นิพนธ์ต้นฉบับ

การศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย เห็ดหอมและเห็ดฟาง และการสูญเสียฟีนอลิกรวมเมื่อผ่านกระบวนการต้ม

ณลิตา ไพบูลย์[1] มาลินี ธานี[2*] บัณฑิต พรหมรักษา[3] วัชรินทร์ ลอยลม[3] ศิริลักษณ์ ชุมเขียว[4,5] มัณฑนา แจ่มกลาง[5] วาสนา เป็นเครือ[5] และ ชมพูนุท วังบุญ[5]

[1]สาขาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ วิทยาลัยนครราชสีมา

[2]ภาคพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[3]ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[4]ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ด้านเทคโนโลยีจุลินทรีย์เพื่ออุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[5]สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*ผู้นิพนธ์ที่ให้การติดต่อ E-mail: thaneemali@gmail.com

Received date: September 2, 2020; Revised date: September 28, 2020; Accepted date: May 2, 2021

บทคัดย่อ

เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย (*Dictyophora* spp.) เป็นเห็ดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีรายงานการพบกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด และมีไรโบฟลาวินสูง อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์จีน ขณะที่ประเทศไทยมีรายงานการพบและการเพาะเลี้ยงเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยบางชนิดเพื่อการบริโภค แต่รายงานการศึกษาเกี่ยวกับเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย รวมไปถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์หรือคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยกับเห็ดชนิดอื่นมีน้อยมาก นอกจากนี้การบริโภคเห็ดจะต้องปรุงสุก ซึ่งการผ่านความร้อนด้วยการต้มทำให้เห็ดสูญเสียสารฟีนอลิกจำนวนหนึ่ง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยเทียบกับเห็ดหอมและเห็ดฟาง และผลของการต้มของเห็ดแต่ละชนิด รวมถึงระยะเวลาในการต้มที่แตกต่างกัน 5 10 และ 30 นาที ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ผลการศึกษาพบว่า เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีค่าเฉลี่ยของสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 173 µg GAE/g ซึ่งต่ำกว่าเห็ดฟาง (1,358 µg GAE/g) และเห็ดหอม (516 µg GAE/g) อย่างไรก็ตามในการนำมาปรุงด้วยการต้มพบเห็ดฟางและเห็ดหอมเกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย โดยเห็ดหอมสูญเสียมากที่สุดและต่ำที่สุดในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย ที่น่าสนใจคือ เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยเมื่อต้มในเวลาที่เหมาะสมช่วยเพิ่มสารฟีนอลิกรวม เห็ดทั้งสามชนิดมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงเหมาะที่จะพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ : เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย, สารประกอบฟีนอลิกรวม, การต้ม

Original Article

The study of total phenolic acid of *Dictyophora* spp., *Lentinula edodes*, *Volvariella volvacea* and their phenolic loss after boiling process

Nalita Phaiboon[1] Malinee Thanee[2*] Bundit Promraksa[3] Watcharin Loilome[3] Sirilak Chumkiew[4,5] Mantana Jamklang[5] Watsana Penkhrue[5] and Chompunoot Wangboon[5]

[1]Healthy and Beauty Product, Faculty of Medical Science, Nakhonratchasima College, Nakhon Ratchasima, Thailand.

[2]Department of Pathology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

[3]Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

[4]CoE in Microbial Technology for Agricultural Industry, Suranaree University of Technology

[5]Institute of Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

*Corresponding Author E-mail: thaneemali@gmail.com

Abstract

Dictyophora spp. or bamboo mushroom found in many parts of Thailand is a good source of nutrients containing the 20 amino acids with high riboflavin. However, there are only a few studies on functional and bioactive properties of the Thai strain of bamboo mushroom. Most studies focused on *Dictyophora indusiata* which is mostly found in China. In general, the preparation of food from mushrooms requires boiling process leading to the loss of total phenolic acid which is a good source antioxidant compound. Therefore, this study aimed to evaluate the total phenolic compound of three kinds of mushroom including *Dictyophora sp.* (Thai strain), *Lentinula edodes,* and *Volvariella volvacea* for total phenolic compound alteration before boiling and after boiling at 5, 10 and 30 minutes. Our result demonstrates that the average of total phenolic compound in *Dictyophora indusiata* was 173 µg GAE/g, which is less than *Volvariella volvacea* (1358 µg GAE/g) and *Lentinula edodes* (516 µg GAE/g). However, the result shows the boiling process reduced total phenolic acid in of *Lentinula edodes* and *Volvariella volvacea* more than *Dictyophora* sp. (Thai strain). Interestingly, this study reveals that a proper boiling time increased the total phenolic compound for *Dictyophora* sp. (Thai strain). Taken together, our findings demonstrate three types of mushrooms contain high total phenolic compound which is beneficially to develop health supplement products.

