

การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าวด้วยตัวทำละลาย ร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิก

Extraction of Phenolic Compounds from Waste Coconut Coir Dust Using Ultrasound-Assisted Solvent Extraction

พรพรรณ สิริมนต์^{1*} ธิติมา วงษ์ชีรี² และสารภี ยุดยง³

Pornpun Siramon,¹ Thitima Wongsheeree,² and Sarapee Yuadyong³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดแยกสารในกลุ่มฟีนอลิกจากฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าวผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่างโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ในกระบวนการสกัดได้ศึกษา 3 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสกัด ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัด จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่างโดยคลื่นอัลตราโซนิก คือ การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งที่สภาวะนี้ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดร้อยละ 29.57 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้เท่ากับ 951.33 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง เมื่อทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบที่ได้ พบว่ามีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยมีความเข้มข้นที่กำจัดอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) จากวิธี DPPH เท่ากับ 362.77 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และจากวิธี ABTS เท่ากับ 11.96 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เทียบกับน้ำหนักสารสกัดหยาบ

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฝุ่นผงเปลือกมะพร้าว สารประกอบฟีนอลิก คลื่นอัลตราโซนิก

Abstract

In the present study, phenolic compounds were extracted from waste coconut coir dust, a by-product of coconut manufacturing process, for value-added. The objective of this research was to determine the optimal extraction condition of total phenolic contents from coconut coir dust using ultrasound-assisted solvent extraction. In the extraction, three main parameters: solvent types, extraction temperature and extraction time were used to determine the optimal extraction condition of phenolic compounds from the sample. It was found that the extraction of sample with 50% (v/v) ethanol at 30 °C for 120 minutes gave the highest crude extract yield (29.57% w/w on dry basis) and the highest total phenolic content (951.33 µg GAE/g). The antioxidant activities of crude extract from the optimal extraction condition was further investigated by comparing the two most common radical scavenging assays namely, the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS). The results showed that the crude extract exhibited strong antioxidant activities with IC_{50} at 362.77 µg/ml by DPPH, and 11.96 µg/ml by ABTS methods, respectively.

Keywords: antioxidant activity, coconut coir dust, phenolic compounds, ultrasound-assisted solvent extraction

¹ศูนย์บริการทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อ. จอมบึง จ. ราชบุรี 70150

²สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวท.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

³บริษัท ชีวดี โปรดักส์ จำกัด อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270

*Corresponding author, Email: pornpun.sir@kmutt.ac.th

คำนำ

มะพร้าว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Cocos nucifera* L. เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และถือเป็นพืชเอกลักษณ์ของประเทศไทย มีพื้นที่การปลูกกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยมีพื้นที่หลักอยู่ในเขตภาคกลางตอนล่างโดยเฉพาะจังหวัดราชบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และนครปฐม (ธัญวรรณ ก. ศรีสุวรรณ และคณะ, 2557) ในปัจจุบันความต้องการบริโภคมะพร้าวของตลาดโลกมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มที่ทำจากมะพร้าวมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย ซึ่งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าวจะเกิดผลพลอยได้คือ กาบมะพร้าว (coconut husk) ขึ้นเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันมีการนำผลพลอยได้ชนิดนี้มาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาสกัดเป็นเส้นใยมะพร้าว (coconut coir fiber) สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตที่นอน และผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดเส้นใยจากกาบมะพร้าวจะเกิดวัสดุเหลือทิ้งขึ้นอีกชนิดหนึ่ง คือ ฝุ่นผงมะพร้าว (coconut coir dust) ประมาณร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของกาบมะพร้าว (Etim *et al.*, 2016) ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีกรรมวิธีนำวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากนี้มาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง หรือใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปมีการนำไปใช้เป็นวัสดุเพาะปลูกทางเกษตร หรือถูกทิ้งไว้เป็นของเสียในโรงงานโดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์แต่อย่างใด Israel *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นผงมะพร้าวผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมะพร้าว พบว่ามีปริมาณลิกนินและเซลลูโลสสูง โดยสารสกัดที่ได้จากการใช้น้ำ และอะซิโตนเป็นตัวทำละลาย พบว่ามีองค์ประกอบหลักที่มีคุณสมบัติทุกขเคมี ได้แก่ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และโพลีฟีนอล

