ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวง

Effect of Drying Methods on Physiochemical and Antioxidant Properties of Pre-gelatinized Flour from Lotus Root

ศุภศจี จันทะปะทัด [1] ชาญณรงค์ ชมนาวัง [1] จิระพันธ์ ห้วยแสน [1] หนูเดือน สาระบุตร [1] และ กรรณิการ์ ห้วยแสน [1*]

Supasajee Jantanpatad [1], Channarong Chomnawang [1], Jirapun Huaisan [1], Nuduan Saraboot [1] and Kannika Huaisan [1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของวิธีการทำแห้ง 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ การทำแห้งแบบถาด การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบระเหิด ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวง ผลการทดลองพบว่าวิธีการทำแห้งไม่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวง ($p>0.05$) ขณะที่วิธีการทำแห้งจะมีผลต่อค่าสี ($p\leq0.05$) ยกเว้นค่าความเป็นสีแดงถึงความเป็นสีเขียว ($p>0.05$) โดยพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดมีค่าความสว่าง (L*) สูงสุด และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำสุด เท่ากับ 89.98 และ 7.20 ตามลำดับ จากผลการทดลองยังพบว่าวิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 6.97 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 5.66 มิลลิกรัมของรูตินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้วิธีการทำแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ($p\leq0.05$) จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP จะให้ค่าสูงสุดในตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เท่ากับ 10.87, 43.24 ไมโครกรัมสารโทรล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 11.69 ไมโครกรัมสารเฟอร์รัสซัลเฟตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

คำสำคัญ: แป้งพรีเจลาติไนซ์, รากบัวหลวง, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, วิธีการทำแห้ง

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ เลขที่ 62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

[1] Division of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Kalasin campus, 62/1 Kasetsomboon Road, Kalasin District, Muang, Kalasin 46000, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding auther, e-mail): khuaisan@gmail.com Tel: 08 1871 6465

ABSTRACT

The effect of 4 drying methods consisting of drum drying, tray drying, vacuum drying and freeze drying of pre-gelatinized flour fromLotus root were investigated along with their physiochemical and antioxidant properties. The result found that no significant effect of drying methods on water activity value (a_w) and moisture content (%) of dried pre-gelatinized flour ($p > 0.05$). Whereas, the significant effect of drying methods on color properties ($p \leq 0.05$), except the redness to greenness value (a*) ($p > 0.05$) of dried samples was observed. The highest lightness (L*) and lowest yellowness (b*) of sample prepared by freeze drying method were showed with the value of 89.98 and 7.20, respectively. From the results, there was significant effect of drying methods on total phenolics and total flavonoids contents ($p \leq 0.05$). The highest total phenolics and total flavonoids contents were obtained in the sample prepared by drum drying method with the value of 6.97 mg GAE / g (dry weight) and 5.66 mg rutin / g (dry weight), respectively. For antioxidant assay, there were significant effects of drying methods on antioxidant activity ($p \leq 0.05$). The highest DPPH, ABTS and FRAP values were found in the sample prepared by drum drying method with the value of 10.87, 43.24 µg Trolox/g (dry weight) and 11.69 µg Ferrous sulphate/g (dry weight), respectively.

Key words: pre-gelatinization flour, *Nelumbo nucifera* (lotus root), antioxidant properties, drying method

