วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.3) September – December 2023 บทความวิจัย

สมบัติทางเคมี-กายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิก ซึ่งผลิตโดยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนและการคั่วแบบดั้งเดิม

Physicochemical and Antioxidative Properties of *Barringtonia acutangula* Leaf Tea Produced by Hot-Air Drying and Conventional Roasting

ปิยธิดา สุดเสนาะ[1], พิทยา ใจคำ[1*], สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ[2] และ เกตุการ ดาจันทา[2]

Piyathida Sudsanor[1], Pittaya Chaikham[1*], Sirikarn Thanaboonrongkom[2] and Katekan Dajanta[2]

[1] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย*

[2] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเทศไทย*

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

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

Received : 23 May 2023
Revised : 24 June 2023
Accepted : 30 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนและการคั่วแบบดั้งเดิมต่อคุณภาพของชาใบจิก พบว่า การทำแห้งทั้งสองวิธีส่งผลให้ได้ชาใบจิกที่มีความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) อยู่ในช่วง 4.17±0.28 ถึง 5.06±0.66 เปอร์เซ็นต์ และค่า a_w เท่ากับ 0.36±0.01 ถึง 0.38±0.01 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชา ชาใบจิกที่ผ่านการคั่วจะมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำกว่า แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน ในด้านของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้ง พบว่าชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ และค่า FRAP สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ ผลิตภัณฑ์ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และจากการศึกษาคุณภาพด้านสีของน้ำชาใบจิกที่ผ่านทำแห้งด้วยการคั่วและอบลมร้อนและชงด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน พบว่า ค่า L^* ของน้ำชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิและในระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 10 นาที และน้ำชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่แตกต่างกับชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในน้ำชาใบจิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชาใบจิกที่ผ่านการคั่วและชงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดมากที่สุด

คำสำคัญ : ใบจิก ; ชา ; การอบแห้งด้วยลมร้อน ; การคั่ว ; สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This research aimed to study the effects of the drying method using a hot air dryer and conventional roasting pan on the qualities of *Barringtonia acutangula* leaf tea. The moisture content and water activity (a_w) of all the samples were in the range of 4.17±0.28% to 5.06±0.66% and 0.36±0.01 to 0.38±0.01 respectively, which were in accordance with the standard criteria of tea products. Roasted *B. acutangula* leaf tea had lower lightness (*L**) and yellowness (*b**) values but higher redness (*a**) than the hot-air dried sample. In terms of the antioxidant properties of dried *B. acutangula* leaf tea, it was found that the *B. acutangula* leaf tea dried in a hot air oven had significantly higher total phenolic compounds, flavonoid, and FRAP values than those of the roasted sample ($P \leq 0.05$), whereas DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ values were no significant difference between both drying methods ($P > 0.05$). Considering the color parameters of roasted and hot air-dried *B. acutangula* leaf tea brewed with hot water at different temperatures and times, the *L** value of *B. acutangula* leaf tea dried by both methods decreased with increasing temperature and brewing time, especially at 90 ºC for 10 min. The pH value of *B. acutangula* leaf tea dried in a hot-air oven was not different from that of the sample dried by roasting ($P > 0.05$). However, when the temperature and brewing time rose, the total titratable acidity of roasted leave tea tended to increase. Especially the roasted sample that was brewed at 90 °C for 10 minutes showed the highest total titratable acidity.

Keywords : *Barringtonia acutangula* ; tea ; hot-air drying ; roasting ; antioxidative property

***Corresponding author. E-mail** : : pittaya.chaikham@gmail.com

บทนำ

จิกเป็นไม้ยืนต้นชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณทางยาและมีการใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ มาอย่างยาวนาน เช่น โรคตับอักเสบ โรคท้องร่วง อาการไข้ ภาวะผิดปกติที่เกี่ยวกับม้าม และโรคติดเชื้อพยาธิตัวตืด ซึ่งจิกเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน เช่น ราก ใบ ผล เมล็ดและเปลือก และยังมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีสารอาหารสูง จึงนิยมนำไปรับประทาน และยังมีการใช้ในการรักษาโรคอีกด้วย (Kaur *et al.,* 2013) ใบจิกพบสารประกอบในกลุ่ม steroidal compounds เช่น barringtogenic acid, tangulic acutangulic acids acutagenol A, acutagenal B, และ barringtogenols B, C และ D นอกจากนี้ยังพบสารประกอบฟีนอลในปริมาณสูง จึงส่งให้ใบจิกมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง (Zamri & Ismail, 2021) มีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อรา ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง การต้านอนุมูลอิสระ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน รักษาโรคท้องร่วง รักษาโรคเบาหวาน โรคอัลไซเมอร์ และชะลอความเสื่อมของเซลล์ รวมถึงโรคที่เกี่ยวกับความผิดปกติของเม็ดเลือดแดงอีกด้วย จิกที่คนไทยรู้จักคุ้นเคยมากเป็นพิเศษมี 2-3 ชนิด เช่น จิกนา (*Barringtonia acuta*ngula Gaertn.) จิกบ้านหรือจิกสวน (*Barringtonia racemosa* Roxb.) และจิกน้ำ (*Barringtonia edaphoearpa* Gagnep.) ซึ่งแต่ละชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก คนไทยนิยมนำใบอ่อนมารับประทานโดยใช้เป็นผักจิ้มน้ำพริก นอกจากนั้นยังมีการนำส่วนต่าง ๆ ของจิกมาใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรคต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในตำราประมวลสรรพคุณยาไทยและตำราสรรพคุณสมุนไพรได้กล่าวถึงสรรพคุณทางยาของจิกเอาไว้หลายประการ เช่น ใบ มีสรรพคุณในการสมานบาดแผล แก้อาการชัก แก้อุจจาระพิการ แก้ท้องร่วง แก้บิดมูกเลือด แก้ปวดศีรษะ เลือดออกตามไรฟัน แก้เสมหะพิการ ส่วนของเนื้อไม้มีสรรพคุณในการขับระดูขาว ราก มีสรรพคุณเป็นยาระบาย และเมล็ดมีสรรพคุณในการแก้เยื่อตาอักเสบ แก้อาเจียน แก้ไอ แก้แน่น แก้ไข้ตัวร้อน เป็นต้น (Mohan & Anand, 2019; Kaur *et al.,* 2013; Babre *et al.,* 2010)

ชาเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลายและมีรายงานด้านวิทยาศาสตร์ที่แสดงถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการดื่มชาส่งผลให้ผู้บริโภคให้ความสนใจและนิยมบริโภคชาเพิ่มขึ้น ปัจจุบันสามารถจำแนกชาได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ชาและชาสมุนไพร โดยชาคือ ชาที่ได้จากการนำใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชา หรือจากพืชตากแห้งชนิดต่าง ๆ มาผ่านกรรมวิธีแปรรูปเพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติเฉพาะตัวขณะทำการชงหรือต้มด้วยน้ำร้อน ส่วนชาสมุนไพรคือ ชาที่ชงจากส่วนต่าง ๆ ของพืชสมุนไพรที่ไม่มีส่วนผสมจากต้นชา ซึ่งสมุนไพรไทยหลายชนิดมีสรรพคุณทางยาและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี (Purintraphiban & Poonpaerdchon, 2020) เป็นแหล่งสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน (Punchuklang *et al.,* 2020) จึงมีการนำพืชชนิดอื่นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาเพื่อสร้างทางเลือกให้ผู้บริโภคและเพิ่มมูลค่าให้กับพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ชามินต์ ชาดอกไม้ ชาใบอ่อนมะขาม ชาใบจิกหรือชาดอกคำฝอย (Purintraphiban & Poonpaerdchon, 2020; Jirarattanarangsri & Budprom, 2016) ซึ่งกระบวนการผลิตชาสมุนไพรอย่างเช่นชาใบจิก โดยเฉพาะการให้ทำแห้งที่มีการใช้ความร้อนหรือแสงแดดอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในใบจิก นอกจากนั้นข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกยังมีค่อนข้างน้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน รวมถึงผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการชงที่มีผลต่อคุณภาพบางประการของน้ำชาใบจิก โดยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำ

ให้ได้กระบวนการทำแห้งใบจิกที่เหมาะสมและสามารถใช้เป็นข้อมูลที่ยืนยันถึงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิก รวมถึงอาจสามารถนำไปต่อยอดในการผลิตชาใบจิกเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมใบจิก

ยอดอ่อนของใบจิกนาเก็บมาจากพื้นที่ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 โดยกระบวนการผลิตชาใบจิกด้วยวิธีการคั่วทำได้โดยนำใบจิกส่วนยอด มาล้างทำความสะอาด หั่นใบจิกให้มีความกว้าง 2-3 มิลลิเมตร ก่อนนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วินาที และแช่ในอ่างน้ำเย็น ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปคั่วในกระทะโดยใช้ไฟอ่อน เป็นเวลาประมาณ 40 นาที และนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นอีกครั้งด้วยตู้อบลมร้อน (Mammert, Germany) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยขั้นตอนการทำชาใบจิกนี้ทำตามขั้นตอนในการผลิตชาแบบดั้งเดิมที่ใช้กันทั่วไป สำหรับการเตรียมตัวอย่างชาใบจิกอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนทำได้โดยนำใบจิกส่วนยอดที่ผ่านการล้างทำความสะอาด และสะเด็ดน้ำ แล้วเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส อบเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะและที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมาปั่นด้วยเครื่องปั่นสมุนไพร (Disintegrator, WF-10B, China) ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช และบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ภายใต้สภาวะสุญญากาศก่อนนำไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านการอบแห้งและการคั่ว

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) วิเคราะห์หาค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ด้วยเครื่อง AquaLab (Water Activity Metre, USA) และวัดค่าสีระบบ CIE แสดงค่า *L** (ค่าความสว่าง), *a** (ค่าความเป็นสีแดง) และ *b** (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta, Japan)

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านการอบแห้งและการคั่ว

2.2.1 การสกัดตัวอย่าง

นำชาใบจิกที่ผ่านการบดผสมกับสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) สกัดโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก (Sonics & Materials Inc., Newtown, CT) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

2.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชาใบจิกตามวิธีของ Dajanta & Rongkom (2017) โดยผสมสารสกัดชาใบจิกปริมาตร 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany) ความเข้มข้น 0.25 นอร์มัล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Merck, Germany) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี และบ่มในอ่างน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และบ่มต่อในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg Gallic acid equivalent (GAE)/g ของตัวอย่าง

2.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดตามวิธีของ Chaikham and Prangthip (2015) โดยการนำสารสกัดชาใบจิกมา 4 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากันดี แล้วเติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อีก 5 นาที และนำมาผสมกับสารลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 12 มิลลิลิตร จะได้สารประกอบที่มีสีแดง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในหน่วย mg Rutin equivalent (RE)/g ของตัวอย่าง

2.2.4 วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 2,2–diphenyl–1–picrylhydrazyl (DPPH)

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดชาใบจิกตามวิธีการของ Dajanta and Rongkom (2017) โดยผสมสารสกัดชาใบจิกปริมาตร 1 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH (Fluka Biochemica, Switzerland) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี และบ่มในที่มืดเป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis spectrophotometer (Spectrophotometer evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับชุดควบคุมใช้สารละลายเอทานอล (Lab-scan analytical science, Thailand) ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ แทนสารสกัด คำนวณค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วย mg Trolox equivalent (TE)/g ของตัวอย่าง

2.2.5 วิเคราะห์หาค่า Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์หาค่า FRAP ในชาใบจิกตามวิธีการของ Dajanta & Rongkom (2017) โดยผสมสารสกัดปริมาตร 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย FRAP reagent (Fluka Biochemica, Switzerland) ปริมาตร 3,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันดี บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Spectrophotometer evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร สำหรับชุดควบคุมใช้สารละลายเอทานอล (Lab-scan analytical science, Thailand) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ แทนสารสกัด คำนวณค่า FRAP ในหน่วย mg TE/g ของตัวอย่าง

2.2.6 วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ($ABTS^{\bullet+}$)

นำสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย $K_2S_2O_8$ (dipotassium peroxodisulphate) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ให้เข้ากันแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น และเตรียมสารสกัดตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในตัวทำละลาย dimethyl sulfoxide (DMSO) ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ผสมสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ ที่เจือจางแล้วกับสารสกัดชาใบจิก โดยให้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 2,120 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Spectrophotometer evolution 201, USA) คำนวณค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ในหน่วย mg TE/g ของตัวอย่าง

3. การศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพบางประการของน้ำชาใบจิกที่ผ่านการชงด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำชาใบจิก

นำชาใบจิกบรรจุลงในซองชาปริมาณ 2 กรัม และนำไปแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 4 ระดับ ได้แก่ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการชง 6 ระดับ ได้แก่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที เก็บตัวอย่างในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร และทำให้เย็นทันที จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและนำไปกายภาพบางประการต่อไป

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพบางประมาณของน้ำชาใบจิก

วัดค่าสีระบบ CIE แสดงค่า *L** (ค่าความสว่าง), *a** (ค่าความเป็นสีแดง) และ *b** (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta, Japan) วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH meter, Sartorius PB-20, Germany) และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีไทเทรต รายงานในรูปของกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)

4. การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Independent t-test สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี และวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) สำหรับตัวอย่างน้ำชา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Physicochemical qualities of dried *Barringtonia acutangula* leaf using hot-air dryer and roasting

Qualities	Hot-air drying	Roasting
Moisture content (%)	5.06±0.66[a]	4.17±0.28[b]
a_w	0.38±0.01[a]	0.36±0.01[b]
*L**	49.92±0.13[a]	46.38±0.46[b]
*a**	1.22±0.08[b]	2.23±0.25[a]
*b**	25.28±0.20[a]	21.84±0.72[b]

Note : Means in the same row with the different small letter indicate significant difference ($P \leq 0.05$)

Table 2 Bioactive compounds and antioxidative properties of dried *Barringtonia acutangula* leaf using hot-air dryer and roasting

Contents/properties	Hot-air drying	Roasting
Total phenolic compounds (mg GAE/g, D.W.)	79.08±4.17[a]	58.24±3.76[b]
Total flavonoids compounds (mg RE/g, D.W.)	26.95±0.15[a]	13.69±0.27[b]
DPPH-radical inhibition (mg TE/g, D.W.)[ns]	155.27±4.52	151.33±7.42
FRAP value (mg TE/g, D.W.)	185.73±6.69[a]	158.93±12.32[b]
$ABTS^{\bullet+}$-radical inhibition (mg TE/g, D.W.)[ns]	154.52±8.34	149.99±9.48

Note : Means in the same row with the different small letter indicate significant difference ($P \leq 0.05$).
ns is non-significant difference ($P > 0.05$).

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่ว

ทำการผลิตชาใบจิกด้วยกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วด้วยกระทะ จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการบดมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ ปริมาณสารสำคัญและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลการทดลองดังแสดงใน Table 1 และ 2

จากผลการทดลองใน Table 1 พบว่า ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้งสองวิธีมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของชา โดยกำหนดให้ชามีความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ (Punchuklang *et al.*, 2020) จากการวัดค่าสีของชาใบจิกหลังการทำแห้งด้วยกระบวนการที่ต่างกันพบว่ากระบวนการทำแห้งมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ชาใบจิกอย่างมาก โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ชาใบจิกที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความเป็นสีแดงต่ำกว่ากว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะมีสีที่เข้มมากกว่าชาใบจิกที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเกิดจากการสัมผัสความร้อนสูงโดยตรงจากพื้นผิวกระทะ จึงทำให้ชาใบจิกที่ผ่านการคั่วส่วนหนึ่งเกิดการไหม้ และทำให้สีใบชามีความเข้มขึ้น

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิก (Table 2) พบว่า ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และค่า FRAP

สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แสดงว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีผลต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกน้อยกว่าการคั่วด้วยกระทะ เนื่องจากในระหว่างการคั่วชาใบจิกจะสัมผัสความร้อนสูงจากพื้นผิวกระทะโดยตรง ถึงแม้จะใช้เวลาในการคั่วน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนก็ตาม ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วด้วยกระทะมีความสามารถในการจับกับโลหะเหล็ก FRAP โดยการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ จะมีค่าสูง เมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง (Table 2) ในขณะที่ผลการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ ของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

2. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการชงต่อคุณภาพบางประการของน้ำชาใบจิก

จากการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่าง (Table 3 – 5) พบว่า ค่าสี L^* ของน้ำชาจากชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่ออุณหภูมิและในระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการชงชาใบจิกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน พบว่าชาใบจิกที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าสี L^* สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อพิจารณาค่าสี a^* พบว่า ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วมีโทนสีออกสีเขียว และเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้นทำให้โทนสีเขียวของตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ตัวอย่างน้ำชามีความเข้มของโทนสีมากขึ้น นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ค่าสี b^* พบว่า เมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้นจะทำสีของน้ำชามีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยเฉพาะอย่างยิ่งชาใบจิกที่ผ่านการคั่วมีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และมีค่าแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ในส่วนของค่าสี L^* และ a^* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการแปรรูปโดยการอบด้วยลมร้อนและการคั่ว (P≤0.05)

จากการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำชาของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่ว โดยใช้เวลาและอุณหภูมิในการชงที่แตกต่างกัน (Table 6) พบว่า ค่า pH ของน้ำชาจากชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่า pH ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.77-4.18 โดยค่า pH ของน้ำชาจากชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าต่ำกว่าชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) และเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า pH ของชาใบจิกมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าน้ำชาใบจิกที่ผ่านการชงเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่า pH ต่ำที่สุดและมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้สูงที่สุด (Table 7) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ไม่แตกต่างกับชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยด้วยการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำชาใบจิกที่ผ่านการคั่วและชงด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

Table 3 Brightness (*L**) of dried *Barringtonia acutangula* leaf tea after brewing with different temperatures and times

Tea samples	Temperatures (ºC)	Times (min)					
		0	2	4	6	8	10
Hot-air drying	60	79.52±0.27^{aA}	76.29±0.19^{aB}	73.87±0.63^{aC}	71.78±0.35^{aD}	69.55±0.17^{aE}	65.41±0.31^{aF}
	70	75.65±0.21^{bA}	74.49±0.21^{bB}	71.49±0.19^{bC}	62.58±0.27^{bD}	67.35±0.15^{dE}	63.40±0.34^{cF}
	80	72.28±0.27^{eA}	71.32±0.19^{dB}	70.29±0.21^{cC}	68.82±0.46^{cD}	66.27±0.37^{eE}	62.53±0.25^{dF}
	90	70.52±0.27^{fA}	69.60±0.11^{fB}	68.44±0.59^{eC}	66.36±0.11^{eD}	61.62±0.21^{hE}	60.28±0.22^{eF}
Roasting	60	74.50±0.11^{cA}	73.46±0.28^{bB}	71.26±0.09^{bC}	69.43±0.06^{bD}	68.29±0.08^{bE}	63.92±0.09^{bF}
	70	73.38±0.14^{dA}	72.61±0.12^{cB}	70.68±0.50^{cC}	68.58±0.15^{cD}	67.67±0.25^{cE}	58.36±0.32^{fF}
	80	72.56±0.28^{eA}	70.29±0.11^{eB}	69.38±0.19^{dC}	66.98±0.29^{dD}	65.52±0.20^{fE}	56.48±0.13^{gF}
	90	70.37±0.43^{fA}	69.41±0.29^{fB}	68.53±0.17^{eC}	65.36±0.20^{fD}	64.92±0.47^{gE}	52.54±0.43^{hF}

Note : Means in the same column with the different capital letter, whereas means in the same row with the same small letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

Table 4 Redness (*a**) of dried *Barringtonia acutangula* leaf tea after brewing with different temperatures and times

Tea samples	Temperatures (ºC)	Times (min)					
		0	2	4	6	8	10
Hot-air drying	60	-2.50±0.01^{gF}	-2.46±0.02^{hE}	-2.26±0.03^{hD}	-1.85±0.01^{fC}	-1.73±0.02^{gB}	-1.53±0.01^{fA}
	70	-2.40±0.01^{fF}	-2.17±0.01^{gE}	-2.07±0.02^{gD}	-1.65±0.03^{dC}	-1.44±0.02^{eB}	-1.38±0.02^{eA}
	80	-2.13±0.0.1^{eF}	-2.08±0.01^{fE}	-2.03±0.01^{fD}	-1.68±0.03^{deC}	-1.38±0.03^{dB}	-1.21±0.02^{dA}
	90	-1.96±0.01^{cF}	-1.86±0.02^{cE}	-1.74±0.02^{dD}	-1.55±0.02^{cC}	-1.25±0.02^{cB}	-1.11±0.03^{cA}
Roasting	60	-2.14±0.02^{eF}	-1.95±0.02^{eE}	-1.78±0.03^{eD}	-1.69±0.01^{eC}	-1.61±0.01^{fB}	-1.57±0.02^{gA}
	70	-2.04±0.03^{dF}	-1.90±0.02^{dE}	-1.68±0.03^{cD}	-1.54±0.04^{cC}	-1.44±0.04^{eB}	-1.22±0.04^{dA}
	80	-1.55±0.03^{bF}	-1.43±0.03^{bE}	-1.24±0.02^{bD}	-1.14±0.02^{bC}	-1.07±0.01^{bB}	-0.92±0.03^{bA}
	90	-1.38±0.03^{aF}	-1.26±0.01^{aE}	-1.15±0.02^{aD}	-1.07±0.01^{aC}	-1.00±0.03^{aB}	-0.71±0.04^{aA}

Note : Means in the same column with the different capital letter, whereas means in the same row with the same small letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

Table 5 Yellowness (*b**) of dried *Barringtonia acutangula* leaf tea after brewing with different temperatures and times

Tea samples	Temperatures (ºC)	Times (min)					
		0	2	4	6	8	10
Hot-air drying	60	0.38±0.01^{hF}	4.33±0.30^{fE}	8.49±0.31^{fD}	14.81±0.39^{eC}	16.44±0.33^{dB}	20.46±0.37^{gA}
	70	0.81±0.01^{gF}	6.44±0.24^{dE}	10.70±0.22^{dD}	16.50±0.32^{dC}	17.51±0.28^{cB}	22.60±0.23^{fA}
	80	1.21±0.12^{fF}	8.55±0.15^{bE}	11.06±0.26^{dD}	17.61±0.35^{cC}	19.52±0.28^{bB}	24.36±0.18^{dA}
	90	2.52±0.15^{bF}	9.45±0.30^{aE}	11.97±0.60^{cD}	18.67±0.24^{bC}	20.46±0.29^{aB}	25.69±0.26^{bA}
Roasting	60	1.85±0.08^{dF}	4.11±0.39^{fE}	5.85±0.61^{gD}	7.85±0.36^{gC}	11.49±0.18^{fB}	17.41±0.27^{hA}
	70	1.35±0.17^{eF}	5.53±0.28^{eE}	9.59±0.37^{eD}	13.24±0.41^{fC}	15.26±0.24^{eB}	23.30±0.18^{eA}
	80	2.17±0.03^{cF}	6.35±0.19^{dE}	13.77±0.39^{bD}	17.26±0.32^{cC}	19.61±0.38^{bB}	25.06±0.39^{cA}
	90	2.70±0.06^{aF}	8.15±0.19^{cE}	14.54±0.30^{aD}	19.40±0.29^{aC}	20.43±0.31^{aB}	32.00±0.34^{aA}

Note : Means in the same column with the different capital letter, whereas means in the same row with the same small letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

Table 6 pH of dried *Barringtonia acutangula* leaf tea after brewing with different temperatures and times

Tea samples	Temperatures (ºC)	Times (min)					
		0	2	4	6	8	10
Hot-air drying	60	4.44±0.03^{eA}	4.34±0.01^{eB}	4.24±0.00^{cC}	4.20±0.01^{dD}	4.08±0.01^{dE}	4.06±0.00^{cF}
	70	4.35±0.01^{fA}	4.20±0.00^{fB}	4.17±0.00^{eC}	4.09±0.00^{eD}	4.07±0.00^{eE}	4.04±0.00^{dF}
	80	4.22±0.00^{gA}	4.18±0.01^{fB}	4.16±0.00^{fC}	4.06±0.00^{fD}	4.04±0.00^{fE}	4.01±0.01^{eF}
	90	4.00±0.00^{hA}	3.98±0.01^{gB}	3.94±0.01^{gC}	3.88±0.01^{gD}	3.80±0.00^{gE}	3.77±0.01^{fF}
Roasting	60	5.36±0.01^{aA}	5.07±0.05^{aB}	4.75±0.01^{aC}	4.62±0.00^{aD}	4.35±0.01^{aE}	4.18±0.00^{aF}
	70	5.22±0.01^{bA}	4.92±0.01^{bB}	4.67±0.01^{bC}	4.52±0.00^{bD}	4.20±0.00^{bE}	4.08±0.00^{bF}
	80	5.12±0.00^{cA}	4.86±0.00^{cB}	4.32±0.00^{cC}	4.21±0.01^{cD}	4.09±0.00^{cE}	4.04±0.00^{dF}
	90	4.83±0.01^{dA}	4.51±0.1^{dB}	4.17±0.01^{eC}	4.09±0.00^{eD}	4.06±0.00^{eE}	4.02±0.00^{eF}

Note : Means in the same column with the different capital letter, whereas means in the same row with the same small letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

Table 7 Total titratable acidity of dried *Barringtonia acutangula* leaf tea after brewing with different temperatures and times

Tea samples	Temperatures (ºC)	Times (min)					
		0	2	4	6	8	10
Hot-air drying	60	0.04 ± 0.00^{abD}	0.04 ± 0.00^{dD}	0.04 ± 0.00^{fD}	0.08 ± 0.00^{fC}	0.10 ± 0.02^{eB}	0.13 ± 0.02^{eA}
	70	0.04 ± 0.00^{abE}	0.06 ± 0.01^{cD}	0.10 ± 0.01^{dC}	0.11 ± 0.01^{eC}	0.14 ± 0.01^{cB}	0.16 ± 0.00^{dA}
	80	0.04 ± 0.00^{aE}	0.07 ± 0.00^{bD}	0.11 ± 0.00^{cC}	0.12 ± 0.01^{dC}	0.16 ± 0.01^{abB}	0.18 ± 0.02^{cA}
	90	0.04 ± 0.00^{abF}	0.10 ± 0.00^{aE}	0.12 ± 0.01^{bD}	0.14 ± 0.00^{bC}	0.17 ± 0.02^{aB}	0.19 ± 0.00^{bA}
Roasting	60	0.03 ± 0.00^{bF}	0.04 ± 0.01^{dE}	0.08 ± 0.00^{eD}	0.11 ± 0.00^{eC}	0.12 ± 0.00^{dB}	0.13 ± 0.00^{eA}
	70	0.04 ± 0.00^{abF}	0.04 ± 0.00^{dE}	0.10 ± 0.00^{dD}	0.13 ± 0.00^{cC}	0.14 ± 0.00^{cB}	0.16 ± 0.00^{dA}
	80	0.04 ± 0.00^{aF}	0.06 ± 0.00^{cE}	0.11 ± 0.00^{cD}	0.15 ± 0.00^{aC}	0.15 ± 0.00^{bcB}	0.18 ± 0.00^{cA}
	90	0.04 ± 0.00^{aF}	0.07 ± 0.00^{cE}	0.13 ± 0.00^{aD}	0.15 ± 0.00^{aC}	0.16 ± 0.00^{abB}	0.21 ± 0.00^{aA}

Note : Means in the same column with the different capital letter, whereas means in the same row with the same small letter indicate significant difference ($P \leq 005$).

วิจารณ์ผลการวิจัย

ชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วแบบวิธีดั้งเดิมมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของชา ที่กำหนดให้ชามีความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถป้องกันและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ทั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย และสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เน่าเสีย อีกทั้งกระบวนการทำแห้งยังช่วยเพิ่มกลิ่นรสและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเฉพาะของชาได้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำแห้งด้วยวิธีการคั่วแบบดั้งเดิมที่จะให้คุณลักษณะเฉพาะด้านประสาทสัมผัสของชาได้มากที่สุด (Punchuklang *et al.*, 2020; Jirarattanarangsri & Budprom, 2016) โดยทั่วไปกระบวนการทำแห้งที่นิยมใช้ในการผลิตชา คือ การคั่วด้วยกระทะและการอบด้วยตู้อบลมร้อน แต่การคั่วใบชาที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่นานมีผลทำให้ใบชาไหม้และมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ แต่การอบใบชาด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำให้ได้ใบชาที่มีกลิ่นและรสที่ดี (Jirarattanarangsri & Budprom, 2016) เนื่องจากอัตราการทำแห้งของอาหารขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้งและสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแปรรูปจะส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยชาจะมีความชื้นลดลงเมื่อระยะเวลาในการคั่วและอุณหภูมิในการอบแห้งใบชาเพิ่มมากขึ้น (Jamali *et al.*, 2006)

ในส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชาใบจิกที่ผ่านการคั่วพบว่ามีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงต่ำกว่าชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและใบชาส่วนหนึ่งเกิดการไหม้ จึงทำให้สีใบชามีเฉดสีที่เข้มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารสีหรือรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ โดยความร้อนสูงจากการคั่วด้วยกระทะและการสัมผัสโดยตรงกับภาชนะกับเปลวไฟ สารสีของใบจิกจึงถูกทำลายด้วยความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วยสารสีในชาใบจิกจะสลายตัวได้

เร็วขึ้น ประกอบกับการคั่วจะส่งผลให้ชาใบจิกสัมผัสกับออกซิเจนในขณะคั่วจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพันธะคู่ที่มีในโมเลกุลทำให้เกิดสีน้ำตาล (Stintzing *et al.,* 2002) อีกทั้งคลอโรฟิลล์ซึ่งพบได้ในใบชาไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (Joslyn & Mackinney, 1938) นอกจากนั้นการลวกใบจิกก่อนนำไปคั่ว อาจจะมีผลยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในกรณีนี้น่าจะเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นหลัก ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อนไม่มีการลวกใบจิกก่อน สีของใบชาน่าจะเกิดจากทั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เป็นหลัก เพราะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการคั่วในการทำแห้ง (Shakuntala Manay & Shadaksharaswamy, 2005) สรุปได้ว่าการใช้ความร้อนแบบนำความร้อน (heat conduction) ในการทำแห้งทำให้ตัวอย่างได้รับความร้อนสูงมากกว่าการใช้ความร้อนแบบการพาความร้อน (heat convention) ซึ่งมีผลทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลมากขึ้นและเกิดการไหม้ของตัวอย่างอีกด้วย

อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อความคงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของใบชาคือ เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น ความคงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระจะลดลง และการคั่วใบชาด้วยกระทะที่ใช้ระยะเวลานานจะเพิ่มโอกาสในการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นอีกด้วย การอบแห้งใบจิกด้วยตู้อบลมร้อนจึงมีผลต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกน้อยกว่าการคั่วด้วยกระทะ เนื่องจากในระหว่างการคั่วใบจิกด้วยกระทะ ชาใบจิกจะสัมผัสความร้อนสูงโดยตรงจากพื้นผิวกระทะ ถึงแม้จะใช้เวลาในการคั่วน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามชาใบจิกยังคงมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งจากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกที่ผ่านกระบวนการทำแห้งทั้งสองแบบด้วยวิธี FRAP พบว่าการอบแห้งชาใบจิกด้วยตู้อบลมร้อนช่วยรักษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาใบจิกได้ดีกว่าการคั่วด้วยกระทะ สอดคล้องกับการลดปริมาณลงของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในชาใบจิกที่คั่วด้วยกระทะ เนื่องจากสมบัติการต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก เมื่อมีการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกหรือสารต้านออกซิเดชันจากความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง ชาใบจิกจะส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างลดลงด้วย (Thongmat & Assatarakul, 2019) อุณหภูมิในการอบแห้งมีส่วนสำคัญต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกในใบชา ซึ่งการอบและการคั่วชาใบจิกมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้สารประกอบฟีนอลิกเกิดการออกซิเดชันและสลายตัว (Punchuklang *et al.,* 2020; Methaakkharadecha & Srisopa, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ VegaGálvez (2009) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในพริกที่ผ่านการอบแห้งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยลดลงมากที่สุดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พบทั่วไปในพืชหลายหลายชนิดทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ เมื่ออนุมูลอิสระได้รับอะตอมของไฮโดรเจนแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบ ฟีนอลิกจะไม่ทำปฏิกิริยาอื่นต่อไป จึงสามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุจึงช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Thongmat & Assatarakul, 2019) อีกทั้งยังป้องกันกระบวนการ lipid oxidation โดยจับกับ lipid peroxy radicals และยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cyclooxygenase และ lipoxygenase ซึ่งช่วยลดการเกิดภาวะหลอดเลือดอุดตันได้ (Rahman *et al.,* 2010) ซึ่งสารประกอบ

ฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบจิก โดยใบจิกมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดประมาณ 146 มิลลิกรัมต่อกรัม (Zamri & Ismail, 2021) และมีปริมาณของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ที่พบในใบจิกจากรายงานวิจัยของ Zamri & Ismail (2021) พบว่าสารสกัดใบจิกที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่าอยู่ระหว่าง 13.21-239.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของใบจิก ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการผลิตชามีส่วนสำคัญต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีรายงานของ Takuya *et al.* (2011) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส มีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญ โดยปกติสมบัติการต้านอนุมูลอิสระจะมีความสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในอาหารชนิดนั้น ๆ (Thuanthong *et al*., 2021)

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ ของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากรายงานของ Kaur *et al.* (2013) พบว่าสารสกัดใบจิกมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดี (Zamri & Ismail, 2021) โดยพบว่าใบจิกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในช่วง 3.83-38.16 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และรายงานของ Faruk *et al.* (2016) ที่พบว่าสารสกัดจากใบจิกมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี จึงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีด้วย การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดักจับอนุมูลอิสระ DPPH เป็นวิธีการวิเคราะห์การวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอมซึ่งสารละลายของ DPPH ที่มีสีม่วงในเอทานอล เมื่อได้รับไฮโดรเจนอะตอมจะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง (Blois, 1958) แต่พบรายงานการศึกษาที่กล่าวว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของใบชาข้าวก่ำมีความแตกต่างกันระหว่างกระบวนการอบด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วด้วยกระทะ โดยพบว่าใบชาข้าวก่ำที่ผ่านกระบวนการคั่วด้วยกระทะที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 84.11±0.53 เปอร์เซ็นต์ และชาใบข้าวก่ำที่ผลิตจากใบชาข้าวก่ำที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ผลที่ได้แปรผกผันกับปริมาณแอนโธไซยานินที่ตรวจพบอาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูปไม่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ที่นอกเหนือจากแอนโธไซยานิน (Jirarattanarangsri & Budprom, 2016) อย่างไรก็ตามฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของใบชาอบแห้งจะได้รับอิทธิพลทั้งจากการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในใบชาตามธรรมชาติโดยความร้อน และสารเมลานอยดิน (Melanoidins) ที่เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการผลิตใบชา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตด้วย

เมื่อนำชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มาทำการชงที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการชงมีผลต่อค่าสีของน้ำชาใบจิก โดยน้ำชาใบจิกที่ผ่านการคั่วมีค่าความเข้มของโทนสีมากกว่าน้ำชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งค่าสีที่วัดได้จากน้ำชาใบจิกค่อนข้างสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าสีของชาใบจิกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปในแต่ละสภาวะ อาจเนื่องจากรงควัตถุเกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูปเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้รงควัตถุนั้นละลายน้ำออกมาส่งผลให้เกิดเฉดสีตามสีของรงควัตถุนั้น ๆ (Jirarattanarangsri & Budprom, 2016) และงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Liaotrakoon and Liaotrakoon (2019) ซึ่งได้ศึกษาคุณภาพและสารออกฤทธิ์ของชาดอกอกาธีสีขาวและสีแดง

สรุปผลการวิจัย

การทำแห้งชาใบจิกด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อนและการคั่วด้วยกระทะทำให้ได้ชาใบจิกที่มีความชื้นและค่า a_w ต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และ 0.6 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชา จึงมีความปลอดภัยและเก็บรักษาได้นาน และการอบแห้งชาใบจิกด้วยตู้อบลมร้อนมีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าการคั่วด้วยกระทะจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ และระดับการยับยั้งโลหะเหล็ก FRAP สูงกว่าชาใบจิกที่ผ่านการคั่วด้วยกระทะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ $ABTS^{\bullet+}$ ของชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนของผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการชงชาใบจิกพบว่า ค่าสี L^* ของน้ำชาใบจิกที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิและในระยะเวลาในการชงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 10 นาที ที่มีค่าความสว่างต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำชาใบจิกมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการชงที่มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชาใบจิกที่ผ่านการคั่วและชงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดมากที่สุด องค์ความรู้จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาใบจิกนี้เป็นประโยชน์อย่างมากและสามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 และผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, USA.

Babre, N.,Debnath, S., Manjunath, Y.S., Parameshwar, B., Wankhede, S.V., & Hariprasath, K. (2010). Antioxidant potential of hydroalcoholic extract of *Barringtonia acutangula* Linn. roots on streptozotocininduced diabetic rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2*(4), 201-203.

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, *181*, 1199-1200.

Chaikham, P. & Prangthip, P. (2015). Physical and biochemical properties of Yanang juice mixed with longan flower-honey following high pressure processing. *International Food Research Journal*, *22*(4), 1607-1614.

Dajanta, K. & Rongkom, H. (2017). Effects of drying temperature on the isoflavone content and antioxidant capacity of fermented soybean (*Thua Nao*). *KKU Science Journal*, *45*(1), 138-150.

Faruk, M.O., Sardar, R., Haque, S.T., & Haque, E. (2016). Antimicrobial, cytotoxic and antioxidant activities of *Barringtonia acutangula* (L). *Bioresearch Communications, 2*(1), 205-209.

Jamali, A., Kouhila, M., Mohamed, L. A., Idlimam, A., & Lamharrar, A. (2006). Moisture adsorption–desorption isotherms of Citrus reticulata leaves at three temperatures. *Journal of food engineering, 77*(1), 71-78.

Jirarattanarangsri, W., & Budprom, P. (2016). Effect of different processing on phenolic content, anthocyanin content, antioxidant capacity and consumer acceptance of black glutineous rice leaf tea. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology), 9*(17), 91-103. (in Thai)

Joslyn, M. A. & Mackinney, G. (1938). The Rate of Conversion of Chlorophyll to Pheophytin. *Journal of American Chemical Society, 60*(5), 1132–1136.

Kaur, M., Singh, G., & Mohan., C. (2013). *Barringtonia acutangula*: A traditional medicinal plant. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *23*(1), 168-171.

Liaotrakoon, W. & Liaotrakoon, V. (2019). Antioxidative properties of white and red flowered Agathi (*Sesbania grandiflora*) tea and tea extracts. Walailak Journal of Science and Technology, *16*(11), 831-839.

Methaakkharadecha, N., & Srisopa, A. (2019). Phenolic contents and antioxidant activities of mulberry leaf tea and water soluble mulberry leaf tea powder. *Thai Journal of Science and Technology, 9*(2), 230-242. (in Thai)

Mohan, S.C. & Anand, T. (2019). *In vitro* antioxidant activity of leaf and bark extracts of *Barringtonia acutangula* Linn. *International Research Journal of Biological Sciences, 1*(1), 37-40.

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology, 21*(1), 3-11.

Punchuklang, K., Bunkrongcheap, R., Petlamul, W., & Punchuklang, A. (2020). Antioxidant activity, total phenolic and tannin contents in *Crotalatia juncea* tea. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, *29*(4), 653-665.

Purintraphiban & Poonpaerdchon. (2020). Effect of tea processing on quality and antioxidant properties of gac fruit peel tea. *RMUTSB Academic Journal*, *8*(1), 28-38.

Rahman, M.A., Sikder, M.A.A., Kaisar, M.A., Rahman, M.S., Hasan, C.M., & Rashid, M.A. (2010). In vitro antioxidant activity of *Barringtonia acutangula* Linn. *Bangladesh Pharmaceutical Journal, 13*(1), 38-41.

Stintzing C. F., Stintzing A. S., Carle R., Frei B. & Wrolstad R. E. (2002). Colour and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*, 6172–6181.

Shakuntala Manay, N., & Shadaksharaswamy, M. (Eds), (2005). Pigments and colours. In Food: facts and principles (2nd ed., pp. 95–97). New Delhi, India: New Age International (P) Ltd., Publishers.

Takuya, K., Yoko, T., Mari, S., & Toshimichi, F. (2011). Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food chemistry, 113*(4), 964-969.

Thongmat, K., & Assatarakul, K. (2019). Effect of package type and storage temperature on quality of probiotic fortified vegetable tablets. *The Journal of Food Technology Siam University, 14*(2), 144-154.

Thuanthong, A., Patchimpet, J., Visessanguan, W., Panyo, J., Benjakul, Zhang, S.Y., & Klomklao, S. (2021). Antioxidant properties of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) shell extracts as affected by solvents used for prior decolorization. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports, 24*(3), DOI: https://doi.org/10.55164/ajstr.v24i3.243570.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., & Di Scala, K. (2012). Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry, 132*(1), 51-59.

Zamri. N.N.S.M., & Ismail, N.A. (2021). Review on nutritional content and pharmacological activities in leaves of barringtonia species (*Barringtonia acutangula* L. and *Barringtonia racemosa* L.). *Inaugural Symposium of Research and Innovation for Food (SoRIF)*, 43-46.