วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 29 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2567
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 29 (No.1) January – April 2024 บทความวิจัย

ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการต้านการเกิดออกซิเดชันของยอดและดอกมะขาม

Effect of Drying Temperature on Physicochemical Qualities and Antioxidant Capacity of Tamarind Shoot and Flower

ขวัญจิรา ศรีจริยา[1], อุทัยวรรณ ฉัตรธง[1], สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ[1], พิทยา ใจคำ[2] และ เกตุการ ดาจันทา[1*]

Khwanchira Srijariya[1], Utaiwan Chattong[1], Sirikarn Thanaboonrongkom[1], Pittaya Chaikham[2] and Katekan Dajanta[1*]

[1] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเทศไทย*

[2] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย*

[1] *Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Thailand*

[2] *Division of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Thailand*

Received : 9 January 2024, Received in revised form : 14 March 2024, Accepted : 15 March 2024
Available online : 9 April 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ใบมะขามอุดมไปด้วยสารต้านออกซิเดชันโพลีฟีนอลและฤทธิ์ทางชีวภาพ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของยอดและดอกมะขาม

วิธีดำเนินการวิจัย : การทดลองอบแห้งยอดและดอกมะขามด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนได้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ต่ำกว่า 0.5 ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของยอดและดอกมะขามอบแห้ง และตรวจวิเคราะห์คุณภาพการต้านออกซิเดชัน ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และฤทธิ์รีดิวซ์เฟอร์ริก (ferric reducing antioxidant power, FRAP) ของสารสกัดน้ำร้อนของยอดและดอกมะขามอบแห้ง

ผลการวิจัย : ยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ในช่วง 0.35 – 0.43 มีค่าสี L^* และค่าสี b^* ของยอดมะขามอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ($P \leq 0.05$) สารสกัดของยอดมะขามอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3.5 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (3.10 mg GAE/g) ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

(1.54 mg CE/g) และมีค่า FRAP (6.64 mg TE/g) สูงที่สุด และพบว่ายอดมะขามอบแห้งมีคุณภาพการต้านออกซิเดชันสูงกว่าดอกมะขามอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย : ยอดมะขามมีคุณภาพการต้านออกซิเดชันสูงกว่าส่วนของดอกมะขาม สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยอดมะขาม คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3.50 ชั่วโมง ทำให้ยอดมะขามมีคุณภาพการต้านออกซิเดชันสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอื่น

คำสำคัญ : มะขาม ; การอบแห้ง ; อุณหภูมิอบแห้ง ; สารต้านออกซิเดชัน

Abstract

Background and Objectives : Tamarind leaves are rich in antioxidant polyphenols and bioactive activity. This research aimed to study the effect of drying temperature on the physicochemical qualities, bioactive compounds, and antioxidant effects of tamarind shoot leaves and flowers.

Methodology : Drying tamarind shoots and flowers with a hot air drying at 50, 60 and 70°C until water activity (a_w) values were lower than 0.5. Physicochemical qualities including a_w, brightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) values of dried tamarind shoots and flowers were examined. In addition, antioxidant properties including total phenolic compounds, total flavonoids, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)-radical scavenging activity and ferric reducing antioxidant power (FRAP) of the hot water extracts of dried tamarind shoots and flowers were evaluated.

Main Results : The values of water activity of dried samples were ranged 0.35 – 0.43. The L^* and b^* values of dried tamarind shoot leaves were significantly increased when drying temperature rose ($P \leq 0.05$). The extract of tamarind shoots dried at 50°C for 3.5 h exhibited the highest values of total phenolic compounds (3.10 mg GAE/g), flavonoids (1.54 mg CE/g) and FRAP value (6.64 mg TE/g). Moreover, the extract of tamarind shoot leaves found to have significant greater potent of antioxidant capacity than those found in flower part ($P \leq 0.05$).

Conclusions : Tamarind shoot leaves exhibited higher antioxidant quality than those found in the flower part. The optimal drying condition for tamarind shoot leaves was 50°C for 3.50 h resulting in the superior antioxidant quality than those found in other drying temperature.

Keywords : tamarind ; drying ; drying temperature ; antioxidant

***Corresponding author. E-mail** : katekan@psru.ac.th

บทนำ

มะขาม (*Tamarind indica* L.) เป็นผลไม้ขึ้นชื่อของจังหวัดเพชรบูรณ์ นิยมบริโภคทั้งฝักผลดิบและสุกและมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด สำหรับยอดมะขามหรือใบมะขามอ่อนมักถูกนำไปใช้เป็นเครื่องปรุงรสเปรี้ยวให้กับอาหารไทยพื้นบ้านหลายชนิด เช่น ต้มไก่ใบมะขามอ่อน ต้มกะทิหน่อไม้ใบมะขามอ่อน ยำปลากระป๋องยอดมะขาม เป็นต้น ขณะที่ใบมะขามแก่สามารถนำมาต้มย้อมผ้าสีธรรมชาติ ให้สีเขียวขี้ม้า ใบมะขามแห้งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 72.70) รองลงมาคือโปรตีน (ร้อยละ 14) เถ้า (ร้อยละ 5.50) ไขมัน (ร้อยละ 3.90) และมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก และสังกะสี (Nordeide *et al*., 1996) ใบมะขามมีองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Leng *et al*., 2017) เทอร์พีนอยด์ แทนนิน ซาโปนิน (Razali *et al*., 2012) และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Padalia *et al*., 2015) ซึ่งสารส่วนใหญ่ คือ epicatechin, catechin, quercetin และ isorhamnetin (Razali *et al*., 2012) นอกจากนี้ยังพบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH-radical scavenging activity, ABTS-radical scavenging activity และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Razali *et al*., 2012; Meher & Dash, 2013; Escalona-Arranz *et al*., 2016; Mbaye *et al*., 2017) ฤทธิ์ในการปกป้องตับ (Hepatoprotective activity) (Fabiyi *et al*., 1993) และฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) เช่น *Clostridium botulinum*, *Pseudomonas*, *Salmonella* และ *Klebsiella* (Meher & Dash, 2013; Sravanthi *et al*., 2017)

มีรายงานวิจัยที่ระบุว่ายอดมะขามที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อน (60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง) และการคั่วแห้งด้วยเตา (180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์อนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มสูงกว่ายอดมะขามสด (Leng *et al*., 2017) และรายงานของ Mbaye *et al*. (2017) พบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และฤทธิ์ FRAP ในสารสกัดยอดมะขามอบแห้งทั้งสารสกัดน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ สารสกัดยอดมะขามมีคุณสมบัติเป็นยาระบาย (Bhat *et al*., 1990) มีส่วนช่วยป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด (Bowe, 2007) และช่วยลดน้ำตาลในเลือด (Ramchander *et al*., 2012) โดยผลในการป้องกันโรคมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของยอดมะขาม นอกจากนี้รายงานของ Escalona-Arranz *et al*. (2016) ยังพบว่า สารสกัดใบมะขามไม่มีความเป็นพิษเมื่อทดสอบด้วยวิธี oral toxicity test และ oral mucous irritability test อย่างไรก็ตามคุณภาพการต้านออกซิเดชันของดอกมะขามมีการศึกษาน้อยมากและยังไม่มีรายงานข้อมูลทางวิชาการด้านคุณภาพการต้านออกซิเดชันของยอดและดอกมะขามในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของยอดและดอกมะขาม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิชาการในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอดเป็นชาสมุนไพรหรือชายอดและดอกมะขามต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

ยอดและดอกของมะขามเปรี้ยวยักษ์ พันธุ์กระดาน (Figure 1) ได้รับจากบริษัท ศรีแก้วหล่มเก่า จำกัด อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ล้างทำความสะอาดยอดและดอกมะขามด้วยน้ำสะอาด 2 - 3 ครั้ง หลังการสะเด็ดน้ำ นำไปอบแห้งในตู้อบแห้งแบบลมร้อน (tray drier) (Memmert, Germany) ผันแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และสุ่มตัวอย่างวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Aqualab, CX4TE, USA) เป็นระยะจนได้ค่าต่ำกว่า 0.5 งานวิจัยนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เพื่อหาเวลาในการอบแห้งแทนการวิเคราะห์หาความชื้นเนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์สั้นและรวดเร็วกว่าการวิเคราะห์หาค่าความชื้น เก็บยอดและดอกมะขามอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

Figure 1 Appearance of tamarind shoots (a) and flowers (b)

2. ศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของยอดและดอกมะขามอบแห้ง

วัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของยอดและดอกมะขามอบแห้งด้วยเครื่อง AquaLab (Water Activity Meter, USA) และวัดค่าสีระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสี Minolta (CR-10, Japan) แสดงค่าสี *L** (ค่าความสว่าง), *a** (ค่าความเป็นสีแดง) และ *b** (ค่าความเป็นสีเหลือง)

3. ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของยอดและดอกมะขามอบแห้ง

3.1 การสกัดยอดและดอกมะขามอบแห้ง

นำยอดและดอกมะขามอบแห้งจำนวน 2 กรัม แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 5 นาที นำไปกรองด้วยถุงกรองชา เก็บส่วนของน้ำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพการต้านออกซิเดชันต่อไป

3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตรวจวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds) ในสารสกัดยอดและดอกมะขามอบแห้งตามวิธีของ Dajanta *et al*. (2019) โดยปิเปตสารสกัดที่ต้องการทดสอบปริมาตร 0.40 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany) ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Merck, Germany) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร หลังผสมให้เข้ากันนำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำอุ่นควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที บ่มในที่มืดต่ออีก 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer (Spectrophotometer, Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank โดยใช้น้ำเปล่าแทนสารมาตรฐานหรือสารสกัด คำนวณปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/g dried sample โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid (Sigma-Aldrich, USA) (R^2 = 0.998)

3.3 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดยอดและดอกมะขามอบแห้งด้วยวิธี aluminum chloride colorimetric method ตามวิธีดัดแปลงของ Dajanta *et al*. (2019) โดยปิเปตสารสกัดที่ต้องการทดสอบปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายโซเดียมไนไตรต์ (Merck, Germany) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และบ่มในที่มืด อุณหภูมิห้องนาน 6 นาที เติมสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ (Merck, Germany) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอไซด์ (Merck, Germany) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.55 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer (Spectrophotometer, Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank โดยใช้น้ำแทนสารสกัด คำนวณปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในหน่วย mg catechin equivalent (CE)/g dried sample โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ catechin (Sigma-Aldrich, USA) (R^2 = 0.999)

3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดยอดและดอกมะขามตามวิธีดัดแปลงของ Dajanta *et al*. (2019) โดยผสมสารสกัด 1 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH (Fluka Biochemica, Switzerland) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer (Spectrophotometer, Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วย mg ascorbic acid equivalent (AAE)/g dried sample โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ ascorbic acid (Sigma-Aldrich, USA) (R^2 = 0.998)

3.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์รีดิวซ์เฟอร์ริก

วิเคราะห์หาค่า FRAP ของสารสกัดยอดและดอกมะขามตามวิธีดัดแปลงของ Dajanta *et al*. (2019) โดยผสมสารสกัด 0.40 มิลลิลิตร กับสารละลาย FRAP reagent (Fluka Biochemica, Switzerland) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร สารละลาย FRAP เตรียมได้จากการผสมสารละลาย TPTZ solution ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร กับสารละลายเฟอร์ริก (ferric solution) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ (acetate buffer) ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.6 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร] บ่มหลอดทดสอบในอ่างน้ำอุ่น 37 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer (Spectrophotometer, Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 539 นาโนเมตร คำนวณค่า FRAP ในหน่วย mg trolox equivalent (TE)/g dried sample โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ trolox (Sigma-Aldrich, USA) (R^2 = 0.998)

4. การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารต้านออกซิเดชันและประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Pearson's correlation coefficient

ผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อค่า water activity และค่าสีของยอดและดอกมะขาม

ยอดมะขามที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นส่วนของยอดอ่อนซึ่งมีสีเขียวอ่อนและในส่วนปลายยอดนั้นมีสีออกชมพูแกมส้ม ได้ทำการอบแห้งยอดและดอกมะขามที่อุณหภูมิ 50 – 70 องศาเซลเซียส จนได้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.5 โดยยอดมะขามใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ระหว่าง 0.35 – 0.41) นาน 4.0, 3.5 และ 2.0 ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่ดอกมะขามใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่ายอดมะขาม โดยใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ระหว่าง 0.38 – 0.43) เป็นระยะเวลา 12.0, 7.5 และ 5.0 ชั่วโมง ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Drying times and color values of dried tamarind shoots and flowers at different drying temperatures

Drying temperatures (ºC)	Drying times (h)	a_w	Color values		
			*L**	*a**	*b**
Tamarind shoots					
50	4.5	0.41±0.03^{a}	42.40±0.10^{d}	1.00±0.01^{b}	8.00±0.01^{c}
60	3.5	0.40±0.01^{ab}	44.80±0.10^{c}	0.93±0.06^{bc}	8.23±0.06^{b}
70	2.0	0.39±0.01^{ab}	46.77±0.49^{b}	0.67±0.15^{c}	10.87±0.21^{a}
Tamarind flowers					
50	11.0	0.43±0.02^{a}	52.46±1.93^{a}	3.06±0.66^{a}	4.16±1.24^{e}
60	7.5	0.38±0.01^{b}	52.46±0.49^{a}	2.03±0.70^{ab}	5.83±0.75^{d}
70	5.0	0.41±0.01^{a}	53.23±1.38^{a}	3.56±0.32^{a}	5.96±1.05^{d}

Note : Means in the same column with the different letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

ยอดมะขามมีสีเขียวคล้ำหลังการอบแห้ง โดยมีค่าสี *L** ปานกลาง (42.40 – 46.77) มีค่าสี *a** ออกไปทางสีแดงเล็กน้อย (0.67 – 1.00) และมีค่าสี *b** อยู่ระหว่าง 8.00 – 10.87 เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสี *L** และค่าสี *b** เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ขณะที่สี *a** มีค่าลดลงอย่างชัดเจน สำหรับดอกมะขาม (Table 1) พบว่าหลังการอบแห้งมีสีน้ำตาลเข้ม ดอกมะขามอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าสี *L**, *a** และ *b** อยู่ในช่วง 52.46 - 52.23, 2.03 - 3.56 และ 4.16 - 5.96 ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 50 เป็น 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี *L**, *a** และ *b** ของดอกมะขามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

2. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพการต้านออกซิเดชันของยอดและดอกมะขาม

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของยอดมะขามอบแห้งและดอกมะขามอบแห้งแสดงใน Table 2

Table 2 Total phenolic compounds, total flavonoids and total antioxidants of dried tamarind shoots and flowers at different drying temperatures

Drying temperature (ºC)	Total phenolic compounds (mg GAE/g)	Total flavonoids (mg CE/g)	Total antioxidants (mg/g)
Tamarind shoots			
50	3.10±0.18[a]	1.54±0.24[a]	4.61±0.38[a]
60	3.14±0.21[a]	1.30±0.07[b]	4.44±0.17[a]
70	2.64±0.09[b]	1.30±0.14[b]	3.94±0.22[b]
Tamarind flowers			
50	1.77±0.05[c]	0.94±0.02[c]	2.71±0.04[c]
60	1.76±0.02[c]	0.79±0.03[d]	2.55±0.04[d]
70	1.31±0.07[d]	0.69±0.01[e]	2.00±0.07[e]

Note : Means in the same column with the different letter indicate significant difference ($P \leq 005$). GAE = gallic acid equivalent, CE = catechin equivalent, Total antioxidant = total phenolic compounds plus total flavonoids.

ยอดมะขามที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2.64 – 3.14 mg GAE/g และ 0.69 – 1.54 mg CE/g ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณสารต้านออกซิเดชันรวม (สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดรวมสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด) ที่ตรวจพบคือ 2.00 - 4.61 mg/g ยอดมะขามอบแห้งตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (2.64 – 3.14 mg GAE/g และ 1.30 – 1.54 mg CE/g ตามลำดับ) สูงกว่าที่ตรวจพบในดอกมะขามอบแห้ง (1.31 – 1.77 mg GAE/g และ 0.69 – 0.94 mg CE/g ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Table 2) และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งยอดและดอกมะขามสูงขึ้น โดยยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันรวมสูงที่สุด คือ 4.61 mg/g และ 2.71 mg/g ตามลำดับ และยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันรวมต่ำที่สุด คือ 3.94 mg/g และ 2.00 mg/g ตามลำดับ

งานวิจัยนี้ตรวจวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพในสารสกัดน้ำของยอดและดอกมะขามอบแห้งด้วยวิธี DPPH-radical scavenging activity (DPPH) และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 DPPH-radical scavenging activity and ferric reducing antioxidant power of dried tamarind shoots and flowers at different drying temperatures

Drying temperature (ºC)	DPPH-radical scavenging activity (mg AAE /g)	Ferric reducing antioxidant power (mg TE/g)
Tamarind shoots		
50	1.08±0.02[b]	6.64±0.43[a]
60	1.02±0.09[b]	5.08±0.35[b]
70	1.18±0.03[a]	5.32±0.23[b]
Tamarind flowers		
50	0.75±0.00[d]	4.14±0.09[c]
60	0.78±0.00[c]	2.61±0.03[d]
70	0.78±0.00[c]	2.41±0.13[e]

Note : Means in the same column with the different letter indicate significant difference (P≤005). AAE = Ascorbic acid equivalent, TE = Trolox equivalent.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.02 – 1.18 mg AAE/g และ 0.75 – 0.78 mg AAE/g ตามลำดับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง สำหรับค่า FRAP ที่ตรวจพบในยอดและดอกมะขามอบแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง สอดคล้องกับปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง (Table 2) โดยยอดมะขามอบแห้งมีค่า FRAP อยู่ระหว่าง 5.08 – 6.64 mg TE/g และดอกมะขามอบแห้งมีค่า FRAP อยู่ระหว่าง 2.41 – 4.14 mg TE/g เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารต้านออกซิเดชัน คือ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณประกอบ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชัน คือ ฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ที่ตรวจพบในยอดและดอกมะขามอบแห้ง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.932 ที่ระดับ P<0.01 และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.796 และ 0.885 ที่ระดับ P<0.01 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมาก (P<0.01) กับฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.821 และ 0.895 ตามลำดับ (Table 4)

Table 4 Correlation coefficients (R^2) between total phenolic compounds, total flavonoids and antioxidant capacity of dried tamarind shoots and flowers at different drying temperatures

Correlations	Total phenolics	Total flavonoids	DPPH	FRAP
Phenolics	1.000			
Flavonoids	0.932**	1.000		
DPPH	0.796**	0.821**	1.0000	
FRAP	0.885**	0.895**	0.782**	1.0000

Note : **Correlation is significant at the level of P<0.01 (2-tailed). DPPH = DPPH-radical scavenging activity, FRAP = Ferric reducing antioxidant power.

วิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งยอดและดอกมะขามด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการปรุงรสผลิตภัณฑ์ชาหรือต่อยอดเป็นชาสมุนไพร ยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 50 – 70 องศาเซลเซียส นาน 2.0 – 12.0 ชั่วโมง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้อยู่ระหว่าง 0.35 – 0.43 ซึ่งสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง (มผช. 136/2558) ที่กำหนดให้ผลไม้แห้งมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.6 (Thai Industrial Standards Institute, 2015) จึงป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพจากการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา ทำให้สามารถเก็บรักษายอดและดอกมะขามอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำอิสระ (free water) ในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการน้ำเพื่อใช้ในการเจริญแตกต่างกันและไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ โดยแบคทีเรีย ยีสต์ และราส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.6 ได้ ดังนั้นค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้จึงมีความสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร และมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษา สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นกระบวนการไล่ความชื้นซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำอิสระออกจากชิ้นอาหาร จึงเป็นการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหารให้ต่ำลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำในอาหารในการเจริญเติบโตได้จึงทำให้อาหารที่ผ่านการอบแห้งมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น (Orapin, 2005)

ค่าสี L^*, a^* และ b^* เป็นลักษณะทางกายภาพอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยค่าสี L^* บ่งบอกถึงค่าความสว่าง ค่าสี a^* บ่งบอกความเป็นสีแดงเมื่อค่าสี a^* เป็นบวก และแสดงค่าความเป็นสีเขียวเมื่อค่าสี a^* เป็นลบ สำหรับ ค่าสี b^* บ่งชี้ถึงค่าความเป็นสีเหลือง เมื่อมีค่าเป็นบวก และความเป็นสีน้ำเงินเมื่อค่าสี b^* เป็นลบ ยอดมะขามที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนมีสีเขียวขี้ม้าคล้ำ ขณะที่ดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งมีสีน้ำตาลแดง ค่าสี L^* ของยอดและดอกมะขามที่ผ่านการ

อบแห้งอยู่ในระดับปานกลาง (42.40 – 53.23) และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งเช่นเดียวกับรายงานของ Lu *et al.* (2015) ขณะที่มีค่าสี *a** เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดงเล็กน้อย (0.67 – 3.56) และมีค่าสี *b** เป็นบวก (4.16 – 10.87) แสดงความเป็นสีเหลืองเล็กน้อย การให้ความร้อนขณะอบแห้งในตู้อบแห้งแบบลมร้อนทำให้โปรตีนในพืชเกิดการเสียสภาพส่งผลให้คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียวสัมผัสกับกรดมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของสารคลอโรฟิลล์โดยแมกนีเซียมในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนได้เป็นฟีโอไฟทิน (สีเขียวมะกอก) และฟีโอฟอร์ไบด์ (สีน้ำตาล) ในที่สุด (von Elbe & Schwartz, 1996)

สารต้านออกซิเดชันในส่วนของยอดและดอกมะขามโดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานที่มีก่อนหน้านี้พบว่าใบมะขามอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 47.73 mg GAE/g (Leng *et al.*, 2017) ขณะที่งานวิจัยนี้ตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในยอดมะขามอบแห้งเพียง 2.64 - 3.14 mg GAE/g ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน โดยรายงานของ Leng *et al.* (2017) ใช้สารละลายเมทานอลในการสกัดภายใต้สภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ขณะที่งานวิจัยนี้ใช้วิธีการสกัดยอดมะขามด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นานเพียง 5 นาที ตามลักษณะการชงชาในชีวิตประจำวัน และรายงานของ Kuddus *et al.* (2020) ตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดปริมาณ 287.20 mg GAE และพบสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 107.52 mg quercetin equivalent (QE) ในสารสกัดใบมะขาม 1 กรัม ส่งผลให้ตรวจพบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH-radical scavenging activity, ABTS-radical scavenging activity และ FRAP ขณะที่รายงานของ Bhadoriya *et al.* (2012) ระบุการตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดใบมะขามด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ในปริมาณ 53 mg/g extract และ 26.12 mg/g extract ตามลำดับ ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่ที่ตรวจพบในใบมะขาม คือ โปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidine) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น apigenin, anthocyanin, procyanidine, catechin, epicatechin, taxifolin, eriodictyol และ naringenin (Samina *et al.*, 2008) นอกจากสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์แล้วในใบมะขามยังมีรายงานการพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นคือ tannins, saponins, glycosides, vitamin C, β-carotene, สารอนุพันธ์ 2,6-di-tert-butyl-4-methylpheno (BHT), 3-eicosine และน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น limonene, linalool anthranilate, p- cymene, diphenyl- ether, longifolene, caryophyllene และ 6,10,14- trimethylpentadeca- 5,9,13- trien- 2- one (Escalona-Arranz *et al.*, 2010; Bhadoriya *et al.*, 2012) ส่งผลให้สารสกัดใบมะขามมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ต้านแบคทีเรีย (Escalona-Arranz *et al.*, 2010) ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ต้านการปวด (antinociceptive action) (Bhadoriya *et al.*, 2012) และช่วยลดความอ้วนได้ในหนูทดลอง (Kuddus *et al.*, 2020)

ผลการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในยอดและดอกมะขามอบแห้ง โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงชัดเจนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ขณะที่สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันรวม (สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดรวมสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด) สูงที่สุด และยอดและดอกมะขามที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันรวมต่ำที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ Jansuna *et al*. (2020) ที่พบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในใบบัวบกมีปริมาณลดลง และ Niamnuy *et al*. (2013) พบว่าการอบแห้งบัวบกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสูงของการอบแห้งทำให้โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่เชื่อมต่ออยู่กับองค์ประกอบอื่นของพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงไม่สามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยน้ำร้อน นอกจากนี้อาจมีการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์บางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อนเกิดการสลายตัว จึงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่ตรวจพบ เช่น คาเทชิน (catechin) ซึ่งเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์หลักที่ตรวจพบในใบมะขาม (Razali *et al*., 2012) รายงานของ Chen *et al*. (2022) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ทำให้สารคาเทชินในผลไม้ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส และรายงานของ Wanderley *et al*. (2023) ระบุการลดลงของสารคาเทชินอย่างมีนัยสำคัญหลังการอบแห้งเปลือกทับทิมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เช่นกัน

งานวิจัยนี้ตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ในยอดและดอกมะขาม โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดความสามารถการต้านอนุมูลอิสระในอาหาร เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการให้ไฮโดรเจนอะตอมและอิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีสภาพเป็นกลางหรืออยู่ในรูปรีดิวซ์ซึ่งไม่มีสี สำหรับวิธี FRAP เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ไปเป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ของสารต้านออกซิเดชัน (Shahidi & Zhong, 2015) จัดเป็นกลไกหนึ่งของการต้านออกซิเดชัน ผลการตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ในยอดและดอกมะขามสอดคล้องกับรายงานของ Mbaye *et al*. (2017) ซึ่งพบว่าใบมะขามอบแห้งที่สกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP สูง บ่งชี้ว่าสารต้านออกซิเดชันในยอดและดอกมะขามสามารถถูกสกัดได้ด้วยตัวทำละลายที่มีขั้ว และรายงานของ Kang *et al*. (2003) ระบุว่าโมเลกุลของสารที่มีขั้วในสารสกัดพืชมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในยอดและดอกมะขามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งนอกจากปริมาณของสารต้านออกซิเดชันแล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะ

โครงสร้างทางเคมี จำนวนและตำแหน่งของวงอะโรมาติกและหมู่ไฮโดรซิลในโครงสร้าง (Oroian & Escriche, 2015) ขณะที่ค่า FRAP มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งยอดและดอกมะขามสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดส่วนใหญ่ที่พบในยอดและดอกมะขามเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในระดับมาก (P<0.01) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R^2) 0.932 สอดคล้องกับรายงานของ De Caluwé *et al*. (2010) ที่พบว่าสารประกอบฟลาโวนอยด์และแทนนินเป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดใบมะขาม ทั้งสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี DPPH-radical scavenging activity และ FRAP โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่า FRAP (R^2 = 0.885) มากกว่าการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (R^2 = 0.796) ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ในลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสหสัมพันธ์เป็น 0.821 และ 0.895 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าส่วนของยอดมะขามมีปริมาณของสารต้านออกซิเดชันและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าดอกมะขาม และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.50 ชั่วโมง ทำให้ยอดมะขามมีองค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชันทั้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด รวมทั้งค่า FRAP สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเตรียมยอดมะขามอบแห้งเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของชาชงสมุนไพรหรือใช้ปรุงรสของชาหรือเครื่องดื่มสมุนไพรอื่นได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

Bhadoriya, S.S., Mishra, V., Raut, S., Ganeshpurkar, A., & Jain, S.K. (2012). Anti-inflammatory and antinociceptive activities of a hydroethanolic extract of *Tamarindus indica* leaves. *Scientia Pharmaceutica, 80*(3), 685-700.

Bhat, R.B., Eterjere, E.O., & Oladipo, V.T. (1990). Ethnobotanical studies from central Nigeria. *Economic Botany, 44*(3), 382-390.

Bowe, C. (2007). Predicting suitable areas for the production of tamarind (*Tamarindus indica* L.), *An Underutilised Fruit Tree Species*. Doctoral dissertation, University of Southampton.

Chen, J.P., Wang, Y., Zhang, X.Y., Sun, P., Wu, Z.F., Shang, Y.F., Yang, S.H., Ma, Y.L., & Wei, Z.J. (2022). Effect of air drying temperature on the phenolics and antioxidant activity of Xuan‐ Mugua fruit. *Food Science and Technology*, *42*, 1-6.

Dajanta, K., Chattong, U., & Rongkam, H. (2019). Effect of Solid-to-solvent ratio and maceration time on antioxidant quality of *Moringa oleifera* leaf extract. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *47*(Suppl. 1), 1533-1540. (in Thai)

De Caluwé, E., Halamová, K., & Van Damme, P. (2010). *Tamarindus indica* L. – A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Afrika Focus, 23*(1), 53-83.

Escalona-Arranz, J.C, Péres-Roses, R., Urdaneta-Laffita, I., Camacho-Pozo, M.I., Rodríguez-Amado, J., & Licea-Jiménez, I. (2010). Antimicrobial activity of extracts from *Tamarindus indica* L. leaves. *Pharmacognosy Magazine, 6*(23), 242-247.

Escalona-Arranz, J.C., Perez-Roses, R., Rodríguez-Amado, J., Morris-Quevedo, H.J., Mwasi, L.B., Cabrera-Sotomayor, O., Machado-Garía, R., Fong-Lórez, O., Alfonsa-Castillo, A., & Puente-Zapata, E. (2016). Antioxidant and toxicological evaluation of a *Tamarindus indica* L. leaf fluid extract. *Natural Product Research*, *30*(4), 456-459.

Fabiyi, J.P., Kela, S.L., Tal, K.M., & Istifanus, W.A. (1993). Traditional therapy of dracunculiasis in the state of Bauchi-Nigeria. *Dakar Medical, 38*(2), 193–195.

Jansuna, S., Charoensup, L., Jirakiattikul, Y., & Harakotr, B. (2010). Effects of drying temperatures and times on antioxidant contents and their activities of *Centella asiatica* (L.) Urb. leaves. *Thai Science and Technology Journal, 28*(12), 2261-2272. (in Thai)

Kang, D.G., Yun, C.K., & Lee, H.S. (2003). Screening and comparison of antioxidant activity of solvent extracts of herbal medicines used in Korea. *Journal of Ethnopharmacology, 87*(2-3), 231-236.

Kuddus, S.A., Bhuiyan, M.I., Subhan, N., Shohag, M.H., Rahman, A., Hossain, M.M., Alam, M.A., & Khan, F. (2020). Antioxidant-rich *Tamarindus indica* L. leaf extract reduced high-fat diet-induced obesity in rat through modulation of gene expression. *Clinical Phytoscience, 6*(68), 1-13.

Leng, L.Y., binti Nadzri, N., bin Shaari, A.R., & Yee, K.C. (2017). Antioxidant capacity and total phenolic content of fresh, oven-dried and stir-fried tamarind leaves. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *5*(3), 282-287.

Lu, J., Wang, X., Zhang, C., Ma, Y., & Zhao, X. (2015). Effect of drying temperature on qualities of mint. *5th International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology (AEMT 2015)*, 958-962.

Mbaye, A.I., Gueye, P.M., Fall, A.D., Kane, M.O., Badji, K.D., Sarr, A., Diattara, D., & Bassene, E. (2017). Antioxidative activity of *Tamarindus indica* L. extract and chemical fractions. *African Journal of Biochemistry Research*, *11*(2), 6-11.

Meher, B., & Dash, D.K. (2013). Antioxidant and antimicrobial properties of *Tamarindus indica* L. *International Journal of Phytomedicine*, *5*(3), 322-329.

Niamnuy, C., Charoenchaitrakool, M., Mayachiew, P., & Devahastin, S. (2013). Bioactive compounds and bioactivities of *Centella asiatica* (L.) Urban prepared by different drying methods and conditions, *Drying Technology, 31*(16), 2007-2015.

Nordeide, M.B., Hatløy, A., Følling, M., Lied, E., & Oshaug, A. (1996). Nutrient composition and nutritional importance of green leaves and wild food resources in an agricultural district, Koutiala, in southern Mali. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *47*(6), 455-468.

Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, *74*, 10-36.

Padalia, H., Moteriya, P., & Chanda, S. (2015). Phytochemical analysis and effect of solvents on antibacterial activity of *Tamarindus indica* leaf and stem. *International Journal of Current Engineering and Technology*, *5*(4), 2716-2721.

Orapin, C. (2005). Food Preservation. Bangkok: Faculty of Science, Ramkhamhaeng University.

Ramchander, T., Rajkumar, D., Sravanprasad, M., Goli, V., & Dhanalakshmi, C.H., (2012). Antidiabetic activity of aqueous methanolic extracts of leaf of *Tamarindus indica*. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research, 4*(1), 5–7.

Razali, N., Mat-Junit, S., Abdul-Muthalib, A.F., Subramaniam, S., & Abdul-Aziz, A. (2012). Effects of various solvents on the extraction of antioxidant phenolics from the leaves, seeds, veins and skins of *Tamarindus indica* L. *Food Chemistry*, *131*(2), 441-448.

Samina, K. K., Shaikh, W., & Shahzadi, S. (2008). Chemical constituents of Tamarindus indica medicinal plant in Sindh. *Pakistan Journal of Botany, 40*(6), 2553–2559.

Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods, 18*, 757-781.

Sravanthi, T., Waghray, K., & Subba R.D. (2017). Phytochemical screening and anti–microbial and anti–oxidant studies of dehydrated tender tamarind (*Tamarindus indica*) leaves. *International Journal of Food Science and Nutrition, 2*(1), 62–64.

Thai Industrial Standards Institute. (2015). Thai Community Product Standard 136 : Dried fruits and vegetables. 1-6. (in Thai)

von Elbe, J.H., & Schwartz, S.J. (1996). Colorants. In O.R. Fennema. (Eds.), *Food Chemistry*. (pp. 651-722). New York: Marcel Dekker, Inc.

Wanderley, R.O.S., de Figueirêdo, R.M. F., Queiroz, A.J.M., Santos, F.S., Silva, A.P.F., Paiva, Y.F., Moura, H.V., Silva, E.T.V., Carvalho, A.J.B.A., Lima, M.S., Campos, A.R.N., Gregório, M.G., & de Lima A.G.B. (2023). Effect of drying temperature on antioxidant activity, phenolic compound profile and hygroscopic behavior of pomegranate peel and seed flours. *LWT-Food Science and Technology, 189*, 1-9.