ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดแบบอัลตราโซนิกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเปลือกกล้วยน้ำว้า

Effect of temperature and time in ultrasonic extraction on the properties of polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity of banana peel

เกตุการ ดาจันทา[1*] และ เพชรรีวรรณ เอี่ยมพงษ์[1]

Katekan Dajanta[1*] and Petchareewan Aiampong[1]

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ (30 40 และ 50°C) และเวลา (30 และ 60 นาที) ต่อคุณภาพปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของเปลือกกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) ที่สกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 50°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเปลือกกล้วยเมื่อพิจารณาจากปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริก การวิเคราะห์ Pearson correlation พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเปลือกกล้วยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ขณะที่ฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ($P \leq 0.01$) ผลงานวิจัยนี้บ่งชี้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระในเปลือกกล้วยสามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยวิธีอัลตราโซนิก

คำสำคัญ: กล้วย, เปลือกกล้วย, การต้านออกซิเดชัน, การสกัดแบบอัลตราโซนิก

ABSTRACT: This study aimed to investigate the effect of various extraction temperatures (30, 40 and 50°C) and time (30 and 60 min) under ultrasonic extraction technique on the quality of total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), DPPH scavenging activity and ferric reducing antioxidant power (FRAP) of the banana (*Musa sapientum* L.) peel extracts. The results showed that the extraction temperature of 50°C was the best in terms of TPC, TFC and FRAP activity. Pearson correlation analysis showed that DPPH scavenging activity was found to be significantly negative correlated with TPC and TFC in the extract (P 0.01). Whereas, FRAP activity was found to be significantly positive correlated with TPC and TFC ($P \leq 0.01$). The results indicated that antioxidants can be extracted from peel of banana by ultrasonic-assisted extraction method.

Keywords : banana, banana peel, antioxidant, ultrasonic extraction

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

* Corresponding author: katekan@psru.ac.th

บทนำ

กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชที่ปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ผลกล้วยมีส่วนของเปลือกกล้วยอยู่ประมาณ 40% ของน้ำหนักผล (Emaga et al., 2008) ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร โปรตีน กรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันไม่อิ่มตัว และโปแตสเซียม (Emaga et al., 2007) และมีรายงานการพบสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในเปลือกกล้วยในปริมาณสูงคือ 31 - 3,800 mg GAE/100 g และ 39.01 - 389.33 mg catechin/100 g ตามลำดับ (Someya et al., 2002; Nguyen et al., 2003; González-Montelongo et al., 2010; Sulaiman et al., 2011; Fatemeh et al., 2012 Wanghmare et al., 2014) นอกจากนี้ยังพบสารต้านอนุมูลอิสระอื่นอีกหลายชนิด เช่น แกลโลคาเทชิน (Someya et al., 2002; Wanghmare et al., 2014) เบตาแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน แซนโทฟิลล์ (Subagio et al., 1996) คาเทโคลามีน โดปามีน (González-Montelongo et al., 2010) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity, lipid peroxidation inhibition และ ferric reducing antioxidant power (Sulaiman et al., 2011; González-Montelongo et al., 2010; Baskar et al., 2011)

สารประกอบฟีนอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันโรคจากภาวะเครียดจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูงเบาหวาน และรูมาตอยด์ (Cornish et al., 2010) รวมทั้งป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพของอาหาร นอกจากนี้รายงานของ Tee and Hassan (Lafka et al., 2007) ยังระบุว่าการบริโภคสารสกัดเปลือกกล้วยสุกในปริมาณ 200 - 400 มก./กก. ช่วยลดอาการโรคซึมเศร้าในหนูทดลองได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารต้านออกซิเดชันจากพืชธรรมชาติรวมทั้งเปลือกกล้วยจึงได้รับความสนใจศึกษาวิจัยเป็นอย่างมากในปัจจุบัน สำหรับการสกัดสารต้านออกซิเดชันจากเปลือกกล้วยมีรายงานการใช้ตัวทำละลายหลายชนิดในการสกัด เช่น น้ำ เมทานอล เอทานอล อะซิโตน และตัวทำละลายอินทรีย์ผสมน้ำ (González-Montelongo et al., 2010) โดยสภาพขั้วของสารตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกกล้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดเปลือกกล้วยด้วยคลื่นอัลตราโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีขึ้น (Anal et al., 2014) อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในเปลือกกล้วยน้ำว้าของไทยยังมีอยู่น้อยมาก โดยผลงานวิจัยที่ผ่านของนักวิจัยพบว่าเอทานอลเข้มข้น 75% สามารถสกัดสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์จากเปลือกกล้วยว้าได้ดีที่สุด (เพชรรีวรรณ และ เกตุการ, 2556) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเอทานอลเข้มข้น 75% มาใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกกล้วยน้ำว้าด้วยอัลตราโซนิกเพื่อหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมเปลือกกล้วย

นำเปลือกกล้วยน้ำว้ามะลิอ่องสุกจากวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากบุบผา จังหวัดพิษณุโลก มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา หั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 เซนติเมตร อบให้แห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60°C จนได้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 12% บดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20°C เพื่อรอการสกัดต่อไป

การสกัดสารต้านออกซิเดชันจากเปลือกกล้วย

ชั่งผงเปลือกกล้วย 10 กรัม ผสมกับสารละลายเอทานอล (Labscan, Ireland) เข้มข้น 75% (v/v) ปริมาตร 100 มล. สกัดภายใต้สภาวะอัลตราโซนิก (Diligent, Thailand) ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 30 40 และ 50°C นาน 30 และ 60 นาที กรองส่วนผสมด้วยกระดาษกรอง Whatman paper No. 4 นำสารละลายที่กรองได้ไปปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,008 xg (Eppendorf Centrifuge, Germany) อุณหภูมิ 4°C นาน 30 นาที เก็บสารสกัด (crude extract) ในที่มืดอุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอล

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลตามวิธีของ Luque-Rodríguez et al. (2007) โดยผสมสารสกัด 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany) เข้มข้น 0.25 นอร์มัล จำนวน 2 มล. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Merck, Germany) เข้มข้น 7.5% (w/v) จำนวน 1.6 มล. บ่มในอ่างน้ำอุณหภูมิ 50°C นาน 5 นาที และบ่มต่อในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ 760 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/g dry matter (dm.) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid (Fluka Biochemica, Switzerland) ที่มีค่า r^2 เป็น 0.9987

การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในสารสกัดเปลือกกล้วยโดยผสมสารสกัด 0.25 มล. กับน้ำกลั่น 1.25 มล. เติมสารละลายโซเดียมไนไตรต์ (Ajax Finechem, New Zealand) เข้มข้น 5% (w/v) ปริมาณ 75 ไมโครลิตร บ่มในที่มืด 5 นาที เติมสารละลายอะลูมินัมคลอไรด์ (Ajax Finechem, New Zealand) เข้มข้น 10% (w/v) ปริมาณ 0.15 มล. บ่มในที่มืด 6 นาที เติมสาระลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lab-Scan, Ireland) เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 0.5 มล. และน้ำกลั่น 0.775 มล. และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510นาโนเมตรด้วยเครื่องUV-VisSpectrophotometer (Yang et al., 2009) คำนวณปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในหน่วย mg catechin equivalent (CE)/g dm. โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานคาเทชิน (Sigma-Aldrich, USA) ที่มีค่า r^2 เป็น 0.9988

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity

ตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดเปลือกกล้วยด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Nuengchamnong et al. (2009) โดยผสมสารสกัด 1 มล. กับสารละลาย DPPH (Fluka Biochemica, Switzerland) เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2 มล. บ่มในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วย UV-Vis spectrophotometer คำนวณค่า DPPH ในหน่วย mg butylated hydroxytoluene equivalent (BHTE)/g dm. โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ BHT (Sigma-Aldrich, Germany) ที่มีค่า r^2 เป็น 0.9997

การวิเคราะห์ฤทธิ์ ferric reducing antioxidant power (FRAP)

ตรวจวิเคราะห์ค่า FRAP ในสารสกัดเปลือกกล้วยตามวิธีของ Maier et al. (2009) โดยผสมสารสกัด 0.4 มล. กับสารละลาย FRAP ปริมาตร 3 มล. บ่มในอ่างน้ำอุ่น 37°C นาน 4 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร คำนวณค่า FRAP ในหน่วย mg trolox equivalent (TE)/g dm. โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน trolox (Fluka, Germany) ที่มีค่า r^2 เป็น 0.9979

การออกแบบและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) โดยปัจจัย A คือ อุณหภูมิในการสกัด ผันแปร 3 ระดับ คือ 30 40 และ 50°C และปัจจัย B คือ เวลาในการสกัด ผันแปร 2 ระดับ คือ 30 และ 60 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิดด้วย Pearson's correlation coefficient

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดเปลือกกล้วย

งานวิจัยนี้ใช้การสกัดด้วยคลื่นอัลตราซาวน์ (Ultrasound-assisted extraction) ซึ่งเป็นการใช้อัลตราโซนิกที่มีความถี่มากกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มาช่วยในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระออกจากโครงสร้างของพืชออกมาอยู่ในตัวทำละลาย โดยคลื่นอัลตราโซนิกทำให้โครงสร้างของตัวทำละลายถูกบีบอัดสลับกับการคลายตัวหลายรอบส่งผลให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กและเพิ่มขนาดฟองอากาศมากขึ้นจนกระทั่งแตกตัวออกในที่สุด ก่อให้เกิดแรงดันสูงที่เข้าไป

ทำลายผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชและตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้อย่างรวดเร็วและเกิดแรงเฉือนสูง ทำให้สารสำคัญถูกชะหรือเกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากเนื้อเยื่อพืชละลายออกมากับตัวทำละลายได้มากขึ้น (Vilkhu et al., 2008)

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดเปลือกกล้วยที่สกัดภายใต้คลื่นอัลตราโซนิกด้วยอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน **(Table 1)** อุณหภูมิในการสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดเปลือกกล้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสารประกอบฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.42 mg GAE/g dm. ในการสกัดที่อุณหภูมิ 30°C เป็น 3.37 mg GAE/g dm. ในการสกัดที่อุณหภูมิ 50°C และสารประกอบฟลาโวนอยด์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.53 mg CE/g dm. ในการสกัดที่อุณหภูมิ 30°C เป็น 3.39 mg CE/g dm. ในการสกัดที่อุณหภูมิ 50°C การให้ความความร้อนสูงในการสกัดช่วยทำให้เนื้อเยื่อพืชอ่อนนุ่มจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทมวลสารและการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าสู่โครงสร้างของพืชได้มากขึ้น ช่วยทำลายพันธะระหว่างสารประกอบฟีนอลที่เชื่อมต่ออยู่กับโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ในโครงสร้างของพืชช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารประกอบฟีนอลให้ถูกชะออกมาอยู่ในตัวละลายได้มากขึ้น (Tan et al., 2013; Hidalgo and Almajano, 2017) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Anal et al. (2014) ที่พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดเปลือกกล้วยในตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้น 95% ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจาก 40°C (30 นาที) เป็น 60°C (30 นาที) และสารประกอบฟีนอลที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที มีปริมาณสูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการสกัดที่อุณหภูมิ 50°C นาน 60 - 90 นาที และรายงานของ González-Montelongo et al. (2010) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเปลือกกล้วยในช่วง 25 - 55°C ช่วยเพิ่มความสามารถในการสกัดสารประกอบฟีนอลจากเปลือกกล้วยได้มากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามมีรายงานที่แตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ โดย Xu et al. (2008) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดในช่วง 40 – 100°C ไม่มีผลการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในสารสกัดเปลือกมะนาว

Table 1 The contents of total phenolic compounds and total flavonoids of banana peel extracts

