การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช

Production of Fermented Vinegar from Cavendish Banana (*Musa* spp. AAA group)

การัณย์ พรหมเทพ *

Karan Phromthep *

Received: 1 May 2020, Revised: 1 June 2020, Accepted: 10 June 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่มีระดับความสุกมากจนเกินไปมาใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่นำมาศึกษาและผลิตน้ำส้มสายชูหมัก จะใช้กล้วยที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ สุกเกิน 100%, สุก 100%, และสุก 30% สำหรับขั้นตอนแรกของการหมักเพื่อให้ได้เอทานอล (ผลิตไวน์) ตัวอย่างกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับความสุก จะถูกหมักโดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เป็นเวลา 14 วัน และผลการทดลองพบว่า ไวน์จากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก (ผลิตน้ำส้มสายชูหมัก) นั้น จะนำตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากขั้นตอนที่ 1 มาผลิตโดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 และหมักเป็นเวลา 14 วันและผลการทดลองพบว่า น้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณกรดอะซิติกอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63 ถึง 7.19 เปอร์เซ็นต์ และ ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักจากกล้วยหอมเขียวสุก 100% มีปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ในน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่ายังคงตรวจพบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ภายหลังจากการหมักทั้งในขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก เป็นเวลา 14 วัน

คำสำคัญ: น้ำส้มสายชูหมัก, กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช, *Saccharomyces cerevisiae*, *Acetobacter aceti*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71190

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University, Nongbua, Muang, Kanchanaburi 71190, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): kphromthep@kru.ac.th

ABSTRACT

The present study aims at utilizing agricultural waste, which is overripe Cavendish bananas (*Musa* spp. AAA group), for fermented vinegar production. The three different ripe stages of Cavendish bananas including 1) over 100% ripe, 2) 100% ripe and 3) 30% ripe were prepared for vinegar production. For the ethanol fermentation (wines production), bananas were fermented by using *Saccharomyces cerevisiae* at 30 ^{o}C for 14 days. The results showed that there was no statistically significant difference in alcohol content among wine samples from three banana ripe stages which were in the range of 9.77 to 9.88 percent by volume. For the acetic acid fermentation (vinegar production), three banana wines were fermented by *Acetobacter aceti* TISTR 354 for 14 days. The results revealed that three vinegar samples had acetic acid content in the range of 6.63 to 7.19 percent by volume and the vinegar fermented from banana with 100% ripe stage had the highest acetic acid content ($p \leq 0.05$). In addition, the analyses of total phenolic content, total flavonoid content and the antioxidant activities (ABTS and FRAP assay) of vinegar samples fermented from three different banana ripe stages were determined. The results showed that both phenolic and flavonoid compounds were still detected and had antioxidant potentials after alcohol and subsequent acetic acid fermentation steps.

Key words: vinegar, Cavendish banana, *Saccharomyces cerevisiae*, *Acetobacter aceti*

บทนำ

กล้วยหอมเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในประเทศไทยและสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ในปัจจุบันกล้วยหอมที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้วยหอมทอง (Gros Michel) และกล้วยหอมเขียว (Cavendish) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นกลุ่มย่อยของสายพันธุ์กล้วยในกลุ่ม AAA Group (Srisa ad *et al.*, 2018) องค์ประกอบต่างๆ ที่พบในกล้วยหอมที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ได้แก่ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินเอ รวมไปถึงแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม นอกจากนี้กล้วยหอมยังเป็นแหล่ง เส้นใย โปรตีน ไขมัน และเบต้า-แคโรทีน โดยสรรพคุณของกล้วยหอมที่สำคัญได้แก่ ช่วยบำรุงเลือด ช่วยลดความเครียด แก้ปวดหัว และโรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารและลำไส้ เป็นต้น (Silayoi, 2002)

