บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวงอกนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณค่าโภชนาการ สรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าว

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวดำเนินการโดยนำข้าวหอมใบเตยมาทำการกะเทาะเปลือกให้อยู่ในรูปของข้าวกล้อง แล้วนำข้าวมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30-50°C เป็นระยะเวลา 8-24 ชั่วโมง โดยประยุกต์ใช้ตามวิธีของ Thammapat *et al*. (2015) วางแผนการทดลองแบบ Hexagonal Rotatable Design ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวส่งผลให้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น แกมมา-ออริซานอล แกมมา-อะมิโนบิวทิริก (GABA) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการแช่และงอกข้าว (Heinemann *et al*., 2005) ในระหว่างกระบวนการงอกดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรทภายในเมล็ดข้าวไปเป็นน้ำตาลและทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวอ่อนตัวลง ส่งผลให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวถูกกระตุ้นในการย่อยสารชีวโมเลกุลภายในเปลี่ยนไปเป็นสารชีวโมเลกุลชนิดอื่น (Ohtsubo *et al*., 2005) การศึกษาของ Britz *et al*. (2007) แสดงให้เห็นว่าสารประกอบแกมมา-ออริซานอลที่พบในข้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป 24-methylenecycloartenyl trans-ferulate ประมาณร้อยละ 40-62 ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแกมมา-ออริซานอลในข้าวหอมใบเตยที่ผ่านกระบวนการแช่ที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

Coded- variable levels		Natural-variable levels		Gamma-oryzanol (mg/100g)
Z_1	Z_2	X_1 (Soaking Temperature, °C)	X_2 (Soaking Time, h)	
1.00	0.00	50.0	18.00	139.15±1.02
0.50	0.87	45.0	22.96	130.48±0.85
0.50	-0.87	45.0	9.04	127.41±0.52
-0.50	0.87	35.0	22.96	122.15±0.64
-0.50	-0.87	35.0	9.04	112.38±0.45
-1.00	0.00	30.0	8.00	108.95±0.38
0.00	0.00	40.0	8.00	94.02±0.70

การวิเคราะห์โมเดล

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเพื่อให้ได้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุดจาก 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการแช่ (X_1) และระยะเวลาในการแช่ (X_2) เพื่อให้ได้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลสูงสุด โดยใช้สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณทำนายรูปแบบพหุนามกำลังสองสำหรับปริมาณแกมมา-ออริซานอล แสดงดังตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณสำหรับทำนายปริมาณแกมมา-ออริซานอลได้สมการทำนายดังนี้

$$Y = 94.02 + 13.96\,Z_1 + 3.71Z_2 + 30.03Z_1^2 + 28.77Z_2^2 - 3.87Z_{12}$$

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณทำนายรูปแบบพหุนามกำลังสองสำหรับปริมาณแกมมา-ออริซานอล

Variables	Coefficient (β)
	Y (mg/100g)
Intercept	94.02
Linear	
Z_1	13.96**
Z_2	3.71*
Quadratic	
Z_{11}	30.03**
Z_{22}	28.77**
Interaction	-3.87
R^2	0.99

หมายเหตุ :

Y คือ ปริมาณแกมมา-ออริซานอล

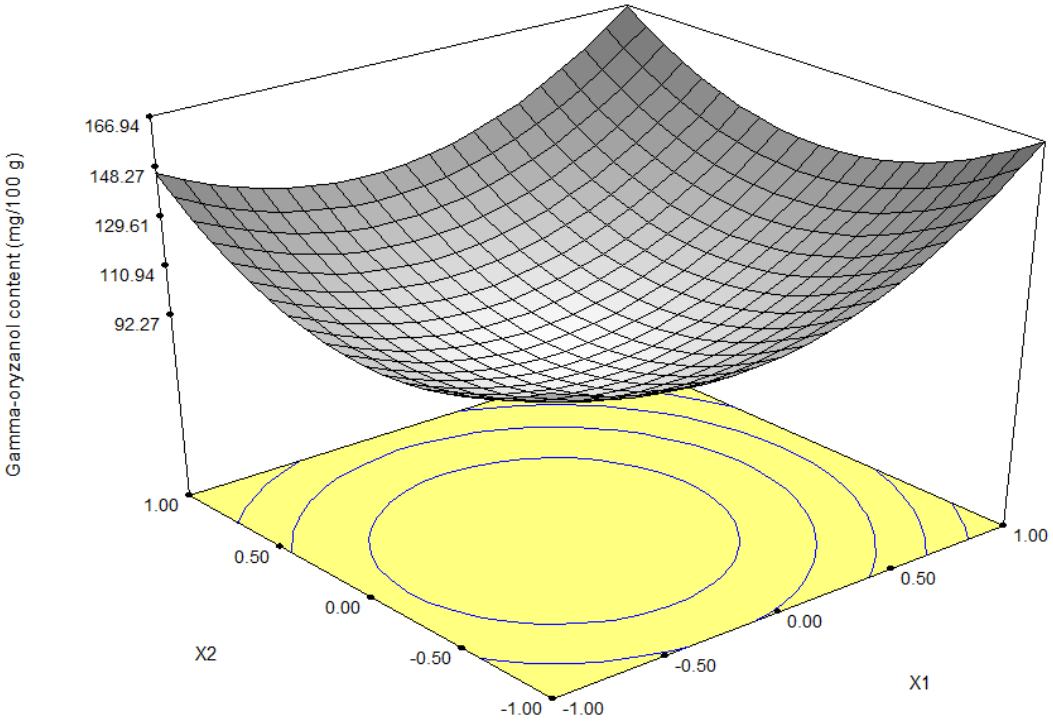
**P < 0.01 highly significant, *P < 0.05 significant, no asterisk P > 0.05 not significant

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าว

จากการทดลองใช้ 2 ปัจจัยในการหาพื้นผิวตอบสนองของสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณแกมมา-ออริซานอลในกระบวนการแช่ข้าวหอมใบเตยให้ได้ปริมาณสูงสุด แสดงดังภาพ 4.1 ภายใต้จุดสูงสุดของแกนในการทำนายค่าสูงสุดของปริมาณแกมมา-ออริซานอลสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้สูงสุดเท่ากับ 144.09 มิลลิกรัม/100 กรัม ที่อุณหภูมิในการแช่ 46.70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการแช่ 23.92 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thammapat et al. (2016) ที่ได้

ทำการศึกษาสภาวะในการแช่ข้าวเหนียว กข 6 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ใช้ในการทำนายมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวหอมใบเตยเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณแกมมา-ออริซานอลได้ โดยผลจากการตรวจสอบสมการสามารถยืนยันได้จากค่าจากการทดลองที่มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากสมการทำนาย แสดงดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 Response surface for the effect of soaking temperature and soaking time on the total content of gamma-oryzanol

ตารางที่ 4.3 Predicted and observed values for response variable in soaking experiment of rice

Response variable	Critical values of independent variables		Stationary point	Predicted value (mg/100 g)	Observed value[a] (mg/100 g)
	Soaking temperature (°C)	Soaking time (h)			
Gamma-oryzanol	46.70	23.92	Maximum	144.09	143.67±0.95

[a] Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าว

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวดำเนินการโดยนำข้าวหอมใบเตยที่ผ่านการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวมาแล้ว มาทำการนึ่งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10-30 นาที โดยประยุกต์ใช้ตามวิธีของ Thammapat et al. (2017) วางแผนการทดลองแบบ Hexagonal Rotatable Design ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งข้าวส่งผลให้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งการที่ปริมาณแกมมาออริซานอลเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานจะส่งผลต่อการปลดปล่อยแกมมา-ออริซานอลออกมาอยู่ในรูปอิสระเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแกมมา-ออริซานอลในข้าวหอมใบเตยที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

Coded- variable levels		Natural-variable levels		Gamma-oryzanol (mg/100g)
Z_1	Z_2	X_1 (Steaming Temperature, °C)	X_2 (Steaming Time, min)	
1.00	0.00	120.0	20.00	166.38±0.45
0.50	0.87	117.5	25.00	169.85±0.32
0.50	-0.87	117.5	15.00	161.74±0.58
-0.50	0.87	112.5	25.00	163.62±0.28
-0.50	-0.87	112.5	15.00	156.83±0.52
-1.00	0.00	110.0	10.00	153.24±0.36
0.00	0.00	115.0	20.00	143.95±0.44

การวิเคราะห์โมเดล

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวเพื่อให้ได้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุดจาก 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการนึ่ง (X_1) และระยะเวลาในการนึ่ง (X_2) เพื่อให้ได้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลสูงสุด โดยใช้สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณทำนายรูปแบบพหุนามกำลังสองสำหรับปริมาณแกมมา-ออริซานอล แสดงดังตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณสำหรับทำนายปริมาณแกมมา-ออริซานอลได้สมการทำนายดังนี้

$$Y = 143.95 + 6.24Z_1 + 4.30Z_2 + 15.86Z_1^2 + 20.13Z_2^2 + 0.76Z_{12}$$

ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณทำนายรูปแบบพหุนามกำลังสองสำหรับปริมาณแกมมา-ออริซานอล

Variables	Coefficient (β)
	Y (mg/100g)
Intercept	143.95
Linear	
Z_1	6.24**
Z_2	4.30*
Quadratic	
Z_{11}	15.86**
Z_{22}	20.13**
Interaction	0.76
R^2	0.99

หมายเหตุ :

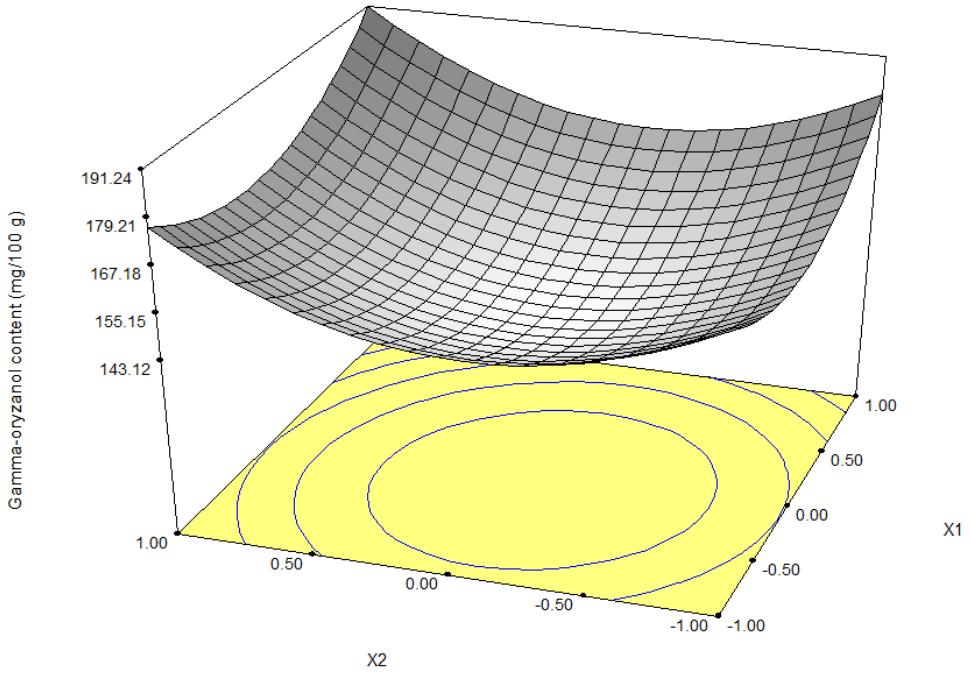
Y คือ ปริมาณแกมมา-ออริซานอล

**P < 0.01 highly significant, *P < 0.05 significant, no asterisk P > 0.05 not significant

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าว

จากการทดลองใช้ 2 ปัจจัยในการหาพื้นผิวตอบสนองของสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณแกมมา-ออริซานอลในกระบวนการนึ่งข้าวหอมใบเตยให้ได้ปริมาณสูงสุด แสดงดังภาพ 4.2 ภายใต้จุดสูงสุดของแกนในการทำนายค่าสูงสุดของปริมาณแกมมา-ออริซานอลสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้สูงสุดเท่ากับ 179.51 มิลลิกรัม/100 กรัม ที่อุณหภูมิในการนึ่ง 120.0 และระยะเวลาในการแช่ 29.50 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thammapat et al. (2017) ที่ได้ทำการศึกษาสภาวะในการทำข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว กข 6 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณแกมมา-ออริซานอลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ใช้ในการทำนายมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวหอมใบเตยเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณแกมมา-ออริซานอลได้ โดยผลจากการตรวจสอบสมการสามารถยืนยันได้จากค่าจากการทดลองที่มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากสมการทำนาย แสดงดังตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.2 Response surface for the effect of steaming temperature and steaming time on the total content of gamma-oryzanol

ตารางที่ 4.6 Predicted and observed values for response variable in steaming experiment of rice

Response variable	Critical values of independent variables		Stationary point	Predicted value (mg/100 g)	Observed value[a] (mg/100 g)
	Soaking temperature (°C)	Soaking time (h)			
Gamma-oryzanol	120.0	29.50	Maximum	179.51	177.94±0.80

[a] Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples

ปริมาณแกมมา-ออริซานอลและค่าดัชนีน้ำตาลหลังผ่านกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อสุขภาพ

จากการศึกษาปริมาณแกมมา-ออริซานอลและค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหอมใบเตยกล้องงอกหลังผ่านกระบวนการแช่และนึ่ง พบว่ากระบวนการดังกล่าวมีปริมาณแกรมมา-ออริซานอลเพิ่มขึ้นจาก 82.68 ไปเป็น 178.24 มิลลิกรัม/100 กรัม ในขณะที่ค่าดัชนีน้ำตาลลดลงจาก 87.62 ไปเป็น 68.25 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแกมมา-ออริซานอลและค่าดัชนีน้ำตาลหลังผ่านกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อสุขภาพ

sample	Gamma-oryzanol (mg/100 g)		Glycemic Index (GI)	
	Raw	Processed	Raw	Processed
Hom bai toei rice	82.68±0.54[b]	178.24±0.72[a]	87.62±0.08[b]	68.25±0.11[a]

Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples

Different letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) within each group of substances.