Factor	Total phenolic compounds (mg GAE/g dm.)	Total flavonoids (mg CE/g dm.)
Extraction temperature (A)	*	*
30°C	1.42 ± 0.26c	1.53 ± 0.20c
40°C	2.61 ± 0.16b	2.17 ± 0.14b
50°C	3.37 ± 0.43a	3.39 ± 0.41a
Extraction time (B)	ns	ns
30 min	2.56 ± 0.90	2.44 ± 0.95
60 min	2.38 ± 0.89	2.28 ± 0.74
A x B	ns	ns
30°C x 30 min	1.55 ± 0.30	1.47 ± 0.02
30°C x 60 min	1.30 ± 0.17	1.59 ± 0.30
40°C x 30 min	2.58 ± 0.23	2.23 ± 0.18
40°C x 60 min	2.64 ± 0.07	2.11 ± 0.08
50°C x 30 min	3.54 ± 0.34	3.62 ± 0.19
50°C x 60 min	3.19 ± 0.50	3.15 ± 0.46

Different letters within the same columns indicate statistically significant differences ($P \leq 0.05$) by LSD. * = significant differences within the same columns ($P \leq 0.05$). ns = not significant differences within the same columns ($P > 0.05$). GAE = gallic acid equivalent, dm. = dry matter, CE = catechin equivalent

เวลาในการสกัดและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและ ฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยการสกัดเปลือกกล้วยด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้น 75% ภายใต้สภาวะอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 30 - 50°C นาน 30 - 60 นาที สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ได้อยู่ในช่วง 1.30 – 3.54 mg GAE/g dm. และ 1.47 – 3.62 mg CE/g dm. ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้นี้แตกต่างจากรายงานของ Anal et al. (2014) ที่ระบุว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาการสกัดจาก 30 นาที เป็น 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40 - 50°C และมีการลดลงของสารประกอบฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญในการสกัดที่อุณหภูมิ 60°C เมื่อเพิ่มเวลาการสกัดจาก 30 นาที เป็น 60 - 90 นาที เนื่องจากเกิดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟลาโวนอยด์บางชนิด (Cacace and Mazza, 2003; González-Montelongo et al., 2010)

เปลือกกล้วยน้ำว้ามะลิอ่องของไทยที่ตรวจพบในงานวิจัยนี้มีปริมาณของสารประกอบฟีนอล (1.30 – 3.54 mg GAE/g dm.) สอดคล้องรายงานของ Sulaiman et al. (2011) ซึ่งได้ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลจากเปลือกกล้วยสายพันธุ์ของมาเลเซีย 8 สายพันธุ์ ด้วยน้ำและการสกัดแบบลำดับส่วน (sequential extraction) ด้วยเฮกเซน คลอโรฟอร์ม และเมทานอลเข้มข้น 80% พบสารประกอบฟีนอลอยู่ระหว่าง 1.04 – 15.33 mg GAE/g dm. โดยตรวจพบสารแกลโลคาเทชินในปริมาณสูงในเปลือกกล้วยทุกสายพันธุ์เช่นเดียวกับรายงานของ Someya et al. (2002) ที่ระบุว่าสารแกลโลคาเทชินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณมากที่สุดในเปลือกกล้วยสายพันธุ์ของฟิลิปปินส์ ขณะที่รายงานของ González-Montelongo et al. (2010) ระบุว่าเปลือกกล้วยสายพันธุ์ Grande Naine และ Gruesa ของสเปนที่สกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 50% ในอ่างน้ำอุ่นควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C และ 55°C นาน 1 และ 120 นาที มีสารประกอบฟีนอล 15 - 29 mg GAE/g freeze dry sample ความแตกต่างของสารต้านออกซิเดชันทั้งสารประกอบฟีนอลในเปลือกกล้วยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกล้วย ชนิดของตัวทำละลาย วิธีการสกัด และการเตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วยก่อนการศึกษาที่แตกต่างกัน

