

บทความวิจัย (Research Article)

คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสในหลอดทดลองของสารสกัดจากเห็ดที่บริโภคได้

กชกร โรจนกิจ¹, พรหมงคล กองเพชร², สาธิต ทาสนาม², งามอาจ สารคาม², อรุณย์ คงปั้น² และ คณางค์ รัตนานิคม^{1*}

In-vitro antioxidant and alpha-glucosidase inhibitory activities of edible mushroom extracts

Kodchakorn Rochanakit¹, Pornmongkol Kongpech², Satid Tasanam², Ongart Salakham², Ayut Kongpun² and Khakhanang Ratananikom^{1*}

¹ Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University, Kalasin, 46000

² Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin, 46000

* Correspondence author: khakhanang_r@yahoo.com

Naresuan Phayao J. 2021;14(2):71-82.

Received; 27 November 2020; Revised: 7 April 2021; Accepted: 19 August 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากสารสกัดจากเห็ดที่บริโภคได้จำนวน 12 ชนิด คือ เห็ดตับเต่าดำ, เห็ดฟาง, เห็ดนางรมหลวง, เห็ดเข็มทอง, เห็ดโคน, เห็ดตะไคล, เห็ดขอนขาว, เห็ดนางรม, เห็ดระโงกเหลือง, เห็ดแดงน้ำหมาก, เห็ดตับเต่าหวาน และเห็ดตับเต่าที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ น้ำกลั่น เอทานอล และเอ็กเซน จากการศึกษาพบว่าสารสกัดเห็ดแดงน้ำหมากและเห็ดตับเต่าหวานที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส เท่ากับ $35.87 \pm 2.29\%$ และ $44.37 \pm 0.62\%$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเห็ดยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงอีกด้วย ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเห็ดแดงน้ำหมากและเห็ดตับเต่าหวานมีศักยภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตและปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสสู่การดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ดังนั้นการรับประทานเห็ดเหล่านี้จะมีส่วนช่วยในการช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่ร่างกายและรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ได้

คำสำคัญ: เห็ด, แอลฟาไกลูโคซิเดส, โรคเบาหวาน, การต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อากาศเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

² คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อากาศเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

Abstract

The objective of this study was to investigate the alpha-glucosidase inhibitory activity of mushroom extracts. Twelve edible mushrooms, namely *Phlebopus colossus* (Heim) Singer, *Volvariella volvacea*, *Pleurotus eryngii*, *Flammulina velutipes*, *Termitomyces fuliginosus* Heim, *Russula virescens* Fs., *Lentinus squarrosulus* Mont, *Pleurotus ostreatus*, *Amanita hemibapha* subsp. *Javanica*, *Russula emetica*, *Boletus retisporus* and *Boletus portentosus* were used in this study. Three kinds of solvents were used to prepare the mushroom extracts, namely water, ethanol and hexane. It was found that the aqueous extracts of *R. emetica* and *B. retisporus* showed their alpha-glucosidase inhibitory activities as $35.87 \pm 2.29\%$ and $44.37 \pm 0.62\%$, respectively. In addition, the mushroom extracts owned their antioxidant activities as well as high phenolic compound contents. This study indicated the health benefit of these mushrooms especially *R. emetica* and *B. retisporus* to inhibit the alpha-glucosidase, which is a key enzyme to digest carbohydrates and release glucose into the bloodstream. Therefore, these edible mushrooms may contribute to inhibit the glucose absorption and maintain blood sugar levels.

Keywords: Mushroom, Alpha-glucosidase, Diabetes, Antioxidant, Phenolic content

บทนำ

โรคเบาหวานจัดเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่ถือได้ว่าเป็นปัญหาสาธารณสุขระดับโลก สหพันธ์เบาหวานนานาชาติระบุว่า ในปี พ.ศ.2562 ผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลกมีจำนวนสูงถึง 463 ล้านคน และจะเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 578 ล้านคน ในปี พ.ศ.2573 [1] ซึ่งสอดคล้องกับสถิติผู้ป่วยโรคเบาหวานในประเทศไทยที่ถูกรวบรวมโดยกลุ่มยุทธศาสตร์และงานแผนสำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ระบุว่าจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ.2559, 2560 และ 2561 พบผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วประเทศจำนวน 1,292, 1,344 และ 1,439 คน ตามลำดับ ในสัดส่วนประชากร 100,000 คน และยังมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ.2583 ประเทศไทยจะมีผู้ป่วยเบาหวานสูงถึง 5.3 ล้านคน [2, 3] ด้วยจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานที่สูงขึ้นทุกปีนี้เองที่นำซึ่งการสูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการรักษา พยาบาลและการสูญเสียชีวิตก่อนเวลาอันสมควร สาเหตุของโรคเบาหวานนั้นมาจากการที่ตับอ่อนมีการผลิตฮอร์โมนอินซูลินน้อยลงหรือไม่ผลิตเลย ซึ่งปกติฮอร์โมนอินซูลินจะทำหน้าที่ในการเร่งให้ร่างกายมีการเผาผลาญน้ำตาลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานแก่เซลล์ ดังนั้นหากร่างกายมีความบกพร่อง

ในการผลิตฮอร์โมนดังกล่าวก็จะส่งผลให้เกิดภาวะการเสียสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือด เกิดภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูงและนำมาสู่โรคเบาหวานในที่สุดพบว่าแนวทางในการรักษาโรคเบาหวานที่นิยมในปัจจุบัน คือ การรักษาด้วยยาแผนปัจจุบัน เช่น อะคราโบส ไมกลิทอล และ ไวกลิโบส เป็นต้น ซึ่งยาเหล่านี้จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดส ส่งผลให้ลดการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสจากลำไส้เล็ก เป็นผลให้ผู้ป่วยเบาหวานมีระดับน้ำตาลในเลือดที่ไม่สูงและยังสามารถควบคุมระดับน้ำตาลให้อยู่ในระดับปกติได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายาเหล่านี้ มักก่อให้เกิดผลข้างเคียงหรืออาการที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องเสีย คลื่นไส้ และเบื่ออาหาร เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดอาการข้างเคียงที่เกิดจากการใช้ยารักษาโรคเบาหวานและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล จึงมีการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมากมาย โดยเฉพาะในกลุ่มของพืชสมุนไพรเพื่อมาใช้ในการบรรเทา รักษาหรือควบคุมโรคเบาหวาน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับการออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเห็ดนั้นมีความน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์จำนวนมากของเห็ด ซึ่งสามารถพบได้มากถึง 20,000 สายพันธุ์ในประเทศไทย [4-6]

เห็ดเป็นสิ่งมีชีวิตที่จัดอยู่ในอาณาจักรเห็ดรา มีลักษณะสำคัญ คือ ไม่มีคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์จึงไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ต้องอาศัยสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตอื่นๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แม้ว่าจะไม่มีความรู้พื้นฐานยืนยันแน่ชัดที่ระบุถึงการบริโภคเห็ดในประเทศไทยว่าเริ่มตั้งแต่เมื่อใด มีเพียงการปฏิบัติที่สืบทอดต่อๆ กันมาว่ามีการนำเห็ดมาบริโภคเป็นอาหารตั้งแต่โบราณจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากเห็ดมีรสชาติที่ดีและยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน วิตามิน เกลือแร่ แต่ไม่มีคลอเรสเตอรอล นอกเหนือจากการที่เห็ดมีรสชาติที่ดีและเป็นแหล่งของสารอาหารต่างๆ แล้ว พบว่าเห็ดหลายชนิดยังมีประโยชน์ในแง่ของการส่งเสริมสุขภาพอีกด้วย จึงทำให้ปัจจุบันมีการหันมาให้ความสนใจในการใช้ประโยชน์จากเห็ดและสารสกัดจากเห็ดต่างๆ ในด้านโภชนเภสัชภัณฑ์มากขึ้น เช่น เห็ดหอมที่มีคุณสมบัติในการต้านการทำงานของเอนไซม์ไลเปส เอนไซม์อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ซึ่งมีช่วยในการป้องกันและบรรเทาโรคอ้วนและโรคเบาหวาน [7] เห็ดหังพิมานใหญ่และเห็ดหังพิมานน้ำตาลเทามีคุณสมบัติในการรักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ มะเร็งในกระเพาะอาหารและลำไส้ [8-9] เห็ดบดซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง นอกจากนี้ส่วนก้านของเห็ดระโงกขาวและเห็ดระโงกเหลืองยังแสดงถึงความสามารถในการเป็นโปรไบโอติกอีกด้วย [10]

ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากเห็ดที่บริโภคได้ด้านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการใช้ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดในคนที่สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่มีภาวะของระดับน้ำตาลในเลือดสูง รวมถึงศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดเห็ด ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการส่งเสริมให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการหันมารับประทานเห็ดหรือสารสกัดจากเห็ดเพื่อบรรเทาอาการของโรคเบาหวานควบคู่ไปกับการใช้ยารักษาโรคเบาหวาน ซึ่งข้อมูลนี้นอกจากจะสามารถขยายผลต่อเนื่องทางด้านสุขภาพ

แล้วยังสามารถใช้ในการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเห็ดอย่างยั่งยืนและเพื่อการอนุรักษ์ในขนาดอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดจากเห็ดที่บริโภคได้ที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

วัสดุและวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างเห็ด

เก็บรวบรวมเห็ดที่บริโภคได้ โดยการสุ่มซื้อจากตลาด 3 แห่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์ แห่งละ 1 กิโลกรัม มาผสมรวมกัน ทำการคัดเลือกเห็ดส่วนที่มีสภาพสมบูรณ์ นำเห็ดมาล้างให้สะอาด ตัดเอาเฉพาะส่วนที่บริโภคได้ นำไปทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วนำตัวอย่างแห้งมาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักแห้งและเก็บตัวอย่างแห้งไว้เพื่อทำการศึกษาในขั้นต่อไป

2. การสกัดเห็ดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

ทำการสกัดเห็ดที่เตรียมได้จากข้อ 1 โดยการชั่งตัวอย่างมาตัวอย่างละ 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่เทตัวทำละลายที่แตกต่างกันจำนวน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น เอทานอล และเฮกเซนลงไปในขวด ขวดละ 30 มิลลิลิตร นำไปวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที นาน 1 คืน หลังจากนั้นนำมาปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกสารละลายส่วนใสที่ได้มาระเหยตัวทำละลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน ชั่งน้ำหนักสารสกัดและหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดเห็ด

3. การวิเคราะห์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

การวิเคราะห์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้แปลงจากวิธีของ รังสิตา และคณะ [7] เติมน้ำเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส 0.5 ยูนิต/มิลลิลิตร ปริมาตร 25 ไมโครลิตร และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำสกัดที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เติมน้ำสารละลาย *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (pNPG) ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นเติมน้ำสารละลาย sodium carbonate ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดังสมการ

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

$$(\% \text{ alpha-glucosidase inhibition}) =$$

$$[(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A และ B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสารสกัดและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีสารสกัด ตามลำดับ แสดงผลการทดลองในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการทดลองอย่างละ 5 ซ้ำในแต่ละชนิดของสารสกัด โดยใช้อะคราโบสที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นตัวควบคุมเชิงบวก (positive control)

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้แปลงจากวิธีของ Seephonkai และ

คณะ [11] เติมน้ำสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และสารละลาย 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าและบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที ในที่มืด หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

เปอร์เซ็นต์ของการต้านอนุมูลอิสระ

$$(\% \text{ DPPH radical inhibition}) = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A และ B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารสกัดและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารสกัด ตามลำดับ แสดงผลการทดลองในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการทดลองอย่างละ 5 ซ้ำในแต่ละชนิดของสารสกัด โดยใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็นตัวควบคุมเชิงบวก (positive control)

5. การทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ตามวิธี Folin-Ciocalteu assay

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมได้แปลงจากวิธีของ Seephonkai และคณะ [11] เติมน้ำสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าและบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำสารละลาย 7.5% sodium carbonate ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไปในหลอด เขย่าและบ่มในที่มืด นาน 1 ชั่วโมง วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แสดงผลการทดลองในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการทดลองอย่างละ 5 ซ้ำในแต่ละชนิดของสารสกัด

ผลการศึกษา

1. ผลการเตรียมตัวอย่างเห็ด

จากการเก็บรวบรวมเห็ดที่บริโภคได้จำนวน 12 ชนิด คือ เห็ดตับเต่าดำ, เห็ดฟาง, เห็ดนางรมหลวง, เห็ดเข็มทอง, เห็ดโคน, เห็ดตะไคล, เห็ดขอนขาว, เห็ดนางรม, เห็ดระโงกเหลือง, เห็ดแดงน้ำหมาก,

เห็ดตับเต่าหวาน และเห็ดตับเต่า ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ระหว่างเดือนกันยายน - ตุลาคม 2563 พบว่าเห็ดแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันทั้งด้านน้ำหนัก สี และรูปทรง (รูป 1)



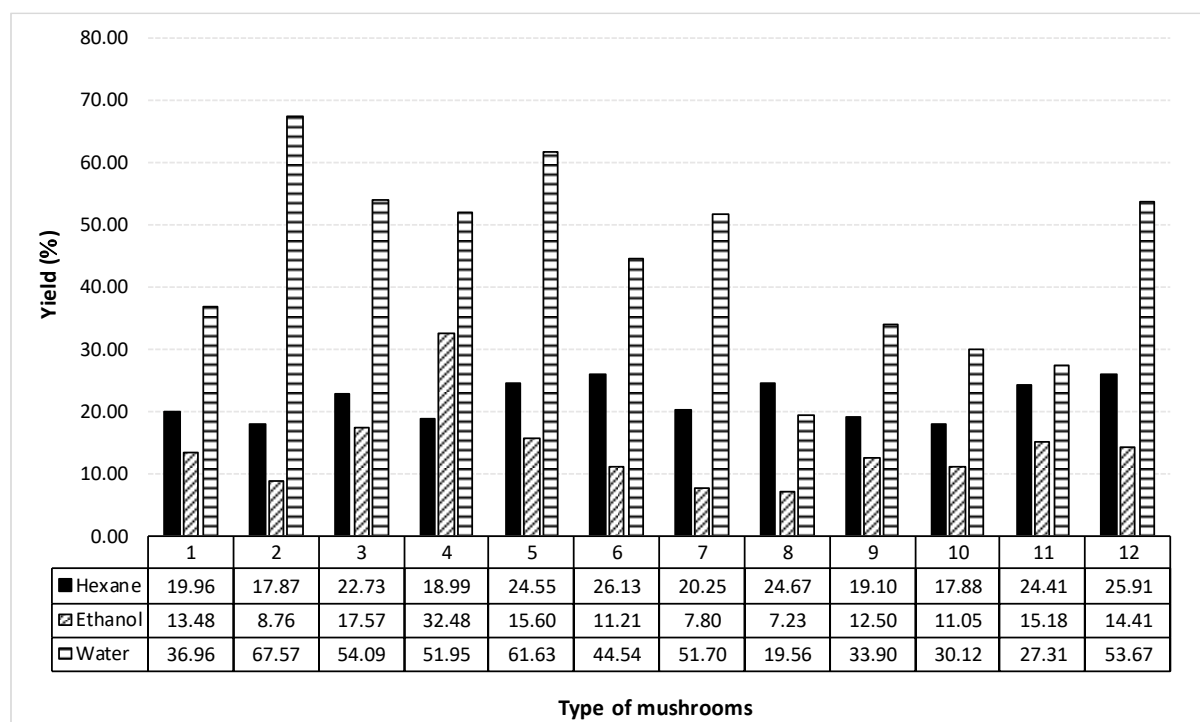
รูป 1 ตัวอย่างเห็ด

(1 = เห็ดตับเต่าดำ; 2 = เห็ดฟาง; 3 = เห็ดนางรมหลวง; 4 = เห็ดเข็มทอง; 5 = เห็ดโคน; 6 = เห็ดตะไคล; 7 = เห็ดขอนขาว; 8 = เห็ดนางรม; 9 = เห็ดระโงกเหลือง; 10 = เห็ดแดงน้ำหมาก; 11 = เห็ดตับเต่าหวาน; 12 = เห็ดตับเต่า)

2. ผลการเตรียมสารสกัดเห็ดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

เมื่อนำตัวอย่างเห็ดแห้งทั้ง 12 ชนิดมาสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติของความมีขั้วที่แตกต่างกัน เรียงลำดับจากความมีขั้วมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด คือ น้ำกลั่น เอทานอล และเฮกเซน โดยสกัดในอัตราส่วนน้ำหนักแห้งตัวอย่างต่อปริมาณตัวทำละลาย คือ 1:60 เท่า ด้วยวิธีการหมัก (maceration) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที นาน 1 คืน ทำการปั่นเหวี่ยงสารผสมที่ได้โดยแยกเฉพาะส่วนสารละลายมาทำการทดสอบในขั้นต่อไปนั้น พบว่าสารสกัดเห็ดที่ได้จะมีลักษณะทาง

กายภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งสารสกัดเห็ดที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอลมักจะมีสีที่เข้มและกลิ่นมากกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยสารสกัดเห็ดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตมากที่สุด รองลงมา คือ เฮกเซน และเอทานอล ตามลำดับ ผลศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเห็ดฟางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงที่สุด ($67.57 \pm 0.70\%$) ขณะที่สารสกัดเห็ดนางรมที่สกัดด้วยเอทานอลมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่ำที่สุด ($7.23 \pm 0.05\%$) (รูป 2)



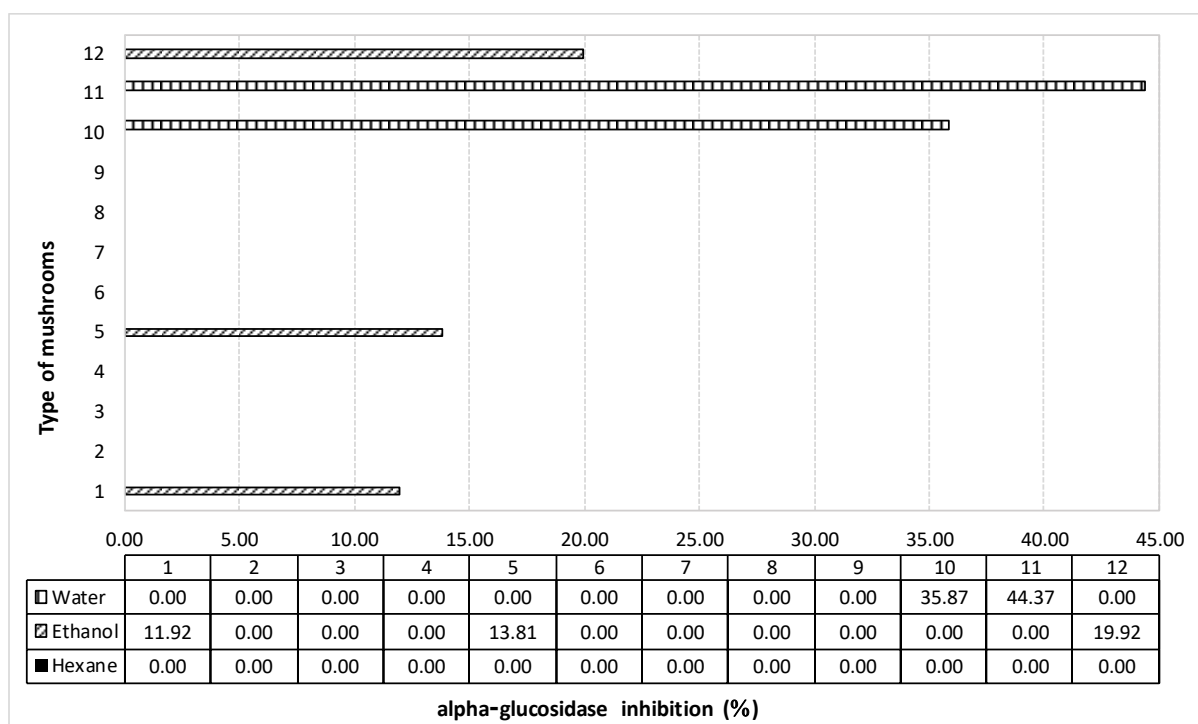
รูป 2 เปอร์เซนต์ผลผลิตของสารสกัดเห็ดที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

(1 = เห็ดตับเต่าดำ; 2 = เห็ดฟาง; 3 = เห็ดนางรมหลวง; 4 = เห็ดเข็มทอง; 5 = เห็ดโคน; 6 = เห็ดตะไค้; 7 = เห็ดขอนขาว; 8 = เห็ดนางรม; 9 = เห็ดระโงกเหลือง; 10 = เห็ดแดงน้ำหมาก; 11 = เห็ดตับเต่าหวาน; 12 = เห็ดตับเต่า)

3. ผลการวิเคราะห์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเห็ดที่เตรียมได้ทั้ง 36 แบบ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ พบว่าสารสกัดแต่ละแบบจะแสดงค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพของสารสกัดแต่ละชนิดในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส หากตัวเลขค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์สูงก็แสดงว่าสารสกัดชนิดนั้นสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดี จากผลการทดลองพบว่ามีสารสกัดเห็ดเพียง 5 แบบที่แสดงค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของ

การทำงานของเอนไซม์ที่น่าสนใจ คือ กลุ่มที่ 1 สารสกัดเห็ดตับเต่าดำ, สารสกัดเห็ดโคน และสารสกัดเห็ดตับเต่าที่สกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส เท่ากับ $11.92 \pm 1.14\%$, $13.81 \pm 3.38\%$ และ $19.92 \pm 0.97\%$ ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 คือ สารสกัดเห็ดแดงน้ำหมาก และ สารสกัดเห็ดตับเต่าหวานที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งมีค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส เท่ากับ $35.87 \pm 2.29\%$ และ $44.37 \pm 0.62\%$ ตามลำดับ (รูป 3) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบสารสกัดเห็ดที่มีคุณสมบัติการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสดีกว่าอะคราโบสที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นตัวควบคุมเชิงบวกที่มีค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสเท่ากับ 100% (รูป 4)



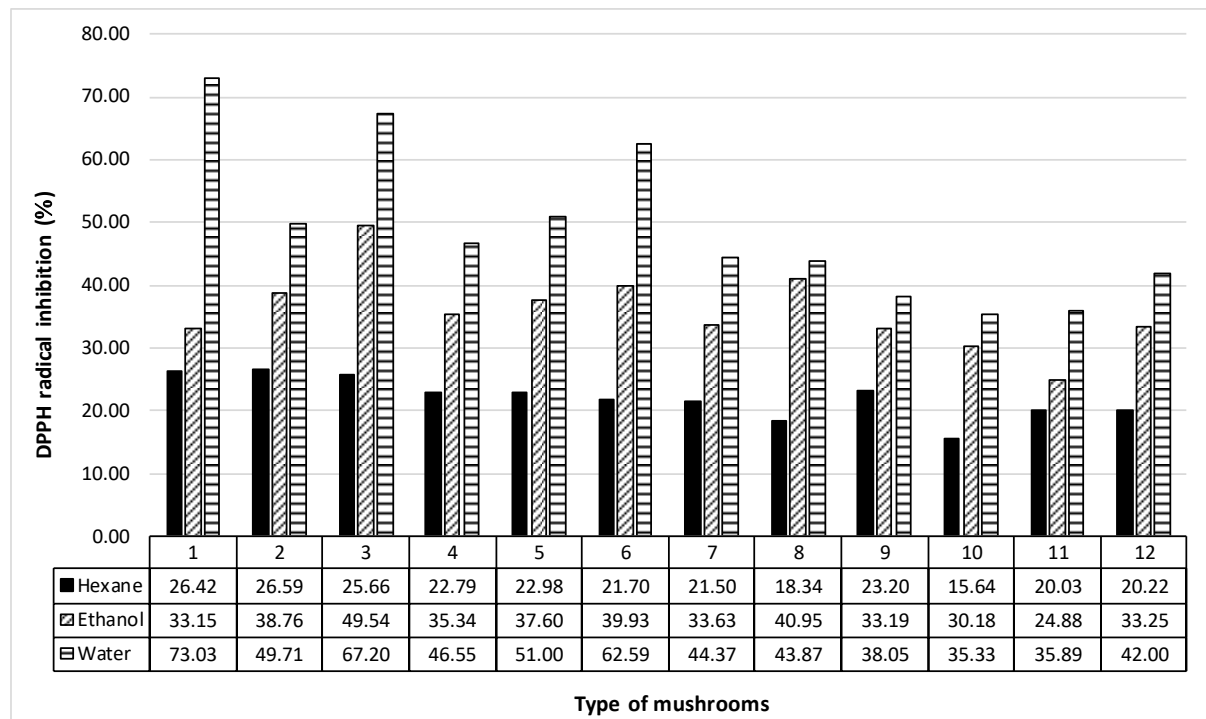
รูป 3 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคไซด์เอสของสารสกัดเห็ด

(1 = เห็ดตับเต่าดำ; 2 = เห็ดฟาง; 3 = เห็ดนางรมหลวง; 4 = เห็ดเข็มทอง; 5 = เห็ดโคน; 6 = เห็ดตะไคล; 7 = เห็ดขอนขาว; 8 = เห็ดนางรม; 9 = เห็ดระโงกเหลือง; 10 = เห็ดแดงน้ำหมาก; 11 = เห็ดตับเต่าหวาน; 12 = เห็ดตับเต่า)

4. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเห็ดที่เตรียมได้ทั้ง 36 แบบ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสารสกัดเห็ดทั้ง 36 แบบ มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่แตกต่างกัน โดยสารสกัดเห็ดตับเต่าดำ, สารสกัดเห็ดนางรมหลวง และสารสกัดเห็ดตะไคลที่สกัดด้วยน้ำกลั่น คือ

สารสกัดที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด 3 ชนิด ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ $73.03 \pm 0.40\%$, $67.20 \pm 0.14\%$ และ $62.59 \pm 0.76\%$ ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดเห็ดแดงน้ำหมากที่สกัดด้วยเฮกเซนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยที่สุด ($15.64 \pm 0.16\%$) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบสารสกัดเห็ดที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่ากรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นตัวควบคุมเชิงบวกที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 100%



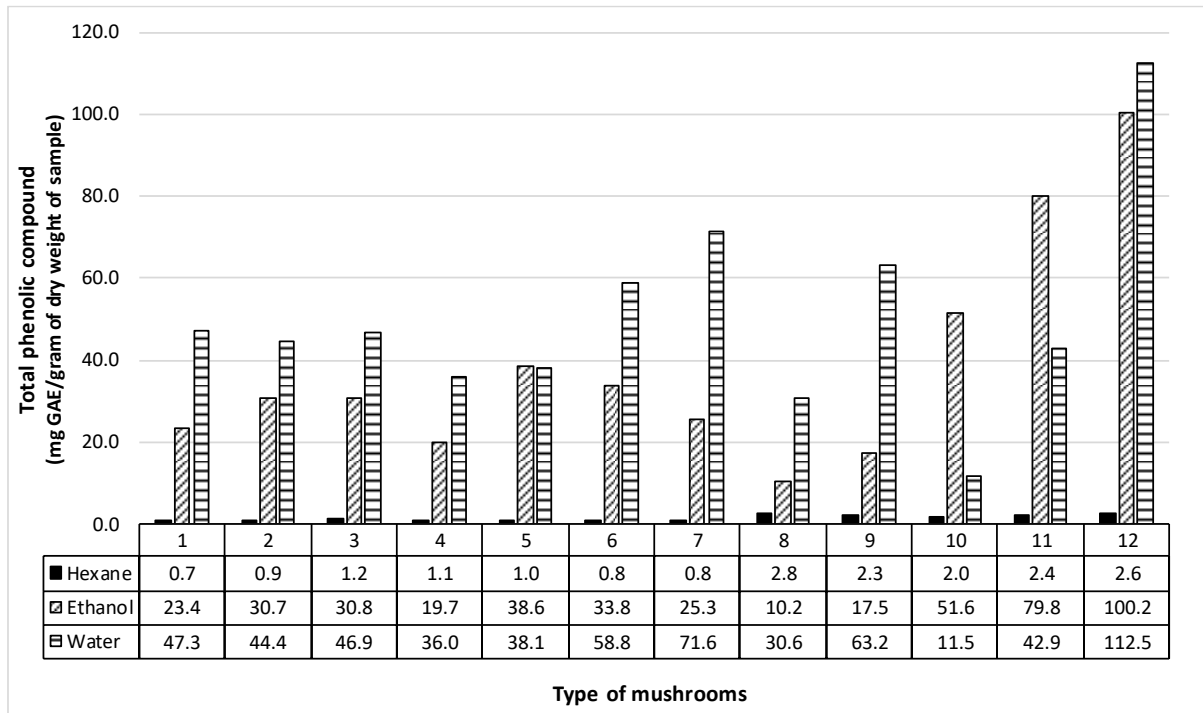
รูป 4 เปอร์เซนต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเห็ด

(1 = เห็ดตับเต่าดำ; 2 = เห็ดฟาง; 3 = เห็ดนางรมหลวง; 4 = เห็ดเข็มทอง; 5 = เห็ดโคน; 6 = เห็ดตะไค้; 7 = เห็ดขอนขาว; 8 = เห็ดนางรม; 9 = เห็ดระโงกเหลือง; 10 = เห็ดแดงน้ำหมาก; 11 = เห็ดตับเต่าหวาน; 12 = เห็ดตับเต่า)

5. ผลการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ตามวิธี Folin-Ciocalteu assay

เมื่อทำการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเห็ดที่เตรียมได้ทั้ง 36 แบบ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าในบรรดาสารสกัดเห็ดทั้ง 36 แบบ สารสกัดเห็ดตับเต่าที่สกัดน้ำกลั่นมีปริมาณสารประกอบ

ฟีนอลิกรวมสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 112.53 ± 3.94 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของเห็ด 1 กรัม รองลงมา คือ สารสกัดเห็ดตับเต่าที่สกัดด้วยเอทานอลซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 100.20 ± 1.12 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของเห็ด 1 กรัม ขณะที่สารสกัดเห็ดตับเต่าดำที่สกัดด้วยเฮกเซนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.70 ± 0.08 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของเห็ด 1 กรัม (รูป 5)



รูป 5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเห็ด

(1 = เห็ดตับเต่าดำ; 2 = เห็ดฟาง; 3 = เห็ดนางรมหลวง; 4 = เห็ดเข็มทอง; 5 = เห็ดโคน; 6 = เห็ดตะไค้; 7 = เห็ดขอนขาว; 8 = เห็ดนางรม; 9 = เห็ดระโงกเหลือง; 10 = เห็ดแดงน้ำหมาก; 11 = เห็ดตับเต่าหวาน; 12 = เห็ดตับเต่า)

วิจารณ์

เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดเห็ดทั้ง 12 ชนิด ที่สกัดด้วยตัวละลายทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น เอทานอล และเอ็กเซน พบว่าสารสกัดเห็ดแต่ละชนิดจะมีลักษณะทางกายภาพและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะมาจากอิทธิพลของตัวละลายที่สามารถละลายกลุ่มของสารสำคัญที่แตกต่างกันในเห็ดออกมา จึงส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีลักษณะและปริมาณที่แตกต่างกัน [7] โดยพบว่าน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่ให้ค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงที่สุด เนื่องจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายที่มีขี้ขาวมาก ดังนั้นจึงสามารถสกัดสารที่มีขี้ขาวออกมาจากเห็ดได้มาก ทำให้สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 50% ของผนังเซลล์เห็ดละลายออกมาได้ [12]

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเห็ด พบว่าตัวทำละลายที่มีขี้ขาวมาก คือ น้ำกลั่น และตัวทำละลายที่มีขี้ขาว คือ เอทานอล เป็นตัวทำละลายที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการ

สกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากเห็ดออกมาได้ ขณะที่เอ็กเซนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีสภาพขี้ขาวน้อยที่สุด ไม่สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากเห็ดออกมาได้ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของณัชชา และคณะ [13] ซึ่งทำการศึกษาศาสตรักข์ของเห็ดสกุลปะการังรามารียที่สกัดด้วยเอทานอล 95% และพบว่าสารสกัดเห็ด *Ramaria* sp.4 (PKWS15-181) และ *Ramaria* sp.5 (PKWS15-194) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีเทียบเคียงกับยาอะคราโบสและยังสอดคล้องกับสารสกัดเห็ดลม (*Lentinus polychrous*) ที่สกัดด้วยเอทานอล 80% พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสสูง โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 39.59 ± 0.01 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร [14] แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผลการศึกษารังสีตา และคณะ [7] ระบุว่าสารสกัดเห็ดหอมที่สกัดด้วยเอ็กเซนมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้

ดีกว่าสารสกัดเห็ดหอมที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล ซึ่งคาดว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเห็ดหอมที่ส่งผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจะเป็นสารประกอบแบบไม่มีขั้วหรือไขมัน ได้แก่ oleic acid และ linoleic acid ซึ่งละลายได้ดีในเฮกเซน

นอกจากนี้จากการศึกษาที่ผ่านมายังพบว่าเห็ดบางสายพันธุ์ที่สามารถผลิตสาร Norjirimycin เป็นองค์ประกอบได้ จะมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสและแอลฟาอะไมเลสได้อีกด้วย [15] จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด คือเรื่องของชนิดและสายพันธุ์ของเห็ด พบว่าเห็ดหอมจัดอยู่ในวงศ์ Polyporaceae ขณะที่เห็ดโคน และเห็ดแดงน้ำหมาก จัดอยู่ในวงศ์ Termitophilae และ Russulaceae ตามลำดับ ส่วนเห็ดตับเต่าดำ, เห็ดตับเต่าหวาน และเห็ดตับเต่า จัดอยู่ในวงศ์ Boletaceae ซึ่งกล่าวได้ว่าเห็ดแต่ละสายพันธุ์ก็ย่อมที่จะมีการผลิตสารสำคัญที่แตกต่างกันทั้งในแง่ของชนิดและปริมาณ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของเห็ดแต่ละชนิด [16] ดังนั้นจึงเป็นไปได้สูงที่ว่าสารสกัดเห็ดตับเต่าดำ, เห็ดโคน และเห็ดเห็ดตับเต่าที่สกัดด้วยเอทานอล รวมถึงสารสกัดเห็ดตับเต่าหวานและเห็ดแดงน้ำหมากที่สกัดด้วยน้ำกลั่นซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นสารคนละกลุ่มกับที่พบในเห็ดหอม

นอกเหนือจากปัจจัยเรื่องของชนิดและสายพันธุ์ของเห็ดที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะส่งผลให้ได้สารสกัดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันแล้ว ยังพบว่าเรื่องของวิธีการสกัดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด จากผลการทดลองของ Deveci และคณะ [17] ที่ทำการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของเห็ดนางรมที่สกัดด้วยเฮกเซน พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งแตกต่างกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ที่ไม่พบความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเห็ดนางรมที่สกัดด้วยเฮกเซน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสาเหตุจะพบว่าแม้ว่าจะใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวกันในการสกัด คือ

เฮกเซน แต่ในส่วนของการละลายเอ็ดวิธีการสกัดตั้งแต่วิธีการเตรียมตัวอย่างแห้งจนถึงการได้มาซึ่งสารสกัดเห็ดนั้นก็มีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ประกอบกับเรื่องของปัจจัยในด้านลักษณะทางภูมิศาสตร์ ที่พบเห็ดก็มีความแตกต่างกันอีกด้วย จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้เองที่ส่งผลต่อการผลิตสารสำคัญในเห็ดในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งจึงทำให้ได้ผลการทดลองของสารสกัดที่ไม่สอดคล้องกัน

ส่วนผลการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดทุกชนิด พบว่าสารสกัดเห็ดทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยพบว่าการสกัดเห็ดที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วและกึ่งมีขั้ว เช่น น้ำกลั่นและเอทานอล จะทำให้สารสกัดที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของประไพรัตน์ และคณะ [6] ที่ไม่พบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดในสกุลเพลลินัสทั้ง 10 ชนิดเมื่อสกัดด้วยเฮกเซน และจากผลการศึกษาในหลายงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าเห็ดที่บริโภคได้หลายชนิดสามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยสารที่พบส่วนใหญ่เป็นสารโพลีแซคคาไรด์ โพลีฟีนอล วิตามิน และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น [4, 5, 13-19] ซึ่งสารออกฤทธิ์เหล่านี้มักจะละลายได้ในตัวละลายที่มีขั้วและกึ่งมีขั้ว เช่น น้ำ เอทานอลและเมทานอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเห็ดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดเห็ดที่สกัดด้วยเฮกเซน โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ระบุว่าสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเป็นกลุ่มสารที่สำคัญซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยการให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระซึ่งส่งผลในการยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ [17-19]

โดยสรุปผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารสกัดเห็ดตับเต่าดำ, เห็ดโคน และเห็ดตับเต่าที่สกัดด้วยเอทานอล รวมทั้งสารสกัดเห็ดแดงน้ำหมากและเห็ดตับเต่าหวานที่สกัดด้วยน้ำกลั่น มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการใช้ควบคุมระดับน้ำตาลใน

เลือดให้คงที่สำหรับผู้ที่มีภาวะของโรคเบาหวาน เนื่องจากสามารถช่วยชะลอการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดยังเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกอีกด้วย ดังนั้นการรับประทานเห็ดตามธรรมชาติก็น่าจะเป็นอีกหนทางหนึ่งในการช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือดและควบคุมโรคเบาหวานสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน อีกทั้งยังเป็นการป้องกันการเกิดโรคเบาหวานและโรคเรื้อรังต่างๆ ของประชาชนทั่วไปได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สุขภาพ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนระยะเวลาการทําวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. International Diabetes Federation. Global diabetes data report 2010-2045. IDF Diabetes Atlas 9th edition [Internet]. 2019 [cited 2020 November, 18]; 1:10-12. Available from: <https://diabetesatlas.org/en/resources/>.
2. Strategy and Planning Division, Division of Non-Communicable Diseases, Bureau of Non-Communicable Disease, Ministry of Public Health. Number of patients during 2016-2018 (Hypertension, Diabetes Miletus, Heart disease, Stroke, COPD). [Internet]. 2016 [cited 2020 November, 18]; 1: 1-5 Available from: <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents-detail.php?id=13684&tid=32&gid=1-020>.
3. Strategy and Planning Division, Division of Non-Communicable Diseases, Bureau of Non-Communicable Disease, Ministry of Public Health., editors. Thailand national NCD plan 2017-2021. Bangkok: Emotion Art Co. Ltd. 2017.
4. Mogole L, Omwoyo W, Mtunzi F. Phytochemical screening, anti-oxidant activity and α -amylase inhibition study using different extracts of loquat (*Eriobotrya japonica*) leaves. Heliyon. 2020;6:e04736.
5. Phukhatmuen P, Raksat A, Laphookhieo S, Charoensup R, Duangyod T, Maneerat W. Bioassay-guide isolation and identification of antidiabetic compounds from *Gorcinia cowa* leaf extract. Heliyon. 2020;6:e03625.
6. Seephonkai P, Handee J, Sangdee A, Waree N, Klinhom W, Sophon N. Antioxidant and antipathogenic bacterial activities crude extracts of mushrooms in genus *Phellinus* collected from northeast of Thailand. J. NRCT. (Sci). 2009;42(2):103-116.
7. Chunhom R, Wunjuntuk W, Techakriengkrai T. In vitro inhibitory effects on the activities of lipase, alpha-amylase and alpha-glucosidase enzymes of shitake mushroom extracts. TSTJ; 2562;28(7):1241-1252.
8. Cho JH, Cho SD, Hu H. Kim SH, Lee SK, Lee YS, Kang KU. The role of ERK1/2 and p38 MAP kinases in the preventive mechanisms of mushroom *Phellinus linteus* against the inhibition of gap junctional intercellular communication by hydrogen peroxide. Carcinogenesis. 2002;23:1163-1169.

9. Kim GY, Lee JY, Lee JO. Partial characterization and immunostimulatory effect of a novel polysaccharide-protein complex extracts from *Phellinus linteus*. Boisci. Biotechnol. Biochem. 2006;70:1218-1226.
10. Rattana T and Sangsanga. Antiokidant and prebiotic properties of Sakaerat wild edible mushrooms. TSTJ; 2016;24(4):538-550.
11. Seephonkai P, Samchai S, Thongsom A, Sunaart S, Kiensanmuang, Chakuton K. DPPH radical scavenging activity and total phenolics of *Phellinus* mushroom extracts collected from Northeast of Thailand. 2011. Chin. J. Nat. Med. 2011;9(6):441-445.
12. Synytsya A, Mičková K, Synytaya A, Jablonský I, Spěváček J, Erban V, Kovářiková E, Čopíková J. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Plerotus ostreatus* and *Plerotus eryngii*: structure and potential prebiotic activity. Carbohydr. Polym. 2009;76:548-556.
13. Promphet N, Prosri C, Khaeng-raeng R, Pringsulaka O, Suwannasai N. Antioxidant, antibacterial and anti-alpha glucosidase activities of coral mushroom *Ramaria* spp. SWU Sci. J. 2018;34(2):175-191.
14. Rungprom W. Anti-oxidant and antihyperglycemic activities of four edible *Lentinus* mushrooms. Current Applied Science and Technology. 2018;18(2):doi:10. 14456/ cast.2018.3.
15. Niwa T, Inouye S, Tsurupka T, Koaze Y, Niida T. Norjirimycin as a potent inhibitor of glucosidase. Agric. Biol. Chem. 1970;34:966-968.
16. Sangwanit U, Suwanarit P, Payapanon A, Luangsa-ard J, Chandrasrikul A, Sakulruk B, editors. BEDO Mushroom. Bangkok: Biodiversity - Based Economy Development Office (Public Organization). 2013.
17. Deveci E, Cayan F, Tel-Cayan G, Duru ME. Inhibitory activities of medicinal mushrooms on α -amylase and α -glucosidase-enzyme related to type 2 diabetes. S. Afr. J. Bot. 2021;137:19-23.
18. Stojkovic D, Smiljkovic M, Ciric A, Glamoclija J, Griensven LV, Ferreira ICFR, Sokovic K. An insight into antidiabetic properties of six medicinal and edible mushrooms: inhibition of α -amylase and α -glucosidase linked to type 2 diabetes. S. Afr. J. Bot. 2019;120:100-103.
19. Alkan S, Uysal A, Kasik G, Vlaisavljevia S, Berezani S, Zengin G. Chemical characterization, antioxidant, enzyme inhibition and antimutagenic properties of eight mushroom species: a comparative study. J. Fungi. 2020;6(166):doi:10.3390 /jof6030166.