น้ำส้มสายชูหมัก (vinegar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีน้ำตาล เช่น ผลไม้ หรือธัญพืช ชนิดต่างๆ มาหมัก โดยมีกลไกการหมัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) ด้วยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) 2. ส่าเหล้าที่ได้จะถูกนำไปหมักต่อด้วยเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างกรดน้ำส้ม หรือกรดอะซิติก (*Acetobacter* spp.) สำหรับการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มสายชูหมัก คือใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหาร เครื่องดื่มสำหรับบริโภค นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นเครื่องดื่มชนิดใหม่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่น้ำส้มสายชูหมัก (Mangnoi *et al.*, 2019) น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตได้นั้นมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก รวมไปถึงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาของ Chailangka (2009); Prisacaru and Oroian (2018) ได้

อธิบายไว้ว่า ระหว่างขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูหมักจากผลหม่อนนั้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น แต่บางรายงานได้สรุปไว้ว่าระหว่างการหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชู อาจทำให้สูญเสียปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Gokirmakli *et al*., 2019; Davies *et al*., 2017) กล้วยหลายพันธุ์สามารถนำมาผลิตน้ำส้มสายชูหมักได้ โดยมีการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยและวัสดุเหลือทิ้งจากกล้วย ซึ่งได้ผลการทดลองที่น่าสนใจ ได้แก่ การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยที่สุกเกินไป (Konate *et al*., 2015) และการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเนื้อกล้วยที่เหลือทิ้ง (Tanaka *et al*., 2016) และ การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วย (Prisacaru and Oroian, 2018) เป็นต้น

เนื่องจากมีการส่งเสริมการปลูกกล้วยหอมเขียวเพื่อการค้าและส่งออก ทำให้มีผลผลิตของกล้วยหอมเขียวเป็นจำนวนมาก และมีผลผลิตบางส่วนที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน จึงทำให้ไม่สามารถส่งไปจำหน่ายได้ ผลผลิตบางส่วนที่ไม่ได้มาตรฐานจะถูกนำมาจำหน่ายในตลาดท้องถิ่นทั่วไป บางส่วนก็นำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ และเนื่องจากมีผลผลิตออกมามากจนทำให้จำหน่ายไม่ทัน จึงทำให้กล้วยสุก งอม แล้วถูกทิ้งไปในที่สุด สำหรับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ก็คือ การนำวัตถุดิบที่เหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมัก โดยการนำ มาใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบที่เหลือทิ้ง และให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบหลักและเชื้อจุลินทรีย์

1.1 กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช (*Musa* spp. AAA group "Cavendish") ได้มาจาก อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี โดยระดับความสุกของกล้วยที่จะนำมาศึกษาจะดัดแปลงมากจาก Chanthima *et al*. (2015) โดยกำหนดระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระยะ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความสุกของกล้วยที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช

ระดับการสุก	ลักษณะของกล้วย
ระยะที่ 1 (สุก 30%)	มีเปลือกเขียว (ดิบ 70%) เริ่มสุกและเป็นสีเหลืองมากขึ้น (30%)
ระยะที่ 2 (สุก 100%)	ผลมีสีเหลือง มีการสุกเต็มที่
ระยะที่ 3 (สุกเกิน 100%)	ผิวสีเหลือง และมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ)

1.2 เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ยี่ห้อ Red Star Montrachet® ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.3 เชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* TISTR 354 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Thailand MIRCEN)

2. การผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

2.1 การหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์

การเตรียมน้ำกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ได้ดัดแปลงจากวิธีการของ Konate *et al*. (2015) โดยเริ่มจากนำตัวอย่างกล้วยไปทำความสะอาด ล้าง ปอกเปลือก หั่นเป็นแว่น (ความหนา 1.0 เซนติเมตร)

จากนั้นนำน้ำดื่มสะอาดมาผสมกับกล้วยที่หั่นไว้ โดยผสมในอัตราส่วน (น้ำ: กล้วย) 2:1 ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ให้เท่ากับ 20 °Brix โดยใช้น้ำตาลทราย และค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เท่ากับ 4.5 ด้วยกรดซิตริก

นำไปให้ต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 40 °C บรรจุลงในถังพลาสติกแล้วจึงเติมเชื้อกล้าเชื้อยีสต์ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จากนั้นหมักที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 14 วัน

