

ผลของสารละลายเกลือร่วมกับการลวกต่อการรักษาสีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผำอบแห้ง
Effect of Salt Solution Combined with Blanching on Color Retention and
Antioxidant Activity in Dried Wolffia (*Wolffia arrhiza*)

พีรรัตน์ ดวงดีป^{1*}, ปภากร ศรีสอน¹, กานต์วี อ้นสกุล¹

Peerarat Doungtip^{1*}, Paphakorn Srisorn¹, and Kanrawee Hunsakul¹

Received: December 31, 2024

Revised: April 30, 2025

Accepted: May 13, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายเกลือร่วมกับการลวกต่อการคงตัวของสีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผำที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน ด้วยการใช้สารละลายเกลือ 4 ชนิด คือ NaCl ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/v), MgSO₄ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v), CaCl₂ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) และ ZnSO₄ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) มาทำการปรับสภาพผำสดด้วยการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที ก่อนนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ผำอบแห้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวกกับสารละลายเกลือมีคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าสี ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณคลอโรฟิลล์ ของตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับผำอบแห้งแบบดั้งเดิม การลวกด้วยสารละลายเกลือ MgSO₄ เพื่อปรับสภาพผำก่อนอบสามารถรักษาคูณสมบัติของผำ ทั้งด้านสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และมีฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยผำอบแห้งที่ผ่านการปรับสภาพจากสารละลายเกลือ MgSO₄ มีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 37.11, -3.21 และ 22.09 ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเท่ากับ 627.63 mg/100g DW ฤทธิ์จากสารต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ 11.64 และ 22.55 mmol Trolox eq/kg ตามลำดับ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 454.26 mg GAE/100 g

คำสำคัญ: ผำ สารละลายเกลือ การลวก การรักษาสี สารต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of salt solution combined with blanching on color retention and antioxidant activity in dried Wolffia using a hot air dryer. Four types of salt solutions were used such as NaCl 1% (w/v), MgSO₄ 0.1% (w/v), CaCl₂ 0.1% (w/v) and ZnSO₄ 0.1% (w/v). The Wolffia was pre-treated with blanching (80°C, 3 min) in the different salt solutions before drying in a hot air oven at 60°C for 8 hrs. The results showed that physical properties, color values, total phenolic content, antioxidant activity, and chlorophyll content of pre-treated dried Wolffia were significantly different ($p < 0.05$), compared with the conventional method. Among all treatments, the use of MgSO₄ salt could retain the Wolffia color, chlorophyll content, and present a high antioxidant activity. The L*, a* and b* values of Wolffia that pre-treated with MgSO₄ salt were 37.11, -3.21 and 22.09, respectively. The total chlorophyll was 627.63 mg/100g DW. The amount of antioxidants from DPPH and FRAP method were 11.64 and 22.55 mmol Trolox eq/kg, respectively and total phenolic content was 454.26 mg GAE/100 g.

Keyword: Wolffia, salt solution, blanching, color retention, antioxidant

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

บทนำ

ฝำ หรือมีอีกชื่อหนึ่งว่าไข่น้ำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Wolffia arrhiza* เป็นพืชขนาดเล็ก ไม่มีดอก ไม่มีราก ฝำมีรูปร่างเป็นทรงรี มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ลอยเป็นแพอยู่บนบริเวณผิวน้ำ พบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใสนิ่ง ฝำจะเติบโตภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ แร่ธาตุ และสารอาหารอุดมสมบูรณ์ มีแสงส่องถึง และมีอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสม โดยฝำมักพบในแถบภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย [1] ฝำ มีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย โดยมีสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และใยอาหาร [2] อุดมไปด้วยแร่ธาตุต่าง ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง [3] มีกรดอะมิโนต่างๆ โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ ฮิสทีดิน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ไลซีน เมไทโอนีน ทรีโอนีน ฟีนิลอะลานีน ทรีปโตเฟน และวาลีน [4] นอกจากนี้เมื่อนำฝำมาวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นๆ พบว่าฝำมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวัตถุดิบอื่นๆ [5] ฝำจึงจัดเป็นวัตถุดิบพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย เหมาะแก่การนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ปัจจุบันเริ่มมีเกษตรกรที่สนใจหันมาเพาะเลี้ยงและแปรรูปฝำเพื่อการบริโภคเป็นจำนวนมากขึ้น เนื่องจากฝำเป็นพืชน้ำที่ไ้ใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสั้น สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว มีการขยายพันธุ์ได้ตามธรรมชาติอย่างรวดเร็วทำให้ได้ผลผลิตจำนวนมาก และต้นทุนการผลิตต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีมากมาย แต่การเพาะเลี้ยงและการบริโภคฝำยังไม่เป็นที่กว้างขวางมากนัก เพราะยังมีปัจจัยหลายด้านที่ทำให้การบริโภคฝำค่อนข้างจำกัด ได้แก่ ข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาผลผลิต และการควบคุมคุณภาพของผลผลิต โดยวิธีการแปรรูปฝำที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ การอบแห้ง [6] อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบดั้งเดิมส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝำ โดยเฉพาะสีของผลิตภัณฑ์ และปริมาณสารอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย หนึ่งในวิธีการที่นิยมใช้ในการรักษาสี โดยเฉพาะสีเขียวของวัตถุดิบ คือ การใช้ความร้อนในการยับยั้งเอนไซม์ polyphenol peroxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในวัตถุดิบผักและผลไม้ กับการใช้สารละลายเกลือเพื่อทดแทนประจุโลหะในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ที่สามารถสูญเสียจากการใช้ความร้อน [7, 8] จากข้อมูลดังกล่าวจึงทำให้มีความสนใจที่จะนำสารละลายเกลือมาทำการปรับสภาพฝำสดก่อนการอบแห้ง ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของสี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในฝำอบแห้งหลังผ่านการปรับสภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากฝำต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมฝำและการศึกษาสมบัติของฝำอบแห้ง

นำฝำสดจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต้นกล้าบนดิน ต.หนองอิรุณ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี มาทำการล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (HB-24A, Thailand) เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง [9] ตัวอย่างหลังจากผ่านการทำแห้งจะถูกจัดเก็บในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี AOAC [10] วิเคราะห์ค่าสีวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Konica Minolta, CM-3500d, Japan) วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ วิเคราะห์จำนวนตัวอย่าง 3 ซ้ำ

2. การศึกษาผลของสารละลายเกลือต่อคุณสมบัติของฝำอบแห้ง

นำตัวอย่างฝำสด ล้างทำความสะอาด และทำการศึกษา 5 สิ่งทดลอง คือ 1) การลวกด้วยน้ำเปล่า 2) การลวกด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/v) 3) การลวกด้วยสารละลายเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) 4) การลวกด้วยสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) และ 5) การลวกด้วยสารละลายเกลือซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (w/v) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที [8] จากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ตัวอย่างหลังจากผ่านการทำให้แห้งจะนำไปวิเคราะห์ความชื้น ค่าสี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อไป โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ผัสดิบที่ไม่ได้ผ่านการลวก)

3. การวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ดัดแปลงจากวิธีการของ Aryal et al. (2019) [11] ทำการสกัดตัวอย่างผัสดิบแห้ง 1 กรัม ด้วยเมทานอล (Methanol) ความเข้มข้นร้อยละ 99.9 ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยความเร็วรอบ 150 rpm นาน 1 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman™ เบอร์ 4 นำส่วนใสเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการวิเคราะห์

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Follin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีการศึกษาของ Aryal et al. (2019) [11] ผสมสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 60 ไมโครลิตร กับ Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5 นาที เติมนโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ในปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมและนำไปบ่มใน Water bath อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

คำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) และรายงานผลที่ได้ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก ต่อตัวอย่าง 100 กรัม (mg Gallic acid equivalent/100 g) วิเคราะห์จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

ปรับปรุงวิธีจากการศึกษาของ Aryal et al. (2019) [11] ผสมสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร กับ 0.1 mM DPPH ในเมทานอล ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง เทียบกับสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) และรายงานผลที่ได้ในรูปของมิลลิโมลสมมูลของโทรลอกซ์ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม (mmol Trolox equivalent/kg) วิเคราะห์จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Ferric reducing-antioxidant power (FRAP) assay

ดัดแปลงจากวิธีของ Aryal et al. (2019) [11] เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสมสารละลาย 20 mM ferric chloride กับสารละลาย 10 mM TPTZ (ferric tripyridyl triazine) ใน 40 mM HCl และสารละลาย 300 mM acetate buffer pH 3.6 ในอัตราส่วน 1:1:10 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ ผสมสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร เข้ากับสารละลาย FRAP reagent ที่เตรียมไว้ปริมาตร 2.85 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง เทียบกับสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) และรายงานผลที่ได้ในรูปของมิลลิโมลสมมูลของโทรลอกซ์ ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม (mmol Trolox equivalent/kg) วิเคราะห์จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

4. การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ (Total chlorophyll content)

ดัดแปลงจากวิธีของ Arnon (1949) [12] ซึ่งตัวอย่างผ่าอบแห้งโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ปริมาณ 0.05 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกรับน้ำหนักที่แน่นอน แล้วเติมอะซิโตน (acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปแช่ในที่อุณหภูมิต่ำที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ONILAB, SP-V1100, USA) โดยใช้ acetone ความเข้มข้นร้อยละ 80 เป็น blank วิเคราะห์จำนวนตัวอย่างละ 5 ซ้ำ แล้วคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์จากสมการดังนี้

$$\text{Chlorophyll a (mg/100g DW)} \\ = (12.7D_{663} - 2.69D_{645})(V \times 100)/(1000 \times W)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/100g DW)} \\ = (22.9D_{645} - 4.68D_{663})(V \times 100)/(1000 \times W)$$

$$\text{Total chlorophyll (mg/100g DW)} \\ = (20.2D_{645} + 8.02D_{663})(V \times 100)/(1000 \times W)$$

เมื่อ D คือ ค่า optical density ที่วัดได้แต่ละความยาวคลื่น

V คือ ปริมาตรของ acetone 80% ที่มีคลอโรฟิลล์ละลายอยู่ (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างผ่าอบแห้งที่นำมาสกัดคลอโรฟิลล์ (กรัม)

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นำผลข้อมูลการทดลองทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA)

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan multiple range test คำนวณด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 27 (IBM, USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาสมบัติของผ่าอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผ่าอบแห้ง แสดงดัง Table 1 โดยผ่าอบแห้ง มีปริมาณความชื้น ร้อยละ 9.25 มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 36.58, -3.83 และ 23.28 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตัวอย่างผ่าอบแห้ง มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 23.25 ไขมัน ร้อยละ 3.94 เกลือ ร้อยละ 16.26 โยอาหาร ร้อยละ 12.11 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 35.19 และพบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ร้อยละ 476.55 mg GAE/100 g มีค่าสารต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ 11.57 และ 21.90 mmol Trolox eq/kg ตามลำดับ และผ่าอบแห้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 686.58 mg/100g DW ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยที่รายงาน ว่า ผ่า มีโปรตีน อยู่ระหว่างร้อยละ 20–50 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10–40 ไขมัน ร้อยละ 1–7 และ โยอาหาร ประมาณ ร้อยละ 25 [2, 4, 13] และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เมื่อเทียบกับผักชนิดอื่น เช่น มะระ ขาวสาเลี ขาวโพด ถั่วเหลือง เป็นต้น [5, 14, 15] ผ่าจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Table 1 Proximate composition, color values, TPC, antioxidant activities and chlorophyll content of dried Wolffia

Parameters	Dried Wolffia
Moisture (%)	9.25±0.09
Protein (%)	23.25±0.20
Fat (%)	3.94±0.03
Ash (%)	16.26±0.17
Crude fiber (%)	12.11±0.29
Carbohydrate (%)	35.19
Color values	
- L*	36.58±0.03
- a*	-3.83±0.03
- b*	23.28±0.04
Total phenolic content (mg GAE/100 g)	476.55 ± 23.07
Antioxidant activity	
DPPH (mmol Trolox eq/kg)	11.57 ± 0.47
FRAP (mmol Trolox eq/kg)	21.90 ± 1.20
Chlorophyll a (mg/100g DW)	482.26±5.16
Chlorophyll b (mg/100g DW)	204.49±1.57
Total chlorophyll (mg/100g DW)	686.58±6.12

Data are shown as average ± standard deviation

2. การศึกษาผลของสารละลายเกลือต่อคุณสมบัติของฝัอบแห้ง

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่าสีของฝัอบแห้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการลวกและสารละลายเกลือ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการลวกหรือปรับสภาพ แสดงดัง Table 2 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้น และค่าสี L*, a* และ b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ มีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม สารละลายประเภทเกลือสามารถลดปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ที่อยู่ในอาหารได้ เนื่องจากประจุของสารละลายเกลือสามารถจับตัวกับโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหารผ่านกระบวนการออสโมซิส [16] ในทางตรงกันข้ามตัวอย่าง

ที่ปรับสภาพด้วยสารละลาย $ZnSO_4$ มีปริมาณความชื้นสูงสุด แสดงว่ายังมีน้ำหลงเหลืออยู่ในตัวอย่างสอดคล้องกับผลการทดลองของ Carsky et al. (2014) [17] และ Rehman et al. (2020) [18] ในการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งตัวอย่างที่ใช้เกลือ $ZnSO_4$ ในช่วง 20-200 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำในตัวอย่างเริ่มเกิดการสูญเสียความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 85 องศาเซลเซียส ที่จะทำให้ความชื้นในตัวอย่างสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นในตัวอย่างหลงเหลือสูงกว่าในสารละลายเกลือตัวอย่างอื่นๆ

ค่าสีของทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยตัวอย่างที่ผ่านการลวกด้วยน้ำหรือปรับสภาพด้วยสารละลายเกลือมีค่า L* ที่แสดงถึงค่าความ

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

สว่างอยู่ในช่วง 35.31-37.57 ส่วนค่า b^* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง-น้ำเงินอยู่ในช่วง 18.99-22.82 ในขณะที่ค่า a^* ที่แสดงถึงความเป็นสีแดง-เขียว มีค่าติดลบทั้งหมด ยิ่งค่า a^* ติดลบมาก แสดงว่าตัวอย่างมีความเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างผ้าที่ปรับสภาพด้วยการลวกกับสารละลาย $MgSO_4$ และ $ZnSO_4$ มีค่าความเป็นสีเขียวมากที่สุด สอดคล้องกับการรายงานของ Leksopet et al. (2020) [19] ที่การใช้ความร้อนร่วมกับสารละลายแมกนีเซียม สามารถรักษาสีเขียวของใบไม้ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน และจากการรายงานของ Hu et al. (2022) [20] ได้ทำการแทนที่ Zn^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์โดยใช้เทคนิคความดันสูง

พบว่าการใช้สารละลาย Zinc ที่ระดับความเข้มข้น 4-10 mg/100 ml ร่วมกับความดัน 0.1-500 MPa ทำให้ค่า $-a^*$ ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลาย Zinc โดยที่โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไม่ได้รับความเสียหาย และยังสามารถลดอัตราการปลดปล่อยของสารสีเขียว ในสภาวะที่เป็นกรด (pH = 5.5) ได้ถึง 12 ชั่วโมง นอกจากนี้การใช้ทั้งความร้อนร่วมกับสารละลายเกลือ สามารถทำลายเอนไซม์พอลิฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ [7, 21]

Table 2 Moisture content and color values of dried Wolffia with different treatments

Treatment	Moisture (%)	Color values		
		L^*	a^*	b^*
Control	9.25±0.09 ^b	36.58± 0.03 ^d	-3.83± 0.03 ^e	23.28± 0.04 ^a
Blanched	7.69±0.07 ^c	37.57± 0.01 ^a	-2.37± 0.02 ^b	22.16 ± 0.03 ^c
NaCl	7.61±0.01 ^c	35.50 ± 0.03 ^e	-2.50 ± 0.03 ^c	19.95 ± 0.04 ^e
$MgSO_4$	7.23±0.04 ^d	37.11 ± 0.01 ^b	-3.21 ± 0.02 ^d	22.09 ± 0.02 ^d
$CaCl_2$	7.27±0.08 ^d	35.31 ± 0.01 ^f	-1.80 ± 0.02 ^a	18.99 ± 0.02 ^f
$ZnSO_4$	10.62±0.08 ^a	37.00 ± 0.03 ^c	-3.24 ± 0.01 ^d	22.82 ± 0.02 ^b

Data are shown as average ± standard deviation

^{a-b} Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 3 แสดงผลการวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH กับ FRAP ของตัวอย่างผ้าอบแห้ง จากการวิเคราะห์พบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างผ้าที่ทำการปรับสภาพด้วยสารละลาย $ZnSO_4$ ก่อนการอบแห้ง มีปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ถัดลงมาคือตัวอย่างที่ถูกปรับสภาพด้วยสารละลาย $MgSO_4$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaur et al. (2017) [22] พบว่า เมล็ดผักกาดที่ปลูกในสารละลาย $ZnSO_4$ มีปริมาณฟีนอลิกและสาร

ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมล็ดผักกาดที่ปลูกในสารละลาย $MgSO_4$ อย่างไรก็ดี หากใช้สารละลาย $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 mg/ml กลับส่งผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระในพืชลดลงและไม่เหมาะสมต่อการนำไปบริโภค [23] ในขณะนี้อุตสาหกรรมอาหารและยา ส่วนใหญ่นิยมใช้ $MgSO_4$ เป็นสารออกฤทธิ์เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีความเป็นพิษน้อยกว่าและร่างกายสามารถกำจัดออกได้ตามธรรมชาติ [24, 25, 26]

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Table 3 Total phenolic content and antioxidant activity of dried *Wolffia* with different treatments

Treatment	Total phenolic content (mg GAE/100 g)	Antioxidant activity	
		DPPH (mmol Trolox eq/kg)	FRAP (mmol Trolox eq/kg)
Control	476.55 ± 23.07 ^b	11.57 ± 0.47 ^b	21.90 ± 1.20 ^b
Blanched	421.13 ± 12.65 ^c	11.52 ± 0.88 ^b	19.09 ± 0.17 ^c
NaCl	317.76 ± 23.57 ^d	8.22 ± 0.65 ^c	16.98 ± 1.85 ^d
MgSO ₄	454.26 ± 25.31 ^{bc}	11.64 ± 0.37 ^b	22.55 ± 0.43 ^b
CaCl ₂	318.95 ± 21.92 ^d	7.82 ± 0.47 ^c	14.18 ± 0.54 ^e
ZnSO ₄	573.29 ± 37.60 ^a	17.47 ± 0.72 ^a	34.15 ± 1.39 ^a

Data are shown as average ± standard deviation

^{a-b} Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ของทุกตัวอย่างการทดลองแสดงดัง Table 4 จากตาราง พบว่าตัวอย่างมีปริมาณคลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลาย MgSO₄ ก่อนอบแห้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง และใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด โดยมีค่าคลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 447.89, 179.90 และ 627.63 mg/100g DW ตามลำดับ คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหรือสารที่ทำให้เกิดสีเขียวในผักที่สามารถถูกทำลายได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผักจากสีเขียวกลายเป็นสีเหลือง สีแดงหรือสีน้ำตาล เนื่องจากโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ถูกทำลาย การปรับสภาพผัสด้วยสารละลาย MgSO₄ สามารถรักษาโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ได้ เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวนพอร์ไฟริน (porphyrin ring) ที่ประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole) 4 วง เรียงติดกัน โดยมีอะตอม Mg²⁺ อยู่ตรงกลางของโครงสร้าง ซึ่งอะตอม Mg²⁺ สามารถหลุดออกจากโครงสร้างได้เมื่อได้รับความร้อน การปรับสภาพผัสด้วยสารละลาย MgSO₄ ก่อนการอบแห้ง จะ

ช่วยทดแทนอะตอม Mg²⁺ ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ที่หลุดออกไปได้ [27, 28] เมื่ออ้างอิงจากงานวิจัยของ Al-Dabbas et al. (2016) [8] ที่ศึกษาผลของการปรับสภาพพริกสีเขียวด้วยวิธีการลวกร่วมกับการใช้สารละลายเกลือต่อคุณภาพของพริกในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน พบว่าในวันแรกของการเก็บตัวอย่าง ค่าทางเคมีของตัวอย่างควบคุมไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้สารละลายเกลือปรับสภาพ แต่ในช่วงระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีอัตราการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเร็วกว่าตัวอย่างที่ปรับสภาพด้วยสารละลายเกลือ และตรวจไม่พบสารคลอโรฟิลล์ตั้งแต่วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่พริกเขียวที่ทำการปรับสภาพด้วยสารละลายเกลือร่วมกับการลวก สามารถคงคุณภาพได้ถึง 30 วัน แสดงว่าการใช้วิธีการลวกร่วมกับการใช้สารละลายเกลือสามารถรักษาคูณสมบัติที่สำคัญของวัตถุดิบ โดยเฉพาะปริมาณรงควัตถุสีเขียวในพืชผักระหว่างการเก็บรักษาได้จากผลการวิจัยดังกล่าวจะนำมาทำวิจัยต่อเนื่องเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผัสด้วยการปรับสภาพด้วยสารละลาย MgSO₄ ก่อนอบแห้งกับตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Table 4 Total chlorophyll content of dried *Wolffia* with different treatments

Treatment	Chlorophyll a (mg/100g DW)	Chlorophyll b (mg/100g DW)	Total chlorophyll (mg/100g DW)
Control	482.26±5.16 ^a	204.49±1.57 ^a	686.58±6.12 ^a
Blanched	391.33±3.31 ^d	144.08±4.89 ^d	535.27±7.07 ^e
NaCl	353.56±10.56 ^e	144.45±2.70 ^d	497.89±12.64 ^f
MgSO ₄	447.89±7.24 ^b	179.90±6.60 ^b	627.63±12.94 ^b
CaCl ₂	437.09±1.84 ^c	176.26±2.23 ^{bc}	613.20±1.75 ^c
ZnSO ₄	381.70±17.03 ^d	172.84±2.04 ^c	554.40±19.00 ^d

Data are shown as average ± standard deviation

^{a-b} Means within the same column with different letters are significantly different (p≤0.05)

สรุปผล

การใช้เทคนิคการลวกร่วมกับการใช้สารละลายเกลือ มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าสี ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผัสดองแห้ง โดยการลวกด้วยสารละลายเกลือ MgSO₄ เพื่อปรับสภาพผัสดองแห้ง สามารถรักษาคุณสมบัติของผัสดองแห้งทั้งด้านสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และมีฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระที่ดีเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ผัสดองแห้งที่ได้มีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 37.11, -3.21 และ 22.09 ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 454.26 mg GAE/100 g ฤทธิ์จากสารต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH และ FRAP เท่ากับ 11.64 และ 22.55 mmol Trolox eq/kg ตามลำดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเท่ากับ 627.63 mg/100g DW ตัวอย่างผัสดองแห้งหลังผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลาย MgSO₄ จึงเหมาะสมต่อการนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากผัสดองไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ผ่านทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เลขที่ FRB670098/0167

เอกสารอ้างอิง

- [1] Suppadit, T., Jaturasitha, S., Sunthon, N. and Pongsuk, P. (2012). Dietary *Wolffia arrhiza* meal as a substitute for soybean meal: its effects on the productive performance and egg quality of laying Japanese quails. *Tropical Animal Health and Production*. 44(7): 1479-1486. doi:10.1007/s11250-012-0091-7.
- [2] Appenroth, K., Sowjanya Sree, K., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Bohm, V., Lorkowski, S., Sommer, K., Vetter, W., Tolzin-Banasch, K., Kirmse, R., Leiterer, M., Dawczynski, C., Liebisch, G. and Jahreis, G. (2018). Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lamnaceae) as human food. *Frontiers in Chemistry*. 6: 483. doi:10.3389/fchem.2018.00483.
- [3] Sirirustananun, N. (2018). Appropriate Proportion of Water Meal (*Wolffia arrhiza* (L.)) and Commercial Diet in Combined Feeding for Tilapia Fingerlings Rearing. *International Journal of Agricultural Technology*. 14(2): 249-258.

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

- [4] Ruekaewma, N., Piyatiratitvorakul, S. and Powtongsook, S. (2015). Culture system for *Wolffia globosa* L. (Lemnaceae) for hygiene human food. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 37: 575-580.
- [5] Hu, Z., Fang, Y., Yi, Z., Tian, X., Li, J., Jin, Y., He, K., Liu, P., Du, A., Huang, Y. and Zhao, H. (2022). Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions. LWT – Food Science and Technology. 153: 112477. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112477.
- [6] Keeratiyadathanapat, N. and Toomthong, P. (2016). Drying *Wolffia* using fluidized bed technique. Koch Cha Sarn Journal of Science. 38(2): 12-21. (in Thai).
- [7] Thongkham, P. (2019). Effect of temperature on antioxidant activity in dried Water meal ((*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and application in food products. Master's thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani.
- [8] Al-Dabbas, M., Saleh, M., Hamad, H. and Hamadeh, H. (2016). Chlorophyll color retention in green pepper preserved in natural lemon juice. Journal of Food Processing and Preservation. 41: e13055. doi:10.1111/jfpp.13055.
- [9] Khemthong, S., Yuthachit, P., Oonmettaaree, J., Yamthonglang, L., Mungphuklang, K. and Toboonsung, B. (2021). Effects of Watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) powder supplement to the quality of fresh noodles. The Journal of Applied Science. 20(2): 183-200. (in Thai).
- [10] AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC international (18th ed.). Gaithersburg, AOAC International. Maryland, USA.
- [11] Aryal, S., Baniya, M.K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R. and Koirala, N. (2019). Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. Plants. 8(4): 96. doi:10.3390/plants8040096.
- [12] Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24(1): 1-15.
- [13] Puttame, K. and Ninlanon, W. (2020). Product development of dried alkaline noodle supplemented with Water meal. (Research Report). Chanthaburi: Rambai Barni Rajabhat University.
- [14] Tan, S. P., Parks, S. E., Stathopoulos, C. E. and Roach, P. D. (2014). Greenhouse-grown bitter melon: Production and quality characteristics. Journal of the Science of Food and Agriculture. 94(9): 1896–1903. doi:10.1002/jsfa.6509.
- [15] Gougoulas, N. (2015). Study on polyphenols content and antioxidative properties of whole grain flours from some cereal and leguminous crops. Oxidation Communications. 38(1): 46–54.
- [16] Indiarto, R., Jeanette, G., Zdikri, H.M., Yusra, N.A. and Subroto, E. (2021). A mini-review of salting techniques to improve food quality. International Journal of Scientific and Technology Research. 10(1): 285-289.

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

- [17] Carsky, M., Vesely, V., Hartman, M. and Haluza, J. (2014). Dehydration of zinc sulfate in a fluidised bed drier. *South African Journal of Chemical Engineering*. 19(3): 1-8.
- [18] Rehman, A.U., Khan, M., Maosheng, Z., Khan, A.R. and Hayat, A. (2020). Thermochemical heat storage ability of $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ as potential long-term heat storage material. *International Journal of Energy Research*. 45(3): 4746. doi:10.1002/er.6077.
- [19] Leksoppee, P., Leksungneon, N. and Sungkeaw, S. (2020). Green color retention of some bamboo leaves. *Thai Journal of Science and Technology*. 9(4): 436-446. doi:10.14456/tjst.2020.47. (in Thai).
- [20] Hu, Y., Sun, H. and Mu, T. (2022). Effects of different Zn^{2+} concentrations and high hydrostatic pressures (HHP) on chlorophyll stability. *Foods*. 11(14): 2129. doi:10.3390/foods11142129.
- [21] Sicari, V., Loizzo, M.R., Silva, A.S., Romeo, R., Spampinato, G., Tundis, R., Leporini, M. and Musarella, C.M. (2021). The Effect of blanching on phytochemical content and bioactivity of *Hypochaeris* and *Hyoseris* species (Asteraceae), Vegetables Traditionally Used in Southern Italy. *Foods*. 10(1): 1-13. doi:10.3390/foods10010032.
- [22] Kaur, A., Kaur, G. and Kaur, A. (2017). Heavy metal induced toxic effect on growth and biochemical activities of turnip (*Brassica Rapa*) seedlings. *Bioscience Discovery*. 8(3): 382-387.
- [23] Harakotr, B. and Rithichai, P. (2020). Effects of ZnSO_4 on growth and antioxidants in rat-tailed radish, dill and hairy basil microgreens. *Thai Science and Technology Journal*. 28(1): 86-98. doi:10.14456/tstj.2020.8. (in Thai).
- [24] Han, F., Xu, L., Huang, Y., Chen, T., Zhou, T. and Yang, L. (2018). Magnesium sulphate can alleviate oxidative stress and reduce inflammatory cytokines in rat placenta of intrahepatic cholestasis of pregnancy model. *Archives of Gynecology and Obstetrics*. 298(3): 631-638. doi:10.1007/s00404-018-4850-1.
- [25] Shadman, J., Sadeghian, N., Moradi, A., Bohlooli, S. and Panahpour, H. (2019). Magnesium sulfate protects blood-brain barrier integrity and reduces brain edema after acute ischemic stroke in rats. *Metabolic Brain Disease*. 34(4): 1221-1229. doi: 10.1007/s11011-019-00419-y.
- [26] Ciscomani-Larios, J.P., Sánchez-Chávez, E., Jacobo-Cuellar, J.L., Sáenz-Hidalgo, H.K., Orduño-Cruz, N., Cruz-Alvarez, O. and Ávila-Quezada, G.D. (2021). Biofortification efficiency with magnesium salts on the increase of bioactive compounds and antioxidant capacity in snap beans. *Ciência Rura*. 51(6): 1-8. doi:10.1590/0103-8478cr20200442.
- [27] Bohn, T., Walczyk, T., Leisibach, S. and Hurrell, R.F. (2004). Chlorophyll-bound Magnesium in Commonly Consumed Vegetables and Fruits: Relevance to

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Magnesium Nutrition. Journal of Food Science. 69(9): 347 – 350.

- [28] Wang, Y., Zhang, X., Zhang, W., Peng, M., Tan, G., Qaseem, M.F., Li, H. and Wu, A.M. (2023). Physiological and transcriptomic responses to magnesium deficiency in *Neolamarckia Cadamba*. Plant Physiology and Biochemistry. 197: 107645. doi:10.1016/j.plaphy.2023.107645.

*Corresponding author e-mail: peerarat_do@rmutto.ac.th

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok