การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณน้ำตาล สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงมะละกอที่ผ่านการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมาก

ฐิติกร พรหมบรรจง[1] บัณฑิตา ภู่ทรัพย์มี โปณะทอง[2] สุวรรณา ผลใหม่[3] จรินทร์ พูดงาม[4] ศิริวรรณ ปานเมือง[5] สิริพงษ์ วงศ์พรประทีป[6] วรวิทู มีสุข[7] คมสัน นันทสุนทร[8] เปรมจิต รองสวัสดิ์[9*]

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย[1 2 3 4 5 7 8 9*]

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย[6]

E – mail: premjit.r@rmutsv.ac.th[9*]

วันที่รับบทความ 1 สิงหาคม 2567
วันแก้ไขบทความ 6 พฤศจิกายน 2567
วันตอบรับบทความ 11 พฤศจิกายน 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี พีเอช ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงมะละกอหมักที่ผ่านการหมักด้วยลูกแป้งที่เวลาต่าง ๆ (0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง) ผลการทดสอบพบว่าการหมักมะละกอที่เวลา 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างจากระยะเวลาหมักอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าสีในระบบ L*a*b* เท่ากับ 64.22±0.04 (มีความสว่างสูงสุด) 16.10±0.08 (ค่าความเป็นสีแดงต่ำสุด) และ 27.14±0.02 (ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด) ตามลำดับ มีพีเอชเมื่อละลายน้ำเท่ากับ 4.59±0.02 (มีค่าต่ำที่สุด) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.63±0.10 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง (มีค่าสูงที่สุด) ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุดที่ระยะเวลาหมัก 18 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 252.80±65.03 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณต่ำสุดที่ระยะเวลาหมัก 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 28.26±3.24 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 1.25±0.40 -1.52±1.52±0.33 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง (IC_{50} ของ BHT เท่ากับ 2.65±0.00 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นวิธีการแปรรูปมะละกอด้วยการหมักแบบดั้งเดิม เพื่อประโยชน์สูงสุดจากการหมักยังควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านองค์ประกอบเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงของพรีไบโอติก และผลต่อสุขภาพของอาหารหมักนี้

คำสำคัญ : ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สี ผงมะละกอ สารประกอบฟีนอลิก น้ำตาล การหมัก

The Changes of Color, Sugar and Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Papaya Fruit Powder Produced by Fermented by Look-Pang Khao-Mak

Thitikorn Prombanchong[1], Banthita Poosabmee Ponatong[2], Suwanna Pholmai[3], Jarin Poodngam[4], Siriwan Panmuang[5], Siripong Wongponprateep[6], Worawitoo Meesook[7] Komsun Nuntasoontorn[8], Premjit Rongsawat[9*]

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya[1,2,3,4,5,7,8,9*]

Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya[6]

E – mail: premjit.r@rmutav.ac.th[9*]

Received 1 August 2024
Revised 6 November 2024
Accepted 11 November 2024

Abstract

The objectives of this research were to study the changes (color, pH, sugar and phenolic contents and antioxidant activity) of papaya powder fermented by Look-Pang Khao-Mak at different times. (0, 6, 12, 18 and 24 h). The color pH and phenolic content of papaya powder derived for 24 hours fermentation showed the highest significant difference compared to various times of fermentation with 95% confidence interval. The color in L*a*b* value was 64.22±0.04 (the highest of lightness), 16.10±0.08 (the lowest redness) and 27.14±0.02 (the highest of yellowness), respectively. The pH value and phenolic content were 4.59±0.02 (the lowest pH) and 0.63±0.10 mg/g dry weight (the highest phenolic content), respectively. Total sugar content was the highest at 18 hours after fermentation with the value of 252.80±65.03 mg/g fresh weight, whereas reducing sugar content was the lowest at 12 hours after fermentation with the value of 28.26±3.24 mg/g fresh weight. The antioxidant activity of papaya powder fermented at different time presented non-significant results. The IC_{50} value in rang of 1.25±0.40-1.52±1.52±0.33 mg/g dry weight (IC_{50} of BHT was 2.65±0.00 μg/ml). This research showed the papaya process by fermentation which is a traditional method. For maximum benefit of fermentation, further studies should be carried out in terms of chemical composition, such as changing in prebiotic content and this fermented food to health.

