

ผลของแหล่งน้ำตาลซูโครสต่อจลนศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยง

Effects of Sucrose Sources on Fermentation Kinetics of Sweet Orange Wine

มาลัยพร วงศ์แก้ว^{1*} คัทลียา ใจดี¹ ณัฐพล อินธา¹

นันทิยา บุญสุข¹ และ พศิน หน่อคำอ้าย²

Malaiporn Wongkaew^{1*}, Kattareeya Jaidee¹, Nattapon Intha¹,

Nantiya Boonsook¹ and Pasin Norkumai²

¹สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50220

¹Program of Food Production and Innovation, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand

²ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: malaiporn@mutl.ac.th

(Received: 28 September 2020; Accepted: 5 January 2021)

Abstract: Sweet orange is one of a major fruit produced in a northern part of Thailand. The fruits contain high vitamin C content (50 mg / 100 g orange fruit). However, their small shape covered with thin and dark skin are unappealing. Subsequently that leads to low market price. The main objective of this research is to create a value - added product, an orange wine. The effect of three sucrose sources (cane sugar, refined sugar and coconut sugar) on fermentation kinetics and qualities of sweet orange wine was investigated. The wine fermentation kinetics were determined from concentrations of yeast cell, reducing sugar and alcohol content. The optimal yeast cell growth and alcohol production was obtained from refined sugar. Nevertheless, the sensory evaluation suggested that orange wine with coconut sugar tasted better than cane sugar and refined sugar with the evaluation score of 14.5, 12.0 and 11.8, respectively. The chemical qualities (aldehyde and alcohol contents) of all wines were well within standard according to TISI 2089 - 2544. In conclusion, coconut sugar was the best sucrose sources for the sweet orange wine product.

Keywords: Fermentation kinetic, sucrose sources, sweet orange wine

บทคัดย่อ: ส้มเกลี้ยงเป็นผลไม้ที่ปลูกกันมากในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มีปริมาณวิตามินซีสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักส้ม 100 กรัม มีขนาดลูกเล็ก เปลือกบาง และมีสีคล้ำ ทำให้มีราคาขายที่ค่อนข้างถูก ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตไวน์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจนศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงและเปรียบเทียบคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน ในการศึกษาได้ใช้แหล่งน้ำตาลซูโครส 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว ผลการศึกษาจนศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยพิจารณาจาก ปริมาณเชื้อยีสต์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ พบว่า น้ำตาลทรายขาวเป็นน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ยีสต์ และการผลิตแอลกอฮอล์ สำหรับคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ใช้แหล่งน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ พบว่า น้ำตาลมะพร้าว มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด เท่ากับ 14.5 คะแนน (คุณภาพทางกายภาพ) รองลงมา คือ น้ำตาลอ้อย (12.0 คะแนน) และน้ำตาลทรายขาว (11.8 คะแนน) ตามลำดับ คุณภาพทางเคมี (ปริมาณแอลกอฮอล์ และแอลกอฮอล์) พบว่า ไวน์ส้มเกลี้ยงที่ใช้แหล่งน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีคุณภาพที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2089-2544 จากผลการศึกษาสารภาพสรุปได้ว่า น้ำตาลมะพร้าว คือ แหล่งน้ำตาลซูโครสที่ส่งผลดีที่สุดต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไวน์ส้มเกลี้ยง

คำสำคัญ: จนศาสตร์การหมัก แหล่งน้ำตาลซูโครส ไวน์ส้มเกลี้ยง

คำนำ

ส้มเกลี้ยงเป็นผลไม้ที่ปลูกกันมากในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จัดเป็นส้มประเภทเปลือกติดกับเนื้อไส้ตรงกลางแน่น ไม่กลวง เป็นผลไม้ที่มีรสหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม มีปริมาณวิตามินซีสูง (Bureau of Nutrition, 2001; Nampichai, 2017) ซึ่งวิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) นอกจากจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แล้วยังสามารถกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนได้ โดยทั่วไปส้มเกลี้ยงในท้องตลาดมีขนาดลูกเล็ก เปลือกบาง และสีของเปลือกมีสีคล้ำ ทำให้มีราคาขายที่ค่อนข้างถูก (5-20 บาทต่อกิโลกรัม) ทางผู้วิจัย จึงได้เล็งเห็นว่าการนำส้มเกลี้ยงลักษณะดังกล่าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจะส่งผลทำให้ส้มเกลี้ยงมีมูลค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ คือ ไวน์ เนื่องจาก ไวน์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีส่วนช่วยในการเจริญอาหารและบำรุงร่างกาย แต่ไวน์มีส่วนของแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบ ควรดื่มในปริมาณที่พอเหมาะ คือ 1-2 แก้วต่อวัน (150-260 มิลลิลิตร) จึงจะช่วยบำรุงสุขภาพร่างกายได้ ในการผลิตไวน์มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ น้ำตาล เพราะเป็นแหล่งอาหารของเชื้อยีสต์ในการเจริญเติบโตและเปลี่ยน

น้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ งานวิจัยหรือผู้ผลิตไวน์ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำตาลทรายขาวซึ่งเป็นน้ำตาลซูโครส มีสีขาวที่ผ่านการฟอกสี อย่างไรก็ตามน้ำตาลซูโครสแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านของคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อการผลิตไวน์แตกต่างกันไปด้วย น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลอ้อยเป็นแหล่งของน้ำตาลซูโครสเช่นเดียวกับน้ำตาลทรายขาว โดยน้ำตาลมะพร้าวมีรสชาติคล้ายน้ำตาลทรายแดง แต่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่า ไม่ผ่านการฟอกสี ในขณะที่น้ำตาลอ้อย มีกลิ่นหอมของน้ำตาลอ้อย มีแคลเซียมและธาตุเหล็กจากอ้อยธรรมชาติ และไม่ผ่านการฟอกสี จากการที่งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ใช้น้ำตาลทรายขาวเป็นแหล่งน้ำตาลสำหรับการผลิตไวน์ รวมทั้ง ศึกษากระบวนการหมักในรูปแบบต่าง ๆ แต่น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลอ้อยยังไม่มีมีการนำมาผลิตไวน์ ตลอดจนศึกษากระบวนการและกลไกการหมัก

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว มาผลิตไวน์ส้มเกลี้ยงโดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อศึกษาจนศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสต่างกัน และเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ผลิตโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสต่างกัน ทั้งนี้

ข้อมูลที่ได้จากจุลนศาสตร์และคุณภาพของกระบวนการหมักไวน์ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตไวน์ประเภทอื่น ๆ ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมน้ำส้มเกลี้ยง

ผสมน้ำส้มเกลี้ยงที่คั้นได้ 2,000 มิลลิลิตร กับน้ำสะอาด 2,000 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้น้ำส้มเกลี้ยงร้อยละ 50 โดยปริมาตร จำนวน 4,000 มิลลิลิตร เติมไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammoniumphosphate; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) 0.20 กรัม ปรับค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 18.5 องศาบริกซ์ ด้วยการเติมน้ำตาลแต่ละชนิด (น้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว) ฆ่าเชื้อโดยการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 15 นาที แบ่งน้ำส้มเกลี้ยงเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ปริมาตร 360 มิลลิลิตร ใช้สำหรับการเตรียมหัวเชื้อ และส่วนที่เหลือปริมาตร 3,600 มิลลิลิตร สำหรับใช้ในการหมัก

การเตรียมหัวเชื้อยีสต์

ใส่เชื้อยีสต์ผงประมาณ 0.40 กรัม ลงในอาหารเหลว yeast extract malt extract นำไปต้มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น บีบอัดเชื้อ 40 มิลลิลิตร ลงในน้ำส้มเกลี้ยงปริมาตร 360 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ข้างต้น แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ศึกษาการหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ

ในงานวิจัยได้เลือกใช้น้ำตาล 3 ชนิด คือน้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว นำหัวเชื้อยีสต์ถ่ายลงในน้ำส้มเกลี้ยงปริมาตร 3,600 มิลลิลิตร ดำเนินการหมักที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 120 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 - 120 ชั่วโมงที่ 0 - 12 ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ชั่วโมงที่ 16 - 36 ทุก ๆ 4 ชั่วโมง ชั่วโมงที่ 42 - 72 ทุก ๆ 6 ชั่วโมง และชั่วโมงที่ 84 - 120 ทุก ๆ 12 ชั่วโมง โดยวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอชแบบพกพา และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยรีแฟรักโตมิเตอร์แบบพกพา

ปริมาณเชื้อยีสต์ด้วยวิธีการนับเซลล์โดยใช้ฮีมาไซโตมิเตอร์ (Wanichsan *et al.*, 2015) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (Keayarsa, 2011) และวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้ไวโนมิเตอร์ (A-kara *et al.*, 2015) นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างระยะเวลาในการหมัก (แกน X) กับปริมาณเชื้อยีสต์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ (แกน Y) เพื่อศึกษาจุลนศาสตร์การหมักแบบแบทช์ของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ใช้น้ำตาลทั้ง 3 ชนิด

การคำนวณค่าจุลนศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ

ค่าจุลนศาสตร์การหมักจะใช้ข้อมูลในช่วง Log phase มาคำนวณ โดยใช้สูตรต่าง ๆ ดังนี้ (Siripoke, 2012)

$$(1) \text{ Specific growth rate } (\mu) \quad \ln x_t = \mu_t + \ln x_0 \quad (1)$$

Where; x = Cell concentration (g/L)

t = Time (hr)

μ = Specific growth rate (cell/mL.hr)

$$(2) \text{ Doubling time } (t_d) \quad t_d = \frac{0.693}{\mu} \quad (2)$$

$$(3) \text{ Growth yield coefficient } (Y_{XS}) \quad Y_{XS} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (3)$$

Where; X_0 and S_0 = Initial concentration of cell and substrate (g/L)

X and S = Final concentration of cell and substrate (g/L)

$$(4) \text{ Product yield coefficient } (Y_{PS}) \quad Y_{PS} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (4)$$

Where; P_0 and S_0 = Initial concentration of product and substrate (g/L)

P and S = Final concentration of product and substrate (g/L)

เปรียบเทียบคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ

คุณภาพทางกายภาพ

นำไวน์ส้มเกลี้ยงที่ได้หลังจากการบ่มเป็นระยะเวลา 30 วัน มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสโดยวิธีดัดแปลงจาก American

Wine Society (2011) คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ สีของไวน์ ความสมดุลของกลิ่นหอมมวลของส้ม กลิ่นและรสชาติที่หลงเหลือคั่งในปาก ความพึงพอใจในคุณภาพ และรสชาติของไวน์ ใช้ผู้ทดสอบชิม วัยผู้ใหญ่ (อายุ 21 - 60 ปี) ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ t - test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการไทเทรต

ทำการกลั่นตัวอย่างไวน์ส้มเกลี้ยง โดยนำไวน์ส้มเกลี้ยงปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดกลั่นขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำขวดกลั่นต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์กลั่น โดยกลั่นที่อุณหภูมิไม่เกิน 78 °C นำตัวอย่างที่ได้จากการกลั่นไปวิเคราะห์แอลกอฮอล์โดยเติมน้ำกลั่น (แบบกลั่น) หรือตัวอย่างที่กลั่นได้ 25.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ 5.0 มิลลิลิตร ผสมสารให้เข้ากัน ปิดจุกแล้วเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ 12.5 มิลลิลิตร และน้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 3 หยด (อินดิเคเตอร์) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ จนถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นไม่มีสี) (ดัดแปลงมาจาก Kenya Bureau of Standards, 2015) จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณปริมาณแอลกอฮอล์ ดัง Equation 5

$$\text{Aldehyde content (g / L)} = \frac{0.0011 \times 2 \times (B - A) \times 1,000}{V_1} \quad (5)$$