2.2 การหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก

การหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก ดัดแปลงจากวิธีการของ Lapa *et al.* (2011) โดยภายหลังจากการหมักเพื่อให้ได้เอทานอล 14 วัน จะได้ส่าเหล้าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.1 มาแยกใช้เฉพาะส่วนใส แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 5% (v/v) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 5.5 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำตัวอย่างของเหลวที่ได้ไปใส่ถาดพลาสติกที่สะอาด เติมหัวเชื้อน้ำส้มสายชู คือ *A. aceti* TISTR 354 ปริมาณ 5% (v/v) แล้วปิดด้วยแผ่นพลาสติกใส จากนั้นหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 14 วัน

3. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

ตัวอย่างที่ได้จากการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์เป็นเวลา 14 วัน และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกเป็นเวลา 14 วัน จะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีต่างๆ ดังต่อไปนี้ วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่อง Ebulliometer (Per Vinum J. Salleron Dujardin, Paris ประเทศฝรั่งเศส) ตามวิธีของ Chumpookam *et al.* (2014) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer (ยี่ห้อ Atago รุ่น ATC - 1E ประเทศญี่ปุ่น), ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น s220 ประเทศเยอรมนี) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ด้วยวิธีไทเทรท (AOAC, 2000)

4. การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

ภายหลังการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ เป็นเวลา 14 วัน และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างจะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งจะแสดงในรูปของกรดแกลลิกต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg gallic/100ml sample) โดยวิธี Folin-Ciocalteu โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ในขณะที่การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แสดงในรูปของควอเซอทินต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg qurcetin/100ml sample) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ซึ่งการวิเคราะห์นี้ได้ดัดแปลงจาก Iqbal *et al.* (2007)

วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิธี ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline -6-sulphonic acid) แสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลเทียบเท่าสารโทรลอกซ์ต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg Trolox/100 ml sample) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ในขณะที่วิธี FRAP (ferric ion reducing antioxidant power) จะแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสซัลเฟต ต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg $FeSO_4$ /100 ml sample) ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ซึ่งการวิเคราะห์นี้ดัดแปลงจากวิธีของ Dudonne *et al.* (2009)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทรีตเมนต์

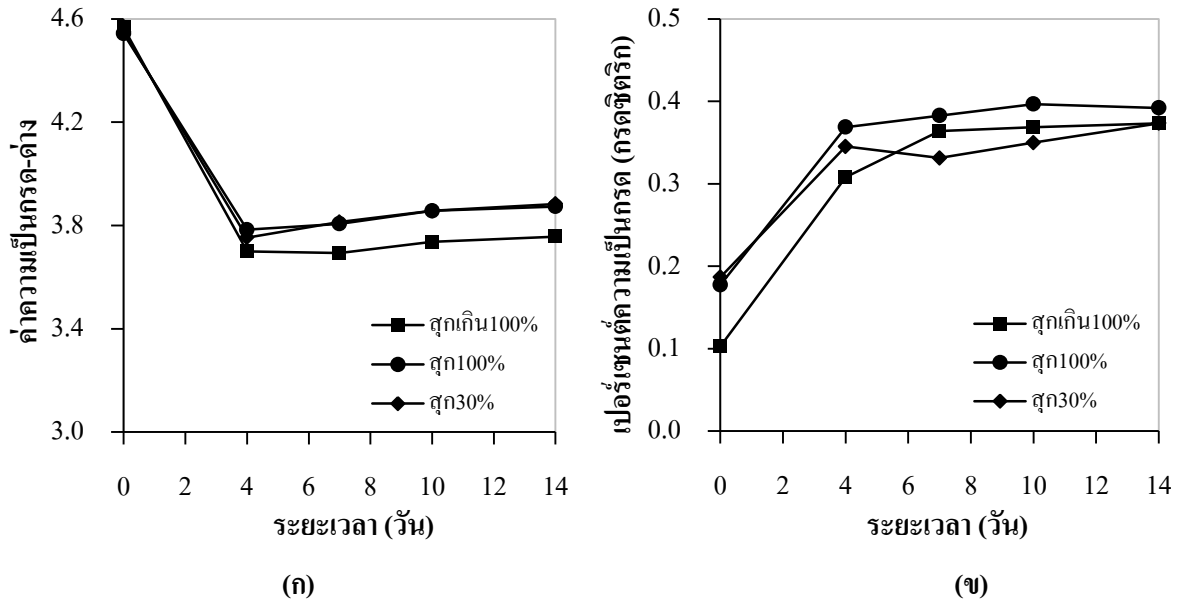
ได้แก่ ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (ระยะที่ 1 (สุก 30%), ระยะที่ 2 (สุก 100%), ระยะที่ 3 (สุกเกิน 100%) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์โดยใช้ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูหมักนั้นจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนด้วยกัน โดยขั้นตอนแรกจะเริ่มด้วยการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) จากนั้นจะเป็นการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก โดยใช้เชื้อแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (*A. aceti* TISTR 354) โดยการศึกษานี้ได้ผลิตน้ำส้มสายชูหมัก โดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ (1) กล้วยที่มีความสุกเกิน 100% (2) กล้วยที่มีความสุก 100% และ (3) กล้วยที่มีความสุก 30% สำหรับผลวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีระหว่างการหมัก พร้อมทั้งปริมาณสารสำคัญที่มีในตัวอย่าง แสดงดังตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

