Recent Science and Technology

Journal homepage: https:// www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index

ISSN: 3057-0786 (Online)

Research Article

ผลของการหมักดองต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการต้านอนุมูลอิสระในสะตอและหน่อไม้ไผ่ตง

Effect of Fermentation on Physical and Chemical Characteristics, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity in Bitter Bean and Bamboo Shoot

สุกัญญา ไหมเครือแก้ว [a*] สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์ [a] ชลิดา เลื่อมใสสุข [b] วรรณพิชญ์ จุลกัลป์ [c] และ สุพรรณิการ์ ศรีบัวทอง [a]

Sukanya Maicaurkaew [a*], Supaporn Apirattananusorn [a], Chalida Lueamsaisuk [b], Wannapit Junlakan [c] and Supannikar Sribuathong [a]

[a] สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

[a] Department of Food Food innovation and Nutrition, Faculty of Science and Technology Suratthani Rajabhat University, Muang, Suratthani 84100, Thailand.

[b] สาขาวิชาธุรกิจอาหาร คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

[b] Department of Food Bussiness, Faculty of Management Science, Suratthani Rajabhat University, Muang, Suratthani 84100, Thailand.

[c] สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

[c] Department of Occupational health and safety, Faculty of Science and Technology Suratthani Rajabhat University, Muang, Suratthani 84100, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2024-06-29
Revised: 2024-10-01
Accepted: 2024-10-07

Keywords:

fermentation;
bioactive compound;
antioxidant;
bitter bean;
bamboo shoot

Fermentation is a folk wisdom used to extend the shelf life of food and make it taste better. In addition, fermentation produces probiotic bacteria that are beneficial to the body. This research aims to study the effects of fermentation on the physical and chemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity in bitter bean(Parkia speciosa) and bamboo shoots (Dendrocalamus asper). Bitter bean and bamboo shoots were fermented under controlled laboratory conditions using a brine solution consisting of 3 % salt and 40 % rice wash. The solution was brought to a boil and allowed to cool before being poured over the prepared samples in sterile containers. The fermentation process was carried out over a period of 14 days with the containers sealed. Bitter bean and bamboo shoots were femented in a laboratory setting and compared with market-sourced fermented bitter bean and bamboo shoots, as well as fresh bitter bean and bamboo shoots. The results showed that that fermentation led to decreased lightness (L*) and yellowness (b*), but increased redness (a*). Additionally, fermentation reduced pH while increasing ash and acid content compared to fresh bamboo shoots ($p < 0.05$). Furthermore, fermentation significantly boosted antioxidant activity, total phenolic content, total tannins, GABA, and beta-carotene levels ($p < 0.05$). However, it caused a significant reduction in vitamin C, chlorophyll A, B, and total chlorophyll levels ($p < 0.05$). In summary, fermenting bitter bean and bamboo shoots affected the physical and chemical characteristics, as well as the bioactive compound and antioxidant activity properties.

© 2025 Maicaurkaew, S., Apirattananusorn, S., Lueamsaisuk, C., Junlakan, W. and Sribuathong, S. Recent Science and Technology published by Rajamangala University of Technology Srivijaya

*** Corresponding author.**

E-mail address: *Sukanya-011@hotmail.com*

Cite this article as:

Maicaurkaew, S., Apirattananusorn, S., Lueamsaisuk, C., Junlakan, W. and Sribuathong, S. 2025. Effect of Fermentation on Physical and Chemical Characteristics, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity in Bitter Bean and Bamboo Shoot. **Recent Science and Technology** 17(3): 263787.

บทคัดย่อ

การหมักดองเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านเพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ทำให้อาหารมีรสชาติดีขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการหมักดองต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของสะตอและหน่อไม้ไผ่ตง โดยนำสะตอและหน่อไม้ทำการหมักดองในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับสะตอและหน่อไม้ไผ่ตงดองที่ขายในท้องตลาด และสะตอสดและหน่อไม้ไผ่ตงสด การหมักดองสะตอและหน่อไม้ในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำดองที่มีเกลือร้อยละ 3 น้ำซาวข้าวร้อยละ 40 นำไปต้มให้เดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทให้ท่วมสะตอและหน่อไม้ในขวด ปิดฝา ทำการหมักดอง เป็นเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่าการหมักดองสะตอและหน่อไม้ไผ่ตงส่งผลต่อ ค่าสี ค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มสูงขึ้น pH ที่ต่ำลง และปริมาณกรด และเถ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับหน่อไม้ไผ่ตงสด (p< 0.05) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแทนนินทั้งหมด กาบา และเบต้าแคโรทีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) และการหมักดองมีผลให้ปริมาณวิตามินซี ปริมาณคลอโรฟิลล์ A, B และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05) โดยสรุปการหมักดองสะตอและหน่อไม้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: การหมักดอง, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, สารต้านอนุมูลอิสระ, สะตอ, หน่อไม้ไผ่ตง

1. บทนำ

อาหารพื้นบ้านของทางภาคใต้ส่วนใหญ่จะใช้ผักพื้นบ้านเป็นวัตถุดิบในประกอบอาหาร ผักพื้นบ้านเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวทั้งกลิ่นและรสชาติ บางชนิดหาทานได้ยากเนื่องจากมีผลผลิตตามฤดูกาล ผักพื้นบ้านนอกจากอุดมด้วยคุณค่าทางด้านโภชนาการและสรรพคุณด้านสมุนไพรแล้ว การบริโภคผักพื้นบ้านยังเป็นการสืบสานวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของแต่ละพื้นที่ โดยจะมีความแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมและธรรมชาติซึ่งมีการสืบทอดหรือถ่ายทอดกันต่อมาเป็นรุ่น ๆ (Wamanon *et al*., 1996) ผักพื้นบ้านเป็นอีกหนึ่งภูมิปัญญาไทยที่ได้เสาะแสวงหาพืชผักที่มีอยู่ตามธรรมชาติในท้องถิ่นมาเป็นอาหารทั้งในรูปแบบที่บริโภคเป็นผักสดและผักดอง ผักพื้นบ้านประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้ง น้ำตาลกลูโคส โปรตีน กากใยพวกเซลลูโลส และสารอื่น ๆ เป็นต้น กากใยพวกเซลลูโลสพบมากในส่วนใบและก้านของผัก ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ดังนั้นเยื่อใยหลังการย่อยจึงเหลือเป็นกากที่สามารถอุ้มน้ำได้มาก จึงมีประโยชน์ต่อการขับถ่าย ป้องกันท้องผูกช่วยในการดูดซับสารพิษบางชนิดได้ (Sakkatamnu, 1998) ผักพื้นบ้านบางชนิดเช่น ใบมันปู ยังพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant)

การนำผักพื้นบ้านมาหมักดอง นับเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่จะสามารถเก็บรักษาผักเอาไว้ได้นาน ๆ รวมทั้งยังทำให้จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเกิดขึ้นด้วยซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคผักดอง เมล็ดสะตอเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี โดยมีโปรตีนดิบ 6.0-27.5 กรัมต่อเมล็ด 100 กรัม สะตอแสดงศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งของเปปไทด์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ กระบวนการหมักช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสะตอ เนื่องจากมีเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้เป็นส่วนผสมที่มีแนวโน้มสูงในการใช้พัฒนาอาหารและเครื่องดื่มเชิงหน้าที่ (functional foods and beverages) (Muhialdin *et al*., 2020) หน่อไม้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญและเป็นแหล่งอาหารเชิงหน้าที่ (functional food) การนำผลิตภัณฑ์หน่อไม้หมักมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์จะเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาดั้งเดิม สร้างรายได้ และบรรลุเป้าหมายการพัฒนา การหมักหน่อไม้ไม่เพียงแต่ทำให้รสชาติกลิ่น เนื้อสัมผัส และรูปลักษณ์ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและยืดอายุการเก็บรักษาได้อีกด้วย (Singhal *et al*., 2021; Das *et al*., 2013) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าผักพื้นบ้านหลายชนิดได้เริ่มลดปริมาณลงและหายาก อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจากสังคมเกษตรไปสู่สังคมอุตสาหกรรม เพื่อให้คนรุ่นหลังเห็นถึงประโยชน์ทางด้านคุณค่าผักพื้นบ้าน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์พันธุ์ผักพื้นบ้านรวมถึงการสืบทอดภูมิปัญญาชาวบ้าน อีกทั้งการหมักเป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพที่สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารได้โดยใช้เอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ (Zhao *et al*., 2021) ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการหมักดองต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของสะตอและหน่อไม้ไผ่ตง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

นำตัวอย่างผักพื้นบ้านจากเกษตรกรในท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานีได้แก่สะตอ (สะตอสด สะตอดองในห้องปฏิบัติการและสะตอดองในท้องตลาด) และหน่อไม้ไผ่ตง (หน่อไม้ไผ่ตงสด หน่อไม้ไผ่ตงดองในห้องปฏิบัติการ และหน่อไม้ไผ่ตงดองในท้องตลาด) มาศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การดองผักพื้นบ้าน

คัดแยกผักที่เน่าเสีย แตก หรือนิ่มเละออก จากนั้นจึงคัดเลือกขนาดที่เหมาะสมในการดอง ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดดินที่ติดมากับตัวอย่างผัก ซึ่งเป็นแหล่งของ

แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้ผักดองที่ได้ไม่กรอบ ตัดแต่งและหั่นให้มีรูปร่างตามต้องการ บรรจุผักในขวดแก้วปากกว้างที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นเทน้ำดองลงในขวด ซึ่งน้ำดองที่ใช้จะมีส่วนผสมดังนี้ คือ เกลือเม็ดร้อยละ 3 น้ำซาวข้าว ร้อยละ 40 (อัตราส่วน น้ำ: ข้าวสารเท่ากับ 500 มิลลิลิตร: 200 กรัม) น้ำที่ใช้ต้องสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน โดยเฉพาะต้องไม่มีการปนเปื้อนสารประกอบของเหล็ก ซึ่งจะทำให้ผักดองมีสีคล้ำ นำไปต้มในน้ำเดือด ตั้งทิ้งให้อุ่นก่อนนำมาเทจนท่วมผัก เช็ดปากขวดด้วยผ้าสะอาด ปิดฝาให้สนิท ใช้ระยะเวลาในการหมักดอง 14 วัน ทำการหมักดองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2 การศึกษาผลของการหมักดองที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการต้านอนุมูลอิสระ

2.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยระบบ Hunter lab โดยวัดค่า L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Konica Minota รุ่นCR-400)วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (AOAC, 2000) ด้วยเครื่องวัดค่า pH (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น FE20/LE407) วัดค่าปริมาณกรด (AOAC, 2000) ปริมาณความชื้น (moisture) (AOAC, 2000) a_w (Water activity measurement) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (ยี่ห้อ Rotronic รุ่น HygroLab C1) และปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

2.2.2 การเตรียมสารสกัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน ดัดแปลงตามวิธีการของ Nuntharatanapong *et al.* (2018)

บดตัวอย่างพืช (ตัวอย่างสด) 30 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องเขย่าอ่างควบคุมอุณหภูมิ (ยี่ห้อ M-LAB รุ่น WBN 15) ระยะเวลานาน 60 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนของเหลวที่กรองได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ(ยี่ห้อ heidolph รุ่น Hei-VAP Value Digital) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนตัวทำละลายระเหยหมด

2.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำสารสกัดที่แห้งไปละลายในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 5 มิลลิลิตร

2.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด อ้างอิงตามวิธีการของ Singleton *et al.* (1999)