Keywords: Antioxidant activity, Color, Papaya fruit powder, Phenolic compounds Sugar, Fermentation

1. บทนำ

การหมักเป็นวิธีการหนึ่งในการถนอมอาหารให้มีอายุในการเก็บยาวขึ้นโดยอาศัยการทำงานของรา เช่น Aspergillus spp., Rhizopus spp., Mucor spp. ยีสต์ เช่น Saccharomyces cerevisiae, Candida spp. หรือแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดแลคติก เช่น Bacillus spp., Lactobacillus spp. เป็นต้น (Inatsu, 2020; Melini et al. 2019; Wongsa. 2018) อาหารหมักบางชนิดใช้จุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว เช่น ไวน์และน้ำส้มสายชูที่หมักด้วยยีสต์ และเมี่ยง (ชาเขียวแบบดั้งเดิมที่หมักด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดแลคติก) โดยกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของอาหาร ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เช่น Lactobacillus brevis เป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกในการสร้างพลังงานผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสของหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้สิ่งแวดล้อมมีสภาวะเป็นกรดเหมาะกับการดำรงชีวิตของเซลล์ และยังสร้างกลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส ที่เป็นสารตั้งต้นของสารสื่อประสาทกรดอะมิโนบิวทิริก (GABA) (Leeuwendaal et al. 2022; Pakdeeto et al. 2022) กระบวนการหมักอาจสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดซิติก กรดมาลิก ขึ้นกับชนิดของแบคทีเรียที่นำมาใช้ ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความเป็นกรด เช่น ไวน์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.6-4.5 (Jia. 2019) เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค (Showpanish et al. 2022) นอกจากนี้การหมักยังสามารถเปลี่ยนแปลงรสชาติอาหารจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี โดยการเพิ่มหรือลดองค์ประกอบชีวเคมีที่มีอยู่ในอาหารผ่านกระบวนการย่อยโดยเอนไซน์ของจุลินทรีย์ เช่น ลดประมาณแทนนิน (Samtiya. 2020) ลดความขมของสารประกอบฟีนอลิก (Dimidi et al. 2019) ลดปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Samtiya. 2022) เพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เพิ่มปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ เพิ่มกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (Dajanta et al. 2013) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ (Dajanta et al. 2013; Phromraksa et al. 2008) จุลินทรีย์ที่สำคัญในการหมักเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติกที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหารของมนุษย์ (Sivamaruthi. 2022)

มะละกอ (Carica papaya) ปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อน ในปี 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะละกอทั้งสิ้น 57,524 ไร่ มีผลผลิต 86,722 ตัน (ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. 2563) ผลมะละกอมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ เช่น วิตามิน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (Lopez-Martinez et al. 2015) นิยมบริโภคมะละกอในรูปผลสด โดยแปรรูปผลดิบเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น แกงเลียง ส้มตำ แกงส้ม เป็นต้น ส่วนผลสุกนิยมรับประทานสด แม้มะละกอจะมีคุณค่าทางโภชนาการมากแต่ยังมีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าน้อย และผลสุกมีอายุในการเก็บรักษาสั้น นักวิจัยจึงศึกษาการแปรรูปมะละกอสุกโดยใช้การหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมาก นำมาอบแห้งเป็นผงมะละกอหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการหมักที่เวลาต่าง ๆ (0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสี ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณน้ำตาล ปริมาณสารฟีนอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH°) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลมะละกอสุกโดยยังคงคุณค่าทางโภชนาการ และสามารถต่อยอดการใช้ผงมะละกอสุกในอุตสาหกรรมอาหารรูปแบบต่าง ๆ เช่น เป็นสารเพิ่มเนื้อในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นผลิตภัณฑ์ผงมะละกอสำหรับผู้บริโภคช่วงอายุต่าง ๆ เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยพักฟื้น และผู้รับประทานผลไม้สดได้ยาก

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณน้ำตาล ปริมาณสารฟีนอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของผงมะละกอที่ได้จากการหมัก

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง การหมัก และการเตรียมผงมะละกอ

มะละกอสุกพันธุ์เรดเลดี้ (C. papaya) โดยเลือกซื้อผลที่มีเปลือกสีเขียวปนเหลืองจากตลาดสดอำเภอทุ่งสง ช่วงเดือนมิถุนายน - ตุลาคม พ.ศ. 2564 นำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปอกเปลือกและผ่ามะละกอเป็นชิ้น หั่นส่วนที่มีเมล็ดที่เป็นเยื่อสีขาวด้านในออก แล้วหั่นเนื้อมะละกอเป็นชิ้น ๆ ขูดเนื้อมะละกอให้ละเอียด จากนั้นแบ่งเป็น 5 ส่วนให้มีน้ำหนักเท่ากัน ส่วนละ 500 กรัม ส่วนที่ 1 เก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C (ชุดควบคุม) ส่วนที่ 2-5 นำไปหมักโดยผสมลูกแป้งข้าวหมากส่วนละ 2.5 กรัม หมักเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบแต่ละช่วงเวลา ทำการเก็บตัวอย่างปริมาณ 25 กรัมของแต่ละการทดลองเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการทดสอบปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลรีดิวซ์ จากนั้นตัวอย่างที่เหลือเติมมอลโทเด็กซ์ตรินความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ลงในตัวอย่างที่เหลือ ผสมให้เข้ากัน นำส่วนผสมไปอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 วัน บันทึกน้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตโดยใช้สมการดังนี้

ร้อยละผลได้ (% yield) = (ปริมาณน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม) / น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม)) x 100

มะละกอหมักที่แห้งแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น Otto ที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเก็บผงมะละกอหมักไว้ในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิ 8°C เพื่อการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3.2 การวิเคราะห์สี

การวิเคราะห์สีทำโดยใช้ผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ บรรจุในจานเพาะเลี้ยงแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความสูง 1.5 เซนติเมตร จากนั้นวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง คัลเลอริมิเตอร์ รายงานผลรูปค่า L*a*b* value

3.3 การวิเคราะห์พีเอช ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

นำผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนที่ไม่ละลายออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เก็บสารละลายส่วนใสที่ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.3.2 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส

นำตัวอย่างสารละลายผงมะละกอในข้อ 3.3.1 วัดค่าความเป็นกรด-เบสโดยใช้เครื่องวัดพีเอช รุ่น SI analysis model lab 855

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกดำเนินการโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งดัดแปลงจาก Singleton and Rossi (1965) ปฏิกิริยาประกอบด้วยสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมสารละลาย Folin-Ciocalteu (เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืดนาน 7 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำสารละลายผสมที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ค่าที่ได้นำมาคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (GAE) ช่วงความเข้มข้น 0-30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร รายงานผลในหน่วย แกลลิกแอซิดอิควิวาเลนต์ (GAE)/กรัมน้ำหนักแห้ง

3.3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้อนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) โดยดัดแปลงเล็กน้อยจากวิธีการของ Blois (1985) ปฏิกิริยาประกอบด้วยสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ที่ละลายใน 99% เมทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่างเพื่อเป็นชุดควบคุม) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที วัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอลเป็นสารละลายแบลงค์ คำนวณค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระดังสมการ

$$\%DPPH\ radical\ scavenging\ activity = \{(A0 - A1)/ A0\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A0 คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A1 คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง หรือ สารละลายมาตรฐาน

จากนั้นนำค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระและความเข้มข้นต่างๆ ของสารตัวอย่าง มาสร้างกราฟ แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (The half-maximal inhibitory concentration (IC_{50})) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ใช้ตัวควบคุมเชิงบวกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ Butylated Hydroxytoluene (BHT)

3.4 การทดสอบปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลรีดิวซ์

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวม

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวมใช้วิธีฟีนอล-ซัลฟิวริก (Dubois et al., 1956) ปฏิกิริยาประกอบด้วยสารละลายตัวอย่าง สารละลายมาตรฐาน หรือน้ำกลั่น (ตัวควบคุม) ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก/ปริมาตร ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มสารละลายผสมที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 30 นาที จากนั้นนำสารละลายผสมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ปริมาณน้ำตาลรวมคำนวณโดยการเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐานของกลูโคส ช่วงความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใช้วิธีกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (Dinitrosalicylic acid (DNS)) (Garriga et al. 2017) ปฏิกิริยาประกอบด้วยสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หรือสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน ปริมาตร 1 มิลลิลิตรในซิเตรทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 และสารละลาย DNS ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มอุณหภูมิ 100 °C นาน 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ปฏิกิริยาที่ใช้น้ำกลั่นแทนสารตัวอย่างเป็นสารละลายแบลงค์ คำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยนำค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสช่วงความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

3.5 การวิเคราะห์ Escherichia coli และปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มรวมจากผงมะละกอ

วิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อในผงมะละกอหมักในช่วงเวลาที่แตกต่างกันโดยตรวจหาปริมาณโคลิฟอร์มรวมและ E. coli ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน AOAC 2019 วิธีที่ 991.14

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลจากการทดสอบในแต่ละขั้นตอนได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ โดยรายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย ± S.D. ที่และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ one-way ANOVA และ Duncan’s multiple range-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลการวิจัย

4.1 ร้อยละผลได้ของผงมะละกอหมัก ค่าสีของผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ และค่า พีเอช

ร้อยละผลได้ของผงมะละกอหมักที่ระยะเวลา 0 และ 6 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าร้อยละ 4.09 ± 0.05 และ 4.10 ± 0.07 ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาหมักเป็น 12 ชั่วโมง มีร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 5.22 ± 0.15 และลดลงเล็กน้อยที่ระยะเวลาหมัก 18 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 4.55 ± 0.13 และเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.00 ± 0.04 (ตารางที่ 1) โดยลักษณะผงมะละกอที่หมักในระยะเวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1

