การผลิตไวน์เพื่อสุขภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกกาแฟเชอรี่

Healthy Wine with Antioxidant Activity Production from Coffee Cherry Pulp

พัทธนันท์ นาถพินิจ และ อัจฉรา ไชยองค์การ*

Patthanant Natpinit and Achara Chaiongkarn*

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

Thailand Institute of Scientific and Technological Research

E-mail : patthanant_n@tistr.or.th and achara@tistr.or.th *

*Corresponding author

(Received: 15 January 2024, Revised: 24 March 2024, Accepted: 29 March 2024)

https://doi.org/10.57260/stc.2024.750

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตไวน์สุขภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกกาแฟเชอรี่ ที่ระดับการผลิต 40 ลิตร ภายใน 7 วัน มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ยีสต์สำเร็จรูปที่อัตรา 40 กรัมต่อน้ำหมัก 6 ลิตร ที่มีอัตราส่วนเปลือกกาแฟเชอรี่ที่ร้อยละ 1.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 บริกซ์ หมักในภาวะเติมอากาศ 1 วัน แล้วนำไปขยายผลการหมักที่ 40 ลิตร ที่มีอัตราส่วนเปลือกกาแฟเชอรี่ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานเดียวกัน หมักเติมอากาศ 1 วัน และไม่เติมอากาศ 5 วัน การศึกษาพบว่าไวน์เพื่อสุขภาพที่ได้มีแอลกอฮอล์ที่ร้อยละ 13 สารประกอบฟีนอลิก 436 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging 135 ไมโครกรัมแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP 121 ไมโครกรัมเฟอรัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 34.53 ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ และมีต้นทุนในการผลิตเพียง 6 บาทต่อไวน์ 1 ลิตร

คำสำคัญ: ไวน์เพื่อสุขภาพ เปลือกกาแฟเชอรี่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this research is to produce a healthy wine with antioxidant activity from coffee cherry pulp. The production was conducted at 40 liters within 7 days. Increasing instant yeast inoculum operated with 40 g of yeast in 6 liters of fermented liquor. Coffee cherry pulp was added in the fermentation with a ratio of 1.7% (w/v) included with total soluble solids or sweetness of 20 Brix. The fermentation occurred in aeration with 1 day, then, added to 40 liters of fermented liquor with coffee cherry pulp ratio and the same total soluble solids or sweetness for expansion. The fermentation was conducted in aeration for 1 day and anaerobic condition for 5 days. Study results have shown that healthy wines contain 13% alcohol, 436 ug gallic acid/ml of phenolic compounds, 135 ug ascorbic acid/ml of antioxidant activity by DPPH radical scavenging method, 121 ug ferrous sulphate/ml of antioxidant activity by FRAP method, and 34.53% antioxidant activity, which is good for health. The production cost is only 6 baht per 1 liter of wine.

Keywords: Healthy wine, Coffee cherry pulp, Antioxidant activity

บทนำ

กาแฟสายพันธุ์อราบิก้าเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในแถบภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะพื้นที่ราบสูง เพราะมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟ ของเสียที่เกิดขึ้นจากกรรมวิธีการแปรรูปเมล็ดกาแฟ ประกอบด้วย เนื้อผลเชอรี่ ร้อยละ 55 และกะลากาแฟ ร้อยละ 29 (ชุติมณฑน์ พลอยประดับ และคณะ, 2553) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแล้ว พบว่า เนื้อผลเชอรี่ประกอบด้วย แทนนิน ร้อยละ 1.80-5.56 กรดคลอโรจีนิก ร้อยละ 2.6 สารกลุ่มเพคติค ร้อยละ 6.5 น้ำตาลรีดิวส์ ร้อยละ 12.4 น้ำตาลที่ยังไม่รีดิวส์ ร้อยละ 2.0 คาเฟอีน ร้อยละ 1.3 และกรดคาเฟอิค ร้อยละ 1.6 และยังพบสารประกอบในกลุ่มฟีนอลและกลุ่มฟลาโวนอยด์สูง โดยเฉพาะแอนโทไซยานินซึ่งพบมากในเนื้อผลกาแฟสุกหรือเนื้อผลเชอรี่ที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และยังอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แอนโธไซยานิน แทนนิน โพลีฟีนอล และคาเฟอีน เป็นต้น (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2550)

จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือกกาแฟเชอรี่ พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 0.39-2.83 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ ซึ่งสามารถแสดงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ทั้งในรูปของ DPPH และ FRAP โดยสารสำคัญในเปลือกกาแฟเชอรี่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่า FRAP โดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 143 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตรสารสกัดในเปลือกกาแฟเชอรี่แห้งที่สกัดด้วยน้ำร้อน และเอทานอล มีสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH มากที่สุด ที่ 821 และ 219 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟเชอรี่ ตามลำดับ สำหรับ FRAP สารสกัดจากเปลือกกาแฟเชอรี่แห้งด้วยน้ำร้อนมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ เอทานอล ซึ่งมีค่าเป็น 122.25 และ 43.91 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อกรัมเปลือกกาแฟเชอรี่ ตามลำดับ หรือ 69.33 และ 24.90 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟเชอรี่ ตามลำดับ (พัทธนันท์ นาถพินิจ และคณะ, 2566)

จากการหมักแอลกอฮอล์ โดยใช้อัตราส่วนเนื้อผลกาแฟพันธุ์อาราบิก้าแห้ง 30 กรัมต่อน้ำ 2.5 ลิตรในการหมักแอลกอฮอล์ ต่อเนื่องไปเป็นกรดอะซิติก พบว่า จะได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็น 229.40+0.882 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH เป็น 38.21+0.745% (นฤมล บุญมี และคณะ, 2562) และจากการสกัดเปลือกกาแฟแห้ง 30 กรัมด้วยเอทานอล 95% 200 มิลลิลิตร พบว่า ได้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 9.23+0.22 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ (พัทธชัย ปิ่นนาค และคณะ, 2563)

การหมักแอลกอฮอล์ นิยมใช้ยีสต์ในกลุ่ม *Saccharomyces cerevisiae, Saccharomyces ellipsoideus, Saccharomyces diastaticus* และ*Saccharomyces carlsbergensis* เป็นต้น โดยมีสภาวะในการหมักที่อุณหภูมิ 25-30 °ซ ซึ่งสามารถผลิตแอกอฮอล์ได้สูงถึง 75 กรัมต่อลิตร ที่ pH 5.5 (Panchal & Tavares, 1990) ยีสต์แห้งสำเร็จรูปผลิตขนมปังมีความเหมาะสมในการใช้เป็นหัวเชื้อหมักแอลกอฮอล์ในระดับโรงงานนำทาง ทั้งนี้เนื่องจากได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด องค์ประกอบของยีสต์แห้งสำเร็จรูป ส่วนใหญ่เป็นยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่มีส่วนประกอบเป็น 98.85% ซึ่งถือว่าเป็นหัวเชื้อยีสต์ที่มีปริมาณสูง ทำให้เกิดการหมักได้ทันที และมีข้อดีในการหาซื้อง่าย และราคาไม่แพง (100 บาทต่อ 500 กรัม) และในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้หัวเชื้อยีสต์แบบผงแห้ง ซึ่งเก็บได้นาน ใช้ไม่ยาก และมีประสิทธิภาพดีกว่ายีสต์สด

การนำผลเชอรี่มาหมักเป็นไวน์เพื่อสุขภาพ สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อผลเชอรี่ได้อย่างมาก เนื่องจากสารสำคัญที่มีอยู่ช่วยในระบบย่อยอาหาร โดยเฉพาะกรดคลอโรจีนิค ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ช่วยลดการดูดไขมันในร่างกาย โดยเฉพาะบริเวณลำไส้ และตับ และยังมีสารแอนติออกซิเดนท์ ช่วยลดการอักเสบของเซลได้อีกด้วย (Hillkoff, 2021) และยังช่วยลดค่าดัชนีไกลซีมิก (Leeman et al., 2005) ช่วยลดระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคส และอินซูลินหลังการรับประทานอาหาร ช่วยในการควบคุมน้ำตาลในเลือด ความเสี่ยงการเกิดโรคเบาหวานจึงลดลง (Johnston et al., 2004) นอกจากนี้ยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Fushimi et al., 2006) ช่วยควบคุมน้ำหนัก ช่วยลดความอยากอาหารได้อีกด้วย (Ostman et al., 2005) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกกาแฟเชอรี่เป็นไวน์เพื่อสุขภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธีการเพิ่มปริมาณหัวเชื้อยีสต์สำเร็จรูปก่อนที่จะนำไปขยายกำลังการผลิตที่ระดับ 40 ลิตร เพื่อลดระยะเวลาในการหมักให้ไม่เกิน 7 วัน และลดปริมาณหัวเชื้อยีสต์ในการขยายกำลังการผลิต เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และไวน์เพื่อสุขภาพที่ได้มีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP ที่ถูกสกัดได้ในระหว่างการหมัก เพื่อนำไปจำหน่ายสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าจากของเหลือจากเปลือกกาแฟ ที่ปัจจุบันนำไปผลิตเป็นปุ๋ย

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมเปลือกกาแฟ

นำเปลือกกาแฟสดพันธุ์อราบิก้าที่ได้รับจากมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาอบที่อุณหภูมิ 40-60°ซ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

2. การศึกษาสภาวะการหมักเอทานอล

2.1 การหมักเปลือกกาแฟเชอรี่

สภาวะในการหมักเปลือกกาแฟเชอรี่ โดยใช้ปริมาณเปลือกกาแฟเชอรี่ที่ 1.7% น้ำหนักต่อปริมาตร

ในขนาด 3 ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 Brix ด้วยยีสต์สำเร็จรูป 20 กรัม (ภาพที่ 1 ก.) DAP 1.5 กรัม และ KMS 0.6 กรัม หมักแบบไม่เติมอากาศ ที่อุณหภูมิห้องในช่วง 27-33°ซ ระยะเวลาในการหมัก 14 วัน

2.2 การเตรียมหัวเชื้อยีสต์ สำหรับการขยายการผลิต

สภาวะในการเตรียมหัวเชื้อยีสต์ สำหรับการขยายการผลิต โดยใช้ปริมาณเปลือกกาแฟเชอรี่ที่ 1.7% น้ำหนักต่อปริมาตร ในขนาด 6 ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 Brix ด้วยยีสต์สำเร็จรูป 40 กรัม DAP 1.5 กรัม และ KMS 0.6 กรัม หมักแบบเติมอากาศที่ปริมาณ 1 มิลลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องในช่วง 27-33°ซ ระยะเวลาในการหมัก 1 วัน

2.3 การขยายกำลังการหมักที่ 40 ลิตร

นำหัวเชื้อในข้อ 2.2 มาเติมในน้ำหมัก 34 ลิตร ที่มีเปลือกกาแฟเชอรี่ที่ 1.7% น้ำหนักต่อปริมาตร ในความหวาน 20 Brix DAP 17 กรัม และ KMS 6.8 กรัม หมักแบบเติมอากาศที่ปริมาณ 1 มิลลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องในช่วง 27-33°ซ ระยะเวลาในการหมัก 1 วัน และหมักแบบไม่เติมอากาศอีก 5 วัน

3. วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นด้วย

วิเคราะห์ร้อยละแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องมือ vinometer และเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

ก.

ข.

ค.

ก. หัวเชื้อยีสต์แห้งสำเร็จรูปที่ใช้ในการผลิตขนมปังหวาน ข. เครื่องวัดแอลกอฮอล์ Vinometer
ค. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC : Agilent 1200 Infinity Series)

ภาพที่ 1 หัวเชื้อยีสต์ และอุปกรณ์การวัดแอลกออล์
(ที่มา : คณะผู้วิจัย, 2567)

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-ciocalteu colorimetric ดัดแปลงจากวิธีการของ (Pekal and Pyrzynska, 2004)

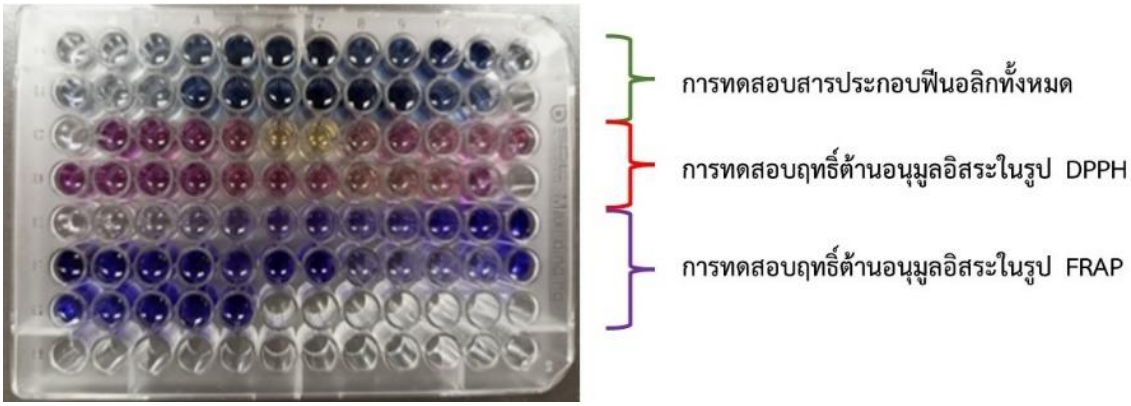
เตรียมสารละลายกรดแกลลิก ที่มีความเข้มข้น 0.05-1 มก./มล. หรือสารละลายตัวอย่าง 0.1 มล. เติมสารทดสอบ $NaCO_3$ 2% (w/v) 2 มล. เขย่าให้เข้ากัน เติม Folin-Ciocalteu reagent 0.1 มล. ทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร สีของสารวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 2 แล้วนำไปสร้างเส้นกราฟมาตรฐานจากการตรวจวัดกรดแกลลิก (ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ)

5. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging assay) ดัดแปลงจากวิธีการของ (Thomas et al., 2012)

เตรียมสารละลาย 2, 2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 0.1 มิลลิโมล โดยชั่งน้ำหนัก 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95% 100 มล. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หรือสารละลายตัวอย่าง 0.1 มล. ปิเปตสารละลาย DPPH 2.9 มล. เขย่า และทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโมเมตร สีของสารวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 2 แล้วนำไปสร้างเส้นกราฟมาตรฐานจากการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก (ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ)

6. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ดัดแปลงจากวิธีการของ (Yang et al., 2010)

เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ซั่งเฟอร์ริคคลอไรด์ 0.054 กรัม ละลายในน้ำ 10 มล. ส่วนที่ 2 ซั่ง TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) 0.031 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 0.04 โมลาร์ 10 มล. ส่วนที่ 3 สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ ที่พีเอช 3 100 มล. ปิเปตสารละลาย FRAP 0.95 มล. เติมสารละลายมาตรฐานเฟอรัส ที่ความเข้มข้น 100-1,000 ไมโครโมล โดยเจือจางจากสารละลายมาตรฐานเฟอรัส 0.02 โมลาร์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.04 โมลาร์ หรือสารละลายตัวอย่าง 0.05 มล. เขย่า และทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโมเมตร สีของสารวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 2 แล้วนำไปสร้างเส้นกราฟมาตรฐานจากการตรวจวัดสารมาตรฐานเฟอรัส (ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ)

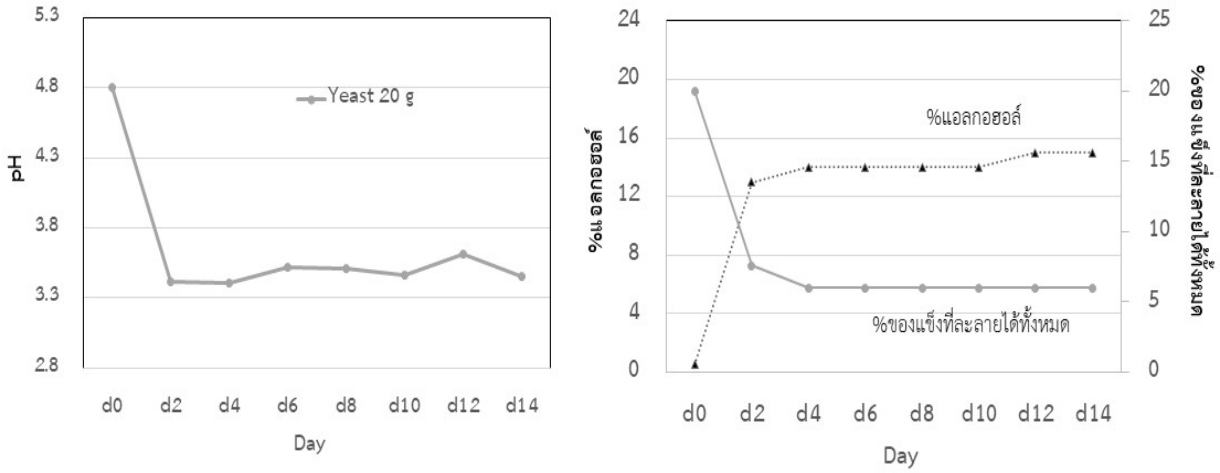


ภาพที่ 2 สีของสารวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP (ที่มา : คณะผู้วิจัย, 2567)

ผลการวิจัย

1. การหมักเปลือกกาแฟเชอรี่

สภาวะในการหมักเปลือกกาแฟเชอรี่ โดยใช้ปริมาณเปลือกกาแฟเชอรี่ที่ 1.7% น้ำหนักต่อปริมาตรในขนาด 3 ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 บริกซ์ ด้วยยีสต์สำเร็จรูป 20 กรัม หมักแบบไม่เติมอากาศ ผลของการหมัก แสดงได้ดังตารางที่ 1. และภาพที่ 3 พบว่า แนวโน้มของระดับพีเอชลดลงอย่างมากในวันที่ 2 ซึ่งมีค่าลดลงจากพีเอชตั้งต้นที่ 4.8 และลดลงมาที่ 3.3 และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และที่ 14 วัน ได้ระดับพีเอชที่ 3.54 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานเริ่มต้นที่ 20 บริกซ์ ลดลงเหลืออยู่ 7 บริกซ์ ในวันที่ 2 และลดลงเหลือ 5 บริกซ์ ตั้งแต่ในวันที่ 4 ส่วนแอลกอฮอล์ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 13% ตั้งแต่วันที่ 2 และเพิ่มขึ้นเป็น 13% และ 15% ในวันที่ 14



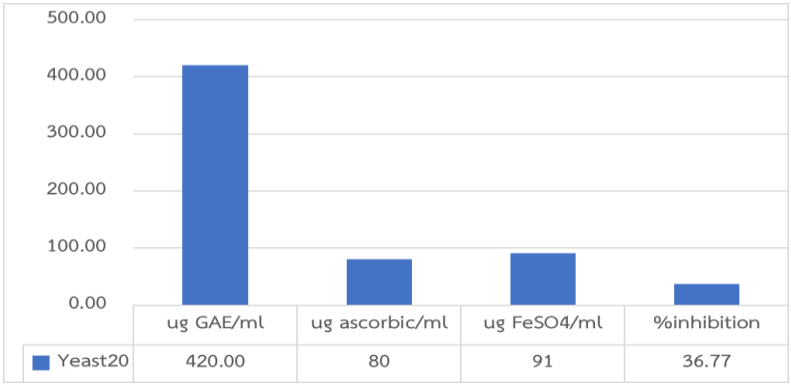
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงพีเอช น้ำตาล และแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยยีสต์สำเร็จรูป
(ที่มา : คณะผู้วิจัย, 2567)

จากภาพที่ 4 และตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการหมักเปลือกกาแฟเชอรี่ มีค่าเป็น 34.92 มก.กรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟเชอรี่ หรือ 420 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH ใกล้เคียงกับ FRAP โดยในรูปของ DPPH เป็น 13.41 มก.กรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 80 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และ 7.70 มก.สมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อกรัมเปลือกกาแฟเชอรี่ หรือ 91 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็น 36.77%

ตารางที่ 1 ผลการหมักแอลกอฮอล์จากหัวเชื้อยีสต์แบบไม่เติมอากาศ

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณ	พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณ
พีเอช		3.54±0.12	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	Brix	6.00±0.05
ปริมาณฟีนอลิก	mg GAE/g	34.92±0.68	ปริมาณฟีนอลิก	ug GAE/ml	420±15
ปริมาณแอลกอฮอล์	%	15.00±0.05	ฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH	%Inhibition	36.77±0.57
ฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH	mg ACB/g	13.41±0.47	ฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH	ug ACB/ml	80±3
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิ FRAP	mg $FeSO_4$/g	7.70±0.08	ฤทธิ์ต้านอนุมูล FRAP	ug $FeSO_4$/ml	91±2
ปริมาณกรดทาร์ทาริก	%	0.57±0.36	ปริมาณกรดอะซิติก	%	0.49±0.03

หมายเหตุ GAE = กรดแกลลิก ACB = กรดแอสคอร์บิก



ภาพที่ 4 ปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP
(ที่มา : คณะผู้วิจัย, 2567)

2. การเตรียมหัวเชื้อยีสต์หมักเปลือกกาแฟเชอรี่ และการขยายกำลังการหมักที่ 40 ลิตร

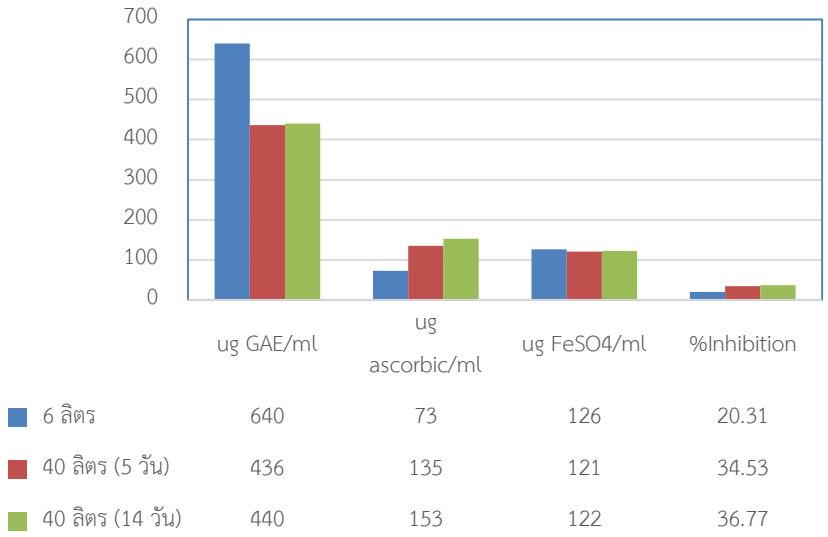
จากสัดส่วนสภาวะที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์จากข้อ 1. พบว่า หากนำมาใช้ในการขยายขนาดการหมักแอลกอฮล์ที่ 40 ลิตร จำเป็นต้องใช้เชื้อยีสต์ขนมปังหวานอย่างน้อย 267 กรัม ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมาก จึงทำการศึกษาการเพิ่มขยายจำนวนเซลล์ยีสต์ก่อนนำไปใช้ในการขยายขนาดการผลิต โดยการเตรียมหัวเชื้อยีสต์ 40 กรัมต่อน้ำหมัก 6 ลิตร เติมเปลือกกาแฟเชอรี่แห้ง ที่ 100 กรัม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 บริกซ์ โดยหมักแบบเติมอากาศ 1 วัน เพื่อเร่งให้ยีสต์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นนำไปเติมในน้ำหมัก 34 ลิตร ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวาน 20 บริกซ์ โดยเติมอากาศเพื่อให้ยีสต์กระจายทั่วทั้งถังหมัก 1 วัน ทิ้งไว้ไม่เติมอากาศอีก 5 วัน และ 14 วัน รายละเอียดผลของการหมัก แสดงได้ดังตารางที่ 2. และภาพที่ 5

จากตารางที่ 2 พบว่า ในการเตรียมหัวเชื้อปริมาณ 6 ลิตร สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 10% โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานเหลืออยู่ 12 บริกซ์ แสดงว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานที่หายไปถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ได้เกือบหมด ได้กรดทาร์ทาริก และกรดอะซีติก เป็น 0.56% และ 0.47% หรือ 33.3 มก. และ 28.4 มก.ตามลำดับ ทำให้ไวน์ที่ได้มีพีเอชเป็น 3.29 นอกจากนี้ยังได้สารประกอบฟีนอลิก 19.18 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 640 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เป็น 2.20 มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 73 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และ 3.78 มิลลิกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 126 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็น 20.31%

เมื่อนำไปขยายขนาดเป็น 40 ลิตร ที่มีระยะการหมัก 5 วัน พบว่าสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 13% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานเหลืออยู่ 5 บริกซ์ ได้กรดทาร์ทาริก และกรดอะซีติก เป็น 0.41% และ 0.35% หรือ 162 มก. และ 138 มก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้สารประกอบฟีนอลิก 76.26 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 436 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เป็น 23.66 มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 135 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และ 21.12 มิลลิกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 121 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็น 34.53% ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำหมัก 6 ลิตร

ตารางที่ 2 ปริมาณและคุณภาพแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักหัวเชื้อยีสต์ และขยายขนาด 40 ลิตร

พารามิเตอร์	หน่วย	หัวเชื้อยีสต์ 6 ลิตร	ขยายขนาด 40 ลิตร (5 วัน)	ขยายขนาด 40 ลิตร (14 วัน)
ความเป็นกรด-ด่าง		3.29±0.15	2.95±0.17	3.45±0.21
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	Brix	12±0.5	5±0.5	5±0.5
ปริมาณแอลกอฮอล์	%	10±0.5	13±0.3	14±0.4
ปริมาณฟีนอลิก	mg GAE/g	19.18±0.25	76.26±0.68	76.92±0.26
	ug GAE/ml	640±10	436±12	440±18
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH	mg ascorbic/g	2.20±0.02	23.66±0.03	26.77±0.01
	ug ascorbic/ml	73±1	135±6	153±4
	%Inhibition	20.31±0.06	34.53±0.05	36.77±0.04
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP	mg $FeSO_4$/g	3.78±0.15	21.12±0.12	21.28±0.22
	ug $FeSO_4$/ml	126±5	121±3	122±3
ปริมาณกรดทาร์ทาริก	%	0.56±0.01	0.41±0.01	0.47±0.01
	mg	33.3±0.1	162±10	186±12
ปริมาณกรดอะซิติก	%	0.47±0.02	0.35±0.01	0.39±0.02
	mg	28.42±0.15	138±5	154±6



ภาพที่ 5 ปริมาณฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP (ที่มา : คณะผู้วิจัย, 2567)

เมื่อเทียบกับการขยายขนาดเป็น 40 ลิตร แต่มีระยะการหมัก 14 วัน พบว่าสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 14% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานเหลืออยู่ 5 บริกซ์ ได้กรดทาร์ทาริก และกรดอะซีติกเป็น 0.47% และ 0.39% หรือ 186 มก. และ 154 มก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้สารประกอบฟีนอลิก 76.92 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 440 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เป็น 26.77 มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 153 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และ 21.28 มิลลิกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อกรัมเปลือกกาแฟ หรือ 122 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟตต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็น 36.77% จะเห็นได้ว่าทุกพารามิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการหมัก 5 วัน

เมื่อมีการขยายขนาดกำลังการผลิตให้เพิ่มขึ้น น้ำตาลที่หายไป สามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ได้เกือบหมด เนื่องจากยีสต์มีจำนวนเพียงพอต่อปริมาตรน้ำหมักที่เพิ่มขึ้น จึงสามารถหมักน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ได้หมด ส่วนมิลลิกรัมกรดทาร์ทาริก และกรดอะซีติกในปริมาตร 40 ลิตรมีปริมาณมิลลิกรัมต่อกรัม เพิ่มขึ้น 386% และ 456% ที่ระยะการหมัก 5 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ แต่เนื่องจากมีปริมาตรที่มากกว่าเดิม 6.7 เท่า จึงทำให้ความเข้มของกรดทั้งสองลดลง แต่ส่งผลให้ระดับพีเอชเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น ในระยะการหมัก 5 วันจะมีระดับพีเอชต่ำที่สุด แต่ที่ระยะการหมัก 14 วัน ระดับพีเอชมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้ระดับพีเอชในน้ำเพิ่มขึ้นได้ ในทำนองเดียวกันสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณมิลลิกรัมต่อกรัม เพิ่มขึ้น 3.97 เท่า และ 4.01 เท่า ที่ระยะการหมัก 5 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ แสดงว่าการหมักสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากขึ้น เมื่อปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นในรูปของไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรของสารทั้งสามชนิดมีค่าลดลงหรือใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาตรของน้ำหมักเพิ่มขึ้นอย่างมาก สารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 11 เท่า และ 5.59 เท่าในรูปของมิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ระยะการหมัก 5 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12 เท่า และ 5.63 เท่า ตามลำดับ ที่ระยะหมัก 14 วัน แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในระยะเวลา 9 วัน ซึ่งไม่คุ้มทุนในการหมักที่ระยะเวลานานขึ้น

การอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้ ได้ใช้ยีสต์สำเร็จรูปสำหรับขนมปังหวานเป็นหัวเชื้อ เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย และมียีสต์ในสกุลเดียวกัน ประสิทธิภาพในการหมักดี และเกิดแอลกอฮอล์ได้เร็ว สำหรับกลิ่นรสที่ได้จากการหมักเมื่อกรองแยกเชื้อยีสต์ออกไปแล้ว จะไม่มีกลิ่นยีสต์หลงเหลืออยู่ แต่มีกลิ่นหอมของเปลือกกาแฟเชอรี่ที่หมักไว้ ซึ่งมีกลิ่นรสออกเปรี้ยวเล็กน้อย และไม่มีผลทำให้กลิ่นและรสชาติของไวน์ที่ได้เปลี่ยนไป จึงสามารถนำไปหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ได้ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ (ใช้อากาศที่มีอยู่ในภาชนะหรือใช้อากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ) และใช้หัวเชื้อยีสต์ในสกุล *Saccharomyces cerevisiae* โดยมีสภาวะในการหมักที่อุณหภูมิ 25-30°ซ ที่ pH 5.5 ซึ่งยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นแอลกอฮอล์ (Panchal & Tavares, 1990) ในทางทฤษฎีน้ำตาลกลูโคส 1 กรัม จะได้แอลกอฮอล์ 0.51 กรัม แต่ในทางปฏิบัติการหมักน้ำตาลกลูโคส 1 กรัม จะให้แอลกอฮอล์ประมาณ 0.45 กรัม เนื่องจากจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนจากการหมัก ทำให้อาหารบางส่วนถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลของจุลินทรีย์ จึงทำให้ได้แอลกอฮอล์ลดน้อยลง จึงได้ทำการเลี้ยงเชื้อยีสต์ในเบื้องต้นก่อนนำไปหมักที่ขนาดกำลังการผลิต ที่ 40 ลิตร โดยทำการเลี้ยงเชื้อยีสต์ที่ขนาด 6 ลิตร แบบเติมอากาศ ประมาณ 1 วัน เพื่อเพิ่มปริมาณยีสต์ให้มีปริมาณมากที่สุด แล้วจึงนำหัวเชื้อยีสต์ที่ได้ไปใช้ในการหมักที่กำลังการผลิต 40 ลิตร ซึ่งในงานวิจัย หากมีการขยายขนาดกำลังการผลิต

ที่ขนาด 40 ลิตร จำเป็นต้องใช้เชื้อยีสต์ 267 กรัม ซึ่งหากมีกำลังการผลิตมากขึ้น ต้นทุนการใช้เชื้อยีสต์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่การเลี้ยงหัวเชื้อยีสต์ก่อนที่ 6 ลิตร จะทำให้ปริมาณเชื้อยีสต์มีปริมาณมากขึ้นที่จะนำไปขยายกำลังการผลิตที่ 40 ลิตรได้ โดยใช้เชื้อยีสต์เพียง 40 กรัม และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักประมาณ 5 วัน ได้แอลกอฮอล์ 13% จึงทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตไวน์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการที่หมักที่กำลังการผลิตสูงๆ โดยใช้เชื้อยีสต์ในปริมาณมากๆ อาจจะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ด้วย เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มมากขึ้น มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการหมักลดลง โดยเฉพาะในช่วงที่ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจาก 4% ซึ่งเริ่มที่จะมีผลยับยั้งต่อการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ เมื่อมีการหมักเพิ่มขึ้นที่ปริมาณแอลกอฮอล์ 12% จะมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538) ทำให้การใช้ยีสต์เริ่มต้นในปริมาณสูงเป็นการสิ้นเปลือง และมีต้นทุนสูงเกินไป

ประสิทธิภาพในการหมักแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณและชนิดหัวเชื้อยีสต์ที่ใช้ในการหมัก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุด และใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด (Vine et.al., 1997) ปริมาณของหัวเชื้อยีสต์มีส่วนสำคัญ เพื่อเร่งให้เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ รวดเร็วขึ้น (วรรณดี มหรรณพกุล และคณะ, 2555) ในงานวิจัยในส่วนแรกของการหมัก พบว่าการหมักน้ำตาลที่อัตราส่วนยีสต์ 20 กรัมต่อน้ำหมัก 3 ลิตร พบว่า ยีสต์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วง 2 – 3 วันแรก หรือ log phase ซึ่งแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะช้าลง หรือ ช่วง lag phase แต่การหมักแอลกอฮอล์ยังคงดำเนินการต่อไปเรื่อยๆ เพื่อให้เปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ โดยน้ำตาลจะลดลงซึ่งในช่วงหลังนี้ใช้เวลานานมากจนกว่าจะหมักน้ำตาลได้หมด ซึ่งจะเห็นว่า หมักเพียง 2 วันจะได้แอลกอฮอล์สูงถึง 13% แต่น้ำตาลยังคงเหลืออยู่สูง หากหมักต่อไปซึ่งน้ำตาลลดลงช้ามาก และเมื่อครบ 14 วัน ได้แอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นมาเป็น 15% และน้ำตาลเหลืออยู่ 5 Brix ซึ่งในทางปฏิบัติจะไม่รอให้เกิดการหมักจนน้ำตาลหมด (อรอง จันทร์ประสาทสุข, 2561) ดังนั้นหากนำอัตราส่วนยีสต์ต่อน้ำหมักนี้มาใช้ในการขยายกำลังการผลิต อาจต้องใช้ยีสต์ในปริมาณมากซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้วิธีการเติมอากาศเป็นตัวช่วย เพื่อให้ยีสต์เกิดการเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และให้ยีสต์นำน้ำตาลไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์มากกว่าการผลิตแอลกอฮอล์ในช่วงแรก แล้วจึงนำไปเป็นหัวเชื้อสำหรับขยายกำลังการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น โดยที่ใช้หัวเชื้อน้อยลงเพื่อช่วยลดต้นทุน ซึ่งจากการวิจัยสามารถใช้วิธีดังกล่าวนี้ในการเพิ่มหัวเชื้อยีสต์ และขยายกำลังการผลิตได้ ซึ่งในการหมักที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้ ขึ้นกับปริมาณหัวเชื้อต่อน้ำตาลที่ใช้ในการหมัก และแอลกอฮอล์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีปริมาณสูงที่ 13% และเหลือน้ำตาลอยู่ 5 Brix ซึ่งใช้ระยะเวลาเพียง 5 วัน และสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้ของการหมัก 5 วัน และ 14 วัน มีสารประกอบฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระทั้งในรูป DPPH และ FRAP และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสรมีค่าใกล้เคียงกัน จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักยาวนานเกินไป เนื่องจากการผลิตไวน์ที่ดี จำเป็นต้องมีการบ่มในอุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มความกลมกล่อมให้กับไวน์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานกว่าการหมัก

นอกจากนี้ยังพบว่า ยีสต์สามารถช่วยสกัดสารฟีนอลิกจากเปลือกกาแฟเชอรี่ได้มากขึ้น จะเห็นได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้นจากการเติบโต ซึ่งมีผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เพิ่มมากขึ้น หัวเชื้อยีสต์ที่มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้มีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP มากกว่า ทั้งนี้อาจจะมาจากเซลล์ยีสต์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และถูกสกัดออกมาอยู่ในน้ำหมักได้ ซึ่งสอดคล้องกับสารสกัดจากยีสต์สามารถช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วย (ณัฐพร จันทร์ฉาย และ ศันศนีย์ บุญเกิด, 2562) กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะอยู่ใน

รูปของการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยการให้ไฮโดรเจนอะตอม และการกำจัดออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน รวมทั้งการรวมตัวกับโลหะ (สมหมาย ปัตตาลี, 2551)

เมื่อนำไปขยายขนาดเป็น 40 ลิตร สารประกอบฟีนอลิกมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณแอลกอฮอล์หรือความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากขึ้น หรือความเป็นขั้วของน้ำหมักมากขึ้นสามารถสกัดสารฟีนอลิกออกมาได้มากขึ้นด้วย (ธเนศวร นวลใย และ เบญจมาส ไชยลาภ, 2564) ซึ่งมีผลทำให้มีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP สูงขึ้น รวมทั้งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ไวน์ที่ได้มีประโยชน์เพื่อสุขภาพ เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้สามารถให้อิเลคตรอนกับอนุมูลอิสระ เช่น โมเลกุลน้ำ หรือ ออกซิเจนได้ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระจะชะลอปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้โดยการขจัดสารตัวกลางที่เป็นอนุมูลอิสระออกไป และจะยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอื่นๆ ด้วยการออกซิไดซ์ตัวเอง (Atlantic, 2011)

สำหรับต้นทุนการผลิตไวน์ คิดประเมินจากปริมาณยีสต์ ไฟฟ้า น้ำ สารอาหารที่ใช้ ได้แก่ DAP และ KMS แสดงได้ดังตารางที่ 3 ทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตไวน์อยู่ที่ 5.65 บาท หรือ 6 บาทต่อไวน์ 1 ลิตร ทำให้มีความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าเปลือกกาแฟเชอรี่ โดยนำมาผลิตไวน์เพื่อสุขภาพ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกที่ได้ มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร และมีสารแอนติออกซิเดนท์ ช่วยลดการอักเสบของเซลได้ รวมทั้งยังช่วยลดระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคส และอินซูลินหลังการรับประทานได้อีกด้วย

ตารางที่ 3 ต้นทุนในการผลิตไวน์

รายการ	ปริมาณ	ราคา (บาท)	รายการ	ปริมาณ	ราคา (บาท)
ยีสต์	40 กรัม	12	น้ำ	40 ลิตร	200
DAP	20 กรัม	6	ไฟฟ้า 29 วัตต์	48 ชั่วโมง	5
KMS	8 กรัม	3	ไวน์	40 ลิตร	5.65

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การหมักเปลือกกาแฟเชอรี่ เพื่อผลิตแอลกอฮอล์ สามารถขยายกำลังการผลิตที่ 40 ลิตรได้ โดยการเตรียมหัวเชื้อยีสต์สำเร็จรูป โดยการเติมอากาศใน 1 วัน และนำไปขยายกำลังการผลิตที่ 40 โดยเติมอากาศ 1 วัน และหมักโดยไม่เติมอากาศอีก 5 วัน ซึ่งใช้อัตราส่วนเปลือกกาแฟที่ 1.7% น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือความหวานที่ 20 Brix และใช้หัวเชื้อยีสต์สำเร็จรูปสำหรับผลิตขนมปัง เพราะเป็นยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 98.85% ที่ปริมาณ 40 กรัมต่อ 6 ลิตร ในการเตรียมหัวเชื้อ แอลกอฮอล์หรือไวน์ที่ได้ ถือว่าเป็นไวน์เพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่สูง และมีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งในรูป DPPH และ FRAP โดยไวน์เพื่อสุขภาพที่ได้มีแอลกอฮอล์ 13% สารประกอบฟีนอลิก 436 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ DPPH และ FRAP เป็น 135 ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อมิลลิลิตร และ 121 ไมโครกรัมสมมูลเฟอรัสซัลเฟต ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็น 34.53% ซึ่งจัดว่ามีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกกาแฟเชอรี่ เพื่อเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย โดยมีต้นทุนในการผลิตไวน์อยู่ที่ 6 บาทต่อลิตร

เอกสารอ้างอิง

ชุติมณฑน์ พลอยประดับ, พุทธพร เจียมศุภกิตต์ และ นิรมล ปัญญ์บุศยกุล. (2553). ฤทธิ์การต้านออกซิเดชั่นของส่วนต่างๆ ของผลกาแฟอาราบิก้า และเปลือกกาแฟ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41*(3/1), 577-580. สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/profile/Niramol_Punbusayakul/publication/280824495

ณัฐพร จันทร์ฉาย และ ศันศนีย์ บุญเกิด. (2562). สภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระของ *Rhodotorula rubra MJU18*. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 37*(1), 69-77. สืบค้นจาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/179921

ธเนศวร นวลใย และ เบญจมาส ไชยลาภ. (2564). ปริมาณฟีนอลิกทั้หมดและฤทธิ์การต้านอนุมลูอิสระของส่วนแยกย่อยจากเปลือกลำต้นของกรวยป่า. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 13*(26), 38-47. สืบค้นจาก https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/14110

นฤมล บุญมี, นักรบ นาคประสม, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร, พัฒนา เฟื่องฟู, จริยาพร สังข์ภิรมย์ และ กาญจนา นาคประสม. (2562). การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดอะซีติกในระหว่างกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูจากเนื้อผลกาแฟ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 27*(6), 1038-1053. สืบค้นจาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/205325

พัทธชัย ปิ่นนาค, ธัญญ์นรี จิณะไชย, สุพิชญา เกษร และ อาลิตา มาคูณ. (2563). ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเปลือกกาแฟเชอร์รี่และดอกกาแฟ ในระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 1*(1), 61-70. สืบค้นจาก https://ajsas.uru.ac.th/files_complete/1592842455_7551.pdf

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2550). *การพัฒนากาแฟพันธุ์อาราบิก้าจากผลพลอยได้ของกระบวนการแปรรูปกาแฟระยะที่ 1: การผลิตเมล็ดกาแฟดิบด้วยเทคโนโลยีทางเอนไซม์.* ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru/issue/download/17337/4221

วรรณดี มหรรณพกุล, ขนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์, ปิติ กาลธิยานันท์ และ ปัญจ์ยศ มงคลชาติ. (2555). การผลิตเครื่องดื่มไซเดอร์กล้วย. *วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 1*(7), 142-157. สืบค้นจาก https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/BAS/article/view/190

วราวุฒิ ครูส่ง. (2538). *จุลชีววิยาในกระบวนการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพมหานคร. โอ เอส พริ้นติ้งเฮาส์.

สมหมาย ปัตตาลี. (2551). *การศึกษาคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผลมะหลอด.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

อรอง จันทร์ประสาทสุข. (2561). *การคัดแยกจุลินทรีย์ออโตโคนัสที่เกี่ยวข้องกับการหมักน้ำสับปะรดคั้นสดเป็นกล้าเชื้อสำหรับการผลิตน้ำผลไม้น้ำตาลต่ำ.* รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561. มหาวิทยาลัยบูรพา. สืบค้นจาก https://buuir.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/3749

Atlantic. (2011). *Antioxidants Explained: Why These Compounds Are So Important*. Retrieved from https://www.theatlantic.com/health/archive/2011/10/antioxidants-explained-why-these-compounds-are-so-important/247311/

Fushimi, T., Suruga, K., Oshima, Y., Fukiharu, M., Tsukamoto, Y., & Goda, T. (2006). Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats fed a cholesterol-rich diet. *British J. Nutr., 95*(5), 916-924. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/7169557

Hillkoff. (2021). *COC #1 cider of coffee*. Retrieved from https://hillkoff.org/coc-1-cider-of-coffee .

Johnston, C., Kim, C., & Buller, A. (2004). Vinegar improves insulin sensitivity to a high carbohydrate meal in subjects with insulin resistance or type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Care*, *27*(1), 281-282. Retrieved from https://doi.org/10.2337/diacare.27.1.281

Leeman, M., Ostman, E., & Bjorck, I. (2005). Vinegar dressing and cold storage of potatoes lowers postprandial glycemic and insulinemic responses in healthy subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 59, 1266-1271. Retrieved from https://www.nature.com/articles/1602238

Ostman, E., Granfeldt., Y., Persson, L., & Bjorck, I. (2005). Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, *59*(9), 983-988. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/7729967

Panchal, C. J., & Tavares, F. C. A. (1990). *Yeast strain selection for fuel ethanol production.* In C.J. Panchal (ed.), New York: Marcel Dekker Inc.

Pekal A., & Pyrzynska K. (2004). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food analysis*, *7*, 1776-1782. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-014-9814-x

Thomas, J. B. (2012). A Comparative study of the Antioxidant activity (DPPH), Total flavonoid, Total Tannin, Total polyphenol levels in plant extracts of the Annona muricata, Ribes nigrum and Manilkara zapota. *International Journal of Scientific and Research Publications, 6*(9), 490-494. Retrieved from https://www.ijsrp.org/research-paper-0916.php?rp=P575810

Vine, P. R., Harkness, E. M., Browning, T., & Wagner, C. (1997). *Wine making from grape growing to marketplace.* New York, Chapman & Hall.

Yang, J., Chen, J. F., Zhao, Y. Y., & Mao, L. C. (2010). Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China*, *9*(10), 1522–1529. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60246-7