Where; 1 mL of standard thiosulfate solution = 0.0011 g of acetaldehyde

A = Volume of standard thiosulfate solution used in titration (blank)

B = Volume of standard thiosulfate solution used in titration (sample)

V_1 = Concentration of alcohol in distilled sample (% v/v)

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้ไวน์อมิเตอร์

นำตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในไวน์อมิเตอร์รอให้ตัวอย่างหยุดลง 2 หยด แล้วพลิกไวน์อมิเตอร์คว่ำลง แล้วอ่านค่าปริมาณแอลกอฮอล์เป็นร้อยละโดยปริมาตรจากขีดสีขาว ณ จุดที่หยุดไหล (A-kara *et al.*, 2015)

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรม IBM SPSS 23 ช่วยในการคำนวณ

ผลการทดลองและวิจารณ์

จุลนาศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ

การเปรียบเทียบชนิดของน้ำตาลที่ส่งผลต่อกลไกการหมักไวน์ส้มเกลี้ยง ด้วยการใช้น้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยีสต์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้น แสดงได้ดัง Figure 1

จาก Figure 1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ในแต่ละช่วงระยะเวลาได้ดังนี้

ช่วงเวลาที่ 0 - 2 มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเชื้อยีสต์ และแอลกอฮอล์ของน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่เชื้อยังอยู่ในสภาวะปรับตัวกับอาหารใหม่ จึงยังไม่มี การเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ ส่งผลให้มีการใช้น้ำตาลน้อย และมีการผลิตแอลกอฮอล์ที่น้อย (ระยะ lag phase) ช่วงเวลาที่ 2 - 32 (น้ำตาลอ้อย และน้ำตาลมะพร้าว) และ 2 - 36 (น้ำตาลทรายขาว) มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเชื้อยีสต์ และแอลกอฮอล์เป็นอย่างมาก โดยที่น้ำตาลอ้อย และน้ำตาลมะพร้าว มีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ค่อนข้างมากสำหรับนำไปผลิตเซลล์ยีสต์และแอลกอฮอล์ โดยน้ำตาลอ้อยมีแนวโน้มของการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่มากกว่าน้ำตาลมะพร้าว แต่มีแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนเซลล์ที่น้อยกว่า

ซึ่งน้ำตาลทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการผลิตแอลกอฮอล์ที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เกิดจากการย่อยสลายน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลโมเลกุลคู่ซึ่งไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์) ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส (น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์) ด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทสที่ยีสต์ผลิตขึ้น ซึ่งในช่วงเริ่มต้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่น้อย เนื่องจากน้ำตาลซูโครสถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในปริมาณที่น้อย โดยที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงเริ่มต้นมีเพียงน้ำตาลฟรุกโทสที่อยู่ในน้ำส้ม และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดจากขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อ แต่เมื่อเวลาผ่านไปมีปริมาณเชื้อยีสต์เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้มีเอนไซม์อินเวอร์เทสเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Horiuchi *et al.* (2002) ที่รายงานว่า ในช่วงการหมักไวน์เพื่อผลิตน้ำส้มสายชูจากหมักหัวใหญ่ด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* IR-2 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส เพิ่มขึ้นในช่วงการหมัก 0 - 24 ชั่วโมง ก่อนลดลงตามระยะเวลาการหมัก เนื่องจากยีสต์ผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส หากดูแนวโน้มแล้วพบว่า น้ำตาลอ้อยใช้น้ำตาลเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ที่อัตราสูงกว่าน้ำตาลมะพร้าว จึงเป็นไปได้ว่าน้ำตาลอ้อยเหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์มากกว่าน้ำตาลมะพร้าว อาจเนื่องมาจาก น้ำตาลอ้อยมีแหล่งแร่ธาตุและวิตามินที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ จึงทำให้เชื้อยีสต์สามารถใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ในขณะที่น้ำตาลมะพร้าวเหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตเซลล์ยีสต์ สำหรับน้ำตาลทรายขาวมีแนวโน้มของการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่น้อยกว่าน้ำตาลอ้อยและน้ำตาลมะพร้าว แต่ผลิตมวลเซลล์ได้ใกล้เคียงกับน้ำตาลอ้อย (น้อยกว่าน้ำตาลมะพร้าว) รวมทั้ง มีแนวโน้มของการผลิตแอลกอฮอล์ที่สูงกว่าน้ำตาลอีกสองชนิด ดังนั้น หากดูความสัมพันธ์จาก Figure 1 น้ำตาลทรายขาวเป็นน้ำตาลที่มีอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่น้อย แต่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ค่อนข้างมาก

ช่วงโม่งที่ 32 - 96 (น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลมะพร้าว) และ 36 - 72 (น้ำตาลทรายขาว) มีการลดลงของปริมาณเชื้อยีสต์และน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงมาก แต่ปริมาณแอลกอฮอล์คงที่ โดยที่น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลมะพร้าวมีแนวโน้มของการลดลงของเซลล์ยีสต์มากกว่าน้ำตาลทรายขาว สัมพันธ์กับน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงอย่างมากเช่นกัน สำหรับน้ำตาลทรายขาวยังคงมีน้ำตาลรีดิวซ์เหลืออยู่มากกว่า ส่งผลให้เซลล์ลดลงอย่างช้า ๆ การลดลงของเซลล์ยีสต์อาจเนื่องมาจาก ปริมาณแอลกอฮอล์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากกระบวนการที่ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งโดยทั่วไปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหมัก มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ ซึ่งถ้าหากมีน้ำตาลเหลืออยู่หลังกระบวนการหมัก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำตาลกลายเป็นสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระ ซึ่งเป็นสารคงตัว มีคุณสมบัติในเรื่องของการป้องกันแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่พึงประสงค์ในไวน์ และรักษาคุณภาพของไวน์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chandra *et al.* (2015) พบว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำหมักส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตายของเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* มากกว่าปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น หากมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่น้อย (< 8 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่มีปริมาณเอทานอลที่มาก (> 12 ร้อยละโดยปริมาตร) ไม่มีผลต่อการตายของเซลล์ยีสต์ แต่หากมีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สูง (> 32 มิลลิกรัมต่อลิตร) เชื้อยีสต์จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต

ช่วงโม่งที่ 96 - 120 (น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลมะพร้าว) และ 72 - 120 (น้ำตาลทรายขาว) มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์เล็กน้อยแต่ส่งผลให้ปริมาณเซลล์ยีสต์ลดลงเพิ่มขึ้น โดยในน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลทรายขาวยังคงมีน้ำตาลรีดิวซ์เหลือในน้ำหมักที่ค่อนข้างมาก แต่น้ำตาลอ้อยไม่เหลือน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำหมัก ซึ่งเป็นไปได้ว่าเชื้อยีสต์ในน้ำตาลอ้อยใช้แหล่งคาร์บอนจากการสลายของเซลล์ยีสต์ที่ตายไป มาเป็นขั้วสเตรทในอาหารขึ้นมาใหม่อีกครั้งในการผลิตแอลกอฮอล์ (Kijjanapanich, 2006)

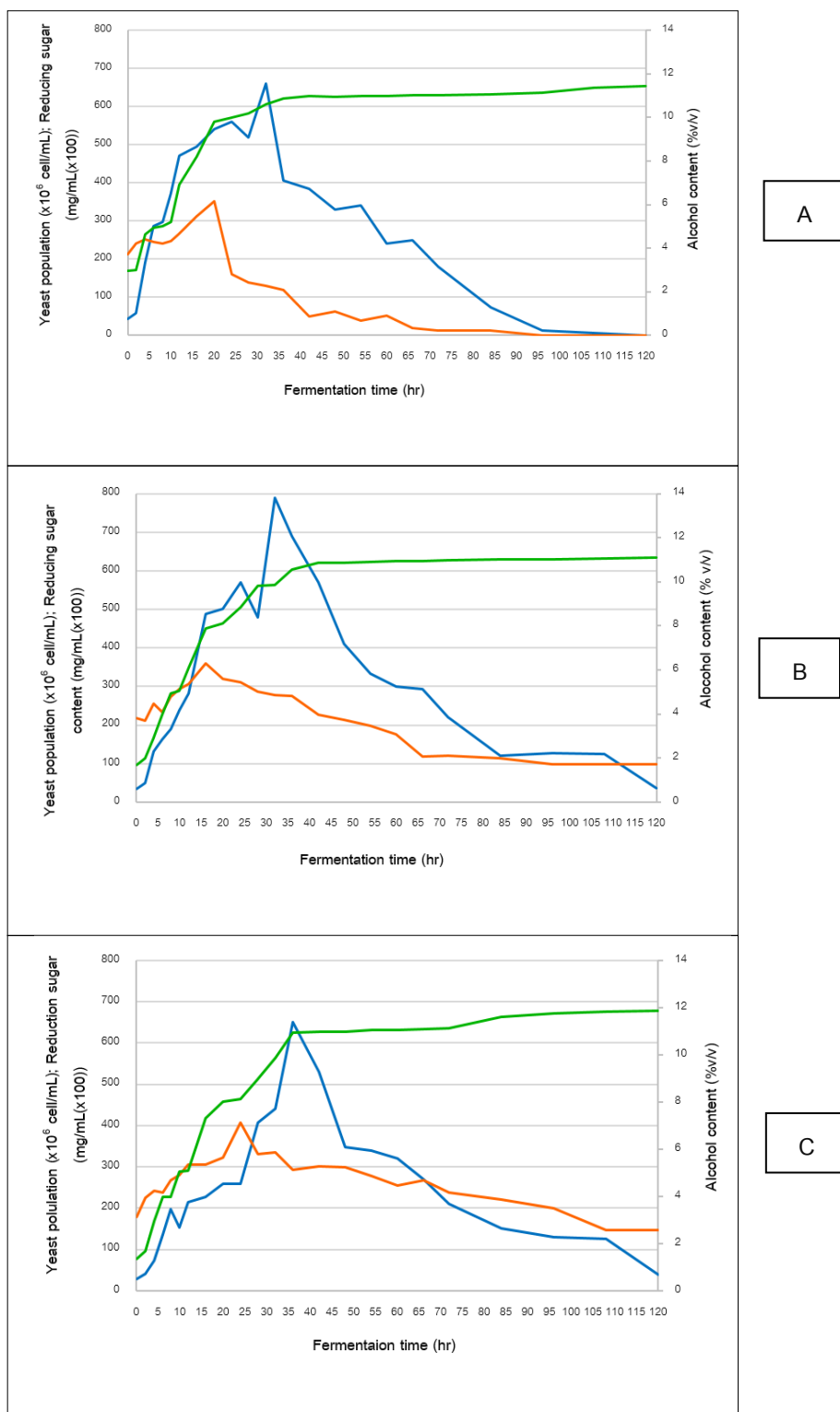


Figure 1. Kinetic curve of orange wine fermentation using various sucrose types
A. Cane sugar, B. Coconut sugar, C. Refined sugar

ค่าจลนศาสตร์การหมักแบบแบทช์ของไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ

จากผลการทดลองกลไกการหมักไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งซูโครสชนิดต่าง ๆ สามารถนำค่าปริมาณเซลล์ยีสต์ น้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ในช่วงระยะ Log phase ของน้ำตาลแต่ละชนิด มาคำนวณค่าจลนศาสตร์การหมักแบบแบทช์ได้ดัง Table 1 จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (μ) คือ ค่าที่แสดงถึงการเจริญของยีสต์ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เซลล์ยีสต์ในอาหาร 1 มิลลิเมตร จะสามารถเจริญเติบโตได้จำนวน 1 เซลล์ ซึ่งถ้าค่า μ มาก แสดงว่า เซลล์ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดี และย่อมจะผลิตแอลกอฮอล์ที่สูงตามไปด้วย พบว่า น้ำตาลทรายขาวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด เนื่องจาก มีค่า μ มากที่สุด เท่ากับ $0.9114 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ ลำดับต่อมาเป็นน้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลอ้อย มีค่าเท่ากับ 0.5928 และ $0.2382 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2004) ได้ศึกษาจลนศาสตร์การหมักไวน์แอปเปิลของน้ำตาลที่แตกต่างกันโดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ เท่ากับ $0.0887 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$

ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (t_d) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงเวลาที่เซลล์ยีสต์ ใช้ระยะเวลาในการแบ่งเซลล์ ซึ่งถ้าค่า t_d น้อย แสดงว่าเซลล์ยีสต์ใช้ระยะเวลาที่น้อยในการเพิ่มจำนวน พบว่า น้ำตาลทรายขาว ใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ น้อยที่สุดเท่ากับ 0.7604 ชั่วโมง ลำดับต่อมาเป็นน้ำตาล

มะพร้าว ใช้ระยะเวลา เท่ากับ 1.1690 และน้ำตาลอ้อย เท่ากับ 2.9096 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลได้ของเซลล์จากสารอาหาร ($Y_{x/s}$) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการใช้สารอาหารโดยเซลล์ยีสต์แล้วผลิตมวลเซลล์ยีสต์ขึ้น ซึ่งถ้า $Y_{x/s}$ มีค่ามาก แสดงว่ายีสต์ใช้แหล่งอาหารเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ได้มาก พบว่า น้ำตาลมะพร้าวมีค่า $Y_{x/s}$ มากที่สุด เท่ากับ 3.6123 กรัมของเซลล์ต่อกรัม น้ำตาล ลำดับต่อมาเป็นน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลอ้อย เท่ากับ 3.4234 และ 0.5394 กรัมของเซลล์ต่อกรัม น้ำตาล ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2004) ได้ศึกษา จลนศาสตร์การหมักไวน์แอปเปิลของน้ำตาลที่แตกต่างกันโดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า ผลได้ของเซลล์จากสารอาหาร เท่ากับ 0.2061 กรัมของเซลล์ต่อกรัม น้ำตาล

ผลได้ของผลิตภัณฑ์ ($Y_{p/s}$) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการที่เซลล์ยีสต์ใช้น้ำตาลเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ (แอลกอฮอล์) ซึ่งถ้าค่า $Y_{p/s}$ มีค่ามาก แสดงว่า ได้แอลกอฮอล์ที่มาก พบว่า น้ำตาลทรายขาวมีค่า $Y_{p/s}$ มากที่สุด เท่ากับ 2.4492 กรัมเอทานอลต่อกรัม น้ำตาล ลำดับต่อมาเป็นน้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลอ้อย มีค่าเท่ากับ 2.3848 และ 0.3617 กรัมเอทานอลต่อกรัม น้ำตาลตามลำดับ จากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2004) ได้ศึกษา จลนศาสตร์การหมักไวน์แอปเปิลของน้ำตาลที่แตกต่างกันโดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า ผลได้ของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 5.6637 กรัมเอทานอลต่อกรัม น้ำตาล และงานวิจัยของ Phowchinda and Dingsawat (2002) ได้ศึกษา จลนพลศาสตร์ของ

Table 1. Parameters of kinetic fermentation of sweet orange wine products using different sources of sugar

Kinetic and yield parameters	Units	Cane sugar	Coconut sugar	Refined sugar
Specific growth rate (μ)	h^{-1}	0.2382 ± 0.02^c	0.5928 ± 0.04^b	0.9114 ± 0.01^a
Doubling time (t_d)	h	2.9096 ± 0.12^a	1.1690 ± 0.15^b	0.7604 ± 0.09^c
Growth yield coefficient ($Y_{x/s}$)	g/g	0.5394 ± 0.07^b	3.6123 ± 0.10^a	3.4234 ± 0.05^a
Product yield coefficient ($Y_{p/s}$)	g/g	0.3617 ± 0.01^b	2.3848 ± 0.05^a	2.4492 ± 0.03^a

Data are expressed as mean $\pm$ standard deviation, $n = 3$; Mean values with the same lowercase superscript letter of different sucrose types are not significantly different ($P > 0.05$)

การหมักไวน์กล้วยหอมโดยยีสต์ *Saccharomyces ellipsoideus* TISTR 5011 พบว่า ผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.44 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาล

จากค่าจลนศาสตร์การหมัก สามารถสรุปได้ว่า น้ำตาลทรายขาวเป็นน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* และการผลิตแอลกอฮอล์ เนื่องจาก น้ำตาลทรายขาวมีอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ที่มากกว่าน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด โดยเทียบจากค่าของอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีค่ามากที่สุด ($0.9114 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$) และค่าระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีค่าน้อยสุด (0.7604 ชั่วโมง) ซึ่งค่าทั้ง 2 มีค่าสัมพันธ์กัน และการใช้สารอาหารในการผลิตแอลกอฮอล์ (ผลิตภัณฑ์) จะเห็นได้ว่า ยีสต์ใช้สารอาหารจากน้ำตาลทรายขาวได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุด (2.4492 กรัม

เอทานอลต่อกรัมน้ำตาล) จากข้อมูลสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกแหล่งของน้ำตาลซูโครสควบคู่กับคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงในขั้นตอนต่อไป

เปรียบเทียบคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ผลิตโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่างๆ

คุณภาพทางกายภาพของไวน์ส้มเกลี้ยง

จากการศึกษาคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาลอ้อย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลมะพร้าว (Figure 2) โดยทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประกอบด้วยเพศชาย 12 คน และเพศหญิง 18 คน อายุโดยเฉลี่ยเท่ากับ 43 ± 9 ปี ซึ่งผลการประเมินคุณภาพในด้านต่าง ๆ มีรายละเอียดดัง Table 2 และ Figure 3



Figure 2. Sweet orange wine products using various sources of sugar

A. Cane sugar, B. Coconut sugar, C. Refined sugar

Table 2. Sensory analysis of sweet orange wine products using different sources of sugar

Data are expressed as mean $\pm$ standard deviation, $n = 30$; Mean values with the same lowercase superscript letter of the same sucrose types are not significantly different ($P > 0.05$)

Appearance: 0 = Objectionable, 1 = Poor, 2 = Good, 3 = Excellent

Sucrose sources	Wine evaluation chart					Total score (20 scores)
	Appearance	Aroma/Bouquet	Aftertaste	Overall impression	Taste / Texture	
	(3 scores)	(6 scores)	(3 scores)	(2 scores)	(6 scores)	
Cane sugar	1.6 ± 0.935^c	4.1 ± 1.668^a	1.5 ± 0.973^b	0.7 ± 0.739^b	4.1 ± 1.446^b	12.0 ± 3.991^b
Coconut sugar	2.3 ± 0.836^a	4.1 ± 1.436^a	2.2 ± 0.746^a	1.2 ± 0.592^a	4.8 ± 1.165^a	14.5 ± 2.933^a
Refined sugar	2.0 ± 0.850^b	3.6 ± 1.633^a	1.5 ± 0.937^b	0.7 ± 0.691^b	4.0 ± 1.438^b	11.8 ± 3.623^b

Aroma/Bouquet: 0 = Objectionable, 1 = Poor, 2 = Deficient, 3 = Acceptable, 4 = Good, 5 = Excellent, 6 = Extradiordinary

Aftertaste: 0 = Objectionable, 1 = Poor, 2 = Good, 3 = Excellent

Overall impression: 0 = Poor, 1 = Good, 2 = Excellent

Taste/Texture: 0 = Objectionable, 1 = Poor, 2 = Deficient, 3 = Acceptable, 4 = Good, 5 = Excellent, 6 = Extradiordinary

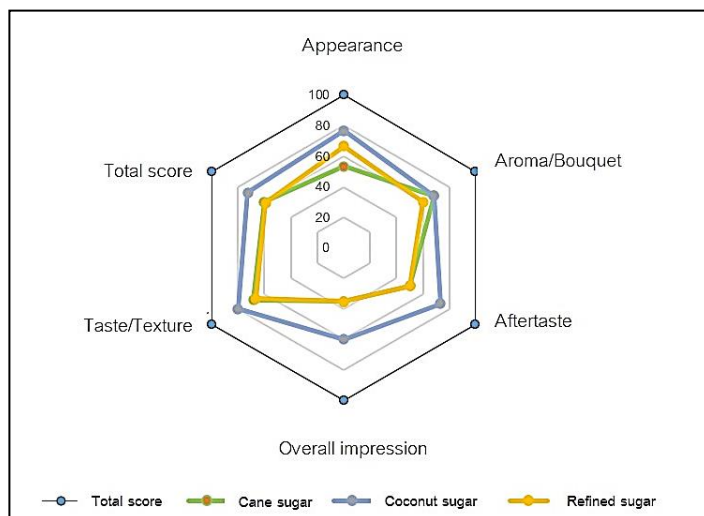


Figure 3. Sensory analysis of sweet orange wine products using 3 sucrose sources

จากข้อมูลใน Table 2 สามารถนำเสนอเป็นแผนภาพได้ดัง Figure 3 โดยคะแนนเฉลี่ยรวมของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไวน์ส้มเกลี้ยงเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลอ้อย และน้ำตาลทรายขาว โดยมีค่าเท่ากับ 14.5, 12.0 และ 11.8 คะแนน ตามลำดับ โดยน้ำตาลมะพร้าวมีคะแนนเฉลี่ยรวมแตกต่างจากน้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ น้ำตาลอ้อย และน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเฉลี่ยรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยเมื่อพิจารณารายละเอียดของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในแต่ละด้านสามารถอธิบายได้ดังนี้

สีของไวน์ส้มเกลี้ยง มีคะแนนเฉลี่ยรวมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลอ้อย โดยมีค่าเท่ากับ 2.3, 2.0 และ 1.6 คะแนน ตามลำดับ โดยน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลอ้อย มีคะแนนเฉลี่ยรวมแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ซึ่งน้ำตาลมะพร้าวมีคะแนนเฉลี่ยรวมสีของไวน์มากที่สุด คือ มีสีใสตามธรรมชาติของไวน์ สำหรับน้ำตาลอ้อยซึ่งมีคะแนนน้อยสุด คือ มีตะกอน สีไม่เป็นธรรมชาติ เนื่องจาก น้ำตาลอ้อยมีสีน้ำตาลเข้มทำให้ไวน์มีสีเข้มและไม่เป็นไปตามสีธรรมชาติของไวน์ส้มเกลี้ยง

ความสมดุลของกลิ่นหอมของส้ม น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลอ้อยมีคะแนนเท่ากัน คือ 4.1 คะแนน ซึ่งมีกลิ่นหอมของส้มค่อนข้างมาก และน้ำตาลทรายขาว มีค่าเท่ากับ 3.6 คะแนน คือ กลิ่นหอมของส้มอยู่ระหว่างปานกลาง ถึงค่อนข้างมาก โดยน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนเฉลี่ยรวมที่ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ดังนั้น ชนิดของน้ำตาลไม่ส่งผลต่อความสมดุลของกลิ่นหอมของไวน์ส้มเกลี้ยง

กลิ่นและรสชาติที่หลงเหลือค้างในปาก น้ำตาลมะพร้าว มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.2 คะแนน ซึ่งหมายถึงมีกลิ่นและรสชาติที่หลงเหลือค้างในปากเป็นที่น่าพึงพอใจ ส่วนน้ำตาลอ้อย และน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเท่ากัน คือ 1.5 คะแนน ซึ่งหมายถึง มีกลิ่นและรสชาติที่หลงเหลือค้างในปากค่อนข้างน้อย โดยน้ำตาลมะพร้าวมีคะแนนเฉลี่ยรวมแตกต่างจากน้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาว ($P \leq 0.05$) แต่ น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเฉลี่ยรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) เนื่องจาก น้ำตาลมะพร้าวเป็นน้ำตาลที่ได้จากธรรมชาติ มีความหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ให้รสชาติกลมกล่อม ไม่หวานแหลมเหมือนน้ำตาลชนิดอื่น

ความพึงพอใจในคุณภาพ น้ำตาลมะพร้าว มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.2 คะแนน ซึ่งหมายถึง คุณภาพที่ยอมรับได้ น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเท่ากัน คือ มีค่าเท่ากับ 0.7 คะแนน ซึ่งหมายถึง

อยู่ระหว่างไม่มีลักษณะของความเป็นไวน์กับคุณภาพที่ยอมรับได้ โดยค่อนไปทางคุณภาพที่ยอมรับได้ โดยน้ำตาลมะพร้าวมีคะแนนเฉลี่ยรวมแตกต่างจากน้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาว ($P \leq 0.05$) แต่ น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเฉลี่ยรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) เนื่องจาก น้ำตาลมะพร้าว มีสีสวย รสชาติมีความละมุน กลมกล่อม มีความสมดุลของแรงแอลกอฮอล์และความหวาน

รสชาติของไวน์ มีคะแนนเฉลี่ยรวมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลอ้อย และน้ำตาลทรายขาว โดยมีค่าเท่ากับ 4.8, 4.1 และ 4.0 คะแนน ตามลำดับ โดยน้ำตาลมะพร้าวมีคะแนนเฉลี่ยรวมแตกต่างจากน้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาว ($P \leq 0.05$) แต่ น้ำตาลอ้อยและน้ำตาลทรายขาวมีคะแนนเฉลี่ยรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) รสชาติไวน์สัมผัสยิ่งที่ใช้น้ำตาลมะพร้าว อยู่ระหว่างมีความสมดุลของรสชาติ แต่ไม่บ่งบอกถึงชนิดของไวน์ได้ กับมีความสมดุลของความเป็นกรด ความหวาน และปริมาณแอลกอฮอล์ และบ่งบอกชนิดของผลไม้ได้ โดยค่อนไปทางมีความสมดุลของความเป็นกรด ความหวาน และปริมาณแอลกอฮอล์ และบ่งบอกชนิดของผลไม้ได้ สำหรับน้ำตาลอ้อย และน้ำตาลทรายขาวมีความสมดุลของรสชาติแต่ไม่บ่งบอกถึงชนิดของไวน์ได้

คุณภาพทางเคมีของไวน์สัมผัส

จากการนำไวน์สัมผัสยิ่งที่ใช้แหล่งน้ำตาลชูโครสที่ต่างกัน 3 ชนิด มาวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ (ในที่นี้คือการวิเคราะห์ปริมาณเอซิทลิตไฮด์) และแอลกอฮอล์ หลังจากการบ่ม 30 วัน เพื่อแสดงคุณภาพ

ทางเคมีตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ (TISI 2089-2544) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไวน์ผลไม้ (TCSP 2/2546) ได้ผลดัง Table 3

จากตารางข้างต้น พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ของน้ำตาลอ้อย น้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลทรายขาว เท่ากับ 52.27, 82.68 และ 67.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแปรผกผันกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.33, 8.87 และ 9.87 โดยปริมาตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่า น้ำตาลมะพร้าวมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดในขณะที่มีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุด และน้ำตาลอ้อยมีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุดในขณะที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูง ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยทั่วไป ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสหรือฟรุคโทสไปเป็นแอลกอฮอล์ โดยแอลกอฮอล์ถูกเปลี่ยนมาจากเอซิทลิตไฮด์ (แอลดีไฮด์) ดังนั้น หากมีปริมาณแอลดีไฮด์ที่สูง แสดงว่าน้ำตาลถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลได้น้อย (Chamchaichaowiwat, 2015; Siripoke, 2012) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewdang (1997) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลในการหมักและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการบ่มไวน์หม่อน โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ Montrachet และ ยีสต์สายพันธุ์ Burgundy เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่า ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 8.1 และ 7.9 โดยปริมาตร และปริมาณแอลดีไฮด์เท่ากับ 25.52 และ 30.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และงานวิจัยของ Pongsayarm (2004) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ การแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

Table 3. Aldehyde and alcohol contents of sweet orange wine using different sucrose sources

Sucrose sources	Aldehyde (mg / L)	Alcohol (% v / v)
Cane sugar	52.27 ± 0.052 ^c	9.3 ± 0.101 ^a
Coconut sugar	82.68 ± 0.087 ^a	8.9 ± 0.111 ^b
Refined sugar	67.61 ± 0.102 ^b	9.9 ± 0.098 ^a

Data are expressed as mean ± standard deviation, n = 3; Mean values with the same lowercase superscript letter of different sucrose types are not significantly different ($P > 0.05$)

และไวน์หม่อนควบคุม พบว่า ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ ร้อยละ 10.42, 11.03 และ 11.27 โดยปริมาตร และปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 60.72, 40.48 และ 29.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยทั้งสองสามารถยืนยันได้ว่า ปริมาณแอลกอฮอล์แปรผกผันกับปริมาณแอลกอฮอล์โดยทั่วไป แอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นอันตรายต่อร่างกาย หากมีปริมาณแอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูง จะส่งผลให้เกิดจากอาการเมาค้าง (คลื่นไส้ อาเจียน สับสน มึนงง และปวดหัว เป็นต้น) (Mello *et al.*, 2008) ทั้งนี้ ปริมาณแอลกอฮอล์ของไวน์ส้มเกลี้ยงที่หมักโดยใช้น้ำตาลทั้ง 3 ชนิด เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน TISI. 2089 - 2544 ที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ไวน์ผลไม้มีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร

สรุป

ผลของจุลินศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยง โดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสต่างกัน พบว่า เชื้อยีสต์ของน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในเวลาใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะ lag phase ระยะ log phase และระยะ death phase น้ำตาลรีดิวซ์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะ lag phase ถึง log phase และลดลงในช่วงระยะ death phase สำหรับแอลกอฮอล์สามารถตรวจวัดได้ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะ log phase จากนั้น เริ่มคงที่ในระยะ death phase จากค่าจุลินศาสตร์การหมักไวน์ส้มเกลี้ยงฯ พบว่า น้ำตาลทรายขาว เป็นน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* และการผลิตแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ผลได้ของผลิตภัณฑ์ และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด ผลของคุณภาพของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ผลิตโดยใช้แหล่งของน้ำตาลซูโครสต่างกัน พบว่า คุณภาพทางกายภาพ ซึ่งทดสอบด้วยวิธีการยอมรับทางประสาทสัมผัส ค่าการยอมรับโดยเฉลี่ยของไวน์ที่ใช้น้ำตาลมะพร้าว ได้รับคะแนนสูงที่สุด (14.5 คะแนน)

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า แหล่งน้ำตาลซูโครสที่ส่งผลให้คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไวน์ส้มเกลี้ยงที่ดีที่สุด คือ น้ำตาลมะพร้าว

เอกสารอ้างอิง

- A-kara, N., N. Boonmak, and A. Pakdeeto. 2015. Palm juice mixed with Black Galingale Wine Fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049^T and Yeasts Isolated from Toddy. *Prawarun Agriculture Journal* 12(1): 41-48. (in Thai)
- American Wine Society. 2011. Wine evaluation chart. American Wine Society, Englewood, OH.
- Bureau of Nutrition. 2001. Orange nutrition compositions. Bureau of Nutrition Department of Health, Bangkok. (in Thai)
- Chandra, M., I. Oro, S. Ferreira-Dias and M. Malfeito-Ferreira. 2015. Effect of ethanol, sulfur dioxide and glucose on the growth of wine spoilage yeasts using response surface methodology. *PLoS ONE* 10(6): e0128702, doi: 10.1371/journal.pone.0128702.
- Chamchaichoawiwat, A. 2015. Yeast and Yeast Technology. Kao Thai Advertising and Printing, Bangkok. (in Thai)
- Horiuchi, J., M. Narumi, K. Tada, M. Kobayashi, T. Kanno and T. Suzuki. 2002. A shaking bioreactor equipped with twin ceramic membranes for acetic acid production using *Acetobacter pasteurianus*. *Biotechnology Letters* 24: 1987-1991.
- Kaewdang, S. 1997. Factors affecting fermentation and chemical change on mellowing mulberry *Morus alba* wine. M.S. Thesis. Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- Keaysa, S. 2011. Characterization of fructosyltransferase extracted from *Ierusalem*

-
- artichoke* for fructooligosaccharides production. M.S. Thesis. Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Kenya Bureau of Standards. 2015. Alcoholic beverages-Methods of sampling and test. Kenya Bureau of Standard, Nairobi.
- Kijjanapanich, P. 2006. Fermentation. 2nded. Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai. 56p. (in Thai)
- Mello, T., E. Ceni, C. Surrenti and A. Galli. 2008. Alcohol induced hepatic fibrosis: Role of acetaldehyde. *Molecular Aspects of Medicine* 29: 17-21.
- Nampichai, P. 2017. Study of sweet orange wine. Cooperative Education Research Project Report. Program of Food Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. 25p. (in Thai)
- Phowchinda, O. and U. Dingsawat. 2002. Fermentation kinetics of banana wine by *Saccharomyces ellipsoideus* TISTR 5011. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Central Library, Bangkok. (in Thai)
- Pongsayarm, P. 2004. Application of concentration methods in mulberry (*Morus alba* L.) wine making. M.S. Thesis. Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- Siripoke, S. 2012. Industrial Microbiology. Bangkok Auxiliary Media Center, Bangkok. 298p. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2001. Thai industrial product standard of wine (TISI 2089-2544). (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2003. Thai community product standard of fruit wine (TCSP 2/2546). (in Thai)
- Wanichsan, D., N. Ninchawee, T. Rattanakom and P. Kongjuk. 2015. An algorithm for Hemocytometer Cell counting based on Image Processing Technique and DBSCAN. *Information Technology Journal* 11(2): 56-61. (in Thai)
- Wang, D., Y. Xu, J. Hu, and G. Zhao. 2004. Fermentation kinetics of different sugars by apple wine yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the Institute of Brewing* 110(4): 340-346.
-