วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2565 | Vol.3 No.2 May – August 2022

Received: April 21, 2022; Revised: August 2, 2022; Accepted: August 6, 2022

การพัฒนาการผลิตไวน์จากข้าวโพดโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae*

Development of corn wine production using *Saccharomyces cerevisiae*

อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี[1*] ฐายิกา อินแมน[1] ปฐมาภรณ์ ทิลารักษ์[1] คมสันต์ สุป้อง[1]
พิริยาภรณ์ อันอาตม์งาม[1] ยุพา บุญมี[1] และดุสิต ศรีวิไล[1]

Amornrat Suwanposri[1*], Thayiga Inman[1], Patamaporn Tilarux[1], Khomsan Supong[1],
Piriyaporn Anartngam[1], Yupha Boonmee[1] and Dusit Srivilai[1]

[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

[*]Corresponding Author E-mail Address : amornrat_su@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไวน์จากข้าวโพด 2 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดหวาน (*Zea mays saccharata*) และข้าวโพดข้าวเหนียว (*Zea mays ceratina*) ตกเกรดที่มีราคาตกต่ำมาใช้ในการผลิตไวน์โดยการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* จากนั้นศึกษาหาสายพันธุ์ของยีสต์และสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณกล้าเชื้อ อัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำ ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก วิเคราะห์ผลโดยใช้การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี Hedonic 5-point scale พบว่า สายพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวคือ *S. cerevisiae* var. *burgundy* และ *montachae* ตามลำดับ โดยทั้งสองสายพันธุ์นั้นให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใกล้เคียงกัน และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ทั้งสองชนิด คือ ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10 อัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำ 1:4 ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ และระยะเวลาในการหมัก 5 วัน ภาพรวมของไวน์ทั้งสองชนิดได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าไวน์ข้าวโพดหวาน จากผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าทั้งข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ได้และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวโพด

คำสำคัญ: ข้าวโพด ไวน์ การทดสอบทางประสาทสัมผัส ยีสต์

Abstract

The aims of this study were to produce wine using two types of corn including sweet corn (*Zea mays saccharate*) and waxy corn (*Zea mays ceratina*) with low quality and price for wine production by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Then, yeast strain and optimal conditions such as concentration of seed culture, ratio of corn juice and water, total soluble solid and fermentation time were optimized. The results were

determined by sensory evaluation on transparency, color, odor, flavor and overall acceptable using hedonic 5-point scale. It was found that the optimal yeast strain for sweet corn wine and waxy corn wine were *S. cerevisiae* var. *burgundy* and *montachae*, respectively. Both yeast strains gave the similar amount of alcohol and the optimal conditions for both wines were 10% of seed culture, mixed volume of corn juice and water at ratio of 1:4, initial total soluble solid of 22 °Brix and five days of fermentation time. The overview of both wines was obtained liking score in a rage of like moderately to like very much. The obtained liking scores of waxy corn wine were better than sweet corn wine. As the results indicated that, both sweet corn and waxy corn could be used as raw material for winemaking and as an alternative way to add value to corn.

Keywords: Corn, Wine, Sensory evaluation, Yeast

บทนำ

ไวน์ (Wine) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านการกลั่นเกิดจากการนำยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* มาหมักกับองุ่นสุกและสดหรือน้ำองุ่นสด ซึ่งยีสต์จะใช้น้ำตาลที่อยู่ในผลไม้ในการเจริญเติบโตแล้วเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปัจจุบันมีการนำผลไม้ชนิดอื่นมาผลิตไวน์ ได้แก่ มะเม่า สับปะรด ลิ้นจี่ และส้มเขียวหวาน (รัฐพล และเสาวรส, 2558) เรียกว่า ไวน์ผลไม้ (Fruit wine) นอกจากนี้ผักและดอกไม้บางชนิดก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตไวน์ได้ เช่น มะเขือเทศ แครอท บัว ดาวเรือง และรักเร่ เป็นต้น (Suresh et al., 2019) ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่มีรสชาติเหมือนผลไม้สด ประกอบด้วยสารอาหารที่มาจากผลไม้หรือวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาใช้ในการผลิตไวน์ ในระหว่างกระบวนการหมัก คุณค่าทางโภชนาการของไวน์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากยีสต์จะมีการปลดปล่อยกรดอะมิโนและสารอาหารอื่น ๆ ออกมา ซึ่งไวน์ผลไม้จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ ร้อยละ 8 - 10 โดยปริมาตร และน้ำตาล ร้อยละ 2 - 3 ให้พลังงานตั้งแต่ 70 - 90 กิโลแคลอรีต่อไวน์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (Swami et al., 2014) ในไวน์มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต คีโตน (Ketone) แอลดีไฮด์ (Aldehyde) สารให้สี (Pigment) เอนไซม์ (Enzyme) กรดอินทรีย์ (Organic acid) มากกว่า 22 ชนิด วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ประมาณ 15 - 20 ชนิด รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ชะลอความแก่ และช่วยลดการเกิดโรคลำไส้แปรปรวน (Carlo et al., 1999) หากบริโภคไวน์ในปริมาณที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย จากข้อดีของไวน์ที่กล่าวมาทำให้มีปริมาณการบริโภคไวน์ในไทยสูงขึ้น มีปริมาณการบริโภค 103.3 ล้านลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงสุดในกลุ่มประเทศอาเซียน ปัจจัยที่มีผลต่อกลิ่น รส และคุณภาพของไวน์ ได้แก่ สายพันธุ์ของยีสต์ ชนิดของวัตถุดิบ และระยะเวลาในการหมัก เป็นต้น

ข้าวโพด (Corn หรือ Maize) เป็นธัญพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย มี 7 ชนิด โดยข้าวโพดที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) ซึ่งเป็นพืชที่สามารถเพาะปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทยและปลูกได้ตลอดทั้งปี มีเนื้อที่เพาะปลูก 234,402 ไร่ ปริมาณผลผลิต 498,699 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) เป็นข้าวโพดที่นิยมปลูกและรับประทานฝักสดมากที่สุด เนื่องจากมีรสหวานอร่อย ไขมันต่ำ สามารถนำมาปรุงอาหารได้หลากหลายรูปแบบทั้งอาหารคาวและหวาน ข้าวโพดหวานต้มสามารถช่วยลดการเกิดโรคหัวใจและมะเร็งได้ มีสารต้านอนุมูลอิสระชื่อ กรดเฟอรูลิก (Ferulic acid) ซึ่งช่วยในการส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และข้าวโพดข้าวเหนียวหรือข้าวโพดเทียน (Waxy corn) เมล็ดมีสีขุ่นทึบแสง แป้งส่วนใหญ่จะเป็นอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) มากกว่า ร้อยละ 98 (สุขพงษ์ และธีรศักดิ์, 2543) เมื่อนำไปทำให้สุกเมล็ดจะมีลักษณะเหนียว

คล้ายขี้ผึ้ง นุ่ม น่ารับประทาน มีรสหวานเล็กน้อย และมีวิตามินอีสูง ซึ่งเป็นพืชที่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรเป็นอย่างมาก เนื่องจากดูแลรักษาง่าย อายุเก็บเกี่ยวสั้นและให้ผลตอบแทนค่อนข้างสูง ข้าวโพดข้าวเหนียวมีพื้นที่ปลูก 27,000 ไร่ ใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 50 ตัน โดยผลผลิตรวม 55,000 ตัน ซึ่งมีมูลค่า 385 ล้านบาท (สำราญ และคณะ, 2557) ในปัจจุบันมีการศึกษาการนำข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล (Bioethanol) เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดย Yangcheng et al. (2013) ศึกษาการผลิตไบโอเอทานอลจากข้าวโพดทั้งสองสายพันธุ์โดยใช้กระบวนการ Cold fermentation พบว่า การใช้ข้าวโพดข้าวเหนียวนั้นจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นเอทานอลร้อยละ 93.0 ซึ่งสูงกว่าการใช้ข้าวโพดหวานซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 88.2 นอกจากนี้ในงานวิจัยของ จิราภรณ์ และคณะ (2563) ได้นำข้าวโพดหวานมาใช้ในการผลิตไวน์เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำส้มสายชู ในช่วงที่เกิดการระบาดของโรคไวรัสโควิด-19 ทำให้ข้าวโพดหวานมีปริมาณล้นตลาด ราคาตกต่ำเหลือกิโลกรัมละ 3 - 5 บาท รวมถึงในการส่งข้าวโพดฝักสดไปที่โรงงานแปรรูปจะต้องมีการคัดเลือกข้าวโพดให้ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ของโรงงาน ซึ่งจะมีข้าวโพดบางส่วนที่ตกเกรดทำให้เกษตรกรต้องนำไปขายในราคาต่ำหรือนำไปทิ้ง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวโพดตกเกรดโดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ และทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของไวน์ เช่น สายพันธุ์ของยีสต์ อัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำ ปริมาณกล้าเชื้อ ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก เพื่อให้ได้ไวน์ที่มีคุณภาพและรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

จุลินทรีย์และวัตถุดิบ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* var *burgundy* และ *S. cerevisiae* var *montachae* ซึ่งได้มาจากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี โดยการเพาะเลี้ยงบนอาหารวุ้นเอียง Yeast malt (YM) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนข้าวโพดหวาน (*Zea mays saccharata*) และข้าวโพดข้าวเหนียว (*Zea mays ceratina*) ซื้อมาจากตลาดกระทิง จังหวัดจันทบุรี และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาครั้งต่อไป

การเตรียมกล้าเชื้อ

นำเชื้อยีสต์ทั้งสองสายพันธุ์มาเลี้ยงบนอาหารแข็ง YM บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นใส่เชื้อที่เจริญแล้วลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ภายในบรรจุน้ำสับปะรดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ซึ่งมีปริมาณของแข็งละลายได้เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.0 นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การเตรียมน้ำหมัก

นำข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวมาทำการปอกเปลือกออก จากนั้นดึงเกสรตัวเมียที่ติดอยู่กับฝักข้าวโพดที่มีเมล็ดออกให้หมด ล้างข้าวโพดให้สะอาด หั่นเอาแต่ส่วนเมล็ด นำไปปั่นผสมกับน้ำโดยปรับให้มีปริมาณของแข็งละลายเท่ากับ 20 องศาบริกซ์ ด้วยการเติมน้ำตาลทราย แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยการต้มให้เดือดนาน 15 นาที

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวแบบทีละปัจจัย (One factor at a time) ดัดแปลงจากการศึกษาของ Pongkan et al. (2018) โดยการแปรผันสายพันธุ์ของเชื้อยีสต์ (*S. cerevisiae* var

burgundy และ *montachae*) ปริมาณกล้าเชื้อ (ร้อยละ 1, 5, 10 และ 15) อัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำ (ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20) ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น (18, 20 และ 22 องศาบริกซ์) และระยะเวลาในการหมัก (3, 5 และ 7 วัน) วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณของแข็งละลาย ค่าความเป็นกรด - ด่าง และการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 20 คน แบ่งเป็นเพศชาย 10 คน เพศหญิง 10 คน ช่วงอายุ 20 - 50 ปี ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic 5-point scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ชอบน้อยที่สุด 2 คะแนน หมายถึง ชอบน้อย 3 คะแนน หมายถึง ชอบปานกลาง 4 คะแนน หมายถึง ชอบมาก และ 5 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของสายพันธุ์ยีสต์ที่ใช้ในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว โดยวิธี Independent student t-test ส่วนปัจจัยอื่น ๆ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS (Trial Version) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้เชื้อยีสต์ต่างสายพันธุ์

การผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สองสายพันธุ์ ได้แก่ *burgundy* และ *montachae* พบว่าไวน์ข้าวโพดหวานที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ทั้งสองสายพันธุ์นั้นมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.7 โดยปริมาตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.67 และปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าไวน์ข้าวโพดหวานที่หมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ *burgundy* ได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในเกือบทุกด้านสูงกว่าการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ *montachae* โดยมีคะแนนด้านความใสและสีสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 6.5 โดยปริมาตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.57 และปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ *montachae* ได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในทุกด้านสูงกว่าการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ *burgundy* โดยมีคะแนนด้านรสชาติสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 1) ดังนั้นจึงเลือกใช้ยีสต์สายพันธุ์ *burgundy* และ *montachae* สำหรับการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวในการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคของไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สองสายพันธุ์

ตัวอย่าง	คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	สายพันธุ์ยีสต์	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ไวน์ข้าวโพดหวาน	*montachae*	3.45±0.69	3.50±0.83	3.50±0.83^{ns}	2.90±0.79^{ns}	3.35±0.75^{ns}
	burgundy	4.10±0.64*	4.10±0.85*	3.45±1.05^{ns}	3.35±1.04^{ns}	3.75±0.91^{ns}
ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว	*montachae*	4.85±0.37^{ns}	4.20±0.77^{ns}	3.10±1.17^{ns}	4.15±0.49*	4.05±0.51^{ns}
	burgundy	4.70±0.47^{ns}	4.10±0.85^{ns}	2.60±1.27^{ns}	3.35±0.99	3.95±0.76^{ns}

หมายเหตุ : วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Independent student's t-test

สัญลักษณ์ * ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิด

ผลการศึกษาปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิด พบว่าไวน์ข้าวโพดหวานที่ใช้กล้าเชื้อร้อยละ 5 มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 9.0 โดยปริมาตร ส่วนในชุดการทดลองที่ใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10, 15 และ 20 มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ทุกชุดการทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่าง ลดลงเหลือ 3.63 และมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการหมักไวน์ข้าวโพดหวานโดยใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านของความใส สี และกลิ่น ในขณะที่การทดสอบด้านรสชาตินั้นพบว่า ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 20 ได้รับคะแนนสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10 และ 15 ส่วนในด้านความชอบโดยรวมพบว่าปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 15 ให้คะแนนสูงสุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10 และ 20 สำหรับผลการศึกษาปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว พบว่าการใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 5, 10 และ 15 มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 6.9 โดยปริมาตร ส่วนที่ใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 20 มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.7 โดยปริมาตร ทุกชุดการทดลองมีค่าความเป็นกรด - ด่าง ลดลงเหลือ 3.46 และมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการหมักไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านความใส สี กลิ่นและความชอบโดยรวม ในขณะที่การทดสอบด้านรสชาตินั้นพบว่าปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10 ได้รับคะแนนสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 15 และ 20 (ตารางที่ 2) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านของต้นทุนการผลิตจึงเลือกใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 10 สำหรับการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในการศึกษาปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตัวอย่าง	ปริมาณกล้าเชื้อ (ร้อยละ)	คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)				
		ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ไวน์ข้าวโพดหวาน	5	3.95±0.95^{ns}	3.35±0.99^{ns}	2.65±0.99^{ns}	2.40±1.10^{b}	2.65±0.99^{b}
	10	3.90±1.02^{ns}	3.40±0.99^{ns}	3.15±1.10^{ns}	3.25±1.07^{a}	3.25±1.07^{ab}
	15	4.05±0.95^{ns}	3.50±0.95^{ns}	2.90±1.17^{ns}	3.40±1.05^{a}	3.45±0.99^{a}
	20	3.85±1.04^{ns}	3.40±1.11^{ns}	3.30±1.08^{ns}	3.45±1.05^{a}	3.40±1.06^{a}
ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว	5	3.65±1.04^{ns}	3.25±1.13^{ns}	3.60±1.27^{ns}	2.85±1.14^{b}	3.25±1.02^{ns}
	10	3.75±0.91^{ns}	3.30±1.22^{ns}	3.45±1.15^{ns}	3.75±0.91^{a}	3.70±0.92^{ns}
	15	3.80±0.95^{ns}	3.60±1.10^{ns}	3.50±1.24^{ns}	3.60±0.10^{a}	3.70±0.92^{ns}
	20	3.80±0.95^{ns}	3.60±1.10^{ns}	3.40±1.23^{ns}	3.60±0.10^{a}	3.70±0.92^{ns}

หมายเหตุ : ^{a} และ ^{b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิด

จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำที่เหมาะสมในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว โดยการแปรผันอัตราส่วนน้ำข้าวโพดหวานหรือข้าวโพดข้าวเหนียวต่อน้ำเท่ากับ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 พบว่า ไวน์ข้าวโพดหวานที่หมักได้มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.7, 6.0, 9.0 และ 9.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ในทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 3.46 - 4.00 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานโดยใช้อัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำเท่ากับ 1:4 ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านความใส สี รสชาติ และความชอบโดยรวม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอัตราส่วน 1:3 ในขณะที่ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่หมักได้นั้นมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.6, 9.0, 9.0 และ 9.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 5 องศาบริกซ์ มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 3.45 - 3.70 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการผลิตไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้อัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำเท่ากับ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านความใส สี กลิ่น และความชอบโดยรวม แต่อัตราส่วน 1:4 นั้นให้คะแนนด้านรสชาติสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอัตราส่วน 1:3 (ตารางที่ 3) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตจึงเลือกใช้อัตราส่วนของน้ำข้าวโพดเท่ากับ 1:4 ในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในการศึกษาอัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตัวอย่าง	คะแนนการการยอมรับของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	อัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำ	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ไวน์ข้าวโพดหวาน	1:1	3.20±1.06^{c}	3.55±0.61^{b}	4.05±0.67^{a}	3.30±0.92^{b}	3.75±0.72^{ns}
	1:2	3.75±0.85^{b}	3.80±0.52^{b}	4.15±0.67^{a}	3.75±0.79^{ab}	4.05±0.61^{ns}
	1:3	4.60±0.50^{a}	4.40±0.50^{a}	3.75±0.72^{ab}	3.75±1.07^{ab}	4.20±0.62^{ns}
	1:4	4.60±0.50^{a}	4.45±0.69^{a}	3.45±0.76^{b}	4.00±1.12^{a}	4.20±0.70^{ns}
ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว	1:1	3.75±1.02^{ns}	3.50±1.19^{ns}	3.20±1.20^{ns}	2.10±1.29^{c}	2.84±1.07^{ns}
	1:2	3.75±1.25^{ns}	3.40±1.23^{ns}	3.45±1.10^{ns}	2.45±1.28^{bc}	2.95±1.18^{ns}
	1:3	4.00±1.03^{ns}	3.60±1.14^{ns}	3.05±1.15^{ns}	2.95±1.05^{ab}	3.20±1.01^{ns}
	1:4	4.00±1.03^{ns}	3.60±1.10^{ns}	3.30±1.38^{ns}	3.65±1.14^{a}	3.50±1.10^{ns}

หมายเหตุ : ^{a,b} และ ^{c} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิด

จากการศึกษาปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว โดยแปรผันเป็น 18, 20 และ 22 องศาบริกซ์ พบว่า ไวน์ข้าวโพดหวานที่หมักได้มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.4, 6.0 และ 9.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ และปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 4.5, 5.0 และ 6.5 องศาบริกซ์ ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 3.45 - 4.00 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการใช้ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นเท่ากับ 18, 20 และ 22 องศาบริกซ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านของความใส สี กลิ่น และความชอบโดยรวม แต่เมื่อพิจารณาในด้านของรสชาติพบว่าการใช้ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ได้รับคะแนนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่หมักได้นั้นมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.7, 6.6 และ 4.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ และในทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 4.6, 5.0 และ 6.0 องศาบริกซ์ ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 3.35 - 4.00 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าการใช้ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นเท่ากับ 18, 20 และ 22 องศาบริกซ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านของความใส สี กลิ่น และความชอบโดยรวม แต่เมื่อพิจารณาในด้านของรสชาติพบว่าการใช้ปริมาณของแข็งละลาย 22 องศาบริกซ์ ได้รับคะแนนสูงที่สุด (ตารางที่ 4) ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น 22 องศาบริกซ์ ในการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในการศึกษาปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตัวอย่าง	คะแนนการการยอมรับของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ไวน์ข้าวโพดหวาน	18	4.60±0.60^{ns}	4.60±0.68^{ns}	4.35±1.04^{ns}	2.75±1.55^{c}	4.20±0.89^{ns}
	20	4.45±0.76^{ns}	4.45±0.69^{ns}	4.25±0.72^{ns}	3.75±1.07^{b}	4.35±0.75^{ns}
	22	4.50±0.89^{ns}	4.55±0.69^{ns}	4.45±0.89^{ns}	4.80±0.52^{a}	4.45±0.89^{ns}
ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว	18	4.05±0.95^{ns}	3.50±1.05^{ns}	3.20±1.32^{ns}	2.95±1.28^{b}	3.40±1.14^{ns}
	20	4.15±0.88^{ns}	3.45±1.05^{ns}	3.20±1.20^{ns}	3.30±1.22^{ab}	4.60±4.45^{ns}
	22	4.15±0.88^{ns}	3.50±1.10^{ns}	3.15±1.46^{ns}	3.85±1.09^{a}	3.75±1.07^{ns}

หมายเหตุ : $^{a,b \text{ และ } c}$ หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิด

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว โดยแปรผันระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน คือ 3, 5 และ 7 วัน พบว่าไวน์ข้าวโพดหวานที่หมักได้มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 3.6, 4.0 และ 4.6 โดยปริมาตร ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 8.5, 7.0 และ 6.5 ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 3.65 - 4.55 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวม แต่การหมักโดยใช้ระยะเวลา 5 วัน ได้รับคะแนนด้านรสชาติสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่หมักได้มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 3.0, 3.56 และ 4.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งละลายลดลงเหลือ 9.0, 8.5 และ 7.0 ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 3.82 - 4.55 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านความใส สี กลิ่น และความชอบโดยรวม ซึ่งการหมักโดยใช้ระยะเวลา 5 วัน ได้รับคะแนนด้านรสชาติสูงสุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการหมักโดยใช้ระยะเวลา 3 วัน แต่อย่างไรก็ตามการหมักโดยใช้ระยะเวลา 5 วัน ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคในด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมสูงกว่าการหมักโดยใช้ระยะเวลา 3 วัน (ตารางที่ 5) ดังนั้นระยะเวลา 5 วัน จึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการหมักไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว ที่ใช้เวลาในการหมัก 5 วัน พบว่าไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงกว่าไวน์ข้าวโพดหวานในทุก ๆ ด้าน แสดงให้เห็นว่าไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าไวน์ข้าวโพดหวาน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว

ตัวอย่าง	คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)					
	เวลาในการหมัก (วัน)	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ไวน์ข้าวโพดหวาน	3	3.75±1.02^{a}	3.20±1.20^{ns}	3.35±1.09^{ns}	3.05±1.32^{b}	3.35±1.04^{ns}
	5	3.65±0.99^{ab}	3.15±1.04^{ns}	3.50±1.00^{ns}	3.90±1.05^{a}	3.55±0.89^{ns}
	7	3.05±1.10^{b}	3.30±1.08^{ns}	2.80±1.15^{ns}	2.80±1.20^{b}	2.95±1.05^{ns}
ไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว	3	3.80±1.11^{ns}	3.30±1.03^{ns}	3.25±1.16^{ns}	3.40±1.27^{ab}	3.30±1.23^{ns}
	5	3.70±1.03^{ns}	3.25±1.12^{ns}	3.80±0.90^{ns}	4.05±1.15^{a}	3.75±1.12^{ns}
	7	3.20±1.24^{ns}	3.25±1.16^{ns}	3.05±1.19^{ns}	3.35±1.35^{b}	3.30±1.34^{ns}

หมายเหตุ : $^{a \text{ และ } b}$ หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาที่ได้พบว่าในไวน์ข้าวโพดหวานและไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวนั้นเมื่อยีสต์เกิดการเจริญปริมาณของแข็งละลายและค่าความเป็นกรด - ด่างจะลดลง ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากยีสต์จะนำของแข็งละลายซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำตาลใช้เป็นแหล่งอาหาร โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 95 ของน้ำตาลทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับน้ำตาลที่เหลืออีกร้อยละ 5 จะถูกนำไปใช้ในการเจริญของเซลล์ยีสต์และเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้ (By-product) เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) แอซีทาลดีไฮด์ (Acetaldehyde) กรดซักซินิก (Succinic acid) กรดแลคติก (Lactic acid) และกรดอะซิติก (Acetic acid) เป็นต้น (Romano et al., 1998) โดยกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อค่าความเป็นกรด - ด่างของไวน์ ถ้าหากมีปริมาณสูงก็จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด - ด่างของไวน์ลดต่ำลงมาก อาจมีผลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสทำให้ไวน์มีรสชาติที่ไม่ดีและยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ (; สาวิตรี, 2549; ไกรยศ และคณะ, 2561; Arroyo-López et al., 2009) สอดคล้องกับการศึกษาของนุจรี และคณะ (2563) รายงานว่าในการหมักไวน์ลำดวนนั้นหลังจากทำการหมักครบ 7 วัน ในทุกชุดการทดลองปริมาณของแข็งละลายจะลดลงจาก 20 องศาบริกซ์ เหลือประมาณ 8 - 13 องศาบริกซ์ เนื่องจากยีสต์นำไปใช้ในการเจริญและในขณะเดียวกันจะมีปริมาณของแอลกอฮอล์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณของแข็งละลายจะแปรผกผันกับปริมาณของแอลกอฮอล์ รวมถึงมีค่าความเป็นกรด - ด่าง (เริ่มต้น เท่ากับ 3.58 - 3.71) ลดลงเหลือ 3.30 - 3.50 การศึกษาในครั้งนี้เชื้อยีสต์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ผลิตแอลกอฮอล์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ให้ลักษณะปรากฏ เช่น ความใส สี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากในไวน์ข้าวโพดหวานนั้นการใช้ยีสต์สายพันธุ์ *burgundy* จะให้ไวน์ที่มีความใส สี และรสชาติที่ดีกว่าสายพันธุ์ *montachae* ในขณะที่ถ้าเป็นไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวการใช้ยีสต์สายพันธุ์ *montachae* จะได้ผลการยอมรับของผู้บริโภคที่ดีกว่า โดยรสชาติ สี กลิ่น และความใสนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและสายพันธุ์ของยีสต์ที่นำมาใช้ในการผลิตไวน์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pongkan et al. (2018) พบว่าการผลิตไวน์มะขามโดยใช้เชื้อยีสต์ต่างสายพันธุ์ (*burgundy* และ *montachae*) นั้นทำให้ได้ไวน์ที่มีคุณภาพแตกต่างกัน แม้ปริมาณแอลกอฮอล์ (0.97 และ 0.93 โดยปริมาตร ตามลำดับ) และของแข็งละลาย (14.07 และ 14.13 องศาบริกซ์ ตามลำดับ) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่การใช้สายพันธุ์ *montachae* จะให้สี กลิ่น และรสชาติ ที่ดีกว่าสายพันธุ์ *burgundy*

ปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมของการผลิตไวน์ข้าวโพดทั้งสองชนิดจะอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 20 ซึ่งปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 10 ให้แอลกอฮอล์ในปริมาณสูงสุดเท่ากับร้อยละ 9.0 โดยปริมาตร รวมถึงได้รับคะแนนการยอมรับ

ของผู้บริโภคในเรื่องของรสชาติสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ อำพรรณ และบุศรา (2547) ที่ผลิตไวน์มะเขือเทศโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ *burgundy* รายงานว่าเมื่อใช้กล้าเชื้อร้อยละ 10 จะทำให้ได้ไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ปริมาณสูงสุด (ร้อยละ 12 โดยปริมาตร) รวมถึงได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุดในทุกด้าน (สี กลิ่น ความใส รสชาติ และความชอบโดยรวม) และ Mundaragi and Thangadurai (2018) รายงานว่าปริมาณกล้าเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตไวน์หนามพรม (*Carissa spinarum* L.) คือร้อยละ 10 ซึ่งให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงเท่ากับร้อยละ 8.3 โดยปริมาตร ในขณะที่ Sevda and Rodrigues (2011) พบว่าการใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 8 ในการผลิตไวน์ฝรั่งจะให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.05 โดยปริมาตร หากใช้ปริมาณกล้าเชื้อเท่ากับร้อยละ 2 จะมีการใช้น้ำตาลในปริมาณที่ช้ามากและผลิตแอลกอฮอล์ได้ช้า แต่ถ้าใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 20 จะมีการใช้น้ำตาลในปริมาณสูงและได้แอลกอฮอล์ในปริมาณสูงเท่ากับร้อยละ 7.04 โดยปริมาตร แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ปริมาณกล้าเชื้อร้อยละ 8 โดยทั่วไปปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นที่นิยมใช้ในการผลิตไวน์จะอยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 10 ซึ่งจะมีจำนวนของเซลล์ยีสต์เริ่มต้นในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดการหมักได้อย่างรวดเร็วและสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงในระยะเวลาอันสั้น หากใช้ปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นต่ำกว่าร้อยละ 5 อาจทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้นและผลิตแอลกอฮอล์ได้ช้า เนื่องจากมีปริมาณของเชื้อยีสต์น้อย ในขณะเดียวกันหากใช้ปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นสูงกว่าร้อยละ 10 ขึ้นไป ปริมาณของแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ก็จะไม่มากไปกว่าเดิมอีก เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ทำให้ยีสต์เกิดการเจริญมีอยู่ในปริมาณที่จำกัด ส่งผลให้ยีสต์ไม่สามารถเปลี่ยนสารอาหาร (น้ำตาล) ไปเป็นแอลกอฮอล์ได้มากกว่านี้ รวมถึงอาจส่งผลให้เกิดการผลิตแอลกอฮอล์และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อยีสต์ที่ไม่สามารถปรับตัวได้ทันและทำให้ยีสต์ตายได้ (มนชิดา และวิลาสินี, 2542) อย่างไรก็ตามหากใช้ปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นสูงก็จะส่งผลทำให้มีต้นทุนในการผลิตไวน์เพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำข้าวโพดต่อน้ำแสดงให้เห็นว่าการใช้อัตราส่วน 1:1 (เจือจางน้อยลง) จะได้ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำที่สุดในไวน์ทั้งสองชนิด แต่เมื่อใช้อัตราส่วน 1:4 (เจือจางมาก) จะได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด อาจเป็นผลเนื่องมาจากการใช้อัตราส่วนที่น้อยนั้นจะมีปริมาณของสารตั้งต้น (น้ำตาล) สูง ซึ่งอาจมีปริมาณที่มากเกินความต้องการของเชื้อยีสต์ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญและการผลิตแอลกอฮอล์ (Substrate inhibition) (ลักขณา และคณะ, 2550) แตกต่างจากการศึกษาของวาสนา และสุรศักดิ์ (2564) รายงานว่าการใช้อัตราส่วนเนื้อสละเยอะ (เนื้อสละ 500 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร) ในการผลิตไวน์จะทำให้ยีสต์มีการสร้างแอลกอฮอล์ในปริมาณสูงกว่าการใช้อัตราส่วนเนื้อสละน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาของอำพรรณ และปิยมาศ (2549) ที่ศึกษาการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง พบว่าการใช้อัตราส่วนของน้ำมะม่วงต่อน้ำเท่ากับ 1:1 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดคือร้อยละ 13.1 โดยปริมาตร ซึ่งการใช้เนื้อสละปริมาณมากหรือการเจือจางน้อยสุดทำให้มีปริมาณสารอาหารสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งเมื่อมีปริมาณสารอาหารมากก็จะส่งผลให้ยีสต์ที่ใช้ในการหมักเจริญได้ดีและผลิตแอลกอฮอล์ได้สูง

การเติมน้ำตาลหรือการปรับปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นในกระบวนการหมักเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และการหมักน้ำตาลให้เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ (Tatdao et al., 2014) จากผลการศึกษาหาปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้นที่เหมาะสมแสดงให้เห็นว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณของแข็งละลายจะลดลง เนื่องจากยีสต์ใช้ของแข็งละลายเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งละลายจะทำให้ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ได้น้อยลง เป็นผลมาจากการมีปริมาณของแข็งละลายมากเกินไปซึ่งอาจไปยับยั้งการสร้างแอลกอฮอล์ของยีสต์ นอกจากนี้หากใช้ปริมาณของแข็งละลายในปริมาณที่ไม่มากพอจะทำให้ไวน์ที่ผลิตได้มีรสจืดและยีสต์จะหยุดการเจริญเติบโตทำให้ได้แอลกอฮอล์ในปริมาณต่ำ (โชคชัย และคณะ, 2545)

ในการหมักไวน์ข้าวโพดทั้งสองแสดงให้เห็นว่าปริมาณแอลกอฮอล์จะแปรผันตามระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก หากใช้เวลาในการหมักนานก็จะทำให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์มากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับการผลิตไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนของ ประภาพันธ์ และคณะ (2563) โดยในช่วงวันที่ 0 - 2 ของการหมักจะยังไม่มีการผลิตแอลกอฮอล์เกิดขึ้น เนื่องจากยีสต์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม จากนั้นช่วงวันที่ 3 ของการหมักเริ่มมีการผลิตแอลกอฮอล์และมีการผลิตแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 7 และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาในการหมักที่เพิ่มขึ้น

บทสรุป

ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียวสามารถนำมาหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* และผลิตเป็นไวน์ปริมาณแอลกอฮอล์ไม่สูงมากสำหรับใช้ดื่ม โดยการแปรผันสายพันธุ์ยีสต์ ปริมาณกล้าเชื้อ อัตราส่วนน้ำข้าวโพดต่อน้ำ ปริมาณของแข็งละลายเริ่มต้น และระยะเวลาในการหมัก จะทำให้ไวน์ที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกัน พบว่ายีสต์สายพันธุ์ *burgundy* เหมาะกับการผลิตไวน์ข้าวโพดหวาน ส่วนยีสต์สายพันธุ์ *montachae* เหมาะกับการผลิตไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งไวน์ข้าวโพดข้าวเหนียวได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากกว่าไวน์ข้าวโพดหวาน ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไวน์จากข้าวโพดสายพันธุ์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าเมื่อมีราคาตกต่ำ รวมถึงเป็นทางเลือกในการเพิ่มผลิตภัณฑ์จากข้าวโพด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ในการอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ไกรยศ แซ่ลิ่ม, สิริขวัญ จันทร์หมื่น และกัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ. (2561). การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการหมักไวน์ลูกหม่อน และความพึงพอใจของผู้บริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49(1) (พิเศษ): 612-616.

จิราภรณ์ สอดจิตร์, ชลธิชา ยืนหยัดชัย และสุพัชธิดา แก้วสระแสน (2563). การผลิตน้ำส้มสายชูจากข้าวโพดหวาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 51(1): 534-538.

โชคชัย วนภู, นันทกร บุญเกิด และลำไพร ดิษฐวิบูลย์. (2545). คนทำไวน์: winemaker I. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมบูรณ์พริ้นติ้ง: นครราชสีมา.

นุจรี สอนสะอาด, สุภาพร รผักชี และวิลาวัลย์ เกสร. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำดวนโดยใช้กล้าเชื้อแบบตรึงเซลล์. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(1): 49-61.

ประภาพันธ์ ศิริขันธ์แสง, ณัฐมล แสนโคตร และละอองทิพย์ ชุ่มเสนา. (2563). การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน. วารสารวิจัย. 13(1): 111-119.

มนชิดา มั่นคง และวิลาสินี ศรีไพบูลย์. (2542). การผลิตไวน์ว่านหางจระเข้. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ลักขณา เหล่าไพบูลย์, พัฒนา เหล่าไพบูลย์, ประสิทธิ์ ใจศิล และพรเทพ ถนนแก้ว. (2550). การพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.

รัฐพล ศรประเสริฐ และเสาวรส แพงน้อย. (2558). ผลิตภัณฑ์เลียนแบบไวน์จากน้ำส้มโอ (*Citrus maxima* (Burm.f) Merr.) พันธุ์ขาวแตงกวาด้วยเส้นใยเห็ดแครง (*Schizophyllum commune* Fr.) ในการหมัก. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 25(3): 449-457.

วาสนา สุโยธา และสุรศักดิ์ บุญรุ่ง. (2564). การศึกษาอัตราส่วนเนื้อสละและชนิดของยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไวน์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 39(2): 156-164.

สาวิตรี ลิ่มทอง. (2549). ยีสต์: ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). ข้าวโพดหวาน : เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ระดับประเทศ ภาค และจังหวัด ปี 2563. ค้นเมื่อ 16 เมษายน 2565. https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/ sweet%20corn63.pdf.

สำราญ ศรีชมพร, ธำรงศิลป โพธิสูง, สมชาย ปิยพันธวานนท์, ณรงชัย บุญศรี, ถวิล นิลพยัคฆ์, กิตติศักดิ์ ศรีชมพร, จันทร์สว่าง ศรีหาตา และนิวรรณ์ เยาวศรีสุวรรณ. (2557). การเพิ่มศักยภาพการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวและถ่ายทอดงานวิจัยสู่เกษตรกร. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาพืช 4-7 กุมภาพันธ์ 2557. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 305-312.

สุขพงษ์ วายุภาพ และธีรศักดิ์ มานุพีระพันธุ์. (2543). การปลูกข้าวโพดเทียนและข้าวโพดข้าวเหนียว. วารสารกสิกร. 73(4): 345-347.

อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์ และบุศรา มหขจิตนนท์. (2547). การศึกษาการหมักไวน์จากมะเขือเทศ. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 3-6 กุมภาพันธ์ 2547. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 513-520.

อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์ และปิยมาศ วงษ์ประยูร. (2549). การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2(1): 28-35.

Arroyo-López F.N., Orlic S., Querol A. and Barrio E. (2009). Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters of *Saccharomyces cerevisiae*, *S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid. International. Journal of Food Microbiology. 131(2-3): 120-127.

Carlo G.D., Mascolo N., Izzo A.A. and Capasso F. (1999). Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. Life Science. 65: 337-353.

Mundaragi A. and Thangadurai D. (2018). Process optimization, physicochemical characterization and antioxidant potential of novel wine from an underutilized fruit *Carissa spinarum* L. (Apocynaceae). Food Science and Technology. 38(3): 428-433.

Pongkan S., Tilarux P., Charoensuk K., Ochaikul D. and Suwanposri A. (2018). Production and quality improvement of the tropical fruit tamarind (*Tamarindus indica* Linn.) wine. International Journal of Agricultural Technology. 14(3): 341-350.

Romano P., Paraggio M. and Turbanti L. (1998). Stability in by product fermentation as a strain selection tool of *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts. Journal of Applied Microbiology. 84: 336-341.

Sevda S.B. and Rodrigues L. (2011). Fermentative behavior of *Saccharomyces* strains during Guava (*Psidium guajava* L.) must fermentation and optimization of guava wine production. Journal of Food Processing and Technology. 2(4): 118-126.

Suresh A., Ashokkumar K. and Rathi C.R. (2019). Biochemical analysis and production of wine from chrysanthemum, Ixora, lotus, hibiscus and nerium flowers. International Journal of Microbiology Research. 11(12): 1753-1755.

Swami S.B., Thakor N.J. and Divate A.D. (2014). Fruit wine production: A review. Journal of Food Research and Technology. 2(3): 93-100.

Tatdao P., Norraset S. and Tiwawan S. (2014). Physico-chemical and sensory properties of musts and wines from *Melodorum fruticosum* Lour. International Food Research Journal. 21(1): 39-43.

Yangcheng H., Jiang H., Blanco M., and Jane J. (2013). Characterization of normal and waxy corn starch for bioethanol production. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61: 379-386.