ความสามารถการต้านออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกกล้วย

งานวิจัยนี้ตรวจวิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกกล้วยด้วยวิธี DPPH และ FRAP โดยวิธี DPPH เป็นการตรวจวัดความสามารถการให้ไฮโดรเจนอะตอมและอิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่เสถียรและมีสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีสภาพเป็นกลางหรืออยู่ในรูปรีดิวซ์ซึ่งไม่มีสี (Shalaby and Shanab, 2013) สำหรับวิธี FRAP เป็นการวัดความสามารถการให้อิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระโดยสารต้านอนุมูลอิสระรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}-TPTZ) ไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+}-TPTZ) ซึ่งมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นกรด (Shahidi and Zhong, 2015) แสดงความสามารถการต้านออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้ามะลิอ่องด้วยวิธี DPPH และ FRAP (**Table 2**)

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง โดยสารสกัดที่อุณหภูมิ 30°C มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด (3.69 mg BHTE/g dm.) รองลงมาคือสารสกัดที่อุณหภูมิ 40°C (3.33 mg BHTE/g dm.) และ 50°C (3.12 mg BHTE/g dm.) ตามลำดับ สำหรับฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสารสกัดจาก 30°C เป็น 40°C และ 50°C ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.83 – 14.37 mg TE/g dm. การเพิ่มขึ้นของฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ (**Table 1**)

สารต้านออกซิเดชันในเปลือกกล้วยส่วนใหญ่แสดงฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกได้ดีกว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สอดคล้องกับรายงานของ Sulaiman et al. (2011) ที่ตรวจพบฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารสกัดเปลือกกล้วยสายพันธุ์มาเลเซียสูงกว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH บ่งชี้ว่าสารสกัดเปลือกกล้วยมีสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์ริกไอออนเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเฟอร์รัสได้ดี งานวิจัยนี้พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่สอดคล้องกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่

Table 2 Activities of 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenger (DPPH) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) of banana peel extracts

Factor	DPPH (mg BHTE/g dm.)	FRAP (mg TE/g dm.)
Extraction temperature (A)	*	*
30°C	3.69 ± 0.05a	6.83 ± 1.31c
40°C	3.33 ± 0.07b	9.92 ± 1.21b
50°C	3.12 ± 0.06c	14.37 ± 1.86a
Extraction time (B)	ns	ns
30 min	2.56 ± 0.90	10.91 ± 4.16
60 min	2.38 ± 0.89	9.82 ± 2.94
A x B	ns	ns
30°C x 30 min	3.67 ± 0.07	6.69 ± 1.33
30°C x 60 min	3.71 ± 0.02	6.96 ± 1.57
40°C x 30 min	3.34 ± 0.07	10.15 ± 1.45
40°C x 60 min	3.31 ± 0.08	9.58 ± 1.14
50°C x 30 min	3.09 ± 0.05	15.06 ± 0.49
50°C x 60 min	3.14 ± 0.06	12.15 ± 1.13

Different letters within the same columns indicate statistically significant differences ($P \leq 0.05$) by LSD. * = significant differences within the same columns ($P \leq 0.05$). ns = not significant differences within the same columns ($P > 0.05$). BHTE = butylated hydroxytoluene equivalent, dm. = dry matter, TE = trolox equivalent

ตรวจพบในสารสกัด โดยสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงพบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากชนิดของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ที่ถูกสกัดออกมีความแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปความสามารถการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮโดรซิล (-OH) ที่เชื่อมต่ออยู่กับวงอะโรมาติกในโครงสร้าง โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อมีจำนวนหมู่ไฮโดรซิลในโครงสร้างมากขึ้นและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อมีการแทนที่หมู่ไฮโดรซิลด้วยน้ำตาลหรือสารอื่น (Sun and Powers, 2007) นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลต่างชนิดกันที่พบในสารสกัดซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแบบเสริมฤทธิ์และ/หรือทำให้มีฤทธิ์น้อยลง (Buer et al., 2010)

ความสัมพันธ์ Pearson correlation ของสารต้านอนุมูลอิสระในเปลือกกล้วย

ค่าความสัมพันธ์ Pearson correlation ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอล สารประกอบฟลาโวนอยด์และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (**Table 3**) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเปลือกกล้วยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r^2) คือ -0.923 และ -0.872 ตามลำดับ ขณะที่ฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกมีความสัมพันธ์ เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณของสารต้านออกซิเดชันทั้งสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ($P \leq 0.01$) โดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.870 และ 0.910 ตามลำดับ ดังนั้นสารสกัดเปลือกกล้วยที่มีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงจึงตรวจพบฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงสอดคล้องกัน และมีแนวโน้มที่สวนทางกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ตรวจพบในสารสกัด (**Table 1** และ **Table 2**) สอดคล้องกับการศึกษาที่มีการรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ (Tyug et al., 2010; Dajanta et al., 2013)

Table 3 Correlation among total phenolic compounds, total flavonoids and antioxidant capacities of DPPH and FRAP

Correlations	TPC	TFC	DPPH	FRAP
TPC	1.000	0.916**	-0.923**	0.870**
TFC		1.000	-0.872**	0.910**
DPPH			1.000	-0.893**
FRAP				1.000

** Correlation is significant at the level of $P \leq 0.01$ (two-tailed). TPC = total phenolic compounds; TFC = total flavonoid compounds; DPPH = DPPH radical scavenging activity; FRAP = ferric reducing antioxidant power

สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าคลื่นอัลตราโซนิกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดสารต้านออกซิเดชันจากเปลือกกล้วย โดยอุณหภูมิในการสกัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและฤทธิ์ของสารต้านออกซิเดชัน และจากผลการศึกษาบ่งชี้ว่าที่อุณหภูมิ 50°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเปลือกกล้วยเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีองค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชันทั้งสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์และฤทธิ์การรีดิวซ์เฟอร์ริกดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

เพชรรีวรรณ เอี่ยมพงษ์ และเกตุการ ดาจันทา. 2556. ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์และความสามารถต้านออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกกล้วย. น. 356-362. ใน: ประชุมวิชาการวิจัยรำไพพรรณี ครั้งที่ 7 การเตรียมความพร้อมของท้องถิ่นเพื่อก้าวสู่อาเซียน วันที่ 19-20 ธันวาคม 2556. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี.

Anal, A.K., S. Jaisanti, and A. Noomhom. 2014. Enhanced yield of phenolic extracts from banana peels (*Musa acuminata* Colla AAA) and cinnamon barks (*Cinnamomum varum*) and their antioxidative potentials in fish oil. J. Food Sci. Technol. 51:2632-2639.

Baskar, R., S. Shrisakthi, B. Sathyapriya, R. Shyampriya, R. Nithya, and P. Poongodi. 2011. Antioxidant potential of peel extracts of banana varieties (*Musa sapientum*). Food and Nutrition Sciences. 2:1128-1133.

Buer, C.S., N. Imin, and M.A. Djordjevic. 2010. Flavonoids: new roles for old molecules. J. Integr. Plant Biol. 52:98-111.

Cocace, J.E., and G. Mazza. 2003. Optimization of extraction of anthocyanins from black currants with aqueous ethanol. J. Food Sci. 68:209-215.

Cornish, M.L., and D.J. Garbary. 2010. Antioxidant from microalgae: potential application in human health and nutrition. Free Radic. Biol. Med. 25:155-171.

Dajanta, K., P. Janpum, and S. Leksing. 2013. Antioxidant capacities, total phenolics and flavonoids in black and yellow soybeans fermented by *Bacillus subtilis* : A comparative study of Thai fermented soybeans (thua nao). International Food Research Journal. 20:3125-3132.

Emaga, T.H., C. Robert, S.N. Ronkart, B. Wathelet, and M. Paquot. 2008. Dietary fiber components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. Bioresour. Technol. 99:4346-43454.

Emaga, T.H., R.H. Andrianaivo, B. Wathelet, J.T. Tchango, and M. Paquot. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. Food Chem. 103:590-600.

Fatemeh, S.R., R. Saifullah, F.M.A. Abbas, and M.E. Azhar. 2012. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness. International Food Research Journal. 19:1041-1046.

González-Montelongo, R., M.G. Lobo, and M. González. 2010. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. Food Chem. 119:1030-1039.

Hidalgo, G.I., and M.P. Almajano. 2017. Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. Antioxidants. 6:1-27.

Kanazawa, K., and H. Sakakibara. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendish banana. J. Agric. Food Chem. 48:844 -848.

Knapp, F.F., and H.J. Nicholas. 1969. The sterols and triterpenes of banana peel. Phytochemistry. 8:207-214.

Lafka, T.I., V. Sinanoglou, and E.S. Lazos. 2007. On the extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from winery wastes. Food Chem. 104:1206-1214.

Luque-Rodríguez, J.M., M.D. Luque de Castro, and P. Pérez-Juan. 2007. Dynamic superheated liquid extraction of anthocyanins and other phenolics from red grape skins of winemaking residues. Bioresour. Technol. 98:2705–2713.

Maier, T., A. Schieber, D.R. Kammerer, and R. Carle. 2009. Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as valuable source of phenolic antioxidants. Food Chem. 112:551-559.

Nguyen, T.B.T., S. Ketsa, and W.G. van Doorn. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. Postharvest Biol. Tec. 30:187–193.

Nuengchamnong, N., K. Krittasilp, and K. Ingkaninan. 2009. Rapid screening and identification of antioxidants in aqueous extracts of *Houttuynia cordata* using LC-ESI-MS coupled with DPPH assay. Food Chem. 117:750-756.

Shahidi, F., and Y. Zhong. 2015. Measurement of antioxidant activity. J. Funct. Foods. 18:757-781.

Shalaby, E.A., and M.M. Shanab. 2013. Antioxidant compounds, assays of determination and mode of action. Afr. J. Pham. Pharmacol. 7:528-539.

Singh, S., and P. Prakash. 2015. Evaluation of antioxidant activity of banana peels (*Musa acuminate*) extracts using different extraction methods. Chem. Sci. Trans. 4:158-160.

Someya, S., Y. Yoshiki, and K. Okubo. 2002. Antioxidant compounds from bananas *(Musa cavendish)*. Food Chem. 79:351-354.

Subagio, A., N. Morita, and S. Sawada. 1996. Carotenoids and their fatty acid esters in banana peel. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 42:553–566.

Sulaiman, S.F., N.A.M. Yusoff, I.M. Eldeen, E.M. Seow, A.A.B. Sajak, and S.K.L. Ooi. 2011. Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). J. Food Compos. Anal. 24:1–10.

Sun, T., and J.R. Powers. 2007. Antioxidants and antioxidant activities of vegetables. P.160-183. In: F. Shahidi, and C.T. Ho. Antioxidant Measurements and Applications. ACS Symposium Series 956. Washington.

Tan, M.C., C.P. Tan, and H.C. Wai. 2013. Effects of extraction solvent system, time and temperature on total phenolic content of henna (*Lawsonia inermis*) stems. International Food Research Journal. 20:3117-3123.

Teh, S.S., and E.J. Birch. 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.

Tyug, T.S., K.N. Prasad, and A. Ismail. 2010. Antioxidant capacity, phenolics and isoflavones in soybean by-products. Food Chem. 123:583-589.

Vilkhu, K., R. Mawson, L. Simons, and D. Bates. 2008. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry-A review. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 9:161–169.

Waghmare, J.S., and A.H. Kurhade. 2014. GC-MS analysis of bioactive compounds from banana peel (*Musa sapientum* peel). Euro. J. Exp. Bio. 4:10-15.

Xu, G.H., J.C. Chen, D.H. Liu, Y.H. Zhang, P. Jiang, and X.Q. Ye. 2008. Mineral, phenolic compounds, and antioxidant capacity of citrus peel extract by hot water. J. Food Sci. 73:C11-C18.

Yang, J., T.E. Martinson, and R.H. Liu. 2009. Phytochemical profiles and antioxidant activities of wine grapes. Food Chem. 116:332-339.