Journal of Agricultural Research and Extension 43(1): 226-241

# ผลของวิธีการการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของน้ำพริกเห็ดกระด้าง

# Effect of Hot-Air Drying Method on the Quality of Chili Paste from Kradang Mushroom (*Lentinus polychrous* Lev.)

**อริสรา โพธิ์สนาม จุฑามาศ กองผาพา และกุลวดี แก้วก่า***

**Arissara Phosanam, Juthamas Kongphapa and Kunwadee Kaewka***

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ สกลนคร 47000

Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry

Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon, Thailand 47000

*Corresponding author: kunwadee.ka@ku.th

*ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-7061-6682

**Received:** *April 04, 2025*

**Revised:** *October 24, 2025*

**Accepted:** *November 24, 2025*

## Abstract

This study aimed to investigate the effects of hot-air drying on the quality of dried Kradang mushroom chili paste by comparing four drying methods: drying at 65°C for 24 hours (T65), freezing at -18°C for 12 hours prior to drying at 65°C for 24 hours (FT65), drying at 85°C for 18 hours (T85), and freezing at -18°C for 12 hours prior to drying at 85°C for 18 hours (FT85). The chili paste recipe consisted of 52.56% boiled Kradang mushroom, 10.51% boiled tilapia meat, and other seasonings. The research findings indicated that the chili paste dried at 65°C had a lighter brown color and a more pleasant aroma compared to the chili paste dried at 85°C. All samples exhibited similar water rehydration properties ($p>0.05$). The chemical composition of the dried Kradang mushroom chili paste was as follows: 6.25±0.07% moisture, 22.50±0.23% protein, 1.66±0.11% fat, 5.07±0.19% fiber, 10.61±0.24% ash and 46.09±0.83% carbohydrates. Sensory evaluation revealed that the dried Kradang mushroom chili paste produced using the T65 method received the highest acceptance scores, which were not significantly different from those of the T85. However, the T85 resulted in higher antioxidant activity compared to the T65. Therefore, drying at 85°C without freezing is an appropriate method when considering physical characteristics, consumer acceptance, and nutritional value. This method can serve as a guideline for developing dried Kradang mushroom chili paste, enhancing its potential for development into processed food products for commercial purposes and generating income for local communities.

**Keywords:** Kradang mushroom, chilli paste, drying, antioxidant activity, nutritional composition

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง โดยเปรียบเทียบ 4 วิธีการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 24 ชั่วโมง (T65) การแช่แข็งที่ -18°ซ นาน 12 ชั่วโมงก่อนอบแห้งที่ 65°ซ นาน 24 ชั่วโมง (FT65) การอบแห้งที่ 85°ซ นาน 18 ชั่วโมง (T85) และการแช่แข็งที่ -18°ซ นาน 12 ชั่วโมงก่อนอบแห้งที่ 85°ซ นาน 18 ชั่วโมง (FT85) สูตรน้ำพริกประกอบด้วยเห็ดกระด้างต้มสุก 52.56% เนื้อปลานิลต้มสุก 10.51% และเครื่องปรุงอื่น ๆ ผลการวิจัยพบว่าน้ำพริกที่อบแห้งที่ 65°ซ มีสีน้ำตาลอ่อนกว่าและกลิ่นหอมกว่าน้ำพริกที่อบแห้งที่ 85°ซ ตัวอย่างทั้งหมดมีสมบัติการดูดน้ำกลับใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งมีความชื้น 6.25±0.07% โปรตีน 22.50±0.23% ไขมัน 1.66±0.11% เยื่อใย 5.07±0.19% เถ้า 10.61±0.24% และคาร์โบไฮเดรต 46.09±0.83% การประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง T65 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างกับ T85 อย่างไรก็ตาม T85 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า T65 ดังนั้นวิธีการอบแห้งที่ 85°ซ โดยไม่แช่แข็ง เป็นวิธีการที่เหมาะสมทั้งด้านกายภาพ การยอมรับของผู้บริโภค และคุณค่าทางโภชนาการ สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง เป็นการเพิ่มศักยภาพการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเพื่อการค้า และสร้างรายได้ให้กับชุมชน



**คำสำคัญ:** เห็ดกระด้าง น้ำพริก การทำแห้ง กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางโภชนาการ


## บทนำ

น้ำพริกเป็นสัญลักษณ์ทางวัฒนธรรมที่สะท้อนถึงวิถีชีวิตและภูมิปัญญาท้องถิ่นของคนไทย (Wongthai, 2017) ด้วยวัตถุดิบหลักอย่างเช่นพริก สมุนไพรและเครื่องเทศพื้นบ้านทำให้น้ำพริกมีรสชาติเข้มข้นและสามารถปรับสูตรตามทรัพยากรอาหารในแต่ละภูมิภาค เช่น น้ำพริกเผา น้ำพริกอ่อง น้ำพริกหนุ่ม และน้ำพริกเห็ด เป็นต้น โดยเฉพาะการนำเห็ดพื้นบ้านมาผสมผสานและยังช่วยยกระดับคุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางเภสัชได้อย่างหลากหลาย การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการผลิตทั้งในระดับอุตสาหกรรมและชุมชน โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิลดความชื้นจนถึงระดับปลอดภัยทางจุลินทรีย์ ชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรักษาวิตามินรวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไว้ (Chu *et al*., 2023) ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและปรับใช้กับวัตถุดิบหลากหลาย เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ สมุนไพร และเห็ด กระบวนการนี้ช่วยยืดอายุ ลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ จึงลดต้นทุนโลจิสติกส์และขยายโอกาสทางการตลาด แต่หากให้ความร้อนต่อเนื่องอาจส่งผลต่อสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จึงต้องออกแบบพารามิเตอร์อุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ (Therdthai and Krajangmathekul, 2011) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 และความชื้นไม่เกินร้อยละ 15 ถือว่ามีความปลอดภัยและเสถียรทางจุลินทรีย์ งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการอบแห้งด้วยลมร้อนในการแปรรูปเห็ด เช่น เห็ดแชมปิญอง เห็ดหอม และเห็ดฟาง เพื่อรักษาคุณภาพของสารสำคัญในระดับที่เหมาะสม รวมถึงการพัฒนาน้ำพริกที่ใช้เทคโนโลยีอบลมร้อนเพื่อคงสี กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (Arya *et al*., 2024;

Chairote and Intachum, 2016) ช่วยคงคุณภาพและเอกลักษณ์ไว้ Chairsisa and Chaeonchai (2019) ศึกษากระบวนการผลิตและการยอมรับของผู้บริโภคต่อน้ำพริกปลาทูอบแห้งสำเร็จรูป โดยใช้ความร้อนและเวลาอบแห้งที่ต่างกัน พบว่าสูตรที่อบปลาทูที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 5 ชั่วโมง ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด และอัตราส่วนน้ำพริกต่อปลาทูที่เหมาะสม คือ 2:1 น้ำพริกที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน มีค่าทางโภชนาการที่ดี และ Uttarachon *et al*. (2012) ศึกษาการวิธีการอบแห้งเนื้อมะกอกป่า พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50°ซ นาน 10 ชั่วโมง ซึ่งช่วยลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่วง 6–7 ชั่วโมงแรก ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และการคืนตัวทำได้ดีที่สุดเมื่อใช้น้ำร้อน 80°ซ โดยเฉพาะเนื้อมะกอกป่าแบบผงใช้เวลาคืนตัวเพียง 2 นาที

เห็ดจัดอยู่ในอาณาจักรฟังไจที่สามารถบริโภคได้หลายชนิด อาทิ เห็ดนางฟ้า เห็ดถอบ เห็ดหูหนู เห็ดเยื่อไผ่ เห็ดนางรม เห็ดตับเต่า เห็ดขอนขาว และเห็ดกระด้าง เป็นต้น ซึ่งล้วนมีคุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางยา โดยทั่วไปเห็ดเป็นแหล่งโปรตีน ไฟเบอร์ วิตามินดี วิตามินบี และเซเลเนียม รวมถึงสารออกฤทธิ์ เช่น โพลีแซคคาไรด์ โพลีฟีนอลและเออร์โกสเตอรอล (Roncero-Ramos *et al*., 2017) สำหรับเห็ดกระด้าง (*Lentinus polychrous* Lev.) หรือที่ชาวภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือเรียกว่า เห็ดบดหรือเห็ดลม มีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารกลุ่มฟีนอลิก เออร์โกสเตอรอล เบต้า-กลูแคน และโพลีแซคคาไรด์เปบไทด์ แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Jantra *et al*., 2025) รวมถึงกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และยืนยันความปลอดภัยในสัตว์ทดลอง (Sripanidkulchai *et al*., 2020) ทำให้เห็ดกระด้างเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสำหรับอาหารฟังก์ชัน ถึงแม้จะมีงานวิจัยเรื่องการอบแห้งเห็ดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลายอย่าง แต่ยังไม่มีรายงานวิจัยที่กล่าวถึงการพัฒนาน้ำพริกเห็ดกระด้างและวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำพริก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งคืนรูปทั้งด้านประสาทสัมผัส องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพที่เก็บรักษาได้นานและเหมาะกับวิถีชีวิตของผู้บริโภคยุคใหม่ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมน้ำพริกเห็ดกระด้าง

เตรียมส่วนผสม ได้แก่ เห็ดกระด้างต้ม 52.56% (ดอกอายุ 2-3 วัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมวกเห็ดประมาณ 5-7 ซม.) เนื้อปลานิลต้ม 10.51% กระเทียม 13.14% หอมแดง 13.14% พริกจินดา 1.31% พริกหนุ่ม 3.94% ซีอิ๊วขาว 1.31% น้ำปลาร้า 3.94% และเกลือ 0.13% นำส่วนผสมทั้งหมด 760 กรัม มาปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหารไฟฟ้า (Haier Model HFP7722A-1 กำลังไฟ 800 วัตต์) ความแรงระดับ 2 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (NKT10, กล้วยน้ำไทย เซลล์ แอนด์ เซอร์วิซ) โดยใช้วิธีการอบแห้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 การอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 24 ชั่วโมง (T65) วิธีที่ 2 การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ นาน 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ นาน 24 ชั่วโมง (FT65) วิธีที่ 3 การอบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ นาน 18 ชั่วโมง (T85) และวิธีที่ 4 การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ นาน 18 ชั่วโมง (FT85) สำหรับการแช่แข็งทำการแช่แข็งแบบช้า โดยแช่ตัวอย่างในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -18°ซ หลังจากนั้นทำให้เป็นผงโดยการใช้เครื่องปั่นผสมของแห้งไฟฟ้าและร่อนผ่านตะแกรง (ขนาด 60 Mesh) เพื่อให้ได้ผงที่มีความละเอียด จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ

### การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี กายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการ

นำน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งมาตรวจสอบคุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน

คาร์โบไฮเดรต เถ้า และใยอาหาร (wet basis) ตามวิธีของ AOAC (2000) และปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ด้วยเครื่องวัด $a_w$ (Aw SRRINT TH-500, Novasina, Switzerlands) ทำการวัดที่อุณหภูมิ 25°ซ ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพวัดค่าสี โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ (Virginia, USA) และรายงานค่าสีในระบบ CIE L*a*b* สำหรับการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการใช้วิธีการคำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง

**การเตรียมสารสกัดน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

ชั่งน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งอบแห้ง 2.5 กรัม ผสมกับสารละลายเอทานอล 60% (v/v) ปริมาตร 20 มล. (อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:8 w/v) จากนั้นปั่นผสมให้เข้ากันนาน 2 นาที นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45°ซ นาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้ว กรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 ดัดแปลงวิธีการจาก Pollachat *et al*. (2015) นำสารละลายที่ได้ไปทดสอบสมบัติของสารสกัดตามขั้นตอนต่อไป

**วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**

นำสารสกัดจากน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง 25 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลาย 10% Folin-Ciocalteau reagent 125 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย 7.5% $Na_2CO_3$ 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่าต่อกรัมตัวอย่าง (mg GAE/g sample) ดัดแปลงวิธีการจาก Pollachat *et al*. (2015)

**การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH**

ปิเปตสารสกัดจากน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย 20 ไมโครโมลาร์ DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ในเมทานอล 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้อุณหภูมิห้องในที่มืด 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รายงานผลการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เทียบเท่ากับมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (mg GAE/g sample) ดัดแปลงวิธีการจาก Pollachat *et al*. (2015)

**การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS**

เตรียมสารละลาย 7 มิลลิโมลาร์ ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) ผสมกับ 2.5 มิลลิโมลาร์ $K_2S_2O_8$ ในอัตราส่วน 2:1 และพักในที่มืด 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมาเจือจางและวัดค่าการดูดกลืนแสงให้ได้ที่ 0.700±0.020 แล้วนำสารสกัดจากน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย ABTS 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน พักสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รายงานผลการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เทียบเท่ากับมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (mg GAE/g sample) ดัดแปลงวิธีการจาก Pollachat *et al*. (2015)

**ศึกษาความสามารถในการดูดน้ำกลับของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

โดยชั่งน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นอุณหภูมิห้อง (25°ซ) หรือน้ำอุ่น

อุณหภูมิ 50°ซ ปริมาตร 10 กรัม แช่ตัวอย่างเป็นเวลา 2, 4 และ 8 นาที หลังจากครบเวลา นำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 พักให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักน้ำส่วนที่กรองได้ (ดัดแปลงจาก Uttarachon *et al*., 2012) และคำนวณปริมาณน้ำที่น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งสามารถดูดซับไว้ได้ โดยใช้สมการดังนี้

ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (กรัม/กรัม ของตัวอย่าง)

= น้ำหนักน้ำเริ่มต้น (กรัม) – น้ำหนักน้ำกรองผ่านกระดาษกรอง (กรัม) / น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งคืนรูป**

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบทั่วไป ที่มีประสบการณ์ในการบริโภคน้ำพริก จำนวน 50 คน โดยให้ความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความเค็ม ความเผ็ด เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (9 คะแนน = ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน = ไม่ชอบมากที่สุด) ซึ่งใส่ตัวอย่างในถ้วยพลาสติกแบบมีฝาปิดและเสิร์ฟพร้อมแตงกวาสด โดยนำเสนอ 4 ตัวอย่างพร้อมกัน ปริมาณน้ำพริกต่อถ้วย 25 กรัม

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ใช้แผนการทดสอบแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Complete Randomized Block Design: CRBD) สำหรับทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส และใช้แผนการทดสอบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพ ปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ โดยกำหนดให้วิธีการอบแห้ง 4 วิธี คือ T65, FT65, T85 และ FT85 เป็นปัจจัยเดียวของการทดลอง และทำการทดลอง 3 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS V.14

## ผลการวิจัย

**ค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งในกลุ่มตัวอย่าง T65, FT65, T85 และ FT85 มีความชื้น 1.5–1.8% และน้ำอิสระ 0.1–0.2% (Table 1) โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวอย่างที่แช่แข็ง (-18°ซ) กับไม่แช่แข็ง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน (65°ซ หรือ 85°ซ) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่อบที่ 85°ซ มีค่าความชื้นและน้ำอิสระต่ำกว่า 65°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าอุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่อค่าดังกล่าวอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลและการระเหยของน้ำ ส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายลดลง (Burandat and Senayai, 2016; Inta and Lertworasirikul, 2022) นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงยังเพิ่มแรงดันไอและความต่างศักย์น้ำ ระหว่างภายในและภายนอกผลิตภัณฑ์ ทำให้การแพร่ของน้ำเกิดขึ้นเร็วขึ้น (Fellows, 2009) จึงสามารถลดเวลาอบและลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ผิวผลิตภัณฑ์แข็งตัวเร็วส่งผลให้เนื้อสัมผัสหยาบกระด้าง และคืนรูปได้ไม่ดี ขณะที่การอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าสามารถรักษาโครงสร้างเดิมได้ดีกว่า ทำให้มีสมบัติการดูดน้ำกลับและเนื้อสัมผัสดีกว่า (Aravindakshan *et al*., 2021; Wang *et al*., 2023)

**Table 1** Moisture Content (MC) and water activity ($a_w$) of dried Kradang mushroom chili pastes

| Method | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| MC (%) | 1.68±0.58[a] | 1.73±0.44[a] | 1.52±0.70[b] | 1.54±0.69[b] |
| $a_w$ | 0.18±0.01[a] | 0.18±0.01[a] | 0.16±0.02[b] | 0.16±0.04[b] |

Values expressed as the mean±standard deviation.

The superscript letters [a] and [b] in the rows indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

**ค่าสีของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

จากการอบแห้งน้ำพริกเห็ดกระด้างพบว่าน้ำพริกจะมีสีในโทนเหลืองน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม มีลักษณะร่วนเป็นผงและแห้ง (Figure 1) โดยน้ำพริกที่อบที่อุณหภูมิ 85°ซ ทั้งสองสภาวะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าน้ำพริกที่อบที่อุณหภูมิ 65°ซ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสีใน Table 2 พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ มีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าและค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ ทั้งแบบแช่แข็งและไม่แช่แข็ง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งมีความร้อนเป็นปัจจัยที่เร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดทั้งสีสัน (น้ำตาลไหม้) กลิ่น รสชาติที่มีความแตกต่างออกไป การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าเป็นเวลานานจะส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Chu *et al*., 2023) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลงและมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น (Brütsch *et al*., 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bi *et al*. (2022) ที่อบแห้งของเกสรผึ้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่ามีค่าความสว่างลดลง เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่แช่แข็งและไม่แช่แข็งน้ำพริกก่อนการอบแห้ง พบว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง T65 และ FT65 มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง FT85 มีค่าความสว่างต่ำกว่า T85 ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างที่ผ่านการแช่แข็งก่อนการทำแห้งมีสีคล้ำขึ้นเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ระหว่างการทำแห้งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนอกจากความร้อน ได้แก่ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ค่ากรด-ด่าง กรดอะมิโน และเวลาในการแปรรูป เป็นต้น ซึ่งการแช่แข็งส่งผลต่อโครงสร้างของวัตถุดิบทำให้องค์ประกอบของสารภายในเซลล์เกิดการแตกตัว เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น เมื่อให้ความร้อนจึงส่งผลต่อการเกิดเมลลาร์ดเพิ่มขึ้น (Babiker and Eltoum, 2014)

**Table 2** Colour values of dried Kradang mushroom chili pastes

| Colour value | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| Lightness (L*) | 48.29±0.18[a] | 48.60±0.20[a] | 42.66±0.13[b] | 39.55±0.23[c] |
| Redness (a*) | 10.99±0.05[b] | 10.70±0.06[b] | 12.96±0.07[a] | 12.73±0.07[a] |
| Yellowness (b*) | 26.83±0.19[a] | 27.00±0.17[a] | 26.63±0.20[a] | 24.68±0.11[b] |

Values expressed as the mean± standard deviation.

The superscript letters [a, b] and [c] in the rows indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

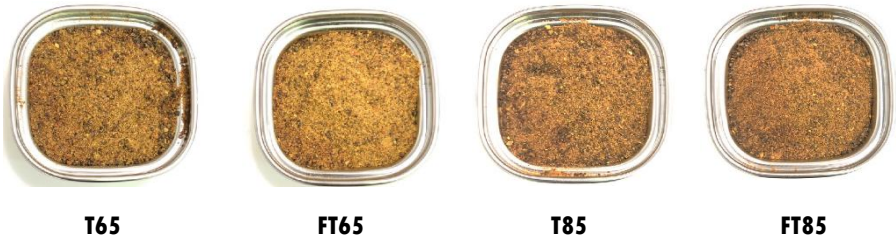



**Figure 1** Dried Kradang mushroom chili pastes prepared by different drying methods

ค่าสีของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งคืนรูปมีแนวโน้มที่เหมือนกับตัวอย่างน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยกว่า และค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ ทั้งที่แช่แข็งและไม่แช่แข็งก่อนกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน มีแนวโน้มค่าสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) แสดงให้เห็นว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง คืนรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ มีสีคล้ำกว่าน้ำพริกเห็ดที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ (Figure 2) การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำพริกเห็ดกระด้างอาจเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเมื่อได้รับความร้อน เพราะในเห็ดกระด้างนั้นมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลอื่น ๆ เช่น น้ำตาลแรมโนส อะราบิโนส และมอลโตส เป็นต้น (Sripanidkulchai *et al*., 2020) จึงทำให้สีน้ำพริกเข้มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Sornsanit *et al*. (2022) ที่พบว่าสีของผลิตภัณฑ์แหนมเห็ดนางฟ้าเมื่อได้รับความร้อนจากการอบทำให้ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า a* มีแนวโน้มสูงขึ้น และ Yoopaet (2022) พบว่าเห็ดฟางอบแห้งมีค่า L* และ b* ลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 60 และ 70°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**Table 3** Colour values of rehydrated dried Kradang mushroom chili pastes

| Colour value | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| Lightness (L*) | 27.76±1.75$^{a}$ | 27.48±0.34$^{a}$ | 17.90±0.11$^{b}$ | 17.48±0.13$^{b}$ |
| Redness (a*) | 11.74±0.05$^{b}$ | 11.91±0.09$^{b}$ | 13.41±0.09$^{a}$ | 13.48±0.07$^{a}$ |
| Yellowness (b*) | 24.35±0.13$^{a}$ | 24.17±0.19$^{a}$ | 20.43±0.20$^{b}$ | 20.18±0.20$^{b}$ |

Values expressed as the mean±standard deviation.

The superscript letters a and b in the rows indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

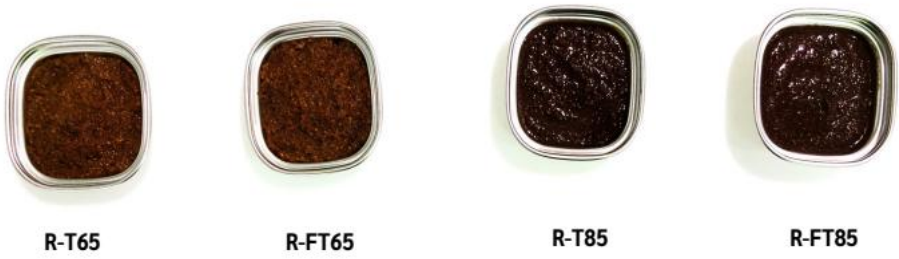



**Figure 2** Rehydration of dried Kradang mushroom chili pastes prepared by different drying methods T65, FT65, T85, and FT85 mixed with hot water at a 1:2 w/w ratio

**การดูดน้ำกลับของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

การศึกษาความสามารถในการดูดน้ำกลับของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่อุณหภูมิน้ำ 25 และ 50°ซ (Table 4) พบว่าทุกสูตร (T65, FT65, T85 และ FT85) มีแนวโน้มดูดน้ำกลับได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้น สูตรที่ผ่านการแช่แข็งที่ -18°ซ (FT65 และ FT85) มีค่าการดูดน้ำกลับสูงกว่าสูตรที่ไม่แช่แข็ง (T65 และ T85) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Uttarachon *et al*. (2012) ที่รายงานว่าอุณหภูมิน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการคืนรูป โดยอุณหภูมิที่สูงช่วยเร่งการคืนรูปได้เร็วและสมบูรณ์ขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์กลับคืนลักษณะคล้ายของสดได้เร็ว โครงสร้างภายในของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่ได้จากแต่ละกระบวนการอบแห้งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดน้ำกลับ สูตรที่ผ่านการแช่แข็งก่อนอบแห้งมีแนวโน้มรักษาความพรุนได้ดีกว่า ส่งผลให้มีโพรงและช่องว่างเอื้อต่อการแทรกซึมน้ำมากขึ้น (Voda *et al*., 2012; Aravindakshan *et al*., 2021) ขณะที่สูตรที่ไม่แช่แข็งมีแนวโน้มหดหรือยุบตัว ลดพื้นที่ผิวและความพรุน ทำให้อัตราการดูดซับน้ำต่ำกว่า (Krokida *et al*., 1998) กลไกหลักที่ทำให้อุณหภูมิน้ำส่งผลต่อการดูดซับน้ำ คือ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลน้ำสูงขึ้น ลดแรงตึงผิว และเพิ่มการแพร่ของน้ำเข้าสู่โครงสร้างพรุนของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (Maldonado *et al*., 2010)

**Table 4** Water rehydration of dried Kradang mushroom chili pastes at 25 and 50°C (g water/g sample)

| Temperature-Time | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| 25°C- 2 min$^{ns}$ | 3.81±0.07$^{d}$ | 3.90±0.05$^{b}$ | 3.89±0.09$^{c}$ | 3.85±0.06$^{b}$ |
| 25°C- 4 min$^{ns}$ | 3.92±0.11$^{cd}$ | 3.86±0.11$^{b}$ | 3.91±0.13$^{c}$ | 3.87±0.17$^{b}$ |
| 25°C- 8 min$^{ns}$ | 3.94±0.04$^{bcd}$ | 3.87±0.11$^{b}$ | 3.96±0.10$^{bc}$ | 3.91±0.12$^{b}$ |
| 50°C-2 min$^{ns}$ | 4.07±0.97$^{abc}$ | 4.11±0.09$^{ab}$ | 4.04±0.12$^{ab}$ | 4.10±0.06$^{ab}$ |
| 50°C-4 min$^{ns}$ | 4.14±0.11$^{ab}$ | 4.17±0.10$^{a}$ | 4.19±0.07$^{ab}$ | 4.15±0.04$^{ab}$ |
| 50°C-8 min$^{ns}$ | 4.24±0.05$^{a}$ | 4.29±0.07$^{a}$ | 4.25±0.03$^{a}$ | 4.29±0.05$^{a}$ |

Values expressed as the mean±standard deviation.

The superscript letters $^{ns}$ in the rows indicate a statistically not significant difference at the 95% confidence level ($p>0.05$).

The superscript letters $^{a–d}$ in the columns indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

**การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งคืนรูป**

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสดังแสดงใน Table 5 พบว่า สูตร T65, FT65 และ T85 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม เนื้อสัมผัส ความเผ็ด ความเค็ม รสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งมีค่าความชอบอยู่ในช่วง 6.5–7.0 คะแนน ด้านกลิ่นของน้ำพริกทุกสูตรมีค่าคะแนน 6.26–6.76 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดย T85 ได้คะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ T65 การอบแห้งที่ 85°ซ อาจลดปริมาณสารระเหยสำคัญ เช่น 1-octen-3-ol, benzaldehyde และ methional เนื่องจากความไวต่อความร้อนและการทำงานของ lipoxygenase กับ hydroperoxide lyase (Zawirska-Wojtasiak *et al*., 2009)

ขณะที่การแช่แข็งก่อนอบ (FT 65 และ FT 85) จำกัดการเคลื่อนที่ของเอนไซม์และรักษาโครงสร้างจึงช่วยคงสารระเหยไว้ดีกว่า (Tsai *et al*., 2019) ทำให้ได้กลิ่นเฉพาะของเห็ดกระด้างคงอยู่มากในสูตร FT 65 และ FT 85 ในด้านรสชาติ T65 ให้คะแนนด้านรสชาติสูงสุด (6.58) ขณะที่ FT85 ได้คะแนนต่ำสุด (4.74) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับกลไกระดับโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับการสลายของสารรสอูมามิ ได้แก่ กรดกลูตามิค และ 5’-นิวคลีโอไทด์ ซึ่งมีความไวต่อความร้อนและอาจถูกลดทอนด้วยกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการแช่แข็ง (Wang *et al*., 2022) ด้านความเค็มพบว่า T65 และ FT65 ได้ค่าคะแนนสูงสุด (6.36 และ 6.24 ตามลำดับ) ส่วน FT85 ได้ค่าคะแนนต่ำสุด (5.26) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) การลดลงของการรับรู้ความเค็มอาจเนื่องจากการแช่แข็งที่ส่งผลต่อการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของโซเดียมในเนื้อผง หรือปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเกลือกับองค์ประกอบอื่นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Fellows, 2009) อาจทำให้ความชอบด้านรสเค็มใน FT85 น้อยที่สุด สำหรับด้านสี FT85 ได้ค่าคะแนนความชอบด้านสีสูงสุด 7.04 (P≤0.05) แม้ค่าความสว่าง L* จากการวัดด้วยเครื่องมือจะลดลง ซึ่งแสดงถึงความเข้มของสีมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้สะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ทางสายตาและความรู้สึกต่อกลิ่นและรสชาติ โดยผู้บริโภคอาจตีความสีเข้มว่าเป็นสัญญาณของความเผ็ด ความจัดจ้าน หรือความเข้มข้น (Zellner and Durlach, 2003) แนวคิดนี้อธิบายผ่านทฤษฎีสอดประสานการรับรู้ (cross-modal correspondences) ในการจับคู่ระหว่างสีและรสในจิตใจผู้บริโภค (Spence, 2015)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งคืนรูป พบว่าแนวโน้มความชอบโดยรวมสูงสุดคือตัวอย่าง T65, FT65 และ T85 โดยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมในรูปแบบผลิตภัณฑ์เพื่อกลุ่มตลาดที่เน้นสุขภาพและความสะดวก เช่นรูปแบบผลิตภัณฑ์พร้อมชง (ready to mix) หรือพร้อมบริโภค (ready to eat) โดยอาจทำการควบคุมขนาดผงเพื่อให้คืนรูปได้รวดเร็วตลอดจนการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันความชื้นและออกซิเจน เช่น ถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์ร่วมกับสารดูดซับออกซิเจน จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์และคงคุณภาพไว้ในระยะยาว

**Table 5** Sensory evaluation of rehydrated dried Kradang mushroom chili pastes

| Attribute | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| Appearance | 6.00±1.46$^{b}$ | 6.32±1.45$^{b}$ | 6.84±1.40$^{a}$ | 6.22±1.63$^{b}$ |
| Colour | 6.14±1.44$^{b}$ | 6.18±1.53$^{b}$ | 6.30±1.19$^{b}$ | 7.04±1.70$^{a}$ |
| Odour | 6.66±1.74$^{ns}$ | 6.26±1.78$^{ns}$ | 6.76±1.19$^{ns}$ | 6.42±1.60$^{ns}$ |
| Taste | 6.58±1.54$^{a}$ | 6.32±1.56$^{a}$ | 6.00±1.65$^{a}$ | 4.74±1.99$^{b}$ |
| Salty | 6.36±1.30$^{a}$ | 6.24±1.46$^{a}$ | 5.98±1.30$^{a}$ | 5.26±1.87$^{b}$ |
| Spicy | 6.34±1.48$^{a}$ | 6.18±1.42$^{a}$ | 5.84±1.37$^{ab}$ | 5.50±1.71$^{b}$ |
| Texture | 6.22±1.80$^{a}$ | 6.14±1.60$^{a}$ | 6.26±1.48$^{a}$ | 5.62±1.61$^{b}$ |
| Overall | 6.94±1.45$^{a}$ | 6.60±1.50$^{a}$ | 6.58±1.56$^{a}$ | 5.72±1.71$^{b}$ |

Values expressed as the mean±standard deviation.

The superscript letters $^{ns}$ in the rows indicate a statistically not significant difference at the 95% confidence level ($p>0.05$).

The superscript letters $^{a}$ and $^{b}$ in the rows indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p\leq0.05$).

**องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) ของน้ำพริกจากเห็ดกระด้างอบแห้งสูตร T65 พบว่าในน้ำหนักแห้ง 100 กรัม มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตอยู่ที่ 6.25±0.07, 22.50±0.23, 1.66 ±0.11, 5.07±0.19, 10.61±0.24 และ 58.98±0.35 ตามลำดับ จากองค์ประกอบทางเคมีของสารอาหารที่ให้พลังงานโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้งได้ 24.00, 1.77 และ 62.91 ตามลำดับ และนำไปคิดพลังงานของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งโดยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ และไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี่ ดังนั้น น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง 100 กรัม มีพลังงาน 363.57 กิโลแคลอรี่ โดยเป็นพลังงานที่มาจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต 96.00, 15.93 และ 251.64 กิโลแคลอรี่ ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวมีความสอดคล้องในภาพรวมกับวัตถุดิบหลัก คือ เห็ดกระด้าง ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนและเยื่อใยธรรมชาติ เช่น ไคตินและเบต้า-กลูแคน รวมถึงกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด เช่น ไลซีนและลิวซีน แม้ว่ากรดอะมิโนจำเป็นของเห็ดจะมีอยู่น้อยกว่าเนื้อสัตว์ ในผลิตภัณฑ์นี้ได้มีการผสมเนื้อปลานิลจึงช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของโปรตีน และยังมีเครื่องเทศสมุนไพรที่เป็นคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบน้ำตาลธรรมชาติรวมกับสารพฤกษเคมี อาทิ อัลลิซิน และฟลาโวนอยด์ ที่แม้ไม่ให้พลังงานแต่มีบทบาทในการส่งเสริมฤทธิ์ทางสุขภาพ เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น และประโยชน์ที่ได้จากเห็ดกระด้างยังมีในรูปแบบของความสามารถในการดูดซึมของสารอาหารบางชนิดของเส้นใยในเห็ดที่ทนต่อเอนไซม์ย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารแต่สามารถส่งผลต่อความอิ่มและสุขภาพของระบบลำไส้ และลดการดูดซึมของไขมันบางประเภทในระยะยาว (Zhao *et al*., 2014) จากข้างต้นจะสะท้อนถึงการผสมผสานวัตถุดิบที่ให้คุณค่าอย่างสมดุลผ่านกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม โดยสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่เสริมด้วยคุณค่าของเห็ดพื้นบ้านในอาหารแปรรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**การทดสอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง**

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งแสดงดัง Table 6 น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง FT85 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ T85 ส่วน T65 และ FT65 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดใกล้เคียงกันและต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ มีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ เนื่องจากอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งให้สารประกอบฟีนอลหลุดออกมาจากโครงสร้างหรือพันธะภายในเซลล์พืช (Kim *et al*., 2013) และสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนไปทำลายผนังเซลล์ของพืช (Lou *et al*., 2014) เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกของน้ำพริกเห็ดกระด้างที่แช่แข็งและไม่แช่แข็งก่อนการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าน้ำพริกเห็ดกระด้างที่แช่แข็งก่อนการอบแห้งมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าน้ำพริกที่ไม่แช่แข็งก่อนการอบแห้ง ซึ่งการแช่แข็งอาจมีผลต่อการคงอยู่ของสารฟีนอลิก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vashisth *et al*. (2011) พบว่าการทำแห้งกากมัสคาเดนด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จะมีความคงอยู่ของฟีนอลิกมากกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศและการอบแห้งแบบลมร้อน และการแช่เยือกแข็งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของเห็ด ทำให้เอื้อต่อการสกัดสารฟีนอลิกออกมาได้ดี น้ำพริกเห็ดกระด้างที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธี FT85 จึงมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด

**Table 6** Total phenolic content and antioxidant activity of dried Kradang mushroom chili pastes

| Method | Sample | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T65 | FT65 | T85 | FT85 |
| Total phenolic content (mg GAE/g sample) | $3.35 \pm 0.07^{c}$ | $3.42 \pm 0.08^{c}$ | $4.50 \pm 0.05^{b}$ | $5.16 \pm 0.07^{a}$ |
| DPPH scarvenging (mg GAE/g sample) | $0.27 \pm 0.01^{c}$ | $0.29 \pm 0.00^{c}$ | $0.83 \pm 0.01^{b}$ | $0.87 \pm 0.02^{a}$ |
| ABTS scarvenging (mg GAE/g sample) | $0.85 \pm 0.01^{c}$ | $0.89 \pm 0.01^{c}$ | $1.70 \pm 0.01^{b}$ | $1.75 \pm 0.04^{a}$ |

Values expressed as the mean±standard deviation.

The superscript letters $^{a, b}$ and $^{c}$ in the rows indicate a statistically significant difference at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งมีแนวโน้มในการต้านอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ และ $ABTS^{\bullet+}$ ไปในแนวทางเดียวกัน โดย TF85 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งสองสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ T85 ส่วน T65 และ TF65 สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าและมีค่าใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกในน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งอาจเป็นสารสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ Silva *et al*. (2024) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเห็ดแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธี DPPH ซึ่งเป็นการยืนยันบทบาทสำคัญของสารประกอบฟีนอลิกในการกำจัดอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ ในตัวอย่างเห็ด ส่วนการทดสอบด้วยวิธี ABTS ให้ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ที่สูงในเห็ดบางชนิด เป็นไปได้ว่าอาจมีสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่กลุ่มฟีนอลิกที่มีส่วนสำคัญในการช่วยเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ การที่น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีความสามารถในต้านอนุมูลอิสระสูงนั้นอาจเนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น อุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยทำให้โปรตีนแตกตัวเป็น

กรดอะมิโน และภายใต้สภาวะกรดร่วมกับความร้อนสูง เป็นสภาวะการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ซึ่งช่วยให้สารประกอบฟีนอลยึดเหนี่ยวสลายตัวออกมาจากโมเลกุลของสารอื่นที่ยึดเกาะอยู่ และความร้อนในขั้นตอนนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งจะมีสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่เป็นกลุ่มฟีนอลิกหลายชนิดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Hofmann *et al*., 1999)

นอกจากนี้ระหว่างการอบแห้งด้วยความร้อนส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์สารสีน้ำตาล คือ สารเมลานอยดิน ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Vashisth *et al*. 2011) มีรายงานว่าสารเมลานอยดินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้แตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิสูงจะส่งเสริมสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ดีขึ้น (Vega-Gálvez *et al*., 2009) สอดคล้องกับรายงานของ Madrau *et al*. (2009) ที่ใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งแอพริคอทด้วยลมร้อนจะเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแอพริคอทอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ควรทำการศึกษาความคงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการอบแห้งต่อคุณลักษณะของน้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้ง พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลน้อยกว่าการอบที่ 85°ซ ขณะที่ความสามารถในการดูดน้ำกลับ (water rehydration) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้น้ำที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 50°ซ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำกลับได้ดีกว่าน้ำที่ 25°ซ ผลิตภัณฑ์น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น 6.25% โปรตีน 22.50% ไขมัน 1.66% เยื่อใย 5.07% เถ้า 10.61% และคาร์โบไฮเดรต 46.09% ให้พลังงานรวม 308.58 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม โดยพลังงานมาจากโปรตีน 96.00 กิโลแคลอรี ไขมัน 15.93 กิโลแคลอรี และคาร์โบไฮเดรต 196.65 กิโลแคลอรี ในด้านการยอมรับของผู้บริโภค น้ำพริกเห็ดกระด้างอบแห้งที่อุณหภูมิ 85°ซ โดยไม่ผ่านการแช่แข็งก่อนการอบ (T85) ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่อบที่ 65°ซ และมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการอบด้วยวิธี T65 สภาวะการอบแห้งที่ 85°ซ โดยไม่แช่แข็งจึงถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำพริกเห็ดกระด้างแบบแห้ง ทั้งในด้านคุณภาพทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกสมุนไพรจากเห็ดกระด้างต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองบริหารการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 17th ed. Virginia Arlington: The Association of Official Analytical Chemists, Inc. 771 p.

Aravindakshan, S., T.H.A. Nguyen, C. Kyomugasho, C. Buvé, K. Dewettinck, A. Van Loey and M.E. Hendrickx. 2021. The impact of drying and rehydration on the structural properties and quality attributes of pre-cooked dried beans. **Foods** 10(7): 1665.

Arya, M., P. Kumari, G. Kumar, A.S. Chauhan and P. Giridhar. 2024. Insights into the chili phytochemicals, bioactive components, and antioxidant activity of instant premixes (green and red chilies) and their reconstitution products. **Food Production, Processing and Nutrition** 6: 672.

Babiker, E.E. and Y.A.I. Eltoum. 2014. Effect of edible surface coatings followed by dehydration on some quality attributes and antioxidants content of raw and blanched tomato slices. **Food Science and Biotechnology** 23(1): 231–238.

Bi, Y.X., S. Zielinska, J.B. Ni, X.X. Li, X.F. Xue, W.L. Tian, W.J. Peng and X.M. Fang. 2022. Effects of hot-air drying temperature on drying characteristics and color deterioration of rape bee pollen. **Food Chemistry:X** 16: 100464.

Brütsch, L., S. Rugiero, S.S. Serrano, C. Stadeli, E.J. Windhab and P. Fischer. 2018. Targeted inhibition of enzymatic browning in wheat pastry dough. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 66(46): 12353–12360.

Burandat, P. and Y. Senayai. 2016. **Drying of Thai Noodles Sauce**. 32 p. *In* Research Report. Mahasarakham: Rajabhat Mahasarakham University. [in Thai]

Chairote, E.O.N. and S. Intachum. 2016. Volatile aroma compounds of green chili pepper treated with different heat-drying processes. **International Journal of Applied Chemistry** 12(2): 129–138.

Chaisrisa, J. and A. Charoenchaichai. 2019. Development and consumer acceptance of ready-to-eat dried mackerel chili paste: optimization of drying temperature and time. **Journal of Technical Education Development** 30(107): 124. [in Thai]

Chu, Q., L. Li, X. Duan, M. Zhao, Z. Wang, Z. Wang and G. Ren. 2023. Effect mechanism of different drying methods on the quality and browning for daylily. **LWT.** 182: 114862.

Fellows, P. 2009. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 3rd ed. Oxford: Woodhead Publishing. 608 p.

Hofmann, T., W. Bors and K. Stettmaier. 1999. Studies on radical intermediates in the early stage of the nonenzymatic browning reaction of carbohydrates and amino acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 47(2): 379–390.

Inta, P. and S. Lertworasirikul. 2022. Effect of Drying Temperature on Physical and Chemical Properties of Duckweed (*Wolffia globosa*). pp. 499–505. *In* **Proceedings of 60th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Jantra, S., T. Fangkrathok and B. Sripanidkulchai. 2025. *Lentinus polychrous* polysaccharide induces apoptosis in human breast cancer cell lines. **Journal of Applied Pharmaceutical Science** 15(1): 57–65.

Kim, J.S., O.J. Kang and O.C. Gwean. 2013. Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing steps. **Journal of Functional Foods** 5: 80–86.

Krokida, M.K., V.T. Karathanos and Z.B. Maroulis. 1998. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. **Journal of Food Engineering** 35(4): 369–380.

Lou, S.N., Y.S. Lin, Y.S. Hsu, E.M. Chiu and C.T. Ho. 2014. Soluble and insoluble phenolic compounds and antioxidant activity of immature calamondin affected by solvents and heat treatment. **Food Chemistry** 161: 246–253.

Maldonado, S., E. Arnau and M.A. Bertuzzi. 2010. Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. **Journal of Food Engineering** 96(3): 333–341.

Madrau, M.A., A. Piscopo, A.M. Sanguinetti, A. Del Caro, M. Poiana, F.V. Romeo and A. Piga. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. **European Food Research and Technology** 228(3): 441–448.

Pollachat, A., N. Wongsinchuan and S. Suanphairoch. 2015. Total Phenolic Contents and Antioxidant Activity in Palmyra Palm (*Borassus flabellifer* L.) Haustorium at the Different Incubation Period. pp. 622–628. *In* **Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Roncero-Ramos, I., M. Mendiola-Lanao, M. Pérez-Clavijo and C. Delgado-Andrade. 2017. Effect of different cooking methods on nutritional value and antioxidant activity of cultivated mushrooms. **International Journal of Food Sciences and Nutrition** 68(3): 287–297.

Silva, M., M. Lageiro, A.C. Ramos, F.H. Reboredo and E.M. Gonçalves. 2024. Cultivated mushrooms: a comparative study of antioxidant activity and phenolic content. **Biology and Life Sciences Forum** 40: 13.

Sornsanit, K., A. Arlai and A. Riangmoo. 2022. Development of Crispy Fermented Oyster-Mushroom. pp. 195–202. *In* **Proceeding of the 14th NPRU National Academic Conference.** Nakhon Pathom: Nakhon Pathom Rahabhat University. [in Thai]

Spence, C. 2015. Crossmodal correspondences: a tutorial review. **Attention, Perception, & Psychophysics** 77(6): 1461–1487.

Sripanidkulchai, B., N. Fangkrathok and J. Junlatat. 2020. Fruiting bodies and mycelia values of Hed Kradang (*Lentinus polychrous* Lev.). **Center for Continuing Pharmacy Education Pharmacy Council**. Retrieved from https://www.ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=808 [in Thai]

Therdthai, N. and S. Krajangmathekul. 2011. Effect of Microwave Assisted Hot Air Drying on Quality of Dried Pumpkin. pp. 133–140. *In* **Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Tsai, S.Y., T.C. Wu and S.J. Huang. 2019. Effects of different drying methods on the flavor profile of *Ganoderma lucidum*. **Journal of Food Processing and Preservation** 43(11): e14215.

Uttarachon, K., K. Suemu, B. Manosan, S. Sriyam and J. Kantakhoo. 2012. Study of dried Ma-kok (*Spondias pinnata* (L.f.) Kurz.) chili paste production. **KMUTT Research and Development Journal** 35(1): 65–73. [in Thai]

Vashisth, T., R.K. Singh and R.B. Pegg. 2011. Effects of drying on the phenolic content and antioxidant activity of muscadine pomace. **LWT- Food Science Technology** 44(7): 1649–1657.

Vega-Gálvez, A., K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López and M. Perez-Won. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). **Food Chemistry** 117(4): 647–653.

Voda, A., N. Homan, M. Witek, A. Duijster, G. van Dalen, R. Van der Sman, J. Nijsse, L. van Vliet, H. Van As and J. van Duynhoven. 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. **Food Research International** 49(2): 687–693.

Wang, B., Y. Jia., Y. Li, Z. Wang, L. Wen, Y. He and X. Xu. 2023. Dehydration-rehydration vegetables: evaluation and future challenges. **Food Chemistry** 20: 100935.

Wang, J., L. Zhang and S. Zhao. 2022. Effects of drying methods on umami substances in *Lentinus edodes*. **Journal of Food Measurement and Characterization** 16(2): 845–852.

Wongthai, S. 2017. Study of chilli paste names in four regions: a reflection of Thai lifestyles and culture. **Srinakharinwirot Research and Development Journal of Humanities and Social Sciences** 8(16): 88–100.

Yoopaet, P. 2022. **Product Development of Straw Mushrooms as Commercial**. 75 p. *In* Research Report. Bangkok: Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]

Zawirska-Wojtasiak, R., M. Wiewióra and S. Mildner-Szkudlarz. 2009. Volatile compounds in edible mushrooms from Poland. **Food Chemistry** 113(1): 186–193.

Zellner, D.A. and P. Durlach. 2003. What is refreshing? behavioral and sensory correlates of perceived refreshment. **Appetite** 41(1): 1–6.

Zhao, H., Q. Sun and M. Zhao. 2014. Chitin and chitosan from mushroom: isolation, structure, and bioactivities. **Food Hydrocolloids** 38: 248–252.