

ผลของการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณแอนโทไซยานินและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดตับเต่า

Influence of Spray-Drying and Freeze-Drying on Anthocyanins and Antioxidant Activities of *Phlebopus colossus* (R. Heim) Singer Powder

วิจิตรา เหลียวตระกุล^{1*} และวชิรญา เหลียวตระกุล¹
Wijitra Liaotrakoon^{1*} and Vachiraya Liaotrakoon¹

Received: May 22, 2021

Revised: July 11, 2021

Accepted: July 13, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่า ศึกษาวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่มีต่อปริมาณแอนโทไซยานินและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดตับเต่า และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา จากสภาวะการเตรียมตัวอย่าง 4 สภาวะคือ (1) ไม่ต้มและปั่นผสมกับน้ำอุณหภูมิห้องนาน 5 นาที (2) ไม่ต้มและปั่นผสมกับน้ำเดือดนาน 5 นาที (3) ต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาทีและปั่นผสมกับน้ำอุณหภูมิห้องนาน 5 นาที และ (4) ต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาทีและปั่นผสมกับน้ำเดือดนาน 5 นาที พบว่า วิธีที่ 1 ทำให้น้ำสกัดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อนำมาทำผงแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้า 165 และ 200 องศาเซลเซียส และวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่า ผงเห็ดตับเต่าที่ผสมมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 5 มีปริมาณแอนโทไซยานิน สารฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือ มอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิเข้าไม่มีผลต่อสมบัติของผงเห็ดตับเต่า ($p > 0.05$) ผงเห็ดตับเต่าที่ทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาด้วยถุงอลูมิเนียมฟอยด์และถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 7 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน พบว่า การเก็บรักษาผงเห็ดตับเต่าในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ทำให้คงคุณภาพด้านการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด

คำสำคัญ: เห็ดตับเต่า, การต้านอนุมูลอิสระ, การทำแห้งแบบพ่นฝอย, การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ABSTRACT

This research aims to study the preparation conditions of bolete mushroom (*Phlebopus colossus* (R. Heim) Singer) extract, to examine the spray-drying and freeze-drying affect the anthocyanin and antioxidant activity of the bolete powder, and to monitor the quality changes during storage. Four preparation conditions, i.e., (1) blending with water at room temperature for 5 min, (2) blending with hot water for 5 min, (3) boiling for 15 min then blending with water at room temperature for 5 min, and (4) boiling for 15 min then blending with hot water for 5 min were performed. It was found that the extraction by method 1 provided the highest total soluble solids, anthocyanin, and antioxidant activity than the others ($p \leq 0.05$). After that, the extracts were dried with spray dryer at inlet temperatures of 165 and 200°C, and freeze drier using 5, 10 and 15% of maltodextrin. The powder with 5% maltodextrin showed the highest anthocyanin, phenolic, and antioxidant activity followed by 10 and 15%, respectively ($p \leq 0.05$). On the other hand, the inlet temperatures had no significant effect on the properties of the bolete mushroom powders ($p > 0.05$). The anthocyanin and antioxidant activity of freeze-dried bolete mushroom powder were higher than spray-dried powder ($p \leq 0.05$). Regarding to the quality changes during storage with aluminum foil and plastic bags at 7 and 25°C for 60 days, the powder storage in an aluminum foil bags at 7°C ensured the highest antioxidant quality.

Keywords: Bolete mushrooms, Antioxidant activity, Spray drying, Freeze drying

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

เปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงเห็ดตับเต่าระหว่างการเก็บรักษา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่า

เห็ดตับเต่าที่มีอายุการเจริญเติบโต 2-3 วันจากพื้นที่ตำบลสามเรือน อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นำโคนและหมวกเห็ดมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ลูกเต๋าขนาด 1x1 ตารางเซนติเมตร และ

นำมาเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 4 วิธี ดังนี้ วิธีที่ 1 ปั่นละเอียดกับน้ำอุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที วิธีที่ 2 ปั่นละเอียดกับน้ำเดือด นาน 5 นาที วิธีที่ 3 ต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที ปั่นละเอียดกับน้ำอุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที และวิธีที่ 4 ต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที ปั่นละเอียดกับน้ำเดือดนาน 5 นาที โดยมีอัตราส่วนของเห็ดตับเต่าและน้ำเป็น 1:2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมากรองเพื่อให้ได้น้ำสกัดเห็ดตับเต่า ดังแสดงใน Figure 1

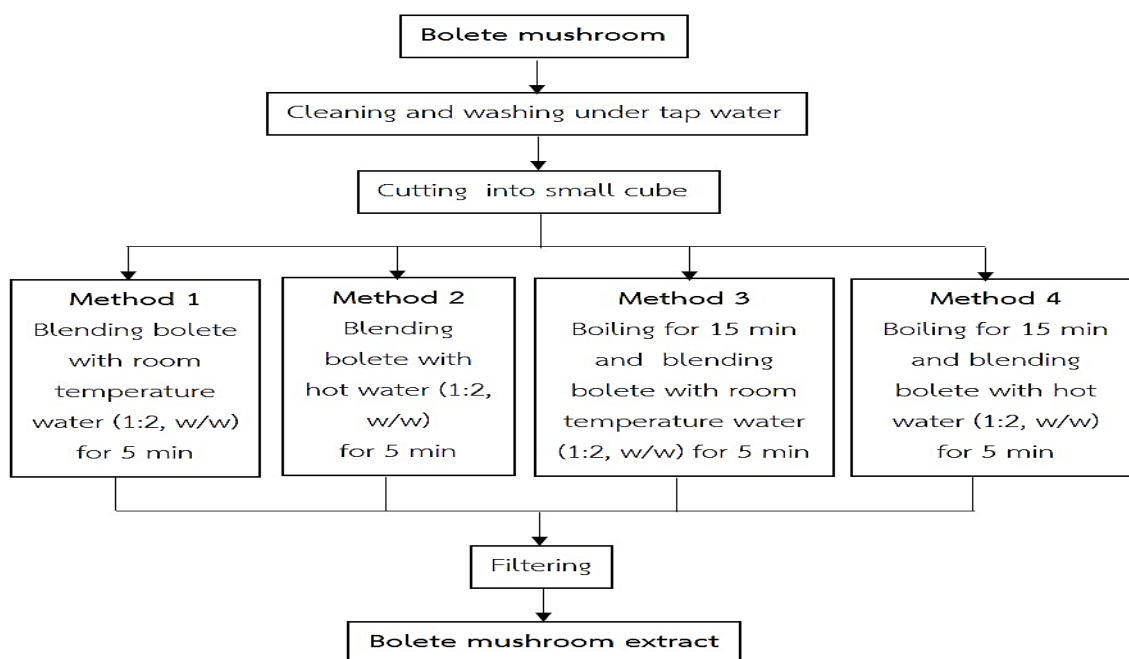


Figure 1 Preparation method of bolete mushroom extract prior to spray-drying and freeze-drying.

2. การทำแห้งผงเห็ดตับเต่า

การทำแห้งผงเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ น้ำสกัดเห็ดตับเต่ามาผสมกับสารเสริม คือ มอลโทเดกซ์ทรีน (Dextrose Equivalent 10) ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (IKA 3720001 T18 Digital Ultra-Turrax Disperser) แล้วนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Buchi model B-290, Switzerland) ด้วยหัวพ่นฝอยแบบนอซเซิล (nozzle) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดเป็น 0.7 มิลลิเมตร แบบไหลทางเดียวกัน (co-current flow) โดยใช้อุณหภูมิขาเข้า (inlet temperature) เป็น 165 และ 200 องศา

เซลเซียส และนำมาร้อนผ่านตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 250 ไมครอน

การทำแห้งผงเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้ น้ำสกัดเห็ดตับเต่ามาผสมกับสารเสริมคือ มอลโทเดกซ์ทรีน (Dextrose equivalent 10) ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (IKA 3720001 T18 Digital Ultra-Turrax Disperser) ใส่ในพลาสติกกันกลม แล้วนำมาแช่แข็งเป็นฟิล์มบางๆ ด้วยกลีเซอรอล จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Christ, Gamma 2-16LSC) ภายใต้สภาวะสูญญากาศที่ 0.01 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิ -50 องศา

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

เซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 250 ไมครอน

3. สภาพการเก็บรักษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงเห็ดตับเต่าจากวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยบรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยล์ และถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ขนาดบรรจุ 20 กรัมต่อถุง ปิดผนึกและเก็บที่อุณหภูมิ 7 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทุกๆ 15 วัน เก็บตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นในตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC โดยการอบแห้ง [20] ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (AQUA LAB, USA) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid) เครื่อง Refractometer (PAL-1 Atago, Japan) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential method ดัดแปลงตามวิธีของ Giusti and Wrolstad [21] โดยเตรียมสารสกัด ดังนี้ นำตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับเมทานอล 3 มิลลิลิตร ให้เข้ากันและนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที จากนั้นนำเฉพาะส่วนใสมาใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอล 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารสกัดสำหรับนำมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินต่อไป จากนั้นนำสารสกัดมาวิเคราะห์ ดังนี้ ปิเปตสารสกัด 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร 2 ขวด ขวดที่ 1 เติมนสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่

มีค่า pH 1.0 และขวดที่ 2 เติมนสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตทที่มีค่า pH 4.5 เพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Libra S11 Biochrom, USA) การวิเคราะห์ตัวอย่างทำภายใน 1 ชั่วโมง และคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน รายงานเทียบกับไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

6. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

6.1 การสกัดสาร

สกัดสารจากตัวอย่างโดยดัดแปลงจาก Wu et al. [22] โดยนำตัวอย่าง 20 กรัม เติมนสารละลายอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร และปั่นผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จะได้สารสกัดสำหรับนำไปวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

6.2 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu's [23] ปิเปตสารสกัด 0.3 มิลลิลิตร ผสมกับ Folin-Ciocalteu's Phenol Reagent ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เติมนสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Libra S11 Biochrom, USA) เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก และรายงานเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่าง (mg GA/100 g)

6.3 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

6.3.1 ความสามารถในการจับสารอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ดัดแปลงวิธีจาก Wu et al. [22] โดย ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมนสารละลาย

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.6 มิลลิโมลาร์ 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Libra S11 Biochrom, USA) เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและรายงานเป็น mg GA/100 g

6.3.2 ความสามารถในการรีดิวซ์สารอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์สารอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) [23] โดยผสมสารสกัด 1 มิลลิลิตร กับฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.2 โมลาร์ ที่ pH 6.6 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมเพอร์ริคไซยาไนด์ ($K_3(Fe(CN)_6)$) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและปิเปตส่วนผสมมา 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และเพอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Libra S11 Biochrom, USA) เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและรายงานเป็น mg GA/100 g

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple-range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. ผลการเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่า

ผลจากการเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่า ด้วยวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันทั้ง 4 วิธี ได้ผลแสดงดัง Table 1 พบว่า การเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่าทั้ง 4 วิธีให้ปริมาณผลผลิตหรือ Yield อยู่ในช่วงร้อยละ 50.84-61.47 โดย

น้ำหนักของสารสกัดที่ได้ (ของเหลว) ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้นทั้งหมด โดยวิธีที่ 3 มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการต้มเห็ดในน้ำเดือดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และปริมาณสารระเหย หลังจากให้ความร้อนเส้นใยในเห็ดจะหดตัวและจัดเรียงแตกต่างจากเห็ดสด [24] การให้ความร้อนยังทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ คีโตนและอัลดีไฮด์ลดลง ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecular compounds) เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และไขมันที่ประกอบด้วยสารประกอบที่ให้กลิ่นและรสชาติ [25, 26] และการเตรียมสารสกัดจากเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติของน้ำสกัดเห็ดตับเต่า โดยน้ำสกัดเห็ดตับเต่าวิธีที่ 1 มีความเข้มข้นหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด (2.30 องศาบริกซ์) เทียบกับวิธีอื่น (1.27-1.97 องศาบริกซ์) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีปริมาณแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด รวมทั้งฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) สูงกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ความร้อนในการสกัด สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kumla et al. [27] ซึ่งการใช้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดหรือลวก ทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดหำ (*P. portentosus*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และรายงานผลวิจัยในเห็ดพอร์ซินี (*Boletus edulis*) [28] รวมทั้งการทำแห้งเห็ดตับเต่า (*P. colossus* (R. Heim) Singer) [29] เนื่องจากความร้อนทำให้สารประกอบฟีนอลและสารฟลาโวนอยด์เสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขึ้นอยู่กับความไวต่อสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง เป็นต้น และการละลายได้ของสารในตัวทำละลายขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้ว (polarity) ของตัวทำละลายและสารที่จะเป็นตัวถูกละลาย [30, 31] และจากรายงานพบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินคงตัวในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานในการสกัด จะทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวได้ [16]

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Table 1 The properties of the extract bolete mushroom by various preparation methods

Property	Preparation method			
	1	2	3	4
Yield (%)	55.84±0.15 ^c	56.92±0.20 ^b	61.47±0.28 ^a	50.84±0.19 ^d
Total soluble solids (°Brix)	2.30±0.00 ^a	1.90±0.00 ^c	1.27±0.01 ^d	1.97±0.01 ^b
pH	5.60±0.01 ^a	5.57±0.01 ^b	5.46±0.01 ^c	5.30±0.02 ^d
Anthocyanin (mg/100 g)	32.69±0.10 ^a	24.74±0.47 ^b	18.84±0.70 ^c	15.34±0.39 ^d
Total phenolic (mg GA/100 g)	27.27±2.32 ^a	16.19±0.37 ^b	9.29±0.26 ^c	15.70±0.40 ^b
DPPH (mg GA/100 g)	2.61±0.03 ^a	2.67±0.05 ^a	1.34±0.06 ^c	2.48±0.03 ^b
FRAP (mg GA/100 g)	18.15±0.09 ^a	16.40±0.26 ^b	7.54±0.27 ^d	10.56±0.10 ^c

Data within row followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

เมื่อนำน้ำสกัดเห็ดตับเต่ามาผสมกับสารเสริม คือ มอลโตเดกซ์ทริน ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 แสดงสมบัติดัง Table 2 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 15 ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำสกัดเห็ดตับเต่าก่อนการทำแห้ง เพิ่มขึ้นจาก 5.73 เป็น 13.93 องศาบริกซ์ ($p \leq 0.05$) แต่ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน สารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำสกัดเห็ดตับเต่าผสมมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 5 มีปริมาณแอนโทไซยานิน สารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

(FRAP) สูงที่สุด คือ 29.03 mg GA/100 g, 24.21 mg GA/100 g และ 13.93 mg GA/100 g รองลงมา คือ น้ำสกัดเห็ดตับเต่าผสมมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับผลของวิจัยของ Chuaychan and Benjakul [32] เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเพิ่มเนื้อ (bulking agent) ช่วยทำให้มีปริมาณผลผลิตและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำสกัดและผลิตภัณฑ์ผงแห้งเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้สารสำคัญในตัวอย่างลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่าง 100 กรัม

Table 2 Properties of bolete mushroom extract adding various contents of maltodextrin.

Property	Maltodextrin (%)		
	5	10	15
Total soluble solids (°Brix)	5.73±0.06 ^c	9.77±0.07 ^b	13.93±0.06 ^a
pH ^{ns}	5.67±0.02	5.66±0.01	5.65±0.01
Anthocyanin (mg/100 g)	29.03±0.39 ^a	19.96±0.08 ^b	17.65±0.05 ^c
Total phenolic (mg GA/100 g)	24.21±0.62 ^a	21.67±0.60 ^b	19.98±0.55 ^c
DPPH (mg GA/100 g) ^{ns}	2.47±0.03	2.41±0.05	2.45±0.06
FRAP (mg GA/100 g)	13.93±0.26 ^a	13.20±0.52 ^a	11.01±0.18 ^b

Data within row followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$), and ^{ns} means are not significantly different ($p > 0.05$).

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

2. ผลการทำแห้งผงเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำน้ำสกัดเห็ดตับเต่าที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 5 มาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิเข้าเป็น 165 และ 200 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ผลปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นดัง Figure 2 (a-b) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเข้าสูงขึ้นจาก 165 เป็น 200 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 15 ทำให้ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นลดลงจาก 0.452 และร้อยละ 5.48-5.46 เป็น 0.399-0.448 และร้อยละ 1.66-2.57 ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิเข้าที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการระเหยน้ำในห้องทำแห้งภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนและละอองน้ำที่พ่น

ฝอย [33] เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของผงเห็ดตับเต่าที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ผงที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้น (0.136-0.057 และร้อยละ 1.42-3.76 ตามลำดับ) น้อยกว่าผงเห็ดตับเต่าที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Figure 2) ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Papoutsis et al. [34] ในการทำแห้งสารสกัดจากซิตรัส (citrus) ด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นน้อยกว่าที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ Ramírez et al. [35] ในการทำแห้งน้ำผลไม้ ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นของผงขึ้นอยู่กับสถานะในการทำแห้ง เช่น อุณหภูมิเข้าในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และสถานะสุญญากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

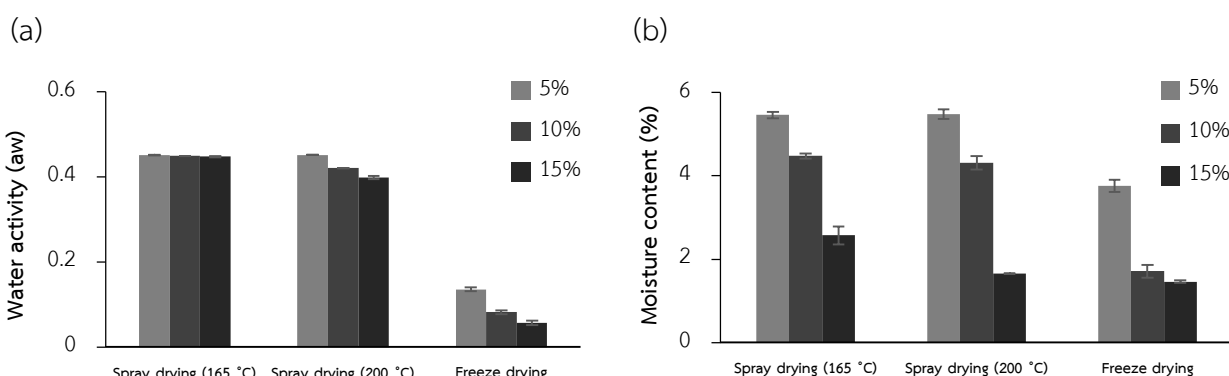


Figure 2 (a) Water activity and (b) moisture content of the bolete spray-dried powder at inlet temperature of 165 and 200 °C and freeze-dried with 5, 10 and 15% maltodextrin.

จาก Table 3 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเข้าต่างกัน มีผลทำให้สมบัติด้านกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินมีผลต่อสมบัติด้านกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดตับเต่า ($p\leq 0.05$) โดยน้ำสกัดเห็ดตับเต่าผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 5 มีปริมาณแอนโทไซยานิน สาร

ฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) สูงที่สุด คือ 17.81-18.93 mg/100 g, 110.66-111.23 mg GA/100 g, 23.42-24.22 mg GA/100 g และ 185.83-190.12 mg GA/100 g รองลงมาคือ ผงเห็ดตับเต่าผสมมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ตามลำดับ ($p\leq 0.05$) สอดคล้องกับ Table 2

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Table 3 Anthocyanin and antioxidative properties of bolete spray- and freeze-dried powders.

Drying	Anthocyanin (mg/100 g)	Total phenolic (mg GA/100 g)	DPPH (mg GA/100 g)	FRAP (mg GA/100 g)
<i>Spray drying at inlet temperature 165 °C</i>				
Maltodextrin 5%	17.81±0.96 ^b	111.23±0.05 ^b	24.22±0.25 ^{ab}	185.83±2.08 ^c
Maltodextrin 10%	13.92±0.96 ^c	84.55±0.85 ^d	21.77±0.06 ^b	108.98±1.86 ^d
Maltodextrin 15%	6.12±0.96 ^d	45.18±0.48 ^s	13.31±0.04 ^c	84.31±0.73 ^f
<i>Spray drying at inlet temperature 200 °C</i>				
Maltodextrin 5%	18.93±0.96 ^b	110.66±0.25 ^b	23.42±0.15 ^{ab}	190.12±1.95 ^b
Maltodextrin 10%	14.47±1.93 ^b	84.43±0.49 ^d	23.05±0.02 ^{ab}	109.69±1.86 ^d
Maltodextrin 15%	6.12±0.96 ^d	49.41±0.43 ^f	13.18±0.09 ^c	85.79±0.29 ^f
<i>Freeze drying</i>				
Maltodextrin 5%	28.39±1.67 ^a	127.36±0.38 ^a	29.69±0.10 ^a	195.74±1.04 ^a
Maltodextrin 10%	16.14±0.96 ^{bc}	96.50±1.64 ^c	24.94±0.12 ^{ab}	119.54±0.78 ^d
Maltodextrin 15%	7.79±0.96 ^d	52.41±0.63 ^e	12.50±0.10 ^c	89.44±0.67 ^e

Data within column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

เมื่อนำมาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ผลการทดลองดังแสดงใน Table 3 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 15 มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบเห็นได้ชัดด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 5 จะมีปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือ พบเห็นได้ชัดด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของผงเห็ดตับเต่าที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Table 3) เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย สารสำคัญในตัวอย่างอาจมีการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น เป็นการกำจัดน้ำด้วยการระเหยในสภาวะสุญญากาศ จึงเป็นการรักษาสารสำคัญในตัวอย่าง

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น อาจทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารสำคัญได้ในระหว่างการบดผงได้ เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสกับออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระ [34, 36, 37] และ Ballesteros et al. [38] พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นตัวพาสำหรับห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลถือเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงเห็ดตับเต่าที่ทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่ผสมมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ซีลปิดสนิท และถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนซีลปิดสนิท ที่อุณหภูมิ 7 และ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ผลทุกๆ 15 วัน เป็นเวลา 60 วัน พบว่า ผงเห็ดตับเต่ามีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผงเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณน้ำอิสระจาก 0.452 เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเป็น 0.479 สำหรับบรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิ 7 องศา

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

เซลเซียส และเพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 0.608 สำหรับบรรจุถุงพลาสติกเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณน้ำอิสระจาก 0.136 เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเป็น 0.175 สำหรับบรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 0.508 สำหรับบรรจุถุงพลาสติกเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษานาน 60 วัน

ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ความสามารถในการจับสารอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์สารอนุมูลอิสระ โดยวิธี FRAP ของผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะต่างกัน ในระหว่าง 60 วัน แสดงดัง Figure 3-5 พบว่า สมบัติกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะต่างๆ ลดลงในช่วงการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ซีลปิดสนิท ผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าบรรจุในถุงพลาสติกซีลปิดสนิท และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ทำให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงอยู่มากกว่าเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้น การเก็บรักษาผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ฝอยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ซีลปิดสนิทที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสจึงยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP ได้มากที่สุด โดยคงเหลือในปริมาณร้อยละ 97.61 (Figure 3), 84.01 (Figure 4) และ 92.61 (Figure 5) เทียบกับผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ร้อยละ 87.24, 75.61 และ 90.04) ตามลำดับ ส่วนการเก็บรักษาผงเห็ดดับเต๋าด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในถุงพลาสติกที่ 25 องศาเซลเซียส ทำให้มีร้อยละการคงเหลือเพียง 83.25-84.94, 44.76-56.85 และ 63.84-71.32 ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lichanporn and Akkarakultron [39] ซึ่งชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการซึมผ่านของอากาศและความชื้น มีผลต่ออัตราการแพร่ของไอน้ำ โดยถุงอลูมิเนียมฟอยด์สามารถป้องกันก๊าซออกซิเจน ของเหลว ความชื้น รวมทั้งป้องกันกลิ่นผ่านเข้าออก [40] และยังช่วยชะลอการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระได้เนื่องจากสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลต่อการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระได้ [41] ในขณะที่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนมีคุณสมบัติที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้ [40]

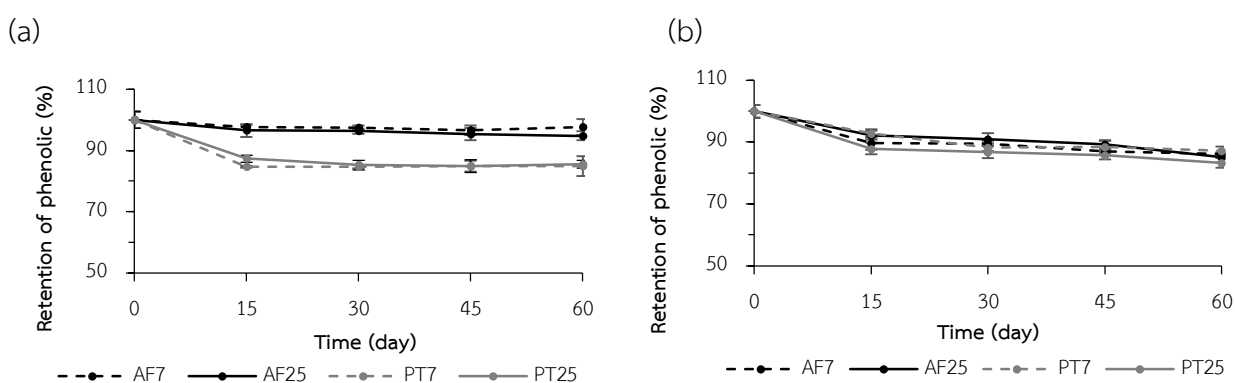


Figure 3. Retention of phenolic content of (a) spray-dried and (b) freeze-dried bolete powders during storage period of 60 days; AF7 = aluminum foil at 7 °C, AF25 = aluminum foil at 25 °C, PT7 = plastic bag at 7 °C, and PT25 = plastic bag at 25 °C.

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

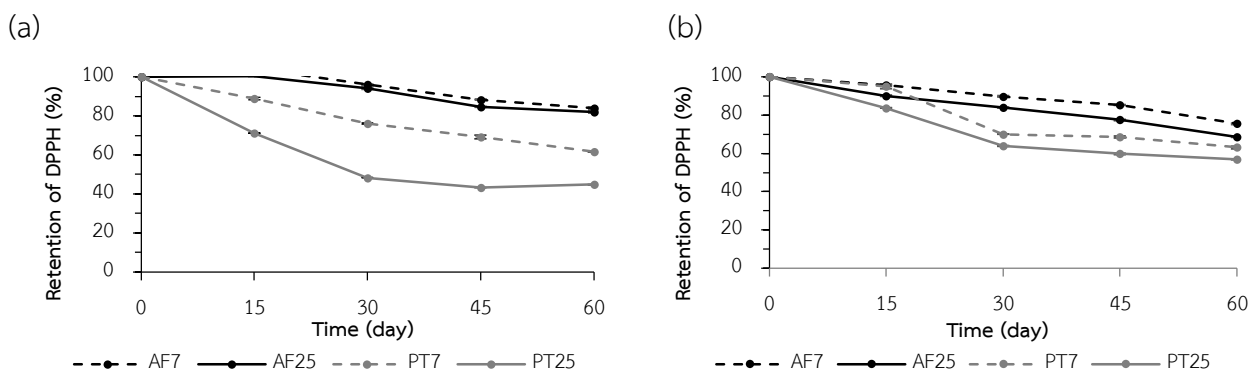


Figure 4. Retention of DPPH value of (a) spray-dried and (b) freeze-dried bolete powders during storage period of 60 days; AF7 = aluminum foil at 7 °C, AF25 = aluminum foil at 25 °C, PT7 = plastic bag at 7 °C, and PT25 = plastic bag at 25 °C.

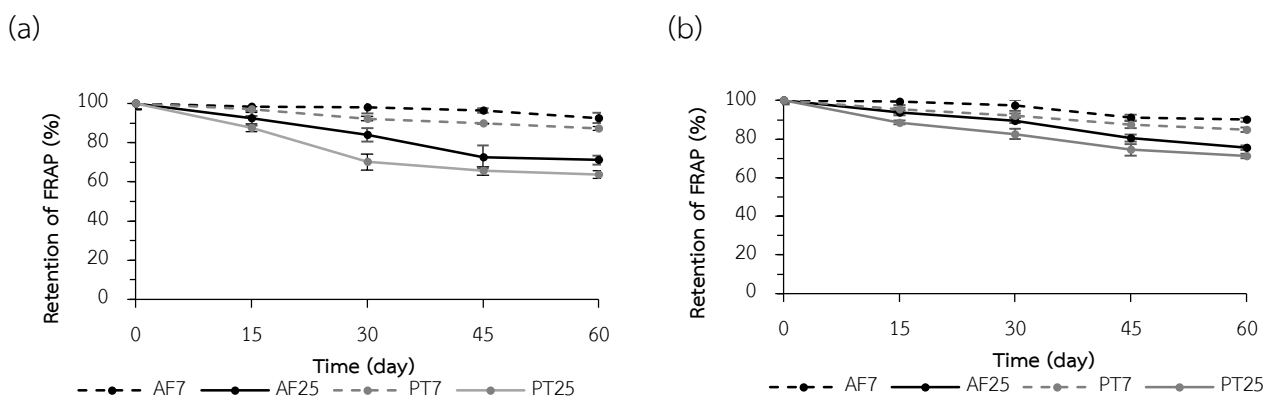


Figure 5. Retention of FRAP value of (a) spray-dried and (b) freeze-dried bolete powders during storage period of 60 days; AF7 = aluminum foil at 7 °C, AF25 = aluminum foil at 25 °C, PT7 = plastic bag at 7 °C, and PT25 = plastic bag at 25 °C.

สรุปผล

สภาวะการเตรียมน้ำสกัดเห็ดตับเต่าที่เหมาะสม คือ นำเห็ดตับเต่าสด ล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นละเอียดกับน้ำอุณหภูมิห้อง โดยมีอัตราส่วนของ เห็ดตับเต่าและน้ำเป็น 1:2 โดยน้ำหนัก และกรองแยกกาก ทำให้ได้น้ำสกัดเห็ดตับเต่าที่มีปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำ ปริมาณฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน รวมทั้งฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อนำไปทำแห้งด้วยวิธีการ ทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ลมอัดที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 15 พบว่า น้ำเห็ดตับเต่าสกัดผสมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 5 มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการ

ต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) และปริมาณแอนโทไซยานินสูง ที่สุด ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการทำแห้งแบบแช่เยือก แข็ง ผงเห็ดตับเต่าที่ทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่ เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินและกิจกรรมการต้าน อนุมูลอิสระมากกว่าวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงเห็ดตับเต่า พบว่าการบรรจุถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิ 7 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน ทำให้ผงเห็ดตับเต่ามีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมสารต้านอนุมูล อิสระคงอยู่มากที่สุด

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

กิตติกรรมประกาศ

สนับสนุนงบประมาณเงินอุดหนุนแผนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Seehanan, S. and Petcharat, V. (2008). Some species of wild boletes in Thailand. *Journal of Agricultural Technology*. 4(1): 109-118.
- [2] Wang, D., Sun, S.Q., Wu, W.Z., Yang, S.L. and Tan, J.M. (2014). Characterization of a water- soluble polysaccharide from *Boletus edulis* and its antitumor and immunomodulatory activities on renal cancer. *Carbohydrate Polymers*. 105: 127-134.
- [3] Manzi, P. , Marconi, S. , Aguzzi A. and Pizzoferrato, L. (2004) . Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking. *Food Chemistry*. 84: 201-206.
- [4] Vamanu, E. and Nita, S. (2013). Antioxidant capacity and the correlation with major phenolic compounds, anthocyanin, and tocopherol content in various extracts from the wild edible *Boletus edulis* mushroom. *BioMed Research International*. 313905: 11 pages.
- [5] Beer, D., Joubert, E., Gelderblom, W.C.A. and Manley, M. (2002). Phenolic compounds: A review of their possible role as in vivo antioxidants of wine. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 23(2): 48-61.
- [6] Pourmorad, F. , Hosseinimehr, S. J. and Shahabimajd, N. (2006) . Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*. 5(11): 1142-1145.
- [7] Sharma, G. N. , Dubey, S. K. , Sati, N. and Sanadya, J. (2011) . Anti-inflammatory activity and total phavonoid content of *Aegle marmelos* seeds. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*. 3(3): 214-218.
- [8] Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z.E. and Rahmat, A. (2011) . Effects of solvent type on young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extract. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(7): 1147-1154.
- [9] Maestri, D.M., Nepote, V., Lamarque, A.L. and Zygadlo, J.A. (2006). Natural products as antioxidants. In F. Imperato, (ed) . *Phytochemistry: advances in research*, pp. 105- 135, Research Signpost, Kerala, India.
- [10] Stevenson, D. E. and Hurst, R. D. (2007) . Polyphenolic phytochemicals- just antioxidants or much more? *Cellular and Molecular Life Sciences*. 64: 2900-2916.
- [11] Karadag, A., Ozcelik, B. and Saner, S. (2009). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*. 2: 41-60.
- [12] Ignat, I., Volf, I. and Popa, V.I. (2011) . A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*. 126: 1821-1835.

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

- [13] Jaiswal, R. , Kiprotich, J. and Kuhner, N. (2011). Determination of the hydroxyl cinnamate profile of 12 members of the Asteraceae family. *Phytochemistry*. 72(8): 781-790.
- [14] Askar, K.A., Alsawad, Z.H. and Khalaf, M.N. (2015). Evaluation of the pH and thermal stabilities of rosella anthocyanin extracts under solar light. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 4(3): 262–268.
- [15] Tena, N., Martín, J. and Asuero, A.G. (2020). State of the art of anthocyanins: antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health. *Antioxidants*, 9(5), 451.
- [16] Alaa, A.A. (2020). Extraction of anthocyanin pigments from different plants and study the effect of solvent, temperature and pH variation on it. *Journal of Missan Researches*. 11(21): 37-44.
- [17] Desobry, S.A., Netto, F.M. and Labuza, T.P. (1997) . Comparison of spray- drying, drum- drying and freeze- drying for- carotene encapsulation and preservation. *Journal Food Science*. 62: 1158–1162.
- [18] Bastos, D.S., Goncalves, M.P., Andrade, C.T., Araujo, K.G.L. and Leao, M.H.M.R. (2012). Microencapsulation of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) juice using a new chitosan- commercial bovine whey protein isolate system in spray drying. *Food and Bioproducts Processing*. FBP-311: 101-109.
- [19] Cai, Y.Z. and Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *Journal of Food Science*. 65: 1248-1252.
- [20] AOAC. (2000). Official methods of analysis of the association of the official analysis chemists. Arlington: Association of Official Analytical Chemists
- [21] Giusti, M. and Wrolstad, R. (2001) . Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F1.2.1-F1.2.13.
- [22] Wu, L.C., Hsu, H.W., Chen, Y.C., Chiu, C.C., Lin, Y.I. and Ho, J.A.A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*. 95: 319-327.
- [23] Lim, Y.Y., Lim, T.T. and Tee, J.J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*. 103: 1003-1008.
- [24] Zhang, S.M, Bai, L.J.H., Chang, M.C, Meng, J.L., Liu, J.Y. and Feng, C.P. (2019). Color, texture and enzyme activities of *Hypsizygus marmoreus* as affected by heating combined with color protection and hardening. *International Journal of Food Properties*. 22(1): 9-18.
- [25] Saha, B., Bucknall, M. P., Arcot, J., Driscoll, R. (2018) . Profile changes in banana flavour volatiles during low temperature drying. *Food Research International*. 106: 992–998.
- [26] Zivanovic, S. and Buescher, R. (2004) . Changes in mushroom texture and cell wall composition affected by thermal processing. *Journal of Food Science*. 69: 44-49.

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

- [27] Kumla, J., Suwannarach, N., Tanruean, K. and Lumyong, S. (2021). Comparative evaluation of chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant and antimicrobial activities of tropical black bolete mushroom using different preservation methods. *Foods*. 10(4): 781.
- [28] Pogon, K., Gabor, A., Jaworska, G. and Bernas, E. (2016). Effect of traditional canning in acetic brine on the antioxidants and vitamins in *Boletus edulis* and *Suillus luteus* mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41: e12826.
- [29] Liaotrakoon, W. and Liaotrakoon, V. (2018). Influence of drying process on total phenolics, antioxidative activity and selected physical properties of edible bolete (*Phlebopus colossus* (R. Heim) Singer) and changes during storage. *Food Science and Technology*. 38: 231–237.
- [30] Murcia, M.A., Martinez-Tome, M., Jimenez, A.M., Vera, A.M., Honrubia, M. and Parras, P.J. (2002). Antioxidant activity of edible fungi (truffles and mushrooms): Losses during industrial processing. *Journal of Food Protection*. 65: 1614–1622.
- [31] Rickman, J.C., Barrett, D.M. and Bruhn, C.M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 930–944.
- [32] Chuaychan, S. and Benjakul, S. (2016). Effect of maltodextrin on characteristics and antioxidative activity of spray-dried powder of gelatin and gelatin hydrolysate from scales of spotted golden goatfish. *Journal of Food Science and Technology*. 53(9): 3583–3592.
- [33] Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A.A., Lagazzo, A., Botter, R. and Perego, P. (2015). Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. *LWT - Food Science and Technology*. 62: 177–186.
- [34] Papoutsis, K., Golding, J., Vuong, Q., Pristijono, P., Stathopoulos, C., Scarlett, C. and Bowyer, M. (2018). Encapsulation of citrus by-product extracts by spray-drying and freeze-drying using combinations of maltodextrin with soybean protein and L-carrageenan. *Foods*. 7(7): 115.
- [35] Ramirez, M.J., Giraldo, G.I. and Orrego, C.E. (2015). Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. *Powder Technology*. 277: 89–96.
- [36] Jia, Z., Dumont, M.J. and Orsat, V. (2016). Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Bioscience*. 15: 87–104.
- [37] Abdelwahed, W., Degobert, G., Stainmesse, S. and Fessi, H. (2006). Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 58: 1688–1713.
- [38] Ballesteros, L.F., Ramirez, M.J., Orrego, C.E., Teixeira, J.A. and Mussatto, S.I. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

- drying using different coating materials.
Food Chemistry. 237: 623–631.
- [39] Lichanporn, I. and Akkarakultron, P. (2021).
Effect of packaging types on quality of
dried lotus stamens. Research Journal
Rajamangala University of Technology
Thanyaburi. 20(1): 91-102. (in Thai).
- [40] Amanda, V. , Sulaiman, I. and Yunita, D.
(2019) . Variety of packaging and
estimated shelf life of Acehnese
traditional food (Pliek u). IOP Conference
Series: Materials Science and Engineering.
536: 012121.
- [41] Limwachiranon, J. , Huang, H. , Shi, Z. , Li, L.
and Luo Z. (2018). Lotus flavonoids and
phenolic acids: Health promotion and
safe consumption dosages. Comprehensive
Reviews in Food Science and Food
Safety. 17: 457-471.

*Corresponding author, e-mail: L_wijitra@hotmail.com

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi