บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

วัตถุดิบหลักที่ใช้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ รำข้าวบด ปลายข้าวหอมมะลิบด และแป้งข้าวโพด โดยรำข้าวหอมมะลิก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวนั้นต้องผ่านการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในรำข้าวหอมมะลิก่อน โดยการผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แล้วจึงนำมาบดจนกลายเป็น รำข้าวบด (ภาคผนวก ก.1) เมื่อนำวัตถุดิบหลักทั้ง 3 ชนิดมาตรวจวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่าวัตถุดิบทั้ง 3 มีค่าสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่แป้งข้าวโพดมีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด รองลงมาคือปลายข้าวหอมมะลิบด และรำข้าวบด ตามลำดับ สำหรับค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่ารำข้าวบดมีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงที่สุด รองลงมาคือปลายข้าวหอมมะลิบดและแป้งข้าวโพด ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ลักษณะคุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบส่วนใหญ่ (ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต วอเตอร์แอคติวิตี) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่เหมาะสมของธัญชาติคือ ความชื้นร้อยละ 8-14 (Watt and Merrill, 1975) และมีวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (นิธิยา, 2543; Fellows, 1993; Banwart, 1983) ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้าในรำข้าวบดมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นปลายข้าวหอมมะลิบด และแป้งข้าวโพด ตามลำดับ ปริมาณเถ้าในวัตถุดิบที่สูงเป็นตัวชี้บ่งถึงปริมาณแร่ธาตุที่สูงขึ้นด้วย (Harber, 1998) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในแป้งข้าวโพดมีค่าสูงที่สุด รองลงมาเป็นปลายข้าวหอมมะลิบด และรำข้าวบดตามลำดับ และพบว่า แป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด ซึ่งส่วนใหญ่ปริมาณอะไมโลสในข้าวโพด และข้าวเจ้ามีปริมาณร้อยละ 28 และ 14-32 ตามลำดับ (Blanshard, 1987) ดังตารางที่ 4.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำรำข้าวหอมมะลิ และรำข้าวหอมมะลิที่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (รำข้าวบด) ไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) พบว่า รำข้าวหอมมะลิเมื่อผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แล้วจะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารลดลงเล็กน้อยจากเดิมร้อยละ 26.51 เหลือร้อยละ 24.90 (ภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของรำข้าวบด ปลายข้าวหอมมะลิบดและแป้งข้าวโพด

ลักษณะคุณภาพ[1]	วัตถุดิบ		
	รำข้าวบด	ปลายข้าวหอมมะลิบด	แป้งข้าวโพด
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความสว่าง (L*)	67.68^{c}±0.18	93.36^{b}±0.20	99.51^{a}±0.11
ค่าสีแดง (a*)	$+4.24^{a}$±0.07	-0.58^{b}±0.01	-1.21^{c}±0.02
ค่าสีเหลือง (b*)	$+24.74^{a}$±0.23	$+7.73^{b}$±0.18	$+4.88^{c}$±0.11
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	6.16^{b}±0.12	11.54^{a}±0.01	11.52^{a}±0.02
โปรตีน (ร้อยละ)	12.58^{a}±0.02	5.86^{b}±0.03	0.16^{c}±0.03
ไขมัน (ร้อยละ)	22.18^{a}±0.26	0.70^{b}±0.10	0.27^{c}±0.10
เส้นใย (ร้อยละ)	11.7^{a}±0.05	0.00^{b}±0.00	0.00^{b}±0.00
เถ้า (ร้อยละ)	10.82^{a}±0.02	0.53^{b}±0.17	0.17^{c}±0.01
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	36.53^{b}±0.18	81.36^{a}±0.31	87.87^{a}±0.06
อะไมโลส (ร้อยละ)	-	24.15±0.40	52.02±0.40
วอเตอร์แอคติวิตี	0.39^{b}±0.00	0.45^{a}±0.00	0.45^{a}±0.00

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ปริมาณรำข้าวบดที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

จากความต้องการเสริมรำข้าวบดลงในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติให้มีปริมาณเส้นใยอาหารอยู่ในช่วงที่เป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร คือมีเส้นใยอาหารอย่างน้อย 2.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคหรือเทียบเท่ากับปริมาณของ Thai RDI อย่างน้อย 10% Thai RDI ดังนั้นจึงได้กำหนด

ปริมาณรำข้าวบดที่ใช้เสริมในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด (1:1)ไว้ที่ 10% Thai RDI, 12% Thai RDI, 14% Thai RDI, 16% Thai RDI และ 18% Thai RDI ซึ่งปริมาณรำข้าวบดที่เป็น % Thai RDI นั้นจะต้องทำการคำนวณหาปริมาณจริงของ รำข้าวบดที่ต้องเติมลงไปในส่วนผสมโดยคำนวณเทียบกับปริมาณเส้นใยอาหารที่มีอยู่ในรำข้าวหอมมะลิที่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันแล้ว (ภาคผนวก ง.1) ดังนั้นจึงได้ปริมาณรำข้าวบดสำหรับเสริมในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด (1:1) ในรูปของร้อยละ ดังนี้

10% Thai RDI = ร้อยละ 34.0 12% Thai RDI = ร้อยละ 40.8

14% Thai RDI = ร้อยละ 47.6 16% Thai RDI = ร้อยละ 54.4

18% Thai RDI = ร้อยละ 61.2

หลังจากปรับความชื้นส่วนผสมให้เป็นร้อยละ 18 และผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลเป็น 170 องศาเซลเซียส พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์พองตัวที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน ผิวค่อนข้างหยาบ และมีรอยร้าว ร่วน แตกออกจากกันได้ง่าย (ภาคผนวก ก.3)

เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่า การเสริมรำข้าวบดลงในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพดในปริมาณที่มากขึ้นไม่ได้ทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.2

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก พบว่า การเสริมรำข้าวบดในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราส่วนการพองตัวทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเช้าธัญชาติที่เสริมรำข้าวบดในระดับต่างๆ

คุณภาพทางกายภาพ[1]	ปริมาณรำข้าวบด (% Thai RDI)				
	10	**12**	**14**	**16**	**18**
ค่าความสว่าง (L*)^{NS}	75.07±0.68	75.80±0.93	75.62±0.66	75.60±0.09	74.66±0.70
ค่าสีแดง (a*)^{NS}	+2.46±0.42	+2.32±0.12	+2.35±0.03	+2.35±0.01	+2.53±0.06
ค่าสีเหลือง (b*)^{NS}	+23.01±0.37	+22.18±0.79	+22.26±0.62	+22.81±0.20	+23.36±0.11
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.36^{d}±0.00	0.43^{c}±0.00	0.47^{b}±0.00	0.51^{ab}±0.03	0.55^{a}±0.02
แรงกดแตก (นิวตัน)	52.46^{b}±1.32	104.24^{b}±19.43	143.67^{b}±0.37	741.60^{a}±0.11	813.79^{a}±92.14
อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง	3.78^{a}±0.04	3.18^{b}±0.09	2.42^{c}±0.01	1.88^{d}±0.20	1.50^{e}±0.00
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว	1.90^{a}±0.02	1.70^{b}±0.02	1.48^{c}±0.02	1.31^{d}±0.07	1.18^{e}±0.02
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด	7.16^{a}±0.16	5.41^{b}±0.21	3.58^{c}±0.06	2.47^{d}±0.39	1.76^{e}±0.03

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก และอัตราส่วนการพองตัว มีความสัมพันธ์กันคือ ถ้าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกมาก อัตราส่วนการพองตัวจะน้อย เช่นเดียวกันหากความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกน้อย อัตราส่วนการพองตัวจะมาก ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ คือผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง และค่าแรงกดแตกมากก็จะมีความแข็งมากด้วย (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนและเส้นใยในวัตถุดิบส่วนผสม ซึ่งหากมีโปรตีน และเส้นใยในวัตถุดิบส่วนผสมมากขึ้น ความหนาแน่น และแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้น อัตราการพองตัวจะลดลง (ประชา และคณะ, 2539; จิรจิต และคณะ, 2541; Boonyasirikool and Charunuch, 2000b; Naivikul *et al*., 2002) จะเห็นได้ว่าในรำข้าวบดมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอยู่สูงกว่าวัตถุดิบหลักอีก 2 ชนิด เมื่อเสริมปริมาณรำข้าวบดเข้าไป ทำให้วัตถุดิบส่วนผสมมีโปรตีน และเส้นใยเพิ่มขึ้น ความหนาแน่น และแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้น และอัตราส่วนการพองตัวลดลง โดยโปรตีนในวัตถุดิบส่วนผสมจะจับตัวกับแป้ง ทำให้แป้งพองตัวได้ไม่ดี (Yu *et al*., 1981) เส้นใยในวัตถุดิบจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอัตราส่วนการพองตัวลดลง และมีรอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกร้าวที่ผิว (Colonna *et al*., 1989) Guy (1994) กล่าวว่าวัตถุดิบส่วนผสมที่มีปริมาณเส้นใยมากกว่าร้อยละ 2-3 จะส่งผลต่ออัตราส่วนการพองตัว และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งยืนยันได้จาก Onwulata *et al*., (2000) ที่ว่าหากวัตถุดิบส่วนผสมมีปริมาณเส้นใยมากกว่าร้อยละ 10 อัตราส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลง และเนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้น

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า การเสริมรำข้าวบดในปริมาณที่มากขึ้นไม่ได้ทำให้ความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่วอเตอร์แอคติวิตีมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.3

