

การพัฒนาวิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวเพื่อประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม
Development of Polysaccharide Extraction Methods from *Tremella fuciformis*
for Industrial Application

ธัญญ์นรี รุ่งโรจน์นวกุล

อีเมล: 6251701269@lamduan.mfu.ac.th

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญาวัฒน์ ปินตาทอง

อีเมล: punyawatt.pin@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

เห็ดหูหนูขาว (*Tremella fuciformis*) เป็นหนึ่งในเห็ดที่ได้รับความนิยม ทั้งในด้านการนำมาบริโภคเป็นอาหาร บำรุงสุขภาพ และด้านอุตสาหกรรมความงาม การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประหยัดและง่ายจากเห็ดหูหนูขาวเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม โดยศึกษาผลของวิธีการสกัด อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด รวมถึงกระบวนการอบแห้งที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพเคมี ร้อยละผลผลิต ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และต้นทุนในการสกัดเบื้องต้น พบว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ในแต่ละวิธีให้ลักษณะทางกายภาพเคมีทั้งสี กลิ่น และค่ากรด-ด่างที่ใกล้เคียงกัน และการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีปั่นโดยผสมกับน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนสกัดด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 15 นาที ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากที่สุด (0.95 ± 0.01 กรัมกลูโคสสมมูล/กรัมสารสกัด) และการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้าที่ 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุด ($41.53 \pm 1.83\%$) และพบว่าวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อนให้ปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และลักษณะทางกายภาพเคมี คือ สี กลิ่น และค่ากรด-ด่าง ที่ใกล้เคียงกับวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในเชิงการค้า ดังนั้นการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้าที่ 3 ชั่วโมง ด้วยการทำแห้งแบบอบลมร้อน จึงเป็นวิธีที่ประหยัดและง่ายในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

คำสำคัญ: การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง, การทำแห้งแบบอบลมร้อน, การสกัด, พอลิแซ็กคาไรด์, เห็ดหูหนูขาว

Abstract

Snow mushroom (*Tremella fuciformis*) is one of the most popular mushrooms consumed in the food, health, and cosmetic industries. This study aimed to develop an economical and uncomplicated polysaccharide extraction process from snow mushrooms for Industrial Application by studying the effect of extraction method, temperature, time and the drying process. These could affect the physiochemical characteristics, the yield of polysaccharides, the total carbohydrate content, and the production costs. As a result of the study, it was found that the physiochemical characteristics of the extraction methods as color, odor and pH were similar. Polysaccharides from the blending method that was done by mixing with water at 60 °C before extraction through a blender for 15 minutes gave the highest total carbohydrate content (0.95 ± 0.01 g Glucose/g Extract). While, polysaccharides from the hot water method at 100 °C for 3 hours by hot plate resulted in the most yield ($41.53 \pm 1.83\%$). In addition, the comparison between freeze drying, a popular commercial method, and hot air drying was considered and found that the yield, total carbohydrates content, and physiochemical characteristic (color, odor and pH value) were similar. Therefore, polysaccharides from the hot water method at 100 °C for 3 hours using the hot air drying method could be potential an economical and uncomplicated method for polysaccharide extraction from the mushroom.

Keywords: Extraction Method, Freeze Drying, Hot Air Drying, Polysaccharide, *Tremella fuciformis*

บทนำ/หลักการและเหตุผล

เห็ดหูหนูขาว (*Tremella fuciformis*) เป็นเห็ดที่คนนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แร่ธาตุ กรดอะมิโน และเส้นใย เป็นต้น โดยเฉพาะสารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากเห็ดหูหนูขาว มีประโยชน์หลายด้าน เช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร การบริโภคพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว มีส่วนช่วยต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดระดับน้ำตาล เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ชะลอวัย และลดการอักเสบในร่างกาย เป็นต้น ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีการนำสารพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อย่างแพร่หลาย มีส่วนช่วยหลักในการเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ผิวหนัง และช่วยลดริ้วรอยได้อีกด้วย

จึงถือว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากเห็ดหูหนูขาวเป็นสารให้ความชุ่มชื้นจากธรรมชาติ (Zhang & Wang, 2016)

ปริมาณผลผลิต และลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว มีความแตกต่างกันจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ วิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ และกระบวนการทำแห้ง

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยน้ำร้อน เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ คือ ใช้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50 - 100 องศาเซลเซียส สกัดเป็นเวลาประมาณ 1.5 - 5 ชั่วโมง ข้อดีคือ ทำได้ง่าย และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสีย คือ ใช้เวลานาน และใช้อุณหภูมิที่สูง โดยทั่วไป อุณหภูมิสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ด อย่างไรก็ตามบางงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลผลิตหรือความบริสุทธิ์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม (Leong et al., 2020) การสกัดด้วยด่างหรือกรด โดยต่างที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดที่นิยมใช้ คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยกรดหรือด่างจะทำลายผนังเซลล์ ช่วยสลายโครงสร้างเส้นใยหยาบ บางงานวิจัยนำกระบวนการนี้มาช่วยหลังจากการสกัดด้วยน้ำร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ด (Leong et al., 2020) การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นการสกัดที่ใช้คลื่นและเกิดปฏิกิริยาเควิตชัน (Cavitation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างวัตถุและตัวทำละลาย ช่วยเพิ่มการซึมผ่านของตัวทำละลายเข้าเซลล์ และทำลายผนังเซลล์ ข้อดีคือ ทำได้ง่าย ขั้นตอนไม่ซับซ้อน แต่การใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่มากกว่า 20 kHz อาจส่งผลกระทบต่อสารพิษเคมีและสารอนุมูลอิสระ (ปทุมภรณ์ มะโนวรรณ, 2560; Leong et al., 2020) การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นเทคนิคที่ใช้ทั้งการสกัดสาร และการทำแห้ง โดยสารตัวอย่างจะไม่ได้สัมผัสกับความร้อนโดยตรง แต่ใช้หลักการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของคลื่นไมโครเวฟกับตัวของตัวอย่างและตัวทำละลาย โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนเกิดการชนกันแบบถี่ ๆ ความดันภายในเพิ่มสูงขึ้น และเกิดความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย ข้อดี คือ ช่วยย่นระยะเวลาในการสกัด และลดปริมาณตัวทำละลายเมื่อเทียบกับการสกัดแบบดั้งเดิม แต่วิธีนี้อาจส่งผลกระทบต่อสารพิษเคมีบางชนิด (ปทุมภรณ์ มะโนวรรณ, 2560; Leong et al., 2020) จากงานวิจัยของ ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ และคณะ (2558) ศึกษาอิทธิพลของวิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จาก เห็ดหูหนูขาว เห็ดหูหนู เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้าต่อปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ โดยเปรียบเทียบการสกัด 3 แบบ คือ การสกัดโดยการแช่ในน้ำร้อน การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการสกัดด้วยคลื่นเสียง จากการทดลองพบว่า การสกัดโดยการแช่ในน้ำร้อนให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์สูงกว่าการสกัดด้วยคลื่นเสียง และการสกัดด้วยไมโครเวฟ ตามลำดับ

กระบวนการทำแห้ง มีหลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ใช้หลักการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากสารตัวอย่างโดยขั้นแรกทำการลดอุณหภูมิ เพื่อให้ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง จากนั้นลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งเกิดการระเหิดกลายเป็นไอ และ

เพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งเพื่อดึงเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออก (Li et al., 2019) การทำแห้งแบบใช้ลมร้อนคือการเพิ่มอุณหภูมิโดยใช้อากาศร้อนหรือลมร้อน ทำให้แรงดันไอเพิ่มขึ้น ซึ่งอากาศร้อนหรือลมร้อนที่พัดผ่านวัตถุจะดูดซับความชื้น และไอน้ำที่วัตถุคายออกมา เป็นวิธีการอบแห้งแบบพาความร้อนจากอากาศ ซึ่งความเร็วของอากาศที่พัดผ่านผิวของวัตถุ จะเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน และความชื้นระหว่างวัตถุกับอากาศร้อน ข้อดี คือ ใช้งานง่าย ประสิทธิภาพสูง (วิฐ ชูศรี และคณะ, 2563; อิศเรศ วรรณทร, 2554) และมีการทำแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การทำให้แห้งโดยใช้คลื่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นต้น

ปัจจุบันเห็ดหูหนูขาวเป็นเห็ดที่มีราคาค่อนข้างสูง เมื่อนำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีเชิงการค้าในปัจจุบัน คือ การสกัดด้วยเครื่องมือที่มีราคาแพง ยิ่งส่งผลทำให้สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น นั่นหมายถึงเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว งานวิจัยนี้จึงต้องการจะพัฒนาวิธีการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว ด้วยวิธีการสกัด และการทำแห้งด้วยเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้สะดวก และประหยัดมากขึ้น โดยที่สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้มาจากการสกัดด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนจะต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพเคมีที่เทียบเท่าหรือใกล้เคียงสารสกัดจากการสกัดแบบมาตรฐาน ซึ่งประโยชน์ของการทำวิจัยนี้จะทำให้ลดขั้นตอนและต้นทุนของการผลิตหรือการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

1. การเตรียมเห็ดหูหนูขาว

จัดหาเห็ดหูหนูขาวอบแห้ง และนำเห็ดหูหนูขาวอบแห้งมาปั่นให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด

2. การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

นำเห็ดหูหนูขาวที่ผ่านการเตรียมในขั้นที่ 1 มาสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน ให้ได้อัตราส่วนของสารสกัดผงเห็ดหูหนูขาวต่อน้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1:100 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยแบ่งวิธีสกัดออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ได้แก่

1) การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีกวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิห้อง ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีของ Dubois et al. (2020) และ Pongsua (2016) เติมน้ำปราศจากไอออน ทำการสกัดโดยการกวนบนเตาไฟฟ้าด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

2) การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสบนเตาไฟฟ้า ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีของ Chen (2010) และ Pongsua (2016) เติมน้ำปราศจาก

ไอออนอนุมูล 100 องศาเซลเซียส ทำการสกัดโดยการต้มบนเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง

3) การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีปั่นโดยใช้น้ำอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปั่น ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีของ Ke and Chen (2016) และ Pongsua (2016) เติมน้ำปราศจากไอออน ทำการสกัดโดยใช้เครื่องปั่น (EM14, SHAP) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที

4) การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีปั่นโดยผสมกับน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนสกัดด้วยเครื่องปั่น ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีของ Ke and Chen (2016) และ Pongsua (2016) เติมน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการสกัดโดยใช้เครื่องปั่น (EM14, SHAP) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที

5) การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวโดยวิธีเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (150 รอบต่อนาที) ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีของ Pongsua (2016) เติมน้ำปราศจากไอออนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำการสกัดโดยใช้เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

เมื่อผ่านการสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ แล้ว นำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงกำหนดความเร็วที่ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที เติมน้ำอุณหภูมิห้อง 95 ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงกำหนดความเร็วที่ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที หลังจากนั้นเลือกเก็บเฉพาะตะกอน โดยตัวอย่างที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีสกัดที่ 1-4 นำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แต่ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีที่ 5 ให้นำไปทำแห้งด้วย 2 กระบวนการที่แตกต่างกัน โดยแบบที่ 1 ทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และแบบที่ 2 นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

3. การวิเคราะห์

3.1 คำนวณร้อยละผลผลิต

3.2 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ด้วยวิธีฟีนอล-กรดซัลฟิวริก (Phenol – H₂SO₄) โดยดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก Pongsua (2016) โดยใช้สารละลายกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

3.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์

1) วัดค่าความเป็นกรดต่างของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ โดยเตรียมสารละลายของสารสกัดหยาบความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร วัดค่าด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง

2) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ โดยบันทึกลักษณะสีของสารสกัดหยาบที่ได้ด้วยการวิธีถ่ายภาพ และวิธีวัดสีด้วยเครื่อง Colorimeter (L* a* b*)

3) ทดสอบความสามารถในการละลายในน้ำ โดยชั่งสารสกัดหยาบครึ่งละ 1 มิลลิกรัมละลายในน้ำ 1 มิลลิลิตรแล้วนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที และเมื่อสารสกัดละลายได้ถึง 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ให้เติมสารสกัดลงไปทีละ 5 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักของสารสกัดที่เติมทั้งหมดจนสารละลายอิ่มตัว

3.4 การวิเคราะห์ด้วยสถิติผ่านโปรแกรม SPSS ใช้สถิติการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่โดยวิธี Duncan โดยกำหนดค่า p-Values น้อยกว่า 0.05 ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลวิจัยและอภิปราย

1. ร้อยละผลผลิตจากสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ

ร้อยละผลผลิตทั้งหมดจากตัวอย่าง 12 กลุ่มย่อยมีความแตกต่างกัน โดยการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้า เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 41.53 ± 1.83 และการสกัดด้วยวิธีกวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 7.01 ± 0.33 ดังแสดงในตารางที่ 1 จากงานวิจัยของ Chen (2010) ที่ทำการศึกษาสภาวะของอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลายในการสกัดที่ส่งผลต่อปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านมะเร็งจากเห็ดหูหนูขาว พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง และใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและวัตถุดิบ คือ 5:1 ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้อย่างยิ่งเมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น หรือใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะได้ร้อยละผลผลิตมากขึ้น

ตารางที่ 1 ร้อยละผลผลิตของพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีการสกัดต่าง ๆ

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	อุณหภูมิในการสกัด	เวลาในการสกัด	กระบวนการทำแห้ง	ร้อยละผลผลิต	
เตาไฟฟ้า (Hot Plate)	กวน	อุณหภูมิห้อง	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	7.01±0.33 ^a	
			3 ชั่วโมง		9.42±0.47 ^b	
	ต้ม	อุณหภูมิ 100 °C	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	36.55±1.07 ^g	
			3 ชั่วโมง		41.53±1.83 ^h	
เครื่องปั่น (Blender)	ปั่น	อุณหภูมิห้อง	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	18.84±1.17 ^c	
			10 นาที		24.92±1.64 ^e	
			15 นาที		26.23±1.39 ^e	
		ผสมกับน้ำ	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	21.67±1.67 ^d	
			อุณหภูมิ 60 °C		10 นาที	28.50±0.64 ^f
			ก่อนลงเครื่องปั่น		15 นาที	29.94±1.62 ^f
เครื่องเขย่า (Incubator Shaker)	เขย่า	อุณหภูมิ 80 °C	5 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	18.13±0.48 ^c	
				แช่เยือกแข็ง	17.44±0.38 ^c	

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก แสดงถึง ความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; ANOVA Duncan) ในสดมภ์เดียวกัน

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

นำสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ด้วยวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส พบว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีปั่นโดยผสมกับน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนสกัดด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 15 นาที ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 0.95±0.01 กรัมกลูโคสสมมูล/กรัมสารสกัด และการสกัดด้วยวิธีกวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องที่ 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 0.55±0.02 กรัมกลูโคสสมมูล/กรัมสารสกัด ดังแสดงในตารางที่ 2 จากงานวิจัยของ Sangthong et al. (2022) พบว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดฟางด้วยวิธีเขย่าในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก แต่ให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงว่าวิธีการสกัดที่ได้ปริมาณร้อยละผลผลิตมาก

ไม่ได้ส่งผลให้ได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากขึ้นด้วย จากงานวิจัยของ Chaiwut et al. (2019) พบว่าที่เวลาและค่ากรด-ด่างในการสกัดเท่ากัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจะทำให้ได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสูงขึ้น และการทดลองที่อุณหภูมิและค่ากรด-ด่างในการสกัดเท่ากัน เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้เมื่อใช้วิธีการสกัดเดียวกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาจะทำให้ได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากขึ้นเช่นกัน และจากงานวิจัยของ Li et al. (2019) ที่ได้ทำการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งแบบต่าง ๆ ต่อลักษณะทางกายภาพเคมีของเห็ดหูหนูขาว พบว่ากระบวนการทำแห้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากกว่าการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัมกลูโคสสมมูล/กรัมสารสกัด) จากการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ ด้วยวิธีต่าง ๆ

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	อุณหภูมิในการสกัด	เวลาในการสกัด	กระบวนการทำแห้ง	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม/กรัมสารสกัด)
เตาไฟฟ้า (Hot Plate)	กวน	อุณหภูมิห้อง	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	0.55±0.02 ^a
			3 ชั่วโมง		0.59±0.02 ^b
	ต้ม	อุณหภูมิ 100 °C	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	0.62±0.02 ^c
			3 ชั่วโมง		0.88±0.02 ^j
เครื่องปั่น (Blender)	ปั่น	อุณหภูมิห้อง	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	0.69±0.01 ^d
			10 นาที		0.81±0.01 ^h
			15 นาที		0.92±0.01 ^k
	ผสมกับน้ำ	อุณหภูมิ 60 °C	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	0.72±0.01 ^e
			10 นาที		0.85±0.02 ⁱ
ก่อนลงเครื่องปั่น	15 นาที		0.95±0.01 ^l		
เครื่องเขย่า (Incubator Shaker)	เขย่า	อุณหภูมิ 80 °C	5 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	0.75±0.01 ^f
				แช่เยือกแข็ง	0.78±0.01 ^g

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก แสดงถึง ความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; ANOVA Duncan) ในสมมุติฐานเดียวกัน

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

1) ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

นำสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดวิธีต่าง ๆ วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH Meter พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาวในวิธีการสกัดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง $5.82 \pm 0.02 - 5.98 \pm 0.05$ แสดงดังตารางที่ 3

2) ผลการศึกษาการละลายน้ำของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดหูหนูขาว

นำสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดวิธีต่าง ๆ มาทดสอบการละลาย พบว่าสารสกัดที่สกัดที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ มีค่าการละลาย คือ ≤ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ยกเว้นการสกัดด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้า ทั้ง 1 และ 3 ชั่วโมง มีค่าการละลาย < 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเวลา 30 นาทีแรก แต่เมื่อเพิ่มเวลามากขึ้น พบว่าวิธีการสกัดทั้ง 2 ข้างต้นสามารถละลายได้ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 3