จากข้อมูลการวิจัยจำนวนหนึ่งพบว่า สารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกนั้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ในปัจจุบันจึงมีการนำสารประกอบกลุ่มนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอางอย่างแพร่หลาย (Murray *et al.*, 2008) กระบวนการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากพืชนั้นมีหลายวิธีการ วิธีการสกัดพื้นฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) ร่วมกับการใช้ความร้อน และไม่ใช้ความร้อน (Chotimarkon *et al.*, 2008) ปัจจุบันมีการนำคลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasound) ช่วงความถี่ 20-100 kHz มาประยุกต์ใช้ในการสกัด (วรัญญา วงศ์วานิช และกิตติชัย บรรจง, 2559) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดี คือ ง่ายในการดำเนินการ ใช้ระยะเวลาในการสกัดสั้น และใช้พลังงานต่ำ (Rodrigues *et al.*, 2008) การใช้คลื่นอัลตราซาวด์เสริมร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยทำให้เกิดปรากฏการณ์แควิเทชัน (cavitation) ทำให้พื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์ และภายในเซลล์ของพืชถูกทำลาย ตัวทำละลายจะสามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวอย่างพืชที่นำมาสกัดได้ดี ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถชะสารสำคัญออกจากเซลล์พืชที่นำมาสกัดได้ง่ายขึ้น (Rodrigues and Pinto, 2007)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าวผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าวโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และวิธี 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) และเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบ (crude extract) ที่ได้กับ Butylated hydroxytoluene (BHT) ซึ่งเป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องสำอางโดยทั่วไป

วิธีการศึกษา

การรวบรวมและเตรียมตัวอย่างฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าว

ทำการรวบรวมตัวอย่างฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าวผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปมะพร้าวจากวิสาหกิจชุมชนปลายโพพวง จ. สมุทรสงคราม และทำการอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นจึงทำการร่อนตัวอย่างให้มีขนาดอยู่ในช่วง 240-420 ไมโครเมตร สำหรับใช้ในการสกัดต่อไป

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากตัวอย่าง

การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกจากตัวอย่างฝุ่นผงจากเปลือกมะพร้าว โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลอง ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาการสกัด กำหนดจำนวนการทดลอง 3 ข้ำของการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ

การหาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่าง

ทำการสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 1 ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิดได้แก่ (1) สารละลายอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร (2) สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร และ (3) น้ำกลั่น ใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:100 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยทำการสกัดด้วยเครื่อง sonicator (Bandelin sonorex digitec, รุ่น DT 510H, 35 kHz, 16 W) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงหาปริมาณผลผลิตสารสกัด (% yield) และตรวจวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ที่สกัดได้โดยใช้วิธี Folin-ciocalteu reagent (Singleton and Rossi, 1965) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก (Gallic acid, Sigma-Aldrich) เพื่อหาตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสกัดตัวอย่าง

การหาอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่าง

ทำการสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.1 คือ สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร โดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:100 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 30 และ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 60 และ 120 นาที จากนั้นทำการหาปริมาณผลผลิตสารสกัด และตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากสภาวะต่างๆ ตามวิธีการเดียวกับ ข้อ 2.1 เพื่อหาอุณหภูมิ และระยะเวลาของการสกัดตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดที่ได้ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

ทำการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบที่ได้จากสภาวะการสกัดที่เหมาะสมจากข้อ 2 โดยวิธี DPPH (Siramon *et al.*, 2007) และ วิธี ABTS (Re *et al.*, 1999) และเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระกับสารมาตรฐาน BHT

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่าง

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลาย 3 ชนิดในการสกัดตัวอย่าง พบว่าสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสกัด ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตการสกัดร้อยละ 29.03 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้สูงที่สุด เท่ากับ 902.34 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ดังแสดงผลใน Table 1

Table 1 Total phenolic yield extracted from coconut coir dust by ultrasonic assisted in 3 extracted solvents.

Solvent	% Yield ^{1/2/}	Total phenolic contents ($\mu\text{g GAE /g}$) ^{1/2/}
70% (v/v) acetone	28.60 $\pm$ 0.21a	865.82 $\pm$ 1.71b
50% (v/v) ethanol	29.03 $\pm$ 1.44a	902.34 $\pm$ 5.99a
Distilled water	22.85 $\pm$ 0.23b	748.97 $\pm$ 9.75c

^{1/} Values are means of three replications $\pm$ SD. Numbers followed by different alphabetical among each column are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{2/} Data were based on dry weight basis.

สรุปประสิทธิภาพของตัวทำละลายในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่างได้ดังนี้ คือ 50% (v/v) เอทานอล > 70% (v/v) อะซิโตน > น้ำกลั่น

อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่าง

การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร (ตัวทำละลายที่เหมาะสม) พบว่าการสกัดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที เป็นสภาวะการสกัดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่สภาวะนี้ให้ค่าผลผลิตสารสกัดร้อยละ 29.57 ของน้ำหนักแห้ง และค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้สูงที่สุดเท่ากับ 951.93 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ดังแสดงผลใน Table 2

Table 2 Extraction yield and total phenolic contents of coconut coir dust from each extraction condition.

Extraction Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Extraction time (min)	Yield (%) ^{1/2/}	Total phenolic contents ($\mu\text{g GAE /g}$) ^{1/2/}
30	30	27.30 $\pm$ 1.01d	879.82 $\pm$ 8.37d
	60	28.08 $\pm$ 0.06cd	885.98 $\pm$ 5.42d
	120	29.57 $\pm$ 0.02ab	951.93 $\pm$ 2.56a
50	30	28.35 $\pm$ 0.07bcd	885.28 $\pm$ 4.69d
	60	29.03 $\pm$ 1.44abc	902.34 $\pm$ 5.99c
	120	30.15 $\pm$ 0.33a	937.11 $\pm$ 8.55b

^{1/} Values are means of three replication $\pm$ SD. Numbers followed by different alphabetical among each column are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{2/} Data were based on dry weight basis.

ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดที่ได้ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดหยาบที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม โดยวิธี DPPH และ วิธี ABTS แสดงใน Table 3

Table 3 Antioxidant activity (IC_{50}) by DPPH and ABTS assays of crude phenolic from coconut coir dust and commercial antioxidant (BHT).

Sample	IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$) by DPPH assay ^{1/}	IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$) by ABTS assay ^{1/}
Crude phenolic from coconut coir dust	362.77	11.96
Butylated hydroxytoluene (BHT)	180.32	215.45

^{1/} Data were based on crude sample weight.

จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี พบว่าตัวอย่างสารสกัดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง (IC_{50} วิธี DPPH = 362.77 $\mu\text{g/ml}$ และ IC_{50} วิธี ABTS = 11.96 $\mu\text{g/ml}$) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดกับสารมาตรฐาน BHT พบว่าตัวอย่างสารสกัดมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่า BHT เมื่อทดสอบโดยวิธี DPPH แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า BHT เมื่อทดสอบโดยวิธี ABTS ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวอย่างสารสกัดผ่นผงจากเปลือกมะพร้าวประกอบไปด้วยสารกลุ่มต่างๆ ได้แก่ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล (Israel *et al.*, 2011) ซึ่งสารแต่ละกลุ่มนี้ต่างก็มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีกลไกในการเข้าทำปฏิกิริยาต่อสารทดสอบ (DPPH $\cdot$ และ ABTS $\cdot$) ที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้แสดงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันไปด้วย (Hagerman *et al.*, 1998; Olajuyigbe and Afolayan, 2011)

สรุปผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากตัวอย่างผ่นผงจากเปลือกมะพร้าวผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปมะพร้าวโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิก คือ การสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:100 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยทำการสกัดด้วยเครื่อง sonicator ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที ซึ่งที่สภาวะนี้ให้ผลผลิตของสารสกัดร้อยละ 29.57 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้เท่ากับ 951.93 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง และจากการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้นี้พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน BHT ที่นำมาใช้ทดสอบเปรียบเทียบ ดังนั้นสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากตัวอย่างผ่นผงมะพร้าวนี้ สามารถใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระทางเลือกจากธรรมชาติทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ร่วมกับบริษัทชีวาดีโปรดักส์ จำกัด ภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

เอกสารอ้างอิง

- ธัญวรรณ ก. ศรีสุวรรณ, อารงค์ เมฆโหรา และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช. 2557. การจัดการห่วงโซ่คุณค่าของอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยมะพร้าวจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. ว. เกษตรพระจอมเกล้า 32(3): 45-51.
- วรัญญา วงศ์วานิช และกิตติชัย บรรจง. 2559. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเมล็ดงุ่นด้วยวิธีการแช่และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยสกัด. ว. เกษตรพระจอมเกล้า 34(3): 9-21.
- Chotimarkon, C., S. Benjakul and N. Silalai. 2008. Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand. *Food Chem.* 111: 636-841.
- Etim, U.J., S.A. Umoren and U.M. Eduok. 2016. Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. *J. Saudi Chem. Soc.* 20: S67-S76.
- Hagerman, A.E., K.M. Riedl, G.A. Jones, K.N. Sovik, N.T. Ritchard, P.W. Hartzfeld and T.L. Riechel. 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1887-1892.
- Israel, A.U., R.E. Ogali, O. Akaranta and I.B. Obot. 2011. Extraction and characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) coir dust. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 33(6): 717-724.
- Murray, J.C., J.A. Burch, R.D. Streilein, M.A. Lannacchione, R.P. Hall and S.R. Pinnell. 2008. A tropical antioxidant solution containing vitamins C and E stabilized by ferulic acid provides protection for human skin against damage caused by ultraviolet irradiation, *J. Am. Acad. Dermatol.*, 59: 418-425.
- Olajuyigbe, O.O. and A.J. Afolayan. 2011. Phenolic content and antioxidant property of the bark extracts of *Ziziphus mucronata* Willd. subsp. *mucronata* Willd. *BMC Complement. Altern. Med.*, 130(11): 1-8.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26: 1231-1237.
- Rodrigues, S. and G.A.S. Pinto. 2007. Ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell powder. *J. Food Eng.* 80: 869-872.
- Rodrigues, S., G.A.S. Pinto and F.A.N. Fernandes. 2008. Optimization of ultrasound extraction of phenolic compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell powder by response surface methodology. *Ultrason. Sonochem.* 15: 95-100.
- Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics and phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 6: 144-158.
- Siramon, P. and Y. Ohtani. 2007. Antioxidative and antiradical activities of *Eucalyptus camaldulensis* leaf oils from Thailand. *J. Wood Sci.* 53(6): 498-504.

วันรับบทความ (Received date) : 28 ธ.ค. 60

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 20 มี.ค. 61

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 18 มิ.ย. 61