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าดรรชนีการละลายน้ำ (WSI) และดรรชนีการดูดซับน้ำ (WAI) พบว่าการเสริมรำข้าวบดในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ดรรชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และดรรชนีการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jin *et al*. (1995) ที่พบว่า เมื่อเติมเส้นใยลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-20 จะทำให้ค่าดรรชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น และดัชนีการดูดซับน้ำลดลง การที่มีค่าดรรชนีการละลายน้ำสูงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีความเหนียว (Hashimoto and Grossmann, 2003) โดยดรรชนีการละลายน้ำ (water solubility index, WSI) และดรรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index, WAI) เป็นค่าที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายเมื่อผ่านความร้อนและอัตราการเฉือนต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางเคมีของอาหารเช้าธัญชาติที่เสริมรำข้าวบดในระดับต่างๆ

คุณภาพทางเคมี[1]	**ปริมาณรำข้าวบด (% Thai RDI)**				
	10	**12**	**14**	**16**	**18**
ความชื้น (ร้อยละ)[NS]	7.08±0.60	7.67±0.52	7.38±0.48	7.36±0.01	7.46±0.28
วอเตอร์แอคติวิตี	0.34^{b}±0.04	0.39^{ab}±0.02	0.38^{ab}±0.02	0.40^{ab}±0.02	0.42^{a}±0.01
ดรรชนีการละลายน้ำ	10.17^{ab}±0.36	9.79^{b}±0.61	10.06^{ab}±1.08	11.68^{a}±0.13	11.44^{a}±0.46
ดรรชนีการดูดซับน้ำ	4.43^{a}±0.48	4.31^{ab}±0.40	3.83^{abc}±0.20	3.63^{bc}±0.02	3.41^{c}±0.00

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของอาหารเช้าธัญชาติที่เสริมรำข้าวในปริมาณแตกต่างกัน พบว่า คุณภาพทุกด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเสริมรำข้าวบดที่ 10% Thai RDI การยอมรับในทุกลักษณะจะสูงกว่าอาหารเช้าธัญชาติที่เสริมรำข้าวบดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (12% Thai RDI, 14% Thai RDI, 16% Thai RDI และ 18% Thai RDI) ตามลำดับ จะเห็นว่าอาหารเช้าธัญชาติที่ได้รับการยอมรับน้อยคือ อาหารเช้าธัญชาติที่มีอัตราส่วนการพองตัวลดลง มีความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกสูง นั่นคือ อาหารเช้าธัญชาติที่มีความแข็งมาก เป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ชอบ (ประชา และ จุฬาลักษณ์, 2542; Sacchetti *et al.*, 2004) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติที่เสริมรำข้าวบดในระดับต่างๆ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส[1]	**ปริมาณรำข้าวบด (% Thai RDI)**				
	10	**12**	**14**	**16**	**18**
ลักษณะปรากฏ	$6.15^{a}\pm0.05$	$5.76^{ab}\pm0.01$	$5.56^{b}\pm0.22$	$4.58^{c}\pm0.33$	$4.01^{d}\pm0.08$
สี	$5.72^{a}\pm0.20$	$5.64^{a}\pm0.01$	$5.31^{ab}\pm0.01$	$4.93^{bc}\pm0.14$	$4.84^{c}\pm0.11$
กลิ่น	$5.60^{a}\pm0.07$	$5.40^{ab}\pm0.09$	$5.20^{abc}\pm0.02$	$4.99^{bc}\pm0.18$	$4.85^{c}\pm0.05$
รสชาติ	$5.57^{a}\pm0.05$	$5.08^{b}\pm0.24$	$4.72^{bc}\pm0.13$	$4.42^{cd}\pm0.02$	$4.10^{d}\pm0.19$
ความเนียนเนื้อ	$5.47^{a}\pm0.02$	$5.17^{ab}\pm0.02$	$5.13^{ab}\pm0.02$	$4.72^{bc}\pm0.08$	$4.50^{c}\pm0.14$
ความกรอบ	$6.32^{a}\pm0.01$	$5.61^{b}\pm0.01$	$5.20^{b}\pm0.09$	$4.67^{c}\pm0.33$	$4.39^{c}\pm0.04$
ความชอบโดยรวม	$6.08^{a}\pm0.05$	$5.50^{b}\pm0.02$	$5.11^{bc}\pm0.06$	$4.71^{cd}\pm0.39$	$4.35^{d}\pm0.09$

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเลือกอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากสูตรที่สามารถเสริมรำข้าวบดได้มากที่สุด ในขณะเดียวกันยังคงได้รับคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูง โดยเฉพาะการยอมรับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวม เนื่องจากคุณลักษณะทางด้านอื่นๆ คือ สี กลิ่น และรสชาติ สามารถปรับปรุงได้โดยการแต่งสี กลิ่น และรสชาติ เช่น การเคลือบคาราเมล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นจึงเลือกอาหารเช้าธัญชาติสูตรที่เสริมรำข้าวบดที่ 10% Thai RDI หรือประมาณร้อยละ 34 ทดแทนในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด ซึ่งร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีการเสริมรำข้าวบด 10% Thai RDI

ระดับความชอบ	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด	8.30	1.70	0.80	0.80	0.80	7.50	0.80
ชอบมาก	18.30	16.70	5.00	6.70	9.20	16.70	18.30
ชอบปานกลาง	21.70	18.30	20.80	27.50	16.70	28.30	30.80
ชอบเล็กน้อย	20.00	19.20	33.30	24.20	25.00	24.20	20.00
เฉยๆ	12.50	25.00	23.30	20.80	26.70	8.30	14.20
ไม่ชอบเล็กน้อย	8.30	6.70	6.70	5.80	11.70	7.50	5.80
ไม่ชอบปานกลาง	5.00	5.00	4.20	5.00	2.50	3.30	4.20
ไม่ชอบมาก	5.00	6.70	5.00	6.70	4.20	2.50	5.80
ไม่ชอบมากที่สุด	0.80	0.80	0.80	2.50	3.30	1.70	0.00

4.3 ปริมาณกัวกัมที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

อาหารเช้าธัญชาติที่ได้จากการเสริมรำข้าวบดลงไปนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผิวไม่เรียบและเนื้อเกาะติดกันไม่ดี มีรอยร้าวที่ผิวของผลิตภัณฑ์ จึงต้องใช้สารช่วยให้ส่วนผสมเกาะเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้กัวกัมในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากกัวกัมมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และยังช่วยอุ้มน้ำให้กับผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2543) ซึ่งเมื่อเติมลงไปแล้วจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการยึดเกาะตัวกันมากขึ้น บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เรียบเนียนขึ้นอีกด้วย

ซึ่งจากการเติมกัวกัมลงไปร้อยละ 5, 7 และ 9 ตามลำดับ ลงในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด (1:1) และรำข้าวบด ปรับความชื้นส่วนผสมให้เป็นร้อยละ 18 และผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วของการป้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที และอุณหภูมิของบาร์เรลโซนสุดท้ายเป็น 170 องศาเซลเซียส พบว่า จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบเนียนขึ้น มีการพองตัวดี ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่มีรอยร้าว การแตกออกจากกันลดลง (ภาคผนวก ก.4)

เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่า การเติมกัวกัมลงในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด และรำข้าวบดในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงว่าการเติมกัวกัมลงไปในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก พบว่า การเติมกัวกัมในช่วงปริมาณที่ศึกษาไม่ได้ทำให้ความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก และอัตราส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากกัวกัมเป็นสารเพิ่มความหนืดหรือสารเพิ่มความคงตัว จึงมีคุณสมบัติช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการยึดเกาะตัวกันมากขึ้นเท่านั้น เมื่อเติมลงไปในปริมาณเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก (ความแข็ง) ของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4.6

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า การเติมกัวกัมในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.7 เนื่องจากการเติมกัวกัมลงไปจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้ความชื้นและวอเตอร์แอคติวิตีของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีเพิ่มขึ้น แต่ค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหารมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.6 (นิธิยา, 2543; Fellows, 1993; Banwart, 1983)

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าดรรชนีการละลายน้ำ (WSI) และดรรชนีการดูดซับน้ำ (WAI) พบว่า การเติมกัวกัมในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ดรรชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มลดลง และดรรชนีการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.7 เนื่องจากกัวกัมมีคุณสมบัติไม่ก่อให้เกิดเจล ดังนั้นเมื่อเติมกัวกัมลงไปในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ก็หมายความว่ามีปริมาณของแป้งในส่วนผสมหลักลดลง จึงทำให้การเกิดเจลาติไนซ์ และดีกราเดชันของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งเป็นผลให้ค่าดรรชนีการละลายน้ำลดลง และค่าดรรชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และกัวกัมมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์อุ้มน้ำได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมกัวกัมในระดับต่างๆ

คุณภาพทางกายภาพ[1]	ปริมาณกัวกัม (ร้อยละ)		
	5	7	9
ค่าความสว่าง (L*)	77.47^{b}±0.93	78.59^{ab}±0.06	79.85^{a}±0.70
ค่าสีแดง (a*)^{NS}	+2.34±0.18	+1.96±0.15	+2.08±0.27
ค่าสีเหลือง (b*)^{NS}	+21.97±0.71	+21.37±0.90	+21.14±0.93
ความหนาแน่น^{NS} (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.33±0.01	0.33±0.01	0.34±0.00
แรงกดแตก (นิวตัน)^{NS}	71.27±1.42	70.95±1.23	71.58±1.20
อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง^{NS}	3.58±0.16	3.49±0.10	3.69±0.09
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว^{NS}	1.83±0.04	1.79±0.04	1.79±0.02
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด^{NS}	6.55±0.40	6.28±0.30	6.64±0.17

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.7 คุณภาพทางเคมีของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมกัวกัมในระดับต่างๆ

คุณภาพทางเคมี[1]	ปริมาณกัวกัม (ร้อยละ)		
	5	7	9
ความชื้น (ร้อยละ)	2.23^{c}±0.22	2.59^{b}±0.07	3.18^{a}±0.16
วอเตอร์แอคติวิตี	0.12^{b}±0.00	0.13^{ab}±0.00	0.13^{a}±0.01
ดรรชนีการละลายน้ำ	12.09^{a}±0.59	9.70^{b}±0.13	10.20^{b}±0.39
ดรรชนีการดูดซับน้ำ	4.23^{b}±0.20	4.56^{ab}±0.04	4.74^{a}±0.25

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมกัวกัมในปริมาณแตกต่างกัน พบว่าคุณภาพทุกด้านมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมกัวกัมในระดับต่างๆ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ปริมาณกัวกัม (ร้อยละ)		
	5	7	9
ลักษณะปรากฏ ^{NS}	6.02±0.20	5.96±0.05	5.93±0.10
สี ^{NS}	6.18±0.09	6.25±0.06	6.17±0.16
กลิ่น ^{NS}	5.81±0.02	5.94±0.17	5.85±0.41
รสชาติ ^{NS}	5.54±0.27	5.78±0.01	5.52±0.14
ความเนียนเนื้อ ^{NS}	5.96±0.01	6.14±0.37	5.99±0.41
ความกรอบ ^{NS}	6.67±0.22	6.81±0.15	6.60±0.33
ความชอบโดยรวม ^{NS}	6.13±0.06	6.29±0.31	6.18±0.43

หมายเหตุ: NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเลือกอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากสูตรที่สามารถเติมกัวกัมแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติมีผิวที่เรียบเนียนมากขึ้น และลดปริมาณการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ลงได้มากที่สุด และยังคงได้รับคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สูงอยู่โดยเฉพาะการยอมรับคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวม

ดังนั้นจึงเลือกอาหารเช้าธัญชาติสูตรที่เติมกัวกัมในปริมาณร้อยละ 7 ลงในส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด และรำข้าวบด ซึ่งร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีการเติมกัวกัมร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก

ระดับความชอบ	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด	0.90	0.90	0.90	0.90	0.00	0.90	3.50
ชอบมาก	11.40	14.00	7.90	7.90	14.90	33.30	9.60
ชอบปานกลาง	27.20	31.60	24.60	24.60	28.10	31.60	33.30
ชอบเล็กน้อย	21.10	29.80	28.90	29.80	26.30	19.30	28.10
เฉยๆ	26.30	12.30	29.80	19.30	20.20	9.60	19.30
ไม่ชอบเล็กน้อย	11.40	9.60	5.30	11.40	7.90	5.30	4.40
ไม่ชอบปานกลาง	0.00	1.80	0.90	2.60	2.60	0.00	0.90
ไม่ชอบมาก	1.80	0.00	1.80	2.60	0.00	0.00	0.90
ไม่ชอบมากที่สุด	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00

4.4 ปริมาณผงโกโก้ที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

อาหารเช้าธัญชาติที่ได้จากการเติมกัวกัมลงไปนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะลักษณะด้านสี กลิ่น และรสชาติ จึงต้องใช้สารช่วยเพิ่มคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติ ให้ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ผงโกโก้ในการปรับปรุงลักษณะด้านสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผงโกโก้สามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร รวมทั้งยังเป็นสารแต่งกลิ่นและรสในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.1 อาหารเช้าธัญชาติก่อนเคลือบคาราเมล

จากการเติมผงโกโก้ลงไปในส่วนผสมหลักคือ ปลายข้าวหอมมะลิบด แป้งข้าวโพด รำข้าวบด และกัวกัม ในปริมาณ 2, 4 และ 6 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม ปรับความชื้นส่วนผสมให้เป็นร้อยละ 18 และผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลเป็น 170 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่า การเติมผงโกโก้ลงไปในส่วนผสมหลักในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่าสีเหลือง (b*) ที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติมผงโกโก้ในปริมาณที่สูงขึ้น และค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.10 เนื่องจากผงโกโก้เมื่อเติมลงไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล (ภาคผนวก ก.5) จึงทำให้ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้น

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก พบว่า การเติมผงโกโก้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่น แรงกดแตก และอัตราส่วนการพองตัวมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผงโกโก้เป็นสารแต่งกลิ่นรสให้อาหารเท่านั้นจึงไม่มีผลต่อลักษณะดังกล่าว ดังตารางที่ 4.10

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า การเติมผงโกโก้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีมีค่าใกล้เคียงกัน ดรรชนีการละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และดรรชนีการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4.11 เนื่องจากผงโกโก้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อปริมาณการเติมผงโกโก้ลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นก็ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้ค่าดรรชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้นและดรรชนีการดูดซับน้ำลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในระดับต่างๆ ก่อนการเคลือบคาราเมล

คุณภาพทางกายภาพ[1]	ปริมาณผงโกโก้ (กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม)		
	2	4	6
ค่าความสว่าง (L*)	63.38^{a}±0.24	57.53^{b}±0.15	52.47^{c}±0.65
ค่าสีแดง (a*)	$+6.76^{c}$±0.10	$+7.48^{b}$±0.04	$+8.18^{a}$±0.08
ค่าสีเหลือง (b*)	$+18.84^{a}$±0.16	17.94^{b}±0.08	16.91^{c}±0.14
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.37^{a}±0.00	0.34^{c}±0.00	0.36^{b}±0.00
แรงกดแตก (นิวตัน)[NS]	73.02±10.32	69.97±8.01	69.62±7.88
อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง[NS]	3.52±0.23	3.58±0.34	3.47±0.23
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว[NS]	1.77±0.09	1.78±0.13	1.75±0.11
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด[NS]	6.24±0.52	6.41±1.00	6.09±0.66

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 คุณภาพทางเคมีของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในระดับต่างๆ ก่อนการเคลือบคาราเมล

คุณภาพทางเคมี[1]	ปริมาณผงโกโก้ (กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม)		
	2	4	6
ความชื้น (ร้อยละ) [NS]	2.50±0.33	2.52±0.11	2.51±0.27
วอเตอร์แอคติวิตี	0.10[b]±0.00	0.09[c]±0.00	0.11[a]±0.00
ดรรชนีการละลายน้ำ	8.03[b]±0.57	9.91[a]±0.94	10.99[a]±0.18
ดรรชนีการดูดซับน้ำ	5.42[a]±0.07	5.01[b]±0.08	4.75[c]±0.04

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4.2 อาหารเช้าธัญชาติหลังเคลือบคาราเมล

จากการเติมผงโกโก้ลงไปในส่วนผสมหลักคือ ปลายข้าวหอมมะลิบด แป้งข้าวโพด รำข้าวบด และกัวกัม ในปริมาณ 2, 4 และ 6 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม ปรับความชื้นส่วนผสมให้เป็นร้อยละ 18 และผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลเป็น 170 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยคาราเมล ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อคาราเมลเท่ากับ 2:1 จากนั้นอบในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่า การเติมผงโกโก้ลงไปในส่วนผสมหลักในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับ ค่าสีเหลือง (b*) ที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติมผงโกโก้ในปริมาณที่สูงขึ้นและค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.12

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก พบว่า การเติมผงโกโก้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากัน แรงกดแตก และอัตราส่วนการพองตัวมีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในระดับต่างๆ หลังการเคลือบคาราเมล

คุณภาพทางกายภาพ[1]	ปริมาณผงโกโก้ (กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม)		
	2	**4**	**6**
ค่าความสว่าง (L*)	62.32^{a}±0.39	57.69^{b}±0.51	53.79^{c}±0.39
ค่าสีแดง (a*)	$+6.75^{c}$±0.06	$+7.39^{b}$±0.03	$+7.61^{a}$±0.05
ค่าสีเหลือง (b*)	$+17.71^{a}$±0.03	$+16.89^{b}$±0.04	$+16.18^{c}$±0.04
ความหนาแน่น^{NS} (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.40±0.00	0.40±0.01	0.40±0.00
แรงกดแตก (นิวตัน)	72.81^{a}±0.69	66.67^{b}±0.97	66.57^{b}±1.24
แรงกดแตก (นิวตัน) เมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา			
- 5 นาที	4.98^{b}±0.38	6.18^{a}±0.28	6.89^{a}±0.41
- 10 นาที^{NS}	2.98±0.29	2.72±0.54	2.88±0.17
อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง	3.57^{ab}±0.09	3.62^{a}±0.08	3.45^{b}±0.07
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว	1.82^{ab}±0.02	1.85^{a}±0.05	1.75^{b}±0.06
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด	6.53^{ab}±0.24	6.74^{a}±0.34	6.05^{b}±0.32
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)^{NS}	3.57±0.12	3.40±0.13	3.44±0.09
วอเตอร์แอคติวิตี	0.20^{b}±0.00	0.20^{b}±0.00	0.21^{a}±0.00

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์แรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่า การเติมผงโกโก้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้แรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 5 นาทีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 10 นาที มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.12

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า การเติมผงโกโก้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวอเตอร์แอคติวิตีมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.12

เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และทางเคมีระหว่างผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวก่อนการเคลือบคาราเมลและหลังการเคลือบคาราเมล พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวก่อนการเคลือบคาราเมลมีความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่าอาหารเช้าธัญชาติที่ผ่านการเคลือบคาราเมลแล้ว ส่วนคุณภาพด้านอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดที่ค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในปริมาณแตกต่างกัน พบว่า คุณภาพด้านรสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมมีคะแนนใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อเติมผงโกโก้ในปริมาณ 4 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม การยอมรับลักษณะเหล่านี้ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงกว่าอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในระดับอื่นๆ (2 และ 6 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม) ส่วนคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีคะแนนที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ และสี การเติมผงโกโก้ในปริมาณ 4 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม ได้รับคะแนนสูงที่สุด ส่วนคุณภาพด้านกลิ่นจะได้รับคะแนนเป็นอันดับที่สอง แต่คะแนนที่ได้รับก็มีความใกล้เคียงกันมาก ดังตารางที่ 4.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในระดับต่างๆ หลังการเคลือบคาราเมล

คุณภาพทางประสาทสัมผัส[1]	ปริมาณผงโกโก้ (กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม)		
	2	**4**	**6**
ลักษณะปรากฏ	6.31^{c}±0.06	6.93^{a}±0.20	6.60^{b}±0.07
สี	6.18^{b}±0.12	6.99^{a}±0.10	6.86^{a}±0.06
กลิ่น	6.18^{c}±0.07	6.52^{b}±0.06	6.78^{a}±0.10
รสชาติ	6.64^{b}±0.11	7.01^{a}±0.10	6.98^{ab}±0.19
ความเนียนเนื้อ ^{NS}	6.60±0.08	6.75±0.13	6.73±0.14
ความกรอบ ^{NS}	7.00±0.15	7.10±0.07	7.06±0.10
ความชอบโดยรวม	6.68^{b}±0.04	7.06^{a}±0.16	7.04^{a}±0.15

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเลือกอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากสูตรที่เติมผงโกโก้แล้วทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติมีสี กลิ่น และรสชาติดีขึ้น และยังคงได้รับคะแนนการยอมรับคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่สูงอยู่ ดังนั้นจึงเลือกอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ในปริมาณ 4 กรัมต่อส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์ 100 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงที่สุดไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวต่อไป

และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของอาหารเช้าธัญชาติที่เติมผงโกโก้ลงไปในปริมาณ 4 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก และระดับความชอบปานกลางมีร้อยละของผู้ทดสอบชิมสูงที่สุด ดังตารางที่ 4.14 เมื่อนำคะแนนที่ได้ทั้งหมดมาทำการเฉลี่ยแล้ว พบว่า คะแนนความชอบอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งถือได้ว่าผู้ทดสอบชิมยอมรับการเติมผงโกโก้ในอาหารเช้าธัญชาติที่ปริมาณ 4 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม มากที่สุด จึงเลือกสูตรนี้ไปทำการศึกษาต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่เติมผงโกโก้ลงไป 4 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม

ระดับความชอบ	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด	6.80	3.10	3.70	6.80	3.70	6.80	4.90
ชอบมาก	22.20	31.50	15.40	29.60	19.10	31.50	30.90
ชอบปานกลาง	41.40	37.70	33.30	32.70	37.00	34.00	40.10
ชอบเล็กน้อย	19.10	19.80	29.60	22.20	31.50	23.50	17.30
เฉยๆ	8.00	4.90	12.30	6.20	6.80	2.50	4.30
ไม่ชอบเล็กน้อย	2.50	3.10	5.60	1.90	1.20	1.20	1.90
ไม่ชอบปานกลาง	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	0.00
ไม่ชอบมาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60
ไม่ชอบมากที่สุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4.5 สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

จากอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ส่วนผสมของปลายข้าวหอมมะลิบดกับแป้งข้าวโพด (1:1) ร้อยละ 59 รำข้าวบด 10% Thai RDI (ประมาณร้อยละ 34) กัวกัมร้อยละ 7 ผสมกับผงโกโก้ น้ำตาลทราย และแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณ 4, 3 และ 1 กรัมต่อส่วนผสมหลัก 100 กรัม นำไปศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experiment in Central Composite Design โดยกำหนดค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว 3 ปัจจัยคือ ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 30 และ 60 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 150 และ 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล 150 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งได้สภาวะทั้งหมด 11 สภาวะ (ภาคผนวก ง.3 ตารางที่ ง.1) ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 11 สภาวะ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและทางประสาทสัมผัส

หลังจากนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปเคลือบคาราเมลแล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าความสว่าง (L*) ซึ่งอยู่ในช่วง 51.60±0.39 ถึง 56.53±0.24 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 9.27±0.07 ถึง 9.82±0.08 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 17.75±0.07 ถึง 19.38±0.12 ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.36±0.01 ถึง 0.48±0.00 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 81.83±8.04 ถึง 124.33±19.32 นิวตัน อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้างอยู่ในช่วง 3.14±0.14 ถึง 3.99±0.35 อัตราส่วนการพองตัวด้านยาวอยู่ในช่วง 1.66±0.05 ถึง 1.94±0.05 และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดอยู่ในช่วง 5.22±0.30 ถึง 7.67±0.40 ดังตารางที่ 4.15

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว พบว่า ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 3.38±0.03 ถึง 5.48±0.08 วอเตอร์แอคติวิตีอยู่ในช่วง 0.14±0.00 ถึง 0.32±0.00 แรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 5 นาทีอยู่ในช่วง 13.43±3.05 ถึง 77.87±8.37 นิวตัน และแรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 10 นาทีอยู่ในช่วง 1.43±0.28 ถึง 29.39±6.52 นิวตัน ดังตารางที่ 4.16

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว พบว่า ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อลักษณะด้านลักษณะปรากฏซึ่งอยู่ในช่วงคะแนน 5.74±1.26 ถึง 6.62±0.97 ด้านสีอยู่ในช่วงคะแนน 6.18±1.47 ถึง 6.91±1.17 ด้านกลิ่นอยู่ในช่วงคะแนน 6.13±1.25 ถึง 6.47±1.26 นิวตัน ด้านรสชาติอยู่ในช่วงคะแนน 6.42±1.32 ถึง 6.87±1.26 ด้านความเนียนเนื้ออยู่ในช่วงคะแนน 5.85±1.48 ถึง 6.85±0.97 ด้านความกรอบอยู่ในช่วงคะแนน 5.89±1.50 ถึง 7.36±1.04 และด้านความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 6.18±1.26 ถึง 6.94±0.93 ดังตารางที่ 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 ผลของสภาวะในการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต			คุณภาพทางกายภาพ							
	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)	สี			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	แรงกดแตก (นิวตัน)	อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง	อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว	อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด
				ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)					
1	30	150	150	51.70±0.42	+9.40±0.10	+17.75±0.07	0.48±0.00	124.33±19.32	3.62±0.20	1.78±0.06	6.45±0.54
2	60	150	150	51.60±0.39	+9.77±0.17	+17.78±0.11	0.43±0.01	122.00±10.76	3.56±0.16	1.82±0.05	6.47±0.37
3	30	250	150	52.00±0.51	+9.56±0.26	+18.39±0.15	0.45±0.00	81.83±8.04	3.87±0.17	1.86±0.10	7.22±0.59
4	60	250	150	51.65±0.20	+9.82±0.08	+17.87±0.11	0.44±0.01	91.45±9.27	3.94±0.18	1.94±0.05	7.67±0.40
5	30	150	180	54.51±0.46	+9.36±0.19	+18.49±0.08	0.42±0.00	83.15±7.55	3.21±0.18	1.68±0.06	5.42±0.43
6	60	150	180	54.54±0.24	+9.39±0.08	+18.25±0.12	0.44±0.01	99.01±11.47	3.14±0.14	1.66±0.05	5.22±0.30
7	30	250	180	56.53±0.24	+9.32±0.18	+19.38±0.12	0.40±0.01	86.76±14.27	3.36±0.34	1.68±0.10	5.69±0.85
8	60	250	180	55.43±0.17	+9.27±0.13	+18.29±0.08	0.36±0.01	74.52±9.80	3.62±0.13	1.85±0.06	6.68±0.42
9	45	200	165	53.69±0.15	+9.27±0.07	+17.86±0.05	0.44±0.01	87.85±8.18	3.80±0.16	1.81±0.10	6.86±0.47
10	45	200	165	55.24±0.25	+9.31±0.14	+18.27±0.21	0.42±0.01	96.33±12.42	3.65±0.18	1.79±0.05	6.54±0.40
11	45	200	165	52.65±0.29	+9.49±0.23	+17.83±0.06	0.41±0.01	97.09±10.14	3.99±0.35	1.86±0.11	7.44±0.73

