

ผลของความดันสุญญากาศและสารสกัดสมุนไพรต่อสมบัติทางกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

EFFECTS OF VACUUM PRESSURE AND HERBAL PLANT EXTRACTS ON THE PHYSICAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF VACUUM IMPREGNATED RICE

หทัยทิพย์ ร้องคำ* ปวีณา ด้านพิกุลทอง เกตุการ ดาจันทร์หา

Hathaitip Rongkom, Paweena Danpikulthong, Katekan Dajanta*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

*Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology,
Pibulsongkram Rajabhat University.*

*Corresponding author, e-mail: hathaitip_111@hotmail.com

Received: 12 July 2019; **Revised:** 17 December 2019; **Accepted:** 19 December 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศ (50, 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์) และสารสกัดสมุนไพร (ดอกกระเจี๊ยบแดง; *Hibiscus Sabdariffa* L. และดอกอัญชัน; *Clitoria Ternatea* L. ภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L^* value) ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร ทั้ง 2 ชนิดลดลงตามระดับความดันสุญญากาศที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำ (Water Loss) ปริมาตรสารสกัดสมุนไพรที่แทรกซึมในเมล็ดข้าว (X) ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (Y) และความพรุนที่ยอมให้สารสกัดสมุนไพรเคลื่อนที่ผ่าน (E_o) สูงขึ้นตามระดับความดันสุญญากาศที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันด้วยเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับ 50 มิลลิบาร์ มีคุณภาพการต้านอนุมูลอิสระ (ปริมาณสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH) สูงที่สุด สปีปากรของข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับแรงกดตามธรรมชาติของพืชสมุนไพร และพบว่าข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอล (59.68 mg Garlic Acid Equivalent/100g) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (31.00 mg Ascorbic Acid Equivalent/100g) สูงกว่าข้าวเสริมสารสกัดดอกอัญชัน (43.64 mg Garlic Acid Equivalent/100g และ 23.19 mg Ascorbic Acid Equivalent/100g ตามลำดับ) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระดับความดันสุญญากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อเสริมสารต้านอนุมูลอิสระลงในอาหารอื่น นอกจากนี้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศยังสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวขาวได้

คำสำคัญ: เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ กระเจียบแดง อัญชัน ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Abstract

The aimed of this study was evaluated the effects of vacuum pressure levels (50, 500 and 1013.25 mbar) and herbal plant extracts (roselle; *Hibiscus sabdariffa* L. and butterfly pea; *Clitoria Ternatea* L.) on the physical and antioxidant properties of vacuum impregnated white non-glutinous rice. The results indicated that the lightness (L^* value) of both herbal plants vacuum impregnated rice reduced with increasing the vacuum pressure. Whereas, the values of water loss, mass fraction of rice occupied by impregnation liquid (X), sample volume deformation (γ) and effective porosity (ϵ_e) of the samples were increased with increasing the vacuum pressure. In addition, the highest antioxidant quality (total phenolic compounds and DPPH-radical scavenging activity) was evaluated in the roselle and butterfly pea vacuum impregnated rice at 50 mbar. The apparent color of roselle and butterfly pea treated rice were visibly differenced depending on the natural pigment of herbal plant. While, the roselle vacuum impregnated rice showed significant higher total phenolic content (59.68 mg Garlic acid equivalent/ 100g) and antioxidant activity (31.00 mg Ascorbic acid equivalent/100g) than butterfly pea vacuum impregnated sample (43.64 mg Garlic acid equivalent/ 100g and 23.19 mg Ascorbic acid equivalent/ 100g, respectively). This study clearly suggested that vacuum pressure levels are important parameter in the application of vacuum impregnation technique to fortified antioxidants into other foods. Moreover, the vacuum impregnation technique could be increased the nutritional and commercial values of white rice.

Keywords: Vacuum impregnation technique, Roselle, Butterfly pea, Vacuum impregnated rice

บทนำ

ข้าวเสริมสมุนไพรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าข้าว ปัจจุบันมีการจำหน่ายข้าวเสริมสมุนไพรหลายชนิด เช่น ดอกคำฝอย ดอกอัญชัน และขมิ้นชัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีการแช่ข้าวในสารสกัดพืชสมุนไพรภายใต้บรรยากาศปกติหรือการฉีดพ่นสารสกัดพืชสมุนไพรลงบนเมล็ดข้าวก่อนนำไปอบแห้ง และการเคลือบสารสกัดสมุนไพรด้วยเครื่องเคลือบแบบกระแทกหมุน การผลิตข้าวเสริมสมุนไพรด้วยวิธีเหล่านี้มีข้อด้อยคือ ใช้เวลาการเคลือบนาน สารสกัดสมุนไพรเคลือบอยู่บนผิวของเมล็ดข้าวเท่านั้น มีการฟุ้งกระจายของสารสกัดสมุนไพรเกิดความไม่สม่ำเสมอของสารสกัดสมุนไพรที่เคลือบเมล็ดข้าว เกิดการเสียหายของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการเคลือบ และเกิดการเสื่อมสภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่นำมาเคลือบเมล็ดข้าวเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง มีการสัมผัสกับแสงและออกซิเจน [1-2]

เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation, VI) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเติมสารสำคัญลงในอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้ระบบการแช่ชิ้นอาหารในสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อให้สารละลายภายนอกสามารถแพร่และแทรกซึมเข้าไปแทนที่น้ำและอากาศในรูพรุนของโครงสร้างอาหารได้รวดเร็วกว่าการแช่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสำคัญเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนจึงส่งผลให้สารสำคัญมีความคงตัวสูง [3] มีการ

ประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการเพิ่มองค์ประกอบที่มีประโยชน์ในอาหารหลายประเภท เช่น การเติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ [4] การเติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสารสีจากธรรมชาติลงในอาหาร เช่น สารประกอบฟีนอล วิตามิน และเคอร์คูมินอยด์ลงในชั้นมะพร้าว [5] เติมน้ำมันสกัดบีรูทลงในมันฝรั่ง [6] และเติมน้ำมันสกัดจากชาเขียวลงในชั้นแอปเปิ้ล [7] มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแทรกซึมของสารสำคัญภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับความดันสุญญากาศ (Vacuum Pressure Level) ซึ่ง Mujica-Paz et al. [8] ได้ศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศที่ 135 - 674 มิลลิบาร์ ต่อปริมาณน้ำเชื่อมที่แทรกซึมในผลไม้ พบว่า แอปเปิ้ล มะละกอและเมลอนมีน้ำเชื่อมแทรกซึมในโครงสร้างของผลไม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความดันสุญญากาศ นอกจากนี้ Andres et al. [9] พบว่าระดับความดันสุญญากาศมีผลต่อความสามารถในการแทรกซึมสารละลายไอโซโทนิคเข้าสู่ชั้นแอปเปิ้ลอย่างชัดเจน และรายงานการวิจัยของ Rongkom et al. [10] พบว่าการเพิ่มระดับความดันสุญญากาศและเพิ่มระยะเวลาในการแช่ชั้นผลไม้ในสารละลายของจุลินทรีย์โพรไบโอติกภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศทำให้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในชั้นผลไม้มากขึ้น

ดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากให้สีที่สวยงาม มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและอุดมไปด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีรายงานว่าบั้งข้าวดอกกระเจี๊ยบแดงมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เฟนนิลโพรพานอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ป้องกันโรคหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง [11] ดอกอัญชันมีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และไตรเตอร์ฟีนอยด์ โดยสารแอนโทไซยานินเป็นสารสีม่วง-แดง-น้ำเงินตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง มีสมบัติการละลายน้ำและการต้านอนุมูลอิสระที่ดี ได้รับการยอมรับในการใช้เป็นสารสีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด [12] เนื่องจากมีความปลอดภัยกว่าการใช้สีสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ระบุว่าแอนโทไซยานินมีสมบัติเป็นสารต้านโรคมะเร็ง [13] ต้านโรคเบาหวาน [14] ต้านการอักเสบ และลดระดับไขมันในเลือด [15] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัน รวมทั้งระดับระดับความดันสุญญากาศที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเจ้าขาวเสริมสารสกัดสมุนไพรโดยใช้เทคนิค VI เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับข้าวเจ้าขาวที่กำลังประสบปัญหาหาคาข้าวตกต่ำอยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศและสารสกัดสมุนไพรต่อสมบัติทางกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเจ้าขาวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การนึ่งข้าว

เตรียมข้าวเจ้าขาวสายพันธุ์ กข. 57 ที่ได้รับจากวิสาหกิจชุมชนบ้านบางกระน้อย จังหวัดพิษณุโลก ก่อนนำไปเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค VI โดยนำข้าวสารขาวมาอบในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปสะเด็ดน้ำ จากนั้นนำข้าวไปนึ่งบนน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที [2] พักไว้ให้เย็น ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยกระบวนการ VI ต่อไป

1.2 การเตรียมสารสกัดสมุนไพร

นำดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันอบแห้งจากห้างแม็คโคร จังหวัดพิษณุโลก ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Disintegrator, WF-10B, China) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช จากนั้นแช่ผงสมุนไพรในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:30 (w/v) เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยผ้าขาวบางจะได้สารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัน จากนั้นปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปเสริมในเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค VI ต่อไป

2. การเสริมสารสกัดสมุนไพรในข้าวด้วยเทคนิค VI

นำข้าวที่ผ่านการนึ่งจากข้อ 1.1 จำนวน 300 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันที่สกัดได้จำนวน 300 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการ VI ในตู้สุญญากาศ (JEIO TECH, Korea) และผันแปรระดับความดันสุญญากาศ 3 ระดับ คือ 50, 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ (ความดันบรรยากาศปกติ) เป็นเวลา 20 นาที (Vacuum time) จากนั้นแช่ต่อที่ความดันบรรยากาศปกติ นาน 20 นาที (Relaxation Time) [10] จะได้ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและนำข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.6 จะได้ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการอบแห้ง จากนั้นบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์คุณภาพการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร

3.1 ค่าสี

วัดค่าสีระบบ CIE แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของเมล็ดข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทั้งเมล็ดที่ผ่านกระบวนการ VI ด้วยเครื่องวัดสี Minolta (CR-10, Japan)

3.2 ปริมาณสารสกัดสมุนไพรที่แทรกซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวหลังผ่านกระบวนการ VI (Impregnated Sample Volume Fraction, X)

ชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการนึ่งก่อนนำไปเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI (M_i) และชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI (M_f) หาค่าความหนาแน่นของสารสกัดสมุนไพร (ρ_s) ด้วยเครื่อง Pycnometer ขนาด 25 มิลลิลิตร และวัดปริมาตรเริ่มต้นของข้าวหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการ VI จำนวน 20 กรัม ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร (V_0) คำนวณปริมาตรสารสกัดพืชสมุนไพรที่แทรกซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวหลังผ่านกระบวนการ VI (X) ดังสมการที่ 1 [10]

$$X = \frac{M_f - M_i}{\rho_s V_0} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ: M_f คือ น้ำหนักข้าวหลังผ่านเทคนิค VI (kg)
 M_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนผ่านเทคนิค VI (kg)
 ρ_s คือ ความหนาแน่นของสารสกัดพืชสมุนไพรที่ทำ VI (kg/cm³)
 V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้นของเมล็ดข้าว (cm³)

3.3 ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (Deformation Value, Y)

ชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการนึ่งก่อนนำไปเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค VI จำนวน 20 กรัม ใส่กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรที่ได้ (V_0) และชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค VI จำนวน 20 กรัม ใส่กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรที่ได้ (V_f) คำนวณปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูปดังสมการที่ 2 [10]

$$\gamma = \frac{V_t - V_o}{V_o} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ: V_o คือ ปริมาตรของเมล็ดข้าวก่อนผ่านเทคนิค VI (m^3)

V_t คือ ปริมาตรของเมล็ดข้าวหลังผ่านเทคนิค VI (m^3)

3.4 ความพรุนที่ยอมให้สารสกัดสมุนไพรแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้าง (Effective Porosity, ϵ_e)

คำนวณค่าความพรุนที่ยอมให้สารสกัดสมุนไพรแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้าง (ϵ_e) ของเมล็ดข้าวที่ผ่านเทคนิค VI ดังสมการที่ 3 [10]

$$\epsilon_e = [(X - \gamma) + (\gamma/r)] / (1 - 1/r) \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนแรงดันสาร = $\frac{\text{ความดันบรรยากาศ}}{\text{ความดันสุญญากาศ}}$

3.5 ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร (Water Loss, WL)

คำนวณปริมาณการสูญเสียของเมล็ดข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI ดังสมการที่ 4 [10]

$$WL = \frac{W_{w0} - W_{wt}}{W_{ro}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ w_{w0} คือ น้ำหนักของน้ำในข้าวก่อนผ่านเทคนิค VI (g)

w_{wt} คือ น้ำหนักของน้ำในข้าวหลังผ่านเทคนิค VI (g)

w_{ro} คือ น้ำหนักของข้าวก่อนผ่านกระบวนการ VI (g)

4. การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

4.1 การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

นำข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Disintegrator, WF-10B, China) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ผสมผงข้าวเสริมสมุนไพรกับตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:5 (w/v) สกัดภายใต้สภาวะอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำมารองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์คุณภาพการต้านอนุมูลอิสระต่อไป [2]

4.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลในข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรตามวิธีของ Dajanta and Rongkom [16] โดยผสมสารสกัด 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent (Merck, Germany) ที่มีความเข้มข้น 0.25 นอร์มัล จำนวน 2 มิลลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Merck, Germany) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์, (w/v) จำนวน 1.6 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วย Vortex และบ่มในอ่างน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และบ่มต่อในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลในหน่วย mg Gallic Acid Equivalent (GAE)/100 g โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic Acid (Fluka Biochemica, Switzerland) ในช่วงความเข้มข้นที่ 10 - 100 $\mu\text{g/ml}$ ซึ่งมีค่า R^2 เป็น 0.9991

4.3 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ตรวจวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรตามวิธีการของ Dajanta and Rongkom [16] โดยผสมสารสกัดข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร จำนวน 1 มิลลิตร กับสารละลาย

2,2- Diphenyl-1- picrylhydrazyl (Fluka Biochemica, Switzerland) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วย Vortex ปั่นในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis Spectrophotometer (Spectrophotometer Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับชุดควบคุมใช้เอทานอล (Lab-Scan Analytical Science, Thailand) ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ แทนสารสกัด คำนวณค่า DPPH ในหน่วย Ascorbic Acid Equivalent (AAE)/100 g โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Ascorbic Acid (Fluka, USA) ในช่วงความเข้มข้นที่ 1-50 $\mu\text{g/ml}$ ซึ่งมีค่า R^2 เป็น 0.9990

4.4 การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรด้วยเทคนิค VI

ระดับความต้านอนุมูลอากาศและชนิดของสารสกัดสมุนไพรมีผลต่อค่าสีของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรด้วยเทคนิค VI อย่างชัดเจน (ตารางที่ 1) โดยข้าวเสริมสารสกัดดอกอัญชันมีสีม่วงและข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงมีสีแดงตามสีธรรมชาติของสารสกัดสมุนไพรร และมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความต้านอนุมูลอากาศขึ้นจาก 1013.25 มิลลิบาร์ เป็น 500 และ 50 มิลลิบาร์ ตามลำดับ เมื่อผ่านการเสริมสารสกัดด้วยเทคนิค VI ข้าวเสริมสารสกัดดอกอัญชันมีค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) เป็นลบ ($-b^* = -15.70$ ถึง -17.79) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเป็นสีน้ำเงิน ขณะที่ข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าสีแดง-เขียว (a^*) เป็นค่าบวกซึ่งแสดงความเป็นสีแดง ($a^* = 3.61$ - 6.37) และพบการลดลงของค่าสี L^* หรือค่าความสว่างของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรทั้ง 2 ชนิด โดยข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดัน 1013.25 มิลลิบาร์ มีค่าสี L^* เท่ากับ 49.58 - 49.76 และลดลงเหลือ 46.71 - 47.60 ที่ระดับความต้านอนุมูลอากาศ 50 มิลลิบาร์

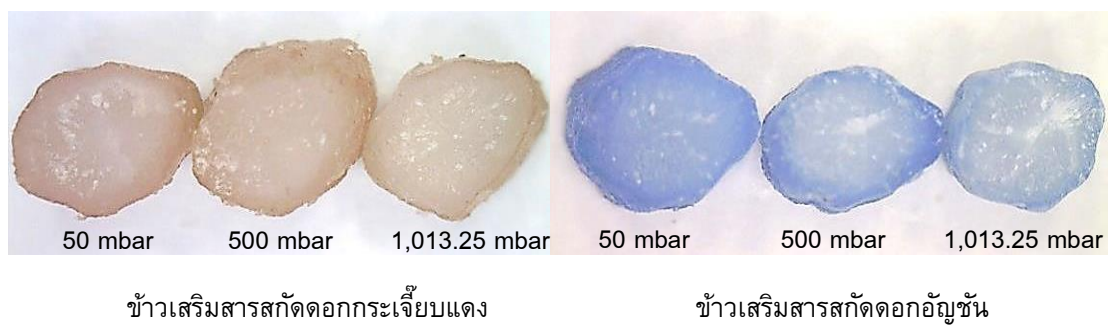
ตารางที่ 1 ค่าสี L^* a^* b^* ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรที่ระดับความต้านอนุมูลอากาศที่แตกต่างกัน

สารสกัด สมุนไพรร	ระดับความต้านอนุมูลอากาศ (มิลลิบาร์)	ค่าสีของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรด้วยเทคนิค VI		
		L^*	a^*	b^*
ดอกกระเจี๊ยบ แดง	50	46.71 $\pm$ 0.75 ^a	6.37 $\pm$ 0.55 ^c	1.08 $\pm$ 0.25 ^d
	500	47.92 $\pm$ 0.71 ^b	5.37 $\pm$ 0.77 ^c	1.67 $\pm$ 0.21 ^e
	1013.25	49.58 $\pm$ 0.92 ^c	3.61 $\pm$ 0.47 ^b	1.38 $\pm$ 0.40 ^{de}
ดอกอัญชัน	50	47.60 $\pm$ 0.70 ^b	-1.40 $\pm$ 0.42 ^a	-17.79 $\pm$ 1.02 ^a
	500	47.99 $\pm$ 0.88 ^b	-1.63 $\pm$ 0.33 ^a	-16.46 $\pm$ 0.55 ^b
	1013.25	49.76 $\pm$ 0.42 ^c	-1.28 $\pm$ 0.30 ^a	-15.70 $\pm$ 0.52 ^c

- ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$)

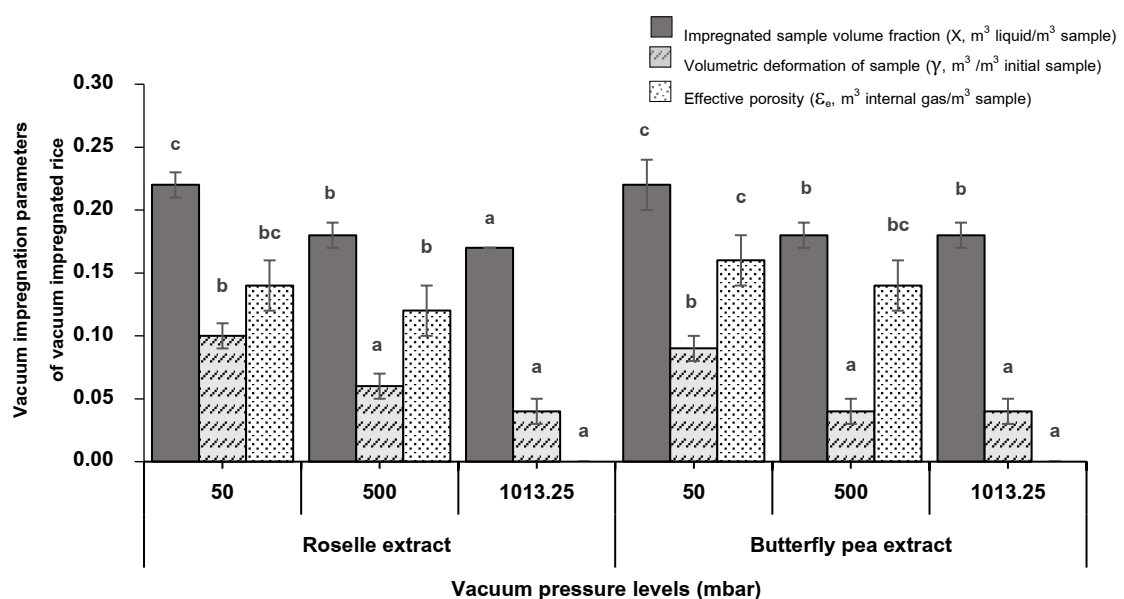
- L^* = ค่าความสว่าง; a^* = +ค่าสีแดง และ - ค่าสีเขียว; b^* = +ค่าสีเหลือง และ - ค่าสีน้ำเงิน

เมื่อนำข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบและอัญชันที่ผ่านการอบแห้งไปแช่น้ำร้อนและนำไปหั่นตัดขวางเมล็ดและส่องด้วยกล้องกำลังขยายต่ำทำให้เห็นภาพการแทรกซึมของสารสกัดสมุนไพรรทั้งสองชนิดเข้าไปในเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวเสริมสารสกัดที่ระดับ 50 มิลลิบาร์ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะภาพตัดขวางเมล็ดข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์

ภาพที่ 2 แสดงผลของระดับความดันสุญญากาศต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรรด้วยเทคนิค VI พบว่าปริมาณสารสกัดพืชสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ($0.22 - 0.23 \text{ m}^3 \text{ liquid/m}^3 \text{ sample}$) ค่าปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (0.09 ถึง $0.10 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ Initial Sample}$) และความพรุนที่ยอมให้สารสกัดสมุนไพรแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้าง (ϵ_e) มีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ บ่งชี้ว่าความดันสุญญากาศที่ระดับสูงกว่ามีผลทำให้สารสกัดสมุนไพรสามารถแทรกซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวได้มากกว่าการใช้ความดันสุญญากาศที่ระดับต่ำ (500 และ 1013.25 มิลลิบาร์)



ภาพที่ 2 ปริมาตรของสารสกัดสมุนไพรที่แทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (X) ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (Y) และค่าความพรุนที่ยอมให้ของสารสกัดสมุนไพรที่สามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้าง (ϵ_e) ข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศแตกต่างกัน

ค่าการสูญเสีย น้ำ (Water loss) แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของตัวอย่างข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรหลังผ่านเทคนิค VI จากการทดลองพบว่าข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรทุกตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำเป็นลบ

ซึ่งแสดงถึงเกิดการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของเมล็ดข้าวน้อยกว่าการแทรกซึมของสารสกัดสมุนไพรมะเขือเทศเข้าสู่ภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการ VI และเมื่อเพิ่มระดับความดันสุญญากาศส่งผลให้เกิดการสูญเสียให้น้อยลงขณะที่เกิดการแทรกซึมของสารสกัดเข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดข้าวมากขึ้น โดยเห็นได้จากค่าการสูญเสียของข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ มีค่าต่ำกว่าค่าการสูญเสียของข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศที่ระดับความดันสุญญากาศ 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับค่าปริมาตรของสารสกัดสมุนไพรมะเขือเทศที่แทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (X) ที่มีค่าสูงที่สุดในข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เช่นกัน (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของระดับความดันสุญญากาศต่อค่าการสูญเสียของข้าวเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเทคนิค VI

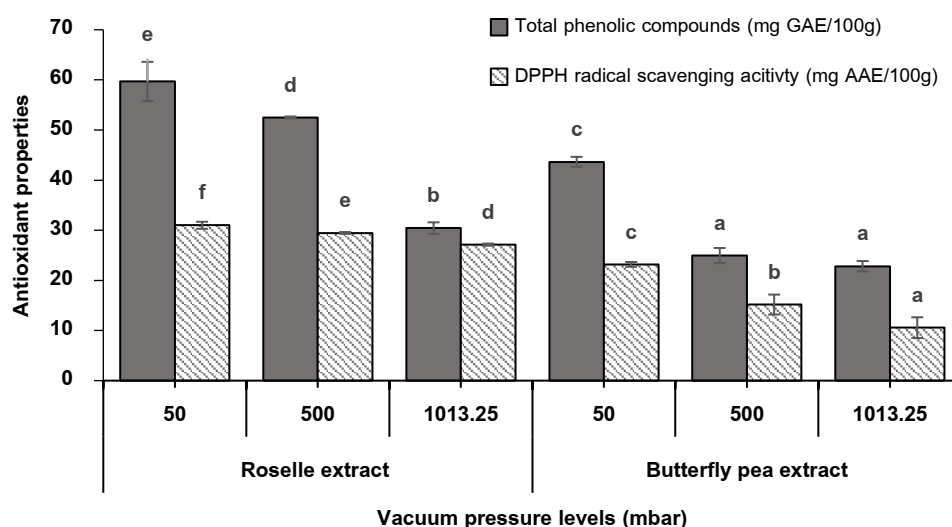
สารสกัดสมุนไพร	ระดับความดันสุญญากาศ (มิลลิบาร์)	ค่าการสูญเสีย (เปอร์เซ็นต์)
ดอกกระเจี๊ยบแดง	50	-54.77 $\pm$ 0.40 ^a
	500	-49.60 $\pm$ 0.70 ^c
	1013.25	-46.90 $\pm$ 0.61 ^d
ดอกอัญชัน	50	-52.53 $\pm$ 0.91 ^b
	500	-44.13 $\pm$ 0.35 ^e
	1013.25	-43.07 $\pm$ 0.65 ^e

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในคอลัมน์นี้แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$)

2. คุณภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพร

ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศแตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มระดับความดันสุญญากาศจาก 1013.25 มิลลิบาร์ เป็น 500 และ 50 มิลลิบาร์ ช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลในข้าวขาวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 3) ทำให้ข้าวที่ผ่านการเสริมสารสกัดสมุนไพรที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศที่ความดัน 1013.25 มิลลิบาร์ ซึ่งเป็นระดับความดันที่บรรยากาศปกติมากถึง 47.21 - 49.01 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเทคนิค VI ช่วยเสริมสารสกัดสมุนไพรซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดได้ดีกว่าการแช่ข้าวในสารสกัดสมุนไพรที่บรรยากาศปกติซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศโดยทั่วไป

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศทั้ง 2 ชนิดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความดันสุญญากาศ โดยข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (31.00 และ 23.19 mg AAE/100 g) สูงกว่าข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันที่ระดับความดันสุญญากาศ 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ ตามลำดับ โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ที่ 27.13 - 29.46 และ 10.57 - 15.18 mg AAE/100 g เท่านั้น (ภาพที่ 3) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเสริมสมุนไพรมะเขือเทศทั้ง 2 ชนิดเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารประกอบฟีนอล



ภาพที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศแตกต่างกัน

สรุปและอภิปรายผล

เทคนิค VI ถูกนำมาใช้ในการเติมสารที่มีประโยชน์เข้าไปในอาหารชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยระบบสุญญากาศ ร่วมกับการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลาย เพื่อให้สารละลายภายนอกแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของอาหาร โดยกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Step) จะทำให้อากาศที่อยู่ภายในโครงสร้างของอาหารเกิดการขยายตัวและเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างของอาหาร จากนั้นจะเปลี่ยนเข้าสู่สภาวะบรรยากาศปกติ (Relaxation Step) ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของระดับความดันสุญญากาศระหว่างรูพรุนในโครงสร้างอาหารและสารละลายภายนอก ทำให้สารละลายภายนอกสามารถแพร่เข้าสู่ภายในโครงสร้างของอาหารได้อย่างรวดเร็ว [6] จากการศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศต่อคุณภาพของข้าวเจ้าขาวด้วยเทคนิค VI ของงานวิจัยนี้พบว่าการเพิ่มระดับความดันสุญญากาศจาก 1013.25 มิลลิบาร์ซึ่งเป็นความดันที่บรรยากาศปกติ เป็น 500 และ 50 มิลลิบาร์ ทำให้สารสกัดสมุนไพรสามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างเมล็ดข้าวได้มากขึ้น จะเห็นได้จากสีแดงของสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและสีน้ำเงินของสารสกัดดอกอัญชันที่แทรกซึมเข้าไปภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าวได้อย่างชัดเจนในภาพตัดขวางของเมล็ดข้าว (ภาพที่ 1) และข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าสีแดง (a^*) เป็นบวก แสดงถึงการเป็นสีแดงตามสีของสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและข้าวเสริมสารสกัดดอกอัญชันมีค่าสีน้ำเงิน ($-b^*$) ตามสีธรรมชาติของสารสกัดดอกอัญชัน โดยค่าสี a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มระดับความดันสุญญากาศให้มากขึ้นบ่งชี้ว่าสารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสีสำคัญในสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันสามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดข้าวได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสี L^* ของข้าวเสริมสมุนไพรลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับความดันสุญญากาศ (ตารางที่ 1) เนื่องจากสารสกัดสมุนไพรแทรกซึมเข้าไปแทนที่อากาศในโครงสร้างของเมล็ดข้าวได้มากขึ้น [17] ซึ่งเห็นได้จากค่าปริมาตรสารสกัดสมุนไพรที่แทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (X) ค่าปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (Y) และค่าความพรุนที่ยอมให้สารสกัดสมุนไพรแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้าง (E_p) ของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มระดับความดัน

สุญญากาศให้มากขึ้นจากความดันปกติ (1013.25 มิลลิบาร์) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระดับความดันสุญญากาศในขั้นตอน Vacuum Step ทำให้ฟองอากาศในรูพรุนของโครงสร้างเมล็ดข้าวเกิดการขยายตัว ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Plasmalemma) เกิดการหดตัวและผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนรูปทำให้ฟองอากาศและของเหลวถูกขับให้เคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างของเมล็ดข้าว จึงทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าว และเมื่อลดระดับความดันสุญญากาศให้กลับสู่สภาวะบรรยากาศปกติในขั้นตอน Relaxation Step จะเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างช่องว่างในรูพรุนกับสารละลายภายนอกหรือสารสกัดสมุนไพร อีกทั้งยังเกิดความต่างศักย์ทางเคมี (Chemical Potential) ระหว่างเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semi-Permeable Membrane) ของเมล็ดข้าวและสารละลายภายนอกจึงส่งผลให้สารละลายภายนอกสามารถแพร่เข้าไปแทนที่ช่องว่างในโครงสร้างเมล็ดข้าวได้มากขึ้น [18-19]

ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยที่มีรายงานมาก่อนหน้านี้ โดยรายงานของ Rongkom et al. [10] ที่พบว่าการใช้เทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ ช่วยให้สารละลายไอโซโทนิคแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของแอปเปิ้ลและแคนตาลูปได้ดีกว่าการใช้เทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศ 100 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ และรายงานของ Moreira & Almohaimeed [6] ที่ระบุว่าการใช้เทคนิค VI ที่ระดับความดันสุญญากาศ 300 มิลลิเมตรปรอท ช่วยเสริมสารสกัดบีทรูทเข้าสู่โครงสร้างของชั้นมันฝรั่งได้ดีกว่าที่ระดับความดันสุญญากาศ 450 และ 600 มิลลิเมตรปรอท โดยตรวจพบค่าการสูญเสียน้ำเป็นลบเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ ในขณะที่ Makmuang et al. [20] รายงานว่าสายพันธุ์และปริมาณความชื้นของข้าวที่แตกต่างกันเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของข้าวที่ผ่านกระบวนการ VI เป็นอย่างมาก

การเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบและอัญชันในข้าวขาวด้วยเทคนิค VI เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระให้เข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดข้าวได้โดยตรง ใช้ระยะเวลาสั้นและสารสำคัญไม่ถูกทำลายจากการสัมผัสกับอากาศและความร้อน โดยข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดัน 500 และ 50 มิลลิบาร์ มีองค์ประกอบของสารฟีนอลสูงกว่าการแช่ข้าวในสารสกัดที่ความดันบรรยากาศปกติ (1013.25 มิลลิบาร์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของพืชสมุนไพรเกี่ยวข้องกับสารสีหรือรงควัตถุที่สำคัญที่พบในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด โดยสารสีที่พบในดอกอัญชันและดอกกระเจี๊ยบแดงคือสารในกลุ่มแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอล จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่สร้างจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เป็นสารให้สีและรสชาติในผักและผลไม้ มีความสามารถในการให้อิโธโรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร จึงเป็นการหยุดห่วงโซ่การสร้างอนุมูลอิสระได้โดยตรง นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทางอ้อมด้วยการปกป้องเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย และการจับกับไอออนของโลหะ (Metal Chelator) จึงมีบทบาทสำคัญในการปกป้องเซลล์และเนื้อเยื่อของร่างกายจากการทำลายของอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid Peroxidation) ได้ [21] ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นปฏิกิริยาที่บ่งชี้ถึงความสามารถในกำจัดอนุมูลอิสระและเป็นกลไกสำคัญในการช่วยป้องกันเซลล์จากการทำลายของอนุมูลอิสระทำให้สามารถต่อต้านโรคที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ ความดันโลหิตสูง โรคไขข้ออักเสบและโรคมะเร็งได้ [22]

งานวิจัยนี้พบว่า ข้าวเสริมสารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชันมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเสริมสารสกัดสมุนไพรมีผลโดยตรงมาจากสารประกอบฟีนอล [23] เช่นเดียวกับที่พบในรายงานการวิจัยของ Kruawan and Kangsadalampai [24] ที่ระบุว่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดดอกคำฝอย กระเจี๊ยบแดง เก๊กฮวยและมะตูม มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ตรวจพบเป็นอย่างมาก โดยสารสกัดที่มี

ปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงเช่นกัน ผลงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการ VI สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดสมุนไพรในข้าวขาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sonsa-ard, N., Rupakchee, S., & Nakngam, A. (2017, December). The effects of stabilizer and thermal conditions on quality of milky rice product. In *Innovation and Technology Conference (ITC2017). Rajamangala University of Technology Isan Surin*. pp. 389-395.
- [2] Danpikulthong, P., Dajanta, K.; & Rongkom, H. (2017, December). Effect of steaming time and vacuum pressure level on physicochemical and antioxidant properties of vacuum impregnated rice. In *Innovation and Technology Conference (ITC2017). Rajamangala University of Technology Isan Surin*. pp. 832-841.
- [3] Castagnini, J.M., Betoret, N., Betoret, E., & Fito, P. (2015, December). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 1289-1296.
- [4] Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T.I. (2015, January). Microbial survival and sensory properties of intermediate-moisture apple and cantaloupe impregnated with *Lactobacillus acidophilus* during storage. *Chiang Mai University Journal of Natural Science*, 14(2), 133-142.
- [5] Bellary, A.N., Sowbhagya, H.B., & Rastogi, N.K. (2011, August). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 453-459.
- [6] Moreira, R.G., & Almohaimeed, S. (2018, July). Technology for processing of potato chips impregnated with red beetroot phenolic compounds. *Journal of Food Engineering*, 228, 57-68.
- [7] Tappi, S., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M.D., Rizzi, F., & Rocculi, P. (2017, February). Study on the quality and stability of minimally processed apples impregnated with green tea polyphenols during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 148-155.
- [8] Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Paloub, E., & Welti-Chanes, J. (2003a April). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: Effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57, 305-314.
- [9] Andrés, A., Salvatori, D., Albors, A., Chiralt, A., & Fito, P. (2001). *Vacuum impregnation viability of some fruits and vegetables*. Technomic Publishing Company, Pennsylvania.
- [10] Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T.I. (2013, October). Physical properties of impregnated cantaloupe and apple affected by different pressure levels. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 1(4), 163-171.

- [11] Serrano-Cruz, M.R., Villanueva-Carvajal, A., Rosales, E.J.M., Dávila, J.F.R., & Dominguez-Lopez, A. (2013, March). Controlled release and antioxidant activity of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract encapsulated in mixtures of carboxymethyl cellulose, whey protein, and pectin. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 554-561.
- [12] Adsare, S.R., Bellary, A.N., Sowbhagya, H.B., Baskaran, R., Prakash, M., & Rastogi, N.K. (2016, April). Osmotic treatment for the impregnation of anthocyanin in candies from Indian gooseberry (*Emblica officinalis*). *Journal of Food Engineering*, 175, 24-32.
- [13] Tsai, T.C., Huang, H.P., Chang, Y.C., & Wang, C.J. (2014, February). An anthocyanin-rich extract from *hibiscus sabdariffa* linnaeus inhibits *n*-nitrosomethylurea-induced leukemia in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(7), 1572-1580.
- [14] Mozaffari-Khosravi, H., Jalali-Khanabadi, B.A., Afkhami-Ardekani, M., & Fatehi F. (2009, August). Effects of sour tea (*Hibiscus sabdariffa*) on lipid profile and lipoproteins in patients with type II diabetes. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 15, 899-903.
- [15] Yang, M.Y., Peng, C.H., Chan, K.C., Yang, Y.S., Huang, C.N., & Wang, C.J. (2010, January). The hypolipidemic effect of *Hibiscus sabdariffa* polyphenols via inhibiting lipogenesis and promoting hepatic lipid clearance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 850-859.
- [16] Dajanta, K., & Rongkom, H. (2017, January). Effects of drying temperature on the isoflavone content and antioxidant capacity of fermented soybean (Thua Nao). *KKU Science Journal*, 45(1), 138-150.
- [17] Moreno, J., Espinoza, C., Simpson, R., Petzold, H., Nuñez, G., & Gianelli, M.P. (2016, February). Application of ohmic heating/vacuum impregnation treatments and air drying to develop an apple snack enriched in folic acid. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 381-386
- [18] Gras, M., Vidal-Brotons, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2002, September). The response of some vegetables to vacuum impregnation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 263-269.
- [19] Derossi, A., De Pilli, T., & Severini, C. (2012). *The application of vacuum impregnation techniques in food industry*. In: Valdez B (ed), Scientific, health and social aspects of the food industry. In Tech Europe, Croatia, pp. 25-56.
- [20] Makmuang, C., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T.I. (2016, January). Vacuum impregnated rice as affected by moisture contents and rice varieties. *KKU Research Journal*, 21(2), 299-309.
- [21] Pradeep, P.M., & Sreerama, Y.N. (2015, February). Impact of processing on the phenolic profiles of small millets: Evaluation of their antioxidant and enzyme inhibitory properties associated with hyperglycemia. *Food Chemistry*, 169, 455-463.
- [22] Al-Dalaen, S.M., & Al-Qtaitat, A.I. (2014, December). Review article: oxidative stress versus antioxidants. *American Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2(5), 60-71.
- [23] Calvache, J.N., Cueto, M., Farroni, A., Pla, M.E., & Gerschenson, L.N. (2016, December). Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). *Journal of Functional Foods*, 27, 319-328.

- [24] Kruawan, K., & Kangsadalampai, K. (2006, November). Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 30, 28-35.