Keywords: *Dictyophora* spp., total phenolic compound, boiling

บทนำ

สารอนุมูลอิสระ (Free radicals) เป็นสาเหตุของการทำลายสารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ร่างกายมนุษย์ ทั้งดีเอ็นเอ โปรตีน ลิพิด ก่อให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ที่เป็นสาเหตุของโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคไต โรคมะเร็งและโรคเบาหวาน[1] โดยทั่วไปสารอนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการทำงานของเซลล์ รวมไปถึงสาเหตุอื่น ๆ ที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่เป็นปัจจัยกระตุ้น เช่น ความเครียด รังสีอัลตราไวโอเลต มลพิษทางอากาศ การสูบบุหรี่ การบริโภคอาหารที่มีไขมันสูง การดื่มแอลกอฮอล์ และการอักเสบจากการติดเชื้อ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ร่างกายดำเนินชีวิตได้เป็นปกติและมีสุขภาวะที่ดีควรหลีกเลี่ยงพฤติกรรมดังกล่าว ควรบริโภคอาหารในสัดส่วนโภชนาการอาหาร (My Plate) ที่เหมาะสมตามที่กระทรวงเกษตรของสหรัฐแนะนำที่ได้ให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารกว่าครึ่งในแต่ละมื้อควรได้รับจากแหล่งของผักและผลไม้ ซึ่งมีองค์ประกอบของสารฟีนอลิก (phenolics) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี

มนุษย์บริโภคเห็ดเพื่อเป็นอาหาร รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากเห็ดหลายชนิดเพื่อเป็นยาในการรักษาอาการผิดปกติต่าง ๆ ของร่างกาย มีการศึกษาคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเห็ดหลายชนิด อาทิ เห็ดถั่วฝรั่ง (*Coprinus comatus*) เห็ดกระดุม (*Agaricus bisporous*) เห็ดกระดุมบราซิล (*Agaricus brasiliensis*) เห็ดหอม *(Lentinus edodes*) และเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) เห็ดออรินจิ (*Pleurotus eryngii*) เห็ดหูหนูดำ (*Auricularia polytricha*) เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju*) และเห็ดหอม *(Lentinus edodes*) เป็นต้น[2-5] และพบว่าเห็ดเหล่านี้ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวม การค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเห็ด อย่างไรก็ตามในการรับประทานเห็ดมักจะนำไปประกอบอาหารด้วยการต้ม นึ่ง ย่าง หรือทอด งานวิจัยก่อนหน้าพบว่า การนำเห็ดมาประกอบอาหารด้วยความร้อน เช่น การต้ม การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ หรือการนึ่งส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในผัก[6] และเห็ดชนิดต่าง ๆ[3,7,8]

เห็ดเยื่อไผ่/เห็ดร่างแห (*Dictyophora* spp., Bamboo mushroom/stinkhorn) เป็นเห็ดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง พบกรดอะมิโนที่หลากหลายชนิดและมีไรโบฟลาวิน (Riboflavin) ค่อนข้างสูง[9] นอกจากนี้ยังพบโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide)[10] และสาร *Dictyophorine* A, B และ C[11] เป็นสารที่พบได้ยากในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น สารนี้เป็นสารที่ช่วยในการปกป้องเซลล์ประสาทไม่ให้ถูกทำลายจากสารพิษและสามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์ประสาทและเซลล์สมองได้[11-14] ที่สำคัญเห็ดเยื่อไผ่ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านการอักเสบ[15,16] อย่างไรก็ตามในการศึกษาที่ผ่านมามักจะมีรายงานผลการวิจัยในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์จีน ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงและส่งออกมูลค่าสูง จำนวน 2 สายพันธุ์คือ *Dictyophora indusiata* Fishch และ *D. echinovolvata* Zang ขณะที่ในประเทศไทยมีรายงานการพบเห็ดชนิดนี้ถึง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ เห็ดเยื่อไผ่กระโปรงยาวสีขาว (*D. indusiata* Fisch.) เห็ดเยื่อไผ่กระโปรงสั้นสีขาว (*D. duplicate* Fisch.) เห็ดเยื่อไผ่กระโปรงสีส้ม (*D. multicolor* (Berk) *Broome var. lacticolor* Reid) เห็ดเยื่อไผ่กระโปรงสีแดง (*D. rubrovolvata* Zang) และ เห็ดร่างแหกระโปรงสีเหลือง (*D. multicolor* Fisch.) แต่เนื่องจากมีข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยคือ เห็ดเยื่อไผ่กระโปรงสั้นสีขาว (*D. duplicate* Fisch.) น้อยมากจึงทำให้เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์หรือสนับสนุนการเพาะเลี้ยงอย่างแพร่หลายนัก ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยเปรียบเทียบกับเห็ดหอมและเห็ด

ฟางที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดและมีราคาถูก ตลอดจนตรวจสอบผลของการต้มในระยะเวลาที่แตกต่างกันต่อปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ดแต่ละชนิด โดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย (*Dictyophora* spp.) กับเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) และเห็ดหอม (*Lentinus edodes*)
2. เพื่อศึกษาผลของการต้มในระยะเวลาแตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกรวมเห็ดแต่ละชนิด

ระเบียบวิธีการศึกษา

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย *(D. duplicate* Fisch) ถูกซื้อจากศูนย์เพาะเห็ดทฤษฎีใหม่ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร ส่วนเห็ดหอมและเห็ดฟางถูกซื้อมาจากตลาดสระครก ตำบลจอหอ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2563 ลักษณะดังภาพที่ 1

การเตรียมตัวอย่างเห็ด

เห็ดทั้งสามชนิดถูกล้างทำความสะอาด แล้วจึงแบ่งเห็ดออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มเห็ดสด เป็นเห็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการต้ม กลุ่มที่ 2 กลุ่มเห็ดต้ม 5 นาที เป็นเห็ดที่ผ่านกระบวนการต้ม 90 องศาเซลเซียส (°C) นาน 5 นาที กลุ่มที่ 3 กลุ่มเห็ดต้ม 10 นาที เป็นเห็ดที่ผ่านกระบวนการต้ม 90 °C นาน 10 นาที และกลุ่มที่ 4 กลุ่มเห็ดต้ม 30 นาที เป็นเห็ดที่ผ่านกระบวนการต้ม 90 °C นาน 30 นาที

เห็ดกลุ่มที่ 1 จะถูกนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven; ยี่ห้อ Memmert รุ่น D91107 Schwabach, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงส่วนเห็ดกลุ่มที่ 2 3 และ 4 จะถูกนำมาผ่านกระบวนการต้ม ณ อุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 5 10 และ 30 นาที ตามลำดับ ก่อนนำไปอบแห้งที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

การสกัดสารจากเห็ด

เห็ดเยื่อไผ่ เห็ดหอม และเห็ดฟาง ทั้ง 4 กลุ่มนำมาตากให้แห้งเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำสมุนไพรแต่ละชนิดบดเป็นผงด้วยเครื่องบด ชั่งสมุนไพรที่บดแต่ละชนิดใส่ในขวดแก้ว เติม 95% เอทานอลโดยใช้อัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายเป็น 1:10 หมักไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 นำสารสกัดที่ได้ไประเหยด้วย rotary evaporator และเก็บสารสกัดที่ได้ในภาชนะที่ป้องกันแสงที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ในการเตรียมสารสกัดที่จะใช้ในการวิจัยจะละลายสารสกัดในตัวทำละลายที่เหมาะสมให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) เก็บสารสกัดไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ร้อยละผลผลิต = (น้ำหนักหลังสกัด/น้ำหนักผงสมุนไพร) × 100

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยวิธี Folin-ciocalteu

สารสกัดของเห็ดทั้ง 3 ชนิดปริมาตร 20 µL ใส่ลงในหลอดทดลอง และเติม 10% Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 100 µL ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 300 µL แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นหลอดละ 3 mL และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตมิเตอร์ (Drawell Artist of Science รุ่น DU8200 Shanghai) โดยการคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเห็ดด้วยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน gallic acid ที่ความเข้มข้น 200-1,000 µg/mL และรายงานผลเป็นค่า gallic acid equivalent (GAE) ต่อมิลลิกรัมของน้ำหนักแห้ง (µg GAE/g)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay

การทดสอบนี้จะใช้วิธีดัดแปลงของ Benzie (1996) [17] โดยเตรียมน้ำยา FRAP จากการผสมสารละลายดังต่อไปนี้ 300 mM sodium acetate buffer pH 3.6, 10 mM 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ที่ละลายด้วย 40 mM HCl และ 20 mM $FeCl_3 \bullet 6H_2O$ ในอัตราส่วน 10:1:1 และสารสกัดหยาบนั้นจะทำการละลายด้วย DI ก่อนทำการทดสอบ

การทดสอบจะเติมน้ำยา FRAP ปริมาตร 1 mL ลงในสารสกัดหยาบปริมาตร 1 mL เขย่าหลอดทดลองให้เข้ากันด้วย vortex mixer จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ก่อนจะนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 590 นาโนเมตร การหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจะใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน และรายงานผลเป็นค่า µg GAE/g

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1, 1-diphenyl-2- picrylhydrazyl) (DPPH) radical scavenging assay

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ได้ดัดแปลงวิธีการทดสอบของ Yen และ Chen ปี 1995 ซึ่งจะเติม 80 µL ของสารสกัดหยาบและกรดแกลลิก (2-30 µg/mL) เป็นสารมาตรฐานใน 96 well plate จากนั้นจึงเติมสาร 100 mM DPPH reagent ปริมาตร 120 µL แล้วจึงผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง microplate reader (Tecan, Switzerland) ที่ 540 นาโนเมตรแล้วนำค่าการดูดกลืนแสดงที่ได้มาคำนวณหาร้อยละในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ (%inhibition) ดังสมการ

$$\%DPPH^{\cdot}\ inhibition = [(A0-A1)/A0] \times 100$$

โดยที่ A0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร DPPH reagent ของกลุ่มควบคุมที่ถูกเติมน้ำกลั่น

A1 = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร DPPH reagent ที่เติมสารสกัดหรือสารมาตรฐาน gallic acid

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและแสดงผลค่า mean ± SD ในการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างสามกลุ่ม การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA แบบ Tukey's multiple comparisons test ค่า $p<0.05$ ถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มด้วยสถิติ Independent *t*-test ค่า $p<0.05$ ถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 19

ผลการศึกษา

ผลร้อยละของผลผลิตที่ได้จากสารสกัดเห็ดแต่ละชนิด ได้แก่ เห็ดเยื่อไผ่ เห็ดหอม เห็ดฟาง ซึ่งมีลักษณะข้นหนืดและมีสีตามชนิดของเห็ด ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของสารสกัดเห็ดเห็ดเยื่อไผ่ เห็ดหอม และเห็ดฟาง พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 13.84 17.7 และ 13.15 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการทดลองในตารางที่ 2 และรูปที่ 2ก พบว่า เห็ดฟางมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดจากวิธี FRAP assay คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.86 µg GAE/g ซึ่งใกล้เคียงกับเห็ดหอมที่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.23 µg GAE/g และเห็ดที่มีปริมาณรวมของสารประกอบฟีนอลิกต่ำที่สุดคือ เห็ดเยื่อไผ่ มีค่าเท่ากับ 8.20 µg GAE/g นอกจากนี้ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ที่ได้จากการคำนวนเป็นค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% (IC50) โดยพบว่าเห็ดฟางมีค่า IC50 เท่ากับ 454.29 µg/mL รองลงมาเป็นเห็ดหอมและเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีค่า IC50 เท่ากับ 311.84 และ 277.74 µg/mL ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันคือ 200 µg/mL จะพบว่าเห็ดทั้งสามชนิดมีค่าร้อยละในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ เท่ากับ 69.28 62.59 และ 57.68 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน gallic acid ที่ความเข้มข้นเดียวกันมีค่าในการยับยั้งเท่ากับร้อยละ 23.81 (รูปที่ 2ข) การตรวจวัดอนุมูลอิสระทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87 ($p<0.05$)

ผลการทดลองในตารางที่ 3 และรูปที่ 2ค พบว่า เห็ดที่มีปริมาณของฟีนอลิกรวมสูงที่สุดคือ เห็ดฟาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,358 µg GAE/g อันดับที่สองคือ เห็ดหอม มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 516 µg GAE/g และเห็ดที่มีปริมาณรวมของสารประกอบฟีนอลิกต่ำที่สุดคือ เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย มีค่าเท่ากับ 173 µg GAE/g

เมื่อผ่านกระบวนการต้มเห็ดทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกรวมในรูปแบบที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่แตกต่างกันและชนิดของเห็ด จากตารางที่ 4 และรูปที่ 3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกรวม ในเห็ดหอมเมื่อนำมาผ่านกระบวนการต้มที่เวลาที่แตกต่างกัน 0 5 10 30 นาที เท่ากับ 516.3 213.1 153.3 131.3 µg GAE/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกรวมระหว่างเห็ดหอมที่ต้มเป็นเวลา 5 10 30 นาทีกับเห็ดหอมสดพบว่ามีค่าฟีนอลิกรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า *p*-value เท่ากับ 0.025 0.023 และ 0.017 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการลดลงของปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดหอมในระยะเวลาการต้มที่แตกต่างกันในกระบวนการต้มพบว่า เห็ดหอมที่ผ่านกระบวนการต้มนาน 30 นาทีมีการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุดเท่ากับ 74.58% ขณะที่รองลงมาคือการต้มระยะเวลา 10 นาทีเท่ากับ 70.30% และน้อยที่สุดคือ ระยะเวลาต้ม 5 นาทีเท่ากับ 58.72%

นอกจากนี้พบว่าเห็ดฟางมีแนวโน้มที่จะมีการสูญเสียฟีนอลิกหรือมีค่าฟีนอลิกรวมลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ เห็ดฟางเมื่อนำมาผ่านกระบวนการต้มที่เวลาที่แตกต่างกัน 0 5 10 และ 30 นาที เท่ากับ 1,358.3 317.5 429.2 และ 440.0 µg GAE/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกรวมระหว่างเห็ดฟางที่ต้ม 5 10 30 นาทีกับเห็ดฟางที่ไม่ผ่านการต้มพบว่ามีค่าฟีนอลิกรวมลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาการลดลงของปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดฟางในระยะเวลาการต้มที่แตกต่างกันในกระบวนการต้มพบว่า เห็ดฟางที่ต้มระยะเวลา 5 นาทีมีการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุดเท่ากับ 76.63% รองลงมาคือการต้มระยะเวลา 10 นาทีเท่ากับ 68.40% และน้อยที่สุดคือ ระยะเวลาต้ม 30 นาที เท่ากับ 67.61%

สิ่งที่น่าสนใจคือเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยหลังจากผ่านกระบวนการต้มระยะเวลานาน 30 นาที มีปริมาณฟีนอลิกรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเห็ดสดปริมาณ 172.5 µg GAE/g เป็น 196.7 µg GAE/g (*p*-value = 0.766) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยเมื่อนำมาผ่านกระบวนการต้มที่เวลา 5 และ 10 นาที มีค่าฟีนอลิกลดลงเท่ากับ 58.3 และ 49.2 µg GAE/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกรวมระหว่างเห็ดที่ต้มกับเห็ดที่ไม่ต้มพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกรวมลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ *p*-value = 0.084 และ 0.064 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกรวมที่ลดลงของเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยในระยะเวลาการต้มที่แตกต่างกันในกระบวนการต้มพบว่า เห็ดฟางที่ต้มระยะเวลา 10 นาทีมีการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด คือ 71.50% รองลงมาคือการต้มระยะเวลา 5 นาทีเท่ากับ 66.14% และระยะเวลาต้ม 30 นาทีไม่พบการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกรวม

อภิปรายผล

การศึกษานี้พบว่าเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดเยื่อไผ่ มีสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ ที่เป็นเหตุของความเสื่อมของเซลล์และต้นเหตุของโรคต่างๆ ในมนุษย์ การศึกษาก่อนหน้าเกี่ยวกับคุณค่าทางอาหารและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของเห็ดป่าบริโภคได้จากภาคเหนือพบเห็ด 7 ชนิดได้แก่ เห็ดหล่มขาว (*Russula delica* Fr.; 17.91 mg GAE/g) เห็ดโคน (*Termitomyces* spp.; 12.15 mg GAE/g) เห็ดไข่ห่านเหลือง (*Amanita calyptroderma* Ark et Bal.; 8.11 mg GAE/g) เห็ดไข่ห่านขาว (*Amanita princeps* Corner et Bas.; 7.64 mg GAE/g) เห็ดแดง (6.14 mg GAE/g) เห็ดห้า (19.81 mg GAE/g) และเห็ดเผาะ (20.63 mg GAE/g) มีเห็ดถึง 6 ชนิดที่มีสารฟีนอลลิครวมมากกว่าเห็ดหอม (6.97 mg GAE/g) [4] กล่าวได้ว่าการรับประทานเห็ดที่มีสารฟีนอลิกสูงจะช่วยป้องกันโรคที่เกิดจากสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าการไม่รับประทานเห็ดใด ๆ เลย

เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย (*Dictyophora* spp.) เป็นหนึ่งในเห็ดที่ตรวจพบสารฟีนอลิกจากผลการศึกษานี้ รวมถึงการศึกษานี้ยังเป็นการศึกษาแรกที่รายงานผลการตรวจสอบปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย โดยเปรียบเทียบกับเห็ดทั่วไปที่มีจำหน่ายในราคาปานกลาง เช่น เห็ดหอมและเห็ดฟาง ถึงแม้ว่าเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยกว่าเห็ดฟางและเห็ดหอม แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การบริโภคเห็ดโดยทั่วไปมักจะนำเห็ดมาประกอบอาหารด้วยการใช้ความร้อน เช่น การต้ม การนึ่ง หรือการทอด ซึ่งส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับวิธีการและชนิดของเห็ด ดังรายงานการศึกษาก่อนหน้า เห็ดตับเต่า *Boletus* spp. 4 สายพันธุ์ คือ *B. aereus, B. badius, B. edulis* และ *B. pinophilus* พบว่าเมื่อนำเห็ดมานึ่งโดยใช้หม้อแรงดันสูง ใช้ไมโครเวฟ ทอด หรือต้ม เห็ดทั้ง 4 สายพันธุ์สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกรวมไป โดยวิธีประกอบอาหารที่ทำให้สูญเสียปริมาณฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดคือ ไมโครเวฟ ยกเว้นสายพันธุ์ *B. pinophilus* ที่สูญเสียฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดโดยการใช้การนึ่งและการทอด [8] และการศึกษานี้ได้ทดสอบผลของความร้อนต่อสารประกอบฟีนอลิกรวมและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย เห็ดหอมและเห็ดฟาง พบว่าหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยการต้มในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยก่อนและหลังผ่านกระบวนการต้มพบว่า เห็ดทุกชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมลดลงหลังจากการต้มในระยะเวลา 5 และ 10 นาที แต่อย่างไรก็ตามในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยกลับมีแนวโน้มที่จะมีสารประกอบฟีนอลิกรวมที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนการต้มระยะเวลา 30 นาที แสดงให้เห็นว่าความร้อนและระยะเวลาในการต้มมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟี

นอลิกรวม ในเห็ดหอมและเห็ดฟางผลการเปรียบเทียบปริมาณ ฟีนอลิกรวมที่ผ่านกระบวนการต้ม 5 10 และ 30 นาทีมีค่าฟีนอลิกรวมลดลงตามระยะเวลาการต้มที่เพิ่มขึ้น และเห็ดหอมเป็นเห็ดชนิดเดียวที่มีปริมาณฟีนอลิกรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าในเห็ดออรินจิ เห็ดนางฟ้า เห็ดหอม และเห็ดหูหนูดำที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการต้ม โดยพบว่าการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเห็ดหอมก่อนผ่านกระบวนการต้มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด แต่หลังจากผ่านกระบวนการต้ม เห็ดออรินจิ กลับมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไปน้อยกว่าเห็ดชนิดอื่นๆ [5] เช่นเดียวกับเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยในการศึกษานี้

เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยหลังจากผ่านกระบวนการต้มระยะเวลานาน 30 นาทีค่าฟีนอลิกรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเห็ดสด คือ 172.5 µg GAE /g เป็น 196.7 µg GAE/g จากงานวิจัยก่อนหน้ามีการศึกษาวิธีการประกอบอาหารที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในเห็ด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ เห็ดกระดุม/เห็ดแชมปิญอง (*Agaricus bisporus*) เห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes)* เห็ดหอม/เห็ดชิตาเกะ (*Lentinula edodes*) เห็ดเป๋าฮื้อ (*Pleurotus* abalonus) เห็ดนางรม (*Pleurotus eryngii)* ในวิธีการประกอบอาหารด้วยการต้ม การใช้ไมโครเวฟ การนึ่งและการใช้หม้อนึ่งความดันสูง (pressure cooker) ผลพบว่าการนึ่งนาน 3 นาทีช่วยเพิ่มสารฟลาโวนอยรวม และการใช้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดันสูงนาน 15 นาทีสามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ โดย*เห็ด*นางรมเป็นเห็ดที่ยังคงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระรวมดีที่สุดหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการต่างๆ [3]

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า เห็ดทั้งสามชนิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เห็ดที่มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ เห็ดฟาง รองลงมาคือเห็ดหอม และเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ต่ำที่สุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีปริมาณฟีนอลิกรวมเมื่อเทียบกับเห็ดหอมและเห็ดฟางไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเห็ดทั้งสามมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูง โดยเห็ดที่มีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุดคือ เห็ดฟาง รองลงมาคือเห็ดหอม และสารประกอบฟีนอลิกที่ต่ำสุดคือ เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย ในเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยที่ต้มเป็นระยะเวลานาน (30 นาที) ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกรวมที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ในการสกัดนำไปใช้งานของเห็ดฟางและเห็ดหอมควรใช้เห็ดสดมากกว่าเห็ดที่ผ่านกระบวนการต้ม ส่วนเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยควรนำมาสกัดด้วยการต้มนานมากกว่า 30 นาทีก่อน ซึ่งเห็ดทั้งสามอาจสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ เพื่อเสริมภูมิคุ้มกันต่อไป ทั้งนี้อาจมีการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อจุลชีพ รวมถึงฤทธิ์การต้านเซลล์มะเร็งต่อไปในอนาคต

บทสรุป

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การศึกษาครั้งนี้พบเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทยมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการต้มเป็นระยะเวลานาน (30 นาที) ดังนั้น ก่อนการนำมาบริโภคควรนำมาต้มประมาณ 30 นาที เพื่อให้ได้สารฟีนอลิกมากขึ้น ซึ่งจะสามารถช่วยในการต้านทานสารอนุมูลอิสระมากขึ้น ส่วนเห็ดชนิดอื่น ได้แก่เห็ดฟางและเห็ดหอมไม่ควรต้มนานมาก ควรต้มแค่พอสุกเนื่องจากจะมีการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกรวมมากขึ้นในระยะเวลาที่นานขึ้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ตัวอย่างเห็ด 3 ชนิด และเห็ดทั้งสามมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงควรศึกษาผลกระทบของการต้มต่อสารประกอบอื่นที่อยู่ในเห็ด และมีการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อจุลชีพ รวมถึงฤทธิ์การต้านเซลล์มะเร็ง ซึ่งจะสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ หรือผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เพื่อเป็นทางเลือกในการป้องกันและรักษาโรคได้

ตาราง ภาพ และแผนภาพ

ตารางที่ 1 ร้อยละผลผลิตของสารสกัดสมุนไพร

สมุนไพรที่ใช้	ลักษณะของสารสกัด	ร้อยละผลผลิต (%w/w)
เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย	สารสีน้ำตาลเข้มข้นหนืด	13.84
เห็ดหอม	สารสีน้ำตาลอ่อนข้นหนืดเล็กน้อย	17.7
เห็ดฟาง	สารสีน้ำตาลข้นหนืด	13.15

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ของสารสกัดจากเห็ดแต่ละชนิด

ตัวอย่างที่	ชนิดของเห็ด	วิธี FRAP assay (µg GAE/g)		*p*-value	IC50 ของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (µg/mL)		*p*-value
		mean	± SD		mean	± SD	
1	เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย	8.20	0.60	0.060	454.29	44.27	0.001
2	เห็ดหอม	11.23	0.57		311.84	18.76	
3	เห็ดฟาง	11.86	2.58		277.74	17.26	

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากเห็ดด้วยสารเอทานอลบริสุทธิ์

ตัวอย่างที่	ชนิดของเห็ด	mean	± SD	*p*-value
1	เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย	173	77 µg GAE/g	0.368
2	เห็ดหอม	516	142 µg GAE/g	
3	เห็ดฟาง	1,358	654 µg GAE/g	

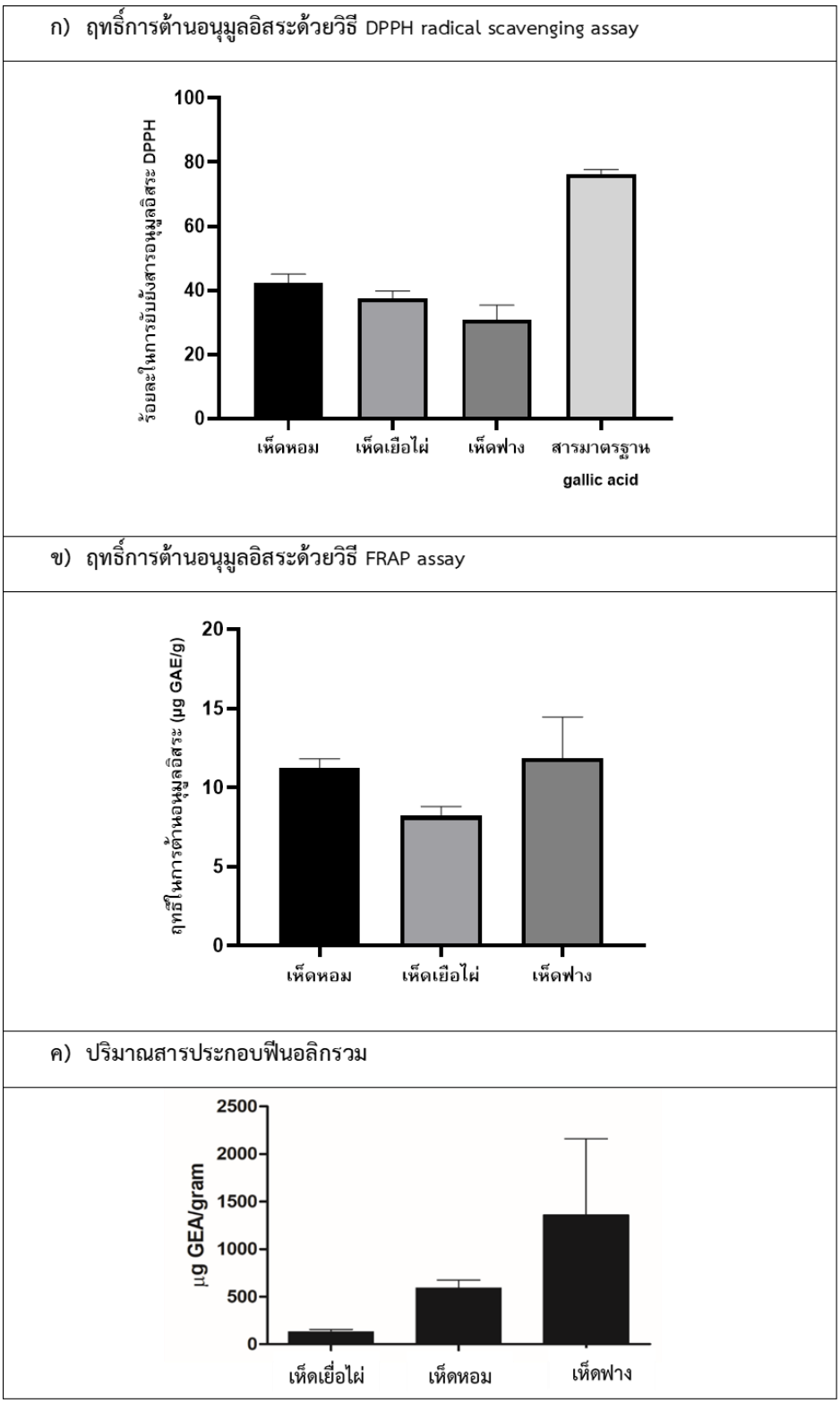
ตารางที่ 4 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของสารประกอบฟีนอลิกในการต้มเห็ดที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชนิดของเห็ด	ระยะเวลาในการต้มเห็ด	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (µg GAE/g)	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของสารประกอบฟีนอลิก (%)	*p*-value
เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย	เห็ดสด	172.5	0	0	-
	ต้ม 5 นาที	58.3	114.2	66.18	0.084
	ต้ม 10 นาที	49.2	123.3	71.50	0.064
	ต้ม 30 นาที	196.7	-24.2	-14.01	0.766
เห็ดหอม	เห็ดสด	516.3	0	0	-
	ต้ม 5 นาที	213.1	303.1	58.72	0.025*
	ต้ม 10 นาที	153.3	362.9	70.30	0.023*
	ต้ม 30 นาที	131.3	385.0	74.58	0.017*
เห็ดฟาง	เห็ดสด	1358.3	0	0	-
	ต้ม 5 นาที	317.5	1040.8	76.63	0.152
	ต้ม 10 นาที	429.2	929.2	68.40	0.182
	ต้ม 30 นาที	440.0	918.3	67.61	0.180

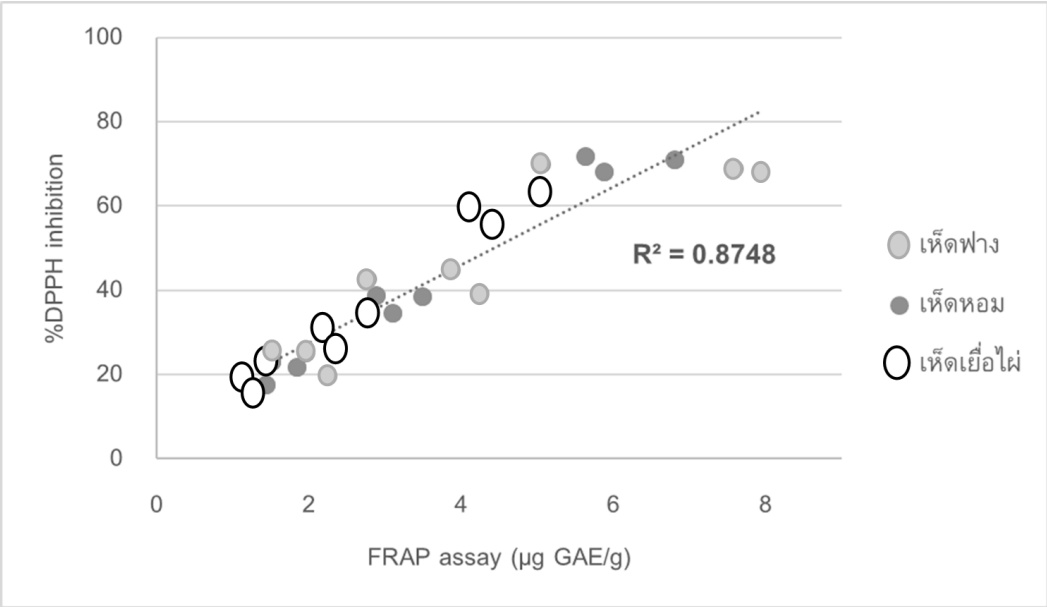
*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ $p<0.05$

ก) เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย ข. เห็ดหอม ค.) เห็ดฟาง

รูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายเห็ดชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ก) เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย ข) เห็ดหอม ค) เห็ดฟาง

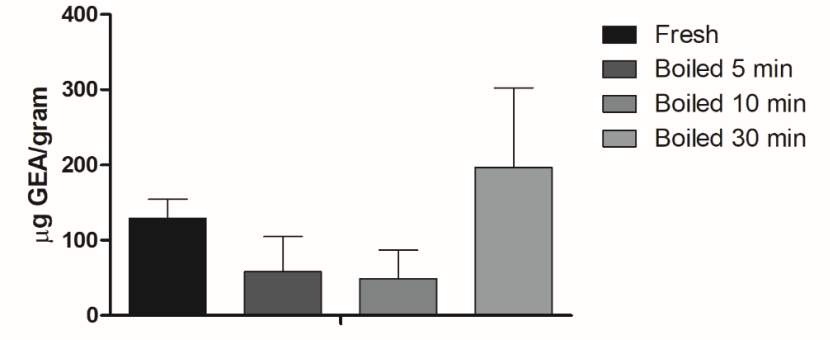


รูปที่ 2 การเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระด้วยวิธี ก) DPPH radical scavenging assay ข) FRAP assay ค) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดด้วยสารเอทานอลบริสุทธิ์จากเห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย และเห็ดฟางกับเห็ดหอม

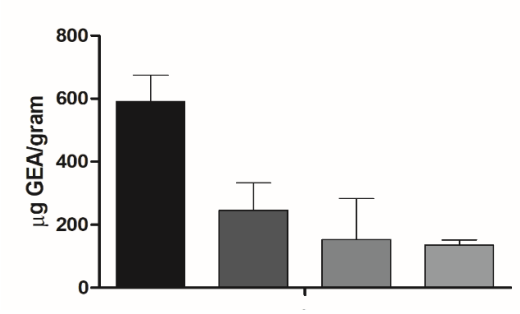


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระทั้งสองวิธี

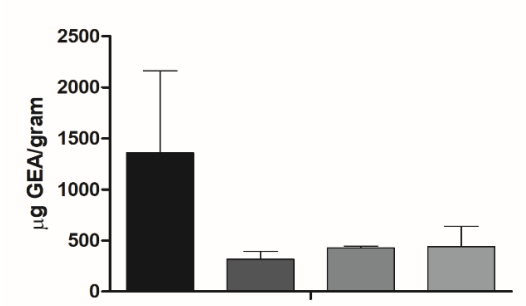
ก) เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย



ข) เห็ดหอม



ค) เห็ดฟาง



รูปที่ 4 แสดงกราฟผลของระยะเวลาในการต้มเห็ดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม
ก) เห็ดเยื่อไผ่สายพันธุ์ไทย ข) เห็ดหอม ค) เห็ดฟาง

เอกสารอ้างอิง

1. Liguori I, Russo G, Curcio F, Bulli G, Aran L, Della-Morte D, Gargiulo G, Testa G, Cacciatore F, Bonaduce D, Abete P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. **Clinical Interventions in Aging**, 13, 757-72.
2. Li B, Lu F, Suo X, Nan H, Li B. (2010). Antioxidant properties of cap and stipe from Coprinus comatus. **Molecules**, 15(3), 1473-86.
3. Ng ZX, Tan WC. (2017). Impact of optimised cooking on the antioxidant activity in edible mushrooms. **Journal of Food Science and Technology**, 54(12), 4100-11.
4. ปาริชาติ บำรุง. (2010). **คุณค่าทางอาหารและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของเห็ดป่าบริโภคได้จากภาคเหนือของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. ภาวดี ช่วยเจริญ, กนกวรรณ นนทะวงษ์, พิชชาพร ดวงจันทร์, กฤษณา แต่งสวน, เวฬุรีย์ ทับทิมหอม, ชมพูนุท สินธุพิบูลยกิจ, จิรวัส ประทุมวัน, ปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ และอิสยา จันทร์วิทยานุชิต. (2015). ผลของการต้มต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเห็ดออรินจิ เห็ดหูหนูดำา เห็ดนางฟ้า และเห็ดหอม. **รายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6กลุ่มระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์**, 1(6), 382-390.
6. Deng G-F, Lin X, Xu X-R, Gao L-L, Xie J-F, Li H-B. (2013). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. **Journal of Functional Foods**, 5(1), 260-66.
7. Alvarez-Parrilla E, de la Rosa LA, Martínez NR, González GAA. (2007). Total Phenols and Antioxidant Activity of Commercial and Wild Mushrooms from Chihuahua, Mexico Fenoles Totalesy Capacidad Antioxidante De Hongos Comercialesy Silvestres De Chihuahua, MÉxico. **Ciencia y Tecnologia Alimentaria**, 5(5), 329-34.
8. Sun L, Bai X, Zhuang Y. (2014). Effect of different cooking methods on total phenolic contents and antioxidant activities of four Boletus mushrooms. **Journal of Food Science and Technology**, 51(11), 3362-8.
9. Ouyang S, Luo Y, Liu M, Fan J, Guo X, Deng F. (1998). [Analysis of amino acids, vitamins and inorganic elements in Dictyophora indusiata]. **Hunan Yi Ke Da Xue Xue Bao**, 23(6), 535-6, 42.
10. Deng C, Fu H, Xu J, Shang J, Cheng Y. (2015). Physiochemical and biological properties of phosphorylated polysaccharides from Dictyophora indusiata. **International Journal of Biological Macromolcules**, 72, 894-9.
11. Lee IK, Yun BS, Han G, Cho DH, Kim YH, Yoo ID. (2002). Dictyoquinazols A, B, and C, new neuroprotective compounds from the mushroom Dictyophora indusiata. **Journal of Natural Products**, 65(12), 1769-72.

12. Habtemariam S. (2019). The Chemistry, Pharmacology and Therapeutic Potential of the Edible Mushroom Dictyophora indusiata (Vent ex. Pers.) Fischer (Synn. Phallus indusiatus). **Biomedicines**, 7(4),
13. Han S, Ma C, Hu M, Wang Y, Ma F, Tao N, Qin Z. (2017). A polysaccharide from Dictyophora indusiata inhibits the immunosuppressive function of cancer-associated fibroblasts. **Cell Biochemistry and Function**, 35(7), 414-19.
14. Kawagishi H, Ishiyama D, Mori H, Sakamoto H, Ishiguro Y, Furukawa S, Li J. (1997). Dictyophorines A and B, two stimulators of NGF-synthesis from the mushroom Dictyophora indusiata. **Phytochemistry**, 45(6), 1203-5.
15. Hara C, Kiho T, Tanaka Y, Ukai S. (1982). Anti-inflammatory activity and conformational behavior of a branched (1 leads to 3)-beta-D-glucan from an alkaline extract of Dictyophora indusiata Fisch. **Carbohydrate Research**, 110(1), 77-87.
16. Wang J, Xu X, Zheng H, Li J, Deng C, Xu Z, Chen J. (2009). Structural characterization, chain conformation, and morphology of a beta-(1-->3)-D-glucan isolated from the fruiting body of Dictyophora indusiata. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57(13), 5918-24.
17. Benzie IF, Strain JJ. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, 239(1), 70-6.