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 ผลของสภาวะในการผลิตต่อคุณภาพด้านเคมีและแรงกดแตกเมื่อแช่ในน้ำนมของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต			คุณภาพทางเคมี		แรงกดแตก (นิวตัน) เมื่อแช่ในน้ำนมเป็นเวลา		
	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอคติวิตี	ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านการแช่ในน้ำนม	5 นาที	10 นาที
1	30	150	150	5.48±0.08	0.32±0.00	124.33±19.32	77.87±8.37	29.39±6.52
2	60	150	150	5.35±0.04	0.28±0.00	122.00±10.76	19.81±6.42	3.40±0.75
3	30	250	150	4.58±0.09	0.23±0.00	81.83±8.04	24.65±7.02	4.92±2.53
4	60	250	150	4.80±0.07	0.24±0.00	91.45±9.27	19.67±6.47	3.02±0.90
5	30	150	180	3.81±0.04	0.16±0.00	83.15±7.55	20.50±5.79	1.83±0.93
6	60	150	180	4.05±0.08	0.18±0.00	99.01±11.47	28.39±6.89	1.54±0.35
7	30	250	180	3.38±0.03	0.14±0.00	86.76±14.27	18.41±5.24	4.17±1.11
8	60	250	180	3.55±0.10	0.15±0.00	74.52±9.80	13.43±3.05	1.43±0.28
9	45	200	165	3.98±0.06	0.20±0.00	87.85±8.18	21.26±5.61	4.71±1.26
10	45	200	165	4.27±0.10	0.20±0.00	96.33±12.42	19.39±4.13	3.82±0.96
11	45	200	165	4.09±0.07	0.18±0.00	97.09±10.14	27.12±5.77	1.95±0.68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ผลของสภาวะในการผลิตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต			คุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	30	150	150	5.96±1.46	6.65±1.20	6.24±1.22	6.42±1.32	5.85±1.48	5.89±1.50	6.18±1.26
2	60	150	150	6.58±1.38	6.91±1.17	6.18±1.39	6.54±1.48	6.42±1.41	6.64±1.44	6.51±1.36
3	30	250	150	5.87±1.38	6.53±1.09	6.44±1.22	6.49±1.44	6.25±1.44	6.62±1.35	6.44±1.23
4	60	250	150	6.62±0.97	6.85±0.84	6.24±1.36	6.73±1.53	6.69±1.33	7.11±1.30	6.89±1.10
5	30	150	180	6.16±1.08	6.45±1.21	6.13±1.28	6.42±1.33	6.56±1.17	6.89±1.21	6.45±1.12
6	60	150	180	6.20±1.18	6.44±1.36	6.14±1.39	6.44±1.38	6.33±1.31	6.80±1.19	6.51±1.10
7	30	250	180	5.74±1.26	6.18±1.47	6.40±1.40	6.42±1.63	6.84±1.37	7.07±1.29	6.54±1.46
8	60	250	180	6.53±1.18	6.47±.1.12	6.29±1.20	6.54±1.42	6.78±1.30	7.14±1.25	6.89±1.13
9	45	200	165	6.22±1.20	6.34±1.23	6.13±1.25	6.51±1.46	6.78±1.05	7.24±1.04	6.70±1.07
10	45	200	165	6.40±1.03	6.62±0.87	6.47±1.26	6.87±1.26	6.85±0.97	7.36±1.04	6.94±0.93
11	45	200	165	6.11±1.23	6.38±1.18	6.20±1.14	6.67±1.19	6.73±1.19	7.05±1.04	6.80±0.89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลคุณภาพที่ได้ นำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยกับสูตรของสภาวะการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่าสภาวะการผลิตมีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.18) สมการที่เลือกเป็นสมการที่มีค่า R^2 (Coefficient of determination) ตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล) และตัวแปรตามที่ศึกษา (คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและทางประสาทสัมผัส) สมการที่ค่า R^2 สูง สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ดี นำสมการถดถอยที่ได้ ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (response surface) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica ซึ่งสมการถดถอย และกราฟพื้นที่ตอบสนอง สามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น หากเปลี่ยนแปลงระดับของความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล แต่การคาดคะเนต้องกระทำในขอบเขตของช่วงหรือระดับต่ำ-สูงที่ได้จากการทดลองจริงเท่านั้น

จากการพิจารณาสมการถดถอยของคุณภาพทางกายภาพ (ตาราง 4.18) จะเห็นว่าค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลเพียงอย่างเดียว โดยมีความสัมพันธ์กันแบบสมการเส้นตรง คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ก็จะเพิ่มขึ้น

สำหรับคุณภาพทางกายภาพด้านแรงกดแตก จะเห็นว่าความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลมีอิทธิพลต่อแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที แรงกดแตกจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง ดังภาพที่ 4.1 ที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 60 รอบต่อนาที การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดแตกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่ความเร็วรอบของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.2 หากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแรงกดแตกสูงย่อมหมายความว่าผลิตภัณฑ์มีความแน่น และแข็งมากขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลต่ำ วัตถุดิบส่วนผสมขณะที่ถูกอัดออกมาจึงได้รับการบด อัด เสียดสีน้อย ทำให้เกิดแรงเค้นต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการพองตัวน้อย และมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (ฤทัยพันธ์, 2537; ประชา และจุฬาลักษณ์, 2540; Frame, 1994) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นและแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงใช้แรงในการกดผลิตภัณฑ์ให้แตกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 สมการถดถอยของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

สมการถดถอย	R^2
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง (L*) = 53.59491 - 0.1895(A) + 0.4065(B) + 1.757(C)$^{\#}$	0.8435
ค่าสีเหลือง (b*) = 18.19582 – 0.228(A) + 0.2095(B) + 0.3285(C)$^{\#}$	0.7162
แรงกดแตก (นิวตัน) = 94.91003 + 1.32308(A) – 11.77877(B)$^{\#}$ – 9.57262(C)$^{\#}$	0.7456
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว = 1.79525 + 0.032737(A) + 0.049412(B)$^{\#}$ – 0.065163 (C)$^{\#}$	0.8082
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด = 6.51427 + 0.15875(A) + 0.4615(B)$^{\#}$ – 0.6(C)$^{\#}$	0.7485
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ) = 4.30478 + 0.064437(A) - 0.29894(B)$^{\#}$ – 0.67766(C)$^{\#}$	0.9422
วอเตอร์แอคติวิตี = 0.20643 – 1.125x10^{-4}(A) – 0.023537(B)$^{\#}$ – 0.055787(C)$^{\#}$	0.9192
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	
ลักษณะปรากฏ = 6.21814 + 0.27273(A)$^{\#}$ – 0.0182(B) – 0.05(C)	0.7322
สี = 6.53054 + 0.10683(A)$^{\#}$ – 0.052275(B) – 0.17497(C)$^{\#}$	0.7664

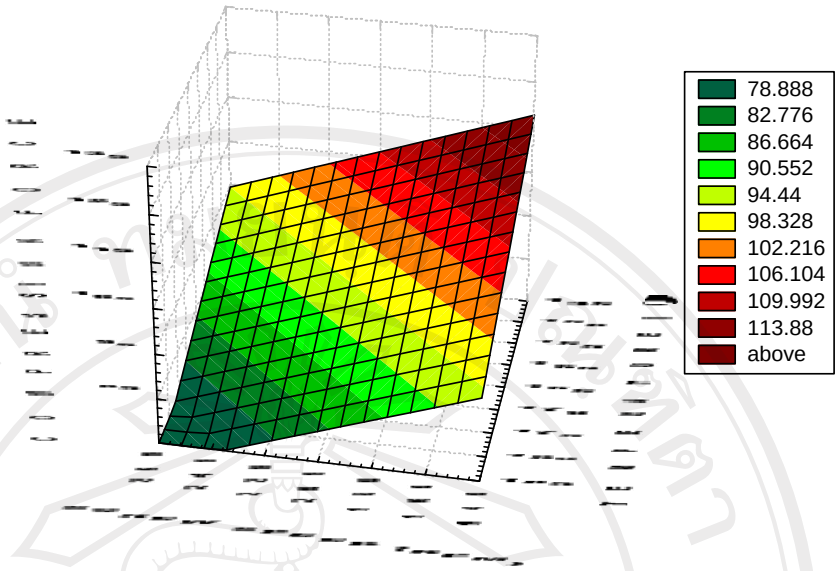
หมายเหตุ: A หมายถึง ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)

B หมายถึง ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)

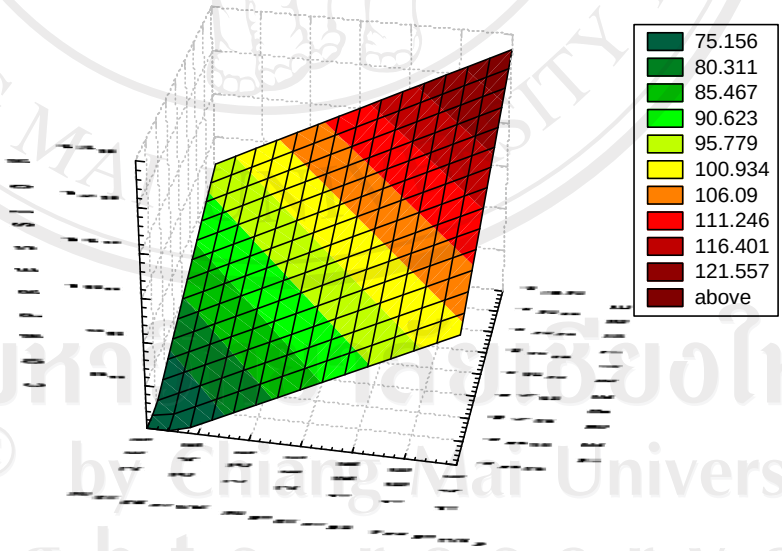
C หมายถึง อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)

