

บทความวิจัย (Research Article)

ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูล

อิสระของใบคະນ້າเม็กซีโก

EFFECTS OF DRYING METHODS ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES

AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF

CNIDOSCOLUS ACONITIFOLIUS LEAVES

ทอรุง ประณิล^{1*} และ ยลดา ถินวิสัย²

Thorung Pranil^{1*} and Yonlada Thinvisai²

วันที่รับบทความ (Received) วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข (Revised) วันที่ตอบรับบทความ (Accepted)

25 พฤศจิกายน 2565

25 ธันวาคม 2565

26 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งแบบถาด การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และการทำแห้งแบบระเหิด ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคະນ້าเม็กซีโกพบว่ ใบคະน້าเม็กซีโกที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ($4.07 \pm 0.11\%$) มีค่าความสว่าง และค่าสีเขียวสูงสุด ($L^* = 49.01 \pm 1.34$ และ $b^* = 19.67 \pm 1.50$) นอกจากนี้ ใบคະน້าเม็กซีโกที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงสุด (16.02 ± 0.21 mg GAE /g และ 123.33 ± 11.96 mg Quercetin/g) รวมถึงมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP Assay สูงที่สุด (80.61 ± 0.53 mg/g) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบถาด (71.32 ± 0.31 mg/g) และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (59.66 ± 0.22 mg/g) อย่างไรก็ตาม วิธีการอบแห้งไม่มีผลต่อสารฟอกซ์เคมีในใบคະน້าเม็กซีโก ดังนั้น การทำแห้งแบบระเหิดจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรักษาคุณภาพทางด้านกายภาพ และทางเคมีของคະน້าเม็กซีโก

คำสำคัญ: คະน້าเม็กซีโก, การทำแห้ง, สารประกอบฟีนอลิก, สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

¹ อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

¹ Lecturer, Department of Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

² นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

² student, Department of Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

* Corresponding author email: Thorung.pr@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of three different drying methods (tray drying, drum drying, and freeze drying) on physicochemical properties and antioxidant activity of *Cnidoscopus aconitifolius* leaves. Freeze-drying resulted in the dried *Cnidoscopus aconitifolius* leaves showing the lowest moisture content ($4.07 \pm 0.11\%$) and the highest lightness and green color ($L^* = 49.01 \pm 1.34$ and $b^* = 19.67 \pm 1.50$). In addition, freeze-dried *Cnidoscopus aconitifolius* leaves had higher contents of phenolic compounds, flavonoid compounds (16.02 ± 0.21 mg GAE /g and 123.33 ± 11.96 mg Quercetin/g), and antioxidant activity (FRAP Assay) (80.61 ± 0.53 mg/g) than *Cnidoscopus aconitifolius* leaves dried by tray drying (71.32 ± 0.31 mg/g) and drum drying (59.66 ± 0.22 mg/g). However, phytochemicals were not affected by the different drying methods. Therefore, freeze-drying the leaves of *Cnidoscopus aconitifolius* gave higher values in physicochemical properties and antioxidant activity.

Keywords: *Cnidoscopus aconitifolius* leaves, Drying method, Phenolic compound, Flavonoid compound and Antioxidant activity

1. บทนำ

คะน้าเม็กซิโกหรือผักขายา หรือต้นผงชูรส มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (*Cnidoscopus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศเม็กซิโก และแพร่กระจายไปยังพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อน รวมถึงประเทศไทยที่นิยมปลูกเป็นผักในครัวเรือน เนื่องจากปลูกง่าย ทนฝนทนแล้ง ทนต่อแมลงศัตรูพืช มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี และยังเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน เบต้าแคโรทีน วิตามิน แคลเซียม โปแทสเซียม และธาตุเหล็ก [1] คะน้าเม็กซิโกอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มอัลคาลอยด์ สเตียรอยด์ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ได้แก่ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ต้านการอักเสบ, ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด และเพิ่มภูมิคุ้มกัน เป็นต้น [2,3] อย่างไรก็ตามคะน้าเม็กซิโกมีสารพิษในกลุ่มไฮโดรไซยานิก ไกลโคไซด์ (hydrocyanic glycosides) ซึ่งสารดังกล่าวสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน [4] ดังนั้นการแปรรูประดับครัวเรือนจึงนำไปผ่านการลวกก่อนรับประทาน หรือทำไปอบแห้ง แต่กระบวนการอบแห้งที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เช่น การทำแห้งด้วยอุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาอันยาวนานอาจส่งผลต่อสี และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำแห้ง 3 วิธี ประกอบด้วย การทำแห้งแบบถาด (tray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (drum drying) และการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (สี) และทางเคมี (ความชื้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารพฤกษเคมีเบื้องต้น) รวมถึงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคະນ້າເມັກສີໂຄຟງ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคະນ້າເມັກສີໂຄຟງ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. การเตรียมใบคະນ້າເມັກສີໂຄ

คະນ້າເມັກສີໂຄ (*Cnidioscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst) ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ถูกเก็บรวบรวมจากพื้นที่บ้านดอนสนวน ตำบลหลุบ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยจะคัดเลือกเฉพาะส่วนของใบสมบูรณ์ ไม่ช้ำ ไม่เน่าเสีย และมีสีที่เสมอกัน นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ก่อนนำไปลวกในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที และนำไปทำให้เย็นด้วยน้ำแข็ง หลังจากนั้นใช้มีดหั่นเป็นชิ้นตามขวางกว้าง 2 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี ดังนี้

3.1.1. การทำแห้งแบบถาด (tray drying) โดยการอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นละเอียด ร้อนผ่านตะแกรง 100 เมช บรรจุในถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส จนถึงการนำมาทดลอง [5]

3.1.2. เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (drum drying) โดยการนำใบคະນ້າເມັກສີໂຄไปผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ก่อนนำมาปั่นละเอียด ร้อนผ่านตะแกรง 100 เมช บรรจุในถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส จนถึงการนำมาทดลอง [6]

3.1.3. เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) โดยการนำใบคະນ້າເມັກສີໂຄไปแช่แข็ง (-50 องศาเซลเซียส) ก่อนนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง) นำมาปั่นละเอียด ร้อนผ่านตะแกรง 100 เมช บรรจุในถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส จนถึงการนำมาทดลอง [7]

3.2. การเตรียมสารสกัดใบคະນ້າເມັກສີໂຄ

ซึ่งตัวอย่างใบคะน้าเม็กซิโกผง 0.5 กรัม เติมน้ำเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 9.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 3 วัน ก่อนนำมากรองผ่านกระดาษกรองแยกส่วนใสใส่ขวดป้องกันแสง และเก็บในตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส [8]

3.3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

3.3.1. วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Color flex รุ่น Hunter Lab) ในระบบ CIE L^* , a^* , b^* โดยค่า L^* คือความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว) ค่า $+a^*$ หมายถึง ความเป็นสีแดง (redness), $-a^*$ หมายถึง ความเป็นสีเขียว (greenness) ค่า, $+b^*$ หมายถึงความเป็นสีเหลือง (yellowness), $-b^*$ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน (blueness)

3.3.2. วิเคราะห์ปริมาณความชื้น [9]

3.3.3. วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) [10] เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) (50-200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

3.3.4. วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารฟลาโวนอยด์ [11] (Total flavonoid content) เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานเคอควิทิน (Quercetin) (100-800 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

3.3.5. วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี ได้แก่

3.3.5.1. DPPH Radical scavenging activity รายงานผลเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox (150-900 ไมโครโมลาร์) [12]

3.3.5.2. ABTS radical cation decolorization (150-900 ไมโครโมลาร์) [13]

3.3.5.3. ความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP ; ferric reducing antioxidant power assay) (100-800 ไมโครโมลาร์) [14]

3.4. การทดสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

3.4.1. การตรวจสอบสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นด้วยเครื่อง water bath นาน 5 นาที เติมน้ำสารเฟอร์ริกคลอไรด์ (1% $FeCl_3$) จำนวน 5 หยด ถ้าปรากฏสารละลายเป็นสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำแสดงว่าพบสารในกลุ่มฟีนอลิก [15]

3.4.2. การตรวจสอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลาย 50% เอทานอล ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าและใส่ลาวดแมกนีเซียมชิ้นเล็ก 1 ชิ้น จึงหยดกรดไฮดรอลิกเข้มข้นเข้มข้นจำนวน 5 หยด เขย่าแล้วนำไปอุ่นด้วยเครื่อง water bath นาน 5 นาที ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มแสดงว่าพบฟลาโวนอยด์ [16]

- 3.4.3. การตรวจสอบสารแอนทราควิโนน (Anthraquinones) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย 10% H_2SO_4 ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าแล้วนำไปอุ่นด้วยเครื่อง water bath นาน 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็น จึงเติมน้ำละลายแอมโมเนียม (10% NH_3) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้วเขย่า ถ้าปรากฏสารเป็นสีชมพูแดงเกิดขึ้นแสดงว่าพบสารแอนทราควิโนน [16]
- 3.4.4. การตรวจสอบซาโปนิน (Saponins) ในการทดสอบการเกิดฟอง โดยดูดสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นด้วยเครื่อง water bath นาน 5 นาที เขย่าแรง ถ้าปรากฏฟองถาวรเกิดขึ้นในหลอดทดลองแสดงว่าพบซาโปนิน [8]
- 3.4.5. การตรวจสอบแทนนิน (Tannins) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นด้วยเครื่อง water bath นาน 5 นาที เติมน้ำละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (1% $FeCl_3$) จำนวน 5 หยด แล้วเขย่า ถ้าปรากฏสารละลายเป็นสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำแสดงว่าพบสารแทนนิน [16]
- 3.4.6. การตรวจสอบสเตอรอยด์ (Steroids) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ละลายสารด้วย ไตคลอโรมีเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร แล้วเขย่า ค่อยๆ เติมกรดกลacial acetic acid (glacial acetic acid) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) จำนวน 3 หยด ถ้าปรากฏสารละลายเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียวแสดงว่าพบสารสเตอรอยด์ [16]
- 3.4.7. การตรวจสอบสารคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ละลายด้วยไตคลอโรมีเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าแล้วเติมน้ำละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (1% $FeCl_3$) จำนวน 5 หยด เขย่าแล้วเติมกรดกลacial acetic acid (glacial acetic acid) จำนวน 5 หยด เขย่าและค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงไป ถ้าปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นสารสกัดกับกรดซัลฟิวริกแสดงว่าพบสารคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ [16]
- 3.4.8. การตรวจสอบเทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) โดยใช้สารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ละลายสารด้วยไตคลอโรมีเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงไป ถ้าปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริกแสดงว่าพบเทอร์พีนอยด์ [16]

3.5. การวางแผนการทดลอง

ผลการทดลองจะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design:

CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของดันแคน (Duncan's multiple range test) เพื่อทดสอบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของใบคะน้ำเม็กซีโกผง

ผลการศึกษาจากคุณสมบัติทางกายภาพของใบคะน้ำเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ การทำให้แห้งแบบถาด (tray drying) การทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (drum drying) และการทำให้แห้งแบบระเหิด (freeze drying) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ใบคะน้ำเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบถาด และแบบลูกกลิ้งคู่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p > 0.05$) ($L^* = 39.30$ และ 39.08 , $a^* = -4.03$ และ -4.21 , $b^* = 7.51$ และ 6.98 ตามลำดับ) ในขณะที่ใบคะน้ำเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำให้แห้งเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) สูงสุด ($L^* = 49.01$, $a^* = -9.78$ และ $b^* = 19.67$ ตามลำดับ) ซึ่งความแตกต่างของค่าสีของใบคะน้ำเม็กซีโกผงอาจได้รับผลกระทบจากความร้อนระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง เนื่องจากการทำให้แห้งแบบถาด และแบบลูกกลิ้งคู่ เป็นการทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง (55 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง และ 110 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ตามลำดับ) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่รายงานว่ากระบวนการทำให้แห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อสีและเนื้อสัมผัสของผัก เช่น หน่อไม้ฝรั่ง พริกเขียว พักทอง แอปเปิ้ล กล้วย แครอท และมันฝรั่ง เป็นต้น [17–19]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของใบคะน้ำเม็กซีโกผง

วิธีการทำแห้ง	วัดค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
เครื่องทำแห้งแบบถาด	39.30 ± 0.63^b	-4.03 ± 0.19^a	7.51 ± 0.38^b
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	39.08 ± 0.51^b	-4.21 ± 0.16^a	6.98 ± 0.13^b
เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	49.01 ± 1.34^a	-9.78 ± 0.76^b	19.67 ± 1.50^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a, b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของใบคะน้ำเม็กซีโกผง

วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันยังส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นของใบคะน้ำเม็กซีโกผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทางสถิติ โดยใบคะน้ำเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 4.07% ในขณะที่ใบคະນ້າเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องแบบ ถาดและแบบลูกกลิ้งคู่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.57 และ 8.97 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.2) เนื่องจากกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 วิธี (เครื่องทำแห้งแบบถาด, เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และ เครื่องทำแห้งแบบระเหิด) ใช้อุณหภูมิ เวลา และกระบวนการส่งผ่านความร้อนที่แตกต่างกัน จึงส่งผล ต่อปริมาณความชื้น [20] อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 วิธีมีความชื้นต่ำกว่า 10% ซึ่ง ปลอดภัยต่อการสูญเสียคุณภาพทางโภชนาการ และยังป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหาร เสื่อมเสีย [21]

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของใบคະນ້າเม็กซีโกผง

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (%)
เครื่องทำแห้งแบบถาด	6.57± 1.20 ^b
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	8.97± 1.04 ^a
เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	4.07± 0.11 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a, b, c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันใน แนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของใบคະນ້າเม็กซีโกผง พบว่า วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของใบคະນ້าเม็กซีโกผงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใบคະน້าเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด คือ 16.02 mg GAE/g และ 123.33 mg Quercetin/g ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่ใบคະน້า เม็กซีโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องแบบลูกกลิ้งคู่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์น้อยที่สุด คือ 13.17 mg GAE /g และ 88.83 mg Quercetin/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าวิธีทำแห้งที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลกระทบแค่สี และความชื้นของใบคະน້า เม็กซีโกผง (ตารางที่ 4.1 และ 4.2) แต่ยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมี โดยกระบวนการทำแห้ง ที่ใช้อุณหภูมิสูง อากาศ และแสง ล้วนส่งผลกระทบต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกและ สารประกอบฟลาโวนอยด์ [22–24] นอกจากนี้ความคงตัวของระหว่างกระบวนการทำแห้งยังขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลไม้ ขนาด รวมถึงการเตรียมตัวอย่างก่อนทำแห้ง เช่น คิวโนวีสีขาวมีความคงตัวต่ออุณหภูมิ ขณะทำแห้งมากกว่าคิวโนวีสีแดง และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการสูญเสีย สารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส [25] ใบฝรั่งที่ผ่านการทำ

แห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงกว่าใบฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส [26]

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของใบคะน้าเม็กซิโกผง

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE /g)	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (mg Quercetin /g)
เครื่องทำแห้งแบบถาด	14.56±0.72 ^b	108.00±12.33 ^b
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	13.17±0.78 ^c	88.83±12.43 ^c
เครื่องทำแห้งแบบประเห็ด	16.02±0.21 ^a	123.33±11.96 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a, b, c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลองด้วยวิธี DPPH, ABTS⁺ และ FRAP ของใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้ง พบว่า วิธีการทำแห้งที่ต่างกันส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคะน้าเม็กซิโกผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) แต่อย่างไรก็ตาม วิธีวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี ให้ผลการทดลองที่ต่าง

กัน สำหรับการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการวิเคราะห์ความสามารถในการจับกับโลหะ Fe^{2+} (FRAP) พบว่า ใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบประเห็ดมีคุณสมบัติในการจับกับโลหะ (Fe^{2+}) ได้ดีที่สุด 80.61 ± 0.53 mg Fe^{2+} /g และใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่จะมีคุณสมบัติในการจับกับโลหะ (Fe^{2+}) ได้ต่ำที่สุด 59.66 ± 0.22 mg Fe^{2+} /g ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ (ตารางที่ 4.3) ที่รายงานว่า การทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงสามารถทำลายสารประกอบฟีนอลิก และ ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในใบคะน้าเม็กซิโก ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าวส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [27]

อย่างไรก็ตาม การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH และ อนุมูล ABTS พบว่า ใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบประเห็ดมีค่าการการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด 16.65 ± 0.62 mg Trolox/g และ 20.30 ± 0.35^b mg

Trolox/g ตามลำดับ ในขณะที่ใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแดด และแบบลูกกลิ้งคู่กลับ มีค่าการต้านอนุมูล DPPH และ อนุมูล ABTS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) 17.80 ± 0.48 mg Trolox/g และ 23.02 ± 0.48 mg Trolox/g ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบแดด) และ 17.44 ± 0.61 mg Trolox /g และ 23.07 ± 0.65 mg Trolox/g ตามลำดับ (เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่) ผลของการทดลองที่ไม่สอดคล้องกันในการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง ด้วยวิธี DPPH, ABTS⁺ และ FRAP อาจเกิดจากการทดสอบแต่ละวิธีมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาด้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน การทดสอบการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เป็นการทดสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการดักจับอนุมูลอิสระ โดยให้ไฮโดรเจนอะตอม (DPPH) และการดักจับอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซี (ABTS) ในขณะที่การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP Assay คือการวิเคราะห์ความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นภายในระบบ โดยอาศัยการวัดปฏิกิริยารีดิวซ์เฟอริกของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการจับกับโลหะ (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระ [12–14] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [28] ที่ตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากสมุนไพรด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าสมุนไพรที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมเพื่อการดักจับอนุมูลอิสระ (DPPH) ได้ดีที่สุด คือ สารสกัดดอกกานพลู โศศพุงปลา และบัวเผื่อน ตามลำดับ สำหรับสมุนไพรที่มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซี (ABTS) ได้ดีที่สุด คือ สารสกัดโศศพุงปลา อบเชย และดอกกานพลู ตามลำดับ ในขณะที่สมุนไพรที่มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (FRAP) ได้ดีที่สุด คือ ดอกกานพลู โศศพุงปลา และอบเชย ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการทดสอบแต่ละวิธีอาจได้ผลการทดลองที่ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากแต่ละวิธีมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาด้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคะน้าเม็กซิโกผง

วิธีการทำแห้ง	DPPH assay	ABTS assay	FRAP assay
	Trolox (mg Trolox/g)	Trolox (mg Trolox/g)	FeSO ₄ ·7H ₂ O (mg Fe ²⁺ /g)
เครื่องทำแห้งแบบแดด	17.80 ± 0.48^a	23.02 ± 0.48^a	71.32 ± 0.31^b
เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	17.44 ± 0.61^a	23.07 ± 0.65^a	59.66 ± 0.22^c
เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	16.65 ± 0.62^b	20.30 ± 0.35^b	80.61 ± 0.53^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a, b, c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของใบคะน้าเม็กซิโกผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย การทำแห้งแบบถาด (tray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (drum drying) และการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) พบว่า วิธีทำแห้งที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อสารพฤกษเคมีของสารสกัดจากใบคะน้าเม็กซิโกผง (ตารางที่ 4.5) โดยสารสกัดจากใบคะน้าเม็กซิโกที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน จะประกอบด้วยสารพฤกษเคมี 6 ชนิด คือ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แทนนิน สเตอรอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ และเทอร์พีนอยด์ แต่ตรวจไม่พบแอนทราควิโนน และซาโปนิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [5] ที่รายงานว่าสารสกัดหยาบใบคะน้าเม็กซิโกทั้งแบบสดและแบบแห้งตรวจพบเพียงสารพฤกษเคมี 7 กลุ่ม คือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน โพลบาแทนนิน เทอร์พีนอยด์สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ แต่ตรวจไม่พบ แอลคาลอยด์ แอนทราควิโนน และซาโปนิน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสารพฤกษเคมีของสารสกัดจากใบคะน้าเม็กซิโกผง

สารพฤกษเคมี	เครื่องทำแห้งแบบถาด	เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด
ฟีนอลิก	+	+	+
ฟลาโวนอยด์	+	+	+
แอนทราควิโนน	-	-	-
ซาโปนิน	-	-	-
แทนนิน	+	+	+
สเตอรอยด์	+	+	+
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	+	+	+
เทอร์พีนอยด์	+	+	+

หมายเหตุ: - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

5. สรุปผล

จากการศึกษาผลของวิธีที่ใช้ในการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของใบคะน้าเม็กซิโกผง พบว่า การทำแห้งแบบถาด และแบบลูกกลิ้งคู่ทำให้ใบคะน้าเม็กซิโกผงเกิดสีคล้ำ และยังส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของใบคะน้าเม็กซิโกผง ในขณะที่การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดสามารถลดความชื้นได้ต่ำสุด และยังคงสีเขียวของใบคะน้าเม็กซิโกผงไว้ได้ นอกจากนี้ใบ

คะนำเม็กซีโกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงสุด ดังนั้น การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการทำแห้งใบคะนำเม็กซีโกผง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านอาคารสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. Jiménez-Arellanes MA, García-Martínez I, Rojas-Tomé S. Potencial biológico de especies medicinales del género *Cnidoscolus* (Euphorbiaceae). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* [Internet]. 2014;45(4):1–6. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57940028003>
2. Padilla-Camberos E, Torres-Gonzalez OR, Sanchez-Hernandez IM, Diaz-Martinez NE, Hernandez-Perez OR, Flores-Fernandez JM. Anti-Inflammatory Activity of *Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) Ethyl Acetate Extract on Croton Oil-Induced Mouse Ear Edema. *Applied Sciences* [Internet]. 2021;11(20). Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/20/9697>
3. Quintal Martínez JP, Segura Campos MR. *Cnidoscolus Aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.: A Food Proposal Against Thromboembolic Diseases. *Food Reviews International* [Internet]. 2021 Jun 10;1–34. Available from: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934002>
4. Bautista-Robles V, Reyes G, Sánchez-Torres G, Parada-Luna J, Barrios-Gutiérrez J, Vázquez-Cerero D, et al. *Cnidoscolus aconitifolius*: therapeutic use and phytochemical properties. Literature review *Cnidoscolus aconitifolius*: usos terapéuticos y propiedades fitoquímicas. Revisión de la literatura. *Rev Fac Med Univ Nac Colomb*. 2020 Oct 1;68:446–52.
5. Buachoon N. Phytochemical Screening Antioxidant Activities α -Amylase and α -Glucosidase Inhibitory Activities of *Cnidoscolus aconitifolius* Extracts. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. 2020;15(1):118–32.

6. Wiriawattana P, Suwonsichon S, Suwonsichon T. Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour. *Agriculture and Natural Resources*. 2018;52(5):445–50.
7. Ratti C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *J Food Eng*. 2001;49(4):311–9.
8. Ayoola GA, Coker HA, Adesegun SA, Adepoju-Bello AA, Obaweya K, Ezennia EC, et al. Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in Southwestern Nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 2008;7(3):1019–24.
9. AOAC. Official method 925.10: Solids (total) and moisture in foodstuffs (air oven method). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. 2000;
10. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic*. 1965;16(3):144–58.
11. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem*. 1999;64(4):555–9.
12. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*. 1995;28(1):25–30.
13. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*. 1999;26(9–10):1231–7.
14. Benzie IFF, Strain JJ. [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. In: *Methods in enzymology*. Elsevier; 1999. p. 15–27.
15. Seekhaw P, Chuaboonmee R, Surayot P, Chadpan S, Thurnkul N. Evaluation of Phytochemical Screening, Antioxidant and Antimicrobial Activities from Ethanolic Extracts of the *Flacourtia indica* (Burm.f.) Merr. Fruits. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*. 2020;19(1):124–36.

16. Boonnaum P, Kabae N, Hayeemasalaeh R, Marde W, Suwannarat P, Noipha K. Phytochemical Study, Total Phenolic, and Antioxidant Activity of Boesenbergia Pandurata Holtt Extract for Development of Paper Hand Soap. *Research and Development Health System Journal*. 2021;14(3):152–65.
17. Krokida MK, Tsami E, Maroulis ZB. KINETICS ON COLOR CHANGES DURING DRYING OF SOME FRUITS AND VEGETABLES. *Drying Technology* [Internet]. 1998 Jan 1;16(3–5):667–85. Available from: <https://doi.org/10.1080/07373939808917429>
18. Jokic S, Mujic I, Martinov M, Velić D, Bilic M, Lukinac J. Influence of Drying Procedure on Colour and Rehydration Characteristic of Wild Asparagus. *Czech Journal of Food Sciences*. 2009 Jan 1;27:171–7.
19. Guiné R, Barroca M. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing - FOOD BIOPROD PROCESS*. 2012 Jan 31;90.
20. Seremet (Ceclu) L, Botez E, Nistor OV, Andronoiu DG, Mocanu GD. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chem* [Internet]. 2016;195:104–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615005063>
21. Afolabi I. Moisture Migration and Bulk Nutrients Interaction in a Drying Food Systems: A Review. *Food Nutr Sci*. 2014 Jan 1;5:692–714.
22. Rababah T, Aludatt M, Alhamad M, Al-Mahasneh M, Ereifej K, Andrade J, et al. Effects of drying process on total phenolics, antioxidant activity and flavonoid contents of common mediterranean herbs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2015 Jan 1;8:145–50.
23. Gao Y, Xia W, Shao P, Wu W, Chen H, Fang X, et al. Impact of thermal processing on dietary flavonoids. *Curr Opin Food Sci* [Internet]. 2022;48:1–10. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799322001175>
24. Snoussi A, Essaidi I, ben Haj Koubaier H, Zrelli H, Alsafari I, Živoslav T, et al. Drying methodology effect on the phenolic content, antioxidant activity of *Myrtus communis* L. leaves ethanol extracts and soybean oil oxidative stability. *BMC Chem* [Internet]. 2021;15(1):1–11. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00753-2>

25. Złotek U, Gawlik-Dziki U, Dziki D, Świeca M, Nowak R, Martinez E. Influence of Drying Temperature on Phenolic Acids Composition and Antioxidant Activity of Sprouts and Leaves of White and Red Quinoa. Barreca D, editor. *J Chem* [Internet]. 2019;4:1–8. Available from: <https://doi.org/10.1155/2019/7125169>
26. Nguyen QV, Huyen B, Thi B, Tran MĐ, Nguyen MT, Doan MD, et al. Impact of Different Drying Temperatures on In Vitro Antioxidant and Antidiabetic Activities and Phenolic Compounds of Wild Guava Leaves Collected in the Central Highland of Vietnam. *Nat Prod Commun* [Internet]. 2022 Apr 1;17(4):1–10. Available from: <https://doi.org/10.1177/1934578X221095349>
27. Alide T, Wangila P, Kiprop A. Effect of cooking temperature and time on total phenolic content, total flavonoid content and total in vitro antioxidant activity of garlic. *BMC Res Notes* [Internet]. 2020;13(1):564. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05404-8>
28. Manok S, Limcharoen P. Investigating Antioxidant Activity by DPPH, ABTS and FRAP Assay and Total Phenolic Compounds of Herbal Extracts in Ya-Hom Thepphachit. *Advanced Science*. 2015;15:106–17.