บทนำ

บัวหลวงชื่อสามัญว่า Lotus จัดอยู่ในตระกูล Nelumbonaceae โดยรากหรือเหง้าของบัวหลวงมีลักษณะเป็นท่อนยาว แบ่งเป็นปล้องๆ เมื่อหั่นตามขวางจะเห็นรูกลวงเรียงตัวเป็นรัศมี เนื้อรากบัวจะมีลักษณะฉ่ำกรอบ มีสีขาวอมเหลืองหรือสีเหลืองงาช้าง มีกลิ่นหอมอ่อนๆ คล้ายดอกบัว รากบัวจัดเป็นผักชนิดหนึ่ง สามารถกินได้ทั้งแบบดิบและแบบสุก โดยการนำไปคั่ว ดอง หั่นแว่นอบแห้ง รากบัวมีฤทธิ์เย็นจัด รสหวาน รากบัวดิบมีสรรพคุณขับร้อน แก้อาการกระหายน้ำ อาเจียนเป็นเลือด เลือดกำเดาไหล รักษาอาการป่วยเพราะไข้ขึ้นเฉียบพลัน ส่วนรากบัวสุกมีสรรพคุณช่วยให้เจริญอาหาร บำรุงเลือด เสริมสร้างกล้ามเนื้อ บำรุงม้าม รักษาม้ามหรือกระเพาะพร่อง แก้ท้องเดินจากงานวิจัยของ Shad *et al.* (2011) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งรากบัว (กรัมต่อ 100 กรัม) มีดังนี้คือ ปริมาณเถ้า (1.10±0.66) ไนโตรเจนทั้งหมด (1.36±0.04) โปรตีนทั้งหมด (8.48±0.25) น้ำตาลทั้งหมด (19.08±0.01) และกรดอะมิโน (0.78±0.035) มีความสามารถในการดูดน้ำและความสามารถใน

การจับน้ำมัน ร้อยละ 2.56±0.05 และ 2.03±0.25 ตามลำดับมีสมบัติเชิงคุณภาพที่ความเข้มข้นต่ำแป้งรากบัวให้สมบัติเกิดเจลมีปริมาตรการก่อโฟม (ร้อยละ 5.23±0.03) ความคงตัวของโฟม (ร้อยละ 4.97±0.058) ความสามารถเกิดอิมัลชัน (ร้อยละ 48.93±0.35) และความคงตัวของอิมัลชัน (ร้อยละ 96.43±0.51) นอกจากนี้มีปริมาณสารแทนนินสาร ซาโปนินสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ ปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.415±0.164, 0.843±0.028, 0.07±0.02, 0.578±0.05 และ 0.08±0.061 กรัมต่อ 100 กรัม ของแป้ง ตามลำดับ (Shad *et al.*, 2012) ลักษณะเม็ดสตาร์ชมีรูปทรงรีขนาดเล็ก (small oval granules) และจัดเรียงแบบ C-type เมื่อถูกย่อยด้วยกรดจะสามารถเปลี่ยนจาก C-type เป็น A-type ได้ (Man *et al.*, 2012) ผลการวิเคราะห์สารบริสุทธิ์ที่สกัดได้จากรากบัวพบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงและมีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ (Hu and Skibsted, 2002) จากผลการวิจัยของ สุรัตน์วดี และคณะ (2557) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนต่างๆ ของบัวหลวง มีค่า EC_{50} เท่ากับ 68.05 ไมโครกรัมสารบีเอชทีต่อมิลลิลิตร โดยทั่วไปรากบัวหลวงนิยมนำมาประกอบอาหาร ผลิตเป็นแป้งและสตาร์ชเพื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการดัดแปรแป้งรากบัวหลวงดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากรากบัวหลวงผ่านการทำแห้งที่ต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Drum drying) การทำแห้งแบบถาด (Tray drying)การทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drying) และการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบรากบัวหลวง ซื้อจากตลาดร่วมใจการเกษตร อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ หลังจากนั้นนำรากบัวหลวงมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกออก แล้วนำไปหั่นเป็นแว่นหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 นาน 20 นาที นำรากบัวหลวงที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการพรีเจลาติไนซ์โดยการลวกที่อุณหภูมิ 60-70 °ซ นาน 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำเย็นและทำให้แห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน 4 วิธี ดังนี้คือ (1) การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ที่อุณหภูมิ 135 °ซ ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double Drum Dryer model DOFM 30/40 บริษัท Owner Food Machinery Co., LTD, ประเทศไทย) (2) การทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 °ซ นาน 12 ชั่วโมง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (บริษัท Owner Food Machinery Co., LTD, ประเทศไทย) (3) การทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง (BINDER 07-19243, Germany) (4) การทำแห้งแบบระเหิด ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (HETO, model LYOPRO 3000., Denmark) ที่อุณหภูมิ -50 °ซ นาน 14 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดละเอียดด้วยเครื่องบดแป้งที่ความเร็วสูงสุดของเครื่อง นาน 1 นาที ร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 120 เมซ (mesh) แล้วเก็บตัวอย่างแป้งใส่ถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟลอยด์ ปิดผนึกถุงและเก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 การวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (เครื่องวัดปริมาณความชื้น

(Moisture Analyzer) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Series MA100, บริษัท Sartorius, ประเทศเยอรมนี) วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (AQUA LAB models series 3TE)

2.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (รุ่น Ultra Scan ® Pro., บริษัท Hunter Lab VA., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ระบบ CIELAB รายงานค่า L*, a*, b* เลือกโหมดการวัดแบบ RSEX แหล่งกำเนิดแสง D65 และมุมวัด 10 องศา

2.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.3.1 กระบวนการสกัดตัวอย่าง โดยนำแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงมาสกัดด้วยเอธานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 อัตราส่วนแป้งต่อสารละลายเอธานอลเท่ากับ 1:9 (W/V) จากนั้นทำการเขย่าด้วยเครื่อง Orbital incubator shaker (New Brunswick™ รุ่น INNOVA 40R, บริษัท Eppendorf, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 RPM อุณหภูมิ 20 °ซ นาน 12 ชั่วโมง แล้วทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิต่ำ (Beckman Coulter, รุ่น Avanti J-E, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 6000 RPM อุณหภูมิ 20 °ซ นาน 15 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนใสเก็บที่อุณหภูมิ -18 °ซ จนกว่าจะทำการวิเคราะห์และก่อนวิเคราะห์มีการเจือจางสารสกัดตัวอย่างด้วยเอธานอลความเข้มข้นร้อยละ 50

2.3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric (Singleton and Rossi, 1965) มีขั้นตอนดังนี้ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 200 ไมโครลิตรเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent ปริมาตร 2.5 มล. วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 2.0 มล. วางไว้ในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ และเทียบกับกราฟสารมาตรฐานกรดแกลลิครายงานในหน่วย mg gallic acid equivalents (GAE) ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

2.3.3 ปริมาณฟลาวโวนอยด์ทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Zhishen *et al.*, 1999) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 0.2 มล. แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 150 ไมโครลิตรตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 150 ไมโครลิตรตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.8 มล. ทิ้งไว้นาน 15 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์และเปรียบเทียบกับกราฟสารมาตรฐานรูตินรายงานในหน่วย มิลลิกรัมของรูตินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

2.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhy-drazyl (DPPH) (ดัดแปลงตามวิธี Brand-Willians *et al.*, 1995) ขั้นตอนดังนี้คือ ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrythydrazyl) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 2 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเทียบกับกราฟสารมาตรฐานโทรล็อกซ์รายงานในหน่วยไมโครกรัมของโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

2.3.5 ความสามารถของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS radical cationdecolorization assay (ดัดแปลงตามวิธี Re *et al.*, 1999) ขั้นตอนดังนี้คือเตรียมสารผสมของสารละลาย ABTS ความ

เข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 5 มล. กับสารละลายโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ความเข้มข้น 140 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 88 ไมโครลิตร นำไปเก็บในที่มืดนาน 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นสารละลาย ABTS ที่ผ่านการเก็บไว้ในที่มืดจะถูกเจือจางด้วยสารละลาย PBS (Phosphate buffer saline 5 mM, pH 7.4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.70±0.2 (ใช้ PBS เป็นแบลงค์) ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย ABTS ปริมาตร 3 มล. ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 6 นาที แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร และเทียบกับกราฟสารมาตรฐานโทรล็อกซ์รายงานในหน่วยไมโครกรัมของโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

2.3.6 วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ลิก (FRAP; ferric reducing antioxidant power assay) (Benzie and Strain, 1996) ขั้นตอนดังนี้คือ ปิเปตตัวอย่าง 50 ไมโครลิตรและ FRAP solution ปริมาตร 2 มล. [ประกอบด้วย acetate buffer 300 mM, pH 3.6 ต่อ 2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ต่อ Iron (III) Chloride Hexahydrate ($FeCl_3.6H_2O$) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 10:1:1 v/v] ใส่ในหลอดทำปฏิกิริยาสีชาผสมให้เข้ากัน วางไว้ในที่มืดนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm โดยมี acetate buffer เป็นแบลงค์คำนวณค่าความสามารถในการรีดิวซ์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกจากกราฟสารมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตรายงานในหน่วยไมโครกรัมของสารเฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองนี้จัดการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาผลของวิธีการทำแห้งแป้งพรีเจลาทิไนซ์จากรากบัวหลวง 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ การทำแห้งแบบถาดการทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบระเหิดต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างแป้งที่ผ่านการทำแห้ง ผลการทดลองแสดงดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน 4 วิธี พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าวอเตอร์-แอคติวิตี้ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านการทำแห้งอยู่ในช่วง 0.24 ถึง 0.35 และปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.33 ถึงร้อยละ 6.39 (ตารางที่ 1)

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านค่าสี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านค่าสีของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านการทำแห้ง 4 วิธี พบว่ามีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ที่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าการทำแห้งแบบระเหิด มีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 89.98 และมีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุดเท่ากับ 7.20 สำหรับค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าความเป็นสีแดง อยู่ในช่วง 1.36 ถึง 2.23 (ตารางที่ 2) เนื่องจากการทำแห้งแบบระเหิด เป็นการทำแห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันต่ำ ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนและกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอสออกซิเดส ที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลดลง (Ratti *et al.*, 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kang *et al.* (2014) พบว่าโอลิโกแซคคาไรค์ผ่านการทำแห้งแบบระเหิด มีค่าความสว่างมากกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศและแบบพ่นฝอย จากงานวิจัยของ Xiang-yang *et al.* (2009) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอสออกซิเดสในรากบัว มีค่าพีเอชและอุณหภูมิเหมาะสมที่ 7.5 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่จากรายงานการวิจัยของ Hsu *et al.* (2003) กลับพบว่าแป้งมันเทศ (yam flour) พันธุ์ Tai-Nung No.2 ที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าความสว่างมากกว่าการทำแห้งแบบระเหิดและแบบลมร้อน ต่างจากพันธุ์ Ta-Shan กับพันธุ์

ตารางที่ 1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณความชื้นของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน

วิธีการทำแห้ง	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)$^{(ns)}$	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) $^{(ns)}$
การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	0.31±0.06	6.39±1.08
การทำแห้งแบบถาด	0.24±0.01	5.90±0.13
การทำแห้งแบบสุญญากาศ	0.35±0.13	6.33±1.06
การทำแห้งแบบระเหิด	0.34±0.01	5.33±0.04

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ns ของแต่ละแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าสีของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน

วิธีการทำแห้ง	L*	a* $^{(ns)}$	b*
การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	86.44±0.94^{b}	2.18±0.28	8.18±0.44^{b}
การทำแห้งแบบถาด	86.54±0.24^{b}	1.97±0.08	8.60±0.48^{ab}
การทำแห้งแบบสุญญากาศ	86.48±1.01^{b}	2.23±0.49	9.07±0.14^{a}
การทำแห้งแบบระเหิด	89.98±0.99^{a}	1.36±0.03	7.20±0.22^{c}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- L* คือ ค่าความสว่าง (0-100), a* คือ ค่าความเป็นสีแดงค่าความเป็นสีเขียว, b* คือค่าความเป็นสีเหลืองถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน

- ^{a,b,c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

- ns ของแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

Ming-Chien เมื่อได้รับการทำแห้งแบบระเหิด มีค่าความสว่างสูงสุด โดยทั่วไปกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอสออกซิเดสของผลไม้ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-70 องศาเซลเซียส (Bello and Sule, 2012) นอกจากนี้การทำแห้งแบบระเหิดมีประสิทธิภาพดีในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Ghribi *et al.*, 2015)

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการทำแห้งแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดสูงสุด คือ 6.97 (มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) และมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุด คือ 5.66 (มิลลิกรัมรูตินต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) ดังแสดงในตารางที่ 3

จากงานวิจัยของ Shad *et al.* (2012) ซึ่งนำรากบัวไปตากแดดให้แห้ง แล้วบดละเอียดได้เป็นแป้งรากบัว พบว่ามีปริมาณกรดฟีนอลิกอิสระ กรดฟีนอลิกเอสเทอร์(esterified phenolic acids) และกรดฟีนอลิกไม่ละลาย (insoluble bound phenolic acids) เท่ากับ 130±0.107, 0.243±0.064 และ 0.167±0.07 กรัมต่อ 100 กรัมของแป้งรากบัว ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวง มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง แต่มีระยะเวลาสั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงคุณภาพดี (Pua *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม Sogi *et al.* (2015) รายงานว่ามะม่วงหั่นลูกเต๋าที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดและสูงกว่าการทำแห้งแบบถาดแบบสุญญากาศและแบบอินฟาเรดและงานวิจัยของ An *et al.* (2016) พบว่าขิงแห้งจากการทำแห้งแบบระเหิด มีสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าขิงสด โดยการใช้ความร้อนใน

ตารางที่ 3 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมของรูตินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	6.97±0.43[a]	5.66±0.42[a]
การทำแห้งแบบถาด	4.81±0.36[b]	4.16±0.48[b]
การทำแห้งแบบสุญญากาศ	5.50±0.75[b]	3.92±0.19[b]
การทำแห้งแบบระเหิด	5.38±0.69[b]	3.88±0.37[b]

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- [a,b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

การทำแห้งเป็นสาเหตุให้สารฟีนอลิกทั้งหมดลดลงและสูญเสียสารฟีนอลิก (Asami *et al.*, 2003)

4. ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน (ตารางที่ 4) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ส่งผลให้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ วิธี ABTS สูงสุด คือ 10.87 และ 43.24 ไมโครกรัมของสารโทรล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้งตามลำดับส่วนผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ส่งผลให้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวง มีความสามารถในการรีดิวซ์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกสูงสุด คือ 11.69 ไมโครกรัมของสารเฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับวิธีการทำแห้งแบบระเหิด ผลที่ได้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Hsu *et al.* (2003) ซึ่งพบว่าแป้งมันเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิด มีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งแบบลมร้อนและแบบลูกกลิ้งคู่ซึ่ง Piga *et al.* (2003) อธิบายว่าอุณหภูมิระหว่างการทำแห้งส่งผลกระทบต่อสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารโพลีฟีนอลส่งผลให้ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระลดลง เช่นเดียวกับ Dorta *et al.* (2012) พบว่าสาเหตุจากความร้อนและการเกิดออกซิเดชันระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระลดลง อย่างไรก็ตามความร้อนระหว่างการทำแห้ง อาจส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (Michalska *et al.*, 2016)

สรุป

แป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 4 วิธีคือการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ การทำแห้งแบบถาดการทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบระเหิดส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้

ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านวิธีการทำแห้งต่างกัน

วิธีการทำแห้ง	วิธี DPPH*	วิธี ABTS*	วิธี FRAP**
การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	10.87 ± 0.55^{a}	43.24 ± 0.89^{a}	11.69 ± 1.12^{a}
การทำแห้งแบบถาด	8.09 ± 0.61^{c}	18.42 ± 0.93^{b}	9.27 ± 0.74^{b}
การทำแห้งแบบสุญญากาศ	8.56 ± 0.24^{bc}	21.51 ± 1.47^{b}	9.66 ± 0.26^{b}
การทำแห้งแบบระเหิด	9.29 ± 0.58^{b}	28.43 ± 1.70^{b}	10.51 ± 0.55^{ab}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษร ^{a,b} ที่แตกต่างกันของแต่ละแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$), * รายงานในหน่วย ไมโครกรัมของสารโทรล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง, ** รายงานในหน่วย ไมโครกรัมของสารเฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง

ยกเว้นค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และปริมาณความชื้น โดยแป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีค่าสีด้านความสว่างสูงสุด และค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตาม แป้งพรีเจลาติไนซ์จากรากบัวหลวงที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

สุรัตน์วดี วงศ์คลัง, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์ และอรุณพร อิฐรัตน์. 2557. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของบัวหลวง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 45(2พิเศษ): 673-676.

An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y. and Xiao, G. 2016. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. **Food Chemistry** 197(B): 1292–1300.

Asami, D.K., Hong, Y.J., Barret, D.M. and Mitchell, A.E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic content of freeze-dried and air dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 51(3): 1237–1241.

Bello, A.B. and Sule, M.S. 2012. Optimum temperature and thermal stability of crude polyphenoloxidase from some common fruits. **Nigerian Journal of Basic and Applied Science** 20(1): 27-31.

Benzie, I.E.F. and Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power the FRAP assay. **Analytical Biochemistry** 239(1): 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology** 28(1): 25-30.

Dorta, E., Gloria Lobo, M. and González, M. 2012. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology** 45(2): 261-268.

Ghribi, A.M., Gafsi, I.M., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H. and Besbes, S. 2015. Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering** 165: 179-188.

Hsu, C-L., Chen, W., Weng, Y-M. and Tseng, C-Y. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. **Food Chemistry** 83(1): 85–92.

Hu, M. and Skibsted, L.H. 2002. Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nuficera*). **Food Chemistry** 76(3): 327–333.

Kang, O.L., Yong, P.F., Ma'aruf, A.G., Osman, H. and Nazaruddin, R. 2014. Physicochemical and antioxidant studies on oven-dried, freeze-dried and spray-dried agaro-oligosaccharide powders. **International Food Research Journal** 21(6): 2363-2367.

Man, J., Cai, J., Cai, C., Xu, B., Huai, H. and Wei, C. 2012. Comparison of physicochemical properties of starches from seed and rhizome of lotus. **Carbohydrate Polymers** 88(2): 676– 683.

Michalska, A., Wojdylo, A., Lech, K., Lysiak., G.P. and Figiel, A. 2016. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry** 207(15): 223–232.

Piga, A., Del Caro, A. and Corda, G. 2003. From plums to prunes: influence of dryingparameters on polyphenols and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 51(12): 3675–3681.

Pua, C.K., Hamid, N.S.A., Rusul, G. and Rahman, R.A. 2007. Production of drum-driedjackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder with different concentration of soy lecithin and gum arabic. **Journal of Food Engineering** 78(2): 630–636.

Ratti, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering** 49(4): 311-319.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine** 26(9-10): 1231-1237.

Shad, M.A. Nawaz, H., Yaqoob, M. and Yousuf, B. 2012. Phytochemical composition and antioxidant properties of rhizomes of *Nilumbo nucifera*. **Journal of Medicinal Plants Research** 6(6): 972-980.

Shad, M.A., Nawaz, H., Hussain, M. and Yousuf, B. 2011. Proximate composition and functional properties of rhizomes of lotus (*Nelumbo nucifera*) from Punjab, Pakistan. **Pakistan Journal of Botany** 43(2): 895-904.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture** 16(3): 144-158.

Sogi, D.S., Siddiq, M. and Dolan, K.D. 2015. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology** 62(1): 564-568.

Xiang-yang, W., Li-jia, J. and Zhong-ying, W. 2009. Enzymatic browning of lotus roots and its control during storage. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** 25(4): 276-280.

Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry** 64(4): 555-559.