

บทความวิจัย (Research Article)

การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

สุภาวดี แชม^{1*} และ ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ¹

The optimum conditions of process of quick-cooking brown rice using response Surface methodology

Supawadee Cham^{1*} and Pattharaporn Srisamattakarn¹

¹ Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Correspondence author: chamsupawadee@gmail.com

Naresuan Phayao J. 2023;16(1): 91-99.

Received: 18 November 2021; Revised: 20 April 2022; Accepted: 20 April 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็ว โดยศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าว การทำให้สุกด้วยแรงดัน และอุณหภูมิในการอบแห้ง ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) และวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) มีต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ความแข็ง ความทนต่อการเคี้ยวมีค่า R^2 สูง จึงใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นค่าตอบสนอง และมีข้าวสุกจากหม้อหุงข้าวไมโครเวฟไฟฟ้าเป็นค่าอ้างอิง สภาวะที่เหมาะสมได้จากการซ้อนทับของค่าตอบสนองทั้ง 3 ค่า เมื่อทำการทวนสอบความถูกต้อง โดยผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากสภาวะที่เหมาะสม พบว่าค่าตอบสนองข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตด้วยสภาวะที่เหมาะสมมีความแข็ง ความทนต่อการเคี้ยวของข้าวหุงสุกเร็วคิ่รูปไม่แตกต่างจากค่าที่ทำนายจากสมการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยทำการทวนสอบความถูกต้องซ้ำจากกระบวนการผลิตค่าตอบสนองข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตด้วยสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้ ข้าวกล้องหอมมะลิแดง ใช้สภาวะการผลิตที่ความชื้นเริ่มต้น 55% ความดัน 10 lb/in² และ อุณหภูมิในการอบแห้ง 160°C ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ ใช้สภาวะการผลิตที่ความชื้นเริ่มต้น 70% ความดัน 5 lb/in² และ อุณหภูมิในการอบแห้ง 200 °C เป็นสภาวะที่ดีที่สุดทำให้ค่าความแข็งและความทนต่อการเคี้ยวของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวกล้องสุก (control) พบว่า การเพิ่มความชื้นเริ่มต้นและความดันทำให้ข้าวกล้องหุงสุกเร็วมีค่าความแข็งลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความรู้สึกในการเคี้ยวมีแนวโน้มเดียวกับค่าความแข็ง เนื่องจากข้าวขยายตัวและการเกิดรอยแตกขณะแช่ข้าว รวมถึงใช้ความดันและอุณหภูมิในการอบแห้งสูงทำให้เกิดโพรงภายใน

คำสำคัญ: ข้าวกล้องหุงสุกเร็ว, ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

Abstract

This research aimed to study the effect of moisture content, pressure and drying temperature on texture properties of quick cooking brown rice of 2 varieties: Red Hom Mali Brown and Rice Hom Mali Brown Rice using response surface methodology (RSM) and experimental design is Central Composite Design (CCD). Hardness and chewiness were used as responses because of high R^2 and there is rice cooked from a microwave cooker as a reference value. The optimum conditions were overlaid area of responses that have hardness and chewiness similar cooked rice. The observed value from 3 conditions and predicted values were not different at 95% level confidence. The Verification from optimum process, response value for quick cooking brown rice process with suitable condition as follows: Red Hom Mali Brown Rice was using production conditions at Initial humidity 55%, pressure 10 lb / in², and drying temperature 160°C. Hom Mali Brown Rice Brown using production conditions at Initial humidity 70%, pressure 5 lb / in² and drying temperature 200°C. The best conditions and predicted values were not different at 95% level confidence. Hardness and chewiness of rice were decreased, when increase moisture content and pressure. While higher drying temperature cause increasing in hardness and chewiness. Quick cooking rice was lower density than raw rice because expanded and porosity in kernels.

Keywords: Quick cooking brown rice, Instant products

คำนำ

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหุงสุกสำเร็จรูปสามารถเตรียมโดยการเติมน้ำร้อน การต้มหรือการใช้ไมโครเวฟในระยะเวลาสั้น เป็นการประหยัดเวลาและเพิ่มความสะดวกในการบริโภค วิธีหนึ่งในการผลิตข้าวสุกสำเร็จรูป โดยทำการศึกษาผลของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องหุงสุกสำเร็จรูป โดยการแปรผันปัจจัยที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต ได้แก่

1) ระดับความชื้นในขั้นตอนการแช่ข้าว เป็นขั้นตอนการเตรียมเมล็ดข้าว ทำได้โดยการแช่ข้าวเพื่อให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ขั้นตอนนี้จะส่งผลให้ข้าวสุกอย่างทั่วถึงทั้งเมล็ดในขั้นตอนการทำให้สุก ความชื้นประมาณร้อยละ 40-45 เพียงพอสำหรับการทำให้สุกด้วยไอน้ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเนื้อสัมผัสที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อทำการคั้นรูป [1-2]

2) ความดันที่ใช้ในขั้นตอนการทำให้สุก โดยการทำให้สุกเป็นการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าว เม็ดสตาร์ชในเอนโดสเปิร์มดูดน้ำเพิ่มมากขึ้นและเกิดเจลลิตไนซ์ เมล็ดข้าวขยายตัวประมาณ 2.5 เท่า ความชื้นเพิ่มเป็นร้อยละ 65-75 โดยทั่วไปมักใช้วิธีเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิแห้งสุก

ทำให้แบ่งเจลลิตไนซ์บางส่วน (partial gelatinized) ประมาณร้อยละ 80 [8] และ

3) อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง เป็นกระบวนการทำแห้งเป็นการลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 9 – 14 การทำแห้งทำให้ความชื้นบริเวณผิวระเหยไปเร็วกว่าน้ำที่ จะแพร่จากใจกลางเมล็ดสู่ผิวของเมล็ด ความแตกต่างของความเร็วในการระเหยและการแพร่ของน้ำทำให้เกิดการพองตัว (puffing) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 160 – 240 องศาเซลเซียส และเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน เมล็ดข้าวที่มีความพรุนทำให้สามารถดูดน้ำได้เร็วเวลาคั้นรูป [2], [7] เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต ลดความซับซ้อนของกระบวนการผลิตและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

งานวิจัยในครั้งนี้งานที่จะศึกษาผลของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตข้าวสุกพร้อมรับประทาน โดยการแปรผันปัจจัยที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต ได้แก่ ระดับความชื้นในขั้นตอนการแช่ข้าว ความดันที่ใช้ในขั้นตอนการทำให้สุก และอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต ลดความซับซ้อนของกระบวนการผลิตและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น รส และลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับข้าวสุกจาก

หม้อหุงข้าวไฟฟ้า รวมถึงศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ สมบัติทางเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องสุกสุกได้ที่

วัสดุและวิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ และการกำหนดสภาวะของกระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็ว

1.1 วัตถุดิบข้าวกล้อง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดง ข้าวเก่าอายุ 8 เดือน จากไร่นาพัฒนา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนลุ่มน้ำวัง อ.เมือง จ.ลำปาง

1.2 การกำหนดปัจจัยการศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็ว โดยนำข้าวสารจำนวน 2 สายพันธุ์

คือ ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดง มาแช่น้ำจนความชื้นร้อยละ 30-70 นำมาทำให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวความดัน 5-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วนำข้าวมาเกลี่ยเป็นชั้นบางบนตะแกรง นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 120, 160 และ 200 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และอบต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 โดยแปรผันปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าว (X_1) ระดับแรงความดัน (X_2) และอุณหภูมิการอบแห้ง (X_3) แปรผันปัจจัยละ 3 ระดับ ด้วยแผนการทดลองแบบ CCD ที่ระดับค่า -1, 0 และ 1 (ตารางที่ 1) ได้ชุดทดลองจำนวน 14 ชุดทดลอง และทำซ้ำจุดกึ่งกลาง 6 ชุดทดลอง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการกระบวนการผลิตข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดง ด้วยแผนการทดลองแบบ CCD

ปัจจัย		Code value		
		-1	0	+1
ความชื้นเริ่มต้น (% wb)	X_1	30	50	70
ความดัน (psi)	X_2	5	10	15
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	X_3	120	160	200

ตารางที่ 2 ชุดทดลองที่ระดับปัจจัย ความชื้นเริ่มต้น ความดัน และอุณหภูมิในการอบแห้ง ในการกระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยแผนการทดลองแบบ CCD

ชุดทดลอง	ความชื้นเริ่มต้น (%wb) (X_1)		ความดัน (psi) (X_2)		อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$) (X_3)	
	Code value	Real value	Code value	Real value	Code value	Real value
1	-1	30	-1	5	-1	120
2	1	70	-1	5	-1	120
3	-1	30	1	15	-1	120
4	1	70	1	15	-1	120
5	-1	30	-1	5	1	200
6	1	70	-1	5	1	200
7	-1	30	1	15	1	200
8	1	70	1	5	1	200
9	-1	70	0	10	0	160
10	1	30	0	10	0	160

ตารางที่ 2 ชุดทดลองที่ระดับปัจจัย ความชื้นเริ่มต้น ความดัน และอุณหภูมิในการอบแห้ง ในการกระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยแผนการทดลองแบบ CCD (ต่อ)

ชุดทดลอง	ความชื้นเริ่มต้น (%wb) (X_1)		ความดัน (psi) (X_2)		อุณหภูมิอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$) (X_3)	
	Code value	Real value	Code value	Real value	Code value	Real value
11	0	50	-1	5	0	160
12	0	50	1	15	0	160
13	0	50	0	10	-1	120
14	0	50	0	10	1	200
15-20	0	50	0	10	0	160

2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหุงสุกเร็วคีนรูป

วิเคราะห์คุณภาพ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกหุงพร้อมรับประทานคีนรูป ทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (TA.XT plus, Stable Micro System, ประเทศอังกฤษ)

3. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพร้อมรับประทาน

3.1 การเลือกตัวแปรตอบสนองในการ

สร้างแบบจำลองสมการทำนายค่าตอบสนอง วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ เพื่อทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของสมการตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตัวแปรตอบสนองที่ใช้เป็นค่าสหสัมพันธ์ในการเลือกค่าตอบสนอง (Y)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j + e$$

เมื่อ Y คือ ค่าตอบสนอง

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ คือ สัมประสิทธิ์ของจุดตัดแกน Y สมการเส้นตรง สมการอันดับสอง (quadratic) และเทอมอิทธิพลร่วม

3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณในรูปของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ด้วยโปรแกรม STSC, General Linear Model เพื่อหาความสัมพันธ์, สมการถดถอยและการวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาช่วงของสภาวะในการตัดแปรที่ดีที่สุดของแต่ละผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษา

ผลการศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วโดยการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง เพื่อผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏตามมาตรฐานข้าวหุงสุกเมื่อทำการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็ว และทำการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส นำข้อมูลมาวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์และค่า R^2 ของสมการถดถอยของค่าตอบสนอง แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์และค่า R^2 ของสมการถดถอยของลักษณะเนื้อสัมผัส ของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็ว

ค่าสัมประสิทธิ์	ความแข็ง	ความเหนียว ติดกัน	ความ ยืดหยุ่น	ความเกาะ ติดกัน	ความเหนียว ติดยึด	ความทนต่อ การเคี้ยว
B_0	4718.21	-659.33	0.97	0.22	2325.33	2324.51
B_1	-314.25	25.98	-1.16×10^{-2}	5.27×10^{-2}	-42.21	-64.27
B_2	-157.53	-30.22	5.95×10^{-3}	2.18×10^{-3}	-99.97	-80.32
B_3	254.32	-30.87	2.27×10^{-3}	-1.28×10^{-3}	105.02	99.15
B_{12}	274.21	-38.42	2.77×10^{-3}	1.56×10^{-3}	171.27	162.14
B_{13}	-178.29	42.55	4.21×10^{-3}	1.87×10^{-2}	-41.22	-48.01
B_{23}	-14.14	-30.45	8.54×10^{-3}	2.91×10^{-3}	-10.25	8.02
B_{11}	-151.16	49.33	-1.20×10^{-3}	-5.34×10^{-3}	-93.86	-112.14
B_{22}	3.15	8.24	-6.74×10^{-4}	-1.57×10^{-3}	-3.27	-9.01
B_{33}	74.36	-27.59	5.55×10^{-5}	-1.14×10^{-3}	22.25	18.57
R^2	0.918	0.289	0.374	0.514	0.425	0.782
Sig Lack-of Fit	0.088	0.427	0.247	0.087	0.043	0.078

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์และค่า R^2 ของสมการถดถอยของลักษณะเนื้อสัมผัส ของ ข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็ว