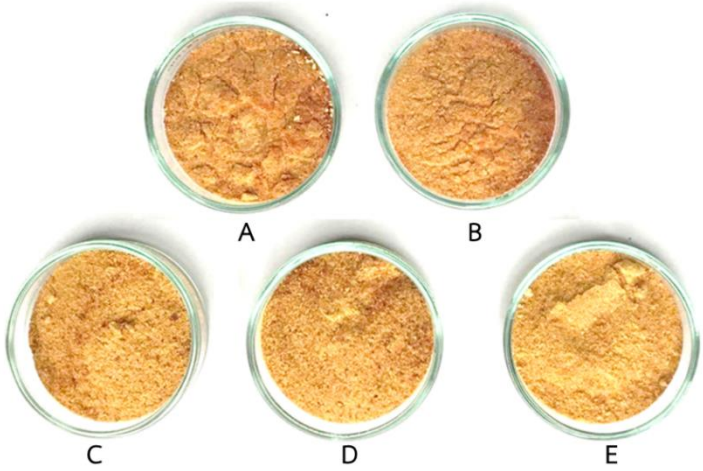
ค่าสีผงมะละกอหมักแสดงเป็นค่า L*a*b* ดังตารางที่ 1 โดยค่าความสว่าง (L*) ของมะละกอหมักที่เวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยค่าความสว่างสูงที่สุดที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง ค่า a* ซึ่งแสดงความเป็นสีเขียว-แดง มีค่าอยู่ในช่วง 16.10 ± 0.08 - 22.22 ± 0.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผงมะละกอหมักมีสีช่วงสีแดง โดยการหมักที่ระยะเวลามากขึ้นแสดงให้เห็นความเป็นสีแดงลดลง และมีค่าความเป็นสีแดงต่ำสุดที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง ส่วนค่า b* ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเหลืองของวัตถุ ในผงมะละกอหมักมีค่าอยู่ในช่วง 24.49 ± 0.13 - 27.14 ± 0.02 ซึ่งความเป็นสีเหลืองนี้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาหมักเพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากที่สุดที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 27.14 ± 0.02

ค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายผงมะละกอหมักที่เวลา 6 – 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 4.59 ± 0.02 – 4.98 ± 0.08 โดยพีเอชของผงมะละกอที่มีการหมักด้วยลูกแป้งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (5.38 ± 0.14) ตัวอย่างที่มีความเป็นกรดสูงที่สุดคือสารละลายผงมะละกอหมักที่เวลา 24 ชั่วโมง (4.59 ± 0.02) (ตารางที่ 1) สารละลายผงมะละกอหมักในระยะเวลาต่าง ๆ แสดงสีส้มที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2) โดยสารละลายผงมะละกอหมักที่เวลา 6 ชั่วโมง มีสีส้มเข้มมากที่สุด ตามด้วย 12 18 24 ชั่วโมง และชุดควบคุม ตามลำดับ

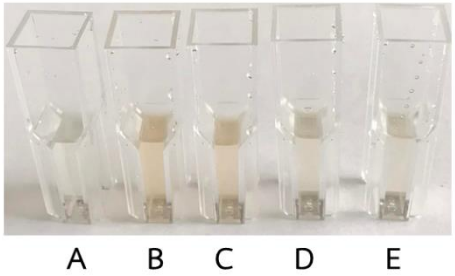
ตารางที่ 1 ร้อยละผลได้ สี และพีเอช ของผงมะละกอหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาหมัก (ชั่วโมง)	ร้อยละผลได้	ค่าสี			พีเอช (pH)
		L*	a*	b*	
0	4.09±0.05^{a}	59.38±0.47^{a}	22.22±0.18^{c}	24.49±0.13^{a}	5.38±0.14^{c}
6	4.10±0.07^{a}	63.77±0.13^{c}	18.01±0.14^{b}	26.55±0.04^{b}	4.98±0.08^{b}
12	5.22±0.15^{c}	61.34±0.04^{b}	18.13±0.04^{b}	26.74±0.17^{b}	4.97±0.01^{b}
18	4.55±0.13^{b}	61.03±0.28^{b}	18.29±0.10^{b}	26.70±0.12^{b}	4.68±0.01^{a}
24	6.00±0.04^{d}	64.22±0.04^{c}	16.10±0.08^{a}	27.14±0.02^{c}	4.59±0.02^{a}

L* คือ ค่าความสว่าง (lightness) มีค่า 0-100 (0 หมายถึงวัตถุมีสีดำ, 100 หมายถึงวัตถุมีสีขาว) a* แสดงค่า สีเขียว-แดง (+a หมายถึงวัตถุมีความเป็นสีแดง -a หมายถึงวัตถุมีความเป็นสีเขียว) b* คือ สีน้ำเงิน-เหลือง (+b หมายถึงวัตถุมีความเป็นสีเหลือง, -b หมายถึงวัตถุมีความเป็นสีน้ำเงิน) อักษรพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษในตารางในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 1 ผงมะละกอหมักที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ โดยที่ อักษร A- E คือ ผงมะละกอหมักที่ระยะเวลาหมัก 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 2 สารละลายผงมะละกอหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยอักษรที่กำกับใต้รูป A-E คือ สารละลายผงมะละกอที่ระยะเวลาหมัก 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.2 ปริมาณน้ำตาลรวม น้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของมะละกอหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ปริมาณน้ำตาลรวมของตัวอย่างมะละกอหมักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่เวลาหมัก 18 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 252.80 ± 65.03 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ตัวควบคุมมีปริมาณน้ำตาลรวม 113.87 ± 5.21 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลาหมัก 12 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 28.26±3.24 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 53.36±0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรวม น้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของมะละกอหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาหมัก (ชั่วโมง)	น้ำตาลรวม (มก./กรัมน้ำหนักสด)	น้ำตาลรีดิวซ์ (มก./กรัมน้ำหนักสด)	สารประกอบฟีนอลิก (มก. GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง)	IC_{50}DPPH (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)
0	113.87±5.21^{a}	44.88±9.17^{b,c}	0.51±0.01^{a}	1.31±0.20^{a}
6	117.60±14.22^{a}	45.13±10.12^{b,c}	0.58±0.02^{a,b}	1.40±0.26^{a}
12	152.00±34.61^{a}	28.26±3.24^{a}	0.60±0.01^{a,b}	1.38±0.33^{a}
18	252.80±65.03^{b}	37.79±3.69^{a,b}	0.57±0.02^{a,b}	1.52±0.33^{a}
24	167.20±19.42^{a}	53.36±0.44^{c}	0.63±0.10^{b}	1.25±0.40^{a}

ข้อมูลในตารางที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในผงมะละกอที่หมักมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวควบคุม (0.5 ± 0.01 มิลลิกรัม GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.57 ± 0.02 – 0.63 ± 0.10 มิลลิกรัม GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง โดยตัวอย่างที่มีค่าฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม คือ ผงมะละกอหมักที่เวลา 24 ชั่วโมง (0.63 ± 0.10 มิลลิกรัม GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 2)

ผลของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ IC_{50} DPPH ของผงมะละกอหมักที่เวลา 0 – 24 ชั่วโมง มีค่า อยู่ในช่วง 1.25 ± 0.40 – 1.52 ± 0.33 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทุกตัวอย่างเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 2)

4.3 ผลการตรวจเชื้อโคลิฟอร์มรวมและเชื้อ E. coli ของตัวอย่างผงมะละกอหมัก

ผลการตรวจเชื้อโคลิฟอร์มรวมและเชื้อ E. coli ไม่พบเชื้อโคลิฟอร์มและเชื้อE. coli ในทุกตัวอย่าง (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 Total coliform และ *E. coli* ของผงมะละกอหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากที่เวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาหมัก (ชั่วโมง)	Total coliforms (cfu/g)	*E. coli*
0	ND	ND
6	ND	ND
12	ND	ND
18	ND	ND
24	ND	ND

*****ND (not detected) หมายถึง ตรวจไม่พบเชื้อ หรือ มีค่า colony forming unit/มิลลิลิตร ต่ำกว่า 10

5. อภิปรายผลและสรุปผล

การเพิ่มขึ้นของร้อยละผลได้ในกระบวนการหมักสามารถเป็นไปได้ เนื่องจากการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการหมัก ซึ่งแต่ละช่วงเวลาในการหมักจะมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน ส่งผลให้มีร้อยละ

ผลได้เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ (Varela et al. 2004) รวมถึงกระบวนการหมักที่ทำให้สารมีการเปลี่ยนแปลง เช่น การหมักด้วยยีสต์ ทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ การหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแลกติกสามารถเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดแลกติกและเอทานอล (Sharma et al. 2020) รวมถึงกระบวนการในการทำให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำ และการระเหยของสารกลุ่มกรดระเหยง่าย (volatile acids) เช่น กรดแลกติก กรดอะซีติก และเอทานอล ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำหนักหรือร้อยละผลได้มีค่าลดลงได้ ดังนั้นร้อยละผลได้ที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการหมักเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงสารที่เกิดจากกระบวนการหมัก

การเปลี่ยนแปลงพีเอชเกิดขึ้นได้เนื่องจากในกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงของสารที่นำมาหมักเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยในการหมักจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นแบคทีเรียผลิตกรดแลกติกสามารถเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดแลกติกและเอทานอล หรือสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดโดยเฉพาะกรดอะซีติก ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตที่ได้จากการหมักมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Sharma et al. 2020) โดยการหมักเมล็ดโกโก้มีการเปลี่ยนแปลงทำให้พีเอชลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากผลการหมักทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นกรดอะซีติก (Vuyst & Leroy. 2020) ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าผงมะละกอหมักเมื่อนำมาละลายน้ำได้สารละลายที่มีความเป็นกรดมากกว่าในชุดควบคุมเช่นเดียวกัน

เมื่อนำผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ มาละลายน้ำที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าสารละลายที่ได้มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแคโรทีนอยด์ (λ 450 nm) (Setiyono et al. 2019; Schweiggert et al. 2011; Shen et al. 2019) โดยมีรายงานว่าแคโรทีนอยด์ที่พบในมะละกอสุกประกอบด้วย เบตาคริปโตแซนธิน (β-cryptoxanthin) แอลฟาคาร์โรทีน (α-carotene) เบตาคาร์โรทีน (β-carotene) ไลโคปีน (lycopene) ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) สารส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำยกเว้นเบต้าคริปโตแซนธินที่สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย (Shan et al. 2019) การทดลองพบว่าระหว่างการหมักเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุบางชนิด เนื่องจากสีของสารละลายผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน โดยมีสีส้มปรากฏในสารละลายที่เวลาหมักต่าง ๆ แตกต่างกัน แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของรงควัตถุ จึงจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาหมัก

การศึกษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็นการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตทั้งในรูปน้ำตาลรีดิวซ์และไม่รีดิวซ์ ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ รวมถึงพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ทั้งที่ละลายน้ำได้ และไม่ละลายน้ำ ซึ่งเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ ดังนั้นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำทำหน้าที่เป็นใยอาหาร มีส่วนช่วยในการขับถ่าย การศึกษาน้ำตาลรีดิวซ์เป็นการวัดน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่เป็นหลักยกเว้นซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เป็นแหล่งพลังงานหลักให้แก่ร่างกาย การลดหรือเพิ่มขึ้นของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการหมักเกิดจากการใช้น้ำตาลในกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการดำรงชีวิต เช่น ในการหมักไวน์เชอร์รี่พบว่าช่วงแรกปริมาณน้ำตาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่เวลาหมัก 10 วัน (Jia et al. 2019)

สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารประกอบที่ต้านอนุมูลอิสระได้ โดยแต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันในการให้หรือรับอิเล็กตรอนที่ต่างกัน ปริมาณสารฟีนอลิกในสารสกัดธรรมชาติมักมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วย (Zhu et al. 2019) ในกระบวนการหมัก จุลินทรีย์มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เช่น การหมักเมี่ยง ซึ่งเป็นการหมักใบชา (Camellia sinensis) แบบดั้งเดิม โดยยีสต์ในการหมักใบชาสามารถผลิตเอนไซม์แทนเนส (tannase enzyme) ซึ่งทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการสลายแทนนิน และเพิ่มอนุพันธ์ของคาเทชิน (catechin derivatives) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูล

อิสระ (Chakavorty et al. 2016) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกจากผงมะละกอหมักเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการทดลองในครั้งนี้แม้สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น แต่ยังมีความแตกต่างกันไม่มากพอที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงผลของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระได้

การตรวจสอบความปนเปื้อนของ Total coliform เป็นตัวบ่งชี้ของการปนเปื้อนแบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มักพบในลำไส้สัตว์เลือดอุ่น และที่พบในดิน ซึ่งการพบจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้บ่งชี้ถึงสุขาภิบาลอาหาร ส่วนการตรวจสอบเชื้อ E. coli ซึ่งเป็นเชื้อที่พบในอุจจาระของมนุษย์ และสัตว์บางชนิด ซึ่งการตรวจพบจะเป็นการบ่งบอกถึงการปนเปื้อน อาหารที่มีปริมาณเชื้อ E.coli ปริมาณมากเมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดโรค เช่น ท้องเสีย ได้ (Bird et al. 2020) ส่วนการตรวจสอบความปนเปื้อนของ Total coliform และ E. coli ของผงมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ ไม่พบทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตที่ดำเนินการมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อน อย่างไรก็ตามผงมะละกอหมักไม่ได้เป็นอาหารที่กำหนดมาตรฐานไว้โดยตรง จึงเทียบเคียงมาตรฐานของผงมะละกอหมักกับอาหารพร้อมบริโภค ในหมวดผักผลไม้ดอง แช่อิ่ม เชื่อม กวน หรือทำให้แห้ง ซึ่งมาตรฐานระบุว่าสามารถพบ E.coli ได้น้อยกว่า 3 MPN/กรัม (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) และในหมวดอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 355 (พ.ศ. 2556) ต้องตรวจไม่พบเชื้อโคลิฟอร์ม หรือตรวจพบเชื้อโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม ในกรณีที่ตรวจด้วยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most probable number) ซึ่งผงมะละกอหมักที่ได้เมื่อพิจารณามาตรฐานการปนเปื้อนของ Total coliform และ E.coli เป็นไปตามมาตรฐาน

6. ข้อเสนอแนะ

ผลของการหมักมะละกอที่เวลาต่าง ๆ และอบแห้งเป็นผงมะละกอหมัก ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณผลผลิตจากการหมัก สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้ โดยปริมาณผลผลิตจากการหมัก ค่าสี และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างที่หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าแตกต่างกับชุดควบคุมมากที่สุด โดยมีร้อยละผลได้มากที่สุด ค่าพีเอชต่ำสุด ค่าสีที่มีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด และน้อยที่สุดที่เวลาหมัก 12 ชั่วโมง ส่วนปริมาณน้ำตาลรวมมีค่ามากที่สุดเมื่อหมักเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มสูงสุดที่ระยะเวลาหมัก 24 ชั่วโมง แต่ไม่มากพอที่จะเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จากการทดสอบทางจุลชีววิทยา ไม่พบเชื้อโคลิฟอร์มและ E. coli ในทุกตัวอย่างศึกษา ผลจากกระบวนการหมักที่เวลาต่าง ๆ ทำให้ได้ผลที่แตกต่างกัน สามารถนำระยะเวลาหมักนี้สร้างผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้แปรรูปได้ โดยเลือกเวลาหมักและผลที่ได้จากการหมักที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการหมักมะละกอทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างในอาหารซึ่งส่งผลต่อสุขภาพ เพื่อให้สามารถอธิบายได้ชัดเจนขึ้นควรทดสอบประโยชน์ของผงมะละกอหมักนี้ในด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เช่น ทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของโพรไบโอติกเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์อาหารนี้ เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2564 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสถานที่ทำการวิจัย อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ

เอกสารอ้างอิง

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2560). **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560).** นนทบุรี : โรงพิมพ์พีทู ดีไซน์ แอนด์ พรินท์ จำกัด.

Bird, P., Bastin, B., Klass, N., Crowley, E., Agin, J., Goins, D., Bakken, H., Lingle, C., & Schumacher, A. (2020). "Evaluation of the 3MTM PetrifilmTM Rapid *E. coli*/ Coliform Count Plate for the Enumeration of E. coli and Coliforms: Collaborative Study, First Action: 2018.13". **Journal of AOAC international.** 103(2) : 513–522.

Blois, M.S. (1958). "Antioxidant determination by the use of a stable free radical". **Nature.** 181 : 1199-1200.

Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D. & Gachhui, R. (2016). "Kombucha tea fermentation : Microbial and biochemical dynamics". **International Journal of Food Microbiology**. 220 : 63-72.

Dajanta, K., Janpum, P., & Leksing, W. (2013). "Antioxidant capacities, total phenolics and flavonoids in black and yellow soybeans fermented by Bacillus subtilis: A comparative study of Thai fermented soybeans (thua nao)". **International Food Research Journal**. 20 : 3125–3132.

Dubois, M., Gillis, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). "Colorimetric method for determination of sugars and related substances". **Analytical Chemistry**. 28(3) : 350–356.

Garriga, M., Almaraz, M. & Marchiaro, A. (2017). Determination of reducing sugars in extracts of Undaria pinnatifida (harvey) algae by UV-visible spectrophotometry (DNS method). **Actas de Ingeniería**. 3 : 173-179.

Inatsu, Y., Chotiko, A., & Ananchaipattana, C. (2020). "Contaminated Bacillus cereus in Lao and Thai fermented soybean "Tua Nao"". **Japan Agricultural Research Quarterly**. 54 : 47–51.

Jia, C., Han, F., Miao, X., Yan, A., Wu, P. & Sun, Y. (2019). "Study on the changes of sugar and acid in fermentation process of different varieties of cherry wine". J**ournal of Food Science and Nutrition**. 2(1) : 15-19.

Leeuwendaal, N.K., Stanton, C., O'Toole, P.W., & Beresford, T.P. (2022). "Fermented Foods, Health and the Gut Microbiome". **Nutrients**. 14(1527) : 1-26.

Lopez-Martínez, L.M., Santacruz-Ortega, H., Navarro, R.E., Sotelo-Mundo, R.R., & Gonzalez-Aguilar, G.A., (2015). "A 1H NMR investigation of the interaction between phenolic acids found in mango (Manguifera indica cv Ataulfo) and papaya (Carica papaya cv Maradol) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radicals". **Plos one**. 10(e0140242) : 1-11.

Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, A.G., & Ruzzi, M. (2019). "Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review". **Nutrients**. 11(1189) : 1-24.

Pakdeeto, A., Phuengjayaem, S., Arayakarn, T., Phitchayaphon, C., Tungkajiwangkoon, S., & Tanasupawat, S. (2022). "Identification of gamma-aminobutyric acid (GABA)-producing lactic acid bacteria from plant-based Thai fermented foods and genome analysis of Lactobacillus brevis GPB7-4". **ScienceAsia**. 48 : 254–262.

Phromraksa, P., Nagano, H., Boonmars, T., & Kamboonruang, C. (2008). “Identification of proteolytic bacteria from Thai traditional fermented foods and their allergenic reducing potentials”. **Journal of Food Science**. 73 : M189–M195.

Samtiya, M., Aluko, R.E., & Dhewa, T. (2020). “Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. Food Production”. **Processing and Nutrition**. 2 : 1–14.

Schweiggert, R.M., Steingass, C.B., Mora, E., Esquivel, P., & Carle, R. (2011). “Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.)”. **Food Research International**. 44(5) : 1373–1380.

Setiyono, E., Brotosudarmo, T. H. P., Pringgenies, D., Heriyanto, Prihastyanti, M. N.U., & Shioi, Y. (2019). “Analysis of β-cryptoxanthin from yellow pigmented marine bacterium Erythrobacter sp. kj5”. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 246 (012004) :1-9.

Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S.K. & Kulshrestha, S. (2020). “Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods”. **Fermentation**. 6(106) : 1-20.

Shen, Y.H., Yang, F.Y., Lu, B.G., Zhao, W.W., Jiang, T., Feng, L., Chen, X.J., & Ming, R. (2019). “Exploring the differential mechanisms of carotenoid biosynthesis in the yellow peel and red flesh of papaya”. **BMC Genomics**. 20(49) : 1-11.

Showpanish, K., Sonhom, N., Janyaphisan, T., Woraprayote, W., & Rumjuankiat, K. (2022). “Isolation and optimization to enhance anti Streptococcus suis bacteriocin production by Lactobacillus plantarum RB01-SO”. **International Journal of Agricultural Technology**. 18 : 809–828.

Singleton V.L. & Rossi J.A. (1965). “Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents”. **American Journal of Enology and Viticulture**. 16 : 144-158.

Sivamaruthi, B.S., Alagarsamy, K., Suganthy, N., Thangaleela, S., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (2022). “The Role and Significance of Bacillus and Lactobacillus Species in Thai Fermented Foods”. **Fermentation**. 8(635) : 1-17.

Taweekasemsombut, S., Tinoi, J., Mungkornasawakul, P., & Chandet, N. (2021). “Thai Rice Vinegars: Production and Biological Properties”. **Applied Sciences**. 11(5929) : 1-18.

Varela,C Pizarro, F and AgosinE. (2004). “Biomass Content Governs Fermentation Rate in Nitrogen-Deficient Wine Musts”. **Applied and environmental microbiology**. 70(6) : 3392–3400.

Voidarou, C., Antoniadou, M., Rozos, G., Tzora, A.; Skoufos, I., Varzakas, T., Lagiou, A., & Bezirtzoglou, E. (2021). “Fermentative Foods: Microbiology, Biochemistry”. Potential Human Health Benefits and Public Health Issues. **Foods**. 10 (69): 1-27.

Vuyst, L.D. & Leroy, F. (2020). “Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation”. **FEMS Microbiology Reviews.** 14(44) : 432–453.

Wongsa, J., Rungsardthong, V., & Yasutomo, T. (2018). “Production and analysis of volatile flavor compounds in sweet fermented rice (Khao Mak)”. **MATEC Web of Conferences**. 192 (003044). 1-4.

Zhu, M.T., Huang, Y.S., Wang, Y.L., Shi, T., Zhang, L., Chen, Y., & Xie, M.Y. (2019). “Comparison of (poly)phenolic compounds and antioxidant properties of pomace extracts from kiwi and grape juice”. **Food chemistry**. 271 : 425-432.

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยในครั้งนี้ ได้สร้างแนวคิดในการใช้ลูกแป้งข้าวหมากซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นมาใช้ในการแปรรูปผลผลิตมะละกอสุก ซึ่งมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ น้อยชนิด และผลมะละกอสุกยังสามารถเน่าเสียได้ง่าย โดยแปรรูปเป็นผงมะละกอหมักเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บได้นาน โดยจากกระบวนการหมักทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ และทางเคมี ของมะละกอหมักที่เวลาต่าง ๆ ที่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้กระบวนการหมักในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งสามารถต่อยอดสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือศึกษาเพิ่มเติมในประโยชน์ของผลิตภัณฑ์นี้ต่อการส่งเสริมสุขภาพต่อไป