 14 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรและมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย ซึ่งได้จากการหมักตามธรรมชาติ นิยมใช้ดื่มก่อนอาหารเพื่อเรียกน้ำย่อย

3.2 ฟอร์ติไฟด์ไวน์ (fortified wine) คือ ไวน์ที่มีการเติมแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นไวน์ (บรั่นดี) ลงไปเพื่อให้มีปริมาณแอลกอฮอล์ระหว่าง 14-24 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร โดยทั่วไปจะเป็นไวน์ที่มีความหวาน นิยมใช้รับประทานหลังอาหาร หรือเรียกว่า ไวน์ย่อยอาหาร

4. แบ่งตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในไวน์ เป็น 2 ประเภท คือ

4.1 ไวน์นิ่ง (still wine) คือ ไวน์ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อยซึ่งเกิดจากการหมักตามธรรมชาติ โดยทั่วไปหมายถึงเทเบิลไวน์

4.2 ไวน์ฟอง (sparkling wine) คือ ไวน์ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังการหมัก หรือไวน์ที่มีการหมักครั้งที่สอง เช่น แชมเปญ (champagne)

5. แบ่งตามการเติมกลิ่นรส หรือสารที่สกัดจากสมุนไพร แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

5.1 ไวน์ที่ไม่เติมกลิ่นรส หรือสารสกัดจากสมุนไพร

5.2 ไวน์ที่มีการเติมกลิ่นรส หรือสารสกัดจากสมุนไพร เช่น เวอร์มูท (vermooth)

6. แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ทำไวน์ มีหลายชนิด เช่น
   6.1 ไซเดอร์ คือ ไวน์ที่ทำจากแอปเปิ้ล
   6.2 เพอร์รี่ คือ ไวน์ที่ทำจากสาลี่
   6.3 หมีด (mead) คือ ไวนีที่ทำจากน้ำผึ้ง
   6.4 ไวน์ข้าว เช่น สาเก
   6.5 น้ำตาลเมา
7. อื่นๆ เช่น คูลเลอร์ (cooler) หรือไวน์คูลเลอร์ (wine cooler) เป็นต้น

ประโยชน์ของไวน์ พบว่า การดื่มไวน์ถ้าดื่มในปริมาณที่เหมาะสมคือประมาณวันละ 1-4 แก้ว จะมีประโยชน์ต่อร่างกายช่วยป้องกันการเป็นโรคหัวใจ โรคความจำเสื่อมและโรคกระดูกผุในผู้หญิงที่อยู่ในวัยหมดประจำเดือน แต่ถ้าดื่มในปริมาณที่มากและติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เป็นโรคตับและความดันโลหิตสูงได้เหมือนกับการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ทั่วไป (ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550)

ผลไม้ที่ใช้ในการทำไวน์ ควรเป็นผลไม้ที่สะอาด สุก แก่พอดี ไม่เน่าเสีย มีสี กลิ่น รสชาติที่ดี ควรเป็นผลไม้ที่ให้สารอาหารที่เพียงพอที่จะทำให้เชื้อยีสต์เจริญได้ สามารถผลิตไวน์ผลไม้ที่มีความเข้มข้นสูง ผลไม้ที่มีคุณภาพเหมาะสมในการทำไวน์ควรมีความเปรี้ยว หวาน และความฝาดอยู่ในตัว เพื่อความสมดุลของน้ำตาลและกรด จะทำให้ได้ไวน์ผลไม้ที่มีคุณภาพ (ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550) โดยผลไม้แต่ละชนิดมีปริมาณหรือชนิดกรดที่แตกต่างกัน ระดับความเป็นกรด - ด่าง อยู่ระหว่าง 3.3 – 4.5 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไวน์ จึงมีการแบ่งกลุ่มของผลไม้ตามปริมาณกรดได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ผลไม้ที่มีกรดน้อย ผลไม้ที่กรดปานกลาง และผลไม้ที่มีกรดมาก (เยาวพา สุวัตถิ, 2552) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มผลไม้ชนิดต่างๆตามปริมาณกรด

ปริมาณกรด	ชนิดของผลไม้
กรดน้อย	กล้วย มะละกอ แตงโม น้อยหน่า องุ่น
กรดปานกลาง	ลำไย ลิ้นจี่ ละมุด พุทรา มังคุด เงาะ ขนุน ฝรั่ง ชมพู่เพชร
กรดมาก	มะยม มะดัน มะขาม มะกอก ส้ม มะนาว องุ่น สับปะรด มะเฟือง มะไฟ ลูกหว้า กระเจี๊ยบ เสาวรส มะตูม มะขามป้อม

ที่มา: เยาวพา สุวัตถิ, 2552

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสประกอบด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการตรวจสอบอย่างแม่นยำ โดยใช้การตอบสนองจากมนุษย์ (Human Responses) ที่มีต่ออาหาร และต้องควบคุมอคติต่าง ๆ ให้เกิดน้อยที่สุด เช่น ข้อมูลของตัวอย่างที่จะทำการทดสอบต้องไม่ถูกรับรู้จากผู้ทดสอบมาก่อน เป็นต้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ และเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ นักวิทยาศาสตร์การอาหาร เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ และผู้จัดการแผนกต่าง ๆ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมิน วัดผล วิเคราะห์และอภิปรายผลที่ได้จากการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยผ่านทางระบบรับสัมผัสด้านต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ การมองเห็น การดมกลิ่น การสัมผัส การชิม และการได้ยินเสียง สำหรับวิธีการทดสอบคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการดำเนินการทดสอบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการทดสอบความชอบ สำหรับการทดสอบทางประสาทสามารถแยกการทดสอบในการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เป็น 3 วิธี (ศิริกานต์ ศิริมา, 2557) คือ

1) การทดสอบเพื่อความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (Discrimination หรือ Difference Test)

2) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)

3) การทดสอบเพื่อหาความชอบ หรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Preference/Acceptance Test)

ในที่นี้ขอกล่าวถึงเพียงการทดสอบ เพื่อหาความชอบ หรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีที่ใช้เพื่อทดสอบความรู้สึกของผู้ทดสอบในแง่ความชอบ หรือการยอมรับที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ผู้ทดสอบที่ใช้ คือ กลุ่มคนทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส หรือผู้บริโภคทั่วไป การทดสอบแบบนี้เหมาะสำหรับศึกษาหาความชอบ หรือการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบนี้จะช่วยทำให้นำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค สำหรับวิธีการทดสอบหาการยอมรับสามารถใช้วิธีการเชิงคุณภาพ เช่น การอภิปรายกลุ่ม หรือใช้วิธีการทดสอบหาการยอมรับในเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.) คือ

1) การทดสอบความชอบ (Paired Preference Test) ได้แก่ เปรียบเทียบตัวอย่างคู่ เพื่อหาความชอบ การเรียงลำดับความชอบ เป็นต้น

2) การทดสอบการยอมรับ (Acceptance Tests) ได้แก่ การทดสอบหาอัตราความชอบ การวัดค่าความถี่ในการบริโภค

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การทดสอบการยอมรับ โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 5 Point Hedonic Scale เป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บอกความชอบและไม่ชอบออกมาเป็นสเกลความชอบ โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง ในสเกลความชอบจะมีคำแปลความหมายระดับคะแนนต่าง ๆ เช่น ดีเลิศ (Excellent) ดีมาก (Very Good) ดี (Good) หรือไม่ดี (Poor) เป็นต้น ซึ่งสเกลความชอบแบบ 5 Point Hedonic Scale เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arubi และ Offonry (2009) ศึกษาไวน์ที่ผลิตจากกระเจี๊ยบ (Hibiscus sabdariffa) โดยสกัดสารจากกลีบเลี้ยง โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* และการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีซึ่งผลแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบ (น้ำเข้มข้น) มีโปรตีน 4.21 เปอร์เซ็นต์กรด 0.69 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid) เท่ากับ 21 องศาบริกซ์ ไวน์จากกลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบที่ค่าพีเอช 3.43 เปอร์เซ็นต์ พบกรด 0.75 เปอร์เซ็นต์และแอลกอฮอล์ 10.8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งค่าที่ได้เทียบเท่ากับไวน์องุ่น โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total anthocyanin : TACY) และความหนาแน่นรวมของสี (content and total colour density : TCD) เท่ากับ 22.26 และ 25.20 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบแสดงให้เห็นว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไวน์แดงและสีเป็นที่ยอมรับ

Bangruk และคณะ (2011) ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae* M30 ที่ถูกตรึงแบบตัวพยุงอัลจิเนทเสริมใยบวบ หมักในถังปฏิกรณ์โดยมีความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นที่ 200 - 248 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองพบว่าผลผลิตเอทานอลสูงสุดอยู่ที่ 11.50 กรัมต่อลิตร จะได้จากอัตราการเจือจางที่ 0.2 ต่อชั่วโมง เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ 82.1 กรัมต่อลิตร จะได้จากอัตราการเจือจางที่ 0.11 ต่อชั่วโมง และพบว่าวัสดุตรึงรูปแบบอัลจิเนทเสริมใยบวบเหมาะสำหรับที่จะใช้ในการตรึงรูปเซลล์ยีสต์

Emmanuel และ Odoyo (2011) ได้ศึกษาการผลิตไวน์จากมะละกอ (Carica papaya) ที่อัตราส่วนของน้ำมะละกอต่อน้ำหมัก (1 : 4) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่ชุด A – D ชุด A ประกอบด้วยน้ำมะละกอผสมกับยีสต์ และน้ำ โดยให้ผลการทดลองคือ พีเอช (pH) 3.84 อุณหภูมิ 29.60 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสง (ที่ 560 นาโนเมตร) 0.628 ความถ่วงจำเพาะ 0.9950 เปอร์เซ็นต์กรด 0.464 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 1.348 ปริมาตรต่อปริมาตร ผลรวมของการนับโคโลนี 6.66 และอัตราการรั่วไหล 0.54 เซนติเมตร ชุด B ประกอบด้วยยีสต์จากมะละกอ และน้ำตาล โดยให้ผลการทดลองคือ พีเอช (pH) 3.76 อุณหภูมิ 29.6 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสง (ที่ 560 นาโนเมตร) 0.631 ความถ่วงจำเพาะ 01.0036 เปอร์เซ็นต์กรด 0.623 เปอร์เซ็นต์

แอลกอฮอล์ 1.358 ปริมาตรต่อปริมาตร ผลรวมของการนับโคโลนี 6.89 และอัตราการรั่วไหล 0.37 เซนติเมตร ชุด C ประกอบด้วยยีสต์ธรรมชาติผสมกับยีสต์ตระกูลแซคคาโรไมซีสที่ใช้ผลิตขนมปัง (activated baker's yeast) และน้ำตาล โดยให้ผลการทดลองคือ พีเอช (pH) 3.86 อุณหภูมิ 29.8 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสง (ที่ 560 นาโนเมตร) 0.718 ความถ่วงจำเพาะ 0.9994 เปอร์เซ็นต์กรด 0.419 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 1.354ปริมาตรต่อปริมาตร ผลรวมของการนับโคโลนี 6.32และอัตราการรั่วไหล 0.78 เซนติเมตร และชุด D (ชุดทดลอง) ประกอบด้วยน้ำตาลกับยีสต์ตระกูลแซค-คาโรไมซีสที่ใช้ผลิตขนมปัง โดยให้ผลการทดลองคือ พีเอช (pH) 3.33 อุณหภูมิ 29.6 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสง (ที่ 560 นาโนเมตร) 0.659 ความถ่วงจำเพาะ 0.9974 เปอร์เซ็นต์กรด 0.216 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 1.351 ปริมาตรต่อปริมาตร ผลรวมของการนับโคโลนี 6.72 และอัตราการรั่วไหล 0.80 เซนติเมตร โดยหมักทั้งหมด 144 ชั่วโมง การทดสอบรสชาติของไวน์มีความแตกต่างน้อยมากในสูตร A - C ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไวน์ชุดควบคุม (control) มีรสและลักษณะคล้ายกับไวน์ปาล์ม ควรบริโภคทันทีหรือนำไปเก็บในที่เย็นมากกว่านั้นต้องศึกษาในด้านเสถียรภาพของไวน์มะละกอเพิ่มเติม

Genisheva และคณะ (2011) ใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากการผลิตไวน์ ได้แก่ เมล็ดองุ่น ผิวองุ่น ก้านองุ่น และซังข้าวโพดเพื่อนำมาเป็นวัสดุในการตรึงเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาวัตถุดิบที่ราคาถูก มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นวัสดุในการตรึงเซลล์และสามารถนำไปใช้ในการผลิตไวน์ โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ 4 ชนิดมาใช้เป็นวัสดุตรึงรูปเซลล์ 2 รูปแบบ คือ แบบไม่ปรับสภาพและแบบปรับสภาพ โดยการทำปฏิกิริยากับกรดและด่าง ตามลำดับ เปลือกองุ่นและซังข้าวโพดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพจะให้เซลล์ตรึงสูงที่สุด คือ 25.10 และ 22.20 มิลลิกรัมเซลล์ต่อกรัมของวัตถุดิบ ตามลำดับ ผลผลิตเอทานอลสูงสุดประมาณ 0.50 กรัมต่อกรัม เมื่อใช้เซลล์ตรึงที่ผลิตโดยใช้วัตถุดิบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นวัสดุตรึง พบว่าสารอาหารจากวัสดุตรึงหลุดออกมาในอาหารที่ใช้ในการหมักซึ่งยีสต์นำมาใช้ในการพัฒนากลิ่น รส และการผลิตเอทานอล การใช้เซลล์ตรึงในการหมักภายใต้สภาวะที่มีการกวนจะให้ผลผลิตเอทานอลใกล้เคียงกับการหมักในสภาวะนิ่ง แต่ความเข้มข้นของเซลล์ตรึงจะต่ำกว่าเซลล์ที่หมักในสภาวะนิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปก็คือการหมักภายใต้สภาวะนิ่งโดยการใช้เปลือกองุ่นหรือซังข้าวโพดเป็นวัสดุตรึงให้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับนำมาใช้ในการผลิตไวน์ จึงควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้เปลือกองุ่นและวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตไวน์ เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตไวน์

Surajbhan และ Lambert (2014) ศึกษาการเตรียมไวน์ฝรั่ง โดยใช้ยีสต์ *S.cerevisiae* ตรึงในโซเดียมอัลจิเนทที่มีความเข้มข้น 1 - 5 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าการใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเซลล์เริ่มต้น 8 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ตรึงขนาด 3 มิลลิเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไวน์ฝรั่ง เนื่องจากให้ปริมาณ

แอลกอฮอล์สูงที่สุดที่ 8.30 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ดังนั้นโซเดียมอัลจิเนตจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ตรึงรูปยีสต์ในกระบวนการการผลิตไวน์ที่มีต้นทุนต่ำ และปลอดภัย

Charushila และคณะ (2014) ทำการศึกษาการผลิตไวน์ทับทิมโดยการใช้ *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* 3215 และ *C.stellate* 3433 ร่วมกับ *S. cerevisiae* โดยการทดลองแบ่งการหมักเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ การทดลองโดยใช้ เชื้อ *S. cerevisiae* กับน้ำทับทิมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำทับทิมสายพันธุ์บวากวา (Bhagwa) เจเนชา (Genesha) และแบบผสมระหว่างน้ำทับทิมสายพันธุ์ บวากวาและเจเนชาในอัตราส่วน 1 : 1 ผลการหมักพบว่าสายพันธุ์เจเนชาให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดรองลงมาคือ บวากวา และแบบผสมตามลำดับ และการหมักโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae* ร่วมกับ *C. Stellate* โดยหมักภายใต้สภาวะที่ต่างกัน 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 เป็นการเติมสารเคมีลงไปในน้ำทับทิมแล้วจึงทำการพาสเจอไรส์จากนั้นหมักด้วยเซลล์ตรึง *C. stellata* หลังจากหมักเป็นเวลา 3 วัน จึงเติมเซลล์อิสระ *S. cerevisiae* ชุดที่ 2 เติมสารเคมีลงไปในน้ำทับทิมแต่ไม่ทำการพาสเจอไรส์ จากนั้นหมักด้วยเซลล์ตรึง *C. stellata* ชุดที่ 3 เติมสารเคมีลงไปในน้ำทับทิมแต่ไม่ทำการพาสเจอไรส์ จากนั้นหมักด้วยเซลล์อิสระ *C. stellata* ชุดที่ 4 เติมสารเคมีลงไปในน้ำทับทิมแล้วจึงทำการพาสเจอไรส์ จากนั้นหมักด้วยเซลล์อิสระ *C. stellata* หลังจากหมักเป็นเวลา 3 วัน จึงเติมเซลล์อิสระ *S. cerevisiae* โดยการทดลองนี้มีชุดทดลองเปรียบเทียบคือ ไม่เติมสารเคมีในน้ำทับทิมและไม่ทำการพาสเจอไรส์ จากนั้นหมักด้วยเซลล์ตรึง *C. stellata* ผลที่ได้คือ ชุดการทดลองที่ 3 คือเติมสารเคมีลงไปในน้ำทับทิมแต่ไม่ทำการพาสเจอไรส์ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดเท่ากับ 5.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าไวน์ที่ใช้เชื้อผสมระหว่าง *S. cerevisiae* และ *C. Stellate* มีปริมาณกรด และความเข้มข้นของเอทานอล ต่ำกว่าชุดทดลองเปรียบเทียบ แต่ส่งผลดีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของไวน์ทับทิม

ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ (2550) ทำการผลิตไวน์ลำไยโดยใช้เชื้อยีสต์ 2 สายพันธุ์ คือ *Saccharomyces bayanus* EC 1118 และ *S. carlbergensis* TISTR 5345 ตรึงด้วยวิธีห่อหุ้ม โดยใช้แคลเซียมอัลจิเนต เพื่อใช้ในการหมักไวน์ลำไยอบแห้งโดยตรึงจุลินทรีย์ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 1.25 มิลลิเมตร 2.50 มิลลิเมตรและ 4.00 มิลลิเมตร และเปรียบเทียบกับการหมักโดยใช้เซลล์อิสระ พบว่า การหมักโดย *S. bayanus* EC 1118 ตรึงรูปขนาด 1.25 มิลลิเมตรให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด คือ 9.22 เปอร์เซ็นต์ การหมักโดยใช้จุลินทรีย์ตรึงรูปให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่า และพบว่าจุลินทรีย์ตรึงรูปขนาด 4.00 มิลลิเมตรมีการหลุดออกจากเซลล์สูงสุด ส่วนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ *S. carlbergensis* TISTR 5345 ตรึงรูปขนาด 2.50 มิลลิเมตรให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด คือ 9.1 เปอร์เซ็นต์ และการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ตรึงรูปให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าการหมักโดยใช้เซลล์อิสระ โดยมีการหลุดออกของเซลล์ขนาด 4.00 มิลลิเมตรออกมามากที่สุด รองลงมาคือขนาด 2.50 มิลลิเมตร และ 1.25 มิลลิเมตร โดยเซลล์หลุดออกมาประมาณ 22.22, 12.50 และน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เวสารัช สุนทรชัยบรูณ์ และคณะ (2554) ศึกษาการผลิตเอทานอลจากใบตองในถังหมักแบบแพคเบด (packed – bed bioreactor) โดยเชื้อยีสต์ *Candida shehatae* TISTR 5843 ตรึงรูปบนซังข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าการตรึงเซลล์ยีสต์บนซังข้าวโพด 3 เปอร์เซ็นต์ กรัมต่อมิลลิลิตร มีความสามารถในการตรึงเซลล์ได้ดีที่สุด 7.29×10^4 เซลล์ต่อมิลลิกรัม เชื้อยีสต์สามารถใช้สารอาหารและน้ำตาลที่ได้จากใบตองที่ผ่านการปรับสภาพได้ด้วยกรดซัลฟิวริก 8 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร โดยสามารถผลิตเอทานอลได้ 2.81 $\pm$ 0.11 กรัมต่อลิตร ภายในเวลา 6 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลสูงสุดที่ 0.95 $\pm$ 0.03 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งใบตองจัดว่าเป็นวัสดุชีวภาพที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลและมีราคาถูก

เวสารัช สุนทรชัยบรูณ์ และ รัชพล พะวงศ์รัตน์ (2556) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ธรรมชาติเป็นวัสดุพยุงสำหรับการตรึงเซลล์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 และศึกษาความเป็นไปได้ของเซลล์ตรึงสำหรับการผลิตเอทานอล โดยนำธูปฤาษี ซังข้าวโพด ชานอ้อย และขี้เลื่อยมาเป็นวัสดุพยุงสำหรับการตรึงเซลล์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชานอ้อยให้ผลผลิตเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 14.86 $\pm$ 0.55 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุพยุงทั้ง 4 ชนิด ปลดปล่อยสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตเอทานอลของยีสต์