บทที่4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพวัตถุดิบ 5 ชนิดได้แก่ ข้าวโพดเกล็ด ปลายข้าวหอมมะลิบด งาดำ งาขาว และงาหม่น พบว่า ข้าวโพดเกล็ดมีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก สีเหลืองอ่อน ส่วนปลายข้าวหอมมะลิบดเป็นผงสีขาว งาดำดิบ และงาขาวดิบมีลักษณะเมล็ดแบนรี คล้ายหยดน้ำ มีสีดำหม่น และสีขาวครีมตามลำดับ ส่วนงาหม่นมีลักษณะเมล็ดกลม สีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ ก.1) เมื่อตรวจวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่าวัตถุดิบแต่ละชนิดมีค่าสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ปลายข้าวหอมมะลิมีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด (90.98$\pm$0.16) รองลงมาคือ ข้าวโพดเกล็ด (81.19$\pm$0.67) งาขาว (71.56$\pm$0.40) งาหม่น (37.75$\pm$0.89) และงาดำ (24.97$\pm$0.68) ตามลำดับ สำหรับค่าสีแดงพบว่า (a*) พบว่า วัตถุดิบทุกชนิดมีค่าสีแดงค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วง – 0.81$\pm$0.05 ถึง 6.63$\pm$0.38 ส่วนค่าสีเหลือง (b*) พบว่าข้าวโพดเกล็ดมีค่าสีเหลืองสูงที่สุด (46.48$\pm$2.28) รองลงไปคือ งาขาว (18.93$\pm$0.70) ปลายข้าวหอมมะลิบด (7.17$\pm$0.21) งาหม่น (5.43$\pm$0.70) และงาดำ (2.13$\pm$0.21) ตามลำดับ

เมื่อนำวัตถุดิบที่ใช้ไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดต่างกัน พบว่า งาทั้ง 3 ชนิดมีขนาดใหญ่กว่า 20 เมชทั้งหมด ส่วนข้าวโพดเกล็ดมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง20-50 เมช (ร้อยละ 66.01$\pm$0.55) (ตารางที่ 4.1) ที่เหลือเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 50 เมช (ร้อยละ 32.29$\pm$0.72) และใหญ่กว่า 20 เมช (ร้อยละ 1.70$\pm$0.30) จากการวิจัยของ ประชา (2537ข) พบว่าขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัส และความรู้สึกขณะรับประทานของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดพอง ซึ่งข้าวโพดเกล็ดมีขนาดอยู่ในช่วง 50-60 เมช เมื่อผ่านเครื่องเอ็กทรูเดอร์แบบสกรูคู่จะได้ขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่พองกรอบนุ่มและมีโครสร้างละเอียด ส่วนข้าวโพดเกล็ดที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 16-25 เมช จะได้ขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแข็ง เนื้อแน่นโครงสร้างใหญ่ รูอากาศใหญ่ เมื่อนำปลายข้าวหอมมะลิไปบดผ่านเครื่องบด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดต่างกัน พบว่าอนุภาคของปลายข้าวหอมมะลิบด มีปริมาณอนุภาคอยู่สูงในช่วง 20-50 เมช (ร้อยละ 45.73$\pm$1.87) ที่เหลือเป็นอนุภาคที่ใหญ่กว่า 20 เมช (ร้อยละ 21.45$\pm$1.31) สำหรับอนุภาคเล็กกว่า 50 เมช ของปลายข้าวหอมมะลิบดพบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกับข้าวโพดเกล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ร้อยละ 32.29$\pm$0.72 และ 32.83$\pm$0.74 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ลักษณะคุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบส่วนใหญ่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีความชื้นของวัตถุดิบแต่ละชนิดสอดคล้องกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของข้าวโพดเกล็ด ปลายข้าวหอมมะลิบด งาดำ งาขาว และงาหม่น

ลักษณะคุณภาพ[1/]	วัตถุดิบ				
	ข้าวโพดเกล็ด	ปลายข้าวหอมมะลิบด	งาดำ	งาขาว	งาหม่น
คุณภาพทางกายภาพ					
ค่าความสว่าง (L*)	$81.19^{b}\pm0.67$	$90.98^{a}\pm0.16$	$24.97^{e}\pm0.68$	$71.56^{c}\pm0.40$	$37.75^{d}\pm0.89$
ค่าสีแดง (a*)	$6.63^{a}\pm0.38$	$-0.81^{c}\pm0.05$	$2.25^{b}\pm0.23$	$1.87^{b}\pm0.41$	$6.29^{a}\pm0.18$
ค่าสีเหลือง (b*)	$46.48^{a}\pm2.28$	$7.17^{c}\pm0.21$	$2.13^{d}\pm0.21$	$18.93^{b}\pm0.70$	$5.43^{c}\pm0.70$
ขนาดอนุภาค					
ใหญ่กว่า 20 เมซ (ร้อยละ)	$1.70^{c}\pm0.30$	$21.45^{b}\pm1.31$	$100.00^{a}\pm0.00$	$100.00^{a}\pm0.00$	$100.00^{a}\pm0.00$
อยู่ในช่วง 20-50เมซ (ร้อยละ)	$66.01^{a}\pm0.55$	$45.73^{b}\pm1.87$	$00.00^{c}\pm0.00$	$00.00^{c}\pm0.00$	$00.00^{c}\pm0.00$
เล็กกว่า 50 เมซ (ร้อยละ)	$32.29^{a}\pm0.72$	$32.83^{a}\pm0.74$	$00.00^{b}\pm0.00$	$00.00^{b}\pm0.00$	$00.00^{b}\pm0.00$
คุณภาพทางเคมี[2/]					
ความชื้น(ร้อยละ)	$11.90^{a}\pm0.20$	$9.83^{b}\pm0.23$	$4.10^{d}\pm0.10$	$2.67^{e}\pm0.06$	$6.30^{c}\pm0.10$
โปรตีน (ร้อยละ)	$5.40^{d}\pm0.09$	$6.93^{c}\pm0.09$	$21.59^{a}\pm0.03$	$21.73^{a}\pm0.17$	$18.30^{b}\pm0.17$
ไขมัน (ร้อยละ)	$1.24^{d}\pm0.29$	$0.80^{e}\pm0.25$	$49.46^{b}\pm0.21$	$56.65^{a}\pm0.94$	$44.06^{c}\pm0.29$
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	$0.42^{d}\pm0.07$	$0.55^{d}\pm0.07$	$9.27^{b}\pm0.23$	$3.57^{c}\pm0.33$	$15.47^{a}\pm0.37$
เถ้า (ร้อยละ)	$0.27^{d}\pm0.03$	$0.38^{d}\pm0.03$	$5.87^{a}\pm0.16$	$2.68^{c}\pm0.16$	$3.13^{b}\pm0.17$
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	$80.76^{a}\pm0.40$	$81.51^{a}\pm0.42$	$9.71^{c}\pm0.27$	$12.69^{b}\pm1.10$	$12.73^{b}\pm0.23$
วอเตอร์แอคติวิตี	$0.58^{a}\pm0.00$	$0.44^{c}\pm0.00$	$0.56^{b}\pm0.01$	$0.40^{d}\pm0.01$	$0.56^{b}\pm0.00$
อะไมโลส (ร้อยละ)	$34.00^{a}\pm0.00$	$18.67^{b}\pm1.15$	-	-	-
แป้ง (ร้อยละ)	$45.32^{b}\pm1.43$	$50.93^{a}\pm1.29$	-	-	-

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2 / คุณภาพทางเคมี ยกเว้นวอเตอร์แอคติวิตี คำนวณจากน้ำหนักฐานเปียก

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบคุณภาพของวัตถุดิบกับงานวิจัยอื่น

คุณภาพทางเคมี	ข้าวโพดเกล็ด			ข้าวหอมมะลิ			งาดำ			งาขาว			งาหม่น	
	ค่าที่วิเคราะห์ได้	Onwulata *et al.* (2001)	Onanong *et al.* (2002)	ค่าที่วิเคราะห์ได้	สถานีทดลองข้าว (2547)	กองโภชนาการ (2544)	ค่าที่วิเคราะห์ได้	สมยศและมารุต (2547)	กองโภชนาการ (2544)	ค่าที่วิเคราะห์ได้	สมยศและมารุต, (2547)	กองโภชนาการ (2544)	ค่าที่วิเคราะห์ได้	กองโภชนาการ (2544)
ความชื้น (ร้อยละ)	11.90	12.00	13.08	9.83	12.00	9.90	4.10	5.26	4.20	2.67	5.87	3.90	6.30	7.20
โปรตีน (ร้อยละ)	5.40	9.00	6.30	6.93	6.70	7.00	21.59	17.62	20.60	21.73	16.84	20.90	18.30	16.10
ไขมัน (ร้อยละ)	1.24	2.00	0.44	0.80	0.40	2.40	49.46	48.18	48.20	56.65	51.26	57.10	44.06	46.50
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	0.42	-	1.67	0.55	0.30	2.50	9.27	6.01	9.90	3.57	4.36	4.60	15.47	16.70
เถ้า (ร้อยละ)	0.27	0.70	0.51	0.38	0.50	1.60	5.87	7.04	5.20	2.68	6.01	3.10	3.13	1.00
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	80.76	76.30	78.00	81.51	80.40	79.10	9.71	15.89	11.90	12.69	20.18	15.0	12.73	28.00

หมายเหตุ : - ไม่มีการวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่าวอเตอร์แอคติวิตีช่วงต่ำกว่า 0.6 นั้นเป็นผลให้จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถที่จะเจริญได้ อีกทั้งเอมไซม์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งเมื่อค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.85 รวมถึงปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอมไซม์ที่ทำให้อาหารเสียคุณค่าทางโภชนาการ ก็จะหยุดปฏิกิริยาที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.6 เช่นกัน (นิธิยา, 2545; Fellow, 1993; Banwart, 1983 และสุลาลักษณ์, 2549) ในส่วนของ เยื่อใย หยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของข้าวโพดเกล็ด และปลายข้าวหอมมะลิ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และในส่วนปริมาณโปรตีนของงาดำ และงาขาว (ร้อยละ 21.59±0.03 และ 21.73±0.17 ตามลำดับ) คาร์โบไฮเดรตของงาขาว และงาหม่น (ร้อยละ 12.69±1.10 และ 12.73±0.23 ตามลำดับ) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี ของงาดำและงาหม่น (ร้อยละ 0.56±0.01 และ 0.56±0.00 ตามลำดับ) นั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วย ในงาดำ งาขาว และงาหม่นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ต่ำ (ร้อยละ 9.71±0.27 12.69±1.10 และ 12.73±0.23 ตามลำดับ) แต่มีคาร์โบไฮเดรตมากในข้าวโพดเกล็ด และปลายข้าวหอมมะลิบด (ร้อยละ 80.76±0.40 และ 81.51±0.42 ตามลำดับ) ส่วนอะไมโลส และแป้ง ในข้าวโพดเกล็ดและปลายข้าวหอมมะลิบดนั้น พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยข้าวโพดเกล็ดมีอะไมโลสสูงกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด (ร้อยละ 34.00±0.00 และ 18.67±1.15 ตามลำดับ) ซึ่งส่วนใหญ่ข้าวโพดจะมีอะไมโลสร้อยละ 28 ส่วนข้าวเจ้ามีอะไมโลสร้อยละ 14.32 (Blanshard, 1987 และสุลาลักษณ์, 2549) ข้าวโพดเกล็ดมีปริมาณแป้งน้อยกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด (ร้อยละ 45.32±1.43 และ 50.93±1.29 ตามลำดับ)