นำสารสกัด 0.5 มิลลิลิตร ผสมร่วมกับ Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลาย sodium carbonate ร้อยละ 20 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดนาน 1 ชั่วโมง เขย่าเป็นช่วง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็น Blank คำนวณปริมาณสารฟีนอลิก อ้างอิงจากกราฟมาตรฐานของ gallic acid โดยแสดงปริมาณในหน่วย มิลลิกรัมของ gallic acid ต่อ 100 กรัมของสารสกัด (mg GAE/100 g extract)

2.2.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging activity) ตามวิธีของ Hatano *et al.* (1988)

นำสารสกัดเอทานอลปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายเมทานอลปริมาตร 3,900 ไมโครลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและชุดควบคุมที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer (ยี่ห้อ PG INSTRUMENTS รุ่น T60 UV-Visible Spectrophotometer) โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็น Blank และแทนสารสกัดในชุดควบคุม คำนวณหาค่าร้อยละของความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระตามสมการ

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (\%)} = \frac{(\text{OD}_{\text{ชุดควบคุม}} - \text{OD}_{\text{ตัวอย่าง}}) \times 100}{\text{OD}_{\text{ชุดควบคุม}}}$$

เมื่อ OD ชุดควบคุม คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

OD ตัวอย่าง คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

2.2.6 การศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ อ้างอิงวิธีการของ Arnon (1949)

นำตัวอย่างผักมาทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆปริมาณ 100 มิลลิกรัม หลีกเลี่ยงการใช้เนื้อเยื่อบริเวณเส้นใบและขอบใบ บดให้ละเอียด สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร จนเนื้อเยื่อเปลี่ยนเป็นสีขาว กรองเอากากออก ปรับปริมาตรของสารละลายด้วยอะซิโตนให้เท่ากับ 30 มิลลิลิตร จากนั้นหุ้มภาชนะบรรจุสารละลายคลอโรฟิลล์ด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากการโดนแสง นำสารละลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดด้วยอะซิโตนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer โดยใช้อะซิโตนเป็น Blank และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (A) และคลอโรฟิลล์บี (B) จากสูตร

$$\text{Chlorophyll A (mg/ml)} = \frac{[12.7\ (A663) - 2.69\ (A645) \times V\ (ml)}{mg}$$

$$\text{Chlorophyll B (mg/ml)} = \frac{[22.9\ (A645) - 4.68\ (A663) \times V\ (ml)}{mg}$$

Total Chlorophyll (mg/ml) = Chlorophyll A + B

เมื่อ A645 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร

A663 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

V คือ ปริมาตรของสารละลาย

mg คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

2.2.7 การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน ดัดแปลงจาก Namchoti *et al.* (2003)

เจือจางสารสกัด 10 เท่า ด้วยน้ำกลั่น นำสารสกัดที่เจือจางแล้ว 0.05 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Denis Reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และสารละลาย sodium carbonate ร้อยละ 30 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer โดยใช้น้ำกลั่น เป็น Blank นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบหาปริมาณแทนนินกับกราฟมาตรฐาน Tannic acid รายงานผลการวิเคราะห์ในหน่วย มิลลิกรัมของ Tannic acid ต่อ 100 กรัมของสารสกัด (mg Tannic/100 g extract)

2.2.8 การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี อ้างอิงตามวิธีการของ Kampfenkel *et al.* (1995)

นำตัวอย่างผักพื้นบ้าน(ตัวอย่างสด) 5 กรัม เติมสาร Meta-phosphoric acid ร้อยละ 5 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียด กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำตัวอย่างผักพื้นบ้านบริโภคสด ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติม indophenol ร้อยละ 0.02 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติม Thiourea ร้อยละ 2 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร และเติม Dinitrophenyl-hydrazine (DNP) ร้อยละ 2 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร (blank ไม่ต้องเติม DNP แต่ให้เติมภายหลังการบ่ม) เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นเติม Sulfuric acid ร้อยละ 85 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรส่วนหลอด blank เติม DNP ร้อยละ 2 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตรและบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเทียบกับ blank ซึ่งใช้ Meta-phosphoric acid ร้อยละ 5 แทนสารตัวอย่าง รายงานผลการวิเคราะห์ในหน่วย mg / 100 g DW. โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Ascorbic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

2.2.9 การวิเคราะห์สารกาบา อ้างอิงวิธีของ Varanyanond *et al.* (2005)

ชั่งตัวอย่างแห้ง 1-5 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสด้านบนมาวิเคราะห์หาสารกาบาโดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ใช้ γ-amino-n-butyric acid (Sigma-Aldrich, Germany) เป็นสารมาตรฐาน ความเข้มข้น 1, 2, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

สภาวะที่ใช้ในการหาสารกาบา ด้วยเครื่อง HPLC คือ

Elution Chromatography : Gradient elution

Mobile phase : A=0.02M Acetic acid: Acetonitrile (9:1)

: B=Acetiacid: Methanol: Acetonitrile (1:4.5:4.5)

Column : Poroshell120 EC-C18 4.6 X 50 mm X 2.7 Micro (Agilent)

Detector : 254 nm ref 550 nm (DAD)

Flow rate : 1.0 ml/min

Injection volume : 10 μL

2.2.10 การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ ตามวิธีของ Merken and Beecher (2000)

ชั่งตัวอย่างอาหารแห้งที่บดละเอียดแล้วมาประมาณ 5-10 กรัม หลังจากนั้นเติมสารละลายเมทานอลที่มีองค์ประกอบของ tert-butylhydroquinone (TBHQ) ร้อยละ 62.5 ปริมาตร 0.5 กรัมต่อลิตร และเติม 10 มิลลิลิตรของ 6 นอร์มอล hydrochloric acid นำไปสกัด (reflux) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น และนำสารละลายนั้นไปผ่านเครื่อง ultrasonic เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 2.5 ไมครอน แล้วกรองสารละลายอีกครั้งด้วย syringe filter ขนาด 0.2 ไมครอน ก่อนนำสารละลายดังกล่าวไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC ใช้ Caffeic acid (C0625), p-coumarin acid (C9008), Ferulic acid (128708), Sinapic (D7927), Myricetin (M6760), Quercetin (Q4951), Luteolin (L9283), Naringenin (N5893), Hesperetin (H4128), Kaemferol (60010), Apigenin (10798) ของ Sigma-Aldrich, USA เป็นสารมาตรฐาน ความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีระยะเวลาการดำเนินการต่อ 1 cycle หรือ retention time 70 นาทีต่อ 1 ตัวอย่าง

สภาวะที่ใช้ในการหาปริมาณฟลาโวนอยด์ ด้วยเครื่อง HPLC คือ

Elution Chromatography : Gradient elution

Mobile phase : 0.05% trifluoroacetic acid (TFA) ใน water,

0.05% TFA ใน methanol และ 0.05% TFA ใน acetonitrile (w/w)

Column : C18 (Eclipse XDB-C18, 4.6x250mm, 5 μm column, Agilent, Germany) พร้อมด้วย guard column (Eclipse XDB-C18 cartridge, 4.6x12.5 mm, 5 μm, Grace division, USA)

Detector : 210, 280, 325, 338 และ 368 nm

Flow rate : 0.6 ml/min

2.2.11 การวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีน ตามวิธีของ Speek *et al*. (1986)

ชั่งตัวอย่างอาหารแห้งที่บดละเอียดมาประมาณ 5-10 กรัม หลังจากนั้นเติมสารละลาย ascorbic acid ร้อยละ 10 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ 50 มิลลิลิตรของ 2 นอร์มอล potassium hydroxide ใน ethanol ร้อยละ 95 จากนั้นนำตัวอย่างไปต้มให้เดือดที่เรียกว่า Saponification ประมาณ 30 นาที เพื่อขจัดไขมันออก หลังจากนั้นตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมเฮกเซน (hexane) ปริมาตร 70 มิลลิลิตร นำตัวอย่างดังกล่าวมาเขย่าติดต่อกันเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นดูดเอาสารละลายส่วนบนใส่ลงในขวดแก้วที่มี potassium hydroxide ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นร้อยละ 5 แล้วเติม hexane ปริมาตร 35 มิลลิลิตร ลงไปแล้วเขย่าติดต่อกัน 2 นาที ทำซ้ำสองครั้ง จะเห็นสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น ปล่อยเอาสารละลายชั้นล่างออก หลังจากนั้นเติม sodium chloride ร้อยละ 10 แล้วล้างด้วยน้ำจนกระทั่งไม่มีด่างหลงเหลืออยู่ในสารละลายตัวอย่าง นำสารละลายดังกล่าวไปทำให้แห้งด้วย rotary evaporator หลังจากนั้นนำสารที่ได้จากการระเหยแห้งไปละลายด้วย chloroform ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลาย methanol ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายดังกล่าวไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC เพื่อหาปริมาณเบต้าแคโรทีน ใช้ β-carotene (C9750, Sigma-Aldrich, USA) เป็นสารมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1- 2.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีระยะเวลาการดำเนินการต่อ 1 cycle หรือ retention time 12 นาทีต่อ 1 ตัวอย่าง

สภาวะที่ใช้ในการหาปริมาณเบต้าแคโรทีน ด้วยเครื่อง HPLC คือ

Elution Chromatography : Gradient elution

Mobile phase : Acetonitrile (CH3 CN): Tetrahydrofuran (THF): Methanol (CH3 OH): Triethylamine (TEA): Ammonium acetate (CH3COONH4) ในอัตราส่วน 80: 14: 6: 0.1: 0.012 (v/v/v/v and w/v)

Column : C18 (Vydac 201 TP, C18 4.6 x 250 mm, 5 μm column, Grace division, USA) พร้อมด้วย guard column (cartridge C18 4.6 x 7.5 mm, 5 μm, Grace division, USA)

Detector : 450 nm ,

Flow rate : 1.0 ml/min

2.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของการหมักดองต่อองค์ประกอบทาง กายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน

3.1.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของสะตอ

การวิเคราะห์ทางกายภาพ จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสะตอ โดยสะตอที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและสะตอดองในท้องตลาดจะมีค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสะตอสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Table 1) ทั้งนี้เนื่องมาจากในสะตอมีเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเมื่อปอกเปลือกไว้และสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างและและค่าความเป็นสีเหลืองลดลงและมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น (Rattanapanon, 2014)

การวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสะตอ โดยสะตอที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและสะตอดองในท้องตลาดมี pH ที่ต่ำกว่าสะตอสด และพบปริมาณกรด และปริมาณเถ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับสะตอสด (p<0.05) (Table 1) โดยเมื่อเปรียบเทียบสะตอที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและสะตอดองในท้องตลาด พบว่าสะตอดองในห้องปฏิบัติการมีปริมาณกรดสูงกว่าสะตอดองใน ท้องตลาด ในขณะที่ค่า pH มีค่าลดลง (p<0.05) เนื่องจากกระบวนการหมักดองโดยจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกที่จะทำให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตในสะตอ ได้แก่ น้ำตาล และน้ำซาวข้าวที่เติมลงไปถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก และการที่สะตอในห้องปฏิบัติการมีปริมาณกรดสูงกว่าอาจเนื่องมาจากปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำซาวข้าว และระยะเวลาการหมักอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกมากกว่าจึงสามารถผลิตกรดได้มากกว่า (Charoensiri and Kongkhachuichai, 2008) ซึ่ง Panyoyai and Saejao (2024) รายงานผลของเกลือที่มี

ต่อการหมักและคุณภาพของกระหล่ำปีดองปรุงรส โดยพบว่าปริมาณเกลือที่แตกต่างกันร้อยละ 2.5 ถึง 7.5 ให้ความเข้มข้นของกรดที่แตกต่างกันและระยะเวลาที่ใช้ในการหมักก็มีผลกับปริมาณกรดด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง เนื่องจากกระบวนการหมักทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรด มีผลทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปฟีโอฟอร์ไบด์ (Pheophorbind) (Pareek *et al*., 2017) ปริมาณเถ้าที่เพิ่มสูงขึ้นในสะตอดองมีผลมาจากปริมาณเกลือที่ใช้ในการดองมีการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของสะตอ สำหรับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) พบว่าสะตอสด สะตอดองจากห้องปฏิบัติการและสะตอดองจากท้องตลาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (Table 1) มีค่า 0.96 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แต่เมื่อดูร่วมกับปริมาณกรดและ ค่า pH จะเห็นได้ว่าสะตอดองมีกรดสูงและค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษไม่สามารถเจริญได้ (Rattanapanon, 2014)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสะตอ โดยสะตอที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและสะตอดองทางการค้าพบว่า มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่าสะตอสด ในขณะที่สะตอดองพบเบต้าแคโรทีน (β-carotene) สารฟีนอลิก แทนนินและสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าสะตอสด (p< 0.05) (Figure 1) จากการวิเคราะห์กาบาด้วยเครื่อง HPLC พบว่า สารกาบาในสะตอดองในห้องปฏิบัติการพบปริมาณกาบาที่สูงกว่าสะตอสด การเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบา เนื่องจากสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย (H^+) ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glutamate decarboxylase ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิคไปเป็นกาบา จึงส่งผลทำให้มีปริมาณกาบาเพิ่มมากขึ้น (Shep *et al*., 1999) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นที่สารสกัดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ร้อยละ 50 (IC_{50}) ที่มีค่าต่ำเมื่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีค่าสูงขึ้น (Table 2)โดยเมื่อเปรียบเทียบสะตอดองในห้องปฏิบัติการกับสะตอดองในท้องตลาดพบว่าสะตอดองในห้องปฏิบัติการมีปริมาณวิตามินซี ปริมาณฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าสะตอดองในท้องตลาด ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะการหมักดองในห้องปฏิบัติการเหมาะสมและอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์แลคติกสามารถผลิตกรดและทำให้เกิดการสลายโครงสร้างของผนังเซลล์พืชจึงมีการปลดปล่อย และ/หรือทำให้เกิดการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ เพิ่มขึ้น (Katina *et al*., 2007; Đorđević *et al*., 2010; Hur *et al*., 2014) อีกทั้งการหมักดองจะทำให้เซลล์ของสะตออ่อนตัวมีการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในเซลล์จึงอาจทำให้เซลล์แตกเพิ่มมากขึ้นและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ปริมาณฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ แทนนิน และเบต้าแคโรทีน จึงสามารถออกมาจากเซลล์ได้มากขึ้นกว่าสะตอสด ผลของการหมักต่อความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แคโรทีนอยด์ที่เกี่ยวข้อง สภาวะการหมักและกิจกรรมของเอนไซม์ในสายพันธุ์จุลินทรีย์ เนื่องจากเอนไซม์บางชนิดเอื้อต่อการสกัดแคโรทีนอยด์ (Rattanapanon, 2014; Zhao *et al*., 2021)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการดองมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงปริมาณสารฟีนอลิก และเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Miller and Rice-Evans (1997) รายงานว่าหลังกระบวนการหมักพืชจะมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของการต้านอนุมูลอิสระอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ทั้งนี้รายงานการวิจัยของ Kuaznierewicz *et al*. (2008) ซึ่งรายงานว่าการหมักของกะหล่ำปลีส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และการหมักดองส่งผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Di Cargo *et al*. (2011) รายงานว่าวิตามินซีจะมีค่าลดลงเมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลานานขึ้น

Table 1 Physical and Chemical Quality Analysis of Bitter bean

Analysis		Bitter bean	Fermented bitter bean (laboratory)	Fermented bitter bean (local market)
Color	L*	60.51±0.18[a]	56.87±0.27[b]	60.98±0.16[a]
	a*	-18.35±0.17[b]	-4.17±0.04[a]	-4.09±0.09[a]
	b*	36.01±0.68[b]	31.25±0.03[c]	26.84±0.22[a]
pH		5.34±0.01[a]	3.46±0.01[c]	3.86±0.02[b]
Total acidity (% DW.)		0.37±0.15[c]	15.28±0.84[a]	4.87±0.04[b]
Water activity (a_w) [ns]		0.96±0.00	0.96±0.00	0.96±0.00
Ash (% DW.)		4.53±0.15[c]	21.09±0.98[b]	24.14±1.56[a]
Chlorophyll (mg/ml)	A	0.29±0.01[a]	0.05±0.01[c]	0.13±0.01[b]
	B	0.48±0.01[a]	0.03±0.01[c]	0.07±0.02[b]
	Total	0.77±0.01[a]	0.09±0.02[c]	0.20±0.03[b]

Treatments with the superscript [(a,b,c…)] in each row were significantly different (p<0.05)

ns = not significantly different

Table 2 DPPH scavenging activity, IC_{50} and Flavonoid of Bitter bean

Analysis		Bitter bean	Fermented bitter bean (laboratory)	Fermented bitter bean (local market)
DPPH scavenging activity (%)		77.72±0.12^{c}	84.10±0.43^{a}	81.37±1.18^{b}
IC_{50} (mg/ml)		138.11±0.40^{a}	40.30±0.62^{b}	40.50±0.45^{b}
Flavonoid (mg/100) g DW.)	Apigenin	Nd	Nd	Nd
	Hesperetin	Nd	Nd	Nd
	Kaemferol	Nd	Nd	Nd
	Luteolin	Nd	Nd	Nd
	Myricetin	Nd	Nd	Nd
	Naringenin	Nd	Nd	Nd
	Quercitin	Nd	Nd	Nd

Treatments with the superscript $^{(a,b,c\ldots)}$ in each row were significantly different (p<0.05)

IC_{50} = the concentration value at which the extract has 50% inhibitory efficiency, Nd คือ Not detected

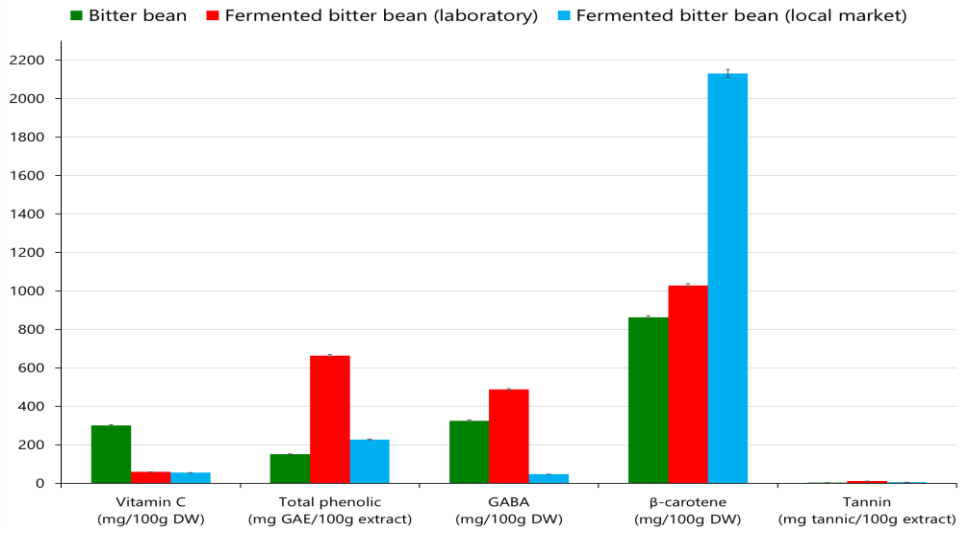

Figure 1 Bioactive compound of Bitter bean and fermented bitter bean.

3.1.2 ผลการวิเคราะห์ทาง กายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ไผ่ตง

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ แบ่งผลการทดลอง 3 ด้าน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ไผ่ตง

การวิเคราะห์ทางกายภาพ จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของหน่อไม้ไผ่ตง โดยหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและหน่อไม้ดองในท้องตลาดจะมีค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับหน่อไม้ไผ่ตงสด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Table 3) โดยเมื่อเปรียบเทียบหน่อไม้ไผ่ตงดองในท้องตลาดมีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงกว่าหน่อไม้ดองในห้องปฏิบัติการ มีค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ทั้งนี้เนื่องมาจากในหน่อไม้ไผ่ตงมีเอนไซม์และสารประกอบฟีโนลิกซึ่งเมื่อปอกเปลือกไว้และสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้น จึงทำให้ค่าความสว่างลดลงและมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Rattanapanon, 2014) การวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของหน่อไม้ไผ่ตง โดยหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและหน่อไม้ดองในท้องตลาดมี pH ที่ต่ำกว่า หน่อไม้สดและมีปริมาณกรด และเถ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับหน่อไม้ไผ่ตงสด (p< 0.05) สำหรับค่า a_w ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่อเปรียบเทียบหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและหน่อไม้ดองในท้องตลาด พบว่าหน่อไม้ไผ่ตงดองในท้องตลาดมีปริมาณกรดต่ำกว่าหน่อไม้ไผ่ตงในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่ค่า pH มีค่าลดลง (p<0.05) เนื่องจากกระบวนการหมักดองโดยจุลินทรีย์กลุ่มแลคติก

ที่จะทำให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตในหน่อไม้ ได้แก่ น้ำตาล และน้ำซาวข้าวที่เติมลงไปถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก (Charoensiri and Kongkhachuichai, 2008) สำหรับปริมาณเถ้าที่เพิ่มสูงขึ้นในหน่อไม้ดองมีผลมาจากปริมาณเกลือที่ใช้ในการดองมีการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของหน่อไม้

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จากการทดลองการหมักดองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ของหน่อไม้ไผ่ตง โดยหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการหมักดองในห้องปฏิบัติการและหน่อไม้ไผ่ตงดองในท้องตลาด พบว่ามีปริมาณวิตามินซี ต่ำกว่าหน่อไม้ไผ่ตงสด ในขณะที่หน่อไม้ไผ่ตงดองในท้องตลาดและในห้องปฏิบัติการพบ สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแทนนิน และสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าหน่อไม้ไผ่ตงสด (p<0.05)(Table 4) (Ficture 2) โดยจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าสารกาบาในหน่อไม้ไผ่ตงดองในห้องปฏิบัติการมีปริมาณสารกาบาที่สูงขึ้นกว่าหน่อไม้สด การเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบาในสภาวะที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เนื่องจากสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย (H^+) ไปกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ glutamate decarboxylase ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิคไปเป็นกาบา จึงส่งผลทำให้มีปริมาณกาบาเพิ่มมากขึ้น (Shep *et al*., 1999) เมื่อเปรียบเทียบหน่อไม้ดองในห้องปฏิบัติการกับหน่อไม้ดองในท้องตลาดพบว่าหน่อไม้ดองในท้องตลาดมีปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิก และกาบาต่ำกว่าหน่อไม้ดองในห้องปฏิบัติการ แต่พบเบต้าแคโรทีน (β-carotene) สูงกว่าหน่อไม้ดองในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลถึงความสามารถในการต้านทานอนุมูลอิสระของหน่อไม้ดองเพิ่มขึ้น อีกทั้งการดองจะทำให้เซลล์ของหน่อไม้อ่อนตัวมีการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในเซลล์จึงอาจทำให้เซลล์แตกเพิ่มมากขึ้นและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ปริมาณฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ แทนนิน และเบต้าแคโรทีนจึงสามารถออกมาจากเซลล์ได้มากขึ้นกว่าหน่อไม้ไผ่ตงสด (Rattanapanon, 2014)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการดองมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระรวมถึงปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณแทนนิน และ β-carotene เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Katina *et al*., (2007) and Đorđević *et al*. (2010) รายงานว่าการหมักทำให้เกิดการสลายโครงสร้างของผนังเซลล์พืชอาจปลดปล่อย และ/หรือทำให้เกิดการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ การหมักจึงเป็นวิธีการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ โดยการปล่อยฟลาโวนอยด์และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจึงมีผลให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (Miller and Rice-Evans, 1997) ทั้งนี้รายงานการวิจัยของ Kuaznierewicz *et al*. (2008) ซึ่งรายงานว่าการหมักของกะหล่ำปลี ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และการหมักดองส่งผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Di Cargo *et al*. (2011) รายงานว่าวิตามินซีจะมีค่าลดลง เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลานานขึ้น

Table 3 Physical and Chemical Quality Analysis of Bamboo shoot

Analysis		Bamboo shoot	Fermented bamboo shoot (laboratory)	Fermented bamboo shoot (local market)
Color	L^*	89.91±0.15^a	83.01±0.09^b	77.79±0.80^c
	a^*	0.27±0.07^b	-0.52±0.02^c	1.54±0.11^a
	b^*	12.34±0.25^a	5.98±0.07^c	7.38±0.09^b
pH		5.32±0.01^a	3.49±0.01^c	3.59±0.01^b
Total acidity (% DW.)		1.53±0.05^c	5.34±0.53^a	3.17±0.01^b
Water activity (a_w) ^{ns}		0.97±0.01	0.96±0.01	0.89±0.07
Ash (% DW.)		11.51±1.14^c	27.78±2.13^b	33.65±3.62^a
Chlorophyll (mg/ml)	A	Nd	Nd	Nd
	B	Nd	Nd	Nd
	Total	Nd	Nd	Nd

Treatments with the superscript $^{(a,b,c...)}$ in each row were significantly different (p<0.05)

Nd = Not detected

Table 4 DPPH scavenging activity, IC_{50} and Flavonoid of Bamboo shoot

Analysis		Bamboo shoot	Fermented bamboo shoot (laboratory)	Fermented bamboo shoot (local market)
DPPH scavenging activity (%)		17.35±1.73[b]	54.68±1.53[a]	52.23±3.70[a]
IC_{50} (mg/ml)		107.02±1.23[a]	23.04±0.73[b]	25.13±0.39[b]
Flavonoid (mg/100 g DW.)	Apigenin	Nd	Nd	Nd
	Hesperetin	Nd	Nd	Nd
	Kaemferol	Nd	Nd	Nd
	Luteolin	Nd	Nd	Nd
	Myricetin	Nd	Nd	Nd
	Naringenin	Nd	Nd	Nd
	Quercitin	Nd	Nd	Nd

Treatments with the superscript [(a,b,c…)] in each row were significantly different (p<0.05)

IC_{50} = the concentration value at which the extract has 50% inhibitory efficiency, Nd คือ Not detected

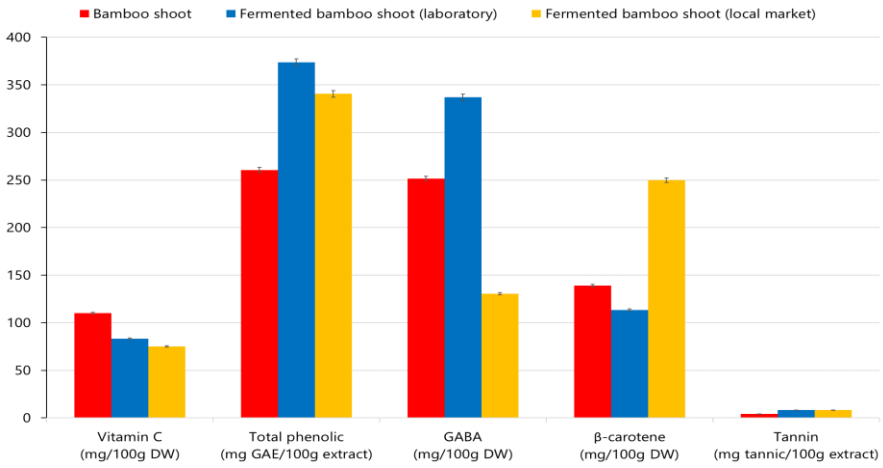

Figure 2 Bioactive compound of bamboo shoot and fermented bamboo shoot

4. สรุป

สะตอและหน่อไม้ที่ผ่านการหมักดองมีค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้กระบวนการหมักดองส่งผลต่อ pH ปริมาณกรด และปริมาณเถ้า ของผักพื้นบ้านที่ผ่านการหมักดองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนค่า a_w ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการดองส่งผลให้ผักพื้นบ้านมีค่า pH ลดต่ำลง ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ สะตอและหน่อไม้ที่ผ่านการหมักดองจะส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแทนนินทั้งหมด ปริมาณเบต้าแคโรทีน และปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยสะตอและหน่อไม้ที่ผ่านการหมักดองจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าแบบสด และการหมักดองมีผลให้ปริมาณวิตามินซี ปริมาณคลอโรฟิลล์ A, B และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้มีเวลาจำกัดไม่สามารถศึกษาปัจจัยที่ส่งผลในการหมักดองทุกพารามิเตอร์ในการศึกษาต่อไปควรมีการศึกษาในด้านกลุ่มของเชื้อที่พบ ที่เป็นกลุ่มโพรไบโอติก (Probiotic) ได้แก่ กลุ่มของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ทั้งในด้านสายพันธุ์ที่พบ จำนวนเชื้อที่มี รวมทั้งการคัดเลือกหัวเชื้อแลคติกจากห้องปฏิบัติการเพื่อยกระดับผักดองพื้นบ้านและในการคัดเลือกผักดองจากท้องตลาดควรเลือกจากผู้ประกอบการหรือวิสาหกิจชุมชนที่มีการผลิตผักดองเพื่อจะได้ทราบถึงกระบวนการหมักทุกขั้นตอนเพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกับผักดองในห้องปฏิบัติการได้จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมัก รวมทั้งการประเมินอายุการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม การวิจัยและพัฒนาเพื่อส่งเสริมยกระดับผักดองพื้นบ้านต่าง ๆ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผักพื้นบ้าน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว) ร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สำหรับสถานที่ทำการวิจัย และเกษตรกรในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่อำนวยความสดวกในการจัดเก็บสะตอและหน่อไม้ในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. **Plant physiology** 24: 1-15.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International** (17th ed). Maryland, USA.

Charoensiri, R. and Kongkhachuichai, R. 2008. **Nutrition and fruit** (1st ed). Nutrition Research Institute, Mahidol University and the Nutrition Promotion Foundation. (in Thai)

Di Cargo, R., Minervini, G., Rizzello, C.G., De Angelis, M. and Gobbetti, M. 2011. Effect of lactic acid fermentation on antioxidant, texture, color and sensory properties of red and green smoothies. **Food Microbiology** 28: 1062-1071.

Das, A., Nath, D., Kumari, S. and Saha, R. 2013. Effect of fermented bamboo shoot on the quality and shelf life of nuggets prepared from desi spent hen. **Veterinary World** 6(7): 419.

Đorđević, T. M., Šiler-Marinković, S. S. and Dimitrijević-Branković, S. I. 2010. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. **Food Chemistry** 119(3): 957-963.

Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T. and Okuda, T. 1988. Two new flavonoids and other constituents in licorice root: their relative astringency and radical scavenging effects. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin** 36: 2090-2097.

Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C., Choi, I. and Kim, G.B. 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. **Food Chemistry** 160: 346-356.

Kampfenkel, K., Van Montagu, M. and Inzé, D. 1995. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. **Analytical Biochemistry** 225(1): 165-167.

Katina, K., Liukkonen, K.H., Norja, A.K., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Lampi, A.M., Pihlava J.M. and Poutanen, K. 2007. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. **Journal of Cereal Science** 46(3): 348-355.

Kuaznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek, A. and Namiesnik, J. 2008. The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage. **Food chemistry** 108: 853-861.

Merken, H.M. and Beecher, G.R. 2000. Liquid chromatographic method for the separation and quantification of prominent flavonoid aglycones. **Journal of Chromatography A** 897: 177-184.

Miller, N. and Rice-Evans, C. 1997. Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS radical cation assay. **Free Radical Research** 26: 195-199.

Muhialdin, B.J., Abdul Rani, N.F. and Meor Hussin, A.S. 2020. Identification of antioxidant and antibacterial activities for the bioactive peptides generated from bitter beans (*Parkia speciosa*) via boiling and fermentation processes. **LWT** 131: 109776.

Namchoti, C., Phasuk, S. and Thakonphakdee, P. 2003. Efficacy of Feronia limonia Swingle branch crude extract as antioxidant. **RMUTP Research Journal Special Issue** 5: 251-260. (in Thai)

Nuntharatanapong, N., Riam-amatakun, W., Satapattayanont, P., Phetthai, R. and Atikij, R. 2018. Antioxidant, ccytotoxicity and cytoprotective activity of *Polyalthia cerasoides* branch aqueous extract. **Isan Journal of Pharmaceutical Sciences** 14(4) 142-152. (in Thai)

Pareek, S., Sagar N.A., Sharma, S., Kumar V., Agarwal, T., González-Aguilar, G.A. and Yahia, E.M. 2017. **Fruit and Vegetable Phytochemicals.** Elhadi M Yahia, USA.

Panyoyai, N. and Saejao, K. 2024. Effect of salt on fermentation and quality of flavoured cabbage cores. **Journal of Agricultural Research and Extension** 27(2): 61-70. (in Thai)

Rattanapanon, N. 2014. **Food Chemistry.** Odeon Store, Bangkok. (in Thai)

Sakkatamnu, P. 1998. **The value of dietary fiber in preventing and curing all diseases.** Ruamthon Publishing House, Bangkok. (in Thai)

Shep, B.J., Bown, A.W. and McLean, M.D. 1999. Metabolism and functions of γ- aminobutyric acid. **Trends in plant science** 4(11): 446-452.

Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela- Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods Enzymology** 299: 152-178.

Singhal, P., Satya, S. and Naik, S. N. 2021. Fermented bamboo shoots: A complete nutritional, anti-nutritional and antioxidant profile of the sustainable and functional food to food security. **Food Chemistry: Molecular Sciences** 3: 100041.

Speek, A. J., Temalilwa, C. R. and Schrijver, J. 1986. Determination of β- carotene content and vitamin A activity of vegetables by high- performance liquid chromatography and spectrophotometry. **Food Chemistry** 19(1) :65-74.

Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul, V., Wattanasiritham, L. and Luxiang, W. 2005. Effects of water soaking on gamma- aminobutyric acid (GABA) in germ if different Thai rice varieties. **Kasetsart Journal: Natural Science** 39(3): 411-415.

Wamanon, M., Rerkngam, P. and Chantarak, S. 1996. **Local vegetables of the southern region.** Organization Printing House Veterans Aid, Bangkok. (in Thai)

Zhao, Y. S., Eweys, A. S., Zhang, J. Y., Zhu, Y., Bai, J., Darwesh, O. M., Zhang, H. B. and Xiao, X. 2021. Fermentation affects the antioxidant activity of plant-based food material through the release and production of bioactive components. **Antioxidants** 10(12): 2004.