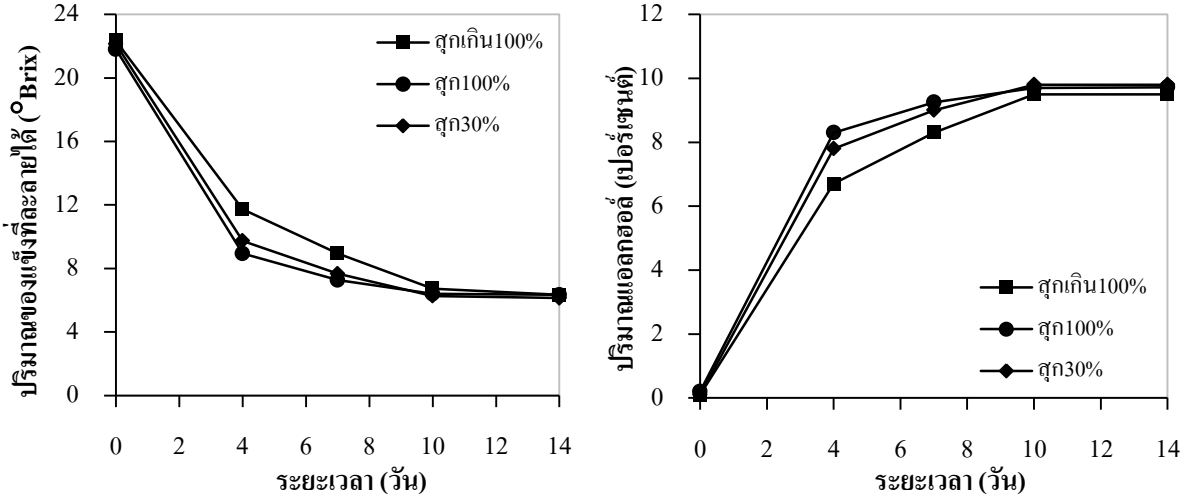
1. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์

การหมักในขั้นตอนแรก เป็นการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ โดยจะวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยการหมักเป็นเวลา 14 วัน ผลการทดลองแสดงดังในภาพที่ 1 ถึง 4 และตารางที่ 2



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) (ข) ของไวน์จากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของไวน์ทั้งสามตัวอย่าง มีแนวโน้มที่ลดลงระหว่างการหมัก ในช่วงวันที่ 0-4 แต่หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มที่คงที่ไปถึงวันที่ 14 ของการหมัก (ภาพที่ 1 (ก)) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) ในตัวอย่างไวน์ทั้งสามตัวอย่างนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการหมักช่วง 4 วันแรก หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ของไวน์ทั้งสามตัวอย่างมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าคงที่ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน (ภาพที่ 1 (ข))



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ก) และปริมาณแอลกอฮอล์ (ข) ในไวน์จากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของตัวอย่างไวน์ทั้งสาม มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการหมักในช่วงวันที่ 0-4 แต่หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงอย่างเล็กน้อยและคงที่ไปจนถึงวันที่ 14 ของการหมัก (ภาพที่ 2 (ก)) ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าตัวอย่างไวน์ทั้งสาม มีแนวโน้มของปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มอย่างขึ้นอย่างเล็กน้อยและคงที่ตลอดช่วงการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2 (ข))

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นของน้ำผลไม้หรือสารละลายที่จะนำมาหมักไวน์เพื่อให้ได้เอทานอลมีความสำคัญอย่างมาก โดยภายหลังจากกระบวนการหมักได้เริ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดในตัวอย่างไวน์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่จะให้ผลที่ตรงกันข้ามกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เตส (Invertase enzyme) ที่สามารถย่อยสลายน้ำตาลซูโครสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส และหลังจากนั้นจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แอลกอฮอล์ กรดอะซิติก กรด

แล็กติก และคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเอนไซม์ อื่นๆ ซึ่งจะเกี่ยวข้องในวิถี Embden-Meyerhof-Parnas (EMP pathway) ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง โดยเชื้อยีสต์จะนำน้ำตาลดังกล่าวไปใช้ในการเจริญเติบโตแล้วสร้างแอลกอฮอล์ไปพร้อมๆ กัน และในระหว่างการหมักไวน์นั้นก็จะมีการสร้างกรดเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลง (Chaikulsareewath and Wongprayoon, 2006; Jitjaroen, 2013)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างไวน์กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์)
สุกเกิน 100%	3.76±0.01^{a}	0.37±0.02^{a}	6.33±0.11^{a}	9.77±0.06^{a}
สุก 100%	3.87±0.01^{b}	0.39±0.02^{a}	6.33±0.12^{a}	9.77±0.06^{a}
สุก 30%	3.88±0.01^{b}	0.37±0.02^{a}	6.13±0.12^{a}	9.88±0.06^{a}

$^{a, b}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีในตัวอย่างไวน์ที่หมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) โดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุก 3 ระดับ ซึ่งใช้เวลาหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวนั้นมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.76 ถึง 3.88 โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุกเกิน 100% นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำที่สุดอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.37 ถึง 0.39 เปอร์เซนต์, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.13 ถึง 6.33 ^{o}Brix และปริมาณแอลกอฮอล์ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ โดยที่คุณลักษณะทางเคมีดังกล่าวข้างต้นของไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คาร์โบไฮเดรตในเนื้อกล้วยส่วนใหญ่นั้นเป็นน้ำตาล ซึ่งเชื้อยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ นอกจากนี้ในเนื้อกล้วยยังมีเกลือแร่ ไขมัน และโปรตีน ที่เหมาะสมสำหรับช่วยเสริมในการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ โดยในระหว่างการหมักไวน์จากเศษกล้วยเหลือทิ้ง พบว่าปริมาณน้ำตาลนั้นมีค่าลดลงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในช่วงการหมักเป็นเวลา 45 ชั่วโมง (Tanaka *et al.*, 2016) และจากการศึกษาของ Sodchit and Weeragul (2012) พบว่าคุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากเศษกล้วยที่ใช้ระยะเวลา 15 วัน มีการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงจาก 22 ^{o}Brix เหลือ 7.00 ^{o}Brix และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลงจาก 4.60 เหลือ 3.40

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ เป็นวัตถุดิบและใช้เวลาหมักเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ของตัวอย่างไวน์กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่างไวน์	Total phenolic (mg gallic /100ml sample)	Total flavonoid (mg quercetin /100ml sample)	ABTS (mg trolox/100 ml sample)	FRAP (mg FeSO4 /100ml sample)
สุกเกิน 100%	13.31±0.19[c]	6.50±0.06[c]	11.84±0.15[c]	38.83±0.95[b]
สุก 100%	18.12±0.24[a]	12.64±0.06[a]	16.95±0.23[a]	55.44±0.08[a]
สุก 30%	15.69±0.39[b]	6.74±0.06[b]	12.36±0.26[b]	36.32±1.18[c]

[a, b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่3 พบว่า ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับ มีอิทธิพลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยสำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่างนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 13.31 ถึง 18.12 mg gallic/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในไวน์ทั้งสามตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.50 ถึง 12.64 mg quercetin/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay พบว่าไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่ากิจกรรม การต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 11.84 ถึง 16.95 mg trolox/100 ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรม การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่าตัวอย่างไวน์ทั้ง 3 มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 36.32 ถึง 55.44 mg FeSO4/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ อัลคาลอยด์ เป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สามารถพบได้ทั่วไปในอาณาจักรพืชและอาหาร ในกล้วยนั้นจะมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกและอนุพันธ์ ซึ่งจะพบได้ในทุกๆ ส่วนของผลกล้วยและสารประกอบดังกล่าวนั้นจะมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระ ซึ่งอาจจะสามารถใช้เป็นยา

เพื่อใช้รักษาโรคต่างๆ ได้ (Al Amri and Hossain, 2018) และจากการทดลองของ Aquino *et al.* (2016) ได้รายงานไว้ว่า ในเปลือกกล้วยที่สุกแล้ว จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มากที่สุด รองลงมาคือ เนื้อกล้วยที่สุก เปลือกกล้วยไม่สุก และเนื้อกล้วยที่ไม่สุกซึ่งจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่พบในกล้วยที่ระดับความสุกที่แตกต่างกันจะพบว่า เปลือกกล้วยสุกจะมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือกกล้วยไม่สุก เนื้อกล้วยที่สุก และเนื้อกล้วยที่ไม่สุก ตามลำดับ

ผลกระทบต่อสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนูมูลอิสระเนื่องจากการหมักเพื่อให้ได้เอทานอลและกรดอะซิติกที่รายงานโดย Chailangka (2009) ได้สรุปไว้ว่าตัวอย่างน้ำผลหม่อนที่ผ่านการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์นั้นมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าน้ำผลหม่อนเริ่มต้น (ตัวอย่างควบคุม) ที่ไม่ได้ผ่านการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความร้อน (ประมาณ 36 ถึง 38 องศาเซลเซียส) ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นมีผลอย่างมากต่อสารต้านอนุมูลอิสระ

2. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก

คุณลักษณะทางเคมี ซึ่งวิเคราะห์ภายหลังจากการหมักโดยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้กรดอะซิติก โดยผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่างน้ำส้มสายชู	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดอะซิติก)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o}Brix)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์)
สุกเกิน 100%	2.66±0.01^{a}	6.63±0.02^{c}	5.27±0.12^{b}	1.53±0.12^{a}
สุก 100%	2.65±0.05^{a}	7.19±0.03^{a}	5.33±0.12^{b}	1.50±0.10^{a}
สุก 30%	2.66±0.05^{a}	6.91±0.05^{b}	5.73±0.12^{a}	1.20±0.10^{b}

$^{a, b}$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับ นั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดอะซิติก) โดยระหว่างการหมักจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63 ถึง 7.19 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน และตัวอย่างที่มีปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุดคือ น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มสายชูหมัก ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.27 ถึง 5.73 องศาบริกซ์โดยตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูนั้น พบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากแอลกอฮอล์ (เอทานอล) นั้นเป็นสารตั้งต้นและเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก และภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน จะมีปริมาณแอลกอฮอล์หลงเหลือในน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.20 - 1.53 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% จะมีปริมาณแอลกอฮอล์เหลืออยู่น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากมีปริมาณกรดอะซิติกที่เพิ่มมากขึ้นระหว่างการหมัก โดยที่ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน น้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 2.65 ถึง 2.66 ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองของ Chanthima *et al.* (2015) ที่ได้ทดลองผลิตน้ำส้มสายชูจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีระยะเวลาการสุก 3 ระยะ คือ สุกน้อย, สุก และสุกจัด ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 3 เดือน น้ำส้มสายชูที่ผลิตได้นั้น มีกลิ่นหอมของกล้วยและกลิ่นกรดอะซิติก และมีปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยสุกจัดมากที่สุด คือ 883.33 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมของกล้วย ในขณะที่ปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยสุกน้อย มีค่าต่ำที่สุดคือ 700.00 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมของกล้วย และจากการศึกษาของ Sodchit and Weeragul (2012) ที่ได้วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากเศษกล้วย พบว่า ภายหลังจาการทดลองเป็นเวลา 15 วัน ปริมาณแอลกอฮอล์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง แต่ปริมาณกรดอะซิติกนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในตัวอย่างมีค่าคงที่ระหว่างการหมัก และจากผลการทดลองของ Tanaka *et al.* (2016) ซึ่งได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางเคมีของน้ำส้มสายชูหมักจากเศษกล้วยเหลือทิ้ง พบว่าแอลกอฮอล์ในไวน์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก ซึ่งปริมาณกรดอะซิติกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 49.7 กรัมต่อลิตร และมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างมีแนวโน้มที่ลดลง จาก 4.0 เป็น 2.85 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี ได้แก่ ระดับอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น เป็นต้น

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าสามารถตรวจพบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content), ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่างน้ำส้มสายชู	Total phenolic (mg gallic /100ml sample)	Total flavonoid (mg quercetin /100ml sample)	ABTS (mg trolox/100 ml sample)	FRAP (mg Fe SO_4 /100ml sample)
สุกเกิน 100%	12.88±0.08[b]	5.54±0.06[c]	7.62±0.30[b]	32.04±0.21[c]
สุก 100%	16.52±0.19[a]	9.93±0.24[a]	10.74±0.02[a]	45.06±1.43[a]
สุก 30%	16.52±0.67[a]	7.10±0.42[b]	8.04±0.27[b]	36.21±0.64[b]

[a, b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 12.88 ถึง 16.52 mg gallic/100ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชู ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% และ 100% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโว-นอยด์ ในน้ำส้มสายชูหมักทั้งสามตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.54 ถึง 9.93 mg quercetin/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay พบว่าตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 7.62 ถึง 10.64 mg trolox/100 ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชู ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และจากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่าตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 32.04 ถึง 45.06 mg $FeSO_4$/100ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

Su and Chien (2007) ได้รายงานว่าระหว่างการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกนั้น กรดที่ถูกสร้างขึ้นจะไปทำลายโครงสร้างของสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่างๆ และทำให้เกิดการเสียสภาพไป โดยมีผลทำให้ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีโนลิก ในตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจาก บลูเบอร์รี่ (rabbiteye blueberry, *Vaccinium ashei*) มีปริมาณลดลงหลังกระบวนการหมัก และ Chailangka (2009) ได้อธิบายไว้ว่าการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและค่า EC_{50} นอกจากนี้ ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกในรูปของกรดแกลลิก และปริมาณฟลาโวนอยด์ในรูปของควอเซอทินนั้น มีแนวโน้มลดลง และจากการศึกษาของ Gokirmakli *et al.* (2019) สรุปได้ว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างน้ำส้มสายชู

จากผลสตรอเบอร์รี่มีแนวโน้มลดลงระหว่างกระบวนการหมัก

สรุป

จากผลการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชโดยเปรียบเทียบระดับความสุกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการหมักโดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ พบว่าตัวอย่างไวน์จากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณเอทานอลไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณเอทานอลดังกล่าวนั้นเพียงพอสำหรับนำไปผลิตน้ำส้มสายชูหมักในขั้นตอนถัดไปได้ และในขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกโดยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 พบว่าภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิติกอยู่ในช่วงระหว่าง 6.31 ถึง 7.91 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด

นอกจากนี้ ภายหลังจากกระบวนการหมักเพื่อให้ได้เอทานอลและกรดอะซิติกในตัวอย่างไวน์และน้ำส้มสายชูทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระยังคงหลงเหลือและมีกิจกรรมอยู่ โดยที่ตัวอย่างไวน์และน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) สูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

Al Amri, F.S. and Hossain, M.A. 2018. Comparison of total phenols, flavonoids and antioxidant potential of local and imported ripe bananas. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences** 5(4): 245-251.

AOAC. 2000. **Official methods of analysis of AOAC international.** 17th Edition. Association of official analytical chemists. Gaithersburg, MD. USA.

Aquino, C.F., Salomao, L.C.C., Ribeiro, S.M.R., Siqueira, D.L.D. and Cecon, P.R. 2016. Carbohydrates, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Pulp and Peel of 15 Banana Cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura** 38(4): 1-11.

Chaikulsareewath, A. and Wongprayoon, P. 2006. Research and Development of Mango Wine. **Journal of Food Technology Siam University** 2(1): 28-35. (in Thai)

Chailangka, A. 2009. **Development of vinegar drink from mulberry juice.** CMU intellectual Repository. Available Source: http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/20404, April 1, 2020. (in Thai)

Chanthima, N., Thaenthong, S. and Srisuworamas, B. 2015. Production and qualification analysis of vinegar from banana. **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal** 7(7): 57-76. (in Thai)

Chumpookam, J., Subnum, V. and Jaruwattanaphan, T. 2014. Effect of component ratio on coffee pulp wine quality and consumer's satisfaction. **Khon Kaen Agricultural Journal** 42(3): 415-420. (in Thai)

Davies, C.V., Gerard, L.M., Ferreyra, M.M., Schvab, M.D.C. and Solda, C.A. 2017. Bioactive compounds and antioxidant activity analysis during orange vinegar production. **Food Science and Technology** 37(3): 449-455.

Dudonne, S., Vitrac, X., Coutiere, P., Woillez, M. and Mérillon, J.M. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. **Journal of agricultural and food chemistry** 57(5): 1768-1774.

Gokirmakli, Ç., Budak, N.H., Filiz, B.E. and Karakulak, I.D. 2019. Antioxidant Properties of Strawberry Vinegar. **International Journal of Food Engineering** 5(3): 171-174.

Iqbal, S., Bhanger, M.I. and Anwar, F. 2007. Antioxidant properties and components of bran extracts from selected wheat varieties commercially available in Pakistan. **LWT-Food Science and technology** 40(2): 361-367.

Jitjaroen, W. 2013. **Wine Maker Handbook.** 1st Edition. Chiangmai printing co.ltd, Chiangmai. (in Thai)

Konate, M., Akpa, E.E., Bernadette, G.G., Koffi, L.B., Ouattara, G., Honore, O.G. and Niamke, S.L. 2015. Banana Vinegars Production Using Thermotolerant *Acetobacter pasteurianus* Isolated from Ivorian Palm Wine. **Journal of Food Research** 4(2): 92-103.

Lapa, P., Chompreeda, P. and Haruthaithanasan, V. 2011. Development of Fermented Vinegar from Black Glutinous Brown Rice, pp. 793 -800. *In* **proceeding Khonkaen University National Graduate Research Conference 12th.** Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)

Mangnoi, M., Srichayet, P. and Saithong, P. 2019. **Production of vinegar and vinegar drink.** Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Prisacaru, A.E. and Oroian, M.A. 2018. Quality Evaluation of Vinegar Obtained from Banana Peel, pp. 259-264. *In* **Proceedings, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018 18th.** SGEM, Bulgaria.

Silayoi, B. 2002. **Bananas.** 3rd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)

Sodchit, C. and Weeragul, K. 2012. **Research Report no Increasing Potential of Banana Fragments in Phitsanulok Province: Production of Vinegar from Banana Fragments Prototype factory design and product marketing.** Faculty of Agriculture, Natural Resource and Environment Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)

Srisa ad, A., Areesrisom, K. and Sumrongyen, P. 2018. **Cavendish banana.** 1st Edition. Naka intermedia co.ltd, Bangkok. (in Thai)

Su, M.S. and Chien, P.J. 2007. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation. **Food Chemistry** 104(1):182-187.

Tanaka, C.A., Ruzon, F.I., Miranda, L.C.R., Galvan, D., Spinosa, W.A. and Castro-Goméz, R.J.H. 2016. **Modeling and Kinetics of Bioconversion and Chemical Properties (Wine and Vinegar) from Banana Pulp By-Products.** Preprints 2016. Available Source: https://www.preprints.org/manuscript/201612.0007/v1, April 1, 2020.