

คุณภาพทางเคมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส
ของน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม 4 สายพันธุ์

Chemical Quality, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Fermented Vinegars from 4 Tamarind Cultivars

วิลาวัลย์ บุญยสุภา¹ จิตรารณณ์ ญาติโสม¹ ชลิตา คำโคตรสุนย์¹ ปรียาภรณ์ ประเพส¹
และปานฤดี สัตถาวะโท¹

Received: August, 2015; Accepted: November, 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์มะขามที่ผลิตจากมะขาม 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์ยักษ์ฝึกดาบ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ เริ่มจากการนำไวน์มะขาม ซึ่งหมักได้ไปปรับปริมาณของแอลกอฮอล์ เท่ากับร้อยละ 8 แล้วเติมเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter pasteurianus* ที่มีปริมาตรร้อยละ 10 หมักที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในวันที่ 0 5 10 และ 15 ในระหว่างการหมักพบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนปริมาณกรดแอซิดิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังสิ้นสุดการหมักพบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองมีปริมาณกรดแอซิดิกสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 5.40 ± 0.16 และรองลงไปคือน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝึกดาบ (ร้อยละ 5.34 ± 0.06) จากการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝึกดาบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 47.47 ± 0.25 และรองลงมาคือน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์สีทอง (ร้อยละ 32.57 ± 0.41) จากการทดสอบประสาทสัมผัสตัวอย่างน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำส้มสายชูที่หมักไว้ พบว่าผลิตภัณฑ์จากมะขามสายพันธุ์สีทอง ได้รับคะแนนเฉลี่ยความชอบรวมสูงสุดเป็น 5.77 ± 1.45 ซึ่งจัดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ตามหลักเกณฑ์ 9-point hedonic scale

คำสำคัญ : ไวน์มะขาม; น้ำส้มสายชูหมักมะขาม; น้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม; กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
E-mail : kai2556wilawan@gmail.com

Abstract

This research had produced tamarind vinegars from tamarind wine from four cultivars of tamarinds, namely Si Thong, Pra Kai Thong, Si ChomPhu and Yak Fak Dab. The chemical properties, antioxidant activities and sensory evaluation of these vinegars were examined. Vinegar fermentation was performed by inoculating 10% (v/v) of *Acetobacter pasteurianus* into each of four tamarind wines with the initial alcohol content adjusted to 8% (v/v). The fermentation was conducted for 15 days at ambient temperature and sampling was performed at 5-day intervals. It was observed for all samples that the levels of alcohol decreased continuously over the fermentation period and almost depleted at the end of the fermentation process, which was consistent to the increased levels of acetic acid. It was obvious that the highest level ($5.40 \pm 0.16\%$) of acetic acid was observed for the vinegar produced from Pra Kai Thong cultivar, followed by Yak Fak Dab cultivar ($5.34 \pm 0.06\%$). The vinegar produced from Yak Fak Dab cultivar was shown to exhibit the highest antioxidant activity ($47.47 \pm 0.25\%$), followed by Si-Thong cultivar ($32.57 \pm 0.41\%$). As with the consumer hedonic scale, it was found that the drinking vinegar produced from Si Thong cultivar had the highest overall acceptability with an average score of 5.77 ± 1.45 , which however was equivalent to the hedonic scale of 9 indicating low levels of the vinegar preferences of the consumers.

Keywords: Tamarind Wine; Fermented Vinegar; Tamarind Drinking Vinegar; Antioxidant Activity

บทนำ

เนื้อมะขาม นอกจากใช้บริโภคเป็นผลไม้ และใช้ปรุงเป็นอาหารแล้ว มะขามยังมีสรรพคุณทางยาที่มีสรรพคุณทางการบำบัดรักษา เช่น ช่วยในการย่อย บำรุงเลือด ขับเสมหะ แก้ท้องผูก และขับลม เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าในมะขามมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชันในร่างกาย การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไปมลพิษทางอากาศ ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระช่วยสร้างภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ร่างกาย เช่น ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ป้องกันอาการอักเสบ และชะลอความแก่ เป็นต้น (Waldron, K. W. et al., 1993)

น้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักผลไม้ต่าง ๆ การผลิตน้ำส้มสายชูหมักมีการหมัก 2 ขั้นตอน คือ การหมักน้ำตาลให้เกิดแอลกอฮอล์ โดยใช้ยีสต์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศตามด้วยการหมักแอลกอฮอล์ให้เกิดกรดแอซิดิก ด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม *Acetobacter* และ *Gluconobacter* ในภาวะที่มีออกซิเจน น้ำส้มสายชูที่หมักได้ มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของกลิ่นของวัตถุดิบ และมีปริมาณ

กรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4% ปัจจุบันนิยมนำน้ำส้มสายชูหมักไปใช้เป็นเครื่องดื่มผสมน้ำผึ้งและน้ำอุ่นเพื่อสุขภาพ ทำให้ระบบย่อยอาหารดีขึ้น การนำมะขามไปผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมัก เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแปรรูปมะขามให้เป็นเครื่องดื่มสุขภาพ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของมะขาม ในการทดลองนี้ได้ศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ กิจกรรมการดำนอนมูลอิสระ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม 4 สายพันธุ์ (พันธุ์สีทอง พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ)

วิธีการทดลอง

1. วิธีการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์มะขาม

จากไวน์มะขามของแต่ละสายพันธุ์ที่เตรียมได้ นำไปปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ให้เท่ากับ 12.4 องศาบริกซ์ โดยใช้น้ำตาลทราย และปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 8 โดยใช้กากส้มที่ฆ่าเชื้อแล้วถ่ายเชื้อ *Acetobacter pasteurianus* ร้อยละ 10 ที่เตรียมจากอาหารเลี้ยงเชื้อ Glucose Yeast Broth เขย่าบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 วัน ลงในไวน์มะขามแต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 3 ฟลาสก์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า Shaker เป็นเวลา 15 วัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 0 5 10 15 วัน ตัวอย่างละ 3 ฟลาสก์ เมื่อหมักน้ำส้มสายชูครบ 15 วัน ทำการหยุดกระบวนการหมัก โดยการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มสายชูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชู ตรวจคุณภาพทางเคมี ดังนี้

1.1 วัดแอลกอฮอล์ โดยการเก็บตัวอย่างไวน์ใส่ Microtube ปิดด้วยพาราฟิล์มเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วัดปริมาณแอลกอฮอล์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography- Flame Ionization Detector (GC-FID) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2014 มีรายละเอียดคือใช้ Capillary Column ชนิด Rtx-Wax (ความยาวของคอลัมน์ 30 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม .25 ไมโครเมตร) ระบบการฉีดสาร ประกอบด้วยอุณหภูมิของส่วนฉีดสาร 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นจาก 40 องศาเซลเซียส (คงไว้ 1 นาที) และเพิ่มขึ้นในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนเป็น 100 องศาเซลเซียส (คงไว้ 1 นาที) ก๊าซพาเป็นก๊าซฮีเลียม อัตราการไหล 99.7 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่ฉีด 1 ไมโครลิตร ใช้ Split Mode ในอัตราส่วน 45.0 (Rangkhawong, P. et al., 2013)

1.2 ตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้เครื่อง (Refractometer)

1.3 ตรวจวัดความเป็นกรด-เบส โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH Meter)

1.4 ตรวจวัดปริมาณกรดทั้งหมดโดยการไตเตรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลินเป็น Indicator

1.5 ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี Phenol-Sulfuric โดยนำตัวอย่างปริมาตร 500 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำ 5% Phenol Solution ปริมาตร 500 μ l แล้วเขย่า จากนั้นเติมน้ำ Conc. Sulfuric acid 2.5 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกับสารละลายกลูโคสมาตรฐานระดับความเข้มข้น 0 - 250 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร (Miller, G. L., 1959)

1.6 การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH (Brand-Williams, W. et al., 1995) เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mm โดยละลายด้วย ethanol 95% ปิเปตตัวอย่างมา 1.5 ml และปิเปต DPPH 1.5 ml ให้ทำปฏิกิริยากันในหลอดทดลองนำไปเขย่าให้เข้ากัน รอให้สารละลายทำปฏิกิริยากัน 20 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 517 nm ใช้เอทานอลเป็น blank

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

เมื่อกำหนดให้ A_{DPPH} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH Control
 A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างหลังทำปฏิกิริยากับ DPPH

1.7 การทดสอบประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูจากไวน์มะขามได้ทำการดัดแปลงสูตรน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจาก Chailangka, A. (Chailangka, A., 2009) โดยมีส่วนผสมดังนี้ น้ำส้มสายชูจากไวน์มะขาม 200 กรัม น้ำผึ้ง 150 กรัม น้ำเปล่า 150 กรัม ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำน้ำส้มสายชูจากไวน์มะขามไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point Hedonic scale ช่วงคะแนน 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) - 9 (ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิม โดยเป็นผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น น้ำส้มสายชู รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบรวมวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ด้วยวิธี One Way Anova และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มสายชูในระหว่างการหมัก

1.1 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอซิดิก

ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดแอซิดิก จากการผลิตน้ำส้มสายชูจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สีทอง ประกายทอง ศรีชมภู และยักษ์ฝึกดาบ โดยทำการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter pasteurianus* เป็นเวลา 15 วัน พบว่าในวันที่ 15 ของการหมักน้ำส้มสายชู น้ำส้มสายชูที่หมักจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีปริมาณแอลกอฮอล์เหลืออยู่ในน้ำส้มสายชู ดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของปริมาณของกรดแอซิดิกพบว่าในวันที่ 15 ของการหมักน้ำส้มสายชู น้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองมีปริมาณกรดแอซิดิกสูงสุดเท่ากับ $5.40 \pm 0.16\%$ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งน้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองมีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยกว่าน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากเชอร์รี่เปรี้ยว

($5.50 \pm 0.07\%$) จากงานวิจัยของ Ozturk, I. et al. (Ozturk, I. et al., 2015) ซึ่งทำการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพ แร่ธาตุ คุณภาพของสารหอมระเหย และลักษณะของจุลินทรีย์ในน้ำส้มสายชูที่ผลิตแบบพื้นบ้านในประเทศตุรกี และน้ำส้มสายชูจากข้าว *Makgeoli* ($5.61 \pm 0.03\%$) จากการวิจัยของ Chen, J. E. et al. (Chen, J. E. et al., 2014) แต่มีปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากบลูเบอร์รี่ ($2.34 \pm 0.04\%$) จากการวิจัยของ Kim, S. H. et al. (Kim, S. H. et al., 2012) น้ำส้มสายชูจากทับทิม ($3.38 \pm 0.03\%$) (Ozturk, I. et al., 2015) และน้ำส้มสายชูจากโสม (5.21 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) (Chen, Y. H. et al., 2011)

จากการหมักน้ำส้มสายชู พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ และปริมาณของกรดแอซิดิกจากการหมักน้ำส้มสายชูจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ ในช่วงเวลาวันที่ 0 - 15 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ลดลงและหมดไปในการหมักวันที่ 15 ในทุกตัวอย่าง และมีปริมาณกรดแอซิดิกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการหมัก โดยปริมาณกรดแอซิดิกอยู่ในช่วง 4.65 - 5.40 เนื่องจากแบคทีเรียเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดแอซิดิก โดยเริ่มต้นในน้ำหมักมีสารอาหารต่าง ๆ อย่างพอเพียงมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม หลังจากนั้นเมื่อเกิดการหมักสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง คือ มีค่าความเป็นกรด-เบสลดลง สารอาหารต่าง ๆ ลดลง และปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เป็นสารอาหารในการหมักลดลง ทำให้ปริมาณการเกิดขึ้นของกรดแอซิดิกช้าลง และคงที่ในที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขาม 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจาก มะขาม 4 สายพันธุ์	ปริมาณแอลกอฮอล์ (% v/v)			
	หมักวันที่ 0	หมักวันที่ 5	หมักวันที่ 10	หมักวันที่ 15
สีทอง	8.91 ± 0.02^a	2.87 ± 0.00^a	0.62 ± 0.01^a	0
ประกายทอง	7.97 ± 0.00^c	2.52 ± 0.00^b	0 ^d	0
ศรีชมภู	7.79 ± 0.00^d	1.96 ± 0.00^c	0.31 ± 0.00^b	0
ยักษ์ฝึกดาบ	8.18 ± 0.00^b	0.93 ± 0.00^d	0.22 ± 0.00^c	0

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดแอสซิติคในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชูจากมะขาม 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจาก มะขาม 4 สายพันธุ์	ปริมาณกรดแอสซิติค (เปอร์เซ็นต์)			
	หมักวันที่ 0	หมักวันที่ 5	หมักวันที่ 10	หมักวันที่ 15
สีทอง	0.31 ± 0.01^{ab}	2.7 ± 1.08	4.29 ± 1.74	5.18 ± 0.63
ประกายทอง	0.29 ± 0.02^c	3.09 ± 0.34	5.7 ± 0.11	5.40 ± 0.16
ศรีชมภู	0.31 ± 0.01^{ab}	2.3 ± 0.72	3.81 ± 1.28	4.65 ± 0.71
ยักษ์ฝักดาบ	0.31 ± 0.00^a	3.23 ± 0.22	4.94 ± 0.09	5.34 ± 0.06

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

1.2 ค่าความเป็นกรด-เบส

ค่าความเป็นกรด-เบส จากน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าจากการทดสอบค่าความเป็นกรด-เบส พบว่าน้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำสุดเท่ากับ 2.73 ± 0.02 และรองลงมาคือน้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 2.86 ± 0.36 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งมะขามแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบที่เป็นกรดอินทรีย์ในปริมาณที่ต่างกัน

ตารางที่ 3 ความเป็นกรด-เบสของการหมักน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามพันธุ์ต่าง ๆ

น้ำส้มสายชูที่ทำจาก มะขาม 4 สายพันธุ์	ค่าความเป็นกรด - เบส			
	หมักวันที่ 0	หมักวันที่ 5	หมักวันที่ 10	หมักวันที่ 15
สีทอง	3.78 ± 0.01^a	3.32 ± 0.14^a	3.07 ± 0.20^a	3.08 ± 0.20^a
ประกายทอง	3.63 ± 0.01^c	3.08 ± 0.04^a	2.87 ± 0.02^{ab}	2.86 ± 0.36^{bc}
ศรีชมภู	3.70 ± 0.01^b	3.17 ± 0.11^a	3.02 ± 0.12^a	2.96 ± 0.02^{ab}
ยักษ์ฝักดาบ	3.35 ± 0.00^d	2.88 ± 0.02^b	2.77 ± 0.02^b	2.73 ± 0.02^c

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จากการทดสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่าน้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำสุดเท่ากับ 9.8 องศาบริกซ์ รองลงมาคือน้ำส้มสายชูจากมะขามสายพันธุ์ศรีชมภู มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 9.87 ± 0.12 องศาบริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชูจากมะขาม 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจาก มะขาม 4 สายพันธุ์	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)			
	หมักวันที่ 0	หมักวันที่ 5	หมักวันที่ 10	หมักวันที่ 15
สีทอง	9.73 ± 0.12 ^d	9.8 ± 0.20 ^a	9.67 ± 0.42 ^{ab}	10.06 ± 0.61
ประกายทอง	10.73 ± 0.12 ^b	9.47 ± 0.23 ^b	9.80 ± 0.00 ^a	10.20 ± 0.20
ศรีชมภู	11 ± 0.00 ^a	9.13 ± 0.12 ^c	9.27 ± 0.31 ^{bc}	9.87 ± 0.12
ยักษ์ฝักดาบ	10.27 ± 0.12 ^c	8.80 ± 0.00 ^d	9.20 ± 0.00 ^c	9.80 ± 0.00

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม 4 สายพันธุ์

จากการที่ได้ทำการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ด้วย DPPH พบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 47.47 ± 0.25 (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับ Boonsupa, W. et al. (Boonsupa, W. et al., 2015) ได้ทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของไวน์มะขามที่ทำจากมะขาม 5 สายพันธุ์ ซึ่งพบว่าไวน์มะขามที่ทำจากสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (84.63%) นอกจากนี้มะขามพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ ยังอุดมไปด้วยวิตามินซีสูง และเนื้อมะขามมีกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดทาร์ทาริก (Tartaric) และกรดซิตริก (Citric) ส่งผลให้น้ำส้มสายชูที่ได้จากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูง (Termwong, N., 2008) จากการทดลองพบว่า กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ มีปริมาณน้อยกว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากทับทิม ($90.36 \pm 0.17\%$) (Ozturk, I. et al., 2015) และน้ำส้มสายชูจากมันฝรั่งสีม่วงผสมข้าว *Makgeoli* (67.63%) (Chen, J. E. et al., 2014) แต่น้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากแบล็คเบอร์รี่ ($12.07 \pm 1.03\%$) (Kim, S. H. et al., 2012)

ตารางที่ 5 ร้อยละกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขาม 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามสายพันธุ์ต่าง ๆ	DPPH(% inhibition)
สีทอง	32.57 ± 0.41 ^b
ประกายทอง	11.86 ± 0.11 ^d
ศรีชมภู	20.47 ± 0.64 ^c
ยักษ์ฝักดาบ	47.47 ± 0.25 ^a

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3. ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol-Sulfuric

การทดสอบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามสายพันธุ์ศรีชมภู มีปริมาณน้ำตาลสูงสุดเท่ากับ 168.56 ± 0.15 mg/l ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำตาลของน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขาม 4 สายพันธุ์	Total Sugar (mg/l)
สีทอง	141.93 ± 0.30^c
ประกายทอง	131.19 ± 0.94^d
ศรีชมภู	168.56 ± 0.15^a
ยักษ์ฝึกดาบ	146.75 ± 1.02^b

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่เตรียมจากน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม 4 สายพันธุ์

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากมะขาม 4 สายพันธุ์ (สีทอง ประกายทอง ศรีชมภู และยักษ์ฝึกดาบ) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดสอบการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสแบบ Hedonic 9 scale Test โดยเลือกกลุ่มตัวอย่าง 30 คน จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่ทำจากมะขามต่างสายพันธุ์มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ส่วนการยอมรับด้านสี รสหวานและรสเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และการยอมรับในภาพรวมพบว่า น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากไวน์มะขามพันธุ์สีทองมีระดับความชอบรวมสูงสุดเท่ากับ 5.77 ± 1.45 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากมะขาม 4 สายพันธุ์

น้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขาม 4 สายพันธุ์	สี	กลิ่น	รสเปรี้ยว	รสหวาน	ความชอบรวม
สีทอง	5.83 ± 1.41	4.40 ± 1.87^b	5.17 ± 2.10	4.43 ± 1.90	5.77 ± 1.45
ประกายทอง	5.93 ± 1.41	4.93 ± 1.96^b	5.20 ± 2.31	4.17 ± 1.91	5.40 ± 1.79
ศรีชมภู	5.87 ± 1.21	5.40 ± 1.92^a	5.17 ± 2.36	5.07 ± 1.96	5.47 ± 2.08
ยักษ์ฝึกดาบ	5.97 ± 1.12	5.37 ± 1.99^a	5.17 ± 2.28	4.73 ± 2.11	5.63 ± 1.73

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สรุป

ในระหว่างการหมักน้ำส้มสายชู แบคทีเรียผลิตกรดแอซิดิกได้ใช้แอลกอฮอล์ในการเปลี่ยนให้เป็น กรดแอซิดิก ในช่วงการหมักวันที่ 10 ปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองหมดลง แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสามารถใช้แอลกอฮอล์และสารอาหารในไวน์ที่ผลิตจากมะขามพันธุ์ประกายทอง ได้ดีที่สุด จากการหมักพบว่าน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามสายพันธุ์ประกายทองมีปริมาณกรดแอซิดิกสูงสุด (ร้อยละ 5.40) การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่าน้ำส้มสายชูที่ทำจากมะขามสายพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (ร้อยละ 47.47) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชู พร้อมดื่ม พบว่าน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่ทำจากมะขามสายพันธุ์สีทองมีค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบรวมสูงสุด เท่ากับ 5.77 จัดอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย ตามหลักเกณฑ์ 9point hedonic scale อย่างไรก็ตาม เนื่องจากองค์ประกอบของสารอาหารในน้ำมะขามแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน จึงส่งผลต่อคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักต่างกัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำส้มสายชูที่มีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดในเชิงคุณค่าและการเพิ่มมูลค่ามากที่สุด คือ น้ำส้มสายชูที่ผลิตจากมะขามพันธุ์ยักษ์ฝักดาบ เนื่องจากมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดและมีปริมาณกรดทั้งหมดสูง หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ozturk, I. et al. (Ozturk, I. et al., 2015) จะเห็นว่าน้ำส้มสายชูทับทิม มีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ปริมาณกรดทั้งหมดน้อยกว่า ร้อยละ 4 แต่งานวิจัยนี้ น้ำส้มสายชูมะขาม ที่ทำจากมะขามทั้ง 4 สายพันธุ์ มีร้อยละปริมาณกรดทั้งหมดเกินร้อยละ 4 ซึ่งได้มาตรฐานของน้ำส้มสายชู

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

References

- Boonsupa, W., Malaporn, K., Butlee, J., Simma, W., Butrobon, P., Ponmueng, P., Pathathanta, L. and Hompan, W. (2015). Study of chemical properties, sensory test and antioxidant activity of Tamarind wine. Poster session presented at the Sakon Nakhon Rajabhat University International Conference. Sakon Nakhon
- Brand-Williams W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Science and Technology. Vol. 28. pp. 25-30
- Chailangka, A. (2009). Development of vinegar drink from muiberry juice. Master of Science (Agro-Industrial Product Development). Chiang Mai University
- Chen, Y. H., Hsieh, P. C., Mau, J. L. and Sheu, S. C. (2011). Antioxidant properties and mutagenicity of *Pinus morrisonicola* and its vinegar preparation. LWT - Food Science and Technology. Vol. 44. pp. 1477-1481

- 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 Biotechnol.* Vol. 23. No. 4. pp. 1145-1149
- Kim, S. H., Cho, H. K. and Shin, H. S. (2012). Physicochemical properties and antioxidant activities of commercial vinegar drinks in Korea. *Food science Biotechnol.* Vol. 21. No. 6. pp. 1729-1734
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry.* Vol. 31. No. 3. pp. 426-428
- Ozturk, I., Caliskan, O., Tornuk, F., Ozcan, N., Yalcin, H., Baslar, M. and Sagdic, O. (2015). Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional home-made Turkish vinegars. *LWT - Food Science and Technology.* Vol. 63. Issue 1. pp. 144-151
- Rangkhawong, P., Issaranuwat, P. and Gaensakoo. R. (2013). Mycelial fermentation in submerged culture of *Schizophyllum commune* and its properties. *Science and technology journal. Mahasarakham University.* Vol. 33. No. 5. pp. 420-427
- Termwong, N. (2008). The relationship of phenolic compounds with antioxidant activity in plants. *Advanced Science.* Vol. 8. No 2. pp. 114-124
- Waldron, K. W., Johnson, I. T., and G. R. Fenwick. (1993). *Food and cancer prevention: chemical and biological aspects.* Royal Society of Chemistry: Cambridge.