Prawarun Agr. J. Volume 15(1) 2018, Pages 178-193

บทความวิจัย

สมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

สาโรจน์ รอดคืน[1*], โชษณ ศรีเกตุ[2] และ ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา[3]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000
[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 69.15) มีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงโดยเฉพาะไลซีน ฟีนิลอะลานิน ลิวซีน และฮีสทิดีน กากงาสกัดน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนและกรดไขมันโอเมก้า (โอเมก้า-3 -6 และ -9) ในปริมาณสูง นอกจากนี้ ยังมีฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุหลัก จากรูปแบบโปรตีนแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในกากงาขี้ม้อนอยู่ในช่วง 14-61 กิโลดาลตัน กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 7.72 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง (DW) และ 8.21 mg CE/g DW ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับร้อยละ 52.91 และมีค่า FRAP เท่ากับ 10.68 mmol Fe(II)/g DW ส่วนการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลส พบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสได้ อย่างไรก็ตาม พบว่า มีกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในปริมาณหนึ่ง จากผลการวิจัยเหล่านี้กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันสามารถใช้เป็นแหล่งสารอาหารหรือเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้

คำสำคัญ: งาขี้ม้อน สารอาหาร สารต้านโภชนาการ สารยับยั้ง และ กากสกัดน้ำมัน

[*]ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: saroat@mfu.ac.th

Chemical and Biochemical Properties of Perilla Seed Pressed-Cake

Saroat Rawdkuen[1*], Chodsana Sriket[2] and Choothaweep Palakawong[3]

[1]Food Science and Technology Program, School of Agro-Industry, Mae FahLuang University, Chiang Rai, 57100, Thailand

[2]Program in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, 34000, Thailand

[3]Program in Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44000, Thailand

Abstract

The aim of this study was to determine the chemical and biochemical properties of perilla seed pressed-cake. It was found that perilla seed pressed-cake was a major source of carbohydrate (69.15%). It had high levels of essential amino acid, in particular lysine, phenylalanine, leucine, and histidine. The pressed-cake contained high amounts of polyunsaturated fatty acid and also **ω**-3, **ω**-6, and **ω**-9 fatty acids. Additionally, phosphorus, calcium, potassium, and magnesium were the main mineral. Electrophoregrame showed that the molecular weights of proteins in perilla seed were in range of 14-61 kDa. Phytochemical analysis demonstrated that perilla seed pressed-cake had total phenolic content and total flavonoid content of 7.72 mg GAE/g DW and 8.21 mg CE/g DW, respectively. It showed high effective antioxidant activities by 52.91% for DPPH radical scavenging activity and 10.68 mmol Fe(II)/g DW for FRAP value. For **α** -amylase inhibition, it was found that pressed-cake could inhibit the activity of **α** -amylase. However, trypsin inhibitory activity was found in some content. According to these findings, perilla seed pressed-cake can be a good source of nutrient and have potential for being used as functional food ingredients.

Keywords: Perilla, Nutrient, Anti-nutrient, Inhibitor and Pressed-cake

[*]Corresponding author: E-mail: saroat@mfu.ac.th

บทนำ

งาขี้ม้อน (*Perilla frutescens* (L) Britt.) จัดอยู่ในวงศ์ *Lamiaceae* ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับกะเพรา โหระพา เป็นเมล็ดพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Nitta *et al.*, 2003) ปัจจุบันมีการเพาะปลูกงาขี้ม้อนอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพื้นที่ในจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เช่น แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เป็นต้นเมล็ดงาขี้ม้อนนิยมบริโภคสด โดยจะนำงาขี้ม้อนมาตำและคลุกกับข้าวเหนียวนึ่งสุก หรือที่เรียกว่า “ข้าวหนุกงา” เพื่อรับประทานเป็นอาหารว่างโดยนิยมรับประทานในช่วงฤดูหนาว

Sargi *et al.* (2013) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนอุดมไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ กลุ่มกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว(Polyunsaturated fatty acids; PUFAs) เช่น กรดลิโนเลนิก หรือโอเมก้า-3 (ร้อยละ 54-64) และมีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 35-45 นอกจากนี้ Zekonis *et al.* (2008) ยังรายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหย และสารประกอบฟีนอล ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นเมล็ดงาขี้ม้อนจึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดการแพ้ ฤทธิ์ต้านการอักเสบฤทธิ์ต้านมะเร็งฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า งาขี้ม้อนเป็นเมล็ดพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีสมบัติโดดเด่นและหลากหลาย โดยปัจจุบันได้มีการนำเมล็ดงาขี้ม้อนมาสกัดน้ำมันในรูปแบบของน้ำมันบริสุทธิ์ (virgin oil) และเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (functional food) จากกระบวนการสกัดน้ำมันจะทำให้มีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้น หรือที่เรียกว่า “กากพืชน้ำมัน” โดยทั่วไปเศษเหลือเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ กากพืชน้ำมันหลังการสกัดน้ำมันมีอยู่ที่ปริมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งยังคงมีสารประกอบทางโภชนาการ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูง เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโพลิแซ็คคาไรด์ โปรตีน และสารประกอบฟีนอล เป็นต้น (Peschel *et al.*, 2007; Shahidi, 2000) Zhu and Fu (2012) รายงานว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 10.77

ปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อการพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากกากพืชน้ำมันหรือวัสดุทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้ประโยชน์จากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันจะสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกากงาขี้ม้อนได้ อย่างไรก็ตาม ควรจะมีการทดสอบสมบัติของวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ก่อนนำมาใช้ เพื่อให้มั่นใจว่ามันเป็นสิ่งที่ดีและปลอดภัยสำหรับการบริโภคของมนุษย์ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันโดยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางให้กับผู้สนใจนำข้อมูลไปต่อยอดหรือพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันผง

กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันได้จากโรงงานสกัดน้ำมันงาขี้ม้อนจากจังหวัดแม่ฮ่องสอนและจังหวัดเชียงราย นำมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย นำตัวอย่างกากงาที่แห้งแล้วมาผ่านการบดด้วยเครื่องบดแห้ง จากนั้นผ่านตะแกรงร่อนให้มีขนาดผงเท่ากัน ก่อนจะนำไปบรรจุลงถุงพลาสติกและปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศก่อนเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งนำตัวอย่างออกมาวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และสารอาหารในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

1) องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน AOAC วิธีการที่ 927.05, 942.05, 920.38B และ 984.13 ตามลำดับ (AOAC, 2011) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตใช้วิธีการหาปริมาณส่วนต่างจากองค์ประกอบอื่น ๆ ในตัวอย่างกากงาสกัดน้ำมันแต่ละชนิด

2) องค์ประกอบของกรดอะมิโน วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) (วิธีที่ 994.12 และ 988.15) โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิด ด้วยเครื่อง GC-MS หลังจากผ่านการย่อยสลายตัว

อย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 22 ชั่วโมง

3) องค์ประกอบของกรดไขมัน วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน โดยใช้วิธีการมาตรฐาน AOAC (2012) (วิธีที่ 996.06) สกัดไขมันจากตัวอย่างกากงาสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอีเทอร์โดยการสกัดแบบวิธีซอกห์เลตจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันโดยเทคนิค gas chromatography หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันโดยเทียบกับretention time ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน

4) ปริมาณเส้นใยอาหาร วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน โดยใช้วิธีมาตรฐาน AOAC (2010) (วิธีที่ 985.29 gravimetric)

5) ปริมาณสตาร์ช วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันโดยใช้วิธีมาตรฐาน AOAC (2010) (วิธีที่ 920.44)

6) ปริมาณน้ำตาล วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแลคโตส น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลมอลโทสโดยใช้วิธีของ Department of Medical Science (2003)

7) ปริมาณแร่ธาตุ วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน โดยวิเคราะห์หาปริมาณของแคลเซียม ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัสโพแทสเซียม โซเดียม สังกะสี ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2005) [วิธีที่ Ch.50 (984.27) และ Ch.9 (999.10)]

8) รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเลคโตรโฟเรซิส วิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนที่สกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโตรโฟเรซิส (sodium dodecylsulfate-polyacrylamide gel electrophoresis; SDS-PAGE) ตามวิธีการของ Laemmli (1970) โดยใช้ความเข้มข้นของ stacking gel ร้อยละ 4 และ running gel ร้อยละ 12

9) วิเคราะห์ไกลโคโปรตีน วิเคราะห์รูปแบบของไกลโคโปรตีนในตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเพื่อศึกษารูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเลคโตรโฟเรซิสก่อนหน้า และแยกสารละลายโปรตีนในสภาวะเดียวกัน จากนั้นขั้นตอนการย้อมติดสีให้เลือกใช้ GelCode 1 Glycoprotein Staining Kit ตามวิธีการของ Wati *et al.* (2009) โปรตีนที่มีสมบัติเป็นไกลโคโปรตีนในตัวอย่างจะแสดงสีม่วงเข้มบนพื้นหลังสีชมพูของแผ่นเจล

2.2 การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

1) การเตรียมตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเพื่อใช้เป็นสารสกัดตั้งต้นในการวิเคราะห์พฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดัดแปลงจากวิธีการของ Marathe *et al*. (2011) โดยนำกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันผง 1 กรัม ละลายใน 80% (v/v) methanol 10 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง (22 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นผ่านการหมุนเหวี่ยงที่ 5000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บสารละลายส่วนใสที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ต่อไป

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดที่เตรียมได้โดยการทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteau reagent ดัดแปลงจากวิธีการของ Salem *et al.* (2013) และรายงานผลในรูปของmg GAE/g DW

3) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Kim *et al.* (2003) และรายงานผลในรูปของ mg CE/g DW

4) DPPH radical scavenging activity ตรวจวัดความสามารถของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันในกิจกรรมการจับอนุมูล DPPH ตามวิธีการของ Brand-Williams *et al*. (1995) และรายงานผลในรูปของร้อยละ DPPH inhibition

5) Ferric reducing antioxidant power ตรวจวัดความสามารถในการรีดิว Ferric ของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Benzie and Strain (1999) และรายงานผลในรูปของ mmol Fe (II)/g DW

2.3 การวิเคราะห์การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

ตรวจวัดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันของกากงาสกัดน้ำมัน ดัดแปลงจากวิธีการของ Song *et al.* (2009) และรายงานผลในรูปของ nmol MDA equivalents/g fresh weight (FW)

2.4 การวิเคราะห์สารต้านโภชนาการของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

1) กิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลส ตรวจวัดกิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Odhav *et al.* (2010) โดยใช้น้ำแป้งเป็นสับสเตรท

2) กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ตรวจสอบกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Wati *et al.* (2010) โดยใช้ BAPNA เป็นสับสเตรท

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละปัจจัยที่ศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVAเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปัจจัยที่ศึกษาด้วย Duncans Multiple Range Test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประมวลผลทางสถิติ SPSS (SPSS 16.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันและลักษณะของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน แสดงดัง Fig. 1 (a-c) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Reshma *et al.* (2012) และ Kongkaew *et al.* (2015) ที่รายงานว่า กากงาและเมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงเท่ากับร้อยละ 56.47 และ 56.88 ตามลำดับ การที่กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง อาจเป็นเพราะเปลือกของเมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมาก (Rawdkuen *et al.*, 2016) กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณความชื้นต่ำ (ร้อยละ 7.70) ซึ่งจะทำให้อายุการเก็บรักษาของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การที่มีปริมาณความชื้นสูงสามารถเกิดความเสื่อมเสียคุณค่าทางโภชนาการของกากงาได้ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไขมันโดยจุลินทรีย์ (Bozan and Temelli, 2008) Longvah and Deosthale (1991) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะโปรตีน (ร้อยละ 17.00) และไขมัน (ร้อยละ 51.70) Sargi *et al.* (2013) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูง โดยคิดเป็นร้อยละ 42.27 และ 25.38 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ (เมล็ดเจียและเมล็ดแฟลกซ์) Peiretti (2011) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณโปรตีนและไขมันเท่ากับร้อยละ 23.85 และ 43.04 ตามลำดับ นอกจากนี้ Bullerwell *et al.* (2016) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากคาเมลีน่าหลังการสกัดน้ำมัน พบว่า กากคาเมลีน่ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 35.70 ปริมาณไขมันร้อยละ 9.90 และปริมาณเถ้าร้อยละ 5.89 ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืชน้ำมันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ฤดูกาล เวลาในการเก็บเกี่ยว ความสุกแก่ของเมล็ดและสิ่งแวดล้อมในการปลูก (Longvah and Deosthale, 1991)

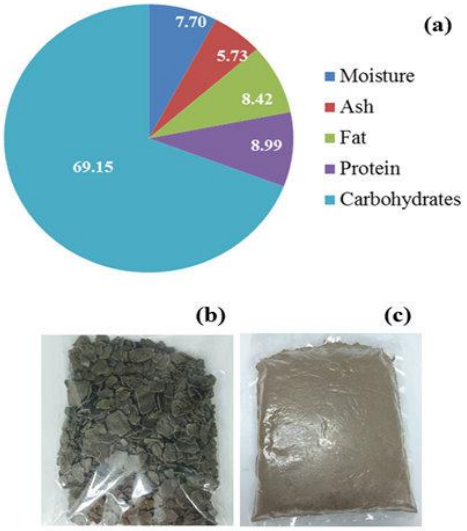

Fig.1 Proximate composition (%) of perilla seed pressed-cake (a), perilla seed (oil pressed-cake) (b), and perilla seed pressed-cake powder (c).

2. องค์ประกอบกรดอะมิโนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

Table 1 แสดงองค์ประกอบกรดอะมิโนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันซึ่งพบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง โดยเฉพาะไลซีน ฟีนิวอะลานีน ลิวซีน และฮิสทิดีน สำหรับกลุ่มของกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น พบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดกลูตามิกและไทโรซีนสูง ในขณะที่อาร์จินีน และไฮดรอกซีโพรลีนมีปริมาณต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ

Table1 Amino acid composition of perilla seed pressed-cake

Amino acid (mg/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Essential amino acid	
Histidine	2059.50 ± 34.65
Isoleucine	875.00 ± 14.14
Leucine	2736.00 ± 41.01
Lysine	4905.50 ± 34.65
Methionine	133.50 ± 3.54
Phenylalanine	3236.50 ± 79.90
Threonine	175.50 ± 6.36
Tryptophan	235.50 ± 7.78
Valine	813.50 ± 26.16
Nonessential amino acid	
Alanine	641.50 ± 17.68
Arginine	< 5.00 ± 0.00
Aspartic acid	840.00 ± 35.56
Cystine	692.50 ± 2.12
Glutamic acid	2466.50 ± 78.49
Glycine	471.50 ± 6.36
Hydroxylysine	< 5.00 ± 0.00
Hydroxyproline	26.50 ± 1.95
Proline	471.50 ± 9.19
Serine	267.00 ± 5.66
Tyrosine	1885.50 ± 4.95

*In house method based on AOAC official method 994.12, 988.15 (2000) Detected by GC-MS

Al Surmi *et al.* (2016) รายงานว่า เมล็ดดอกคำฝอยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณของลิวซีน ฟีนิวอะลานีน วาลีน กรดกลูตามิก อาร์จินีน และกรดแอสพาร์ติกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ และยังรายงานว่าเมล็ดดอกคำฝอยประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นเท่ากับ 11.48-14.93 g/100g Longvah and Deosthale (1991) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบร้อยละ 39 ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด อย่างไรก็ตามในกลุ่มของกรดอะมิโนที่จำเป็น เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณของเมทไทโอนีน (133.50 mg/100 g) และทรีโอนีนต่ำ (175.50 mg/100 g) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Liu *et al.* (2015) ที่รายงานว่ากากเมล็ดดอกทานตะวันมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัวน้อยมาก เช่น ไลซีน เมทไทโอนีน ทรีโอนีน และทริปโตแฟน Hojilla-Evangelista *et al.* (2013) รายงานว่า กาก pennycress มีกรดกลูตามิก กรดแอสพาร์ติกอาร์จินีน ลิวซีน และไกลซีน เป็นองค์ประกอบมากที่สุด แต่ยังขาดแคลนกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัว เช่น เมทไทโอนีน ไลซีน และทริปโตแฟน

3. องค์ประกอบกรดไขมันของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

องค์ประกอบกรดไขมันของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน Table2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 84.47 ไขมันอิ่มตัวที่พบในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 84.47 ไขมันอิ่มตัวที่พบในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน ได้แก่ กรดปาลมิติกกรดสเตียริก และกรดอะราคิดิกนอกจากนี้กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว อย่างไรก็ตามไม่พบไขมันชนิดทรานส์ในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Longvah and Deosthale (1991) ที่รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนประกอบด้วยกรดลิโนเลนิกร้อยละ 56.80 กรดลิโนเลอิกร้อยละ 17.60 กรดโอเลอิกร้อยละ 12.90 กรดปาล์มมิติกร้อยละ 8.90 และกรดสเตียริกร้อยละ 3.80 นอกจากนี้ยังรายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณของกรดลิโนเลนิกสูงกว่ามัสตาร์ดและถั่วเหลืองถึง 6-8 เท่า Ciftci *et al.* (2012) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณอัลฟ่า-กรดลิโนเลนิกเท่ากับร้อยละ 60.93 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนเท่ากับร้อยละ 75.85 Sargi *et al.* (2013) รายงานว่า เมล็ดพืชน้ำมันเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น เช่น อัลฟ่า-กรดลิโนเลนิก โดยเมล็ดเจีย เมล็ดงาขี้ม้อนสีขาว และเมล็ดงาขี้ม้อนสีน้ำตาลมีปริมาณของอัลฟ่า-กรดลิโนเลนิกเท่ากับ 554.85 539.07และ 531.44 mg/g ตามลำดับ และองค์ประกอบกรดไขมันของเมล็ดงาขี้ม้อนขึ้นอยู่กับระดับความแก่ของพืช นอกจากนี้ Sargi *et al.* (2013) ได้แนะนำว่า ควรบริโภคเมล็ดงาขี้ม้อนประมาณ 8 กรัมต่อวัน จึงจะ

ได้รับปริมาณสารกรดลิโนเลนิก ที่ Institute of Medicine of the National Academies (2005) แนะนำให้บริโภคต่อวัน (ผู้ชาย: 1.6 กรัมต่อวันและผู้หญิง: 1.1 กรัมต่อวัน)

Table2 Fatty acid composition of perilla seed pressed-cake

Composition (g/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Saturated fat	1.23± 0.01
Palmitic acid	0.87 ± 0.01
Stearic acid	0.33 ± 0.00
Arachidic acid	0.03 ± 0.00
Unsaturated fat	7.92 ± 0.01
Monounsaturated fatty acid	1.00 ± 0.01
Polyunsaturated fatty acid	6.92 ± 0.01
Palmitoleic acid	0.02 ± 0.00
Cis-9-Oleic acid	0.98 ± 0.01
Cis-9,12-Linoleic acid	2.08 ± 0.00
alpha-Linoleic acid	4.84 ± 0.01
Tran fat	ND
Omega-3 (mg/100 g)	4833.84 ± 6.98
Omega-6 (mg/100 g)	2081.81 ± 3.09
Omega-9 (mg/100 g)	982.18 ± 11.78

*In house method TE-CH-208 based on AOAC (2012) 996.06. ND = not detected.

กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น ซึ่งร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ต้องได้รับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น ได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า-3 และกรดไขมันโอเมก้า-6 อีกทั้งยังมีกรดไขมันโอเมก้า-9 เป็นองค์ประกอบอีกด้วย กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณโอเมก้า-3 (4833.84 mg/100 g) สูงที่สุด รองลงมาคือ กรดไขมันโอเมก้า-6 (2081.81 mg/100 g) และกรดไขมันโอเมก้า-9 (982.18 mg/100 g) ตามลำดับ Kongkeaw *et al.* (2015) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 เท่ากับ 59.08 g/100 g และกรดไขมันโอเมก้า-6 เท่ากับ 19.00 g/100 g Bhunia *et al.* (2015) ได้ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันของเมล็ดงา 54 สายพันธุ์ซึ่งพบว่าเมล็ดงามีปริมาณโอเมก้า-9 ร้อยละ 38-50 และโอเมก้า-6 ร้อยละ 18-43 Sargi *et al.* (2013) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนมีอัตราส่วนระหว่างโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 เท่ากับ 1:5 โดยปกติแล้วร่างกายต้องการความสมดุลระหว่างโอเมก้า6 ต่อโอเมก้า-3 ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งอัตราส่วนระหว่างโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 มีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (Qwele *et al.*, 2013)

4. ปริมาณเส้นใยอาหาร สตาร์ช และน้ำตาลในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

ปริมาณเส้นใยอาหาร สตาร์ช และน้ำตาลในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน Table3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณเส้นใยอาหารและสตาร์ชเท่ากับ 46.49 และ 12.59 g/100 g ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารและสตาร์ชสอดคล้องกับผลของปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Fig.1) Sunil *et al.* (2015) พบว่า กากงาและกากมะพร้าวมีเส้นใยอาหารเท่ากับร้อยละ 52.9 และ 58.3 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่ารำข้าวถึง 2 เท่า จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กากงาขี้ม้อนเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหาร ซึ่งการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เกิดความสมดุลของระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันยังมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 3.06 g/100 g โดยมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (2.77 g/100 g) มีน้ำตาลฟรุกโตสและแลกโตสในปริมาณที่จำกัด (< 0.20 g/100 g) และไม่พบน้ำตาลกลูโคสและมอลโทสในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่า กากถั่วดาวอินคามีน้ำตาลซูโครส (7.32 g/100 g) เป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากากงาขี้ม้อนในงานวิจัยนี้ Xu *et al.* (2016) ศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในกากเมล็ดชาพบว่า กากเมล็ดชาประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส แรมโนส กลูโคส กาแลกโทสไซโลสอะราบิโนส กรดกลูคูโรนิก และกรดกาแลกตูโรนิก โดยน้ำตาลกลูโคสมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 59

Table 3 Chemical properties of perilla seed pressed-cake

Composition (g/100 g)	Perilla seed pressed-cake
Dietary fiber*	46.49
Starch**	12.59 ± 0.07
Total sugar***	3.06 ± 0.22
Fructose	< 0.20 ± 0.00
Glucose	ND
Sucrose	2.77 ± 0.22
Maltose	ND
Lactose	< 0.20 ± 0.00

*AOAC (2010) 985.29.

**In house method based on AOAC (2010) 920.44.

***In house method based on Department of Medical Science (2003). ND = not detected.

5. ปริมาณแร่ธาตุในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันพบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญ ซึ่งมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงที่สุด รองลงมาคือ แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบเช่น ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Kongkeaw *et al.* (2015) ที่รายงานว่า ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่เด่นชัดในเมล็ดงาขี้ม้อน คือ แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 5.13 และ 6.54 mg/g DW Longvah and Deosthale (1991) ได้ศึกษาปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีแคลเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง เป็นองค์ประกอบ และมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ในขณะที่แมกนีเซียมพบในเมล็ดงาขี้ม้อนเท่านั้น Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่ากากถั่วดาวอินคาประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณเท่ากับ 10815.00 2253.00 1694.00 และ 1157.50 mg/kg ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของแคลเซียมและโพแทสเซียม ซึ่งแคลเซียมช่วยลดความเสี่ยงของโรคกระดูกพรุน ในขณะที่โพแทสเซียมช่วยลดความดันโลหิตกับโรคหลอดเลือดหัวใจ โดยแร่ธาตุดังกล่าวมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะหญิงตั้งครรภ์ ผู้หญิงที่ให้นมบุตร รวมไปถึงเด็กและผู้สูงอายุด้วย

Table 4 Mineral content of perilla seed pressed-cake

Composition (mg/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Calcium	655.00 ± 1.98
Copper	1.86 ± 0.04
Iron	1.29 ± 0.04
Magnesium	414.40 ± 1.27
Manganese	6.37 ± 0.27
Phosphorus	819.85 ± 3.75
Potassium	617.95 ± 3.32
Sodium	26.35 ± 0.35
Zinc	5.73 ± 0.38

*In house method TE-CH-170 based on AOAC 18th edition 2005, Ch.50 (984.27) and Ch.9 (999.10) by ICP-OES technique.

6. รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเลคโตรโฟเรซิสและไกลโคโปรตีน

จากการตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเลคโตรโฟเรซิสและไกลโคโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันให้ผลดัง Fig. 2 โดยตัวอย่างถูกเตรียมทั้งในสภาวะที่เติมและไม่เติม β-mercaptoethanol เพื่อดูพันธะหลัก (พันธะไดซัลไฟด์) ในตัวอย่างโปรตีน จากการแยกโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันโดยใช้รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเลคโตรโฟเรซิสพบว่า ลักษณะแถบโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันที่ไม่เติม β-mercaptoethanol (lane 1) แตกต่างจากตัวอย่างโปรตีนที่เติม β-mercaptoethanol (lane 2) อย่างเห็นได้ชัด โดยในสภาวะที่ไม่เติม β-mercaptoethanol พบว่า โปรตีนจากกากงาสกัดน้ำมันมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 28 ถึง 61 กิโลดาลตัน ในขณะที่ตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะที่เติม β-mercaptoethanol ลักษณะแถบโปรตีนที่อยู่ในช่วง 45 ถึง 61 กิโลดาลตันหายไป แต่มีน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ในช่วง 14 ถึง 29 กิโลดาลตัน ปรากฏขึ้น ซึ่งอาจเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน

หลักที่มีอยู่ในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน จากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่า โปรตีนจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีพันธะไดซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างหลัก โปรตีนหลักที่เป็นองค์ประกอบในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันและมีแถบชัดเจนประกอบด้วยโปรตีนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 61, 48, 45, 30, 28, 19 และ 14 กิโลดาลตัน

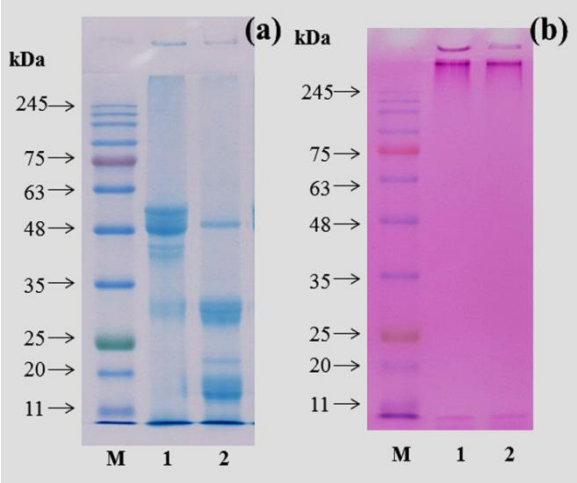

Fig. 2 Electrophoresis patterns of protein (a) and glycoprotein (b) of perilla seed pressed-cake Protein content at 30 μg was load in each lane. M: molecular weight standards, lane 1: the sample prepared in non-reducing condition, lane 2: the sample prepared in reducing condition

Tirgar *et al.* (2017) รายงานว่า โปรตีนจากเมล็ดแฟลกซ์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงที่ 10 ถึง 50 กิโลดาลตัน ในขณะที่โปรตีนจากถั่วมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงที่ 13 ถึง 100 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ตัวอย่างโปรตีนที่เตรียมในสภาวะที่ไม่เติม β-mercaptoethanol ยังปรากฏแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งอยู่ขอบบนของเจลส่วนล่าง (separating gel) และด้านบนของเจลส่วนบน (stacking gel) ซึ่งอาจเป็นการเชื่อมประสานระหว่างโปรตีน Sathe *et al.* (2012) รายงานว่า เมล็ดโปรตีนที่สามารถละลายได้จะมีพอลิเปปไทด์อยู่ในช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่ 10 ถึง 70 กิโลดาลตัน Poveda *et al.* (2016) รายงานว่า 2S albumin เป็นลักษณะของโปรตีนที่มีอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ผักโขม ควินัว ถั่วเหลือง ถั่วดาวอินคา รวมไปถึงงา ซึ่งถือว่าโปรตีนเหล่านี้เป็นสารก่อภูมิแพ้ โดย 2S albumin จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 13 กิโลดาลตัน นอกจากนี้พวกเขายังรายงานว่า 11S globulin ที่ไม่ละลายน้ำและ 2S albumin ที่ละลายน้ำเป็นโปรตีนหลักในเมล็ดงา

การย้อมติดสีของโปรตีนแบบไกลโคโปรตีนจะใช้ในการตรวจ glycosylated proteoglycans (protein glycosaminoglycans) หรือ ไกลโคโปรตีน (protein oligosaccharides) ในตัวอย่าง (Moller and Poulsen, 2002) โดยโครงสร้างของไกลโคโปรตีนจะประกอบด้วยโปรตีนที่จับกับโอลิโกหรือโพลิแซกคาไรด์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Mathews and Holde, 1990) จากการตรวจสอบรูปแบบไกลโคโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันพบว่า ไม่มีแถบโปรตีนปรากฏบนเจลส่วนล่าง อย่างไรก็ตาม มีแถบโปรตีนบางส่วนที่ปรากฏบนขอบของเจลส่วนล่างและเจลส่วนบนที่ถูกย้อมติดสี (สีม่วงเข้มบนพื้นหลังสีชมพู) (Fig. 2) ดังนั้นกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันอาจมีโอลิโกแซกคาไรด์เป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย Wati *et al.* (2009) รายงานว่า แถบโปนตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ 215, 132 และ 39 กิโลดาลตัน เป็นไกลโคโปรตีนที่อยู่ในถั่วขาว ในขณะที่ Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่า กากถั่วดาวอินคามีไกลโคโปรตีนเป็นองค์ประกอบโดยมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 35 กิโลดาลตัน

7. ปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน Table 5 สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่พบโดยทั่วไปในพืช และมีรายงานถึงการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งรวมถึงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Khairunnuur *et al.*, 2009) สารประกอบฟีนอลจากพืชเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนหรือมีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนเพื่อขจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดอรกซิลของฟีนอล (hydroxyl groups; -OH) (Mohdaly *et al.*, 2011) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 7.72 mg GAE/g DW ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ เช่น งาดำ (1.38 mg GAE/g

sample) งาขาว (2.88 mg GAE/g sample) (Vishwanath *et al.*, 2012) กากงา (sesame cake) (1.94 mg GAE/g sample) (Mohdaly *et al.*, 2011) และถั่วดาวอินคา (0.51 mg GAE/g sample) (Rawdkuen *et al.*, 2016) ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่พบในเมล็ดพืชจะขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ สภาพอากาศ ฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว และพื้นที่ในการเพาะปลูก เป็นต้น (Peng *et al.*, 2005) Lee *et al.* (2013) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลในเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า สารประกอบฟีนอลหลักในเมล็ดงาขี้ม้อน ได้แก่ rosmarinic acid 3-O-glucoside และ rosmarinic acid โดยมีปริมาณร้อยละ 49 และ 48 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ตามลำดับ

Table 5 Phytochemical, antioxidant activity, and anti-nutrient of perilla seed pressed-cake

Parameter	Perilla seed pressed-cake
Total phenolic content (mg GAE/g DW)	7.72 ± 0.12
Total flavonoid content (mg CE/g DW)	8.21 ± 0.25
DPPH inhibition (%)	52.91 ± 1.26
FRAP (mmol Fe(II)/g DW)	10.68 ± 0.20
Lipid peroxidation (nmol MDA/g FW)	17.36 ± 0.48
Trypsin inhibitor (specific inhibitory activity; units/g protein)	0.74 ± 0.03
α-amylase inhibition activity (%)*	37.26 ± 1.54

Data are mean ± SD of triplicates.
*Acarbose (1 mg/ml) 69.28 ± 1.44% for α -amylase inhibition activity.

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดจากกากงาขี้ม้อน สกัดน้ำมันมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 8.21 mg CE/g DW (Table 5) ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ เช่น งาดำ (0.05 mg CE/g sample) งาขาว (0.12 mg CE/g sample) (Vishwanath *et al.*, 2012) เมล็ดเมอร์เทิลน้ำมัน(0.75 mg CE/g sample) (Wannes and Marzouk, 2016) และเมล็ดแฟลกซ์ (3.50 mg CE/g sample) (Anwar and Przybylski, 2012) ความสุกแก่ (ripeness) ของเมล็ดมีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ เมื่อเมล็ดมีความแก่มากขึ้นปริมาณฟลาโวนอยด์ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Peng *et al.*, 2005) Ishikura (1981) รายงานว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในเมล็ดงาขี้ม้อน คือ ฟลาโวน (flavones) ซึ่งเป็นสารสีเหลืองและสารที่พบคือ apigenin และ luteolin โดยพบในอัตราส่วน 1:1 Peng *et al.* (2005) และ Ha *et al.* (2012) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนมีกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วย (+)-catechinapigenin และ luteolin นอกจากนี้ Zekonis *et al.* (2008) และ Yu *et al.* (2017) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีสำคัญ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหยและสารประกอบฟีนอล ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นเมล็ดงาขี้ม้อนจึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดการแพ้ (anti-allergic) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammation) ฤทธิ์ต้านมะเร็ง (anticancer) ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial) จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันสามารถเป็นแหล่งทางเลือกหนึ่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้

8. กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา เนื่องจากมีความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้บริโภค การศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันด้วยวิธี DPPH radical scavenging (Table 5) วิธี DPPH เป็นวิธีการวัดความสามารถของสารในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่เกิดขึ้น เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ถูกรีดิวซ์โดยได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ดังนั้นการลดลงของอนุมูลอิสระ DPPH จึงเป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ของสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบได้โดยสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันแสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระถึงร้อยละ 52.91 โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากากถั่วดาวอินคาและสารมาตรฐาน butylatedhydroxytoluene (BHT) ซึ่งรายงานโดย Rawdkuen *et al.* (2016) ที่พบเพียงร้อยละ 32.43 และ 43.24 ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวอาจเนื่องมาจากกากงาขี้ม้อนมีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง Kongkaew *et al.* (2015) ได้รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนสีขาวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 20.86 ในขณะที่เมล็ดงาขี้ม้อนสีน้ำตาลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงถึงร้อยละ 77.83 ทั้งนี้เป็นเพราะเมล็ดงาขี้ม้อนสีน้ำตาลมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงกว่าเมล็ดงาขี้ม้อนสีขาว (ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เบต้าแคโรทีนและอัลฟ่า-โทโคฟีรอล) Teh and Birch (2014) รายงานว่ากากพืชสกัดน้ำมันแต่ละชนิดแสดงค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยกากเมล็ดแฟลกซ์กากเมล็ดคาโนลาและกากเมล็ดกัญชงมีค่าการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 22.54, 38.56 และ 30.94 ตามลำดับ พวกเขาสรุปว่า ชนิดหรือสายพันธุ์ของพืชที่แตกต่างกันส่งผลให้พืชมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่างกันด้วย เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างและสัณฐานวิทยาที่ต่างกัน

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) เพื่อหาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนหรือการรีดิวซ์เหล็กในรูปของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จากผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ให้ผลดัง Table 5 พบว่าสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 10.68 mmol Fe(II)/g DW Kongkaew *et al.* (2015) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนที่มีสีต่างกันจะมีค่า FRAP ต่างกันด้วย โดยเมล็ดงาขี้ม้อนสีขาว (2.26 μmolTrolox/g sample) มีค่า FRAP ต่ำกว่าเมล็ดงาขี้ม้อนสีน้ำตาล (2.46 μmolTrolox/g sample) Teh and Birch (2014) รายงานว่ากากเมล็ดคาโนลา (23.64 μmol Fe(II)/g sample) มีค่า FRAP สูงที่สุด รองลงมาคือกากเมล็ดกัญชง (16.74 μmol Fe(II)/g sample) และกากเมล็ดแฟลกซ์ (8.67 μmol Fe(II)/g sample) ตามลำดับ ปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพของเมล็ดพืชน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Peng *et al.*, 2005) นอกจากนี้ Sargi *et al.* (2013) ได้รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม้อนมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดแฟลกซ์ โดยมีค่า FRAP อยู่ที่ 5.24 และ 0.33 mmolTrolox/g sample ตามลำดับ เมล็ดพืชน้ำมันเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Shukla *et al.*, 2009) ดังนั้นกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันจึงเป็นแหล่งทางเลือกของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่งเนื่องจากเป็นเศษเหลือจากการผลิตน้ำมัน ที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ หรือจับกับโลหะหนักได้

9. การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันสามารถวิเคราะห์ได้โดยการหาปริมาณของ TBARS รายงานในรูปของ nmol MDA/g FW โดยมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA) เป็นผลิตผลจากปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและใช้ในการประเมินการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) โดยภาวะเครียดออกซิเดชันเกิดจากอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (reactive oxygen species) เข้าไปทำลายไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิกในเซลล์พืช (Deng *et al.*, 2016) จากการวิเคราะห์ปริมาณ TBARS ของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีปริมาณ TBARS เท่ากับ 17.36 nmol MDA/g FW (Table 5) Shirvani *et al.* (2016) รายงานว่า เมล็ดดอกคำฝอยมีปริมาณ TBARS เท่ากับ 1060 mol MDA/g sample ซึ่งปริมาณของ TBARS สอดคล้องกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเมล็ด เมล็ดที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงจะเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันหรือมีปริมาณ TBARS ต่ำ (Deng *et al.*, 2016)

10. กิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสและเอนไซม์ทริปซิน

อะไมเลสเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยพันธะอัลฟ่าไกลโคซิดิกในแป้งให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้เป็นน้ำตาลมอลโตส กลูโคส และเดกซ์ทริน สารยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โดยจะช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่จะดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Vadivel and Biesalski, 2012) จากการศึกษาผลของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันต่อกิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสในหลอดทดลอง โดยใช้น้ำแป้งเป็นสับสเตรท พบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสได้เท่ากับร้อยละ 37.26 ในขณะที่อะคาร์โบส (acarbose) (ชุดควบคุมเชิงบวก; 1mg/ml) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสได้ถึงร้อยละ 69.28 (Table 5) ดังนั้นสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีประสิทธิภาพในย่อยคาร์โบไฮเดรตได้น้อยกว่าอะคาร์โบส Reshma *et al.* (2012) รายงานว่า สารสกัดจากกากงามีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสจาก *Aspergillus oryzae* เพียงร้อยละ 16.95 ที่ความเข้มข้น 0.75 mg/ml และพวกเขาได้สรุปว่า สารสกัดจากกากงามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสเพียงเล็กน้อย Hano *et al.* (2013) รายงานว่า สารสกัดจากเมล็ดแฟลกซ์เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลส โดยแสดงค่ากิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสเท่ากับร้อยละ 45.70 (ความเข้มข้น 0.50mg/ml) Amutha and Godavari (2016) รายงานว่า สารสกัดจากเมล็ดงาดำที่ความเข้มข้น 5 mg/ml แสดงค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟ่า-อะไมเลสสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 24.95 จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันสามารถลดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหลังมื้ออาหาร (postprandial hyperglycemia) โดยการยับยั้งการย่อยของคาร์โบไฮเดรตเป็นผลให้การดูดซึมของน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายลดลง

สารต้านโภชนาการ เช่น ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินที่ใช้ย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหาร โดยสารต้านโภชนาการมีคุณสมบัติไปทำลาย หรือขัดขวางการดูดซึม และการนำไปใช้ประโยชน์ของสารอาหารโปรตีน (Klomklao *et al.*, 2011) จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (specific inhibitory activity) เท่ากับ 0.74 units/g protein (Table 5) Wati *et al.* (2010) ได้ศึกษาสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินในเมล็ดถั่ว 3 ชนิดพบว่า เมล็ดถั่วอะซูกิมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินสูงที่สุด (553 units/mg protein) รองลงมาคือ ถั่วขาว (316 units/mg protein) และถั่วแดง (205 units/mg protein) ตามลำดับ Klomklao *et al.* (2011) รายงานว่า ถั่วเขียวมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเท่ากับ 11.72 units/mg protein Pesoti *et al.* (2015) รายงานว่า เมล็ดควินัว (quinoa seed) มีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเท่ากับ 8.56 units/mg protein เมื่อเทียบค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันกับพืชตระกูลถั่วหรือธัญพืชจะเห็นได้ว่ากากงาขี้ม้อนแสดงค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ต่ำกว่าพืชเมล็ดถั่ว โดยปริมาณทริปซินอินฮิบิเตอร์ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ การเจริญเติบโตเต็มที่ของพืช การหมัก และการใช้ความร้อนร่วม เป็นต้น (Benjakul *et al.*, 2000)

สรุปผลการวิจัย

กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนที่จำเป็น แร่ธาตุ อีกทั้งยังมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และกรดไขมันโอเมก้า (โอเมก้า-3 โอเมก้า-6 และโอเมก้า-9) ในปริมาณสูง กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งระบุโดยปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงอีกด้วย อย่างไรก็ตามพบสารต้านโภชนาการ (ทริปซินอินฮิบิเตอร์) ในระดับหนึ่งดังนั้นกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันน่าจะมีความเป็นไปได้สูงในการใช้เป็นแหล่งสารอาหารหรือใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงและมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการติดต่อขอใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์ทดสอบตลอดการดำเนินงานวิจัย

References

Al Surmi, N.Y., El Dengawy, R.A.H. and Khalifa, A.H. 2016. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. J. Food Process. Technol. 7: 585.

Amutha, K. and Godavari, A. 2016. In-vitro-antidiabetic activity of n-butanol extract of *Sesamumindicum*. Asian J. Pharm. Clin. Res. 9: 60-62.

Anwar, F. and Przybylski, R. 2012. Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 11: 293-301.

AOAC. 2000. Official method of analytical chemists. 17th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.

AOAC. 2005. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.

AOAC. 2010. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.

AOAC. 2011. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.

AOAC. 2012. Official methods of analysis of AOAC international. 19th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.

Benjakul, S., Visessanguan, W. and Thummaratwasik, P. 2000. Isolation and characterization of trypsin inhibitors from some Thai legume seeds. J. Food Biochem. 24: 107-127.

Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. 1999. The ferric reducing ability of plasma as a power: the BRAP assay. Anal. Biochem. 239: 70-76.

Bhunia, R.K., Chakraborty, A., Kaur, R., Gayatri, T., Bhat, K.V., Basu, A., Maiti, M.K. and Sen, S.K. 2015. Analysis of fatty acid and lignan composition of indiangermplasm of sesame to evaluate their nutritional merits. J. Am. Oil Chem. Soc. 92: 65-76.

Bozan, B. and Temelli, F. 2008. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. Bioresour. Technol. 99: 6354-6359.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci. Technol. 28: 25-30.

Bullerwell, C.N., Collins, S.A., Lall, S.P. and Anderson, D.M. 2016. Growth performance, proximate and histological analysis of rainbow trout fed diets containing Camelina sativa seeds, meal (high-oil and

solvent-extracted) and oil. Aquaculture. 452: 342-350.

Ciftci, O.N., Przybylski, R. and Rudziǹska, M. 2012. Lipid components of flax, perilla, and chia seeds. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 114: 794-800.

Deng, B., Zhang, Y., Yang, K. and Li, Z. 2016. Change in non-enzymatic antioxidant capacity and lipid peroxidation during germination of white, yellow and purple maize seeds. Pak. J. Bot. 48: 607-612.

Department of Medical Science. (2003). Compendium of Method for Food Analysis. 1st edition. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards: Bangkok. 2/80-2/81.

Ha, T.J., Lee, J.H., Lee, M.-H., Lee, B.W., Kwon, H.S., Park, C.-H., Shim, K.-B., Kim, H.-T., Baek, I.-Y. and Jang, D.S. 2012. Isolation and identification of phenolic compounds from the seeds of *Perilla frutescens* (L.) and their inhibitory activities against α-glucosidase and aldose reductase. Food Chem. 135: 1397-1403.

Hano, C., Renouard, S., Molinié, R., Corbin, C., Barakzoy, E., Doussot, J., Lamblin, F. and Lainé, E. 2013. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) extract as well as (+)-secoisolariciresinoldiglucoside and its mammalian derivatives are potent inhibitors of α-amylase activity. Bioorg. Med. Chem. Lett. 23: 3007-3012.

Hojilla-Evangelista, M.P., Evangelista, R.L., Isbell, T.A. and Selling, G.W. 2013. Effects of cold-pressing and seed cooking on functional properties of protein in pennycress (*Thlaspi arvense* L.) seed and press cakes. Ind. Crops Prod. 45: 223-229.

Institute of Medicine of the National Academies. 2005. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). National Academy Press: Washington.

Ishikura, N. 1981. Anthocyanins and flavones in leaves and seeds of perilla plant. Agric. Biol. Chem. 45: 1855-1860.

Khairunnuur, F.A., Zulkhairi, A., Azrina, A., Moklas, M.A.M., Khairullizam, S., Zamree, M.S. and Shahidan, M.A. 2009. Nutritional composition, in vitro antioxidant activity and *Artemia salina* L. lethality of pulp and seed of *Tamarindus indica* L. extracts. Malays. J. Nutr. 15: 65-75.

Kim, D.-O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. Food Chem. 81: 321-326.

Klomklao, S., Benjakul, S., Kishimura, H. and Chaijan, M. 2011. Extraction, purification and properties of trypsin inhibitor from Thai mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). Food Chem. 129: 1348-1354.

Kongkeaw, S., Riebroy, S. and Chaijan, M. 2015. Comparative studies on chemical composition, phenolic compounds and antioxidant activities of brown and white perilla (*Perilla frutescens*) seeds. Chiang Mai J. Sci. 42: 896-906.

Laemmli, U. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of head of bacteriophage T4. Nature. 227: 680-685.

Lee, J.H., Park, K.H., Lee, M.-H., Kim, H.-T., Seo, W.D., Kim, J.Y., Baek, I.-Y., Jang, D.S. and Ha, T. J. 2013. Identification, characterisation, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean perilla (*Perilla frutescens*) cultivars. Food Chem. 136: 843-852.

Liu, J.D., Li, Q.Y., Zeng, Z.K., Li, P., Xu, X., Wang, H.L., Zhang, S. and Piao, X.S. 2015. Determination and prediction of the amino acid digestibility of sunflower seed meals in growing pigs. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 28: 86-94.

Longvah, T. and Deosthale, Y.G. 1991. Chemical and nutritional studies on hanshi (*Perilla frutescens*), a

traditional oilseed from northeast India. J. Am. Oil Chem. Soc. 68: 781-784.

Marathe, S.A., Rajalakshmi, V., Jamdar, S.N. and Sharma, A. 2011. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. Food Chem. Toxicol. 49: 2005-2012.

Mathews, C.K. and Holde, K.E. 1990. Biochemistry. The Benjamin/Cummings Publishing: California.

Mohdaly, A.A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A. and Mahmoud, A. 2011. Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. Ind. Crops Prod. 34: 952-959.

Moller, H.J. and Poulsen, J.H. 2002. Staining of glycoproteins/proteoglycans in SDS-gels. In: The protein protocols handbook. J.M. Walker (Ed.), Hu-mana Press Springer-Verlag: Germany.

Nitta, M., Lee, J.K. and Ohnish, O. 2003. Asian Perilla crops and their weedy forms: their cultivation, utilization and genetic relationships. Econ. Bot. 57: 245-253.

Odhav, B., Kandasamy, T., Khumalo, N. and Baijnath, H. 2010. Screening of African traditional vegetables for their alpha-amylase inhibitory effect. J. Med. Plants Res. 4: 1502-1507.

Peiretti, P.G. 2011. Fatty acid content and chemical composition of vegetative parts of perilla (*Perilla frutescens* L.) after different growth lengths. Res. J. Med. Plant. 5: 72-78.

Peng, Y., Ye, J. and Kong, J. 2005. Determination of phenolic compounds in *Perilla frutescens* L. by capillary electrophoresis with electrochemical detection. J. Agric. Food Chem. 53: 8141-8147.

Peschel, W., Dieckmann, W., Sonnenschein, M. and Plescher, A. 2007. High antioxidant potential of pressing residues from evening primrose in comparison to other oilseed cakes and plant antioxidants. Ind. Crops Prod. 25: 44-54.

Pesoti, A.R., Oliveira, B.M.d., Oliveira, A.C.d., Pompeu, D.G., Gonçalves, D.B., Marangoni, S., Silva, J.A.d. and Granjeiro, P.A. 2015. Extraction, purification and characterization of inhibitor of trypsin from Chenopodium quinoa seeds. Food Sci. Technol. (Campinas). 35: 588-597.

Poveda, T., Vilcacundo, R., Carpio, C. and Carrillo, W. 2016. Analysis of sesame proteins isolate (*Sesamum indicum* L.) with water and salt treatment. Asian J. Pharm. Clin. Res. 9: 404-407.

Qwele, K., Hugo, A., Oyedemi, S.O., Moyo, B., Masika, P.J. and Muchenje, V. 2013. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa (*Moringa oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. Meat Sci. 93: 455-462.

Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S. and Phongthai, S. 2016. Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sachainchi seeds. Food Biosci. 15: 64-71.

Reshma, M.V., Namitha, L.K., Sundaresan, A. and Kiran, C.R. 2012. Total phenol content, antioxidant activities and α-glucosidase inhibition of sesame cake extracts. J. Food Biochem. 22: 1-9.

Salem, M.Z.M., Ali, H.M., El-Shanhorey, N.A. and Abdel-Megeed, A. 2013. Evaluation of extracts and essential oil from Callistemon viminalis leaves: antibacterial and antioxidant activities, total phenolic and flavonoid contents. Asian Pac. J. Trop. Med. 6: 785-791.

Sargi, S.C., Silva, B.C., Santos, H.M.C., Montanher, P.F., Boeing, J.S., Santos-Junior, O.O., Souza, N.E. and Visentainer, J.V. 2013. Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. Food Sci. Technol. (Campinas). 33: 541-548.

Sathe, S.K., Kshirsagar, H.H. and Sharma, G.M. 2012. Solubilization, fractionation, and electrophoretic characterization of inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.) proteins. Plant Foods Hum. Nutr. 67: 247-255.

Shahidi, F. 2000. Antioxidant factors in plant foods and selected oilseeds. Biofactors. 13: 179-185.

Shirvani, A., Jafari, M., Goli, A., Soltani Tehrani, N. and Rahimmalek, M. 2016. The changes in proximate composition, antioxidant activity and fatty acid profile of germinating safflower (*Carthamus tinctorius*) seed. J. Agric. Sci. Technol. 18: 1967-1974.

Shukla, S., Mehta, A., John, J., Singh, S., Mehta, P. and Vyas, S.P. 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of *Caesalpinia bonducella* seeds. Food Chem. Toxicol. 47: 1848-1851.

Song, L., Gao, H., Chen, H., Mao, J., Zhou, Y., Chen, W. and Jiang, Y. 2009. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage. Food Chem. 114: 1216-1221.

Sunil, L., Appaiah, P., Prasanth Kumar, P.K. and Gopala Krishna, A.G. 2015. Preparation of food supplements from oilseed cakes. J. Food Sci. Technol. 52: 2998-3005.

Teh, S.-S. and Birch, E.J. 2014. Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. Ultrason. Sonochem. 21: 346-353.

Tirgar, M., Silcock, P., Carne, A. and Birch, E.J. 2017. Effect of extraction method on functional properties of flaxseed protein concentrates. Food Chem. 215: 417-424.

Vadivel, V. and Biesalski, H.K. 2012. Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and type II diabetes relevant enzyme inhibition properties of methanolic extract of traditionally processed underutilized food legume, *Acacia nilotica* (L.) Willd ex. Delile. Int. Food Res. J. 19: 593-601.

Vishwanath, H.S., Anilakumar, K.R., Harsha, S.N., Khanum, F. and Bawa, A.S. 2012. *In vitro* antioxidant activity of sesamum indicum seeds. Asian J. Pharm. Clin. Res. 5: 56-60.

Wannes, W.A. and Marzouk, B. 2016. Characterization of myrtle seed (*Myrtus communis* var. baetica) as a source of lipids, phenolics, and antioxidant activities. J. Food Drug Anal. 24: 316-323.

Wati, R.K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. 2009. Three phase partitioning of trypsin inhibitor from legume seeds. Process Biochem. 44: 1307-1314.

Wati, R.K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. 2010. Trypsin inhibitor from 3 legume seeds: fractionation and proteolytic inhibition study. J. Food Sci. 75: C223-C228.

Xu, Z., Li, X., Feng, S., Liu, J., Zhou, L., Yuan, M. and Ding, C. 2016. Characteristics and bioactivities of different molecular weight polysaccharides from camellia seed cake. Int. J. Biol. Macromol. 91: 1025-1032.

Yu, H., Qiu, J.-F., Ma, L.-J., Hu, Y.-J., Li, P. and Wan, J.-B. 2017. Phytochemical and phytopharmacological review of *Perillafrutescens* L. (Labiatae), a traditional edible-medicinal herb in China. Food Chem. Toxicol. 108: 375-391.

Zekonis, G., Zekonis, J., Sadzeviciene, R., Simoniene, G. and Kevelaitis, E. 2008. Effect of *Perilla frutescens* aqueous extract on free radical production by human neutrophil leukocytes. Medicina (Kaunas). 44: 699-705.

Zhu, J. and Fu, Q. 2012. Optimization of ultrasound-assisted extraction process of perilla seed meal proteins. Food Sci. Biotechnol. 21: 1701-1706.