

ผลของการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพการหุงสุกของข้าวเหนียวหนึ่ง

Impact of soaking in sodium chloride solution on physicochemical properties and cooking quality of parboiled glutinous rice

ปัทวิทย์ ลอยพิมาย^{1*}, กุหลาบ สิริสุขวนจิก¹ และ ชไมพร จันทร์ดำ¹

Patiwit Loypimai^{1*}, Kulab Sittisuanjick¹ and Chamaiporn Jundum¹

บทคัดย่อ: โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีคุณสมบัติเป็นสารทำให้เปียก และนิยมนำมาใช้ในการถนอมอาหารอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ในระหว่างขั้นตอนการแช่ต่อ สมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพการหุงสุกของข้าวเหนียวหนึ่ง โดยนำตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกมาแช่ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0% (วิธีการดั้งเดิม), 1%, 2%, 3%, 4% และ 5% (w/v) เพื่อให้เมล็ดมีปริมาณ ความชื้น $28 \pm 2\%$ (น้ำหนักเปียก) ก่อนทำการนึ่งและทำแห้ง ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ทำให้อัตราการดูดซับน้ำ อัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุก และเวลาในการหุงสุก ไม่แตกต่างจากตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เตรียม จากวิธีการดั้งเดิม (แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0%) แต่สามารถลดระยะเวลาในการแช่ลดลงถึง 50% และค่าสี และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัวกันของเมล็ด รสชาติ และความชอบโดยรวมดีกว่าเปรียบเทียบกับวิธีการ ดั้งเดิม

คำสำคัญ: ข้าวเหนียว, ข้าวหนึ่ง, สารทำให้เปียก, โซเดียมคลอไรด์

ABSTRACT: Sodium chloride (NaCl), a wetting agent is widely used to preserve various foods in food industry. The objective of this study was to investigate the effect of NaCl during the soaking step on physicochemical properties and cooking quality of parboiled glutinous rice. Paddy rice samples were soaked in 0% (conventional method), 1%, 2%, 3%, 4% and 5% (w/v) NaCl solutions in order to reach a suitable moisture content of $28 \pm 2\%$ (wet basis) before steaming and dehydrating, respectively. The results showed that as the concentration of NaCl solution increased, the soaking time was reduced and visual color value improved. The sample soaked in 2% NaCl solution had similar the head rice yield, water uptake, elongation ratio, and cooking time when compared to that of parboiled rice prepared by the conventional method (soaking in 0% NaCl solution), but had lower soaking time (up to 50%), better color (lightness or whiteness) and higher sensory scores in color, adhesiveness, flavor and overall acceptability.

Keywords: Glutinous rice, parboiled rice, wetting agent, NaCl

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, แขวงหิรัญบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

Division of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajaphat University, Dhonburi, Bangkok 10600 Thailand.

* Corresponding author: Patiwit.loypimai@gmail.com

บทนำ

ข้าวเหนียว (*Oryza sativa* L.) เป็นข้าวที่มีคุณภาพในการหุงต้มอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม นิยมเพาะปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ของทุ่งกุลาร้องไห้ (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006) ก่อนการบริโภคนิยมนำข้าวเหนียวมาผ่านกระบวนการขัดสีแยกชั้นรำออกเหลือเฉพาะส่วนของข้าวขาว (starchy endosperm) ทำให้สูญเสียคุณค่าสารอาหาร (valuable nutrients) และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ไปกับชั้นรำ (Loypimai et al., 2009; Sareepuang et al., 2008) กระบวนการนี้ (parboiling process) เป็นวิธีการทางเลือกหนึ่งที่ช่วยเพิ่มคุณค่าสารอาหารให้กับข้าว ในปัจจุบัน ประเทศในแถบเอเชีย โดยเฉพาะเอเชียใต้ นิยมบริโภคข้าวนี้มากกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสี เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสเหนียวน้อยกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการนี้ มีคุณค่าสารอาหารสูงและขอบรสชาติดั้งเดิม (Oli et al., 2014) ปัจจุบัน เหล่านี้ส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตข้าวนี้สูงถึง 20-50% ของปริมาณข้าวทั่วโลก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Bhattacharya, 2004) ในปัจจุบัน การผลิตข้าวนี้ของประเทศไทยกำลังประสบผลสำเร็จ และได้ส่วนแบ่งตลาดโลกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตลาดในประเทศแอฟริกาใต้ เอเชีย ตะวันออกกลาง และยุโรป (Thammapat et al., 2016; Parnsakhorn and Noomhorm, 2008) โดยทั่วไป กระบวนการทำข้าวนี้จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ นำเมล็ดข้าวเปลือกมาแช่น้ำเป็นเวลาประมาณ 1-2 วัน เพื่อให้เมล็ดอืดตัวหรือมีปริมาณความชื้น $28 \pm 2\%$ (น้ำหนักเปียก) จากนั้น ทำให้แบ่งข้าวในเมล็ดเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) ด้วยการให้ความร้อนขึ้นและทำแห้งผลิตภัณฑ์จนปริมาณความชื้นเหมาะกับการขัดสีและเก็บรักษา (Sareepuang et al., 2008; Ayamdoo et al., 2013) แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการดั้งเดิมนี้ โดยเฉพาะขั้นตอนการแช่ (soaking step) ใช้เวลานาน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายได้

เมล็ดข้าวมีสีซีด การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดการหมัก และสารที่หักกั้นและรสชาติไม่พึงประสงค์ (Ali et al., 1976) ดังนั้น การพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการนี้เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว และการผลิตข้าวนี้สำหรับเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะข้าวเหนียว จึงมีความสำคัญ และเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมอาหาร

โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) หรือเกลือแกง นิยมนำมาใช้ในการถนอมอาหารและป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและก่อโรคในอาหาร (pathogenic bacteria) นอกจากนี้ โซเดียมคลอไรด์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารทำให้เปียก (wetting agent) มีประโยชน์ช่วยในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Thammapat et al., 2016) การประยุกต์ใช้กับการเตรียมข้าวนี้จึงน่าจะช่วยลดระยะเวลา คงคุณภาพ และคุณค่าสารอาหารในข้าวได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้โซเดียมคลอไรด์ในกระบวนการทำข้าวนี้ และศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพการหุงสุกของข้าวเหนียวนี้

วิธีการศึกษา

วัตถุดิบ

ตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (*Oryza sativa* L.) ที่มาจากโรงสีข้าว ตำบลหนองหมาผ่าย อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ทำการเพาะปลูกระหว่างเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) ขนาดบรรจุ 25 กิโลกรัม และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) นาน 2 เดือน ก่อนทำการทดลอง

กรรมวิธีการเตรียมข้าวนี้ (parboiling)

นำตัวอย่างข้าวเปลือกมาทำความสะอาด เพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้น ชั่งตัวอย่างข้าวเปลือก 200 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 0

(ชุดควบคุม), 1, 2, 3, 4 และ 5% (%w/v) ในบีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร หลังจากตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้น $28 \pm 2\%$ (น้ำหนักเปียก) นำมาให้ความร้อนขึ้นด้วยหม้อความดัน (ยี่ห้อ Hirayama, HVE-50, ประเทศญี่ปุ่น) ที่อุณหภูมิ 110°C นาน 15 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที (Sareepuang et al., 2008) จากนั้น นำตัวอย่างข้าวหนึ่งมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert, OLM-500, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 10 ชั่วโมง หรือให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับ $13 \pm 1\%$ (น้ำหนักเปียก) หลังจากนั้น นำตัวอย่างข้าวเปลือกหนึ่งทั้งหมดมาทำการขัดสีด้วยเครื่องสีข้าว (ยี่ห้ออุลิตทวิชัย รุ่น DSA-304A, ประเทศไทย) ที่ระดับการขัดสี (degree of milling) $8 \pm 1\%$ เพื่อให้ได้ตัวอย่างข้าวหนึ่งและคำนวณหาปริมาณต้นข้าว (head rice) และปลายข้าวหัก (broken rice) คิดเป็นร้อยละของข้าวหนึ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ มีการเปรียบเทียบกับข้าวหนึ่งที่เตรียมจากวิธีการดั้งเดิม

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นระหว่างการแช่เมล็ดข้าวเปลือก

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการแช่เมล็ดข้าวเปลือก โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือก 200 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 0 (ชุดควบคุม), 1, 2, 3, 4 และ 5% (%w/v) ในบีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้น ทำการสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกครั้งละ 10 กรัม ในแต่ละช่วงเวลา 0, 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240, 300 และ 360 นาที เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000)

วิเคราะห์ร้อยละการดูดซับน้ำ (water uptake)

นำตัวอย่างข้าวหนึ่งมา 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มให้น้ำเดือด ($95-100^{\circ}\text{C}$) ด้วยเตาให้ความร้อน (Sareepuang et al., 2008) เป็นเวลานาน 15 นาที นำตัวอย่างข้าวสุก ไปชั่งน้ำหนัก แล้วแทนในสมการเพื่อคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ

$$\text{Water uptake (\%)} = \frac{(C_c - C_{uc})}{C_c} \times 100$$

เมื่อ C_c = น้ำหนักตัวอย่างข้าวหนึ่งสุก (กรัม)

C_{uc} = น้ำหนักตัวอย่างข้าวหนึ่งก่อนทำสุก (กรัม)

วิเคราะห์อัตราการยืดตัว (elongation ratio) ของข้าวสุก

นำตัวอย่างข้าวหนึ่งเต็มเมล็ดมา 5.0 กรัม ทำการวัดความยาวของเมล็ดข้าว จากนั้น นำไปใส่ใน บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร นำไปต้ม ($95-100^{\circ}\text{C}$) โดยใช้เวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างข้าวสุกไปวัดความยาว เปรียบกับก่อนการหุงสุก แทนในสมการดังนี้

$$\text{การยืดตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวก่อนหุงสุก (มิลลิเมตร)}}{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวสุก (มิลลิเมตร)}}$$

วิเคราะห์เวลาการหุงสุก (cooking time)

โดยใช้น้ำกลั่นอุณหภูมิ ($98-100^{\circ}\text{C}$) ประมาณ 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ตัวอย่างข้าว 5.0 กรัม ลงไปในน้ำเดือด หลังจากเวลาการหุงสุก 10 นาที และในทุกนาที ทำการวัดค่าการหุงสุกโดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวครั้งละ 10 เมล็ด และกวดระหว่างแผ่นกระจกสองแผ่นที่สะอาด (Sareepuang et al., 2008)

วิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

วิเคราะห์วัดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวหนึ่ง โดยชั่งตัวอย่างข้าวหนึ่งที่ได้จากสภาวะในการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ตัวอย่างละ 100 กรัม และเติมน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) 300 มิลลิลิตร ลงไปในหม้อหุงข้าวสุกแบบอัตโนมัติ (ยี่ห้อ Home Leader รุ่น RC-116) หลังจากการหุงสุกทิ้งไว้นาน 20 นาที จากนั้น ชั่งตัวอย่างข้าวที่หุงมา 15.0

กรัม ใส่ลงไปนในถ้วยพลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร กดตัวอย่างเบาๆ เพื่อให้ลอยอากาศ และให้ผิวหน้าสม่ำเสมอที่ความสูง 2.5 เซนติเมตร จากนั้นถ้วย จากนั้น นำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (รุ่น TAXT plus UK) โดยเลือกใช้หัววัดสแตนต์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มิลลิเมตร ปรับความเร็วขณะวัดเป็น 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตั้งค่า stain 50% รายงานค่าที่วัดได้รายงานผลเป็นค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเกาะตัวกัน (adhesiveness) ค่าความเหนียวแน่น (cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าความเหนียวเป็นยาง (gumminess) ค่าความเหนียวในการเคี้ยว (chewiness) และค่าความหนืด (stickiness)

วัดค่าสี (color value)

วิธีการวัดค่าสีตัวอย่างข้าวหนึ่ง นำตัวอย่างมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-100 ประเทศญี่ปุ่น) ผลที่ได้แสดงค่าออกมาในรูปของค่า L^* , a^* , b^* , และ ΔE (CIE Lab system) ซึ่งค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง a^* แสดงถึงค่าสีแดง b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง และค่า ΔE คือ ค่าแสดงความแตกต่างของสีซึ่งหาความสัมพันธ์ได้จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_1^*)^2 + (a_0^* - a_1^*)^2 + (b_0^* - b_1^*)^2}$$

L_0^*, a_0^*, b_0^* = ค่าของตัวอย่างข้าวหนึ่งแบบดั้งเดิม
 L_1^*, a_1^*, b_1^* = ค่าของตัวอย่างข้าวหนึ่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำวิเคราะห์คุณภาพการหุงสุกตามวิธีของ Yau and Huang (1996) ที่มีการดัดแปลงเล็กน้อย นำตัวอย่างข้าวหนึ่งสุก (เตรียมจากวิธีการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส) ทำการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้ผู้ทดสอบกับบุคลากร นิสิตนักศึกษา และคณาจารย์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ

บ้านสมเด็จพระนเรศวรมหาราช ที่คุ้นเคยกับการบริโภคข้าวเหนียว จำนวน 30 คน ทำการประเมินความชอบและการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น การเกาะตัวของเมล็ด เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของตัวอย่างข้าวหนึ่ง โดยใช้สเกลการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยกำหนดให้ 9 คือ ชอบมากที่สุด และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis)

ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA and one way ANOVA in RCBD) ด้วยโปรแกรม SPSS version 16.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ตามวิธีของ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นระหว่างการแช่เมล็ดข้าวเปลือก

จากการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อระยะเวลาในการแช่อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Figure 1) โดยที่ระดับความเข้มข้นของ 5% NaCl ใช้ระยะเวลาการแช่สั้นที่สุดเท่ากับ 398 นาที (6.63 ชั่วโมง) เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับ $28 \pm 2\%$ (น้ำหนักเปียก) รองลงมาคือ ระดับความเข้มข้น 4, 3, 2 และ 1% ซึ่งใช้ระยะเวลาในการแช่เท่ากับ 517 นาที (8.61 ชั่วโมง) 712 นาที (11.88 ชั่วโมง) 752 นาที (12.53 ชั่วโมง) และ 768 นาที (12.80 ชั่วโมง) ตามลำดับ ในขณะที่วิธีการแบบดั้งเดิม หรือระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 ใช้ระยะเวลาในการแช่นานถึง 1440 นาที (24 ชั่วโมง) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากโซเดียมคลอไรด์มีคุณสมบัติเป็นสารทำให้เปียก จึงส่งผลทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ระหว่างการแช่เพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าการแช่ในน้ำ (Parnsakhorn and Noomhorm, 2008) ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก

ของการแช่แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึงระดับความชื้นอิ่มตัว เมื่อเวลาการแช่ผ่านไป 180 นาที โดยความชื้นเริ่มต้น (ก่อนการแช่) คือ 10.62% และความชื้นสุดท้าย (ความชื้นอิ่มตัว) เท่ากับ 28.07% (กรกฤต, 2551) แต่อย่างไรก็ตาม การแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ช่วยลดระยะเวลาในการแช่ได้ถึง 46.3-72.4% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม

ปริมาณต้นข้าว (head rice)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณต้นข้าว ที่ได้จากกราดสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

(Figure 2) โดยที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 1 และ 2% ต้นข้าวมีปริมาณสูงสุด ($P<0.05$) เท่ากับ 69.2, 68.2 และ 66.8% ตามลำดับ รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 3% โดยมีปริมาณต้นข้าวเท่ากับ 61.2 ในขณะที่ที่ความเข้มข้น 5% ต้นข้าวมีปริมาณต่ำสุด ($P<0.05$) เท่ากับ 56.4% ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของการเกิดเจลของแป้งในเมล็ดข้าวเปลือก โดยที่ความเข้มข้นสูง (4 และ 5%) อาจมีผลต่อการยับยั้งกระบวนการเกิดเจลของเมล็ดข้าวเปลือกในระหว่างการให้ความร้อน และความแข็งแรงของโครงสร้างเมล็ด เมื่อนำตัวอย่างข้าวหนึ่งไปทำการขัดสี จึงทำให้เมล็ดข้าวแตกหัก ทำให้ได้ปริมาณต้นข้าวต่ำ (Bhattacharya, 1985)

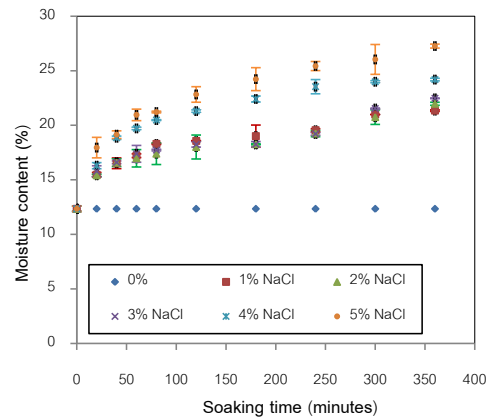


Figure 1 Moisture content (%) of rough rice samples during soaking in NaCl solutions of different concentrations (% w/v). The same letter above columns indicates there is no significant difference ($P<0.05$). The vertical bars on each column indicate the standard deviation

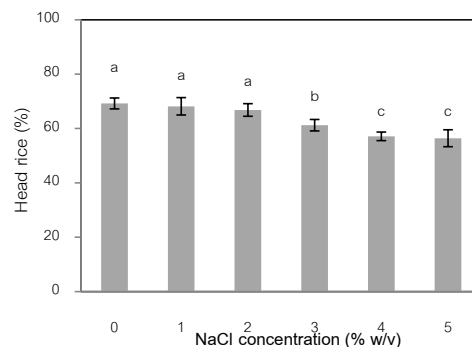


Figure 2 Percent head rice after milling of parboiled rice previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v). The same letter above columns indicates there is no significant difference ($P<0.05$). The vertical bars on each column indicate the standard deviation.

การดูดซับน้ำ (water uptake) และอัตราการยืดตัว (elongation ratio) ของข้าวหนึ่งสุก

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้ำและอัตราการยืดตัวของข้าวสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figures 3A-B) โดยตัวอย่างข้าวหนึ่งที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่าการดูดซับน้ำ (47.1-49.4%) สูงกว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งที่แช่ในน้ำ ($P < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.7% ในขณะที่อัตราการยืดตัวของข้าวสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นสูง (4 และ 5%) ช่วยชะลอกระบวนการเกิดเจลลาคีโนเซชันของข้าวหนึ่ง ทำให้เม็ดแป้งภายในเกิดเจลลาคีโนเซชันไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ข้าวสุกมีอัตราการยืดตัวต่ำ ทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Gil and Yoo (2014) ที่รายงานไว้ว่าอุณหภูมิของ

เกิดเจลลาคีโนเซชัน (T_0 , T_p , และ T_c) ของแป้งมันเทศมีค่าเพิ่มขึ้น และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเป็นเจลลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ แต่อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างข้าวหนึ่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1, 2 และ 3% มีค่าไม่แตกต่างจากตัวอย่างข้าวหนึ่งที่แช่ในน้ำ เป็นที่สังเกตว่า อัตราการยืดตัวของข้าวสุกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่าผลการศึกษานี้ของ กรกฤต (2551) รายงานไว้ว่า ตัวอย่างข้าวหนึ่งมีอัตราการยืดตัวของข้าวเมล็ดสุกอยู่ในช่วง 1.04-1.09 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยเช่น วิธีการผลิตข้าวหนึ่ง ความสมดุลของสตาร์ช ระดับการขัดสี และการเกิดเจลลาคีโนเซชันของข้าวหนึ่งที่แตกต่างกัน (Bhattacharya, 1985; Sareepuang et al., 2008; Thammapat et al., 2016)

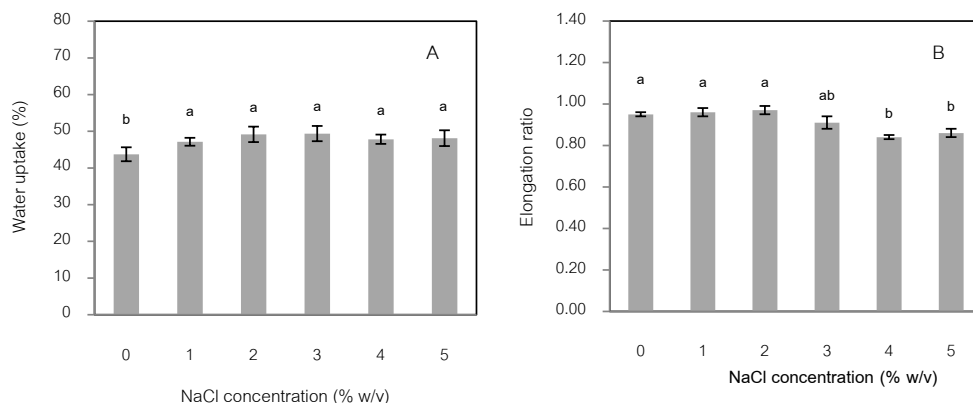


Figure 3 Percent water uptake (A) and elongation ratio (B) of parboiled rice previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v). The same letter above columns indicates there is no significant difference ($P < 0.05$). The vertical bars on each column indicate the standard deviation.

เวลาการหุงสุก (cooking time)

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่ส่งผลต่อเวลาการหุงสุกของข้าวหนึ่ง โดยที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3% เวลาในการหุงสุก (14 นาที) เร็วกว่าที่ระดับความเข้มข้น 4 และ 5% (15 นาที) และให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการแบบดั้งเดิม (Figure 4) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นสูง (4 และ 5%)

ส่งผลต่อโครงสร้างของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีโนเซชันของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่า ระยะเวลาในการหุงสุกนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก หากอุณหภูมิแป้งสุกมีค่าต่ำ ระยะเวลาในการหุงสุกจะเร็วกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง (Juliano, 1985) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีผล

ต่ออุณหภูมิของการเกิดเจลลาทีนซ์ของข้าวหนึ่ง (กล่าวไว้ก่อนหน้า) ทำให้เวลาการหุงสุกแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้ ตัวอย่างข้าวหนึ่งที่แช่ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ จะมีค่าการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันก็ตาม

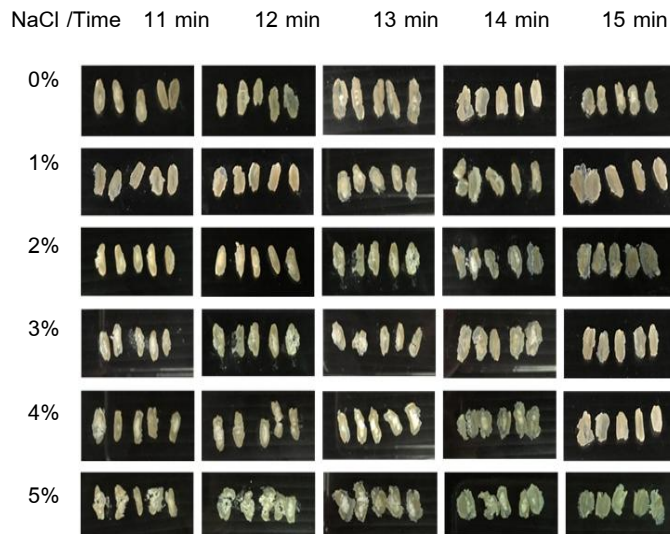


Figure 4 Cooking time of parboiled rice previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v)

คำสี

คำสีเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของข้าวหนึ่งและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการแช่มีผลต่อค่า L^* , b^* และ ΔE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) โดยค่า L^* , b^* และ ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a^* มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ช่วยเร่งการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ระยะเวลาในการแช่ลดลง และสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ จึงทำให้ L^* มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่วิธีการดั้งเดิม (การแช่น้ำ ซึ่งเป็นชุดควบคุม) ทำให้ L^* มีค่าต่ำสุด นอกจากนี้ การแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์อาจช่วยเพิ่มความเข้มของสีเหลือง ส่งผลทำให้ b^*

มีค่าสูงกว่าตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เตรียมจากวิธีการดั้งเดิม ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่า สารสี (pigment) ในรำและแกลบสามารถกระจายเข้าไปในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ในระหว่างการแช่ (Subrahmanyam et al., 1938) แต่อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างข้าวหนึ่งที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่า ΔE เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากค่า L^* และ b^* ที่เพิ่มขึ้น สะท้อนให้เห็นว่า การผลิตข้าวหนึ่งด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสี (lightness or whiteness) ของข้าวหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตข้าวหนึ่งแบบดั้งเดิม ในการศึกษาต่อไป ควรศึกษาโดยใช้เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential scanning calorimeter, DSC) เพื่อหาเหตุผลอธิบายในการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพให้ชัดเจนมากขึ้น

Table 1 Visual color of parboiled rice previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v)

NaCl conc. (% w/v)	Color value			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
0 (control)	50.13 $\pm$ 2.12 ^c	3.12 $\pm$ 0.08	21.24 $\pm$ 1.31 ^c	-
1	55.34 $\pm$ 2.45 ^{bc}	3.29 $\pm$ 0.18	23.15 $\pm$ 2.08 ^{bc}	4.29 $\pm$ 0.38 ^c
2	57.25 $\pm$ 1.25 ^b	3.31 $\pm$ 0.34	24.16 $\pm$ 1.61 ^b	5.64 $\pm$ 0.57 ^b
3	59.09 $\pm$ 2.11 ^b	3.27 $\pm$ 0.51	24.25 $\pm$ 1.37 ^b	5.89 $\pm$ 0.62 ^b
4	62.21 $\pm$ 2.35 ^a	3.30 $\pm$ 0.08	25.03 $\pm$ 2.27 ^a	6.31 $\pm$ 0.42 ^a
5	64.42 $\pm$ 3.07 ^a	3.25 $\pm$ 0.22	24.87 $\pm$ 1.23 ^a	6.43 $\pm$ 0.36 ^a

Values are means $\pm$ SD of triplicate samples (n = 3)

Values with the same columns in the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$)

เนื้อสัมผัส

หลังจากนำตัวอย่างข้าวหนึ่งหุงสุกมาทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วย texture analyzer พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างการแช่ส่งผลต่อค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียวเป็นยาง และความเหนียวในการเคี้ยวของตัวอย่างข้าวหนึ่งหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (Table 2) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ส่งผลต่อความสามารถในการเกิดเจลลิตีในเซชันและการคืนตัวของสตาร์ช (retrogradation) หลังการหุงสุก ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และทำให้ค่าที่เหลือนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเกาะตัวกันและความหนืดของตัวอย่างข้าวหนึ่งหุงสุกมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) โดยมีค่าใกล้เคียงกับข้าวหนึ่งหุงสุกที่เตรียมจากวิธีการดั้งเดิม

Table 2 Textural profile of parboiled rice samples previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v)

NaCl conc. (% w/v)	Textural profile analysis (TPA)						
	Hardness (N)	Adhesiveness (N/s)	Cohesiveness	Springiness	Gumminess	Chewiness	Stickiness (N)
0	71.87 $\pm$ 0.97 ^c	4.49 $\pm$ 0.06	0.52 $\pm$ 0.01	0.60 $\pm$ 0.01 ^b	3.90 $\pm$ 0.02 ^d	1.77 $\pm$ 0.69 ^f	1.47 $\pm$ 0.01
1	86.80 $\pm$ 0.21 ^b	4.39 $\pm$ 0.03	0.53 $\pm$ 0.02	0.69 $\pm$ 0.02 ^b	3.46 $\pm$ 0.05 ^d	1.81 $\pm$ 0.12 ^e	1.54 $\pm$ 0.01
2	84.58 $\pm$ 0.80 ^b	4.68 $\pm$ 0.02	0.56 $\pm$ 0.01	0.68 $\pm$ 0.01 ^b	3.82 $\pm$ 0.11 ^d	2.64 $\pm$ 1.16 ^d	1.51 $\pm$ 0.02
3	89.86 $\pm$ 0.72 ^b	4.65 $\pm$ 0.03	0.56 $\pm$ 0.01	0.87 $\pm$ 0.02 ^a	5.05 $\pm$ 0.15 ^c	3.74 $\pm$ 0.08 ^c	1.46 $\pm$ 0.03
4	122.90 $\pm$ 2.69 ^a	5.10 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.02	0.93 $\pm$ 0.01 ^a	6.02 $\pm$ 0.38 ^b	5.60 $\pm$ 0.26 ^b	1.44 $\pm$ 0.02
5	123.54 $\pm$ 2.30 ^a	5.04 $\pm$ 0.05	0.57 $\pm$ 0.01	0.99 $\pm$ 0.01 ^a	7.93 $\pm$ 0.28 ^a	7.47 $\pm$ 0.37 ^a	1.58 $\pm$ 0.01

Values are means $\pm$ SD of triplicate samples (n = 3)

Values with the same columns in the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำตัวอย่างข้าวหนึ่งหุงสุกมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัวกันของเมล็ด เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ของข้าวหนึ่งหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Table 3) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น ($P \geq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความชอบด้านสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3, 4 และ 5% ทำให้คะแนนความชอบมีค่า

สูงสุด ($P < 0.05$) เท่ากับ 7.49, 7.56 และ 7.87 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านการเกาะตัวกันของเมล็ด เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าสูงสุดในตัวอย่างข้าวหนึ่งหุงสุกที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 และ 2% โดยมีค่าสูงกว่าวิธีการผลิตข้าวหนึ่งแบบดั้งเดิมด้วย จากผลการวิจัยนี้แนะนำให้ โซเดียมคลอไรด์นอกจากเป็นสารทำให้เปียกแล้ว ยังมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาผลกระทบของปริมาณการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคเพิ่มเติม

Table 3 Sensory scores of parboiled rice samples previously soaked in NaCl solutions of different concentrations (% w/v)

NaCl conc. (% w/v)	Color	Odor	Stickiness	Texture	Flavor	Overall acceptability
0	5.83 $\pm$ 1.46 ^c	6.90 $\pm$ 1.18	6.70 $\pm$ 1.34 ^b	6.47 $\pm$ 1.14 ^a	6.03 $\pm$ 1.86 ^c	6.00 $\pm$ 2.10 ^c
1	5.70 $\pm$ 0.81 ^d	6.93 $\pm$ 0.68	6.73 $\pm$ 1.14 ^{ab}	6.38 $\pm$ 1.03 ^a	6.43 $\pm$ 0.86 ^{ab}	7.17 $\pm$ 1.17 ^a
2	6.97 $\pm$ 0.81 ^{bc}	6.91 $\pm$ 0.70	6.93 $\pm$ 0.83 ^a	6.41 $\pm$ 1.24 ^a	6.66 $\pm$ 0.73 ^a	7.27 $\pm$ 1.11 ^a
3	7.49 $\pm$ 0.94 ^{ab}	6.89 $\pm$ 2.26	6.83 $\pm$ 1.10 ^a	6.43 $\pm$ 1.21 ^a	6.80 $\pm$ 1.68 ^a	6.63 $\pm$ 1.35 ^b
4	7.56 $\pm$ 1.18 ^{ab}	7.03 $\pm$ 0.81	5.53 $\pm$ 0.78 ^c	5.97 $\pm$ 0.71 ^b	6.17 $\pm$ 0.82 ^b	6.57 $\pm$ 1.33 ^b
5	7.87 $\pm$ 1.01 ^a	6.94 $\pm$ 1.64	5.23 $\pm$ 0.94 ^d	5.47 $\pm$ 0.51 ^b	6.23 $\pm$ 1.17 ^b	6.40 $\pm$ 0.81 ^b

Values are means $\pm$ SD of triplicate samples (n = 30)

Values with the same columns in the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$)

สรุป

การวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ในการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในขั้นตอนการแช่ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายนี้ทำให้ระยะเวลาในการแช่ลดลง และค่าสีของข้าวหนึ่งดีขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 2% ปริมาณต้นข้าว อัตราการดูดซับน้ำ อัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุก และเวลาในการหุงสุกไม่แตกต่างจากตัวอย่างข้าวหนึ่งที่เตรียมจากวิธีการดั้งเดิม แต่สามารถลดระยะเวลาในการแช่ได้สูงถึง 50% และช่วยปรับปรุงค่าสี คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี การเกาะตัวกันของเมล็ด รสชาติ และ

ความชอบ และการยอมรับโดยรวม ให้ดีกว่าวิธีการดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษผลกระทบของการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อคุณค่าสารอาหารอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น วิตามินอี รวมทั้งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ภาวะความดันโลหิตสูง เป็นต้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

- กรกฤต สารีพวง. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตและคุณภาพด้านกายภาพด้านเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวหนึ่งกล้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- Ali, N., and T. P. Ojha. 1976. Parboiling technology. pp. 163-201. In: E. V. Araullo, D. B. Depadua, and M. Graham. Rice Postharvest Technology. International Development Research Center, Ottawa.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Ayamdoo, A. J., D. Demuyakor, W. Dogbe, R. Owusu, and M. A. Ofosu. 2013. Effect of varying parboiling conditions on physical qualities of Jasmine 85 and Nerica 14 rice varieties. Am. J. Food Technol. 8: 31-42.
- Bhattacharya, K. R. 2004. Parboiling of rice. pp. 329-404. In: E. T. Champagne. Rice Chemistry and Technology. 3rd Edition. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Bhattacharya, K.R. 1985. Parboiling of rice. pp. 289-348. In: B.O. Juliano. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Gil, B., and B. Byoungseung. 2014. Effect of salt addition on gelatinization and rheological properties of sweet potato starch-xanthan gum mixture. Starch – Stärke. 67(1-2): 117-123.
- Juliano, B. O. 1985. Rice bran. pp. 774. In: B.O. Juliano. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Leelayuthsoontorn, P., and A. Thipayarat. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. Food Chem. 96: 606-613.
- Loypimai, P., A. Moongngarm, and P. Chottanom. 2009. Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3(4): 3642-3652.
- Oli, P., R. Ward, B. Adhikari, and P. Torley. 2014. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. J. Food Eng. 124: 173-183.
- Parnsakhorn, S., and A. Noomhorm. 2008. Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment. Agri. Eng. Int. 10: 1-20.
- Thammapat, P., N. Meeso, and S. Siriamornpun. 2016. Effects of the traditional method and an alternative parboiling process on the fatty acids, vitamin E, γ -oryzanol and phenolic acids of glutinous rice. Food Chem. 194: 230-236.
- Sareepuang, K., S. Siriamornpun, L. Wiset, and N. Meeso. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. World J. Agri. Sci. 4(4): 409-415.
- Subrahmanyam, V., A. Sreenivasan, and H.P. Das. 1938. Studies on quality in rice. Effect of milling on the chemical composition and commercial qualities of raw and parboiled rice. Indian J. Agr. Sci. 8: 459-486.
- Yau, N.J.N., and J.J. Huang. 1996. Sensory analysis of cooked rice. Food Qual. Pref. 7(3): 263-270.