เมื่อพิจารณาในส่วนของ เถ้า ของงาทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปริมาณเถ้าในงาดำ (ร้อยละ 5.87±0.16) มีมากกว่าในงาขาว (2.68±0.16) และงาหม่น (3.13±0.17) ซึ่งปริมาณเถ้าในวัตถุดิบเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุที่สูงด้วย (Harber, 1998) และเมื่อพิจารณาในส่วนของโปรตีน และไขมันของงาทั้ง 3 ชนิด พบว่างาหม่นมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 18.30±0.17) ต่ำกว่าปริมาณโปรตีนในงาดำ และงาขาว (ร้อยละ 21.59±0.03 และ 21.73±0.17 ตามลำดับ) และงาหม่นมีปริมาณไขมัน (ร้อยละ44.06±0.29) ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไขมันในงาดำและงาขาว (ร้อยละ 49.46±0.21 และ 56.65±0.94 ตามลำดับ) และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่างาดำแต่สูงกว่างาขาวเพียงเล็กน้อย จากการที่โปรตีนและไขมันเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายและให้พลังงานสูงประกอบด้วยกรดอะมิโน และกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายจำนวนมาก ดังนั้นหากมีโปรตีน และไขมันอยู่สูงก็จะมีปริมาณกรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดต่างๆอยู่สูงด้วย (สุนีย์, 2543) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกงาดำ และงาขาวมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป นอกจากมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ที่สูงกว่างาหม่น ยังเป็นที่รู้จักและนิยมของผู้บริโภคทั่วไป อย่างไรก็ตามคุณภาพทางเคมีที่วิเคราะห์ได้ของวัตถุดิบแต่ละชนิด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นแล้ว (ตารางที่ 4.2) พบว่ามีค่าแตกกันกันบ้างเล็กน้อยทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดวัตถุดิบ แหล่งที่ปลูก สายพันธุ์ การเก็บเกี่ยว รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการเปรียบเทียบคุณภาพของงา 3 ชนิดที่ผ่านกรรมวิธีต่างพบว่า มีลักษณะคุณภาพทางเคมี (ค่าสี ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.3) โดยพบว่างาขาวดิบมีค่าความสว่างสูงที่สุด เมื่อนำไปบดจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจาก 72.00±0.28 เพิ่มเป็น 71.56±0.41 เช่นเดียวกับงาหม่นดิบเมื่อนำมาบดจะทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 37.75±0.89 เพิ่มเป็น 41.55±0.66 ส่วนงาดำดิบมีค่าความสว่างต่ำสุดและเมื่อนำมาบดพบว่ามีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นมากที่สุดจาก 23.75±0.52 เพิ่มเป็น 31.40±0.55 เนื่องจากการบด ทำให้เกิดการแตกของเมล็ดงา ทำให้เนื้องาที่เป็นสีขาวด้านในแตกออกมาผสมกับเนื้อผิวภายนอกเมล็ด ดังนั้นจึงทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นหลังการบด

จากการนำเมล็ดงามาผ่านกรรมวิธีการคั่วพบว่า การคั่วนั้นมีผลทำให้ค่าความสว่างของงาขาวลดลงจาก 71.56±0.41 ลดลงเหลือ 66.38±0.36 เนื่องจากความร้อนทำเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลหรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) โดยที่ เมื่อเมล็ดงาได้รับความร้อนจะมีการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และรวมตัวกัน (condensation) ของหมู่อะมิโนของสารประกอบรีดิวซิง พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเหลืองจนถึงน้ำตาล และน้ำตาลแดงโดยเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง (นิธิยา, 2545) ส่วนงาดำและงาหม่นนั้นการคั่วไม่มีผลต่อค่าความสว่าง แต่อาจมีมีผลในด้านกลิ่น โดยการคั่วและนำมาบดนั้นมีผลต่องาทั้ง 3 ชนิดโดยทำให้ค่าความสว่างของงาคั่วบด เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับงาดิบบด เมื่อพิจารณาค่าสีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของงาทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่งาหม่น คั่ว ไม่บด มีค่าสีแดง (a*) สูงที่สุด (7.72±0.17) และงาขาว ดิบ ไม่บด มีค่าสีแดงต่ำสุด (1.83±0.41) ส่วนค่าสีเหลือง (b*) ของงาขาวคั่วไม่บดสูงสุด (27.48±1.12) เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีของเปลือกนอกเมล็ดงาด้วยความร้อน จากสีขาวเป็นสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งเห็นชัดกว่าในงาดำและงาหม่นซึ่งมีสีเปลือกนอกเมล็ดเป็นสีดำและน้ำตาลเข้ม ส่วนงาดำ คั่ว บดมีค่าสีเหลืองต่ำสุด (0.41±0.23)

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีของงาที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ พบว่าการคั่วมีผลทำให้ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตีมีแนวโน้มลดลง โดยทำให้ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากการให้ความร้อนแก่เมล็ดงาจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำ โดยที่หลังคั่ว งาจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.27±0.06 ถึง 0.70±0.20 ส่วนค่าวอเตอร์แอคติวิตีของงาดำ งาขาว และงาหม่นที่ผ่านการคั่วแล้วก็มีแนวโน้มลดลงต่ำมาก (0.10±0.02 0.17±0.02 และ 0.11±0.01 ตามลำดับ) หลังการบดงาทำให้ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตีของงาแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าสี ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี ของงาทั้ง 3 ชนิด ในรูปแบบต่างๆ

งาที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ			ลักษณะคุณภาพ[1/]				
			ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี
งาดำ	ดิบ	ไม่บด	$23.75^{h}\pm0.52$	$2.07^{f}\pm0.67$	$3.03^{h}\pm1.28$	$4.10^{d}\pm0.10$	$0.56^{b}\pm0.01$
		บด	$31.40^{g}\pm0.55$	$5.08^{cd}\pm0.15$	$2.00^{h}\pm0.14$	$5.00^{c}\pm0.20$	$0.60^{a}\pm0.00$
	คั่ว	ไม่บด	$23.27^{h}\pm0.69$	$2.32^{f}\pm0.25$	$2.47^{h}\pm0.10$	$0.43^{gh}\pm0.06$	$0.10^{h}\pm0.02$
		บด	$34.23^{f}\pm0.23$	$4.20^{e}\pm0.37$	$0.41^{i}\pm0.23$	$0.83^{f}\pm0.23$	$0.15^{g}\pm0.01$
งาขาว	ดิบ	ไม่บด	$71.56^{a}\pm0.41$	$1.87^{f}\pm0.41$	$18.93^{c}\pm0.70$	$2.67^{e}\pm0.06$	$0.40^{d}\pm0.01$
		บด	$72.00^{a}\pm0.28$	$1.97^{f}\pm0.10$	$17.36^{d}\pm0.65$	$2.77^{e}\pm0.15$	$0.47^{c}\pm0.01$
	คั่ว	ไม่บด	$66.38^{b}\pm0.36$	$5.58^{c}\pm0.61$	$27.48^{a}\pm1.12$	$0.27^{h}\pm0.06$	$0.17^{f}\pm0.02$
		บด	$64.98^{c}\pm1.01$	$4.61^{de}\pm0.05$	$20.23^{b}\pm0.48$	$0.63^{fg}\pm0.06$	$0.19^{e}\pm0.00$
งาหม่น	ดิบ	ไม่บด	$37.75^{e}\pm0.89$	$6.29^{b}\pm0.18$	$5.43^{g}\pm0.70$	$6.30^{b}\pm0.01$	$0.56^{b}\pm0.00$
		บด	$41.55^{d}\pm0.66$	$4.43^{e}\pm0.10$	$5.18^{g}\pm0.63$	$6.70^{a}\pm0.20$	$0.56^{b}\pm0.00$
	คั่ว	ไม่บด	$37.66^{e}\pm0.37$	$7.72^{a}\pm0.17$	$6.68^{f}\pm0.37$	$0.70^{f}\pm0.20$	$0.11^{h}\pm0.01$
		บด	$40.79^{d}\pm0.57$	$4.53^{de}\pm0.26$	$10.39^{e}\pm0.42$	$2.60^{e}\pm0.10$	$0.56^{b}\pm0.00$

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพภายนอกของงาที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆพบว่า งาที่ผ่านการคั่วมีกลิ่นหอมเกิดขึ้นและมีสีเปลี่ยนไปเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงทำให้อาหารมีสี กลิ่น และรสชาติเฉพาะที่ดีขึ้น แล้วแต่ชนิดของงา เมื่อนำงาไปผ่านกรรมวิธีการบด พบว่า งาขาวดิบ มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน และงาขาวคั่วบดจะมีสีเข้มขึ้นและจับตัวเป็นก้อนมากขึ้น เนื่องจากการบดทำให้เกิดการแตกของเมล็ดงา ไขมันที่อยู่ภายในจึงไหลออกมา และความร้อนจากการคั่วทำให้เซลล์ภายในแตก จึงทำให้ไขมันที่เป็นของเหลว ไหลออกมาเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2541) ซึ่งการจับกันเป็นก้อนของงาขาว ทำให้นำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นได้ยากขึ้น ส่วนงาดำดิบเมื่อนำมาบดจะได้งาลักษณะป่นร่วน และงาดำคั่วบดจะจับตัวกันเล็กน้อย (ภาพที่ ก.1) โดยงาหม่นดิบ และงาหม่นคั่วบดมีลักษณะป่นร่วน เนื่องจากมีเปลือกภายนอกหนา และปริมาณไขมันน้อยกว่างาดำและงาขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ชนิดของงา และการคั่วต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงา ซึ่งผลิตจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

จากการเสริมงาขาว และงาดำที่ผ่านกรรมวิธีในรูปแบบต่างๆ คือ งาดิบไม่บด งาดิบบด งาคั่วไม่บด งาคั่วบด ร้อยละ 4 ของส่วนผสมสูตรพื้นฐาน เมื่อปรับความชื้นส่วนผสมให้เป็นร้อยละ13 และผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (ภาพที่ ก.2) ความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที ความเร็วรอบสกรู 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 170 องศาเซลเซียส ความเร็วของใบมีดหน้าแปลน 80 รอบต่อนาที และนำไปอบในตู้อบลมร้อน 80 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า งาที่เติมลงไปในส่วนผสม เป็นผลทำให้คุณภาพทางกายภาพ (อัตราการพองตัว ความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และสีเหลือง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ขนมขบเคี้ยวที่เสริมงาดำที่ผลิตได้ มีอัตราการพองตัว อยู่ในช่วง 2.50$\pm$0.03 ถึง 2.65$\pm$0.06 ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 63.32$\pm$0.14 ถึง 78.12$\pm$0.18 กรัมต่อลิตร และค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 5.46$\pm$0.82 ถึง 7.85$\pm$0.99 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.4) โดยที่ขนมขบเคี้ยวที่เสริมงาขาวที่ผลิตได้ มีค่าอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 2.64$\pm$0.27 ถึง 3.03$\pm$0.06 ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 64.62$\pm$0.18 ถึง 97.24$\pm$0.18 กรัมต่อลิตร และค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 5.17$\pm$0.96 ถึง 7.10$\pm$0.08 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.5) ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้จากการเติมงาที่ผ่านกระบวนการต่างๆยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) โดยพิจารณาในจากสูตรที่ดีที่สุด มีอัตราการพองตัว 3.90 ค่าความหนาแน่น 70.00 กรัมต่อลิตร และค่าแรงกดแตก 7.06 กิโลกรัม ได้มีการรายงานไว้ว่า อัตราการพองตัวปกติของขนมขบเคี้ยวทั่วไปควรอยู่ในช่วง 3.06-3.83 (Mohamed, 1990) หรือ 4.03$\pm$0.20 และ 3.70$\pm$0.20 (ประชา และคณะ, 2539; Boonyasirikool and Charunuch, 2000b) ส่วนความหนาแน่น มีค่า 48-64 กรัมต่อลิตร (Rokey and Huber, 1987) 50-160 กรัมต่อลิตร (Moore, 1994) 59$\pm$10 กรัมต่อลิตร (ประชา และคณะ, 3539) และ 76-92 กรัมต่อลิตร (Boonyasirikool and Charunuch, 2000b) จากรายงานดังกล่าวจะเห็นว่าอัตราการพองตัว และความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยวอาจมีค่าอยู่ในช่วงกว้างมาก ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับผู้บริโภคที่ต่างเพศ ต่างวัย รวมถึงรูปร่างและปัจจัยอื่นๆของขนมขบเคี้ยว (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว ซึ่งเสริมงาดำรูปแบบต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ[1/]	สูตรขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาดำรูปแบบต่างๆ				
	ไม่เสริมงา	งาดิบ-ไม่บด	งาดิบ-บด	งาคั่ว-ไม่บด	งาคั่ว-บด
คุณภาพทางกายภาพ					
อัตราการพองตัว	2.98 ^{a}±0.05	2.61 ^{b}±0.03	2.65 ^{b}±0.06	2.50 ^{c}±0.03	2.61 ^{b}±0.05
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	58.62 ^{e}±0.23	64.39 ^{c}±0.12	63.32 ^{d}±0.14	78.12 ^{a}±0.18	77.68 ^{b}±0.25
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	5.30 ^{c}±0.89	5.82 ^{c}±0.90	5.46 ^{c}±0.82	7.85 ^{a}±0.99	6.80 ^{b}±1.24
ค่าความสว่าง (L*)	85.64 ^{a}±0.40	74.27 ^{c}±0.35	70.86 ^{e}±0.02	75.09 ^{b}±0.01	72.56 ^{d}±0.71
ค่าสีแดง (a*)	2.75 ^{a}±0.04	2.34 ^{bc}±0.06	1.20 ^{d}±0.01	2.42 ^{b}±0.04	2.29 ^{c}±0.04
ค่าสีเหลือง (b*)	41.31 ^{a}±0.32	25.39 ^{d}±0.65	23.60 ^{e}±0.03	27.57 ^{b}±0.02	26.43 ^{c}±0.11
คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
สี $^{ns.}$	6.90±1.48	6.25±1.37	6.00±1.14	6.30±1.08	6.10±1.45
กลิ่น $^{ns..}$	6.05±1.15	6.00±0.97	6.15±1.42	5.70±1.49	6.05±1.73
รสชาติ $^{ns.}$	6.00±1.38	6.00±1.03	5.95±1.32	5.70±1.26	5.90±1.48
ความกรอบ $^{ns.}$	6.95±1.40	7.10±1.37	7.05±1.40	6.60±1.50	6.50±1.76
ความเนียนเนื้อ $^{ns.}$	6.00±1.62	6.45±1.91	6.60±1.27	6.25±1.21	6.30±1.49
การยอมรับโดยรวม $^{ns.}$	6.30±1.38	6.5±1.10	6.38±1.31	6.20±1.28	6.18±1.53

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns. หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาระหว่างขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเสริมงา (ผลิตจากส่วนผสมสูตรพื้นฐาน) กับขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาดำดิบไม่บด และงาดำดิบบด พบว่า ค่าแรงกดแตก (5.30±0.89 5.82±0.90 และ 5.46±0.82 กิโลกรัม ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยอัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่เสริมงาดำดิบไม่บด และงาดำดิบบด (2.61±0.03 และ2.65±0.06 ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว ซึ่งงาขาวรูปแบบต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ[1/]	สูตรขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาขาวชนิดต่างๆ				
	ไม่เสริมงา	งาดิบ-ไม่บด	งาดิบ-บด	งาคั่ว-ไม่บด	งาคั่ว-บด
คุณภาพทางกายภาพ					
อัตราการพองตัว	2.98 ^{a} ±0.05	2.84 ^{ab} ±0.05	3.03 ^{a} ±0.06	2.64 ^{b} ±0.27	2.65 ^{b} ±0.21
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	58.62 ^{e} ±0.23	64.62 ^{c} ±0.18	64.29 ^{d} ±0.08	97.24 ^{a} ±0.18	96.60 ^{b} ±0.25
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	5.30 ^{c} ±0.89	5.17 ^{c} ±0.96	5.24 ^{c} ±0.76	6.07 ^{b} ±1.29	7.10 ^{a} ±0.80
ค่าความสว่าง (L*)	85.64 ^{a} ±0.40	85.82 ^{a} ±0.02	83.58 ^{c} ±0.02	84.13 ^{b} ±0.07	83.12 ^{d} ±0.01
ค่าสีแดง (a*)	2.75 ^{e} ±0.04	2.91 ^{d} ±0.03	3.21 ^{a} ±0.01	3.10 ^{b} ±0.01	3.02 ^{c} ±0.01
ค่าสีเหลือง (b*)	41.31 ^{a} ±0.32	38.19 ^{d} ±0.01	39.62 ^{c} ±0.01	40.39 ^{b} ±0.16	39.71 ^{c} ±0.01
คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
สี $^{ns.}$	6.95±1.32	6.75±1.48	6.90±1.25	6.90±1.41	6.95±1.50
กลิ่น $^{ns..}$	6.30±1.08	6.10±1.55	6.10±1.33	6.30±1.30	5.75±1.62
รสชาติ $^{ns.}$	6.95±1.10	6.05±1.64	5.70±1.42	5.80±1.44	5.85±1.39
ความกรอบ $^{ns.}$	6.95±1.91	7.00±1.41	7.15±1.31	6.70±1.49	6.75±1.48
ความเนียนเนื้อ $^{ns.}$	6.00±1.65	6.25±1.71	5.95±1.64	5.95±1.57	6.05±1.50
การยอมรับโดยรวม $^{ns.}$	6.30±1.34	6.28±1.55	6.13±1.52	6.48±1.39	6.05±1.47

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns. หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

จากการพิจารณาระหว่างขนมขบเคี้ยวไม่เสริมงา กับขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวดิบไม่บดและงาขาวดิบบด พบว่าอัตราการพองตัว (2.98±0.05 2.84±0.05 และ 3.03±0.06 ตามลำดับ) และค่าแรงกดแตก (5.30±0.89 5.17±0.96 และ 5.24±0.76 กิโลกรัม ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน

ดังนั้นการเสริมงาดำ และงาขาวที่ผ่านกรรมวิธี และในรูปแบบต่างๆ มีผลทำให้อัตราการพองตัวลดลง ความหนานแน่น และค่าแรงกดแตกเพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณภาพทั้ง 3 ค่ามีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกมาก อัตราส่วนการพองตัวจะน้อย และถ้าหากความหนาแน่นน้อย และค่าแรงกดแตกน้อย จะพองตัวมากขึ้น และส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขบเคี้ยว คือ ขนมขบเคี้ยวที่มีความหนาแน่นสูง มีค่าแรงกดแตกมากก็จะทำให้มีความแข็งมากขึ้นด้วย (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายปัจจัย คือ การเติมงาลงไปเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนไขมัน และเส้นใย ซึ่งถ้าหากมีปริมาณโปรตีน และเส้นใยสูงจะทำให้ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย และทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง (ประชา และคณะ, 2539; จรจิต และคณะ, 2541; Boonyasirikool and Charunuch, 2000a; Naivikul *et* al., 2002; และสุลาลักษณ์, 2549) และถ้ามีปริมาณไขมันที่พอเหมาะทำให้ขนมมีลักษณะกรอบนุ่มและขณะเคี้ยวไม่ติดฟันเนื่องจากไขมันเป็นสารที่ช่วยในการหล่อลื่น โดยไขมันจะไปสอดแทรกระหว่างอณูแป้ง และโปรตีนดังนั้นถ้ามีปริมาณไขมันมากเกินไป จะทำให้การพองตัวของแป้งเกิดได้ไม่ดีผลิตภัณฑ์จะกรอบแน่น และอัตราการพองตัวลดลง (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ข และ Yu *et* al., 1981) และเมื่อพิจารณาขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาดำคั่ว และงาขาวคั่ว พบว่า งาที่ผ่ากรรมวิธีการคั่วมีผลทำให้ขนมขบเคี้ยวที่ทำการผลิตได้ มีค่าอัตราการพองตัวลดลง ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณไขมันที่ออกมาหลังจากการคั่ว และการบด เกิดการจับตัวรวมกับวัตถุดิบชนิดอื่นในส่วนผสม ขนมขบเคี้ยวที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสกรอบแข็งแน่นขึ้น มีอัตราการพองตัวลดลงเล็กน้อย มีความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกสูงขึ้นเช่นกัน

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพทางค่าสี พบว่าการเติมงาดำรูปแบบต่างๆร้อยละ 4 ลงในส่วนผสมขนมขบเคี้ยวมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือมีค่าความสว่างลดลง และน้อยกว่าขนมขบเคี้ยวที่ไม่เสริมงา ซึ่งมีค่าความสว่างสูงที่สุด (85.64$\pm$0.40) เนื่องจากมีการผสมของเมล็ดงาซึ่งมีสีดำ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สีคล้ำขึ้น ส่วนการเติมงาขาวรูปแบบต่างๆร้อยละ 4 มีผลทำให้ค่าความสว่างลดลงจากเดิมเล็กน้อย เนื่องมาจากมีการผสมงาขาวที่ผ่านกรรมวิธีบด และคั่วลงไป ทำให้ค่าความสว่างลดลง ยกเว้นขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวดิบไม่บด พบว่ามีค่าความสว่างไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ไม่เสริมงา โดยขนมขบเคี้ยวที่ไม่เสริมงา มีค่าความสว่างมากกว่าเล็กน้อย (85.64$\pm$0.40 และ 85.82$\pm$0.02 ตามลำดับ)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ ในรูปแบบต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากผู้ชิมยอมรับทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่นรสชาติ ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวม) ดีใกล้เคียงกัน ในงาทุกรูป โดยมีความชอบ เฉยๆ ถึง ชอบปานกลาง (ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 คะแนน) ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวในรูปแบบต่างๆพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน เนื่องจากผู้ชิมมีความต่างเพศ และต่างวัยอาจส่งผลต่อความชอบที่แตกต่างกัน และพบว่าผู้ชิมได้มีการวิจารณ์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของขนมขบเคี้ยวเสริมงาในรูปแบบต่างๆว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีความใกล้เคียงกันมากในทุกคุณลักษณะของแต่ละตัวอย่าง คือ เมื่อนำงารูปแบบต่างๆ มาเติมเพิ่มลงไปในสูตรของขนมขบเคี้ยวแล้ว จะได้คุณลักษณะทางกายภาพที่ดี คล้ายกับขนมขบเคี้ยวที่ไม่มีการเสริมงา (คุณภาพทางกายภาพคล้ายกับสูตรพื้นฐาน) โดยไม่มีความแตกต่างในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะ คือ การเติมงาแต่ละรูปแบบลงไปในสูตรพื้นฐาน ไม่มีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสได้รับการยอมรับน้อยลง ซึ่งงาดำ และงาขาว ดิบไม่บด ไม่มีกระบวนการคั่วและบด ทำให้ลดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และลดการใช้พลังงาน เมื่อนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นไม่จับตัวเป็นก้อน มีผลทำให้เกิดการกระจายเข้ากันของส่วนผสมได้ดี ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกรูปแบบงา ที่ผ่านกรรมวิธีน้อยที่สุดคืองาดำดิบไม่บด และงาขาวดิบไม่บด ไปศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของงาในการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต่อไป

4.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมของงาในการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

จากการพิจารณาเลือกงาดำ และงาขาวที่ดิบไม่บด มาทำการศึกษาต่อเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเสริมงาทั้ง 2 ชนิด โดยจะเติมงาดำดิบ ไม่บด ร้อยละ 2 4 6 8 10 และ12 ของส่วนผสมสูตรพื้นฐาน (อัตราส่วนของข้าวโพดเกล็ดกับปลายข้าวหอมมะลิบด (1:1) ร้อยละ 94 ผสมกับน้ำตาลทราย น้ำมันพืช และแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณร้อยละ 3 2 และ 1 ตามลำดับ) เมื่อปรับความชื้นของส่วนผสมให้เป็นร้อยละ 13 และผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ที่ความเร็วรอบสกรู 200 รอบต่อนาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 170 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบที่ได้มาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพพบว่า อัตราการพองตัว ค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของงาดำดิบที่สูงขึ้น พบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบร้อยละ 12 มีผลทำให้อัตราการพองตัวมีค่าน้อยที่สุด (2.01$\pm$0.58) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นที่มีมากที่สุด (149.80$\pm$0.13 กรัมต่อลิตร) และค่าแรงกดแตกเพิ่มขึ้นสูงสุด (8.10$\pm$2.62 กิโลกรัม) (ตารางที่ 4.6)

การเติมงาขาวดิบไม่บดร้อยละ 2 4 6 และ 8 ของส่วนผสมสูตรพื้นฐาน จากนั้นนำไปปรับความชื้น และผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยใช้สภาวะการผลิตเดียวกันหลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวดิบที่ได้มาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพพบว่า อัตราการพองตัว ค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อยละ 95 งาขาวดิบที่เติมลงไป ในระดับที่สูงขึ้น มีผลทำให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มลดลง พบว่าที่ระดับปริมาณงา ร้อยละ 6 และ 8 อัตราการพองตัวมีค่าน้อยมาก (1.99±0.53 และ1.84±0.68) ค่าความหนาแน่นมาก (156.11±0.49 และ 163.76±0.14 กรัมต่อลิตร) และค่าแรงกดแตกเพิ่มขึ้น (10.12±3.09 และ 12.58±8.39 กิโลกรัม) (ตารางที่ 4.7)

เมื่อสังเกตค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของคุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบร้อยละ 12 และขนมขบเคี้ยวที่เสริมงาขาวดิบ ร้อยละ 6 และ ร้อยละ 8 พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยมาก ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้มีลักษณะแตกต่างกันมากในแต่ละชิ้น และขาดความสม่ำเสมอ ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจึงแตกต่างกันมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีลักษณะไม่สมบูรณ์ ไม่สุก พอง บิดงอ รูปร่างไม่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง (ภาพที่ ก.3 และ ภาพที่ ก.4 ตามลำดับ) ขาดคุณลักษณะและคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ดีไม่เหมาะสมแก่การรับประทาน เนื่องจากการเติมงาในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้มีปริมาณไขมัน โปรตีน และเส้นใยสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ทำให้ค่าความหนาแน่น ค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น และทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง ซึ่งการผลิตโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีข้อจำกัดหลายปัจจัยในการผลิต คือในด้านชนิด ลักษณะอนุภาคของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม หากมีปริมาณไขมันหรือน้ำมันมากเกินไปจะทำให้เกิดการลื่นไหลและเกิดการติดของวัตถุดิบในเครื่องขณะดำเนินการผลิต (วิไล, 2545) ทำให้ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้มีลักษณะคุณภาพทางกายภาพที่ไม่ดี โดยที่งาขาวมีปริมาณไขมันมากกว่างาดำร้อยละ 7.19 ดังตารางที่ 4.1