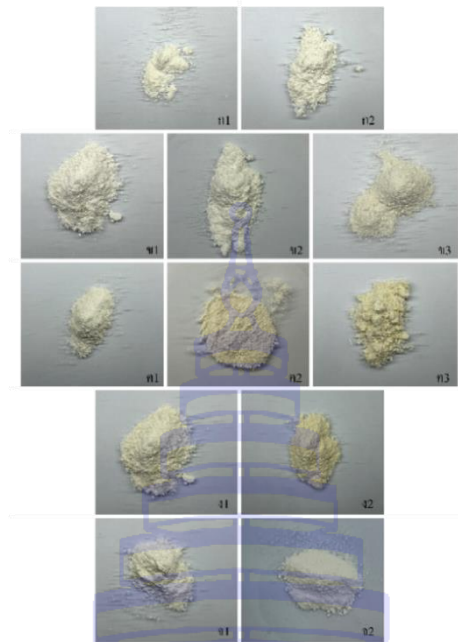
3) ผลการบันทึกลักษณะสี

นำสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดวิธีต่าง ๆ มาบดให้เป็นผงละเอียด หากสังเกตสีด้วยตาเปล่าจะพบว่าสารสกัดที่ได้มีสีเหลืองอ่อน ไปจนถึงเหลืองปานกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1 จากนั้นนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter พบว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยผ่านทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า L^* สูงสุดที่สุด และค่า a^* และ b^* ต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงถึงค่าความสว่างมากที่สุด และค่าสีแดง และค่าสีเหลืองน้อยที่สุด และการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้า เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่า L^* น้อยที่สุด และค่า b^* มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงถึงมีความความสว่างน้อยที่สุด และให้สีเหลืองมากที่สุด ซึ่งตรงกับการมองเห็นด้วยตาเปล่า แสดงดังตารางที่ 3 จากงานวิจัยของ กนิษฐา ช้างเสวก (2563) ที่ทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากผักเชียงดาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ด้วยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ให้สีน้ำตาลเข้มที่สุด รองลงมาคือที่ 75 และ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การสกัดที่อุณหภูมิห้องสารสกัดที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนที่สุด จากงานวิจัยของ Vieira et al. (2019) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดมากขึ้นส่งผลให้ค่า L^* มีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงความสว่างลดลง ซึ่งแนวโน้มของสีที่ได้จากการสกัดสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

ตารางที่ 3 ความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการละลาย ลักษณะสีของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	อุณหภูมิในการสกัด	เวลาในการสกัด	กระบวนการทำแห้ง	ค่ากรด-ด่าง	ความสามารถในการละลาย	สีของสารสกัด		
							L*	a*	b*
เตาไฟฟ้า (Hot Plate)	กวน	อุณหภูมิห้อง	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	5.97±0.02	≤ 20 มก./มล.	93.85±0.34 ^c	0.65±0.06 ^{bc}	5.49±0.14 ^{bc}
			3 ชั่วโมง		5.97±0.02	≤ 20 มก./มล.	93.86±0.83 ^c	0.64±0.10 ^{bc}	5.54±0.18 ^{bc}
	ต้ม	อุณหภูมิ 100 °C	1 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	5.84±0.04	< 1 มก./มล.*	92.29±0.25 ^b	0.79±0.11 ^{cd}	8.61±0.20 ^g
			3 ชั่วโมง		5.82±0.02	< 1 มก./มล.*	90.83±0.33 ^a	0.92±0.07 ^d	9.09±0.19 ^h
เครื่องปั่น (Blender)	ปั่น	อุณหภูมิห้อง	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	5.98±0.05	≤ 20 มก./มล.	95.50±0.05 ^d	0.56±0.07 ^b	5.32±0.17 ^b
			10 นาที		5.87±0.01	≤ 20 มก./มล.	95.11±0.78 ^d	0.57±0.08 ^b	5.27±0.21 ^b
			15 นาที		5.86±0.02	≤ 20 มก./มล.	92.15±0.26 ^b	0.71±0.12 ^{bc}	6.47±0.36 ^d
		ผสมกับน้ำ	5 นาที	อบลมร้อน 50°C	5.85±0.05	≤ 20 มก./มล.	93.96±0.40 ^c	0.63±0.09 ^{bc}	5.88±0.21 ^c
			10 นาที		5.86±0.05	≤ 20 มก./มล.	92.03±0.85 ^b	0.76±0.11 ^c	6.92±0.41 ^e
			15 นาที		5.83±0.02	≤ 20 มก./มล.	92.64±0.56 ^b	0.80±0.08 ^{cd}	7.83±0.30 ^f
เครื่องเขย่า (Incubator shaker)	เขย่า	อุณหภูมิ 80 °C	5 ชั่วโมง	อบลมร้อน 50°C	5.86±0.04	≤ 20 มก./มล.	92.52±0.61 ^b	0.77±0.10 ^{cd}	7.46±0.27 ^f
				แช่เยือกแข็ง	5.90±0.01	≤ 20 มก./มล.	96.39±0.28 ^e	0.36±0.06 ^a	4.69±0.30 ^a

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก แสดงถึง ความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสดมภ์เดียวกัน และ * เมื่อเพิ่มเวลาในการละลาย พบว่า สารสกัดสามารถละลายได้ทั้งหมด



หมายเหตุ (ก1-ก2) สารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก

บนเตาไฟฟ้าที่ 1 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ

(ข1-ข3) สารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีปั่นโดยใช้น้ำอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปั่นที่ 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

(ค1-ค3) สารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีปั่นโดยผสมกับน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนสกัดด้วยเครื่องปั่นที่ 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

(ง1-ง2) สารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวโดยวิธีต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้าที่ 1 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ

(จ1-จ2) สารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวโดยวิธีเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส ทั้งแบบอบลมร้อน กับทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามลำดับ

ภาพที่ 1 ลักษณะของสารสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากการสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเพิ่มเติมในการสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวด้วยวิธีการต้ม เช่น หาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด โดยพิจารณาถึงร้อยละผลผลิตและความคุ้มค่าในด้านต้นทุนการผลิต
2. ศึกษาเพิ่มเติมโดยการขยายกำลังการผลิตพอลิเอทิลีนไกลคอลจากเห็ดหูหนูขาวในอุตสาหกรรมขนาดเล็กด้วยวิธีการต้ม

รายการอ้างอิง

- กนิษฐา ช้างเสวก. (2563). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์และฟีนอลิกจากผักเชียงดา* (การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ปทุมภรณ์ มะโนวรรณ. (2560). *การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรการสกัดสารสำคัญด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจากเห็ดหูหนูดำ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กาญจพงษ์ ใจวุฒิ, ปัญญวัฒน์ ปินตาทอง และนิสากร แซ่วัน. (2558). *ฤทธิ์ทางชีวภาพของพอลิแซ็กคาไรด์ละลายน้ำจากเห็ดหูหนู เห็ดหูหนูขาว เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า สำหรับการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ (ปีที่2)*. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- วิฐู ชูศรี, พรทิพย์ วิริยะวัฒนา, พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร และรัชพงศ์ ชูศรี. (2563). ผลของกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อสมบัติของกล้วยหอมสุกและฟักทองอบแห้ง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 15(1), 37-52.
- อิศเรศ วรรณทร. (2554). *การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล* (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- Chen, B. (2010). Optimization of extraction of *Tremella fuciformis* polysaccharides and its antioxidant and antitumour activities in vitro. *Carbohydrate Polymers*, 81(2), 420-424.
- Chaiwut, P., Pintathong, P., Thitipramote, N., & Sangthong, S. (2019). Optimization of polysaccharide extraction from Okra (*Abelmoschus esculentus*) by using response surface methodology. *Journal of Food Science and Agricultural Technology (JFAT)*, 5, 99-105.
- Dubois, F., Musa, C., Duponchel, B., Tidahy, L., Sécordel, X., Mallard, I., . . . Delattre, F. (2020). Nuclear magnetic resonance and calorimetric investigations of extraction mode on flaxseed gum composition. *Polymers*, 12(11), 2654.
- Ke, L., & Chen, H. (2016). Homogenate extraction of crude polysaccharides from *Lentinus edodes* and evaluation of the antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 36, 533-539.

- Leong, Y. K., Yang, F. C., & Chang, J. S. (2020). Extraction of polysaccharides from edible mushrooms: Emerging technologies and recent advances. *Carbohydrate Polymers*, 251(2021), 117006.
- Li, Y., Chen, J., Lai, P., Tang, B., & Wu, L. (2019). Influence of drying methods on the physicochemical properties and nutritional composition of instant *Tremella fuciformis*. *Food Science and Technology*, 40, 741-748.
- Pongsua, P. (2016). *Extraction and biological activities of water-soluble polysaccharides from edible mushrooms for cosmetic applications* (Master's Thesis). Mae Fah Luang University.
- Sangthong, S., Pintathong, P., Pongsua, P., Jirarat, A., & Chaiwut, P. (2022). Polysaccharides from *Volvariella volvacea* mushroom: Extraction, biological activities and cosmetic efficacy. *Journal of Fungi*, 8(6), 572.
- Vieira, J. M., Mantovani, R. A., Raposo, M. F. J., Coimbra, M. A., Vicente, A. A., & Cunha, R. L. (2019). Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*, 213, 217-227.
- Zhang, L., & Wang, M. (2016). Polyethylene glycol-based ultrasound-assisted extraction and ultrafiltration separation of polysaccharides from *Tremella fuciformis* (snow fungus). *Food and Bioproducts Processing*, 100, 464-468.