Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 513-516 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 513-516 (2554)

คุณภาพของข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดโดยเทคนิคการเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน

Qualities of turmeric extract coated rice using top-spray fluidized bed coating technique

อาคม ปะหลามานิต[1] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[1], สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[2] และ พัชรี ตั้งตระกูล[3]
Arkom Palamanit[1], Somchart Soponronnarit[1], Somkiat Prachayawarakorn[2] and Patcharee Tungtrakul[3]

Abstract

The addition of natural antioxidants onto white rice kernels is an alternative way that can reduce the risks of diseases caused by free radicals. Curcuminoids that present in turmeric tuber are one type of phenolic compounds and they were found to posses antioxidants. Moreover, they are moderately stable to heat. A good-quality rice coating depends on many factors including operating condition. Therefore, the objective of this study was to investigate the effects of drying temperature and spray rate of coating solution on turmeric extract coated rice (TCR) qualities using the batch top-spray fluidized bed coating technique. Coating experiments were performed by spraying turmeric extract solution (4 %w/v) onto the Jasmine white rice kernels (Khao Dawk Mali 105) at spray rates of 34, 40 and 46 mL/min, atomization pressure of 1.5 bar, spray time of 12 min, superficial air velocity of 3.0 m/s and drying temperatures of 50, 55 and 60°C. The results showed that the color of the product was in the rage of reddish-yellow and become more reddish at higher spray rates. The phenolic content and antioxidant capacity of TCR were increased with an increase of spray rate. The coating of turmeric extract did not affect rice texture after cooking, rice texture similar to that of non-coated rice, while the final moisture content of product was strongly influence the textural property since decreasing moisture content of TCR to a low level led to rice fissures, causing the poor texture after cooking. To prevent rice fissures, the moisture content of TCR products after coating should not be lower than 11.8 % wet basis. The drying temperature had a small effect on color, phenolic content and antioxidant capacity of TCR.

Keywords: antioxidant, coated rice producing, fluidized bed coating technique, healthy food

บทคัดย่อ

การเติมสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติให้กับเมล็ดข้าวขาวเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยทำให้ผู้บริโภคมีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระลดลง เคอร์คูมินอยด์เป็นสารที่มีอยู่ในขมิ้นชันและอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิค สารชนิดนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและค่อนข้างทนต่อความร้อน การนำขมิ้นชันสกัดมาเคลือบบนเมล็ดข้าวขาวให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบที่มีคุณภาพดีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เงื่อนไขดำเนินการ สมบัติของวัสดุที่ถูกเคลือบ และสมบัติของสารเคลือบ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขดำเนินการซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอบแห้งและอัตราฉีดพ่นสารเคลือบ ต่อคุณภาพของข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดโดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน การทดลองดำเนินการโดยเคลือบสารละลายขมิ้นชันสกัดซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 4 w/v ลงบนผิวเมล็ดข้าวขาวหอมมะลิ 105 ด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้ ฉีดพ่นสารเคลือบด้วยอัตรา 34, 40 และ 46 mL/min อากาศป้อนเข้าหัวฉีดที่แรงดัน 1.5 bar ฉีดพ่นสารเคลือบเป็นเวลา 12 min อากาศไหลผ่านเบดด้วยความเร็ว 3.0 m/s และมีอุณหภูมิ 50, 55 และ 60ºC พบว่าข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดมีสีเหลืองอมแดง การเพิ่มอัตราฉีดพ่นสารเคลือบทำให้ข้าวเคลือบมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเคลือบเพิ่มขึ้น การนำสารละลายของขมิ้นชันสกัดมาเคลือบบนเมล็ดข้าวขาวไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบหลังการหุง แต่การเพิ่มอุณอบแห้งและลดอัตราฉีดพ่นสารเคลือบจนทำให้ความชื้นของข้าวเคลือบมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.8 มาตรฐานเปียก มีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของข้าวเคลือบหุงสุก เนื่องจากเมื่อความชื้นของข้าวเคลือบลดลงต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะส่งผลทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วเมล็ดข้าวซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักหลังการหุง การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลเล็กน้อยต่อค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและปริมาณสารต้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเคลือบ

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ การผลิตข้าวเคลือบ การเคลือบด้วยเทคนิคแบบฟลูอิไดซ์เบด อาหารสุขภาพ

---

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[1] Energy Technology Division, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
[3] สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University

คำนำ

อนุมูลอิสระ (Free radicals) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรังแบบไม่ติดต่อ (Chronic diseases) เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และโรคมะเร็ง ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) จึงมีบทบาทสำคัญต่อการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายมนุษย์อีกทั้งยังช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าว ข้าวขาวเป็นอาหารที่คนส่วนใหญ่บริโภคเป็นอาหารหลัก แต่ข้าวขาวมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่น้อยมาก การพัฒนาข้าวขาวให้มีสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นโดยการเคลือบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้ผู้บริโภคได้รับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

ขมิ้นชันมีสารเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) ที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าวข้างต้น (Jayaprakasha et al., 2006) เคอร์คูมินอยด์เป็นสารที่ค่อนข้างทนต่อความร้อนทำให้เหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งหรือส่วนผสมของอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนก่อนบริโภค

การเคลือบโดยใช้เทคนิคแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน (Top-spray fluidized bed coating technique) เป็นวิธีการพ่นเคลือบในขณะที่วัสดุกำลังแขวนลอยอยู่ในอากาศทำให้สารเคลือบยึดเกาะอยู่บนผิววัสดุได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ นอกจากนี้แล้วการเคลือบด้วยเทคนิคนี้ยังเป็นทั้งการเคลือบและอบแห้งที่อยู่ภายในเครื่องเดียวกันทำให้วัสดุที่ผ่านการเคลือบมีความชื้นสม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามการเคลือบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เงื่อนไขดำเนินการและสมบัติของสารเคลือบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตัวแปรดำเนินการ ได้แก่ อุณหภูมิอบแห้ง และอัตราฉีดพ่นสารเคลือบ ต่อคุณภาพของข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดโดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน คุณภาพของข้าวที่ผ่านการเคลือบจะพิจารณาจากค่าความชื้น สีของข้าวหลังการเคลือบ ร้อยละการร้าวของเมล็ด ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ด คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิค

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ใช้เครื่องผลิตข้าวเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน ซึ่งเป็นเครื่องผลิตข้าวเคลือบขนาดเล็กและมีลักษณะการทำงานแบบงวด (Batch) ใช้ผลิตข้าวเคลือบได้ครั้งละ 5 kg (อาคม และคณะ, 2552) การเตรียมสารเคลือบทำโดยนำผงขมิ้นชันสกัดปริมาณร้อยละ 4 w/v ละลายในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและปรับความเข้มข้นของเอทานอลให้เหลือร้อยละ 40 โดยปริมาตร ก่อนนำไปใช้ ข้าวสารที่ใช้ทดลองเป็นข้าวขาวหอมมะลิ 105 มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 12.5 มาตรฐานเปียก การทดลองนี้มีเงื่อนไขดำเนินการดังต่อไปนี้ อากาศที่ป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตข้าวเคลือบมีอุณหภูมิ (Temp.) 50, 55 และ 60°C ฉีดพ่นสารเคลือบด้วยอัตรา (Sr) 34, 40 และ 46 mL/min อากาศที่ป้อนเข้าหัวฉีดมีแรงดัน 1.5 bar ระยะเวลาที่ฉีดพ่นสารเคลือบ 12 min ระยะเวลาที่อบแห้งหลังหยุดฉีดพ่นสารเคลือบ 5 s ความเร็วของอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ 3.0 m/s และอากาศที่ออกจากเครื่องผลิตข้าวเคลือบนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ข้าวที่ผ่านการเคลือบเรียบร้อยแล้วนำมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4-6°C เพื่อรอการตรวจสอบคุณภาพ

การทดสอบคุณภาพของข้าวเคลือบขมิ้นชันทั้งทางด้านกายภาพและเคมีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ค่าความชื้น หาโดยนำตัวอย่างข้าวเคลือบไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ค่าสีซึ่งได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) วัดด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Color Flex ส่วนค่า Hue angle (H°) ซึ่งแสดงโทนสีของข้าวเคลือบ คำนวณจากสมการ $H° = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ การแตกร้าวของเมล็ดข้าวทดสอบโดยสุ่มเมล็ดข้าวเคลือบที่เต็มเมล็ดมาจำนวน 100 เมล็ด แยกเมล็ดที่มีรอยร้าวออกโดยการมองด้วยตาผ่านแว่นขยายภายใต้การส่องไฟไปที่เมล็ดข้าว ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดทดสอบโดยนำตัวอย่างข้าวเคลือบ 200 g คัดแยกด้วยเครื่อง Indent cylinder รุ่น TRG-05A คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเคลือบหุงสุกทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT Plus คุณภาพทางด้านเคมีซึ่งได้แก่ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity, AC) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิค (Total phenolic compounds, TPC) ทดสอบโดยใช้วิธี DPPH (Onichi et al., 1994) และ Folin-Ciocalteu reagent (Singleton and Rossi, 1965) ตามลำดับ

ผลและวิจารณ์ผล

Table 1 แสดงค่าความชื้น ร้อยละการร้าว และร้อยละของข้าวเต็มเมล็ด ของข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดที่ผ่านการเคลือบโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งและอัตราฉีดพ่นสารเคลือบต่างๆ พบว่าข้าวเคลือบมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11.2-12.8 มาตรฐานเปียก เนื่องจากการเคลือบด้วยเทคนิคแบบฟลูอิไดซ์เบดเป็นทั้งการเคลือบและอบแห้งที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้นการเคลือบข้าวโดยใช้เทคนิคแบบนี้ควรดำเนินการโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งและอัตราฉีดพ่นสารเคลือบที่สอดคล้องกัน เพื่อป้องกัน

ไม่ให้ความชื้นสุดท้ายของข้าวเคลือบลดลงต่ำกว่าร้อยละ 11.8 มาตรฐานเปียก เนื่องจากเมล็ดข้าวเคลือบจะเกิดการแตกร้าวมากกว่าร้อยละ 95 เมื่อความชื้นของข้าวต่ำกว่าค่าดังกล่าว การแตกร้าวของเมล็ดข้าวเคลือบที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กและกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเคลือบ การแตกร้าวของเมล็ดข้าวเคลือบที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากความแตกต่างของความชื้น (Moisture gradient) ที่บริเวณผิวกับภายในเมล็ดข้าวจนก่อให้เกิดแรงเค้น (Stress) ซึ่งเป็นผลทำให้เมล็ดข้าวเกิดการร้าวตามมา (Iguaz et al., 2006) แต่ถึงแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและลดอัตราฉีดพ่นสารเคลือบจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกร้าวมากกว่าร้อยละ 95 แต่ส่งผลทำให้ร้อยละของข้าวเคลือบเต็มเมล็ดลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถึงแม้ว่าเมล็ดข้าวบางส่วนจะเกิดการชนกันในระหว่างที่เกิดฟลูอิไดซ์

Table 1 Moisture content, percentage of fissured kernel and head rice yield of turmeric extract coated rice

Experimental conditions		Moisture content	Fissured kernel	Head rice yield
Temp (°C)	Sr(mL/min)	(% w.b)	(%)	(%)
50	34	12.0±0.1^{f}	6±2^{a,b}	93.6±0.2^{c,d}
	40	12.3±0.0^{g}	5±2^{a}	93.5±0.2^{b,c,d}
	46	12.8±0.0^{i}	9±1^{c}	93.1±0.3^{a,b,c}
55	34	11.6±0.1^{c}	97±2^{d}	93.2±0.2^{a,b,c}
	40	11.9±0.0^{e}	6±2^{a,b}	93.4±0.3^{b,c,d}
	46	12.3±0.0^{g}	5±1^{a}	93.1±0.2^{a,b}
60	34	11.2±0.1^{a}	100±0^{e}	92.8±0.5^{a}
	40	11.3±0.0^{b}	98±2^{d}	93.3±0.2^{b,c,d}
	46	11.8±0.0^{d}	8±1^{b,c}	93.1±0.1^{a,b}
White rice		12.5±0.0^{h}	4±2^{a}	93.7±0.3^{d}

Different superscripts in the same column mean that the mean values are significantly different at $p<0.5$

Table 2 Color of turmeric extract coated rice at different operating conditions

Experimental conditions		L* value	a* value	b* value	Hue angle
Temp (°C)	Sr (mL/min)				(H°)
50	34	72.1±0.2^{e}	12.3±0.3^{c}	73.9±0.5^{c,d}	80.5±0.2^{e}
	40	71.7±0.1^{c,d}	12.9±0.2^{e}	73.1±0.7^{a}	80.0±0.2^{c}
	46	71.2±0.2^{a}	14.2±0.2^{h}	73.6±0.7^{b,c}	79.1±0.1^{a}
55	34	73.1±0.1^{g}	11.8±0.2^{b}	74.0±0.5^{d}	80.9±0.1^{f}
	40	71.7±0.2^{c}	13.1±0.2^{f}	73.6±0.5^{b,c}	79.9±0.1^{c}
	46	71.4±0.2^{b}	14.2±0.3^{h}	73.7±0.7^{c}	79.1±0.2^{a}
60	34	73.8±0.2^{h}	11.3±0.2^{a}	73.7±0.5^{c}	81.3±0.2^{g}
	40	72.8±0.3^{f}	12.5±0.2^{d}	73.3±0.5^{a,b}	80.4±0.2^{d}
	46	71.8±0.2^{d}	13.7±0.3^{g}	73.8±0.5^{c,d}	79.5±0.2^{b}

Different superscripts in the same column mean that the mean values are significantly different at $p<0.5$

ค่าสีของข้าวเคลือบขมิ้นชันแสดงดัง Table 2 พบว่าข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดมีค่า Hue angle (H°) อยู่ในช่วงระหว่าง 79.1-81.3 ซึ่งอยู่ในช่วงของสีเหลืองอมแดง การเพิ่มอัตราฉีดพ่นสารเคลือบทำให้ข้าวเคลือบมีสีเข้มมากขึ้นซึ่งสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และค่า H° ที่ลดลง การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ค่า a^* มีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ปริมาณสารเคลือบเข้ายึดเกาะบนผิวเมล็ดข้าวลดลงซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณ TPC ซึ่งจะกล่าวต่อไปใน Table 3 นอกจากนี้รอยร้าวบนเมล็ดข้าวเคลือบก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อค่า a^* และ b^* เนื่องจากรอยร้าวทำให้เกิดช่องว่างอากาศที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าวและทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะขาวขุ่น ส่งผลทำให้แสงที่ตกกระทบบนเมล็ดข้าวสะท้อนออกไปในลักษณะของรังสีกระจายได้เพิ่มขึ้น โดยไม่ส่งผลทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกไปเปลี่ยนแปลง ข้าวที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธีนี้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ มีความสม่ำเสมอในเรื่องของสีซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งมีค่าน้อยมาก

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเคลือบแสดงดัง Table 3 พบว่าข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคอยู่ในช่วงระหว่าง 21.7-33.0 mg GAE/100 g dry weight of TCR และมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 13.1-17.0 mg BHAE/100 g dry weight of TCR การเพิ่มอัตราฉีดพ่นสารเคลือบส่งผลให้ข้าวเคลือบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก

ปริมาณขมิ้นชันสกัดที่ยึดเกาะอยู่บนเมล็ดข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคมีแนวโน้มที่จะลดลงเล็กน้อยโดยไม่ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเคลือบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคที่ลดลงอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียขมิ้นชันสกัดในระหว่างการเคลือบซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการเคลือบของระบบลดลง (Dewettinck and Huyghebaert, 1998) ผลการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสพบว่าขมิ้นชันสกัดที่ยึดเกาะอยู่บนผิวเมล็ดข้าวไม่ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวเคลือบหุงสุกเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวหุงสุก

Table 3 Antioxidant capacity, total phenolic content and textural qualities of turmeric extract coated rice

Experimental conditions		AC	TPC	Hardness	Stickiness
Temp (°C)	Sr (mL/min)	(mg BHAE/100 g TCR)	(mg GAE/100 g TCR)	(N)	(N)
50	34	13.2±0.8^{a}	22.6±0.7^{b}	70.9±5.1^{a}	5.8±0.5^{a}
	40	14.7±0.6^{b}	27.7±0.7^{d}	71.5±4.0^{a}	4.9±0.3^{b}
	46	17.0±0.9^{c}	33.0±0.7^{f}	72.9±5.6^{a}	5.6±0.5^{a}
55	34	13.2±0.7^{a}	22.3±0.6^{a,b}	N/A	N/A
	40	14.9±0.6^{b}	27.0±0.7^{d}	71.2±5.4^{a}	4.7±0.3^{b}
	46	16.2±0.5^{c}	32.0±0.7^{e}	72.9±3.3^{a}	5.8±0.5^{a}
60	34	13.1±0.7^{a}	21.7±0.5^{a}	N/A	N/A
	40	14.3±0.9^{b}	26.0±0.4^{c}	N/A	N/A
	46	16.3±0.5^{c}	31.7±0.7^{e}	72.5±4.3^{a}	5.8±0.5^{a}
White rice		1.34±0.07	4.4±0.6	70.1±5.7	4.5±0.8

Different superscripts in the same column mean that the mean values are significantly different at $p<0.5$

N/A means that it is not available because the coated rice kernel broken over cooking

สรุป

การผลิตข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัดโดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นด้านบน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบที่มีสารเคลือบยึดเกาะอยู่บนผิวเมล็ดข้าวสม่ำเสมอ แต่การผลิตข้าวเคลือบด้วยเทคนิคดังกล่าวนี้ควรดำเนินการภายใต้อุณหภูมิอบแห้งและอัตราฉีดพ่นสารเคลือบที่สอดคล้องกันเพื่อป้องกันไม่ให้ส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายของข้าวเคลือบ เพราะหากข้าวเคลือบมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 11.8 มาตรฐานเปียก เมล็ดข้าวเคลือบจะเกิดการแตกร้าวมากกว่าร้อยละ 95 ซึ่งทำให้เกิดการแตกหักหลังหุงสุก การเพิ่มอัตราฉีดพ่นขมิ้นชันสกัดส่งผลให้ข้าวเคลือบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้มีปริมาณสารฟีนอลิคลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ การนำขมิ้นชันมาเคลือบบนข้าวขาวไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังการหุงเมื่อเทียบกับข้าวขาวก่อนเคลือบ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือเพื่อทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวเคลือบขมิ้นชันสกัด

เอกสารอ้างอิง

อาคม ปะหลามานิต สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และดลฤดี ใจสุทธิ์. 2552. การใช้เทคนิคการเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบนเพื่อผลิตข้าวเคลือบซาเขียว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40(3 พิเศษ): 277-280.

Dewettinck, K. and A. Huyghebaert. 1998. Top-spray fluidized bed coating: effect of process variable on coating efficiency. Lebensmittel Wissenschaft and Technology 31: 568-575.

Igauz, A., M. Rodriguez and P. Virseda. 2006. Influence of handling and processing of rough rice on fissure and head rice yields. Journal of Food Engineering 77: 803-809.

Jayaprakasha, G. K., L. Jagan, M. Rao and K.K. Sakariah. 2005. Chemistry and biological activity of *C. longa*. Trends in Food Science & Technology 16: 533-548.

Onichi, M., H. Morishita, H. Iwahashi, S. Toda, Y. Shirataki, M. Kimura and R. Kido. 1994. Inhibitory effects of chlorogenic acids on lonoleic acid peroxidation and hemolysis. Phytochemistry 36: 579-583.

Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic reagent. American Journal of Enology and Viticulture. 16. 144-158.