หมายถึง ปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



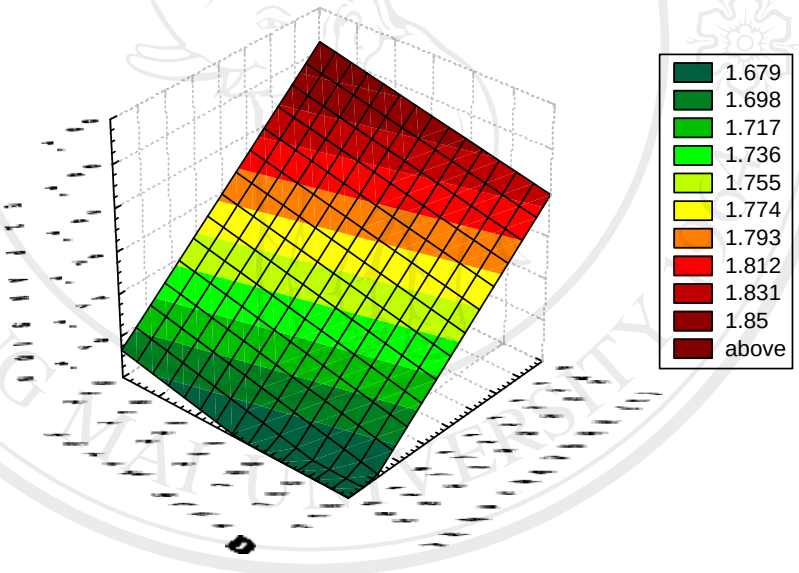
ภาพที่ 4.1 พื้นที่การตอบสนองของแรงกดแตกเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

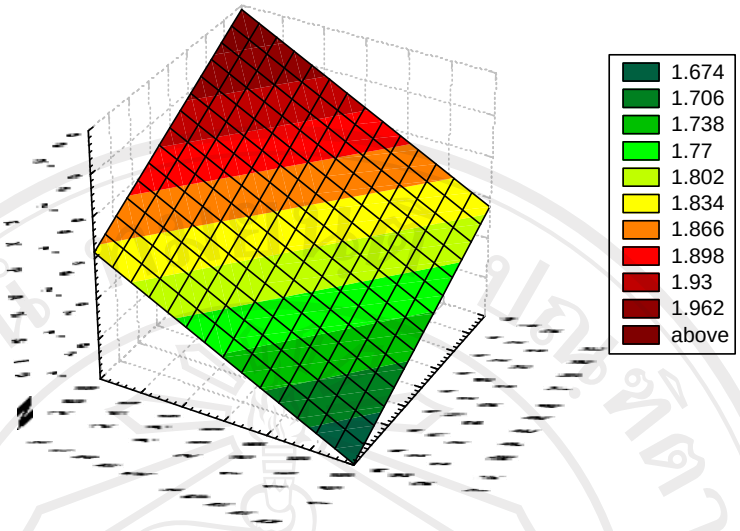
ภาพที่ 4.2 พื้นที่การตอบสนองของแรงกดแตกเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที

จากคุณภาพทางกายภาพด้านอัตราส่วนการพองตัว เห็นได้ว่าอัตราส่วนการพองตัวด้านยาวและอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว และอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง ดังภาพที่ 4.3 และ 4.5 และที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 60 รอบต่อนาที พบว่า อัตราส่วนการพองตัวด้านยาวและอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว และอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.4 และ 4.6

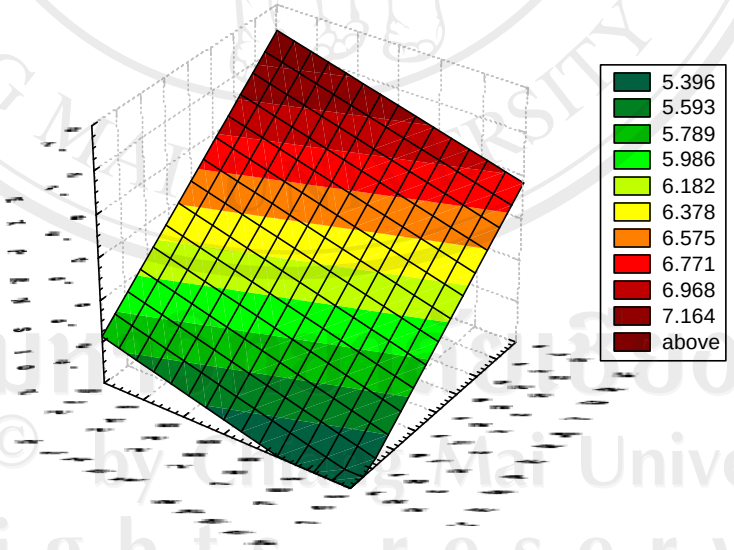


ภาพที่ 4.3 พื้นที่การตอบสนองของอัตราส่วนการพองตัวด้านยาวเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

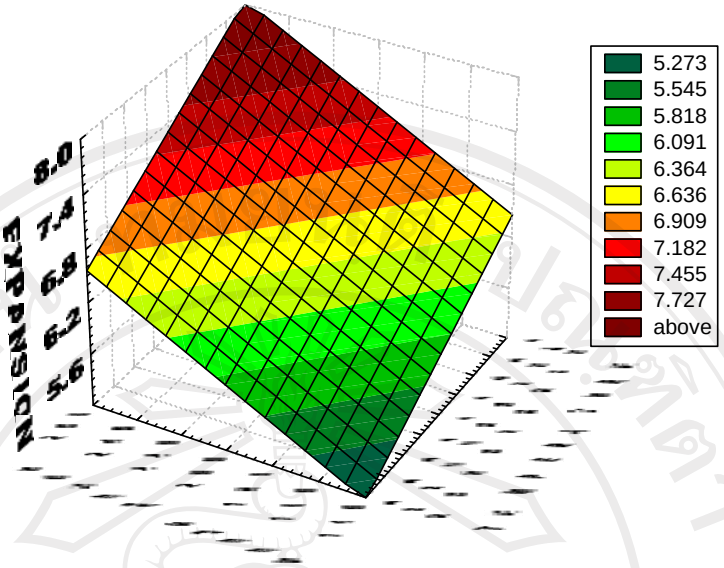


ภาพที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองของอัตราส่วนการพองตัวด้านยาวเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองของอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที

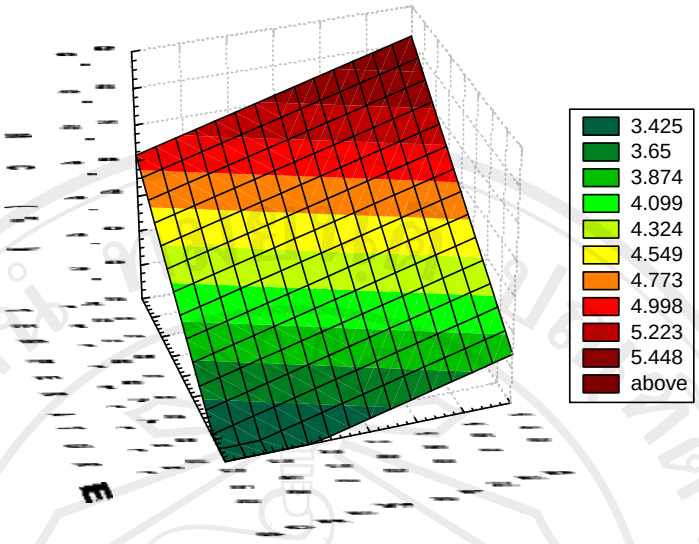


ภาพที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองของอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที

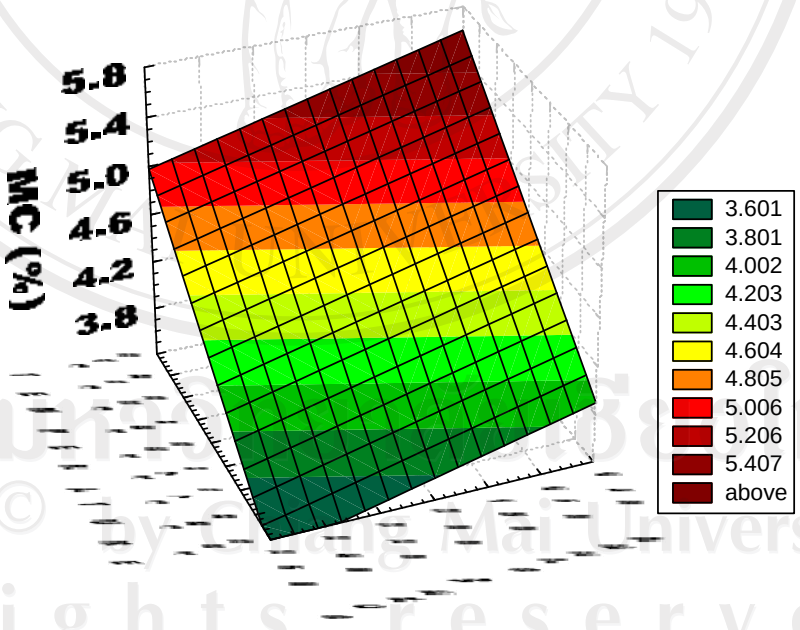
จากคุณภาพทางเคมีด้านความชื้น เห็นได้ว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที ความชื้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง ดังภาพที่ 4.7 และที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที พบว่า ความชื้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 4.8

สำหรับวอเตอร์แอคติวิตี เห็นได้ว่าวอเตอร์แอคติวิตีของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลเช่นเดียวกับความชื้น คือ ที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง วอเตอร์แอคติวิตีจะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.9 และที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที พบว่า วอเตอร์แอคติวิตีจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง ดังภาพที่ 4.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

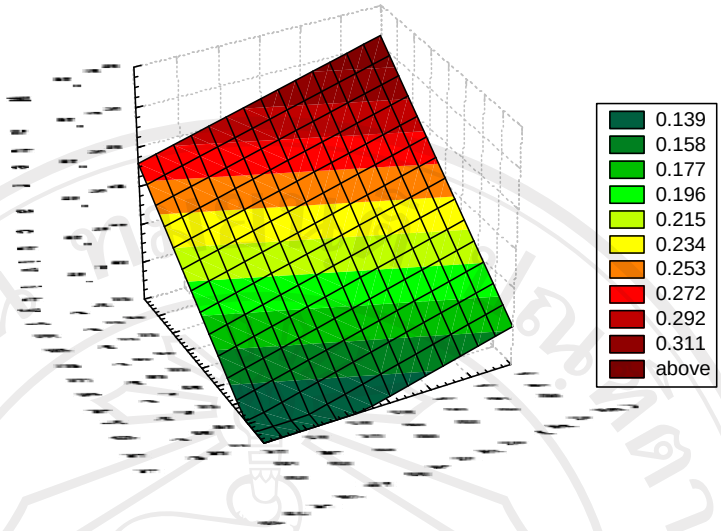


ภาพที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองของความชื้นเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที

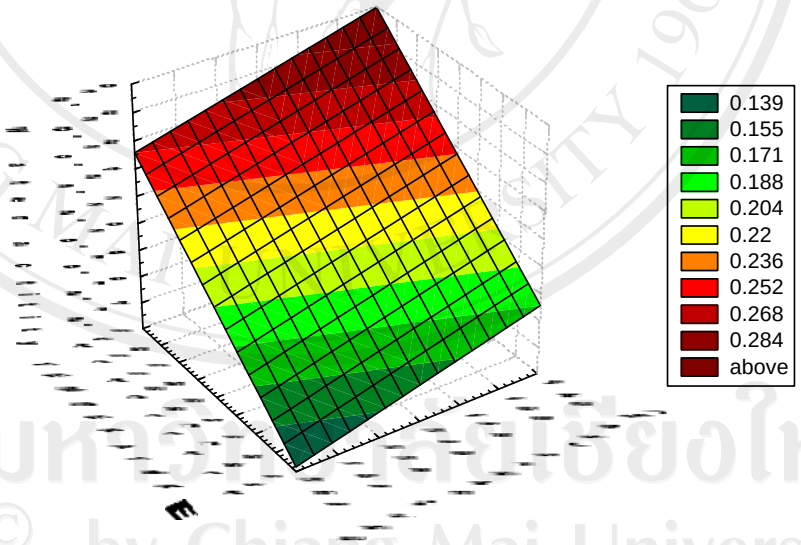


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.8 พื้นที่การตอบสนองของความชื้นเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที



ภาพที่ 4.9 พื้นที่การตอบสนองของวอเตอร์แอคติวิตีเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที

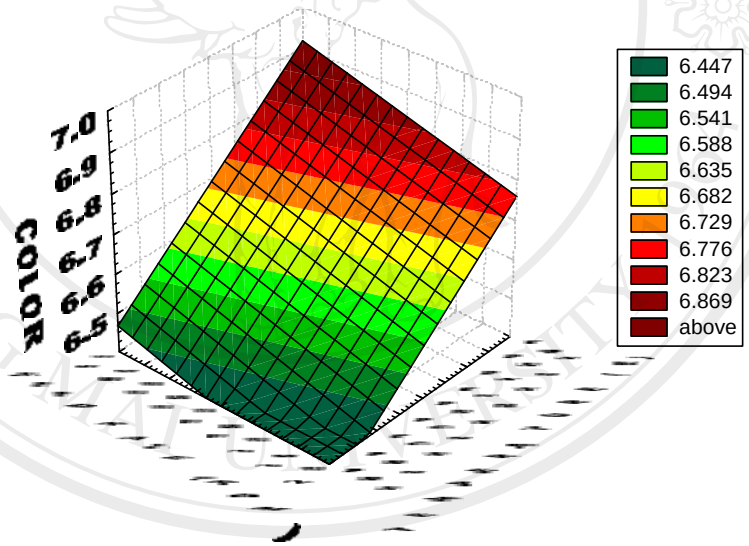


ภาพที่ 4.10 พื้นที่การตอบสนองของวอเตอร์แอคติวิตีเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 60 รอบต่อนาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

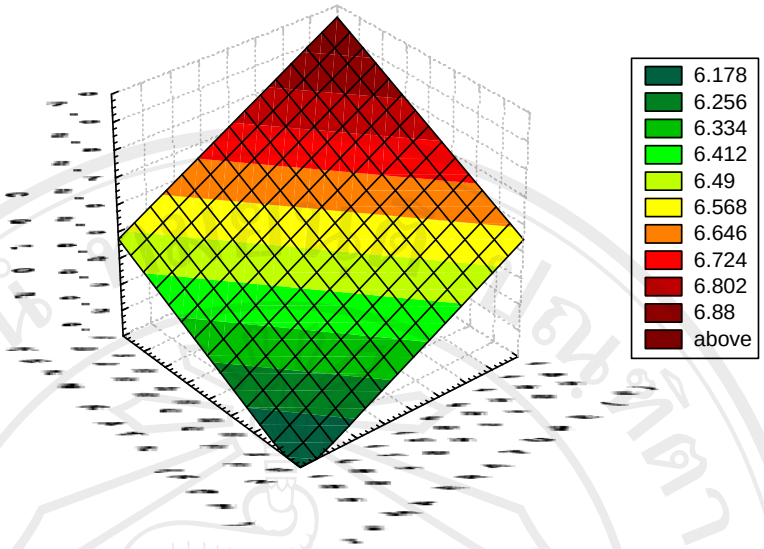
จากการพิจารณาสมการถดถอยของคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตาราง 4.18) จะเห็นว่าด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว คือ เมื่ออัตราเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับของลักษณะปรากฏก็เพิ่มขึ้นสูง

สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่า สีของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล คือ ที่ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที คะแนนการยอมรับของสีจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลงและความเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.11 เช่นเดียวกันกับที่ความเร็วรอบของสกรูคงที่ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลลดลง และความเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับของสีจะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.11 พื้นที่การตอบสนองของสีเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วของการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วรอบของสกรูคงที่ 150 รอบต่อนาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.12 พื้นที่การตอบสนองของสีเนื่องจากปัจจัยระดับความเร็วของการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว เมื่อพิจารณาความเร็วรอบของสกรูคงที่ 250 รอบต่อนาที

ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูง มักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าแรงกดแตกต่ำ (ความแข็งน้อย) ความหนาแน่นน้อย และอัตราส่วนการพองตัวสูง ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล ดังนั้นการคัดเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวจึงพิจารณาคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นสำคัญ โดยเฉพาะด้านลักษณะปรากฏ สี ความเนียนเนื้อ และความกรอบ รวมทั้งความหนาแน่น แรงกดแตก อัตราส่วนการพองตัว ความชื้น และวอเตอร์แอคติวิตีของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยหาระดับของความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลในช่วงที่ทำการศึกษาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่ามีสภาวะในการผลิตที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารเช้าธัญชาติจากรำข้าวทั้งหมด 3 สภาวะ ดังตารางที่ 4.19

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 สภาวะในการผลิตที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต (ค่าที่ใส่รหัสไว้)			สภาวะในการผลิต (ค่าที่ถอดรหัสแล้ว)		
	ความเร็วของการป้อน	ความเร็วรอบของสกรู	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)
1	1.00	1.00	-1.00	60	250	150
2	1.00	0.97	-1.00	60	248.5	150
3	1.00	0.91	-1.00	60	245.5	150

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่ได้มีทั้งหมด 3 สภาวะ ซึ่งมีความเร็วของการป้อนวัตถุดิบอยู่ที่ 60 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรูอยู่ในช่วง 245.5 ถึง 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส และจากการหาสภาวะในการผลิตที่เหมาะสม (optimization) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านความเนียนเนื้อ และความกรอบได้คะแนนการยอมรับ 6.52, 6.76, 6.55 และ 6.89 ตามลำดับ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.75-4.77 และวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ที่ 0.24 และคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นอยู่ที่ 0.43 กรัมต่อมิลลิลิตร แรงกดแตกอยู่ในช่วง 94.03-95.03 นิวตัน อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้างอยู่ที่ 4.00 อัตราส่วนการพองตัวด้านยาวอยู่ที่ 1.94 และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 7.70-7.73 (ตารางที่ 4.20) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางเคมี และทางกายภาพแล้ว พบว่า ผลที่ได้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย รวมทั้งสภาวะที่ใช้ในการผลิตก็คล้ายคลึงกันแตกต่างเพียงความเร็วรอบของสกรูเท่านั้น ซึ่งในสภาวะการผลิตจริงความเร็วรอบของสกรูที่ต่างกันเพียง 5 รอบต่อนาทีแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการผลิตจริง

ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกสภาวะที่ 1 คือ ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 60 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล 150 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 ผลของคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางเคมี และทางกายภาพ ที่คาดคะเนได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0

สภาวะที่	คุณภาพทางประสาทสัมผัส (คะแนน)				คุณภาพทางเคมี		คุณภาพทางกายภาพ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอคติวิตี	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	แรงกดแตก (นิวตัน)	อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง	อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว	อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด
1	6.52	6.76	6.55	6.89	4.75	0.24	0.43	94.03	4.00	1.94	7.73
2	6.52	6.76	6.55	6.89	4.76	0.24	0.43	94.34	4.00	1.94	7.72
3	6.52	6.76	6.55	6.89	4.77	0.24	0.43	95.03	4.00	1.94	7.70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

จากการนำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านสี โดยวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวมีค่าความสว่าง (L*) 54.57±0.37 ค่าสีแดง (a*) +10.41±0.13 และค่าสีเหลือง (b*) +18.71±0.17 ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

คุณภาพทางกายภาพ	ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ
ค่าความสว่าง (L*)	54.57±0.37
ค่าสีแดง (a*)	10.41±0.13
ค่าสีเหลือง (b*)	18.71±0.17
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.36±0.01
แรงกดแตก (นิวตัน)	76.98±7.03
อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง	3.96±0.14
อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว	1.88±0.05
อัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัด	7.45±0.37

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และแรงกดแตก พบว่าอาหารเช้าธัญชาติที่ผ่านการเคลือบคาราเมลแล้วมีความหนาแน่น และแรงกดแตก อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้าง อัตราส่วนการพองตัวด้านยาว และอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดสูงกว่าอาหารเช้าที่ยังไม่ผ่านการเคลือบคาราเมล แสดงว่าการเคลือบคาราเมลมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่น แรงกดแตก (ความแข็ง) และอัตราส่วนการพองตัว เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.21

เมื่อนำอาหารเช้าธัญชาติที่ผ่านการเคลือบคาราเมลและยังไม่ผ่านการเคลือบคาราเมลไปวิเคราะห์ความคงตัวในน้ำนมเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด 2 ชนิด (ตรา A และตรา B)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่า ก่อนการแช่ในน้ำนม และเมื่อแช่ในน้ำนมผ่านไป 5 นาที ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติทั้ง 2 ชนิดมีแรงกดแตกสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อแช่ในน้ำนมผ่านไป 10 นาที อาหารเช้าที่ผ่านการเคลือบคาราเมลจะมีแรงกดแตกสูงที่สุด ส่วนอาหารเช้าธัญชาติที่ยังไม่ผ่านการเคลือบคาราเมล และผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อมีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.22 เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณของเส้นใยอาหารสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีแรงกดแตก (ความแข็ง) สูงกว่า เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปแช่ในน้ำนม พบว่า เมื่อแช่ในน้ำนมผ่านไป 5 และ 10 นาที อาหารเช้าที่ยังไม่ผ่านการเคลือบคาราเมลจะมีค่าแรงกดแตกลดลงอย่างมากจนใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อ แต่อาหารเช้าธัญชาติที่ผ่านการเคลือบคาราเมลแล้วเมื่อแช่ในน้ำนมผ่านไป 5 และ 10 นาที ก็ยังมีค่าแรงกดแตกสูงสุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ดังนั้นการเคลือบคาราเมลจึงเป็นการช่วยเพิ่มระยะเวลาให้ผลิตภัณฑ์สามารถคงตัวอยู่ในน้ำนมได้นานขึ้น และการที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงก็ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงตัวในน้ำนมได้นานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.22 ความคงตัวในน้ำนมของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติและผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

ลักษณะคุณภาพ[1]	ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ		ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด	
	ผ่านการเคลือบคาราเมล	ไม่ผ่านการเคลือบคาราเมล	ตรา A	ตรา B
แรงกดแตก (นิวตัน)				
- ก่อนการแช่ในน้ำนม	$76.98^{a}\pm7.03$	$70.36^{b}\pm8.33$	$16.04^{c}\pm6.11$	$17.94^{c}\pm2.83$
- หลังแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 5 นาที	$35.03^{a}\pm6.59$	$14.78^{b}\pm2.29$	$3.95^{d}\pm0.66$	$9.53^{c}\pm1.49$
- หลังแช่ในน้ำนมเป็นเวลา 10 นาที	$11.89^{a}\pm2.49$	$4.18^{b}\pm1.72$	$2.70^{c}\pm0.80$	$4.27^{b}\pm0.61$

หมายเหตุ: 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารเช้ามีความชื้นร้อยละ 4.94 ± 0.02 และวอเตอร์แอคติวิตี 0.21 ± 0.00 ดังตารางที่ 4.23 ซึ่งยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหารมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.6 (นิธิยา, 2543; Fellows, 1993; Banwart, 1983)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 คุณภาพทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารเช้าธัญชาติ

คุณภาพทางเคมีและองค์ประกอบทางเคมี	ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ
ความชื้น (ร้อยละ)	4.94±0.02
วอเตอร์แอคติวิตี	0.21±0.00
โปรตีน (ร้อยละ)	5.60±0.22
ไขมัน (ร้อยละ)	9.43±0.11
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	75.60±0.17
เถ้า (ร้อยละ)	3.90±0.01
เส้นใย (ร้อยละ)	0.55±0.05
เส้นใยอาหาร (dietary fiber) (ร้อยละ)	16.98±0.55
- เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)	9.91±0.56
- เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ)	7.07±0.01

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้า พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.60±0.22 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 75.60±0.17 ปริมาณไขมันร้อยละ 9.43±0.11 เนื่องจากในขั้นตอนการเคลือบคาราเมลนั้นมีเนยชนิดเค็มเป็นส่วนผสมของคาราเมลที่ใช้ในการเคลือบ ซึ่งจากตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัมพบว่าเนยชนิดเค็มมีปริมาณไขมันสูงถึง 52.40 กรัม (กองโภชนาการ, 2535) จึงทำให้อาหารเช้าธัญชาติมีปริมาณไขมันสูง ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.90±0.01 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.55±0.05 ดังตารางที่ 4.23 โดยอาหารเช้าธัญชาติในท้องตลาดส่วนใหญ่มีปริมาณเส้นใยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4-3.6 และมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4-4.4 (Leslis *et al*., 1971)

สำหรับปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) นั้นพบว่ามีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ร้อยละ 9.91±0.56 ปริมาณของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ร้อยละ 7.07±0.01 และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ร้อยละ 16.98±0.55 (ภาคผนวก จ) ดังตารางที่ 4.23 ซึ่งการจะกล่าวอ้างได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยอาหารสูงจะต้องมีเส้นใยอาหารปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 20% Thai RDI หรือ มากกว่าหรือเท่ากับ 5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (serving size) โดยเส้นใย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่คนไทยควรจะได้รับในแต่ละวันคือ 25 กรัม (Thai RDI) ถ้าหนึ่งหน่วยบริโภคของอาหารเช้าธัญชาติคือ 30 กรัมจะต้องมีเส้นใยอาหารมากกว่าหรือเท่ากับ 5 กรัม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เส้นใยอาหารพบว่าในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว 100 กรัมมีเส้นใยอาหาร 16.98 กรัม นั่นคือผลิตภัณฑ์ 30 กรัมจะมีเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ 5.094 กรัม จึงสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวที่ทำการพัฒนาแล้วเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยอาหารสูง

เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) ของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว จากการคำนวณ พบว่า เมื่อรับประทานอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว 30 กรัม จะได้รับโปรตีน 1.68 กรัม ได้รับไขมันทั้งหมด 2.829 กรัม (เทียบเท่า 4.35% Thai RDI) โดยปริมาณไขมันที่คนไทยควรจะได้รับในแต่ละวันคือ 65 กรัม ได้รับคาร์โบไฮเดรต 22.68 กรัม (เทียบเท่า 7.56% Thai RDI) โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่คนไทยควรจะได้รับในแต่ละวันคือ 300 กรัม ได้รับเส้นใยอาหาร 5.094 กรัม (เทียบเท่า 20.376% Thai RDI) และได้รับพลังงานทั้งหมด 122.901 กิโลแคลอรี ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค(30 กรัม)	**อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว**			
	กรัม	**% Thai RDI***	**พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม**	**พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)**
ไขมันทั้งหมด	2.829	4.35	9	25.461
โปรตีน	1.68	-	4	6.72
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	22.68	7.56	4	90.72
เส้นใยอาหาร	5.094	20.376	-	-
รวมพลังงานทั้งหมด				122.901

หมายเหตุ: * หมายถึง ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุ 6 ปีขึ้นไปโดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา พบว่า การตรวจวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและตรวจวิเคราะห์หายีสต์และรา พบจำนวนน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมอบกรอบจากธัญชาติ พบว่า เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดคือจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวม พบว่า ในทุกลักษณะผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบอยู่ระหว่างชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว
ลักษณะปรากฏ	7.50±0.74
สี	7.86±0.72
กลิ่น	7.32±1.05
รสชาติ	7.68±1.08
ความเนียนเนื้อ	7.30±0.83
ความกรอบ	7.98±0.75
ความชอบโดยรวม	7.80±0.64

และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของอาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมทั้งหมดให้คะแนนในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมากที่สุด และเมื่อพิจารณาทุกคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่มีผู้ทดสอบชิมคนใดที่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์นี้ เมื่อนำคะแนนที่ได้ทั้งหมดมาทำการเฉลี่ยแล้ว พบว่า คะแนนความชอบอยู่ระหว่างชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งถือได้ว่าผู้ทดสอบชิมยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ไม่รวมค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่า อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวมีต้นทุนการผลิตเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และค่าแรงงานผลิตประมาณ 84 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม (ภาคผนวก ง.4) ซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าในท้องตลาดที่มีราคาขายประมาณ 330-400 บาทต่อกิโลกรัม และผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าวยังเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยอาหารสูงโดยสามารถระบุได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีเส้นใยอาหารสูง (high fiber breakfast cereal) รวมทั้งยังนำวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรอีกด้วย

ตารางที่ 4.26 ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเสริมรำข้าว

ระดับความชอบ	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมจำแนกตามความชอบในคุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด	3.60	19.60	10.70	26.80	5.40	25.00	11.60
ชอบมาก	53.60	46.40	37.50	30.40	35.70	50.00	56.30
ชอบปานกลาง	32.10	33.90	30.40	30.40	44.60	23.20	32.10
ชอบเล็กน้อย	10.70	0.00	16.10	8.90	12.50	1.80	0.00
เฉยๆ	0.00	0.00	5.40	3.60	1.80	0.00	0.00
ไม่ชอบเล็กน้อย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม่ชอบปานกลาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม่ชอบมาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม่ชอบมากที่สุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved