ผลของเวลาการนึ่งและระดับความดันสุญญากาศต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

Effect of Steaming Time and Vacuum Pressure Level on Physicochemical and Antioxidant Properties of Vacuum Impregnated Rice

ปวีณา ด่านพิกุลทอง[1] เกตุการ ดาจันทา[1*] และ หทัยทิพย์ ร้องคำ[1]
Paweena Danpikulthong[1], Katekan Dajanta[1*] and Hathaitip Rongkam[1]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
*Email: dkatekan@hotmail.com**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระเจี๊ยบ (*Hibiscus sabdariffa*) ในข้าวเจ้าขาว โดยศึกษาผลของเวลาการนึ่งข้าว (5 10 และ 15 นาที) และระดับความดันสุญญากาศ (50 500 และ 1035.25 มิลลิบาร์) ต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและการต้านออกซิเดชันของข้าวเจ้าขาวที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศด้วยสารสกัดกระเจี๊ยบ ผลการศึกษาพบว่า ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์และความชื้นในข้าวเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการนึ่งข้าวจาก 5 – 15 นาที และข้าวที่ผ่านการนึ่งนาน 15 นาที มีระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ (ร้อยละ 85.88) และความชื้น (ร้อยละ 42.51) เหมาะสมกับการพัฒนาเป็นข้าวหุงสุกเร็ว ผลการศึกษาผลกระทบของระดับความดันสุญญากาศ พบว่า ปริมาณของเหลวที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป ปริมาณสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงที่สุดในข้าวที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดัน 50 มิลลิบาร์ งานวิจัยนี้ได้แสดงผลให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเวลาในการนึ่งข้าวและระดับความดันสุญญากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการประยุกต์ใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

***คำสำคัญ**: กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ เวลาการนึ่งข้าว ความดันสุญญากาศ*

Abstract

This study aimed to fortified antioxidants of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) extract into white non-glutinous rice. The effects of steaming time (5, 10 and 15 min) and different vacuum pressure (50, 500 and 1035.25 mbar) on physicochemical and antioxidant properties of vacuum impregnated white non-glutinous rice with impregnation solution of roselle extract were investigated. The results showed that degree of gelatinization and moisture content of steamed rice samples increased with the steaming time from 5 to 15 min. Steamed rice for 15 min showed the optimal degree of gelatinization (85.88%) and moisture content (42.51%) for the quick cooking rice. For affecting of vacuum impregnation, it was found that the highest impregnated sample volume fraction, deformation value, total phenolic compounds (585.47 $\pm$ 48.03 μg GAE/g) and DPPH radical scavenging activity (309.99 $\pm$ 6.97 μg ascorbic acid/g) were examined in the 50 mbar impregnated rice. This study clearly suggested steaming time and vacuum pressure are important parameters in the application of vacuum impregnation.

***Keywords**: Vacuum impregnation, Steaming time, Vacuum pressure*

บทนำ

ข้าว (Rice, *Oryza sativa* Linn.) เป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลก (Song et al., 2013) และยังเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยมายาวนาน ประเทศไทยผลิตข้าวได้ปีละประมาณ 20 ล้านตันข้าวสาร ผลผลิตข้าวร้อยละ 55 ใช้บริโภคในประเทศ ส่วนที่เหลือร้อยละ 45 ส่งขายตลาดต่างประเทศ แต่เนื่องจากปัญหาความไม่แน่นอนของคุณภาพวัตถุดิบทำให้ผู้ประกอบการต้องปรับเทคโนโลยีการผลิตให้สอดคล้องกับลักษณะของวัตถุดิบในแต่ละรอบการผลิต ส่งผลให้ข้าวที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ให้เพียงพอและมุ่งเน้นกระบวนการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวด้วยการสนับสนุนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวให้มากขึ้น ข้าวเสริมสารสกัดจากพืชสมุนไพร เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าข้าว โดยจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มข้าวเสริมโภชนาการหรือข้าวอนามัย ที่มีการเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลงไปในข้าว ในปัจจุบันมีการจำหน่ายข้าวเสริมสารสมุนไพรหลายชนิดในท้องตลาด โดยส่วนใหญ่เป็นข้าวที่เคลือบด้วยสารสมุนไพร เช่น กระเจี๊ยบ อัญชัน ดอกคำฝอย และขมิ้น โดยใช้กระบวนการผลิตหลายรูปแบบ คือ วิธีการแช่ข้าวในสารสกัดพืชสมุนไพรในบรรยากาศปกติ หรือการพ่นสารสกัดพืชสมุนไพรลงบนเมล็ดข้าวก่อนนำไปอบแห้ง (วิชมณี และคณะ, 2555; ดรุณี, 2557) การผลิตข้าวเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยวิธีเหล่านี้มีข้อด้อยคือ ใช้ระยะเวลาในการเคลือบนาน สารสกัดจากพืชสมุนไพรจะเคลือบอยู่เพียงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเท่านั้น มีการฟุ้งกระจายของสารสกัดพืชสมุนไพรที่ใช้เคลือบ เกิดความไม่สม่ำเสมอของสารสกัดสมุนไพรที่เคลือบเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวเกิดการเสียหายในระหว่างกระบวนการเคลือบ และการเสื่อมสภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่นำมาเคลือบเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงและมีการสัมผัสกับแสงและออกซิเจน

เทคโนโลยีแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum impregnation; VI) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเติมสารสำคัญลงในอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยการประยุกต์ใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับระบบการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายเพื่อให้สารละลายจากภายนอกสามารถแพร่และซึมเข้าไปแทนที่น้ำในรูพรุนของโครงสร้างอาหารได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ใช้ระยะเวลาสั้น อีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเทียบกับกระบวนในสภาวะบรรยากาศปกติ (Deng & Zhao, 2008) ระบบสุญญากาศช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนมวลสาร และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบางอย่างของสารอาหาร ซึ่งเทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนที่จะทำการแปรรูปต่อไป เช่น การทอด การทำแห้ง การแช่เยือกแข็ง การเสริมคุณค่าทางโภชนาการของข้าวให้สูงขึ้นได้ (Zhao & Xie, 2004) และในปัจจุบันนิยมใช้วิธีนี้ในการเติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกลงในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้หลายชนิด (Paes et al., 2008; Hironaka et al., 2011; Rongkom et al., 2013a; 2013b; 2013c) มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเข้าสู่โครงสร้างของอาหารด้วยเทคโนโลยีแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ เช่น ระดับความดันสุญญากาศ ชนิดของอาหาร ระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างอาหารในสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum period) และระยะเวลาในการคืนสู่สภาวะบรรยากาศปกติ (Relaxation time) (Mújica-Paz et al., 2003; Hironaka et al., 2011; Derossi et al., 2012;)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากพืชสมุนไพรในข้าวขาวโดยคัดเลือกระยะเวลานึ่งสุกข้าวก่อนนำไปผ่านกระบวนการเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยเทคโนโลยีแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ และศึกษาระดับความดันสุญญากาศที่เหมาะสมในการเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรในข้าวขาวเทคโนโลยีแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศจะช่วยเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระให้สามารถแทรกซึมและดูดซับไว้ในโครงสร้างของเมล็ดข้าวและยังสามารถคงคุณค่าและปริมาณสารสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูงได้เป็นเวลายาวนาน ซึ่งจะเป็นจุดเด่นสำคัญของผลิตภัณฑ์ข้าว

เสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชสมุนไพรอีกทั้งยังมีกระบวนการผลิตที่ใช้ระยะเวลาสั้น ไม่ใช้ความร้อนจึงช่วยรักษาสภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไว้ได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การนึ่งข้าว

เตรียมข้าวเจ้าขาวสายพันธุ์ กข. 57 ก่อนนำไปเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ โดยนำข้าวสารขาวมาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (วรรณดี, 2551) หลังการสะเด็ดน้ำ นำข้าวไปนึ่งบนน้ำเดือดโดยผันแปรระยะเวลาในการนึ่งข้าว 3 ระดับ คือ 5 10 และ15 นาที นำข้าวที่ผ่านการนึ่งแล้วไปตรวจวิเคราะห์ค่าเจลลาติไนซ์ ความชื้น และความแข็ง

1.2 การเสริมสารสกัดพืชสมุนไพรในข้าวด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ

นำข้าวที่ผ่านการนึ่งบนน้ำเดือดนาน 15 นาที จำนวน 300 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกระเจี๊ยบที่สกัดได้จากการต้มดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งในน้ำอัตราส่วน 1:30 (w/v) ปริมาณ 300 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในตู้ Vacuum oven (JEIO TECH, Korea) โดยผันแปรระดับความดันสุญญากาศ 3 ระดับ คือ 50 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นแช่ข้าวในสารสกัดกระเจี๊ยบที่ความดันบรรยากาศปกติ นาน 20 นาที (Relaxation time) (Rongkom et al., 2013) นำตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดกระเจี๊ยบที่เข้าไปในเมล็ดข้าว (Impregnated sample volume fraction, X) ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (Deformation value; γ) ค่าความพรุนที่ยอมให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่าน (Effective porosity; ε_e) จากนั้นนำข้าวไปอบแห้งในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีค่า Water activity ประมาณ 0.6 และนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปตรวจวิเคราะห์ค่าความพรุนทั้งหมด (Real porosity; ε_r) ปริมาณสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

2. การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

2.1 ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ของข้าวนึ่ง

ตรวจวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ของข้าวนึ่งด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Mettler-Toledo, Switzerland ตามวิธีของ Taghinezhad et al. (2015) โดยนำข้าวสารแห้ง 10 กรัม มาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมครอน จากนั้นนำตัวอย่างผงข้าวมาผสมกับน้ำกลั่นอัตราส่วน 3:7 (w/v) ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยให้ความร้อนตั้งแต่ 25 – 100 องศาเซลเซียส อัตราการสแกน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที คำนวณระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ด้วยสูตร

การเกิดเจลลาติไนซ์ (%) = $(\Delta H/\Delta H^*)\times 100$

ΔH คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากเจลลาติไนซ์ของตัวอย่างข้าว

ΔH^* คือ การเปลี่ยนเอนทัลปีของข้าวสาร

2.2 ความชื้น

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2.00 กรัม ใส่ในจานอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำอีกครั้งครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ (AOAC, 2000) คำนวณค่าความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{100\left(w_1 - w_2\right)}{w_1 - w}$$

W คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (กรัม)

w_1 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

w_2 คือ น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.3 ความแข็ง

นำตัวอย่างข้าวหลังจากนึ่งแล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใส่ลงในกระบอกให้สูงประมาณ 30 มิลลิเมตร เขย่าเบาๆ 20 ครั้ง แล้วนำมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้ Texture Analyzer โดยใช้หัววัดแบบ Cylindrical ขนาด 35 มิลลิเมตร ปลายเรียบ กดตัวอย่างลงไปเป็นระยะทาง 10 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบของหัวกด 2 มิลลิเมตรต่อนาที (Bao et al., 2004)

2.4 ปริมาณสารสกัดพืชสมุนไพรที่เข้าไปในเมล็ดข้าว (X)

ชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการนึ่งนาน 15 นาที ก่อนนำไปเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI (M_i) และชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI (M_f) หาค่าความหนาแน่นของสารสกัดกระเจี๊ยบ (ρ_s) ด้วยเครื่อง Picometer ขนาด 25 มิลลิลิตร และวัดปริมาตรเริ่มต้นของข้าวนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการ VI จำนวน 20 กรัม ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร (V_0) คำนวณปริมาณสารสกัดกระเจี๊ยบที่เข้าไปในเมล็ดข้าวหลังผ่านการแช่ภายใต้ความดันสุญญากาศด้วยสูตร (Rongkom et al., 2013)

$$X = (M_f - M_i) / (\rho_s V_0)$$

X คือ การดูดซับสารละลายหลังผ่าน VI

M_f คือ น้ำหนักข้าวหลังผ่านเทคนิค VI (kg)

M_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนผ่านเทคนิค VI (kg)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของสารละลายที่ทำ VI (kg/m^3)

V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้นของเมล็ดข้าว (cm^3)

2.5 ค่าความพรุนทั้งหมด (ε_r)

คำนวณค่าความพรุนของข้าวที่ผ่านกระบวนการ VI และอบแห้งแล้วด้วยสูตร (Rongkom et al., 2013)

$$\varepsilon_r = (\rho_r - \rho_a) / \rho_r$$

ε_r คือ ค่าความพรุนทั้งหมด

ρ_r คือ ความหนาแน่นของข้าวอบแห้งหลังผ่านกระบวนการ VI (kg/m^3)

ρ_a คือ ความหนาแน่นของข้าวสาร (kg/m^3)

2.6 ค่าความพรุนที่ยอมให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่าน (Effective porosity; ε_e)

คำนวณค่าความพรุนที่ยอมให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านด้วยสูตร

$$\varepsilon_e = [(X-\gamma) + (\gamma/r)] / (1- 1/r)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนแรงดันสาร = ความดันบรรยากาศ / ความดันสุญญากาศ

2.7 ปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (γ)

ชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการนึ่งนาน 15 นาที ก่อนนำไปเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI จำนวน 20 กรัม ใส่กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรที่ได้ (V_0) และชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI จำนวน 20 กรัม ใส่กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรที่ได้ (V_t) (Krasaekoopt & Suthanwong, 2008) คำนวณปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูปด้วยสูตร

$$\gamma = (V_t - V_0)/ V_0$$

V_0 คือ ปริมาตรข้าวนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการ VI (m^3)

V_t คือ ปริมาตรข้าวหลังผ่านกระบวนการ VI (m^3)

3. การวิเคราะห์การต้านออกซิเดชัน

3.1 การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

นำข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียด ผสมกับตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70 ในอัตรา 1:5 (w/v) สกัดภายใต้สภาวะอัลตราโซนิก อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่กรองได้ในขวดสีชา อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลในข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบตามวิธีของ Luque – Rodriguez et al. (2007) โดยผสมสารสกัด 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (เข้มข้น 0.25 นอร์มัล) จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติม

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (เข้มข้นร้อยละ 7.5, w/v) 1.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วย Vortex บ่มหลอดทดลองในอ่างน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นนำไปบ่มต่อในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลในหน่วย μg Gallic acid equivalent (GAE)/g โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid ในช่วงความเข้มข้นที่ 10, 20, 40, 60 และ 100 μg/ml ซึ่งมีค่า R^2 เป็น 0.999

3.3 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ตรวจวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบตามวิธีการของ Maier et al. (2009) โดยมีการปรับเปลี่ยนเล็กน้อย ดังนี้ ผสมสารสกัด 1 มิลลิลิตรกับสารละลาย DPPH (เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์) 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วย Vortex บ่มในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Evolution 201, USA) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับชุดควบคุมใช้เอทานอลทำปฏิกิริยาแทนสารสกัด คำนวณค่า DPPH radical-scavenging activity ในหน่วย μg Ascorbic acid/g โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Ascorbic acid ในช่วงความเข้มข้นที่ 1 - 50 μg/ml ซึ่งมีค่า R^2 เป็น 0.999

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design หาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และตรวจสอบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าว กข. 57 หลังการนึ่งในลังถึงด้วยเวลาที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 1 พบว่าระยะเวลาการนึ่งข้าวมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนซ์และปริมาณความชื้นของข้าว เมื่อเวลาในการนึ่งข้าวนานขึ้นจาก 5 10 และ 15 นาที ส่งผลให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลลาติไนซ์และค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แต่ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่ผ่านการนึ่งข้าวนาน 15 นาที ทำให้ข้าวมีระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ร้อยละ 85.88 ± 4.03 ปริมาณความชื้นร้อยละ 42.51 ± 1.30 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นข้าวหุงสุกเร็ว (Howland, 1972; Carlson et al., 1976)

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาการนึ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวขาวสายพันธุ์ กข. 57

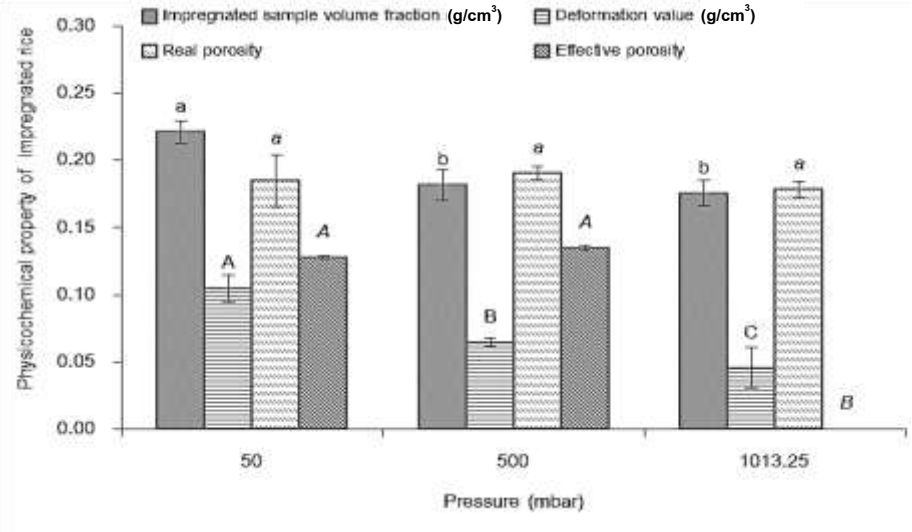
คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	5 นาที	10 นาที	15 นาที
ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ (ร้อยละ)	30.51 ± 8.39^c	64.69 ± 4.18^b	85.88 ± 4.03^a
ความชื้น (ร้อยละ)	39.38 ± 0.74^b	40.21 ± 0.47^b	42.51 ± 1.30^a
ความแข็ง (กรัม)	1,578.37 ± 70.17^a	1,443.18 ± 47.42^b	1,429.54 ± 30.99^b

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) และอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลแตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

2.ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมสมุนไพรด้วยเทคนิค Vacuum impregnation

ข้าวสายพันธุ์ กข. 57 ที่เสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดัน 50 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ มีค่าความพรุนทั้งหมด (ε_r) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีปริมาตรของเมล็ดข้าวที่เสียรูป (γ) กับค่าความพรุนที่ยอมให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่าน (ε_e) มากขึ้น เมื่อลดความดันจาก 1013.25 ไปเป็น 500 และ 50 มิลลิบาร์ (รูปที่ 1)

สำหรับปริมาณสารสกัดกระเจี๊ยบที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (X) พบว่าการใช้ความดันที่ 50 มิลลิบาร์ ช่วยทำให้มีสารสกัดกระเจี๊ยบแทรกซึมเข้าไปได้ดีกว่าที่ความดัน 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ (รูปที่ 1) ส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนการลดความดันลงไม่มีผลต่อค่าความแข็งของข้าวที่ผ่านกระบวนการ VI (ตารางที่ 2)



รูปที่ 1 ค่า Impregnated sample volume fraction (X), Deformation value (γ), Real porosity (ε_r) และ Effective porosity (ε_e) ของข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดันแตกต่างกัน

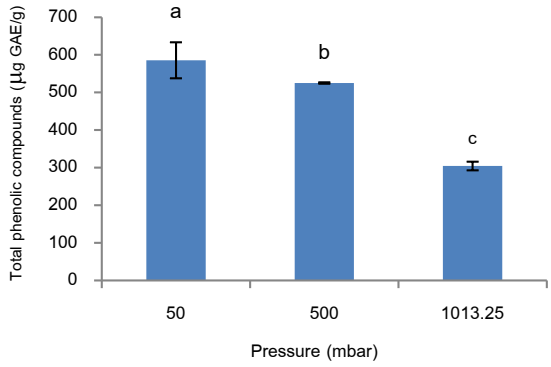
ตารางที่ 2 ผลของระดับความดันสุญญากาศต่อค่าความชื้นและความแข็งของข้าวสายพันธุ์ กข. 57 ที่ผ่านกระบวนการ VI

	50 mbar	500 mbar	1013.25 mbar
ความชื้น (ร้อยละ)	57.85±1.71^{a}	55.76±2.07^{b}	57.59±0.74^{ab}
ความแข็ง^{ns} (กรัม)	14497.47±805.44	14484.83±707.39	14332.81±650.93

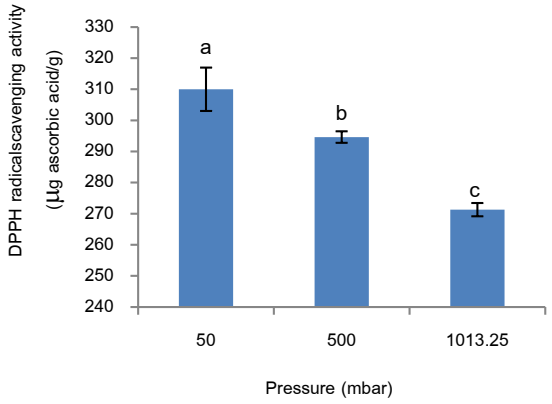
ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) และอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลแตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI หลังการอบแห้งด้วยการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยวิธี Folin–Ciocalteu method และวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ผลการศึกษาพบว่า การลดระดับความดันจาก 1013.25 มิลลิบาร์ เป็น 500 และ 50 มิลลิบาร์ ในการแช่ข้าวในสารสกัดกระเจี๊ยบช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลในข้าวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (รูปที่ 2) โดยข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI ที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด (585.47 ± 48.03 μg GAE/g) รองลงมาคือข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบที่ความดัน 500 (525.09 ± 1.89 μg GAE/g) และ 1013.25 มิลลิบาร์ (304.34 ± 11.48 μg GAE/g) ตามลำดับ และการใช้ระดับความดันสุญญากาศ (500 และ 50 มิลลิบาร์) ในการเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบในข้าวขาวช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวขาวให้มากขึ้นกว่าการแช่ข้าวในสารสกัดกระเจี๊ยบที่ระดับความดันบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI ที่ความดัน 50 มิลลิบาร์

มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (309.99 ± 6.97 µg ascorbic acid/g) รองลงมาคือข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบที่ความดัน 500 (294.63 ± 1.84 µg ascorbic acid/g) และ 1013.25 มิลลิบาร์ (271.30 ± 2.13 µg ascorbic acid/g) ตามลำดับ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลในข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดันแตกต่างกัน



รูปที่ 3 ปริมาณ DPPH radical scavenging activity ในข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดันแตกต่างกัน

อภิปรายผล

กระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วได้ถูกพัฒนามานานกว่า 50 ปี ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ คือ การแช่ข้าวและการทำให้ข้าวเกิดการเจลลาติไนซ์บางส่วนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้ได้แช่ข้าวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งในระหว่างการแช่ข้าวทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำเข้าไปในส่วนของเอนโดสเปอร์มและทำให้ส่วนของเอนโดสเปอร์มกระจายในน้ำ เมล็ดมีลักษณะขุ่นขึ้น และทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าว อุณหภูมิที่สูงของน้ำร้อนช่วยเพิ่มการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวและลดระยะเวลาการแช่ลง (Weibye, 1983) และหลังการสะเด็ดน้ำ นำข้าวไปนึ่งในลังถึงโดยผันแปรระยะเวลาในการนึ่งข้าว 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 นาที ซึ่งความร้อนในการนึ่งด้วยไอน้ำทำให้แป้งในเมล็ดข้าวเกิดเจลลาติไนซ์บางส่วน และจากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่า เวลาในการนึ่งข้าวด้วยไอน้ำร้อนในช่วงเวลา 5 10 และ15 นาที ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนซ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.51 เป็นร้อยละ 64.69 และ 85.88 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความชื้นของข้าวเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 39.38 เป็นร้อยละ 42.51 เมื่อผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนนาน 15 นาที จากผลการศึกษานี้ พบว่า การนึ่งข้าวด้วยไอน้ำร้อนนาน 15 นาที ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนซ์บางส่วนและมีค่าความชื้นเหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นข้าวหุงสุกเร็ว ซึ่งมีข้อแนะนำให้เตรียมข้าวให้เกิดเจลลาติไนซ์ที่ใกล้เคียงกับร้อยละ 80 และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-70 เพราะจะไม่ทำให้เมล็ดข้าวสุกแตกบานและเหนียวติดกัน (Howland, 1972)

ในการศึกษาผลของระดับความดันสุญญากาศต่อคุณภาพของข้าวที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศของงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การลดความดันสุญญากาศลงที่ระดับ 500 และ 50 มิลลิบาร์ ทำให้ค่าความพรุนที่ยอมให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่าน (ε_e) ในเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 1) และช่วยผลักดันสารสกัดกระเจี๊ยบเข้าสู่เมล็ดข้าวได้มากกว่าการแช่ในสภาวะปกติ (1013.25 มิลลิบาร์) โดยการลดความดันที่ระดับ 50 มิลลิบาร์ทำให้มีปริมาณสารสกัดกระเจี๊ยบที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว (X) เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าการแช่ข้าวในสารสกัดที่ระดับความดัน 500 และ 1013.25 มิลลิบาร์ ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของอภิสรา และคณะ (2559) ที่ได้มีการเสริมโปรตีนนมในข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งผลการทดลองพบว่าการลดระดับความดัน

สุญญากาศมีผลทำให้การแทรกซึมของโปรตีนนมเข้าสู่เมล็ดข้าวมีปริมาณมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในชิ้นอาหาร โดยในระหว่างกระบวนการลดความดัน (Vacuum step) ทำให้ของเหลวและอากาศที่อยู่ในรูพรุนของเมล็ดข้าวเกิดการขยายตัวในขณะที่เกิดการหดตัวของ Plasmalemma และผนังเซลล์เกิดการผิดรูปทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ และในกระบวนการภายใต้ความดันปกติ (Relaxation step) เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนระหว่างอากาศและของเหลวเนื่องจาก Capillary flow อีกทั้งยังเกิดความแตกต่างของ Chemical potential ระหว่างเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semi-permeable membrane) ระหว่างอาหารและสารละลายสารสกัดกระเจี๊ยบซึ่งมีผลมาจากแรงขับเคลื่อนของการถ่ายโอนมวล (Zhao & Xie, 2004)

ข้าวเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดพืชสมุนไพรจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มข้าวเสริมโภชนาการหรือข้าวอนามัยที่มีการเสริมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลงไปในข้าว ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวได้อีกทางหนึ่ง ในปัจจุบันมีการจำหน่ายข้าวเสริมสารสมุนไพรหลายชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นข้าวที่เคลือบด้วยสารสมุนไพรด้วยกระบวนการ Fluidized bed และการพ่นเคลือบด้วยเครื่องแบบกระทะหมุน ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่ต้องใช้ระยะเวลาในการเคลือบนาน และสารสกัดจากพืชสมุนไพรจะเคลือบอยู่เพียงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเท่านั้น มีการฟุ้งกระจายของสารเคลือบ เกิดความไม่สม่ำเสมอของสารสกัดสมุนไพรที่เคลือบเมล็ดข้าว และเมล็ดข้าวเกิดการเสียหายในระหว่างกระบวนการเคลือบอีกด้วย การเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบในข้าวขาวด้วยเทคนิค VI เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลักสารต้านอนุมูลอิสระเข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดข้าวได้โดยตรง ใช้เวลาสั้น และสารสำคัญไม่ถูกทำลายจากอากาศและความร้อน ข้าวเสริมสารสกัดกระเจี๊ยบด้วยเทคนิค VI ที่ระดับความดัน 500 และ 50 มิลลิบาร์ ที่ได้จากการทดลองนี้มีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลสูงกว่าการแช่ข้าวในสารสกัดที่ความดันปกติคิดเป็นร้อยละ 73 และร้อยละ 92 ตามลำดับ มีรายงานการพบสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดในดอกกระเจี๊ยบแดง โดยเป็นองค์ประกอบของสารสีในกลุ่มแอนโทไซยานินที่ละลายน้ำมากกว่าร้อยละ 50 และสารประกอบฟีนอลสูงถึงร้อยละ 66 ของปริมาณกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เช่น Crysanghemin, Delphinidin-3-sambubioside, Myricetin และ Hibiscetin และสารในกลุ่มเฟนนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoids) เช่น Orthocoumaric acid, Paracoumaric acid และ Ferulic acid (ญานี และปิยะวิทย์, 2555)

สรุปผลการวิจัย

กระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการเติมสารออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเข้าไปในอาหารชนิดต่างๆ โดยอาศัยระบบสุญญากาศร่วมกับระบบการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายเพื่อให้สารละลายจากภายนอกสามารถแพร่และซึมเข้าไปแทนที่น้ำในรูพรุนของโครงสร้างอาหารได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการนึ่งข้าวนาน 15 นาที ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนซ์และมีค่าความชื้นที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ในกระบวนการ VI และระดับความดันสุญญากาศที่ต่ำลง (500 และ 50 มิลลิบาร์) ช่วยเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดกระเจี๊ยบเข้าสู่โครงสร้างของเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดพืชสมุนไพรในข้าวขาวให้สูงขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เอกสารอ้างอิง

ญานี จินดามัง, และปิยะวิทย์ ทิพรส. (2555). ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) ใน

ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน. **วารสารสุทธิปริทัศน์, 26**(80), 129-146.

ดรุณี มูลโรจน์. (2557). **ข้าวเคลือบสมุนไพร.** หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. แหล่งข้อมูล:http://www.kaset.uru.ac.th/download/doc-download/pdf/ks01-2.pdf. 10 ตุลาคม 2559.

วรรณดี มหรรณพกุล. (2551). **เทคโนโลยีการแปรรูปข้าว การผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง.** สกลนคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และศศิธร มั่นเจริญ. (2555). **การพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

อภิสรา อิ่มหนำ, อรณิชา แช่มประเสริฐ, อรุณรัตน์ ผลาภิรมย์ และอภิรักษ์ เพียรมงคล. (2559). การพัฒนาข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหอมมะลิหักเสริมโปรตีนนมโคโดยเทคนิคแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และการคืนรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องไมโครเวฟ. **FST CMU Research Exercise Journal**, 1-9.

AOAC International. (2000). In **Official Methods of Analysis.** Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Gaithersburg, MD, Method 925.10.

Bao J., Sun, M., & Corke, H., (2004). Analysis of quantitative trait loci for some starch properties of rice (*Oryza sativa L.*): thermal properties, gel texture and swelling volume. **Cereal Science**, 39, 379-385.

Carlson, R. A., Roberts, R. L., & Farkas, D.F. (1976). Preparation of quick – cooking rice products using a centrifugal fluidized bed. **Journal of Food Science**, 41(15), 1172-1179.

Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmo-pretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apple (Fuji). **LWT-Food Science and Technology**, 41, 1575-1585.

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**. Tech Europe. Croatia. 25-56.

Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yaamamoto, K., Yasuda, K., Mori, M., & Tsuda, M. (2011). Ascobic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. **Food Chemistry**, 127, 1114-1118.

Howland, R. F. (1972). Quick cooking ice product and process for preparing same. **United States Patent Office** no. US3694226 A.

Krasaekoopt, W., & Suthanwong, B. (2008). Vacuum impregnation of probiotics in fruit pieces and their survival during refrigerated storage. **Kasetsart Journal.** 42, 723-731.

Luque-Rodríguez, J. M., Luque de Castro, M. D., & Perez-Juan, P. (2007). Dynamic superheated liquid extraction of anthocyanins and other phenolics from red grape skins of wine making residues. **Bioresource Technology**, **98**(14), 2705-2713.

Maier, T., Schieber, A., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2009). Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as a valuable source of phenolic antioxidants. **Food Chemistry**, **112**, 551–559.

Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Paloub, E., & Welti-Chanes, J. (2003). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: Effect of the vacuum pressure and syrup

concentration. **Journal of Food Engineering**, **57**, 305-314.

Paes, S. S., Yakimets, I. & Mitchell, J. R. (2008). Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. **Food Hydrocolloids**, **22**(5), 788-797.

Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T. I. (2013a). Physical properties of impregnated cantaloupe and apple affected by different pressure levels. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**, **1(**4), 163-171.

Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T. I. (2013b). **Development of lactobacillus enriched intermediate moisture fruit products.** VBFoodNet 2013 Conference; Postharvest Technology, Food Chemistry and Processing: "Developing The Supply Chain Towards More Healthy Food". Hanoi University of Agriculture. Hanoi. Vietnam. November 11-13, 2013.

Rongkom, H., Phianmongkhol, A., & Wirjantoro, T. I. (2013c). **Influence of fruit sizes and vacuum impregnation condition on the physical properties of cantaloupe and apple.** 13th ASEAN Food Conference. Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability. Singapore Expo. Singapore. September 9-11, 2013.

Song, B .S., Park, J. N., Lee J. W., Kim, J. K., & Kim, J. H. (2013). Optimization of processing conditions to improve the rehydration and sensory properties of freeze-dried cooked rice. **Journal of Food Processing and Preservation.** 38: 1244–1250.

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Suzuki, T., Minaei, S., & Latifi, A. (2015) . Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. **International Journal of Food Engineering**, **11**(4), 547-556.

Weibye, B. (1983). Quick cooking and process for making the same. United States Patent. 4,385,074.

Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science and Technology**, 15, 434–451.