

ผลของการเสริมสารอาหารต่อการหมักแบบสองขั้นตอนของน้ำมะม่วง

นิอร โฉมศรี^{1*}, กมลวรรณ มโนวรรณ², เบญจวรรณ ปาพันธ์¹ และอัมฤทธิ์ สิกล่อม²,

¹สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 202 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 200 หมู่ 17 ต.พิชัยอ.เมืองจ.ลำปาง 52000

รับบทความ 15 ตุลาคม 2561 ตอรับบทความ 10 ธันวาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 30 พฤษภาคม 2563

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All right reserved.

บทคัดย่อ

มะม่วง เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีศักยภาพการเป็นอาหารฟังก์ชัน งานวิจัยนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการหมักน้ำมะม่วงด้วยเทคโนโลยีการหมักแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มต่อไป ผลการศึกษาที่ได้พบว่า ไดเอมโมเนียมฟอสเฟตและไทเอมีน ที่ใช้เป็นแหล่งของสารอาหารที่เสริมในน้ำมะม่วงในการหมักขั้นที่ 1 ส่งผลต่อความแตกต่างกันของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การใช้สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่แตกต่างกันในการหมักขั้นที่ 2 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างกันของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p > 0.05$) ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการใช้สารเสริมอาหารในน้ำมะม่วงที่หมักด้วยกระบวนการหมักแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหมักเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มฟังก์ชันจากน้ำมะม่วงต่อไปได้

คำหลัก: มะม่วง, การหมัก, สารอาหาร

E-mail: niornchomsri@rmutl.ac.th, 054-342-550

Effect of Nutrient Supplement on Two Stage Fermentation of Mango Juice

Ni-orn Chomsri^{1*}, Kamonwan Manowan², Benjawan Papun¹ and Ammarit Seeklom²,

¹Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna,

202 Moo 17, Pichai District, Amphoe Muang, Lampang 52000

² Rajamangala University of Technology Lanna Lampang,

200 Moo 17, Pichai District, Amphoe Muang, Lampang 52000

Receive: 15 October 2018 Accepted: 10 December 2018 Published online: 30 May 2020

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All right reserved.

Abstract

Mango is an economic fruit with potential functional food. The purpose of this study was to develop the fermentation process of mango juice using two-stage fermentation technology for further application in food and beverage development. Results showed that diammonium phosphate and thiamine supplements in mango juice as nutrient sources for the first-stage fermentation affected significantly different product quality ($p \leq 0.05$). Utilization of different strains of bacteria in the second-stage fermentation produced various amounts of total acidity in the products ($p \leq 0.05$) while different values of total phenolic content and antioxidant activity were not observed ($p > 0.05$). This research demonstrated the potential of using nutrient supplements in mango juice for two-stage fermentation which could be further applied for development of functional food and beverage products.

Keywords: Mango, Fermentation, Nutrients

1. บทนำ

มะม่วง เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพสามารถปลูกได้เกือบทุกภาคของประเทศ เป็นผลไม้เขตร้อนที่ปลูกมากที่สุด เป็นอันดับ 2 ของโลก ประเทศไทยมีผลผลิตมะม่วงเป็นลำดับ 3 ของโลก รองจากอินเดีย และจีน ในปี 2559 ประเทศไทยสามารถผลิตมะม่วงได้มากถึง 3.4 ล้านตัน มะม่วงเป็นไม้ยืนต้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย มะม่วงมีมากกว่า 100 สายพันธุ์ ที่ปลูกกระจายอยู่ตามประเทศต่างๆ ทั่วโลก มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจ ปลูกเป็นพืชสวน (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2561; Jahurul et al., 2017) สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร (2547) ได้อธิบายถึงคุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงไว้ดังนี้ คุณค่าทางอาหารของเนื้อมะม่วงที่รับประทานได้จำนวน 100 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน โดยคาร์โบไฮเดรตในมะม่วงพบอยู่ระหว่างร้อยละ 13.8 – 16.9 จัดเป็นผลไม้ที่มีแป้งและน้ำตาลสูง ในขณะที่จะมีปริมาณแป้งสูง และเมื่อสุกปริมาณแป้งจะลดลง ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นโปรตีนในมะม่วงพบอยู่ระหว่างร้อยละ 0.4 – 0.6 ทั้งนี้ ปริมาณโปรตีนไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วง เช่น พันธุ์มะม่วงในอินเดีย มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 0.5 – 1.0 ส่วนพันธุ์มะม่วงในอเมริกามีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 1.5 – 5.5 ในด้านปริมาณไขมันของมะม่วงพบอยู่ระหว่างร้อยละ 0.4 – 0.6 ส่วนแร่ธาตุที่พบได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก มะม่วงดิบ มะม่วงห่าม และมะม่วงสุก มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน คือ แคลเซียม 10 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 15.5 มิลลิกรัม ในเนื้อมะม่วง 100 กรัม สำหรับเหล็กมีปริมาณเหล็กอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.3 มิลลิกรัม ในเนื้อมะม่วง 100 กรัม วิตามิน มะม่วงสุกมีปริมาณวิตามินเอสูง เพราะมีแคโรทีนมาก มะม่วงจึงเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินเอ ส่วนมะม่วงดิบมีปริมาณวิตามินซีสูง ในมะม่วงพบว่าเส้นใยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2 – 0.5 มะม่วงสุกมีเส้นใยมากกว่ามะม่วงดิบ นอกจากนั้น มะม่วงยังเป็นแหล่งของสารสำคัญที่มี

ประโยชน์ต่อสุขภาพอีกด้วย เช่น แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอล (Santhirasegaram et al., 2013) ทั้งนี้ อาจพบสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาการแพ้กับผู้บริโภคบางราย คือ 3-pentaacy catechol (สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

การหมัก จัดเป็นการถนอมอาหาร (food preservation) ที่เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย (bacteria) ยีสต์ (yeast) หรือ รา (mold) เป็นกล่าเชื้อเริ่มต้น (starter) ซึ่งเทคนิคของการเติมกล่าเชื้ออาจเป็นจุลินทรีย์บริสุทธิ์ หรือกล่าเชื้อผสม เช่น ลูกแป้งโคจิ หรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากธรรมชาติเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเกิดเป็นสารต่างๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารให้กลิ่น เป็นต้น การหมักสามารถเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศ (aerobic fermentation) หรือไม่มีอากาศ (anaerobic fermentation) ในกระบวนการหมักจุลินทรีย์ย่อยสลายสับสเตรทที่เหมาะสมให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่พึงพอใจ (จารุวรรณ, 2551; นิอร, 2555; Maxon, 1954; Sanchez, 2008; British Dictionary, 2015; Wikipedia, 2016; International Food Information Service, 2005; Stanbury et al., 1995; Rao, 2015) กระบวนการหมักมีเทคโนโลยีที่เข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การย่อยสลาย และการหมัก ซึ่งมีผลต่อลักษณะของการหมัก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก สภาวะของการหมักเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตอาหารหมัก สภาวะของการหมักอาหารแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ ชนิดการหมักแบบธรรมชาติหรือมีการเติมจุลินทรีย์ เมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักอาหาร อุณหภูมิในการหมัก การให้อากาศและความเป็นกรดต่างของอาหารหมัก เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์จากมะม่วงมีอยู่อย่างหลากหลาย เช่น เนื้อมะม่วงบด มะม่วงในน้ำเชื่อม เนคตาร์ มะม่วงดอง มะม่วงแผ่น เครื่องปรุงรสจากมะม่วง มะม่วงเป็นชั้นบรรจุกระป๋อง เป็นต้น และยังมีการนำเอาผลพลอยได้

จากการทำผลิตภัณฑ์มะม่วง เช่น ส่วนของเปลือก ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารหรือส่วนผสมของอาหารที่ใช้ประโยชน์ทางยา (nutraceutical ingredients) และใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ Jahrul et al. (2017) และ Rodriguez-Gonzalez et al. (2017) ตัวอย่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์จากมะม่วงมีอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น Moreira et al. (2017) ที่พัฒนาเครื่องตีผงกักขังจากมะม่วงด้วยโดยใช้ความดันสูงและการเติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ *Lactobacillus rhamnosus* Wibowo et al. (2015) ได้ศึกษาการใช้ความร้อนแบบพาสเจอร์เซชันในการผลิตน้ำมะม่วง แล้วศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำมะม่วงที่ผลิตได้ นักวิจัยพบว่าส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมน้ำมะม่วงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมะม่วงในระหว่างการเก็บรักษา จากผลการศึกษาวิจัย และเทคนิคการหมักแบบต่าง ๆ ผนวกกับคุณค่าทางโภชนาการของมะม่วง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ พัฒนาระบวนการหมักมะม่วง เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคการหมักแบบสองขั้นตอนในการหมักน้ำมะม่วง
2. เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักน้ำมะม่วงและผลิตผลที่ได้

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหมัก ที่สามารถสร้างสารประกอบเมแทบอไลต์ต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติส่งผลดีต่อสุขภาพได้ ดังนั้น สมมติฐานการใช้เทคนิคการหมักแบบสองขั้นตอนในการหมักน้ำมะม่วง ที่มีการเสริมสารอาหารสามารถทำให้เกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติส่งผลดีต่อสุขภาพ จึงเป็นแนวคิดที่สามารถนำผลิตผลที่ได้จากการหมักไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

4. วิธีการวิจัย

4.1 วัตถุดิบมะม่วง

มะม่วงที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นผลมะม่วงสุกที่เก็บเกี่ยวในปี 2561 จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ มะม่วงสามปี และมะม่วงมหาชนก

4.2 การเตรียมน้ำมะม่วงและการหมัก

วางแผนศึกษาจำนวน 5 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การเตรียมน้ำมะม่วงเพื่อใช้ในการทดลองทำโดย นำมะม่วงไปล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แยกเนื้อมะม่วง บด จากนั้นนำไปเตรียมน้ำมะม่วงเพื่อใช้ในการกระบวนการหมักขั้นที่ 1 ทำโดยเติมน้ำในอัตราส่วนมะม่วงต่อน้ำเท่ากับ 1: 3 ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับคุณภาพของน้ำมะม่วงที่ได้ ดังนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 20 องศาบริกซ์ และปรับคุณภาพสารอาหารไดเอมโมเนียมฟอสเฟต และไทแอมีน ตามที่กำหนด นำน้ำมะม่วงหลังจากปรับคุณภาพไปใส่ในขวดหมักขนาด 750 มิลลิลิตร เติมนีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ให้ได้ปริมาณ 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยแอร์ล็อก (Airlock) นำไปหมักที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 15 วัน ซึ่งน้ำหมักขวดหมักทุกวัน เพื่อติดตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Chomsri, 2008) หลังจากนั้นคัดเลือกผลิตผลจากการหมักขั้นที่ 1 ไปใช้เป็นซบสเตอร์ในการหมักขั้นที่ 2 โดยนำซบสเตอร์ผสมกับกล้าเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* จำนวน 3 สายพันธุ์ แล้วนำส่วนผสมที่ได้จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมักที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน ตรวจวิเคราะห์ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตอนเริ่มต้นการหมัก และที่ระยะเวลาการหมัก 7 และ 14 วัน

ตารางที่ 1 การเสริมสารอาหารในน้ำมะม่วง

Treatment	DAP (mg/l)	Thiamine (mg/l)	Code
1	0	0	SP0D0T

2	500	120	SP500D120T
3	0	0	MH0D0T
4	500	120	MH500D120T
5	250	0	MH250D0T

DAP = Diammonium phosphate

4.3 การตรวจวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ดังนี้ การวิเคราะห์ค่าพีเอช โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (Consourt, Model C831, Belgium) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) โดยใช้ hand refractometer การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีดัดแปลงจาก Iland et al. (2000) และคำนวณปริมาณกรดเทียบกับกรดซิตริกในการหมักขั้นที่ 1 หรือกรดแอซิกในการหมักขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ใช้วิธี dinitrosalicylic acid (DNS) ตามวิธีดัดแปลงจาก Miller (1972) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ใช้วิธี Phenol sulfuric method ตามวิธีดัดแปลงจาก Wrolstad et al. (2012) การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของกรดแอมิโนอิสระ (free alpha-amino nitrogen; FAN) ตามวิธีดัดแปลงจาก Chomsri (2008) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ทั้งหมด ใช้วิธี Bradford (1976) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดใช้วิธีดัดแปลงจาก Spinola et al., (2015) การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ใช้การทดสอบ ABTS test ตามวิธีดัดแปลงจาก Wongputtisin et al. (2007) และการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้การประเมินแบบ 9 point hedonic scaling (Meilgaard and Carr, 2006)

4.4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแล้วนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

5. ผลการวิจัยและอภิปราย

5.1 คุณภาพของวัตถุดิบ

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของมะม่วงวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้ จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สามปี และพันธุ์มะม่วงมหาชนก ทำให้ทราบว่าคุณสมบัติทางเคมีของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้ทราบว่าสายพันธุ์ของมะม่วงมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วง ทั้งนี้ Romainum et al. (2018) ก็ได้รายงานถึงผลของสายพันธุ์มะม่วง คือ พันธุ์ทองดำ และพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีต่อความแตกต่างกันของคุณสมบัติทางกาย และทางเคมีด้วยเช่นกัน

5.2 คุณลักษณะการหมักขั้นที่ 1 และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษากการหมักน้ำมะม่วงเจือจางเสริมสารอาหารต่าง ๆ กัน ด้วยการหมักแบบ 2 ขั้นตอน โดยการหมักขั้นที่ 1 ใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการหมักพบว่า ยีสต์มีการเจริญเติบโตตลอดช่วงระยะเวลาของการหมักน้ำมะม่วงในขั้นตอนการหมักขั้นที่ 1 (ภาพที่ 1) ในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้น 20 องศาบริกซ์ ที่ใช้เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นในการหมัก นั้น ตรวจวัดด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ ที่มีหลักการตรวจวัดด้วยหลักการหักเหของแสงผ่านปริซึม (The University of York Science Education Group, 2000) อาจมีความคลาดเคลื่อนจากองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำผลไม้ หรือน้ำหมัก เช่น ของแข็งที่ละลายได้ชนิดอื่นที่มีใช้น้ำตาล และปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก เป็นต้น แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยยีสต์ในช่วงระยะเวลาการหมักนาน 14 วัน แตกต่างกัน (ภาพที่ 2) ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งทดลอง จำนวน 5 สิ่งทดลองไม่แตกต่างกันในช่วงระยะเวลา 3 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นพบว่า น้ำมะม่วงที่มีการเสริมสารอาหาร

แตกต่างกัน ส่งผลต่ออัตราการหมักที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นได้ว่าสารอาหารมีอิทธิพลต่อการหมักน้ำมะม่วง โดยอัตราการหมักเกิดขึ้นได้ช้าในน้ำมะม่วงที่ไม่มีการเสริมแหล่งไนโตรเจนจากไดแอมโมเนียมฟอสเฟต หรือไทแอมีน นอกจากนี้ ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ยังทำให้ทราบอีกว่าสายพันธุ์มะม่วงที่แตกต่างกันในการศึกษานี้ ไม่ทำให้อัตราการหมักในขั้นตอนที่ 1 มีความแตกต่างกันมากนัก และการเสริมแหล่งไนโตรเจนมีแนวโน้มของการส่งผลกระทบต่ออัตราการหมักมากกว่าการเสริมแหล่งไทแอมีน

สารอาหารที่เติมลงไปในการหมักซบสเตอร์ครั้งนี้ มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการผลิตแอลกอฮอล์และเมแทบอไลต์ต่างๆ (Sroka and Tuszyński, 2007; Rauhut et al., 2005; Ribéreau-Gayon et al., 2006) อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่ควรคำนึงอีกหลายประการ เช่น สายพันธุ์ของยีสต์ ปริมาณกลูโคสเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการหมัก ปริมาณสารจำเป็นอื่นๆ และอุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก เป็นต้น (Pereira et al. 2009; Dittrich and Grossmann, 2010; Grossmann et al., 2011)

ในด้านคุณภาพของผลิตผลที่ได้จากการหมักขั้นตอนที่ 1 (ตารางที่ 3 และภาพที่ 3) พบว่า ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และไทแอมีน ที่ใช้เป็นแหล่งของสารอาหารที่เสริมในน้ำมะม่วง ส่งผลต่อความแตกต่างกันของค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตผลที่ได้ ($p > 0.05$) ซึ่งบ่งบอกถึงองค์ประกอบที่แตกต่างกันของผลิตผลที่ได้จากการหมักด้วยเช่นกัน

ในการศึกษาการหมักขั้นที่สอง จึงคัดเลือกผลผลิตจากสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลิตผลที่ได้จากการหมักน้ำมะม่วงสายพันธุ์สามปี ที่เสริมสารอาหารไดแอมโมเนียมฟอสเฟตปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และไทแอมีน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปใช้ในการหมักขั้นที่ 2 ต่อไป

5.2 คุณลักษณะการหมักขั้นที่ 1 และคุณภาพของผลิตผล

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าพีเอช และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในระหว่างการหมักขั้นที่ 2 ด้วยแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* พบว่าซบสเตอร์ที่ใช้ในการหมักมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในลักษณะลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนสิ้นสุดการหมัก (ภาพที่ 4-6) ในขณะที่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรีย *A. Aceti* จำนวน 3 สายพันธุ์ ที่ใช้ในการหมักขั้นที่ 2 นี้ สามารถเจริญเติบโตและใช้ซบสเตอร์เปลี่ยนเป็นเมแทบอไลต์ต่างๆ ให้กับผลิตภัณฑ์ได้

เมื่อนำผลิตผลที่ได้จากการหมักขั้นที่ 2 ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 7 และตารางที่ 4) ซึ่งเป็นคุณลักษณะส่วนหนึ่งของการเป็นอาหารฟังก์ชัน (Greenwalt et al., 1997; Miranda et al., 2016) พบว่าสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างกันของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบมะม่วงจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สามปี และพันธุ์มหาชนก

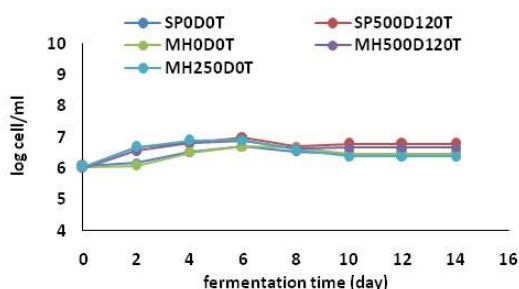
Properties	Sampee	Mahachanok
pH	3.95	4.27
Total acidity (%)	0.56	0.36
Total soluble solids (°Brix)	16	17
Reducing sugar content (mg/ml)	32.61	29.77
Total sugar content (mg/ml)	110.28	126.36
FAN (mg/l) ^a	69.20	49.93

Protein content ($\mu\text{g/ml}$) ^b	81.14	89.91
Total phenolic content (mg/l)	112.97	116.36
Antioxidant activity (% ABTS) ^c	68.60	52.05

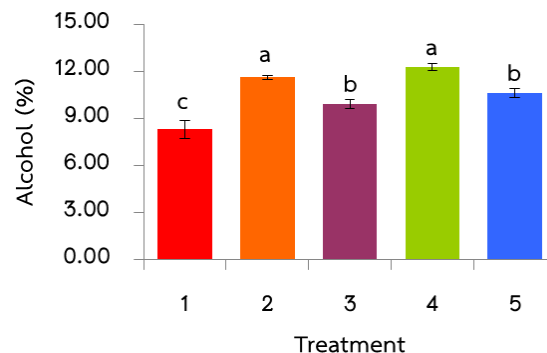
^aFAN คือ Free α -amino nitrogen, ^bโปรตีน วิเคราะห์ในรูปแบบของโปรตีนที่ละลายได้, ^cวิเคราะห์โดยการเตรียมตัวอย่างที่ระดับการเจือจาง 5 เท่า

MH500D120T	3.47 $\pm$ 0.02 ^a	0.46 $\pm$ 0.00 ^c	7.20 $\pm$ 0.28 ^d
MH250D0T	3.45 $\pm$ 0.09 ^a	0.45 $\pm$ 0.08 ^c	8.70 $\pm$ 0.14 ^c

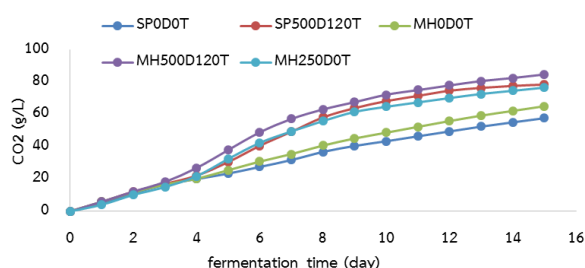
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของยีสต์ในระหว่างการหมักขั้นตอนที่ 1

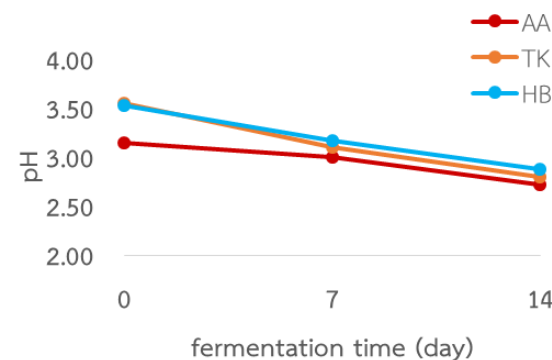


ภาพที่ 3 ปริมาณแอลกอฮอล์ของผลิตผลจากการหมักน้ำมะม่วงขั้นที่ 1

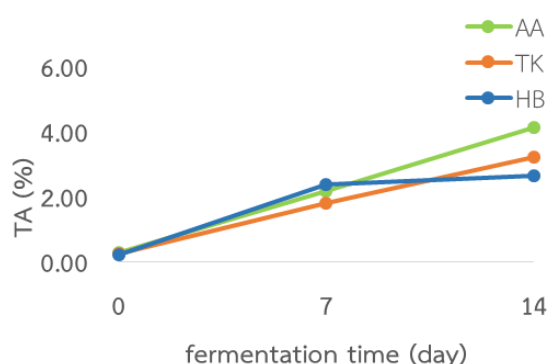


ตารางที่ 3 คุณภาพของผลิตผลจากการหมักน้ำมะม่วงในขั้นตอนที่ 1

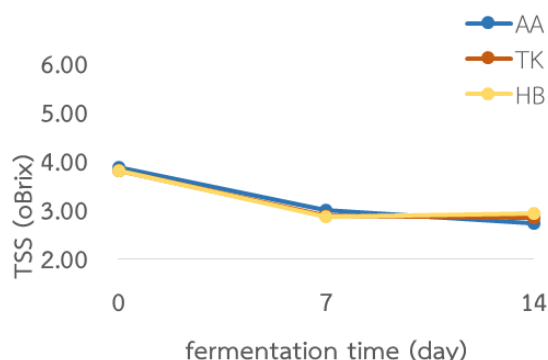
Treatment	pH *	TA (%) *	TSS ($^{\circ}$ Brix) *
SP0D0T	3.09 $\pm$ 0.00 ^c	0.83 $\pm$ 0.01 ^{ab}	12.10 $\pm$ 0.70 ^a
SP500D120T	3.06 $\pm$ 0.06 ^c	0.94 $\pm$ 0.07 ^a	8.20 $\pm$ 0.00 ^c
MH0D0T	3.25 $\pm$ 0.02 ^b	0.69 $\pm$ 0.08 ^b	10.70 $\pm$ 0.14 ^b



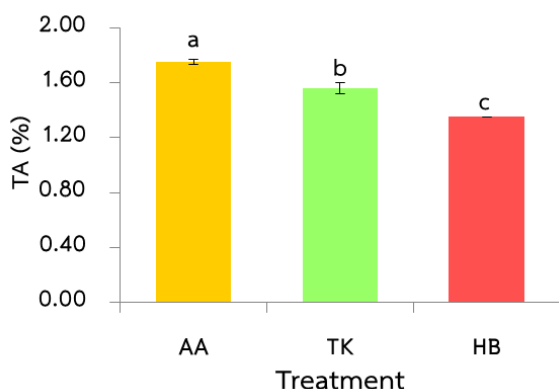
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระหว่างการหมักขั้นที่ 2 ของซบสเตอร์ที่ได้จากการหมักน้ำมะม่วงในขั้นตอนที่ 1



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักขั้นที่ 2 ของซบัสเตรตที่ได้จากการหมักน้ำมะม่วงในขั้นตอนที่ 1



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักขั้นที่ 2 ของซบัสเตรตที่ได้จากการหมักน้ำมะม่วงในขั้นตอนที่ 1



ภาพที่ 7 ค่าพีเอชของผลิตผลที่ได้จากการหมักขั้นที่ 2

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของผลิตผลที่ได้จากการหมักขั้นที่ 2

Tr	TPC	AO	AA	Trolox
	ns	ns	ns	ns
AA	105.46±7.71	43.85±4.39	9.84±0.98	15.30±1.53
TK	96.81±0.64	43.99±0.39	9.87±0.08	15.35±0.13
HB	93.18±0.64	41.44±0.19	9.30±0.04	14.46±0.06

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

6. สรุป

การหมักแบบ 2 ขั้นตอน ของน้ำมะม่วงที่มีการเสริมสารอาหาร 2 ชนิด คือ ไตแอมโมเนียมฟอสเฟต และไทแอมีน ส่งผลกระทบท่อคุณลักษณะการหมักในด้านต่างๆ และผลิตผลที่ได้จากการหมัก โดยการเสริมสารอาหารในน้ำมะม่วงช่วยปรับปรุงคุณลักษณะการหมักและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหมักเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และเครื่องดื่มหมักฟังก์ชันจากน้ำมะม่วงต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ โครงการ การศึกษาเชิงบูรณาการระหว่างการเรียนรู้ในสถานศึกษากับการนำวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมไปพัฒนาและยกระดับผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ชุมชนในพื้นที่ภาคเหนือ 6 จังหวัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยในทุกมิติ

เอกสารอ้างอิง

จารุวรรณณศรี. 2551. เทคโนโลยีอาหารหมัก. สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร. กรุงเทพฯ. 247 น.

- วิกิพีเดีย. (2560). มะม่วง. [ออนไลน์]. ได้จาก :<https://th.wikipedia.org/wiki/มะม่วง>.
- นอร์โฉมศรี. 2555. จุลชีววิทยาอาหาร. บริษัทเชียงใหม่ปริ้นท์ติ้งจำกัด. เชียงใหม่. 170 น.
- สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยีกรมส่งเสริมการเกษตร. พันธุ์มะม่วงที่เหมาะสมในการแปรรูป. (2547). *ผลิตภัณฑ์มะม่วง* 2547. 46น.
- British Dictionary. (2015). **Fermentation**. Available source: <http://dictionary.Cambridge.org/dictionary/british/ferment?q=fermentation>, February 4, 2016.
- Greenwalt, C.J., Ledford, R.A. and Steinkraus, K.H. (1997). Determination and characterization of the antimicrobial activity of the fermented tea kombucha. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol* 31: 291–296.
- International Food Information Service. (2005). **Dictionary of Food Science and Technology**. Blackwell Publishing, Oxford. 413 p.
- Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K.L., Norulaini, N.A.N., Sahena, F. and Omar, A.K, M. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: a review. *Food Chemistry* 183: 173–180.
- Meilgaard, H., Civille, G. V. and Carr, B. T. (2006). Sensory evaluation techniques. **CRC Press. Boca Raton**. 464 p.
- Miranda, B., Lawton, N.M., Tachibana, S.R., Swartz, N.A. and Hall, W.P. (2016). Titration and HPLC characterization of Kombucha fermentation: a laboratory experiment in food analysis. *Journal of Chemical Education* 93: 1770–1775.
- Moreira, R, M., Martins, M, L., Júnior, B, R, C, L., Martins, E, M, F., Ramos, A, M., Cristianini, M., Campos, A, N, R., Stringheta, P, C., Silva, V, R, O., Canuto, J, W., Oliveira, D, C. and Pereira, D, C, S. (2017). Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added *Lactobacillus rhamnosus* GG processed by high pressure. **LWT - Food Science and Technology** 77: 259-268.
- Pereira, A. P., Dias, T., Andrade, J., Ramalhosa, E. and Estevinho, L. (2009). Mead production: Selection and characterization assays of *Saccharomyces cerevisiae* strains. **Food and Chemical Toxicology** 47: 2057–2063.
- Rauhut, D., Beisert, B., Berres, M., Gawron-Scibek, M. and Kuerbel, H. (2005). Pulse flame photometric detection: an innovative technique to analyse volatile sulphur compounds in wine and other beverages. In T. Hofmann, M. Rothe, M. & P. Schieberle, State of the art in flavour chemistry and biology (pp. 363-368).
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. and Lonvaud, A. (2006). **Handbook of Enology Volume 1: the microbiology of wine and vinifications**. Chichester: John Wiley & Sons 512 p.
- Rodríguez-González, S., Gutiérrez-Ruiz, I, M., Pérez-Ramírez, I, F., Mora, O., Ramos-Gomez, M. and Reynoso-Camacho, R. (2017). Mechanisms related to the anti-diabetic properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice by-product. **Journal of Functional Foods** 37: 190–199.
- Rumainum, I. M., Worarad, K., Srilaong, V. and Yamane, K. (2018). Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars. **Agriculture and Natural Resources** 52: 208-214.

- Santhirasegaram, V., Razali, Z. and Somasundram, C. (2013). Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokananmango (*Mangifera indica* L.) juice. **Ultrasonics Sonochemistry** 20: 1276–1282.
- Spínola, V., Pinto, J. and Castilho, P, C. (2015). Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD–ESI-MSn and screening for their antioxidant activity. **Food Chemistry** 173: 14–30.
- Sroka, P. and Tuszyn'ski, T. (2007). Changes in organic acid contents during mead wort fermentation. **Food Chemistry**. 104: 1250–1257.
- Stanbury, P. F., Whitaker, A. and Hall, S. J. (1995). Principles of fermentation technology. **Butterworth- Heinemann (Pergamon)**. Oxford. 824 p.
- The University of York Science Education Group. (2000). **Salters Horners Advanced Physics: Student Book AS Level**. Heinemann Educational Publishers. Oxford. 364 p.
- Wibowo, S., Grauwet, T., Gedefa, G, B., Hendrickx, M. and Loey, A, V. (2015). Quality changes of pasteurised mango juice during storage. **Part II: Kinetic modelling of the shelf-life markers. Food Research International**. 78: 410–423.
- Wikipedia. (2016). **Fermentation**. Available source: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fermentation>, February 4, 2016.
- WorldAtlas. (2018). **The Top Mango Producing Countries In The World**. Available source: <https://www.worldatlas.com/articles/the-top-mango-producing-countries-in-the-world.html>. April 9, 2018.