ค่าสัมประสิทธิ์	ความแข็ง	ความเหนียว ติดกัน	ความยืดหยุ่น	ความเกาะ ติดกัน	ความเหนียว ติดยึด	ความทนต่อ การเคี้ยว
B_0	5804.59	724.28	1.01	0.41	2517.34	2525.32
B_1	-378.58	29.74	-1.57×10^{-2}	2.19×10^{-2}	-29.98	-69.24
B_2	-287.67	-27.55	6011×10^{-3}	1.80×10^{-3}	-96.85	-82.890
B_3	305.06	-29.27	3.25×10^{-3}	-2.91×10^{-3}	99.01	98.662
B_{12}	351.13	-39.85	3.15×10^{-3}	2.36×10^{-3}	135.11	161.21
B_{13}	-276.76	48.25	4.97×10^{-3}	1.33×10^{-2}	-38.24	-48.27
B_{23}	-18.85	-32.11	9.21×10^{-3}	2.90×10^{-3}	-12.57	7.25
B_{11}	-171.02	50.02	-1.27×10^{-3}	-5.01×10^{-3}	-137.27	-99.15
B_{22}	4.24	7.89	-7.14×10^{-4}	-1.30×10^{-3}	-4.98	-9.52
B_{33}	82.94	-26.22	6.11×10^{-5}	-1.64×10^{-3}	18.44	19.05
R^2	0.927	0.425	0.310	0.462	0.458	0.749
Sig Lack-of Fit	0.082	0.471	0.204	0.043	0.048	0.080

จากตารางแสดงผลของคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหุงสุกเร็วทุกสายพันธุ์ คือ ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ (ตารางที่ 3) ข้าวกล้องหอม

มะลิแดง (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) มีค่า R^2 สูง มีสมการดังนี้

สมการถดถอยของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็ว
คีนรูป (ตารางที่ 3)

$$\text{Hardness} = 4718.21 - 314.25X_1 - 157.53X_2 + 254.32X_3 + 274.21X_1X_2 - 178.29X_1X_3 - 14.14X_2X_3 - 151.16X_1^2 + 3.15X_2^2 + 74.36X_3^2$$

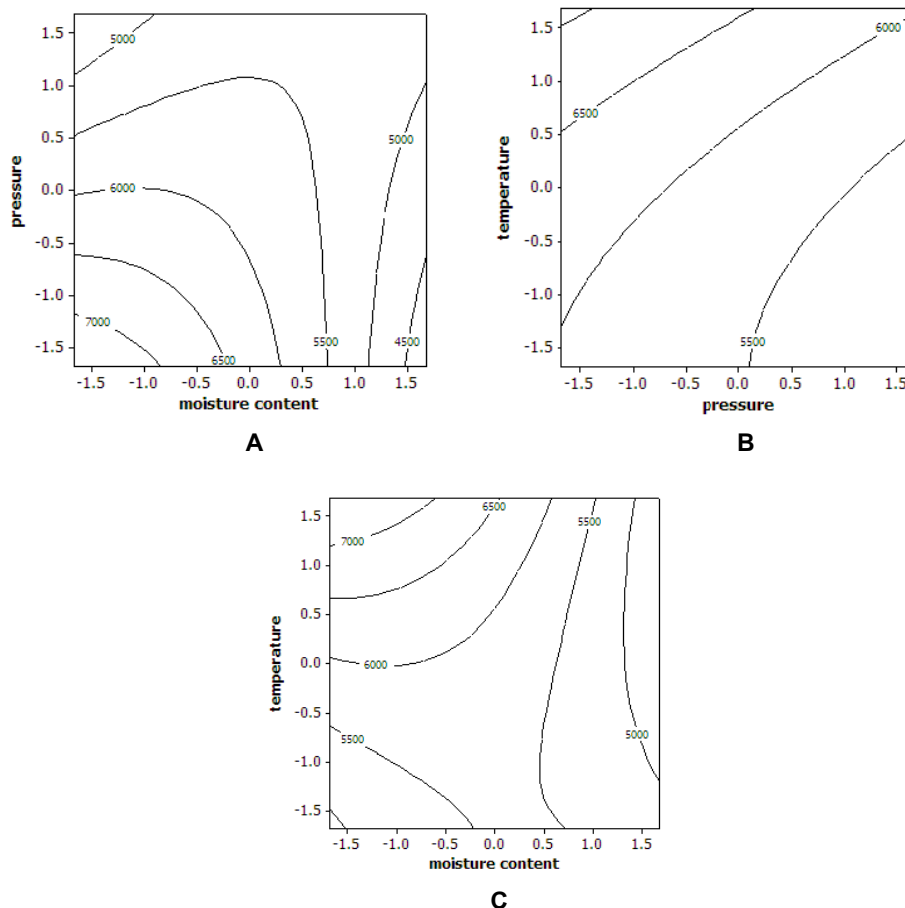
$$\text{Chewiness} = 2324.51 - 64.27X_1 - 80.32X_2 + 99.15X_3 + 162.14X_1X_2 - 48.01X_1X_3 + 8.02X_2X_3 - 12.14X_1^2 - 9.01X_2^2 + 18.57X_3^2$$

สมการถดถอยของข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็ว
คีนรูป (ตารางที่ 4)

$$\begin{aligned} \text{Hardness} = & 5804.59 - 378.58X_1 - 287.67X_2 + 305.06X_3 \\ & + 351.13X_1X_2 - 276.76X_1X_3 - 18.85X_2X_3 - 171.02X_1^2 \\ & + 4.24X_2^2 + 82.94X_3^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Chewiness} = & 2525.32 - 69.24X_1 - 82.89X_2 + \\ & 98.662X_3 + 161.21X_1X_2 - 48.27X_1X_3 + 7.25X_2X_3 - \\ & 99.15X_1^2 - 9.52X_2^2 + 19.05X_3^2 \end{aligned}$$

จากสมการถดถอยข้างต้น เมื่อ X_1 คือ ความชื้นเริ่มต้น X_2 คือ ความดัน และ X_3 คืออุณหภูมิอบแห้ง นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ (contour plot) ระหว่างปัจจัยในการผลิตและค่าตอบสนอง ได้แก่ ความแข็ง ค่าความทนต่อการเคี้ยวของข้าวกล้องหอมมะลิหุงสุกเร็วคีนรูป ดังรูปที่ 1 และ ข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็วคีนรูป ดังรูปที่ 2

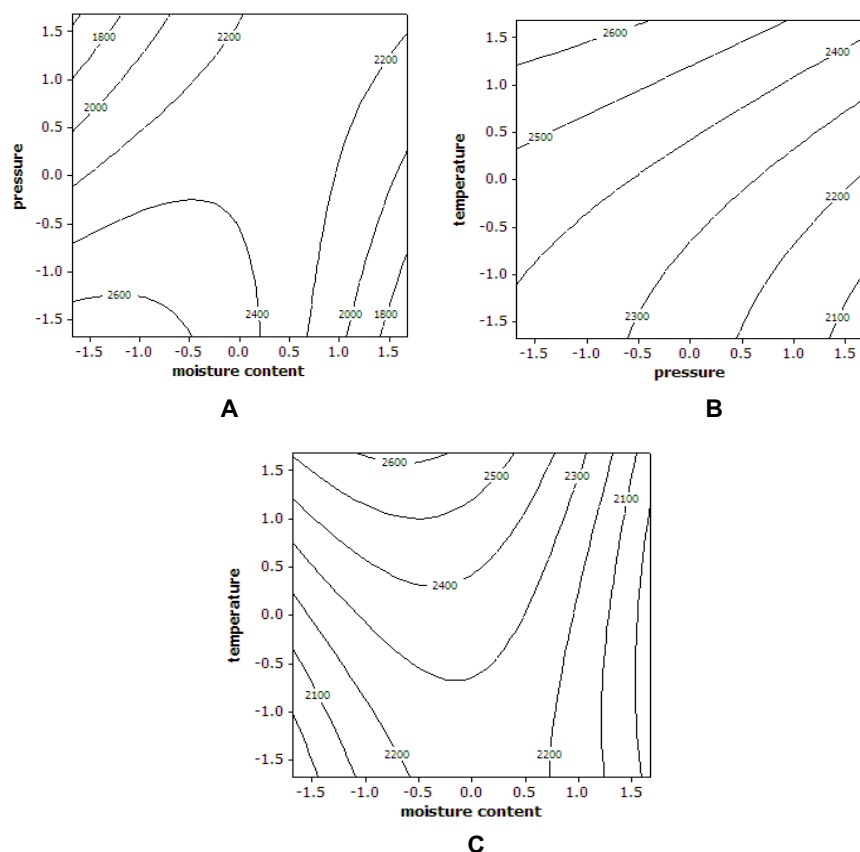


รูปที่ 1 Contour plot ผลของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตต่อความแข็งของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็วคีนรูป

A ผลของความชื้นเริ่มต้นและความดัน เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิอบแห้งคงที่

B ผลของความดันและอุณหภูมิอบแห้ง เมื่อกำหนดให้ความชื้นคงที่

C ผลของความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิอบแห้ง เมื่อกำหนดให้ความดันคงที่



รูปที่ 2 Contour plot ผลของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตต่อความทนต่อการเคี้ยวของข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็วคีนรูป

A ผลของความชื้นเริ่มต้นและความดัน เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิรอบแห้งคงที่

B ผลของความดันและอุณหภูมิอบแห้ง เมื่อกำหนดให้ความชื้นคงที่

C ผลของความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิอบแห้ง เมื่อกำหนดให้ความดันคงที่

เมื่อทำการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยสภาวะที่เหมาะสมทั้ง 3 สภาวะ ที่แสดงดังตารางที่ 5 ทำการวัดค่าความแข็ง ความทนต่อการเคี้ยวของข้าวหุงสุกเร็วคีนรูปเพื่อยืนยันสมการถดถอยที่ใช้ในการทำนายค่าโดยเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย

ของค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ทำนายโดยสมการถดถอยด้วยการทดสอบ student *t*-test ยืนยันผลการคาดคะเนโดยสมการถดถอยของค่าตอบสนองที่ได้ แสดงผลดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าจากสมการทำนายผลและค่าจากการตรวจสอบจริงของข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็วที่พัฒนาขึ้น

ระดับที่ทดสอบ			ความแข็ง		ความทนต่อการเคี้ยว	
ความชื้น (%)	ความดัน (psi)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ค่าจากสมการ	ค่าจากการตรวจสอบ ^{NS}	ค่าจากสมการ	ค่าจากการตรวจสอบ ^{NS}
50	15	160	5873.75	5802.92	2365.38	2378.90
50	10	120	6012.05	5944.96	2397.87	2439.04
50	10	160	5829.93	5876.27	2356.35	2206.68

หมายเหตุ: NS หมายถึง ค่าจากการตรวจสอบจริงไม่แตกต่างจากค่าจากสมการทำนายผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P > 0.05$)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าจากสมการทำนายผลและค่าจากการตรวจสอบจริงของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็วที่พัฒนาขึ้น

ระดับที่ทดสอบ			ความแข็ง		ความทนต่อการเคี้ยว	
ความชื้น (%)	ความดัน (psi)	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ค่าจากสมการ	ค่าจากการตรวจสอบ ^{NS}	ค่าจากสมการ	ค่าจากการตรวจสอบ ^{NS}
70	5	200	5621.24	5644.02	2355.11	2342.03
50	10	200	6032.14	6045.18	2401.22	2432.28
50	10	160	5718.07	5711.22	2395.24	2321.81

หมายเหตุ: ^{NS} หมายถึง ค่าจากการตรวจสอบจริงไม่แตกต่างจากค่าจากสมการทำนายผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

วิจารณ์

1. ค่าความแข็งของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็ว และข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็ว มีค่า R^2 สูง มีค่าเท่ากับ 0.918 และ 0.927 ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4) และการทดสอบ Lack of Fit ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายค่าเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคิณรูป โดยใช้การวัดลักษณะด้วยเครื่องมือ ได้แก่ ความแข็งและความทนต่อการเคี้ยวเป็นค่าตอบสนอง โดยทั้งค่าความแข็งและค่าความทนต่อการเคี้ยวที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile analysis ใช้เป็นคุณลักษณะเพื่อการบริโภคได้ [5-6] ความแข็งของข้าวหุงสุกเร็วจิณรูปลดลง เมื่อความชื้นเริ่มต้นและความดันที่ใช้ในการผลิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งขึ้นต้นส่งผลให้ข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) เป็นเพราะอิทธิพลเชิงเดี่ยวของความชื้น ความดัน และอุณหภูมิอบแห้ง และอิทธิพลร่วมของความชื้นและความดัน อิทธิพลร่วมของความชื้นและอุณหภูมิอบแห้ง มีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Elbert และคณะ [3] ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อโครงสร้างของเมล็ดข้าวขณะแช่ข้าวจะเกิดรอยร้าวภายในเมล็ดเนื่องจากการแพร่ของน้ำ เมื่อมีการให้ความดันหรือการให้ความร้อนสตาร์ชในเมล็ดข้าวจะเกิดการเจลลิ่งในซึ่ เมล็ดข้าวจะเกิดความยืดหยุ่นทำให้เกิดการพองตัวหรือ puffing โดยไม่เกิด

การแตกหักของเมล็ดข้าว ความดันที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่ในโครงสร้างภายใน [4] ทำให้น้ำและความร้อนสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ในเมล็ดได้ง่ายในระหว่างการคิณรูป

2. ค่าความทนต่อการเคี้ยวของข้าวกล้องขาวดอกมะลิหุงสุกเร็ว และข้าวกล้องหอมมะลิแดงหุงสุกเร็ว จะลดลงเมื่อมีการเพิ่มความชื้นและความดันในกระบวนการผลิต แต่การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ความทนต่อการเคี้ยวเพิ่มขึ้น ความทนต่อการเคี้ยวมีแนวโน้มเป็นในทางเดียวกับค่าความแข็ง โดยพบว่าความดันและอุณหภูมิอบแห้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและความดัน ส่งผลต่อความทนต่อการเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ข้าวที่อ่อนนุ่มจึงต้องการงานในการเคี้ยวก่อนที่จะกลืนน้อยกว่าข้าวแข็ง

เมื่อทำการผลิตข้าวหุงสุกเร็วด้วยสภาวะที่เหมาะสมทั้ง 2 สภาวะทำการวัดความแข็ง ความทนต่อการเคี้ยวของข้าวหุงสุกเร็วจิณรูปเพื่อยืนยันสมการถดถอยที่ใช้ในการทำนายค่าโดยเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ทำนายโดยสมการถดถอย ด้วยการทดสอบ student t-test ยืนยันผลการคาดคะเนโดยสมการถดถอยของค่าตอบสนองที่ได้ แสดงผลดังตารางที่ 5 และ 6 พบว่า ข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่ผลิตด้วยสภาวะที่เหมาะสมให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ความแข็ง ค่าความทนต่อการเคี้ยวของข้าวหุงสุกเร็วจิณรูปไม่แตกต่างจากค่าที่ทำนายจากสมการถดถอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เป็นการยืนยันว่าสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทำนายเนื้อ

สัมผัสของข้าวหุงสุกเร็ว รวมถึงสามารถใช้ contour plot สำหรับเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ และข้าวกล้องหอมมะลิแดง ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่ใกล้เคียงกับข้าวสุกศึกษาผลของความชื้น การทำให้เม็ดข้าวสุกด้วยแรงดัน และอุณหภูมิอบแห้ง โดยเทคนิคพื้นผิวตอบสนองโดยวางแผนการทดลองแบบ CCD พบว่า ข้าวกล้องหอมมะลิแดง มีความชื้นเริ่มต้นที่ 55 % ถูกทำให้สุกด้วยหม้อหนึ่งแรงดันที่ 10 psi และ อุณหภูมิอบแห้ง 160 °C และข้าวกล้องขาวดอกมะลิ มีความชื้นเริ่มต้นที่ 70 % ถูกทำให้สุกด้วยหม้อหนึ่งแรงดันที่ 5 psi และ อุณหภูมิอบแห้ง 200 °C เป็นสภาวะที่ได้ข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สำหรับสถานที่ดำเนินงานวิจัย และบุคคลกรที่ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahromrit A, Ledward D.A. and Niranjana K. High pressure induce water uptake characteristics of Thai glutinous rice. J. Food Eng. 2006;72: 225-233.
- [2] Baz A.A., Hsu J.Y. and Scoville E. Preparation of quick cooking rice. U.S. Patent 1992;5, 089, 281.
- [3] Elbert G, Tolaba M. P and Suarez C. Effect of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. J. Food Eng. 2001; 47(1): 37-41.
- [4] Leelayuthsoontorn P and Thipayarat A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. Food Chem. 2006; 96(3): 606–613.
- [5] Park J K, Kim S S and Kim K O. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. Cereal Chem. 2001;78: 151-156.
- [6] Prakash M, Ravi R., Sathish H.S, Shyamala J.C, Shwetha M.A. and Rangarao G.C.P. Sensory and instrumental texture measurement of thermally processed rice. J. Sensory stud. 2005; 20 (3): 410-420.
- [7] Ramesh M.N. and Rao P.N.S. Drying studies of cooked rice in a vibro fluidised bed drier. J. Food Eng. 1996; 27: 389-396
- [8] Smith D.A., Rao J.A., Liuzzo and Champagne E. Chemical treatment and process modification for producing improve quick cooking rice. J. Food sci. 2002; 50: 926-931.