KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจืออบแห้งด้วยแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล

The Analysis of Optimal Factors for Reducing Microbial Quantity in Dried *Ganoderma lucidum* using Factorial Design Experiment

วีรินท์ พีระธำรงรัตน์[1] นพรัตน์ เตชะพันธ์รัตนกุล[1] พินิจ เนื่องภิรมย์[2] และ สมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ[1*]

Weerin Pheerathamrongrat[1], Noparat Techapunratanakul[1], Pinit Nuangpirom[2] and Samuch Taweekasemsombut[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[2]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1]Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300, Thailand

[2]Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจืออบแห้งด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนไฟฟ้า โดยวางแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟคทอเรียลชนิดสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีปัจจัยในการศึกษา คือ อุณหภูมิ 5 ระดับ (40 50 60 70 และ 80ºC) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบเห็ดหลินจือ 5 ระดับ (4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง) โดยทำการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) ในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity: a_w) และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) แบบแฟคทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย และทดสอบครุสคัล–วอลลิส (The Kruskal-Wallis test) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบมากขึ้นจะทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) ในเห็ดหลินจืออบแห้ง รวมถึงปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบมีค่าลดลงทุกตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุณหภูมิและเวลามีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ โดยมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบ ยกเว้นค่า a_w ที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ซึ่งสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบเห็ดหลินจือคือ อุณหภูมิที่ 70ºC เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพราะทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้ง มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย $2.70 \times 10^3 \pm 0.15$ CFU/g $1.20 \times 10^2 \pm 0.05$ CFU/g 7.30 ± 0.04 g/100 g 0.78 ± 0.01 และ 32.18 ± 0.03 g ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร และอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558) โดยอุณหภูมิดังกล่าวมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

*Corresponding Author, E-mail: name_bct@hotmail.com

Received: date: 1 August 2024 | Revised date: 31 October 2024 | Accepted date: 5 November 2024

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the optimal temperature and duration for microbial reduction in dried *Ganoderma lucidum* using a solar oven combined with electric heating coils. A 5x5 factorial experiment with three replications and a completely randomized design was performed. The factors studied included five temperature levels (40, 50, 60, 70, and 80ºC) and five drying time levels (4, 5, 6, 7, and 8 hours). The mean, standard deviation, factorial analysis of variance (ANOVA) with two components and the Kruskal-Wallis test were used to statistically examine the results. The total microbial count of bacteria, fungi, and yeast (CFU/g), moisture content (g/100 g), water activity (a_w) and dry weight were found to decrease in all samples with increasing temperature and duration of drying time. With exception of a_w, which did not exhibit any interaction, temperature and duration of drying time were found to have a significant effect on the total amount of microbial, moisture content, a_w and dry weight. This was determined by variance analysis at a significance level of 0.05. It was concluded that the optimal temperature for drying *G. lucidum* was 70ºC for 8 hours, as it resulted in the total microbial count, moisture content, a_w and dry weight of $2.70 \times 10^3 \pm 0.15$ CFU/g, $1.20 \times 10^2 \pm 0.05$ CFU/g, 7.30 ± 0.04 g/100 g, 0.78 ± 0.01, and 32.18 ± 0.03 g, respectively, These values conform with the microbiological quality standards for food and food contact surfaces and the community product standards (TIS 136/2015). These results suggest that this temperature is safe for consumers.

คำสำคัญ: เห็ดหลินจือ ปัจจัยที่เหมาะสม ปริมาณจุลินทรีย์ แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Keywords: *Ganoderma lucidum*, Optimization Factors, Quantity of Microorganisms, Factorial Design Experiments

บทนำ

การถนอมอาหารเป็นการแปรรูปอาหารหรือการเก็บรักษาอาหารเพื่อให้อาหารอยู่ได้นานไม่เน่าเสีย ช่วยยืดอายุการเปลี่ยนแปลงทางกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับของเดิม การถนอมอาหารมีความสำคัญต่อคนไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ช่วยทำให้มีอาหารบริโภคตลอดทั้งปีและมีอาหารนอกฤดูกาลเก็บไว้รับประทาน ช่วยรักษาคุณค่าและคุณภาพของอาหารต่าง ๆ ให้อยู่ได้นาน เช่น อาหารแห้ง อาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร ลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด และช่วยส่งเสริมการผลิตและรายได้แก่ครอบครัวอีกด้วย วิธีการถนอมอาหารมีหลายวิธี เช่น การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยใช้สารเคมี การใช้เกลือ การรมควัน การหมักดอง การเชื่อม การแช่อิ่ม การหมัก การใช้รังสีวิธี การกำจัดน้ำออกจากอาหาร การทำแห้ง เป็นต้น (นวลจิตต์, 2545) ปัจจุบันนี้การถนอมอาหารหรือการแปรรูปอาหารโดยวิธีการทำแห้งเป็นวิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะสะดวก ใช้ระยะเวลาน้อยและง่ายต่อการถนอมอาหาร การทำแห้งเป็นวิธีการระเหยน้ำหรือนำความชื้นออกจากอาหารให้มากที่สุดเพื่อให้อาหารแห้งและเก็บไว้ได้นาน วิธีการทำแห้ง ได้แก่ 1) การตากแดดหรือลม ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่โบราณ โดยนำวัตถุดิบมาวางบนตะแกรงและตั้งไว้กลางแดดให้ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง จนความชื้นในวัตถุดิบระเหยออกไปจนแห้ง 2) การใช้เครื่องมือช่วย เช่น เครื่องอบแห้ง เตาไมโครเวฟ เตาอบ 3) การรมควัน นิยมใช้ในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ สามารถเก็บรักษาเนื้อได้นาน 2 - 3 เดือน หลักการการถนอมอาหารที่สำคัญ คือ การหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารให้ช้าลง โดยลดการทำปฏิกิริยาของน้ำและเอนไซม์ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดจนจุลินทรีย์หยุดการเจริญและไม่สามารถเพิ่มจำนวนทำให้อาหารบูดเสียช้าลงได้ น้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยน้ำที่จุลินทรีย์

นำไปใช้ในการเจริญ เรียกว่า Water activity (a_w) หรือ Available water จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการน้ำปริมาณต่างกัน โดยที่แบคทีเรียต้องการน้ำมากกว่ายีสต์และเชื้อรา การลดค่า a_w ในอาหาร เช่น การตากแห้ง การแช่แข็ง การอบ การดองเกลือหรือน้ำตาล หรือการเติมวุ้น 3 - 4% ในอาหาร จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำในอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้ ซึ่งค่า a_w ต่ำสุด (minimum a_w) มีความสำคัญต่อการถนอมอาหาร เพราะเป็นค่าที่กำหนดว่า ถ้า a_w ต่ำกว่าค่านี้แล้วจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำเพื่อการเจริญจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ เช่น ค่า a_w ต่ำสุดของแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย เท่ากับ 0.90 ยีสต์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียเท่ากับ 0.85 และเชื้อราที่ทำให้อาหารเน่าเสียเท่ากับ 0.80 และค่า a_w ต่ำกว่า 0.5 จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553) การควบคุมจุลินทรีย์เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเสื่อมสภาพหรือเน่าเสียทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ รูปร่าง รสชาติ กลิ่น สี เนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารไม่ปลอดภัยหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค จึงต้องใช้วิธีการถนอมอาหารในการควบคุมจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น ช่วยให้อาหารมีสภาพใกล้เคียงกับอาหารสดมากที่สุด และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด เช่น การทำแห้ง ส่วนมากใช้กับผักและผลไม้ โดยทำให้ความชื้นหรือน้ำอิสระออกไปจากอาหารจนมีน้ำเหลือไม่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำระหว่าง 51 - 60ºC และใช้เวลานานจะช่วยถนอมคุณภาพและวิตามินในผักและผลไม้ได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิสูง การทำแห้งนั้นอาจใช้การตากแดด การรมควัน หรือใช้เครื่องมือ เช่น ตู้อบลมร้อน ตู้อบแสงอาทิตย์ เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อน เป็นต้น

อีกทั้งปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น เนื่องจากสามารถตากแห้งอาหารได้สะอาดกว่าวิธีการตากแห้งแบบธรรมชาติ โดยปราศจากฝุ่นละอองและแมลงที่เป็นพาหะก่อโรค และอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จะสูงกว่าการตากแห้งทั่วไป ทำให้ใช้ระยะเวลาการตากแห้งน้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีข้อดีหลายด้าน เช่น ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อายุการใช้งานยาวนานคุ้มค่า ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยเฉพาะเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนไฟฟ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งได้อย่างคงที่ สามารถอบผลิตภัณฑ์ได้ปริมาณมาก สะอาดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาเห็ดหลินจือ (*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst) ซึ่งจัดเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณในการรักษาโรคต่าง ๆ มากมาย ถูกใช้ในวงการแพทย์จีนมานานมากกว่า 2,000 ปี มีรายงานการศึกษาทางคลินิก พบว่าเห็ดหลินจือมีผลกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในผู้ป่วยมะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ใหญ่และมะเร็งระยะลุกลาม มีฤทธิ์ต้านการปวด นอกจากนี้พบว่า เห็ดหลินจือมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น มีฤทธิ์กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ต้านเนื้องอกและมะเร็ง ป้องกันเส้นประสาทเสื่อม ลดน้ำตาลในเลือด ลดไขมันในเลือด ต้านออกซิเดชัน ต้านการอักเสบ (Anti-inflammation) เป็นต้น สารสำคัญในเห็ดหลินจือ ได้แก่ สารกลุ่ม Polysaccharides Triterpenoids Sterols Fatty acids โปรตีน ฯลฯ ซึ่งสารสำคัญดังกล่าวจะพบได้ในส่วนสปอร์มากกว่าส่วนดอก และส่วนดอกมีการศึกษาเกี่ยวกับพิษวิทยาของเห็ดหลินจือทั้งพิษแบบเฉียบพลันและพิษแบบเรื้อรังพบว่ามีความเป็นพิษต่ำมาก และมีความปลอดภัยสำหรับการใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน (นพมาศ, 2552) เห็ดหลินจือจึงนิยมนำมาอบแห้งทำเป็นผงชงดื่มเป็นยาสมุนไพร และเนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุมากขึ้น ทำให้ในอนาคตประเทศไทยมีแนวโน้มจำนวนกลุ่มคนผู้ว่างงานมากขึ้น นวัตกรรมและเทคโนโลยีนี้ นอกจากช่วยแก้ไขปัญหานำสินค้าเกษตรมาแปรรูปเพื่อถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าแล้ว ยังสามารถช่วยรองรับให้กลุ่มผู้สูงอายุที่ว่างงาน ทำกิจกรรมสร้างอาชีพเพื่อช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุให้ดีขึ้น และผลจากการศึกษาก่อให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรด้วยการใช้พลังงานทดแทนที่ประหยัดพลังงานและสามารถเพิ่มผลผลิต ซึ่งเป็นไปตามนโยบายของการพัฒนาประเทศไทย 4.0

ดังนั้น คณะวิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจืออบแห้งที่ผ่านการอบด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยการทดลองแฟคทอเรียลชนิดสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยในการศึกษา คือ อุณหภูมิ 5 ระดับ (40 50 60 70 และ 80ºC) และ เวลา 5 ระดับ (4 5 6 7 และ

8 ชั่วโมง) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีในเห็ดหลินจือ โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวนแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) แบบแฟคทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย เพื่อหาแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาเห็ดหลินจืออบแห้งต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) ในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ทำการทดลองอบเห็ดด้วยการทดลองแฟคทอเรียลชนิดสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ โดยการนำเห็ดหลินจือสดมาหั่นเป็นแผ่นความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นสุ่มตัวอย่างเห็ดหลินจือที่หั่นแล้ว 100 กรัม นำไปอบด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิระดับ 40 50 60 70 และ 80ºC และใช้เวลาในการอบ 4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง

1.1 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g)

นำตัวอย่างเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ มาบดให้ละเอียดปริมาณ 10 กรัม ผสมกับสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.4 ปริมาณ 90 มิลลิลิตร (ระดับการเจือจาง 1:10) ทำการเจือจางความเข้มข้น $1:10^2$ $1:10^3$ $1:10^4$ จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น $1:10^2$ $1:10^3$ $1:10^4$ อย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงบนอาหาร Tryptic soy agar 20 มิลลิลิตร ทำการ spread plate ทั่วผิวหน้าอาหาร แล้วนำไปบ่มที่ 35ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (30 - 300 โคโลนี/จาน) เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g) (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

1.2 ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g)

นำตัวอย่างเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ มาบดให้ละเอียดปริมาณ 10 กรัม ผสมกับสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.4 ปริมาณ 90 มิลลิลิตร (ระดับการเจือจาง 1:10) ทำการเจือจางความเข้มข้น $1:10^2$ $1:10^3$ จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1:10 $1:10^2$ $1:10^3$ อย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงบนอาหาร Sabouraud dextrose agar + chloramphenicol 20 มิลลิลิตร ทำการ spread plate โดยการเกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วผิวหน้าอาหาร แล้วนำไปบ่มที่ 35ºC เป็นเวลาประมาณ 5 วัน และนับจำนวนโคโลนีของเชื้อราและยีสต์ (<100 โคโลนี/จาน) เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเชื้อราและยีสต์ทั้งหมด CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

1.3 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (g/100 g) ในเห็ดหลินจืออบแห้ง

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (2000) ในตัวอย่างโดยใช้ตู้อบลมร้อน (Model UF450, Memmert, Germany) เรียงจากการชั่งน้ำหนักของจานอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (W) แล้วนำตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในจานอะลูมิเนียม ชั่งน้ำหนักของจานอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดและตัวอย่างก่อนอบ (W_1) อบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105ºC เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง (ขณะอบเปิดฝา) จากนั้นนำจานออกจากตู้อบไฟฟ้าแล้วปิดฝาอะลูมิเนียม ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักจานอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดและตัวอย่างหลังอบ (W_2) ถ้าน้ำหนักยังไม่คงที่ นำไปอบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

1.4 วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ในเห็ดหลินจืออบแห้ง ทำการวัดด้วยเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter, AQUALAB 4TE, München, Germany) โดยนำตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในเครื่อง รอจนเครื่องแสดงค่าที่วัดได้สำเร็จ

ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ต่อหนึ่งตัวอย่าง บันทึกค่าที่อ่านได้และนำมาหาค่าเฉลี่ย ความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร, 2549)

1.5 วิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้ง

โดยนำตัวอย่างเห็ดหลินจือสดมาชั่งน้ำหนักก่อนการอบ และทำการชั่งน้ำหนักเห็ดหลินจือแห้งหลังจากการอบเสร็จสิ้น เพื่อหาน้ำหนักแห้งนำมาคำนวณความชื้นตามสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = [(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / \text{น้ำหนักสด}] \times 100$$

และบันทึกผลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเห็ดหลินจือในแต่ละรอบการอบ ตามวิธี AOAC (2000)

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ตรวจสอบการแจกแจงปรกติของข้อมูลปริมาณจำนวนแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมด (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ ที่นำมาวิเคราะห์ด้วยการทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test: KS test) พบว่ามีเพียงข้อมูลปริมาณเชื้อราและยีสต์ที่ไม่มีการแจกแจงปรกติ (ตารางที่ 1) จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราและยีสต์ ด้วยการทดสอบครุสคัล–วอลลิส (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 1 การตรวจสอบการแจกแจงปรกติของข้อมูล

ข้อมูล	KS test	*p*-value
ปริมาณแบคทีเรีย	0.084	0.200
ปริมาณเชื้อราและยีสต์	0.191	0.000*
ปริมาณความชื้น	0.085	0.200
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.078	0.200
น้ำหนักแห้งหลังอบ	0.094	0.095

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2 นำข้อมูลปริมาณจำนวนแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) แบบแฟคทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย

2.3 จากการวิเคราะห์ปัจจัย ถ้าพบว่ามีนัยสำคัญจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจ จัย ด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparisons test) โดยใช้วิธีการทดสอบของ Bonferroni

2.4 ตรวจสอบการแจกแจงปรกติและความเท่ากันของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Kolmogorov-Smirnov test (KS test) และ Levene’s test based on median ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การตรวจสอบการแจกแจงปรกติและความเท่ากันของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

ข้อมูล	ทดสอบการแจกแจงปรกติ		ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน	
	KS test	*p*-value	Levene’s test	*p*-value
ปริมาณแบคทีเรีย	0.071	0.200	1.241	0.255
ปริมาณความชื้น	0.072	0.200	1.666	0.064
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.089	0.200	0.896	0.606
น้ำหนักแห้งหลังอบ	0.051	0.200	1.356	0.180

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ลักษณะของเห็ดหลินจือที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่างๆ

ลักษณะของเห็ดหลินจือหลังการอบที่อุณหภูมิ 5 ระดับ (40 50 60 70 และ 80ºC) และ เวลา 5 ระดับ (4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง) จะมีความแห้งมากขึ้นและสีของเห็ดหลินจือจางลงตามอุณหภูมิและเวลาที่มากขึ้น ดังรูปที่ 1 (ก - จ)

รูปที่ 1 ลักษณะของเห็ดหลินจือที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่าง ๆ ; (ก) เห็ดหลินจือที่อบด้วยอุณหภูมิ 40ºC (ข) เห็ดหลินจือที่อบด้วยอุณหภูมิ 50ºC (ค) เห็ดหลินจือที่อบด้วยอุณหภูมิ 60ºC (ง) เห็ดหลินจือที่อบด้วยอุณหภูมิ 70ºC (จ) เห็ดหลินจือที่อบด้วยอุณหภูมิ 80ºC

2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจืออบแห้ง

การศึกษาระดับของอุณหภูมิและช่วงเวลาในการอบที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจืออบแห้ง จากการเก็บข้อมูลปริมาณจำนวนแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) ได้ข้อมูลดังนี้

2.1 ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/g) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้เวลาที่มากขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้แบคทีเรียทั้งหมดลดลงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับค่าเฉลี่ย $1.60 \times 10^3 \pm 0.18$ CFU/g (ตารางที่ 3)

2.2 ปริมาณความชื้น (g/100 g) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้เวลามากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในเห็ดหลินจืออบแห้งลดลงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับค่าเฉลี่ย 6.66 ± 0.13 (g/100 g) (ตารางที่ 4)

2.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้เวลามากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในเห็ดหลินจืออบแห้งลดลงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ น้อยที่สุด เท่ากับค่าเฉลี่ย 0.75 ± 0.01 (ตารางที่ 5)

2.4 ค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้เวลามากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งลดลงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งน้อยที่สุด เท่ากับค่าเฉลี่ย 31.66 ±0.02 g (ตารางที่ 6)

จากการวิเคราะห์ปัจจัย ผลการวิจัยพบว่า จากการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ โดยใช้วิธีการทดสอบของ Bonferroni พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณแบคทีเรีย ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และน้ำหนักแห้งหลังอบแตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแบคทีเรีย ปริมาณความชื้น และน้ำหนักแห้งหลังอบ มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและเวลา นั่นคือการอบที่อุณหภูมิแต่ละระดับในระยะเวลาที่ต่างกัน จะมีปริมาณแบคทีเรีย (Sig = 0.018) ปริมาณความชื้น (*p*-value = 0.000) และน้ำหนักแห้งหลังอบ (*p*-value = 0.004) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และเมื่อทำการตรวจสอบการแจกแจงปรกติและความเท่ากันของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของความคลาดเคลื่อน (ตารางที่ 2) พบว่าทุกข้อมูลมีคุณสมบัติของความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามที่กำหนด นั่นคือในการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรีย ความชื้น ค่า a_w และน้ำหนักแห้งหลังอบ ด้วยแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางมีความน่าเชื่อถือ

2.5 ปริมาณเชื้อราและยีสต์ (CFU/g) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้เวลามากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดลดลงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 7 และ8 ชั่วโมง จะมีจำนวนปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับค่าเฉลี่ย < 10 CFU/g (ตารางที่ 7) เนื่องจากปริมาณเชื้อราและยีสต์ ไม่มีการแจกแจงแบบปรกติ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการทดสอบครุสคัล–วอลลิส พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาณเชื้อราและยีสต์แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 3 ค่าความแปรปรวนของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย ± SD (CFU/g)	F	*p*-value
อุณหภูมิ	40ºC	$6.56 \times 10^3 \pm 0.30^a$		
	50ºC	$5.32 \times 10^3 \pm 0.42^b$		
	60ºC	$4.26 \times 10^3 \pm 0.42^c$	2525.351	0.000*
	70ºC	$3.24 \times 10^3 \pm 0.44^d$		
	80ºC	$2.36 \times 10^3 \pm 0.53^e$		
เวลา	4 ชั่วโมง	$4.88 \times 10^3 \pm 1.44^a$		
	5 ชั่วโมง	$4.64 \times 10^3 \pm 1.50^b$		
	6 ชั่วโมง	$4.37 \times 10^3 \pm 1.50^c$	173.872	0.000*
	7 ชั่วโมง	$4.04 \times 10^3 \pm 1.60^d$		
	8 ชั่วโมง	$3.80 \times 10^3 \pm 1.66^e$		
อิทธิพลร่วมระหว่าง	40ºC 4 ชั่วโมง	$6.90 \times 10^3 \pm 0.10$		
อุณหภูมิและเวลา	40ºC 5 ชั่วโมง	$6.76 \times 10^3 \pm 0.25$		
	40ºC 6 ชั่วโมง	$6.53 \times 10^3 \pm 0.15$		
	40ºC 7 ชั่วโมง	$6.38 \times 10^3 \pm 0.16$		
	40ºC 8 ชั่วโมง	$6.20 \times 10^3 \pm 0.10$		
	50ºC 4 ชั่วโมง	$5.85 \times 10^3 \pm 0.23$		
	50ºC 5 ชั่วโมง	$5.66 \times 10^3 \pm 0.10$		
	50ºC 6 ชั่วโมง	$5.30 \times 10^3 \pm 0.05$		
	50ºC 7 ชั่วโมง	$5.00 \times 10^3 \pm 0.10$		
	50ºC 8 ชั่วโมง	$4.80 \times 10^3 \pm 0.15$		
	60ºC 4 ชั่วโมง	$4.80 \times 10^3 \pm 0.10$		
	60ºC 5 ชั่วโมง	$4.50 \times 10^3 \pm 0.13$		
	60ºC 6 ชั่วโมง	$4.33 \times 10^3 \pm 0.15$	2.188	0.018*
	60ºC 7 ชั่วโมง	$3.95 \times 10^3 \pm 0.05$		
	60ºC 8 ชั่วโมง	$3.70 \times 10^3 \pm 0.09$		
	70ºC 4 ชั่วโมง	$3.84 \times 10^3 \pm 0.08$		
	70ºC 5 ชั่วโมง	$3.50 \times 10^3 \pm 0.10$		
	70ºC 6 ชั่วโมง	$3.26 \times 10^3 \pm 0.10$		
	70ºC 7 ชั่วโมง	$2.87 \times 10^3 \pm 0.03$		
	70ºC 8 ชั่วโมง	$2.70 \times 10^3 \pm 0.15$		
	80ºC 4 ชั่วโมง	$3.00 \times 10^3 \pm 0.10$		
	80ºC 5 ชั่วโมง	$2.75 \times 10^3 \pm 0.14$		
	80ºC 6 ชั่วโมง	$2.43 \times 10^3 \pm 0.06$		
	80ºC 7 ชั่วโมง	$2.00 \times 10^3 \pm 0.05$		
	80ºC 8 ชั่วโมง	$1.60 \times 10^3 \pm 0.18$		

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

a b c d e ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบของ Bonferroni

ตารางที่ 4 ค่าความแปรปรวนของความชื้น (g/100 g) ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย ± SD (CFU/g)	F	*p*-value
อุณหภูมิ	40ºC	10.30 ± 0.88[a]		
	50ºC	9.37 ± 0.89[b]		
	60ºC	8.73 ± 0.68[c]	1365.886	0.000*
	70ºC	8.13 ± 0.60[d]		
	80ºC	7.44 ± 0.59[e]		
เวลา	4 ชั่วโมง	9.75 ± 1.15[a]		
	5 ชั่วโมง	9.32 ± 1.19[b]		
	6 ชั่วโมง	8.84 ± 0.99[c]	676.266	0.000*
	7 ชั่วโมง	8.24 ± 0.97[d]		
	8 ชั่วโมง	7.83 ± 0.85[e]		
อิทธิพลร่วมระหว่าง	40ºC 4 ชั่วโมง	11.35 ± 0.12		
อุณหภูมิและเวลา	40ºC 5 ชั่วโมง	11.10 ± 0.01		
	40ºC 6 ชั่วโมง	10.20 ± 0.30		
	40ºC 7 ชั่วโมง	9.82 ± 0.08		
	40ºC 8 ชั่วโมง	9.04 ± 0.04		
	50ºC 4 ชั่วโมง	10.53 ± 0.08		
	50ºC 5 ชั่วโมง	10.03 ± 0.07		
	50ºC 6 ชั่วโมง	9.50 ± 0.13		
	50ºC 7 ชั่วโมง	8.50 ± 0.11		
	50ºC 8 ชั่วโมง	8.30 ± 0.09		
	60ºC 4 ชั่วโมง	9.70 ± 0.10		
	60ºC 5 ชั่วโมง	9.10 ± 0.20		
	60ºC 6 ชั่วโมง	8.80 ± 0.18		
	60ºC 7 ชั่วโมง	8.20 ± 0.05	8.170	0.000*
	60ºC 8 ชั่วโมง	7.86 ± 0.09		
	70ºC 4 ชั่วโมง	8.90 ± 0.05		
	70ºC 5 ชั่วโมง	8.56 ± 0.12		
	70ºC 6 ชั่วโมง	8.20 ± 0.08		
	70ºC 7 ชั่วโมง	7.70 ± 0.05		
	70ºC 8 ชั่วโมง	7.30 ± 0.04		
	80ºC 4 ชั่วโมง	8.25 ± 0.08		
	80ºC 5 ชั่วโมง	7.80 ± 0.05		
	80ºC 6 ชั่วโมง	7.50 ± 0.16		
	80ºC 7 ชั่วโมง	7.00 ± 0.10		
	80ºC 8 ชั่วโมง	6.66 ± 0.13		

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

a b c d e ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบของ Bonferroni

ตารางที่ 5 ค่าความแปรปรวนของค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย ± SD (CFU/g)	F	*p*-value
อุณหภูมิ	40ºC	0.91 ± 0.04[a]		
	50ºC	0.90 ± 0.04[b]		
	60ºC	0.87 ± 0.04[c]	191.118	0.000*
	70ºC	0.84 ± 0.04[d]		
	80ºC	0.81 ± 0.05[e]		
เวลา	4 ชั่วโมง	0.92 ± 0.04[a]		
	5 ชั่วโมง	0.89 ± 0.04[b]		
	6 ชั่วโมง	0.87 ± 0.04[c]	213.901	0.000*
	7 ชั่วโมง	0.84 ± 0.04[d]		
	8 ชั่วโมง	0.81 ± 0.04[e]		
อิทธิพลร่วมระหว่าง	40ºC 4 ชั่วโมง	0.97 ± 0.01		
อุณหภูมิและเวลา	40ºC 5 ชั่วโมง	0.94 ± 0.02		
	40ºC 6 ชั่วโมง	0.92 ± 0.01		
	40ºC 7 ชั่วโมง	0.87 ± 0.01		
	40ºC 8 ชั่วโมง	0.86 ± 0.01		
	50ºC 4 ชั่วโมง	0.94 ± 0.01		
	50ºC 5 ชั่วโมง	0.92 ± 0.01		
	50ºC 6 ชั่วโมง	0.90 ± 0.02		
	50ºC 7 ชั่วโมง	0.88 ± 0.01		
	50ºC 8 ชั่วโมง	0.84 ± 0.01		
	60ºC 4 ชั่วโมง	0.93 ± 0.01		
	60ºC 5 ชั่วโมง	0.89 ± 0.02		
	60ºC 6 ชั่วโมง	0.87 ± 0.01	1.159	0.332
	60ºC 7 ชั่วโมง	0.84 ± 0.02		
	60ºC 8 ชั่วโมง	0.81 ± 0.01		
	70ºC 4 ชั่วโมง	0.89 ± 0.02		
	70ºC 5 ชั่วโมง	0.87 ± 0.02		
	70ºC 6 ชั่วโมง	0.85 ± 0.01		
	70ºC 7 ชั่วโมง	0.82 ± 0.02		
	70ºC 8 ชั่วโมง	0.78 ± 0.01		
	80ºC 4 ชั่วโมง	0.87 ± 0.01		
	80ºC 5 ชั่วโมง	0.84 ± 0.01		
	80ºC 6 ชั่วโมง	0.81 ± 0.01		
	80ºC 7 ชั่วโมง	0.77 ± 0.01		
	80ºC 8 ชั่วโมง	0.75 ± 0.01		

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

a b c d e ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบของ Bonferroni

ตารางที่ 6 ค่าความแปรปรวนของค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย ± SD (CFU/g)	F	*p*-value
อุณหภูมิ	40ºC	33.90 ± 0.18[a]		
	50ºC	33.55 ± 0.25[b]		
	60ºC	33.04 ± 0.27[c]	732.589	0.000*
	70ºC	32.65 ± 0.32[d]		
	80ºC	32.17 ± 0.38[e]		
เวลา	4 ชั่วโมง	33.40 ± 0.55[a]		
	5 ชั่วโมง	33.25 ± 0.59[b]		
	6 ชั่วโมง	33.10 ± 0.65[c]	125.336	0.000*
	7 ชั่วโมง	32.88 ± 0.71[d]		
	8 ชั่วโมง	32.68 ± 0.74[e]		
อิทธิพลร่วมระหว่าง	40ºC 4 ชั่วโมง	34.11 ± 0.13		
อุณหภูมิและเวลา	40ºC 5 ชั่วโมง	34.01 ± 0.12		
	40ºC 6 ชั่วโมง	33.92 ± 0.06		
	40ºC 7 ชั่วโมง	33.78 ± 0.06		
	40ºC 8 ชั่วโมง	33.69 ± 0.08		
	50ºC 4 ชั่วโมง	33.80 ± 0.12		
	50ºC 5 ชั่วโมง	33.72 ± 0.04		
	50ºC 6 ชั่วโมง	33.61 ± 0.17		
	50ºC 7 ชั่วโมง	33.41 ± 0.10		
	50ºC 8 ชั่วโมง	33.20 ± 0.13		
	60ºC 4 ชั่วโมง	33.40 ± 0.07		
	60ºC 5 ชั่วโมง	33.20 ± 0.05		
	60ºC 6 ชั่วโมง	33.05 ± 0.18	2.645	0.004*
	60ºC 7 ชั่วโมง	32.88 ± 0.10		
	60ºC 8 ชั่วโมง	32.68 ± 0.08		
	70ºC 4 ชั่วโมง	33.03 ± 0.13		
	70ºC 5 ชั่วโมง	32.88 ± 0.07		
	70ºC 6 ชั่วโมง	32.70 ± 0.10		
	70ºC 7 ชั่วโมง	32.45 ± 0.14		
	70ºC 8 ชั่วโมง	32.18 ± 0.03		
	80ºC 4 ชั่วโมง	32.65 ± 0.06		
	80ºC 5 ชั่วโมง	32.45 ± 0.09		
	80ºC 6 ชั่วโมง	32.20 ± 0.09		
	80ºC 7 ชั่วโมง	31.87 ± 0.05		
	80ºC 8 ชั่วโมง	31.66 ± 0.02		

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

a b c d e ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบของ Bonferroni

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้งจำแนกตามอุณหภูมิและเวลา

เนื่องจากปริมาณเชื้อราและยีสต์ มีการแจกแจงแบบไม่ปรกติ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้ การทดสอบครุสคัล–วอลลิส

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย ± SD (CFU/g)	Mean Rank	Kruskal-wallis Test	*p*-value
อุณหภูมิ	40ºC	$1.52 \times 10^4 \pm 0.16$	64.40		
	50ºC	$1.40 \times 10^4 \pm 0.11$	56.60		
	60ºC	$5.79 \times 10^3 \pm 3.41$	32.40	59.460	0.000*
	70ºC	$2.59 \times 10^3 \pm 1.81$	22.20		
	80ºC	$1.58 \times 10^3 \pm 1.46$	14.40		
เวลา	4 ชั่วโมง	$1.02 \times 10^4 \pm 0.55$	48.37		
	5 ชั่วโมง	$9.04 \times 10^3 \pm 5.73$	44.87		
	6 ชั่วโมง	$8.01 \times 10^3 \pm 6.02$	40.800	12.261	0.016*
	7 ชั่วโมง	$6.53 \times 10^3 \pm 6.37$	31.50		
	8 ชั่วโมง	$5.36 \times 10^3 \pm 6.29$	24.47		

* แสดงการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในเห็ดหลินจือที่อุณหภมิ 40 50 60 70 และ 80ºC และเวลา 4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างอุณหภูมิกับเวลา สรุปได้ว่า

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิและเวลาในแต่ละระดับที่ต่างกันมีผลต่อการลดลงของปริมาณแบคทีเรียในเห็ดหลินจือแตกต่างกัน (*p*-value = 0.0018) นั่นคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบเห็ดหลินจือมากขึ้น จะทำให้จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลงตามลำดับ และเมื่อเทียบกับเกณฑ์จุลินทรีย์ในผักหรือผลไม้อบแห้งของเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) ที่จะต้องมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^5 CFU/g นั้นพบว่า เห็ดหลินจือที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาพลังงานแสงอาทิตย์ พบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่าค่ามาตรฐานจุลินทรีย์ในผักหรือผลไม้อบแห้งและอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารทุกตัวอย่าง

ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง (CFU/g) ถ้าเรียงอันดับจากน้อยไปมากพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบมีผลต่อปริมาณเชื้อราและยีสต์ในเห็ดหลินจือ กล่าวคือเวลาในการอบที่น้อยกว่าจะมีปริมาณเชื้อราและยีสต์ที่สูงกว่าเวลาในการอบที่มากกว่า ทำนองเดียวกันอุณหภูมิก็มีผลต่อปริมาณเชื้อราและยีสต์ กล่าวคืออุณหภูมิน้อยจะมีปริมาณเชื้อราและยีสต์มากกว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า (ตารางที่ 7) และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2560) ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1,000 CFU/g พบว่าเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิ 70ºC เวลา 8 ชั่วโมง และเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิ 80ºC เวลา 7 และ 8 ชั่วโมง จะทำให้มีปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดน้อยกว่าค่ามาตรฐานจุลินทรีย์ในผักหรือผลไม้อบแห้งและอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ $1.20 \times 10^2 \pm 0.05$ <10 และ <10 CFU/g ตามลำดับ ที่เหลือเป็นตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

เมื่อวัดปริมาณความชื้น (g/100 g) ในเห็ดหลินจือที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิและเวลาในแต่ละระดับที่ต่างกันมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในเห็ดหลินจืออบแห้งแตกต่างกัน (*p*-value = 0.000) นั่นคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบที่มากขึ้น จะทำให้ความชื้น (ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร) ในเห็ดหลินจือลดลงตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558) ต้องมีค่าไม่เกิน 12 g/100 g พบว่า ทุกตัวอย่างที่อบด้วยอุณหภูมิ 40 - 80ºC เวลา 4 - 8 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่า 12 g/100 g ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558) หลังจากนั้นทำการวัดค่า a_w ในเห็ดหลินจืออบแห้ง

ที่อุณหภูมิและเวลาในแต่ละระดับ สรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบมากขึ้นจะทำให้ค่า a_w ในเห็ดหลินจืออบแห้งลดลงตามลำดับเช่นเดียวกับความชื้น ซึ่งค่าความชื้นในอาหารสัมพันธ์กับค่า a_w เพราะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร ถ้าค่า a_w ลดลงจะทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารลดลงตามด้วย อ้างอิงจากพิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553) โดยค่า a_w ในอาหารแห้งควรน้อยกว่า 0.6 โดยปกติแล้วจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w แตกต่างกัน ซึ่งค่า a_w ต่ำสุด (minimum a_w) มีความสำคัญต่อการถนอมอาหาร เพราะเป็นค่าที่กำหนดว่า ถ้า a_w ต่ำกว่าค่านี้แล้วจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำเพื่อการเจริญเติบโตจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ เช่น ค่า a_w ต่ำสุดของแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียส่วนใหญ่ เท่ากับ 0.90 แต่แบคทีเรียที่มีความทนความเค็มและความแห้งแล้ง ค่า a_w ต่ำสุด จะเท่ากับ 0.75 ยีสต์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียส่วนใหญ่ เท่ากับ 0.85 และเชื้อราที่ทำให้อาหารเน่าเสียส่วนใหญ่ เท่ากับ 0.70 - 0.80 และค่า a_w ต่ำกว่า 0.5 จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ เป็นต้น จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ค่า a_w ในอาหารแห้งควรน้อยกว่า 0.6 แต่ผลการทดลองพบว่าค่า a_w ต่ำสุด เท่ากับ 0.75 ± 0.01 ต้องอบเห็ดหลินจือที่อุณหภูมิ 80ºC เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงจะทำให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) น้อยที่สุด และเมื่อเทียบกับเกณฑ์จุลินทรีย์ในผักหรือผลไม้อบแห้งของเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) จะต้องมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^5 CFU/g นั้นพบว่า การอบเห็ดหลินจืออุณหภูมิที่ 40 - 80ºC เวลา 4 - 8 ชั่วโมง พบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่าค่ามาตรฐานจุลินทรีย์ในผักหรือผลไม้อบแห้งและอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารทุกตัวอย่าง ส่วนค่ามาตรฐานของจำนวนเชื้อและยีสต์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1,000 CFU/g ดังนั้นพบว่า เห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิ 70ºC เวลา 8 ชั่วโมง มีค่า a_w ต่ำสุด เท่ากับ 0.78 ± 0.01 และเห็ดหลินจืออบแห้งอุณหภูมิ 80ºC ที่เวลา 7 และ 8 ชั่วโมง มีค่า a_w ต่ำสุด เท่ากับ 0.77 ± 0.01 และ 0.75 ± 0.01 ตามลำดับ จะทำให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ในการศึกษาค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่าง ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบเห็ดหลินจือมากขึ้น จะทำให้ค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งลดลงตามลำดับ โดยที่ 80ºC เวลา 8 ชั่วโมง มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 31.66 ± 0.02 g นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิแต่ละระดับที่ทำการอบด้วยระยะเวลาต่างกันมีผลต่อการลดค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งที่แตกต่างกัน (p-value = 0.004)

ดังนั้นสรุปได้ว่า เมื่อนำข้อมูลปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง ปริมาณความชื้น ค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ ของเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 และ 80ºC เวลา 4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง ทั้ง 4 การทดลอง มาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิแต่ละระดับที่ทำการอบด้วยระยะเวลาต่างกันมีผลต่อการลดของปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมดในเห็ดหลินจืออบแห้ง ปริมาณความชื้น และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งที่แตกต่างกัน (p-value < 0.05) ยกเว้นค่า a_w พบว่า อุณหภูมิแต่ละระดับที่ทำการอบด้วยระยะเวลาต่างกันไม่มีผลต่อการลดค่า a_w ในเห็ดหลินจืออบแห้งที่แตกต่างกัน (p-value = 0.332) และงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวิชมณีและคณะ (2560) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเห็ดเข็มทองผงที่ผลิตจากส่วนที่ไม่นิยมบริโภคที่สภาวะการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ (40 – 70ºC) และเวลา (180 – 300 นาที) จัดสิ่งทดลองแบบ Central composite design (CCD) พบว่าสภาวะการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w ของตัวอย่าง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการทำแห้งมากขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นและค่า a_w ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value <0.05) ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูง น้ำจะมีโอกาสระเหยออกจากตัวอย่างได้มาก จากผลการทดลองพบว่าการอบเห็ดเข็มทองที่อุณหภูมิ 70ºC เวลา 240 นาที ทำให้มีค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 0.30 และ 8.31 g/100 g ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของจันจิรา (2545) ได้ศึกษาการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโมดุล คือมีลักษณะพิเศษ ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดและสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีระบบควบคุมอุณหภูมิและปรับอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งให้คงที่ได้ตามต้องการ พบว่าอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งเห็ดนางฟ้าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 60ºC เวลา 7 ชั่วโมง โดยอบแห้งเห็ดนางฟ้าที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 90.32% มาตรฐานเปียก และความชื้นสุดท้ายหลังอบเท่ากับ 18.18% มาตรฐานเปียก เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ใช้อบเห็ดหลินจือที่

อุณหภูมิ 60ºC เวลา 7 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่ามีค่าเท่ากับ 8.20 ± 0.05 g/100 g ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยกว่าอบแห้งเห็ดนางฟ้า อาจเนื่องมาจากเห็ดนางฟ้ามีความชื้นเริ่มต้นที่มากกว่าเห็ดหลินจือ จึงทำให้ปริมาณน้ำในเห็ดระเหยได้น้อยกว่า อีกทั้งคุณภาพและคุณสมบัติของเตาอบต่างชนิดกันมีผลต่อค่าความชื้นที่ต่างกัน งานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวิชญาพรและคณะ (2558) ได้ศึกษาการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 50 60 และ 70ºC พบว่าเมื่อใช้เวลาอบแห้งระหว่าง 150 – 230 นาที ปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4% ผลการทดลองแสดงว่าอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลของลมร้อนมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของเห็ด นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิและอัตราการไหลของลมร้อนสูงขึ้นมีผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับข้อมูลการอบแห้งเห็ดหลินจือของฐานเรียนรู้การผลิตเห็ดเศรษฐกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้ทำการอบเห็ดหลินจือที่อุณหภูมิ 67 – 70ºC เป็นเวลา 6 – 8 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงอุณหภูมินี้จะทำให้น้ำมันในเนื้อเยื่อของเห็ดหลินจืออบแห้งมีการแตกตัวและทำให้มีกลิ่นหอมมากขึ้นอีกด้วย (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ม.ป.ป.)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย 5 การทดลองด้วยการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและเวลา โดยข้อมูลในการศึกษาได้แก่ปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ทั้งหมด (CFU/g) ปริมาณความชื้น (g/100 g) ค่า a_w และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบ (g) ของเห็ดหลินจืออบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 และ 80ºC เวลา 4 5 6 7 และ 8 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบมากขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยลดลงทุกตัวอย่าง และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทั้ง 5 การทดลอง พบว่า อุณหภูมิแต่ละระดับที่ทำการอบด้วยระยะเวลาที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) ปริมาณความชื้น และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้งแตกต่างกัน แต่อุณหภูมิแต่ละระดับที่ทำการอบด้วยระยะเวลาที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่า a_w ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบเห็ดหลินจือ คือ อุณหภูมิ 70ºC เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพราะทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์) ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าน้ำหนักแห้งหลังอบของเห็ดหลินจืออบแห้ง มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย $2.70 \times 10^3 \pm 0.15$ CFU/g $1.20 \times 10^2 \pm 0.05$ CFU/g 7.30 ± 0.04 g/100 g 0.78 ± 0.01 และ 32.18 ± 0.03 g ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) และอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558) จะต้องมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^5 CFU/g ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1,000 CFU/g และปริมาณความชื้น (g/100 g) มีค่าน้อยกว่า 12 g/100 g โดยเห็ดหลินจือที่อบที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ประหยัดพลังงานและเวลาในการอบแห้งอีกด้วย และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราและยีสต์ไม่สามารถสรุปได้ว่ามีความน่าเชื่อถือในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ควรทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยสถิตินอนพาราเมตริก (non-parametric test)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund: FF) ประจำปีงบประมาณ 2566 ซึ่งโครงการวิจัยนี้อยู่ภายใต้แผนงานการวิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและมูลค่าสินค้าทางการเกษตร อาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2560). เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร. แหล่งข้อมูล: http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/micro-ISBN60.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 19 เมษายน 2567.

จันจิรา อินทร์จันทร์. (2545). การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโมดุล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. 62 หน้า.

นพมาศ สุนทรเจริญนนท์. (2552). รายงานการวิจัยการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสปอร์เห็ดหลินจือ (Chemical qualitative analysis of lingzhi spores). ใน: รายงานชุดโครงการวิจัยเห็ดหลินจือและสปอร์เห็ดหลินจือในประเทศไทย.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์. (2545). หลักการถนอมอาหาร: การถนอมอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. 9 - 21.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). Water activity / แอคติวิตีของน้ำ. แหล่งข้อมูล: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity-แอคติวิตี้ของน้ำ. ค้นเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2567.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (ม.ป.ป.). การเพาะเห็ดหลินจือ. ฐานเรียนรู้การผลิตเห็ดเศรษฐกิจ, สาขาพืชผัก, คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 12 หน้า.

วิชญาพร เรืองธุระกิจ, ณปภัช พัฒนะถาวร และชยากร วงค์ภัคดี. (2558). การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยลมร้อน. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 222 หน้า.

วิชมณี ยืนยงพุทธกา, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, ปณิดา ชัยปัน และต่อลาภ ศรีเมือง. (2560). ผลของอุณหภูมิและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเห็ดเข็มทองผงที่ผลิตจากส่วนที่ไม่นิยมบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(6): 1001 - 1014.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร. (2549). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร: ผักและผลไม้อบแห้ง (มาตรฐาน มอ. 1234-2549). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร.

AOAC International. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. Association of Analytical Communities.

❑❑❑❑❑