บทความวิจัย (Research Article)

คุณลักษณะของเศษเหลือทิ้งสับปะรดภูแล และศักยภาพการนำไปใช้ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

รวิสรา รื่นไวย์[1*], วีรนุช ไชยสิงห์[1], สุภาพร ภัสสร[1] และ สมชาติ ธนะ[2]

Characterization of Phu Lae pineapple wastes and potential application in the circular economy

Rawisara Ruenwai[1*], Weeranoot Chaiysing[1], Supaporn Passorn[1] and Somchart Thana[2]

[1] Division of Biotechnology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Division of Animal Science, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao Phayao, Phayao, 56000

Health Science, Science and Technology Reviews. 2023;16(2):106-117.

Received; 2 October 2022; Revised: 24 February 2023; Accepted: 16 June 2023

บทคัดย่อ

สับปะรดภูแลเป็นผลไม้เศรษฐกิจของจังหวัดเชียงราย ในระหว่างการตัดแต่งสับปะรดจะสร้างเศษเหลือทิ้งมากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารและสารสกัดที่ได้จากการสกัดส่วนเนื้อ ร่องตา และเปลือกสับปะรดด้วยเอทานอล ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีปริมาณของฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และความสามารถต้านออกซิเดชันมากกว่าสารสกัดจากส่วนเนื้อ และร่องตาของสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงขึ้นในการสกัดเปลือกสับปะรดมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีแนวโน้มลดลง เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกและร่องตาสับปะรดมีความสามารถในการจับน้ำมันและการอุ้มน้ำดีกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อของสับปะรด เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกและร่องตาสับปะรดที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 และ 90 มีความสามารถในการพองตัวที่ดี มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เส้นใยอาหารจากส่วนของเนื้อสับปะรดมีค่าดัชนีความขาวมากกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากร่องตาและเปลือกของสับปะรด ในขณะที่การใช้ความเข้มข้นของเอทานอลที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้ ดังนั้นเศษเหลือทิ้งจากสับปะรดจัดเป็นแหล่งของพอลิฟีนอลและเส้นใยอาหารที่มีแนวโน้มเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสารให้ประโยชน์เชิงหน้าที่ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อขับเคลื่อนอุตสาหกรรมเกษตรด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ความสามารถต้านออกซิเดชัน, เศรษฐกิจหมุนเวียน, เส้นใยอาหาร, พอลิฟีนอล, เศษเหลือทิ้งสับปะรด

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

Phu Lae pineapple is an economical fruit of Chiang Rai province. During pineapple processing, it usually generates wastes more than 50% of raw material. This research investigates the effect of alcoholic extraction conditions on the physicochemical of dietary fiber and extracts from pulp, eyes, and peel of pineapple. The results showed that pineapple peel extract had significantly higher amounts of phenolic, flavonoids and antioxidant capacity than the pineapple pulp and eyes extracts. Otherwise, when using higher ethanol concentration in pineapple peel extraction, the total phenolic and total flavonoid contents tend to decrease. Dietary fiber from the peel of pineapple and eyes of pineapple has oil binding capacity and water holding capacity better than dietary fiber from the pulp of pineapple. Dietary fibers from the peel and the eyes of pineapple obtained by extraction process with ethanol concentration of 80% and 90% had good swelling capacity equal to 10 ml/g dry weight. The whiteness index of dietary fiber from the pulp of pineapple is more than those from the eyes and the peel of pineapple while using different concentrations of ethanol had no effect on the whiteness index of the produced dietary fiber. Therefore, pineapple wastes are promising sources of polyphenols and dietary fiber and suitable for a wide range of applications as functional ingredients in industrial sectors towards the application of a circular economy and sustainable agro-industry system.

Keywords: Antioxidant properties, Circular economy, Dietary fiber, Polyphenol, Pineapple wastes

บทนำ

สับปะรด มีชื่อวิทยาศาสตร์เรียกว่า *Ananas comosus* (L.) Merr. เป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในกลุ่ม Crassulacean Acid Metabolism Plant (CAM plant) และมีความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการใกล้เคียงกับพวกอากาเว่ (Agave) และกล้วยไม้สกุลฟาแลนนอปซิส (Phalaenopsis) [1] สับปะรดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถใช้บริโภคแบบผลสด และเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมผลไม้แปรรูปของไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องที่มีความเชื่อมโยงกับภาคการผลิตด้านการเกษตรสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้มากในแต่ละปี ในปี 2564 ประเทศไทยมีผลผลิตสับปะรดมากเป็นอันดับ 6 ของโลก รองจากคอสตาริกา อินโนนีเซีย ฟิลิปปินส์ บราซิล และจีน [2] สับปะรดจัดเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดเชียงราย ที่นิยมปลูกมีอยู่ 2 สายพันธุ์คือ นางแล (Nang Lae; Smooth Cayenne group) และภูแล (Phu Lae; Queen group) สับปะรดภูแลนั้นมีลักษณะเด่น คือเนื้อสีเหลือง กรอบ มีกลิ่นหอม แกนสับปะรดสามารถรับประทานได้ เปลือกค่อนข้างหนาจึงเหมาะสำหรับการขนส่งระยะไกล สับปะรดภูแลได้รับการจดขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์หรือ “จีไอ” (GI : Geographical Indication) จากกรมทรัพย์สินทางปัญญาเลขที่ สช49100012 โดยพันธุ์ภูแลจะมีปริมาณผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดปี และมีปริมาณสูงเป็นพิเศษในช่วงระหว่างเดือน พ.ค. - ก.ค. ของทุกปี แต่ด้วยสถานการณ์แพร่ระบาดของโควิด-19 ที่ผ่านมา ทำให้มีปริมาณนักท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงรายทั้งไทยและต่างประเทศลดลงเป็นอย่างมาก ในขณะที่มีการตีกลับของสับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภคจากคู่ค้าต่างประเทศ และข้อจำกัดเรื่องการขนส่ง ส่งผลทำให้เกิดสภาวการณ์สับปะรดล้นตลาด ราคาตกต่ำ และยังมีเศษเหลือทิ้งของสับปะรด เช่น ร่องตา เปลือก จุกที่ได้จากกระบวนการตัดแต่งเพื่อบริโภคแบบผลสดและการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากสับปะรดเพื่อการส่งออก ทำให้มีเศษเหลือทิ้งจากการตัดแต่งสับปะรดปริมาณสูงถึงกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณสับปะรดที่รับเข้าทั้งหมด และด้วยการล็อคดาวน์ภายใต้สถานการณ์โควิด-19 ตั้งแต่ปี 2563 ที่ผ่านมา ทำให้มีปริมาณสับปะรดตกค้างและเหลือทิ้งเนื่องมาจากข้อจำกัดของการขนส่ง การจำหน่ายและแปรรูปจำนวนมาก สามารถก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ถ้าไม่มีการจัดการที่ถูกวิธี มีรายงานของปริมาณเศษเหลือทิ้งจากส่วนต่าง ๆ จากการตัดแต่งสับปะรด 2 สายพันธุ์คือ นางแลและภูแล

โดยเฉพาะในส่วนของเปลือกสับปะรดซึ่งมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 29-40 ของน้ำหนักผลทั้งหมด [3] เศษเหลือทิ้งสับปะรดยังมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส เส้นใยอาหาร เอนไซม์โบรมิเลน และสารพอลิฟีนอลชนิดต่างๆ สามารถเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์มูลค่าสูง เช่น กรดแลคติก สารต้านอนุมูลอิสระ เอทานอล ไบโอดีเซล และแก๊สมีเทน เป็นต้น [4] เส้นใยอาหารที่พบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพกทิน กัม มิวซิเลจ เป็นต้น โดยผักและผลไม้แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบ และสัดส่วนระหว่างเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำต่อเส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำที่แตกต่างกัน ดังนั้น วิธีการสกัดและขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจึงส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของเส้นใยอาหารจากผักและผลไม้แต่ละชนิด รวมทั้งการกำหนดสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ [5] นอกจากเปลือกของผลไม้ตระกูลส้มและมะนาวที่จัดว่ามีปริมาณของเส้นใยอาหารสูงแล้ว ได้มีการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกผลไม้ไทยบางชนิด ได้แก่ เงาะ ลองกอง กระท้อน ทุเรียน ลำไย มะม่วงแก้ว และมะม่วงโชคอนันต์ ผลพบว่ามีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงมากกว่าร้อยละ 50 [6] นอกจากนี้ พืชยังอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีที่มีคุณประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด โดยเฉพาะสารพอลิฟีนอลที่พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และใช้เป็นกลไกในการป้องกันอันตรายต่างๆ ให้กับพืช สามารถป้องกันหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ และยังมีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส และรสชาติของผักผลไม้ ข้อมูลจากการวิจัย พบว่า การรับประทานผักและผลไม้เป็นประจำมีความสัมพันธ์กับการลดอุบัติการณ์ของการเกิดโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable Chronic Diseases หรือ NCDs) เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ [7] งานวิจัยนี้อาศัยหลักการเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน เศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy หรือ BCG model) เข้ามามีส่วนช่วยในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการทิ้งของเสียจากกระบวนการแปรรูปในสถานประกอบการ โดยนำเนื้อสับปะรดตกเกรด เศษเหลือทิ้งจากการเซาะร่องตา และเปลือกของสับปะรดที่มีปริมาณมาก และยังเป็นแหล่งที่ดีของน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารสำคัญอื่น ๆ อีกหลายชนิด มาผ่านกรรมวิธีให้ได้สารสกัดสับปะรดที่มีคุณภาพและทราบองค์ประกอบทางเคมีเพื่อให้ได้สารสกัดเชิงหน้าที่ ส่วนกากที่แยกได้นำมาเตรียมและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพเพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารผง ผลการศึกษาในครั้งนี้อาจเป็นแนวทางในจัดการของเสียให้เหลือศูนย์โดยอาศัยการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากเศษเหลือทิ้งสับปะรดเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

วัสดุและวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างสับปะรด

เก็บตัวอย่างจากศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร การปลูกและการจัดการผลผลิตสับปะรดภูแล จังหวัดเชียงราย ในเดือนมกราคม 2564 ทำการเตรียมวัตถุดิบเศษเหลือทิ้งของสับปะรดภูแล ได้แก่ เนื้อผลตกเกรด เนื้อร่องตา และเปลือก (ภาพ 1) นำมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ หั่นให้มีขนาดประมาณ 2.0 เซนติเมตร แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิธีมาตรฐาน AOAC [8] จากนั้นนำส่วนที่เหลือมาแช่ในสารละลายเอทานอล (องค์การสุรา) ความเข้มข้นร้อยละ 60 70 80 และ 90 ปั่นให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นกรองเฉพาะส่วนใสเพื่อนำไปทำการระเหยแห้ง (Buchi Rotavapor® R-300) แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ส่วนกากที่เหลือนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนกึ่งอุตสาหกรรมแบบ 12 ถาด แล้วปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (Waring commercial blender model HGB2WT) เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติเส้นใยอาหาร

การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

วัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยดัดแปลงวิธี Folin-Ciocalteu colorimatric [9] ใส่สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ในสารละลายเจือจาง 10 เท่าของ Folin-Ciocalteu ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมเข้ากัน ทิ้งนาน 5 นาที ก่อนเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร บ่ม ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Sigma-aldrich) ความเข้มข้น 20 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

วัดปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยดัดแปลงวิธี Aluminum chloride colorimetric assay [10] โดยใส่สารสกัด 0.5 มิลลิลิตร ในสารละลายโซเดียมไนไตร์ต ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ทิ้งนาน 6 นาที ก่อนเติมสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 6 นาที และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์แมล ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานของคาเทชิน (Sigma-aldrich) ความเข้มข้น 20 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร หน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลคาเทชินต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

ตรวจสอบความสามารถต้านออกซิเดชัน โดยดัดแปลงวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical Scavenging Capacity [9] ใช้สารสกัด 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH (Aldrich, Germany) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่ 0 และ 30 นาที เทียบกับกราฟมาตรฐานของวิตามินซี (Chem-Supply, Australia) ความเข้มข้น 20 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร รายงานผลเป็นความสามารถต้านออกซิเดชัน DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซีต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

การสกัดเส้นใยอาหาร

นำกากสับปะรดที่ปั่นละเอียดแล้ว มาทำการร่อนผ่านตะแกรงโดยเรียงชั้นตะแกรงขนาด 60 120 และ 230 เมช หรือขนาด 0.250 0.125 และ 0.063 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงที่ตั้งค่าแอมพลิจูดไว้ที่ระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร [11] ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยระบบ CIE L*, a*, b* และวัดคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร ได้แก่

ค่าความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil binding capacity; OBC) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำมันดอกทานตะวันปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วใช้ปิเปตดูดส่วนใสทิ้ง และชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (w2) คำนวณตามสูตรดังนี้ [12]

ความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมต่อกรัม) = (w2 - w1) / w2

เมื่อ w2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง (กรัม)

w1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) ทำโดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w1) ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นใช้ปิเปตดูดส่วนใสทิ้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน (w2) คำนวณตามสูตรดังนี้ [12]

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัม) = (w2 - w1) / w1

เมื่อ w2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง (กรัม)

w1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

ค่าความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity; SC) ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (w1) ใส่ในกระบอกตวงที่ทราบปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและบันทึกปริมาตรเริ่มต้น (v0) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดปริมาตรของเส้นใยอาหารหลังดูดซับน้ำ (v1) คำนวณตามสูตร [13] ดังนี้

ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม) = (v1 - v0) / w1

เมื่อ v1 = ปริมาตรของเส้นใยอาหารหลังดูดซับน้ำ (มิลลิลิตร)

v0 = ปริมาตรของเส้นใยอาหารเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

w1 = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในแต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) ทุกการทดลองทดลองซ้ำ (Replication) 3 ครั้ง วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละสิ่งทดลอง (Multiple comparison) โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื้อ ร่องตา เปลือก

ภาพ 1 เศษเหลือทิ้งส่วนต่างๆ ของสับปะรดภูแล

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือทิ้งสับปะรดภูแลแสดงได้ดังตาราง 1 พบว่า ส่วนเนื้อจากผลที่ตกเกรด ร่องตา และเปลือกสับปะรดมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 80 โดยส่วนเนื้อผลสับปะรดภูแลมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าส่วนอื่นๆ คือร้อยละ 11.67 ในขณะที่ส่วนของเปลือกและร่องตาของสับปะรดมีปริมาณเพียงร้อยละ 2.4 - 2.8 และมีองค์ประกอบของไขมัน โปรตีน เยื่อใย และเถ้าที่แตกต่างกัน โดยพบปริมาณของโปรตีนในร่องตามากกว่าส่วนของเปลือกและเนื้อผล ส่วนเปลือกพบว่ามีปริมาณเยื่อใยมากกว่าในส่วนร่องตาและเนื้อผล สับปะรดทั้ง 3 ส่วนมีปริมาณของโปรตีนและไขมันต่ำ เมื่อนำแต่ละส่วนมาคั้นน้ำ วัดค่าพีเอชได้ 3.74 - 3.90 วัดค่าความหวานได้ 10-16 องศาบริกซ์ และวัดปริมาณกรดซิตริกจากน้ำคั้นส่วนเนื้อ ร่องตา และเปลือกได้เท่ากับร้อยละ 0.12 0.18 และ 0.04 ตามลำดับ เมื่อนำสารสกัดสับปะรดด้วยเอทานอลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และตรวจวัดความสามารถต้านออกซิเดชัน โดยวิธี DDPH radical-scavenging activity พบว่า สารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีปริมาณของฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และความสามารถต้านออกซิเดชันมากกว่าส่วนของร่องตาและเนื้อของสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณของฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล

ในการสกัดเปลือกสับปะรด (ภาพ 2) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการจับน้ำมัน การอุ้มน้ำและการพองตัวของกากสับปะรดที่ผ่านการอบแห้ง ปั่นละเอียดเป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 120 และ 230 เมช แสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารจากสับปะรดจากส่วนของเปลือกและร่องตา มีความสามารถในการจับน้ำมันดีกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อของสับปะรด และมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือ ซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose; CMC) และเพกทิน (Pectin) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 2) เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่า เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกและร่องตาของสับปะรด มีความสามารถในการอุ้มน้ำดีกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อของสับปะรด แต่มีค่าน้อยกว่าซีเอ็มซีและเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกและร่องตาของสับปะรดที่ได้จากกรรมวิธีการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 และ 90 มีความสามารถในการพองตัวดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวัดค่าสีของเส้นใยอาหารสับปะรดภูแลที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ในระบบ CIE รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีความขาว ดังสมการ Hunter Whiteness Index $(W) = 100 – ((100 – L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$ [14] ผลการศึกษาพบว่า เส้นใยอาหารจากส่วนของเนื้อสับปะรดมีค่าดัชนีความขาวมากกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากร่องตาและเปลือกของสับปะรด และมีค่ามากขึ้นเมื่อเส้นใยอาหารมีลักษณะเป็นผงละเอียดขนาด 230 เมช ในขณะที่ความเข้มข้นเอทานอลที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารที่สกัดได้ (ตาราง 3)

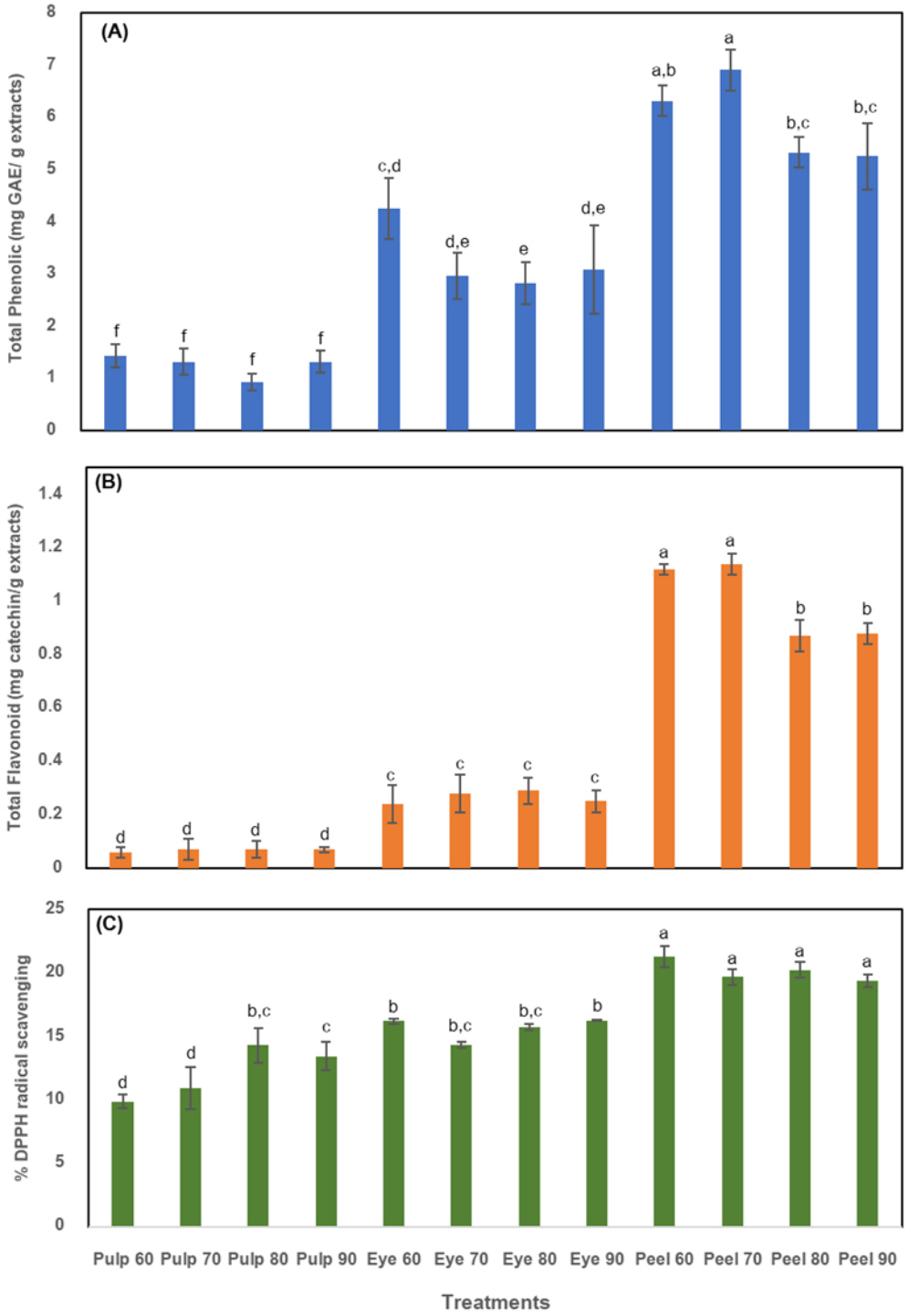
ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดภูแล วิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐาน AOAC (2005)

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	เนื้อ (Pulp)	ร่องตา (Eyes)	เปลือก (Peel)
ความชื้น	81.75 ± 0.07	80.86 ± 0.14	79.50 ± 0.37
เถ้า	2.03 ± 0.08	2.81 ± 0.49	4.47 ± 0.40
โปรตีน	1.72 ± 0.07	3.42 ± 0.07	2.44 ± 0.11
ไขมัน	0.35 ± 0.01	0.62 ± 0.01	0.75 ± 0.01
เยื่อใย	2.48 ± 0.01	9.45 ± 0.17	10.43 ± 0.15
คาร์โบไฮเดรต	11.67 ± 0.04	2.84 ± 0.05	2.41 ± 0.24

ตาราง 2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารสับปะรดภูแล

เส้นใยอาหารสับปะรด	ความสามารถในการจับน้ำมัน OBC (g/g)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ WHC (g/g)	ความสามารถในการพองตัว SC (ml/g)
เนื้อ 60% เอทานอล	0.16 ± 0.00^{i}	2.95 ± 0.00^{fg}	6.00 ± 0.00^{g}
เนื้อ 70% เอทานอล	0.26 ± 0.00^{g}	3.54 ± 0.00^{f}	6.50 ± 0.00^{f}
เนื้อ 80% เอทานอล	0.20 ± 0.00^{h}	3.74 ± 0.00^{f}	6.00 ± 0.00^{g}
เนื้อ 90% เอทานอล	0.35 ± 0.00^{f}	5.10 ± 0.00^{e}	7.00 ± 0.00^{e}
ร่องตา 60% เอทานอล	0.50 ± 0.00^{cd}	5.86 ± 0.00^{ce}	7.50 ± 0.00^{d}
ร่องตา 70% เอทานอล	0.42 ± 0.00^{e}	5.42 ± 0.00^{de}	6.50 ± 0.00^{f}
ร่องตา 80% เอทานอล	0.52 ± 0.00^{c}	5.74 ± 0.00 ^{ce}	10.00 ± 0.00^{b}
ร่องตา 90% เอทานอล	0.47 ± 0.00^{d}	6.17 ± 0.00^{de}	10.00 ± 0.00^{b}
เปลือก 60% เอทานอล	0.57 ± 0.00^{b}	7.41 ± 0.00^{b}	6.00 ± 0.00^{g}
เปลือก 70% เอทานอล	0.72 ± 0.00^{a}	6.30 ± 0.00^{c}	8.00 ± 0.00^{c}
เปลือก 80% เอทานอล	0.69 ± 0.00^{a}	6.30 ± 0.00^{c}	10.00 ± 0.00^{b}
เปลือก 90% เอทานอล	0.71 ± 0.00^{a}	6.48 ± 0.00^{c}	10.00 ± 0.00^{b}
ตัวควบคุม			
ซีเอ็มซี	0.43 ± 0.04^{e}	19.44 ± 0.30^{a}	22.00 ± 0.00^{a}
เพกทิน	0.22 ± 0.02^{h}	18.02 ± 1.05^{a}	4.00 ± 0.00^{h}

หมายเหตุ : ตัวอักษร a-i ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพ 2 ปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และความสามารถต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสับปะรดภูแล

หมายเหตุ : ตัวอักษร a - f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง 3 ค่าดัชนีความขาวของเส้นใยอาหารสับปะรดภูแล

เส้นใยอาหาร	ค่าดัชนีความขาว (Hunter Whiteness Index)		
	60 เมช (0.250 มิลลิเมตร)	120 เมช (0.125 มิลลิเมตร)	230 เมช (0.063 มิลลิเมตร)
เนื้อ 60% เอทานอล	69.32 ± 0.53^{a}	72.31 ± 0.07^{a}	76.21 ± 0.31^{ab}
เนื้อ 70% เอทานอล	67.99 ± 1.87^{ab}	70.93 ± 0.58^{ac}	77.01 ± 0.37^{a}
เนื้อ 80% เอทานอล	69.71 ± 1.75^{a}	72.40 ± 0.41^{a}	76.26 ± 0.57^{ab}
เนื้อ 90% เอทานอล	69.67 ± 2.19^{a}	71.42 ± 0.80^{ab}	76.29 ± 0.11^{ab}
ร่องตา 60% เอทานอล	67.13 ± 0.30^{ab}	69.52 ± 1.28^{bc}	74.21 ± 0.13^{bc}
ร่องตา 70% เอทานอล	65.55 ± 2.14^{abc}	70.10 ± 1.66^{bc}	69.93 ± 1.72^{de}
ร่องตา 80% เอทานอล	60.55 ± 1.01^{cd}	67.46 ± 1.62^{cd}	72.36 ± 1.09^{cd}
ร่องตา 90% เอทานอล	66.45 ± 1.48^{ab}	68.99 ± 1.08^{cd}	71.65 ± 0.02^{cd}
เปลือก 60% เอทานอล	63.19 ± 1.66^{bd}	64.38 ± 2.07^{e}	68.59 ± 1.09^{ef}
เปลือก 70% เอทานอล	63.18 ± 1.11^{bd}	63.60 ± 2.07^{e}	67.60 ± 1.41^{ef}
เปลือก 80% เอทานอล	66.72 ± 0.23^{ab}	66.89 ± 0.87^{cde}	67.22 ± 1.07^{f}
เปลือก 90% เอทานอล	60.05 ± 4.13^{d}	66.50 ± 1.86^{de}	67.53 ± 0.64^{ef}

หมายเหตุ : ตัวอักษร a – f ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

วิจารณ์

การลดการสูญเสียอาหาร (Food Loss) จากภาคการผลิตและกระบวนการแปรรูปในอุตสาหกรรมเกษตรโดยการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่ม เพื่อให้สามารถนำไปเสริมคุณค่าและสร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์อาหารและตอบโจทย์ผู้บริโภคที่รักสุขภาพมากขึ้น อีกทั้งเป็นการสร้างโอกาสให้กับธุรกิจใหม่ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยลดปริมาณขยะอาหาร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนได้ สับปะรดอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ และประกอบไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดแกลลิก กรดคลอโรจีนิก และกรดเฟอรูลิก แสดงให้เห็นว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ และฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง มีบทบาทในการช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ และต้อกระจก เป็นต้น [15] ในเปลือกของสับปะรดพบสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่สำคัญคือ ไมริเซติน คาเทชิน และ อิพิคาเทชิน ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [16] นอกจากสภาวะแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูก รวมทั้งวิธีการเก็บเกี่ยวแล้ว ชิ้นส่วนของพืช และวิธีการสกัด การเลือกใช้ตัวทำละลาย เทคโนโลยีที่ใช้ในการสกัดล้วนมีความสำคัญที่จะทำให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชที่แตกต่างกัน [17-19] การสกัดด้วยเอทานอลสามารถกำจัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบช่วยทำให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นแล้วยังช่วยลดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์และลดระยะเวลาในการอบแห้ง ในขณะที่ยังสามารถนำเอทานอลที่ระเหยออกมากลั่นให้บริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก หรือนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์แข็งใช้เป็นพลังงานชีวภาพ หรือหมักด้วยแบคทีเรียอะซิติกให้ได้เป็นน้ำส้มสายชู ทั้งนี้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ควรคำนึงถึงต้นทุนการผลิตโดยเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชนิดและปริมาณของวัตถุดิบ รวมทั้งความปลอดภัย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย โดยทั่วไปสามารถตรวจพบสารพอลิฟีนอลสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของผลไม้ เนื่องจากพืชสร้างได้หลายชนิดและมักสะสมไว้มากในเปลือกผลไม้ จึงทำให้ผลไม้มีกลิ่น สี รสชาติและ

ความฝาดที่แตกต่างกัน และยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันแมลง และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ ตัวอย่างเช่น คาเทชินในเปลือกมะม่วง แอลลาจิกแทนนินในเปลือกทับทิม แทนเจอร์ตินในเปลือกส้มและมะนาว [20] งานวิจัยนี้พบว่า สารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีปริมาณของฟีนอลิกสูงกว่าส่วนของร่องตาและเนื้อของสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.26 - 6.91 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Campos และคณะ ที่ได้ทำการสกัดส่วนเปลือกและลำต้นของสับปะรดด้วยการใช้น้ำร้อน พบว่าส่วนเปลือกมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าส่วนลำต้นของสับปะรด [21] Lasunon และคณะ ได้ทำการสกัดสารจากส่วนเปลือก เนื้อและแกนของสับปะรดด้วยเอทานอลร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ ผลพบว่า สารสกัดจากส่วนเปลือกและแกนมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่าส่วนของเนื้อสับปะรด [22] แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดมีศักยภาพในการนำไปสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ สารสกัดสับปะรดยังอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะแบคทีเรียโพรไบโอติก สอดคล้องกับ Managa [23] ที่ได้ทำการทดสอบหมักน้ำสับปะรดกับแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* และ *Weissella cibaria* เช่นเดียวกับงานของ Costa [24] และ Nguyen [25] จึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการใช้สารสกัดสับปะรดภูแลในการเพาะเลี้ยงเชื้อโพรไบโอติก เช่น สายพันธุ์ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* เพื่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มโพรไบโอติกได้

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา องค์ประกอบหลักของเส้นใยอาหารจากสับปะรดประกอบด้วยเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 75 และพบปริมาณของเส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำ เช่น เพกทิน เพียงร้อยละ 2.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกของฟักทอง และแตกต่างจากเปลือกของเมลอนและแตงโมที่พบปริมาณของเพกทินสูงกว่าร้อยละ 20 [20] จากงานวิจัยนี้ เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกสับปะรด มีความสามารถในการจับน้ำมันดีกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อและร่องตาของสับปะรด และมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมซีเอ็มซีและเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Cassellis และคณะ [26] เส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกและร่องตาของสับปะรด มีความสามารถในการพองตัวดีกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อของสับปะรด และดีกว่าตัวอย่างควบคุมเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยอาหารจากส่วนของเปลือกของสับปะรดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำสลัด มายองเนส หรือ ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เป็นต้น ในขณะที่เส้นใยอาหารส่วนเนื้อและร่องตาของสับปะรดอาจมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเสริมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารประเภทพาสต้า และเส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น เส้นใยอาหารที่มีเนื้อละเอียด (ขนาด 230 เมช) จะมีค่าดัชนีความขาวมากกว่าเส้นใยอาหารที่มีเนื้อหยาบหรือขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เส้นใยอาหารมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการจับน้ำมัน การก่อเจล การยึดเกาะ และการเป็นอิมัลซิไฟเออร์จึงสามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารและเครื่องดื่มได้ การผสมเส้นใยอาหารจากส้มเขียวหวานในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีประโยชน์ทางโภชนาการ เช่น การใช้เส้นใยอาหารปริมาณร้อยละ 1.5 ในสูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้ง มีผลช่วยลดปริมาณไขมันในอาหาร โดยไม่มีผลต่อประสาทสัมผัส [27] การใช้เส้นใยอาหารที่เตรียมได้จากเศษเปลือกและเนื้อของส้มในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์ ช่วยลดปริมาณของโปรตีนและไขมัน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดโดและความคงตัวของโดในผลิตภัณฑ์ [28]

โดยสรุป กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นใยอาหาร จึงควรศึกษากระบวนการที่เหมาะสมและกำหนดคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เส้นใยอาหารจากเปลือกสับปะรดมีแนวโน้มของความสามารถในการจับน้ำมันมากกว่าเส้นใยอาหารจากร่องตาและเนื้อ ทั้งนี้อาจปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ และการพองตัวให้ดีขึ้นด้วยการใช้เอนไซม์ย่อยองค์ประกอบอื่นๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใย

อาหารให้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการผลิตเชิงพาณิชย์ ผู้ประกอบการควรควบคุมกระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ได้แก่ ความสะอาดของวัตถุดิบตั้งแต่การรับเข้า สถานที่ผลิต ระบบการคัดแยกส่วนต่างๆ ของสับปะรดในกระบวนการตัดแต่ง การคัดแยกและกำจัดสิ่งปลอมปนที่ติดมากับเศษเหลือทิ้งสับปะรด และมีขั้นตอนทำความสะอาดก่อนนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตสารสกัดและเส้นใยอาหารผง และการตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ขอขอบคุณศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร การปลูกและการจัดการผลผลิตสับปะรดภูแล อำเภอโป่งพระบาท จังหวัดเชียงราย ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบในการทำการวิจัย และคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ming R, VanBuren R, Wai CM, Tang H, Schatz MC, Bowers JE, et al. The pineapple genome and the evolution of CAM photosynthesis. Nat Genet. 2015;47(12):1435-1442.

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Faostat Database. Retrieved Feb 22, 2023, from https://www.fao.org/faostat.

[3] Ketnawa S, Chaiwut P, Rawdkuen S. Pineapple wastes: A potential source for bromelain extraction. Food Bioprod Process. 2012;90(3):385–391.

[4] Dorta E, Sogi DS. Value added processing and utilization of pineapple by-products. In Handbook of Pineapple Technology: Production, postharvest science, processing and nutrition, Lobo MG, Paull RE (Eds.). Oxford: Wiley; 2017: pp. 196-220.

[5] Garcia-Amezquita LE, Tejada-Ortigoza V, Serna-Saldivar SO, Welti-Chanes J. Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: processing, modification, and application as functional ingredients. Food Bioprocess Technol. 2018;11:1439–1463.

[6] Wanlapa S, Wachirasiri K, Sithisam-ang D, Suwannatup T. Potential of selected tropical fruit peels as dietary fiber in functional foods. Int J Food Prop. 2015;18(6):1306-1316.

[7] Weerawatanakorn M. Chemical reactions between proteins and polyphenols and human biological consequences of reaction. BUSCIJ. 2013;18(1):210-218.

[8] Horwitz W, Editor. Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL, 18th ed., AOAC INTERNATIONAL: Gaithersburg; 2005. Official Method 2005.08.

[9] Sharma P, Gujral HS. Antioxidant potential of wheat flour chapattis as affected by incorporating barley flour. LWT-Food Sci Technol. 2014;56(1):118-123.

[10] Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on super-oxide radicals. Food Chem. 1999;64(4):555-559.

[11] Wicharaew K, Prommajak T, Ruenwai R. Effect of extraction methods on the physicochemical properties of fiber from bamboo shoot waste. Malays Appl Biol. 2019;48(4):39-45.

[12] Luo X, Wang Q, Fang D, Zhuang W, Chen C, Jiang W, et al. Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties. Int J Biol Macromol. 2018;120:1461–1467.

[13] Luo X, Wang Q, Zheng B, Lin L, Chen B, Zheng Y, et al. Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice. Food Chem Toxicol. 2017;109:1003-1009.

[14] Ullah I, Hu Y, You J, Yin T, Xiong S, Din Z, et al. Influence of okara dietary fiber with varying particle sizes on gelling properties, water state and microstructure of tofu gel. Food Hydrocoll. 2019;89:512-522.

[15] Hossain MA, Mizanur Rahman SM. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. Food Res Inter. 2011;44(3):672–676.

[16] Li T, Shen P, Liu W, Liu C, Liang R, Yan N, Chen J. Major polyphenolics in pineapple peels and their antioxidant interactions. Int J Food Prop. 2014;17(8):1805-1817.

[17] Banerjee J, Singh R, Vijayaraghavan R, MacFarlane D, Patti AF, Arora A. Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. Food Chem. 2017;225:10-22.

[18] Kongsuwan A, Suthiluk P, Theppakorn T, Srilaong V, Setha S. Bioactive compounds and antioxidant capacities of phulae and nanglae pineapple. Asian J. Food and Agro-Ind. 2009;2:S44-S50.

[19] Yoyponsan P, Thuengtung S, Ogawa Y, Naradisorn M, Setha S. Influence of harvest maturity and storage condition on changes on volatile compounds of 'Phulae' pineapple fruit. JFAT. 2019;5:128-139.

[20] Rico X, Gullón B, Alonso JL, Yáñez R. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products: An overview. Food Res Inter. 2020;132:109086.

[21] Campos DA, Ribeiro TB, Teixeira JA, Pastrana L, Pintado MM. Integral valorization of pineapple (*Ananas comosus* L.) by-products through a green chemistry approach towards added value ingredients. Foods. 2020;9(1):60.

[22] Lasunon P, Phonkerd N, Tettawong P, Sengkhamparn N. Total phenolic compound and its antioxidant activity of by-product from pineapple. Food Res. 2022:6(4);107-112.

[23] Managa MG, Akinola SA, Remize F, Garcia C, Sivakumar D. Physicochemical parameters and bioaccessibility of lactic acid bacteria fermented chayote leaf (*Sechium edule*) and pineapple (*Ananas comosus*) smoothies. Front Nutr. 2021;8:649189.

[24] Costa MGM, Fonteles TV, de Jesus ALT, Sueli Rodrigues S. Sonicated pineapple juice as substrate for *L. casei* cultivation for probiotic beverage development: process optimisation and product stability. Food Chem. 2013;139(1-4),261-266.

[25] Nguyen BT, Bujna E, Fekete N, Tran ATM, Rezessy-Szabo JM, Prasad R, Nguyen QD. Probiotic beverage from pineapple juice fermented with *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. Front Nutr. 2019;6:54.

[26] Cassellis MER, Pardo MES, López, MR, Escobedo RM. Structural, physicochemical and functional properties of industrial residues of pineapple (*Ananas comosus*). Cellul Chem Technol. 2014;48(7-8): 633-641.

[27] Chiewchan N, Devahastin S. editor. 10-Microstructure, constituents, and their relationship with quality and functionality of dietary fibers. In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability. Duxford: Woodhead Publishing; 2018.193-216.

[28] Nassar AG, AbdEl-Hamied AA, El-Naggar EA. Effect of citrus by-products flour incorporation on chemical, rheological and organolepic characteristics of biscuits. World J Agric Sci. 2008;4(5):612-616.