

คุณสมบัติทางเคมี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักจากข้าว 3 สายพันธุ์

Chemical Properties, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Fermented Vinegar from 3 Cultivars of Rice

วิลาวัลย์ บุญยศุภา^{1*} กรรณิการ์ ทองดอนเปรียง¹ กมลรัตน์ สีหาบุญทอง¹ วุฒิพงษ์ สูงพล¹ วิวากรณ์ ก็นโบราณ¹ นริกร ชุมด้วง¹ วรณิกา จันทรงาม¹ อมรรัตน์ ทองดี¹ อังสุมา ปาเส¹ และ ปิยวัฒน์ ศักดิ์ศรีบุญดี¹

Wilawan Boonsupa^{1*} Kannikar Tongdonpriang¹ Kamonrat Seehabuntong¹ Woottipong Soongpon¹ Wiwaporn Kinboran¹ Nareeporn Chumduang¹ Wannipha Janngam¹ Amonrat Thongdee¹ Ungsuma Pase¹ and Piyawat Saksriboondee¹

Received: October 19, 2018; Revised: November 22, 2018; Accepted: January 23, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าวที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตได้ และทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่มด้วยวิธี 9-Point Hedonic Rating Scale ไวน์ข้าวที่หมักได้หลังปรับค่าปริมาณแอลกอฮอล์เป็นร้อยละ 7 แล้วเติมเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter pasteurianus* ที่มีปริมาตรร้อยละ 10 ปริมาตร/ปริมาตร หมักที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วัน ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในวันที่ 0 5 10 และ 15 ของการหมักพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการหมักพบว่า น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวสังข์หยดมีปริมาณกรดอะซิติกสูงสุดคือ ร้อยละ 6.26 น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี DPPH เท่ากับร้อยละ 74.95 72.56 และ 74.73 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูข้าวหมักพร้อมดื่มพบว่า ได้รับคะแนนเฉลี่ยความชอบรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย

คำสำคัญ : น้ำส้มสายชูหมัก; ข้าวกล้องหอมมะลิ; ข้าวสังข์หยด; ข้าวไรซ์เบอร์รี่; ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม

¹ Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham

* Corresponding Author E - mail Address: wilawanboonsupa@ymail.com

Abstract

This study was conducted to produce fermented vinegars from three cultivars of rice, namely hommali brown rice sangyod and riceberry cultivars. The aim of the present study was to determine the chemical properties of the vinegars and their antioxidant activities. Sensory evaluation of the vinegars based on the 9 point hedonic rating scale was included in this study. Vinegar fermentation was performed by inoculating 10 % (v/v) of *Acetobacter pasteurianus* into each of three rice wines with their initial alcohol content were adjusted to 7 % (v/v). The fermentation was conducted for 15 days at ambient temperature (30 °C) and sampling was performed at 5-day intervals. It was observed for all samples that the level of alcohol decreased continuously over the fermentation period, which was consistent to the increased level of acetic acid. At the end of the fermentation process the fermented vinegar produced from the Sangyod rice exhibited the highest level of acetic acid of 6.26 %. Antioxidant activities observed for the vinegars produced from the hommali brown rice, Sangyod and Riceberry cultivar were 74.95 72.56 and 74.73 %, respectively. The results of the consumer acceptance test of ready-to-drink fermented rice vinegar showed that the average score of overall acceptance was not significantly different. ($P > 0.05$). The score was like slightly.

Keywords: Fermented Vinegar; Hommali Brown Rice; Sangyod Rice; Riceberry Rice; Antioxidant Activity

บทนำ

มลพิษทางอากาศ การสูบบุหรี่และก๊าซจากโรงงานอุตสาหกรรม รังสี UV ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกาย อนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบและทำลายเนื้อเยื่อ มีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ส่งผลเสียต่อสุขภาพ ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจรับประทานเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องดื่มที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นสารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชันในร่างกาย เช่น การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไป น้ำส้มสายชูหมักเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก ทำให้เกิดกรดอะซิติก น้ำส้มสายชูหมักที่ได้สามารถนำไปบริโภคโดยผสมกับน้ำผึ้งและน้ำเรียกว่า น้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม ซึ่งมีคุณประโยชน์ต่อร่างกายหากดื่มในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคเบาหวาน [1] ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยในการยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง และช่วยทำให้หลอดเลือดหัวใจไม่ตีบตัน ดังเช่นงานวิจัย [2] ได้ทำการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าวเหนียวดำที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ 2 แบบ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำยี่ห้อไรท์พี และข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มพัว จากผลการทดลองพบว่า น้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวเหนียวพันธุ์ลิ้มพัว มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำส้มสายชูข้าวเหนียวดำยี่ห้อไรท์พี โดยน้ำส้มสายชู

จากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลิ้มฟัวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 72.53 จากเหตุผลดังกล่าวนี้ น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวจึงเป็นเครื่องดื่มที่น่าสนใจ สามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย ข้าวนอกจากเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญแล้ว ข้าวยังมีบทบาทที่เป็นตัวช่วยเสริมในการป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ ข้าวในปัจจุบันจะพบเห็นว่ามีหลากหลายสายพันธุ์อย่างมาก การที่ข้าวมีสีที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของข้าวเหล่านั้นมีคุณค่าโภชนาการที่แตกต่างกันด้วย เช่น ข้าวสีขาวมักจะมีสารแกมมา ออไรซานอลสูง ข้าวกล้องที่มีเมล็ดสีขาวมีคุณค่าโภชนาการที่ดีเกือบทุกสายพันธุ์ โดยเฉพาะวิตามินบีหนึ่ง ช่วยในการป้องกันโรคเหน็บชา ส่วนข้าวที่มีสีม่วงเข้ม เช่น ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวกลุ่มนี้จะมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่าข้าวสีขาว เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ โพลีฟีนอล หรือสารแอนโทไซยานิน [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี การจัดการด้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักจากข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสังข์หยด ข้าวไรซ์เบอร์รี่

1. วิธีการทดลองผลิตไวน์ข้าว

นำข้าว (ยี่ห้อหงษ์ทองไลท์) ไปนึ่งให้สุก จากนั้นนำข้าวที่นึ่งสุกปริมาณ 500 กรัม มาคลุกกับลูกแป้งข้าวหมาก (ซื้อจากแป้งข้าวหมากน่านน้อย จังหวัดตราด) ปริมาณ 5 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4 วัน ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ 29 องศาบริกซ์ โดยใช้ น้ำเชื่อม (60 องศาบริกซ์) กรองเอาเฉพาะน้ำจากข้าว นำมาทำการฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 35 องศาเซลเซียส เตรียมยีสต์สำหรับทำไวน์ โดยนำยีสต์ปริมาณ 5 กรัม ผสมน้ำอุ่น 60 มิลลิลิตร ใส่เชื้อยีสต์ผงที่ใช้สำหรับทำไวน์ (ซื้อจาก V Uncle Pi ยีสต์และอุปกรณ์ทำไวน์) *Saccharomyces cerevisiae* (Montracht) โดยใช้ยีสต์ผงร้อยละ 0.75 ต่อปริมาตรน้ำข้าว ปิดฝาขวดพลาสติกด้วยผ้าขาวบางที่รัดหนัวยาง เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถระเหยออกได้หมักไวน์เป็นเวลา 4 วัน เมื่อครบเวลาทำการดูดส่วนใสลงในขวดใหม่ จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และบ่มไวน์ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน

2. วิธีการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ข้าว

จากไวน์ข้าวของแต่ละสายพันธุ์ที่เตรียมได้ นำไปปรับปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 7 โดยเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อ แล้วถ่ายเชื้อ *Acetobacter pasteurianus* TISTR 521 ร้อยละ 10 ที่เตรียมจากอาหารเลี้ยงเชื้อ Glucose yeast extract broth เขย่าบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 วัน ลงในไวน์ข้าวแต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 3 ฟลาสก์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 15 วัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 0 5 10 และ 15 วัน ตัวอย่างละ 3 ฟลาสก์ เมื่อหมักน้ำส้มสายชูครบ 15 วัน ทำการหยุดกระบวนการหมัก โดยการฆ่าเชื้อน้ำส้มสายชูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของไวน์และน้ำส้มสายชู

วัดปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณกรดอะซิติก น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส คัดแปลงจากวิธีการของ Aguiar, A. et al. [4] โดยการเก็บตัวอย่างไวน์และน้ำส้มสายชูใส่ microtube ปิดด้วยพาราฟิล์ม เก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (เก็บไว้ 1 เดือน) ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC-RID) (ยี่ห้อ shimadzu HPLC-RID system) โดยใช้คอลัมน์ Aminex HPX-87H column (300 x 7.8 mm.) อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์ 45 องศาเซลเซียส

วัฏภาคเคลื่อนที่คือ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมล/ลิตร และใช้ตัวตรวจวัดแบบ Reflective Index Detector (RID-10A)/Degrasser DGU-20-As/PumpLC-20AD/Auto sampler sil-20A/Column oven CTO-20A คำนวณปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณกรดอะซีติก น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสของตัวอย่างจากกราฟเส้นตรงของสารละลายมาตรฐาน

4. การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มสายชู การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH [5]

เตรียมสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล โดยละลายด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ปีบตัวอย่างปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และปีบ DPPH ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ให้ทำปฏิกิริยากันในหลอดทดลองนำไปเขย่าให้เข้ากัน รอให้สารละลายทำปฏิกิริยากัน 20 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็น blank สมการที่ (1)

$$\text{Inhibition (\%)} = ((A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Sample}})/A_{\text{DPPH}}) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

A_{DPPH} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH Control

A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างหลังทำปฏิกิริยากับ DPPH

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด [6]

ปีบตัวอย่าง 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร (สำหรับ blank ใช้เอทานอลร้อยละ 95 แทนสารตัวอย่าง) เติมสารละลาย Folin-ciocalteau ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (มิลลิกรัม/ลิตร)

5. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากไวน์ข้าวมีส่วนผสมดังนี้ น้ำส้มสายชูจากไวน์ข้าว 3 สายพันธุ์ 200 มิลลิลิตร น้ำผึ้ง 150 มิลลิลิตร น้ำเปล่า 150 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากไวน์ข้าวไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point Hedonic rating scale ช่วงคะแนน 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิมโดยเป็นผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบในด้านความใส สี กลิ่น น้ำส้มสายชูรสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบรวม วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

6. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) ทรีทเมนต์ละ 2 ซ้ำ นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี One way ANOVA และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองและอภิปราย

1. คุณภาพทางเคมีของไวน์ในระหว่างการหมัก

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ปริมาณแอลกอฮอล์ กรดอะซิติก น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส จากการหมักไวน์ข้าวเป็นเวลา 4 วัน โดยพบว่า ไวน์ที่ผลิตจากข้าวสังข์หยด มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด เท่ากับร้อยละ 13.61 $\pm$ 0.01 (ตารางที่ 1) ปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์เกิดจากการย่อยน้ำตาลของยีสต์ เปลี่ยนให้เป็นเอทานอล [7] จากการทดลองพบว่า ไวน์ข้าวสังข์หยดมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่าไวน์ข้าวขาว ที่ปลูกในมาเลเซีย (ร้อยละ 11.48) [8] การที่ไวน์ข้าวสังข์หยดมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าไวน์ข้าวขาวนั้น เนื่องจากการทดลองผลิตไวน์ข้าวขาวไม่ได้มีการเติมน้ำตาลในช่วงการหมัก ซึ่งในกระบวนการหมักดังกล่าว ยีสต์จำเป็นต้องใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้เกิดแอลกอฮอล์ โดยการเปลี่ยนไพรูเวตให้เป็นเอทานอล ในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน ผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis Pathway) โดยยีสต์จะใช้น้ำตาล ส่วนหนึ่งในการเจริญเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ และบางส่วนจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์สารเมแทบอไลต์อื่น ๆ ได้แก่ เอทานอล ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก กรดแล็กติก กรดซัคซินิก ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 [9] จากการทดลองพบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ข้าวสังข์หยดมีปริมาณสูงสุด แสดงให้เห็นว่า ยีสต์มีความสามารถย่อยสลายน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสในข้าวสังข์หยดอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ในวันที่ 1 ของการหมัก ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในไวน์ข้าวสังข์หยดมีปริมาณ มากที่สุด และเมื่อหมักถึงวันที่ 4 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในไวน์ข้าวสังข์หยดเหลือน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไวน์ข้าวกล้องหอมมะลิและไวน์ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ตารางที่ 1 ปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

ไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ข้าวกล้องหอมมะลิ	6.27 $\pm$ 0.02 ^b	10.06 $\pm$ 0.06 ^b	12.34 $\pm$ 0.02 ^b	13.51 $\pm$ 0.06 ^a
ข้าวสังข์หยด	7.31 $\pm$ 0.01 ^a	11.11 $\pm$ 0.02 ^a	13.60 $\pm$ 0.03 ^a	13.61 $\pm$ 0.01 ^a
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	6.06 $\pm$ 0.02 ^c	9.33 $\pm$ 0.02 ^c	9.83 $\pm$ 0.01 ^c	10.25 $\pm$ 0.00 ^b

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไวน์จำนวน 2 ข้ำตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดอะซิติกในระหว่างการหมักไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

ไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณกรดอะซิติก (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ข้าวกล้องหอมมะลิ	0.16±0.01 ^b	0.19±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	0.20±0.01 ^b
ข้าวสังข์หยด	0.18±0.00 ^a	0.19±0.00 ^a	0.23±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	0.12±0.00 ^c	0.13±0.00 ^b	0.14±0.01 ^c	0.14±0.01 ^c

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไวน์จำนวน 2 ข้ำตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจากการหมักไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

ไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ข้าวกล้องหอมมะลิ	2.79±0.00 ^c	2.65±0.01 ^b	2.45±0.02 ^c	2.25±0.02 ^b
ข้าวสังข์หยด	4.61±0.01 ^a	2.93±0.01 ^a	2.74±0.02 ^a	2.21±0.03 ^b
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	3.00±0.00 ^b	2.89±0.01 ^a	2.55±0.01 ^b	2.47±0.01 ^a

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไวน์จำนวน 2 ข้ำตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสของการหมักไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

ไวน์ที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ข้าวกล้องหอมมะลิ	4.87±0.01 ^b	3.04±0.02 ^b	2.60±0.02 ^b	2.60±0.00 ^b
ข้าวสังข์หยด	2.95±0.02 ^c	2.38±0.01 ^c	0 ^c	0 ^c
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	4.93±0.01 ^a	3.30±0.00 ^a	2.87±0.01 ^a	2.84±0.01 ^a

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไวน์จำนวน 2 ข้ำตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มสายชูในระหว่างการหมักและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม

ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดอะซิติก จากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยทำการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter pasteurianus* เป็นเวลา 15 วัน พบว่าวันที่ 15 ของการหมักน้ำส้มสายชูจากข้าวสังข์หยดเหลือปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุด

คือ ร้อยละ 0.45 ± 0.01 (ตารางที่ 5) ส่งผลให้ปริมาณกรดอะซีติกของน้ำส้มสายชูจากข้าวสังข์หยดมีปริมาณกรดอะซีติกสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.26 ± 0.01 ดังแสดงในตารางที่ 6 ปริมาณกรดอะซีติก ที่ได้เกิดจากการทำงานของเชื้อผลิตกรดอะซีติกเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดอะซีติก จากการหมักน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากไวน์ข้าว 3 สายพันธุ์พบว่า น้ำส้มสายชูจากไวน์ข้าวสังข์หยดมีปริมาณกรดอะซีติกมากกว่าน้ำส้มสายชูจากข้าว *Makgeoli* (ร้อยละ 5.61 ± 0.03) [10] ซึ่งน้ำส้มสายชูจากข้าว *Makgeoli* เริ่มต้นหมักโดยมีปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มต้นร้อยละ 4 จึงทำให้แบคทีเรียผลิตกรดอะซีติกย่อยสลายแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นกรดอะซีติกได้น้อยกว่าน้ำส้มสายชูจากข้าวสังข์หยด

ตารางที่ 5 ปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 0	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15
ข้าวกล้องหอมมะลิ	7.14 ± 0.01^b	3.11 ± 0.02^a	1.61 ± 0.02^c	0.50 ± 0.00^b
ข้าวสังข์หยด	7.97 ± 0.01^a	3.03 ± 0.02^c	2.75 ± 0.07^a	0.45 ± 0.01^c
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	7.10 ± 0.14^b	3.05 ± 0.01^b	1.80 ± 0.01^b	0.61 ± 0.01^a

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไวน์จำนวน 2 ซ้ำตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดอะซีติกในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าว 3 สายพันธุ์	ปริมาณกรดอะซีติก (ร้อยละ) / ระยะเวลาการหมัก (วัน)			
	วันที่ 0	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 15
ข้าวกล้องหอมมะลิ	0.11 ± 0.01^{ns}	2.54 ± 0.01^a	3.46 ± 0.02^b	5.41 ± 0.01^c
ข้าวสังข์หยด	0.12 ± 0.01^{ns}	2.27 ± 0.01^c	2.80 ± 0.02^c	6.26 ± 0.01^a
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	0.12 ± 0.01^{ns}	2.31 ± 0.02^b	4.48 ± 0.01^a	6.02 ± 0.01^b

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่งของปริมาณน้ำส้มสายชูจำนวน 2 ซ้ำ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ^{ns} = not significant

3. การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มสายชูหมักจากข้าว 3 สายพันธุ์

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสายพันธุ์สังข์หยด และข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ด้วยวิธี DPPH ผลการตรวจสอบพบว่า น้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวไรซ์เบอร์รี่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 74.95 ± 0.23 และ 74.73 ± 0.38 (ตารางที่ 7) จากการทดลองพบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูหมักที่ทำจากข้าวกล้องหอมมะลิ มีปริมาณมากกว่าน้ำส้มสายชูจากมันฝรั่งสีม่วงผสมข้าว *Makgeoli* (ร้อยละ

67.63) [10] ซึ่งน้ำส้มสายชูข้าวกล้องหอมมะลิมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำส้มสายชูจากมันฝรั่งสีม่วงผสมข้าว *Makeoli* อาจเนื่องจากข้าวกล้องมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขาว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shimoji, Y. et al. [11] ได้ทำการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระระหว่างน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าวขัดสีและข้าวไม่ขัดสี พบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวไม่ขัดสีมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($IC_{50} = 1,710 \mu\text{g/ml}$) มากกว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวขัดสี ($IC_{50} = 3,340 \mu\text{g/ml}$) การทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวสังข์หยด และข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าวกล้องหอมมะลิ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ $285.58 \pm 4.11 \text{ mg/l}$ รองลงมาคือน้ำส้มสายชูข้าวไรซ์เบอร์รี่ และน้ำส้มสายชูจากข้าวสังข์หยดซึ่งปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ร้อยละฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มสายชูจากข้าว 3 สายพันธุ์

ชนิดของข้าว	DPPH (% inhibition)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)
ข้าวกล้องหอมมะลิ	74.95 ± 0.23^a	285.58 ± 4.11^a
ข้าวสังข์หยด	72.56 ± 0.54^b	135.78 ± 0.96^c
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	74.73 ± 0.38^a	275.11 ± 3.44^b

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของปริมาณน้ำส้มสายชูจำนวน 3 ข้าว ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส น้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำส้มสายชูหมักของข้าว 3 สายพันธุ์ จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำส้มสายชูจากข้าวกล้องหอมมะลิ มีสีเหลืองใส มีกลิ่นของน้ำส้มสายชูอ่อน ๆ น้ำส้มสายชูจากข้าวสังข์หยด มีสีเหลืองใส มีกลิ่นน้ำส้มสายชูแรง และน้ำส้มสายชูจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นน้ำส้มสายชูแรง จากการทดลองพบว่า น้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่ทำจากข้าวต่างสายพันธุ์มีคะแนนการยอมรับด้านความใสต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ส่วนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) การยอมรับในภาพรวมพบว่า น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากข้าวกล้องหอมมะลิมีระดับความชอบรวมเท่ากับ 6.20 ± 1.93 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความชอบรวมของน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าว 3 สายพันธุ์พบว่า น้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่ผลิตขึ้นไม่ได้มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่โดดเด่น จนทำให้ผู้บริโภครู้สึกชอบอย่างมีนัยสำคัญมีเพียงลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความใสเท่านั้นที่ผู้บริโภคสามารถแยกแยะได้ชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากข้าว 3 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าว 3 สายพันธุ์	คะแนนคุณลักษณะ				
	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบรวม
ข้าวกล้องหอมมะลิ	6.90±1.29 ^a	6.30±1.49 ^{ns}	7.00±1.94 ^{ns}	6.20±2.30 ^{ns}	6.20±1.93 ^{ns}
ข้าวสังข์หยด	7.60±0.70 ^a	6.70±1.06 ^{ns}	5.70±2.06 ^{ns}	6.60±2.22 ^{ns}	5.50±2.32 ^{ns}
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	5.60±1.84 ^b	6.50±1.58 ^{ns}	6.30±1.42 ^{ns}	6.00±2.45 ^{ns}	5.30±1.70 ^{ns}

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของปริมาณน้ำส้มสายชูจำนวน 2 ข้ำ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ^{ns} = not significant

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองหมักน้ำส้มสายชูจากข้าว 3 สายพันธุ์พบว่า น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวสังข์หยด มีปริมาณกรดอะซิติกสูงสุด คือ ร้อยละ 6.26 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มสายชูที่ทำจากข้าว 3 สายพันธุ์ พบว่าน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวสายพันธุ์หอมมะลิ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (ร้อยละ 74.95 และ 285.58 มิลลิกรัม/ลิตร) ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มพบว่า มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในด้านความใส แต่ด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

References

- [1] Ho, C. W., Lazim, A. M., Fazry, S., Zaki, U. K. H. H., and Lim, S. J. (2017). Varieties, Production, Composition and Health Benefits of Vinegars: A Review. **Food Chemistry**. Vol. 221, pp.1621-1630. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.10.128
- [2] Boonsupa, W., Thongdonpean, K., and Keawmad, P. (2017). Chemical Property, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Fermented Vinegar from 2 Type of Black Glutinous Rice. **Science and Technology Nakon Sawan Rajabhat University Journal**. Vol. 9, No. 10, pp. 69-77 (in Thai)
- [3] Rocejanassaroj, A. (2008). **Antioxidant in Black Rice, Black Sticky Rice and Red Rice; Protective Effect on Cytotoxicity and Genotoxicity by Free Radicals and Gene Expression on Lipid Accumulation in Culture Cells**. M.S. Dissertation Chulalongkorn University (in Thai)
- [4] Aguiar, A., Nascimento, R. A. D. A., Ferretti, L. P., and Goncalves, A. R. (2005). Determination of Organic Acids and Ethanol in Commercial Vinegars. **Brazilian Journal of Food Technology**. pp. 51-56
- [5] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm Wiss Technology**. Vol. 28, pp. 25-30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5

- [6] Singleton, V. L. and Rossi, J. A. (1965) .Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**. Vol. 16, Issue 3, pp. 144-158
- [7] Danvirutai, P. and Laopaiboon, P. (2005). **Fruit Wine, and Sato, How Produced with Confidence**. Fermentation Research Center for Value Added Agricultural Products. (in Thai)
- [8] Palaniveloo, K. and Vairappan, C. S. (2013). Biochemical Properties of Rice Wine Produced From Three Different Starter Cultures. **Journal of Tropical Biology and Conservation**. Vol. 10, pp. 31-41
- [9] Jitjaroen, W. (2013). **Wine maker handbook**. Chaing Mai Publishers. (in Thai)
- [10] Chun, J. E., Baik, M. Y., and Kim, B. Y. (2014). Manufacture and Quality Evaluation of Purple Sweet Potato *Makgeolli* Vinegar Using a 2-Stage Fermentation. **Food Science and Biotechnol.** Vol. 23, Issue 4, pp. 1145-1149. DOI: 10.1007/s10068-014-0156-7
- [11] Shimoji, Y., Tamura, Y., Nakamura, Y., Nanda, K., Nishidai, S., Nishikawa, Y., Ishinara, N., Uenakai, K., and Ohigashi, H. (2002). Isolation and Identification of DPPH Radical Scavenging Compounds in Kurosu (Japanese Unpolished Rice Vinegar). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 50, pp. 6501-6503. DOI: 10.1021/jf020458f