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ด้านสีพบว่า การเติมงาดำลงในส่วนผสมของข้าวโพดเกล็ดกับปลายข้าวหอมมะลิบดที่มากขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง (75.43 ±0.11 75.21 ±0.45 74.73 ±0.35 69.99 ±0.10 68.77 ±0.04 และ 60.29 ±0.92 ตามลำดับ) ค่าสีแดง (a*) ของงาแต่ละระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระดับงาดำร้อยละ 4 มีค่าสีแดงสูงที่สุด (3.00 ±0.10) และที่ร้อยละ 12 มีค่าสีแดงต่ำสุด (1.79 ±0.05) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่ามีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณงาดำที่เพิ่มขึ้น (32.06 ±0.32 29.18 ±0.89 26.60 ±0.07 23.43 ±0.14 21.74 ±0.01 และ 19.89 ±0.51 ตามลำดับ) การที่ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากงาดำที่เติมลงไปมีค่าความสว่างต่ำ เมื่อนำมาเติมลงไปในส่วนผสมในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้มีแนวโน้มของค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง ส่วนการเติมงาขาวดิบลงในส่วนผสมพบว่ามีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) (84.15 ±0.33 84.65 ±0.04 83.77 ±0.59 และ 80.40 ±1.29 ตามลำดับ) ค่าสีแดง (a*) (2.94 ±0.06 2.94 ±0.01 2.29 ±0.04 และ 2.24 ±0.06 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีแนวโน้มลดลง โดยที่ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ปริมาณงาขาวดิบร้อยละ 2 4 และ6 ส่วน ค่าสีเหลือง (b*) พบว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระดับปริมาณงาขาวร้อยละ 6 มีค่าสีเหลืองสูงที่สุด (41.40±0.33) การที่ค่าความสว่างของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ในปริมาณงาแต่ละระดับมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากงาขาว มีค่าความสว่างสูงเช่นเดียวกับปลายข้าวหอมมะลิบด เมื่อนำมาเติมลงในส่วนผสมจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแตกต่างกันเล็กน้อย

เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมงาดำดิบ ในปริมาณร้อยละ 2 4 และ 6 ทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันทางในสถิติ และปริมาณงาทั้ง 3 ระดับได้รับการยอมรับในทุกคุณลักษณะดีใกล้เคียงกัน ดังนั้นที่ระดับปริมาณงาดำดิบที่เติมลงไปร้อยละ 6 จึงเป็นปริมาณงาระดับสูงที่สุด ที่จะเติมลงไปในขบขบเคี้ยวได้ เนื่องจากเป็นปริมาณงาระดับที่สูงที่สุดที่ ได้การยอมรับสูงในทุกคุณลักษณะ โดยปริมาณงาที่เสริมลงไปที่ร้อยละ 8 ได้รับการยอมรับสูงในด้านกลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ส่วนที่ปริมาณงาร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับสูงในด้านกลิ่น และรสชาติเท่านั้น ส่วนการเติมงาดำร้อยละ 12 พบว่าได้รับการยอมรับต่ำในทุกด้านและขาดคุณลักษณะที่ดีของขนมขบเคี้ยวและไม่สามารถบริโภคได้ ดังนั้นจึงเลือกเติมงาดำดิบสูงสุดที่ปริมาณร้อยละ 6

เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวดิบในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมงาขาวดิบ ในปริมาณร้อยละ 2 และ4 ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และ ความเนียนเนื้อ ดีใกล้เคียงกัน ส่วนที่ปริมาณงาร้อยละ 6 พบว่าได้รับคะแนนสูงในด้าน คุณภาพสี และกลิ่นเท่านั้น การเติมงาขาวดิบร้อยละ 8 พบว่าได้รับการยอมรับต่ำในทุกด้าน และการเติมงาที่ระดับร้อยละ 6 และ 8 ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้ขาดคุณลักษณะที่ดีของขนมขบเคี้ยว ไม่สามารถบริโภคได้ ดังนั้นจึงเลือกเติมงาขาวดิบที่ปริมาณสูงสุดร้อยละ 4 เติมลงไปในขบขบเคี้ยว เนื่องจาก เป็นปริมาณงาขาวระดับสูงที่สุด ที่ได้การยอมรับสูงในทุกคุณลักษณะ และทำให้ได้ขนมขบเคี้ยวที่มีคุณลักษณะดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว ซึ่งเสริมงาดำดิบ-ไม่บด ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ[1/]	ปริมาณงาดำที่เสริมในขนมขบเคี้ยว (ร้อยละ)					
	2	4	6	8	10	12
คุณภาพทางกายภาพ						
อัตราการพองตัว	2.88 ^{a} ±0.06	2.56 ^{b} ±0.02	2.44 ^{c} ±0.02	2.50 ^{bc} ±0.04	2.49 ^{bc} ±0.07	2.01 ^{d} ±0.58
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	74.45 ^{f} ±0.36	83.27 ^{e} ±0.11	86.44 ^{d} ±0.15	89.64 ^{c} ±0.20	98.82 ^{b} ±0.15	149.80 ^{a} ±0.13
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	5.10 ^{c} ±0.58	5.68 ^{bc} ±0.86	5.97 ^{bc} ±1.01	5.76 ^{bc} ±1.01	6.59 ^{b} ±1.35	8.10 ^{a} ±2.62
ค่าความสว่าง (L*)	75.43 ^{a} ±0.11	75.21 ^{a} ±0.45	74.73 ^{a} ±0.35	69.99 ^{b} ±0.10	68.77 ^{c} ±0.04	60.29 ^{d} ±0.92
ค่าสีแดง (a*)	2.98 ^{a} ±0.08	3.00 ^{a} ±0.10	2.78 ^{b} ±0.04	2.52 ^{c} ±0.02	2.10 ^{d} ±0.03	1.79 ^{e} ±0.05
ค่าสีเหลือง (b*)	32.06 ^{a} ±0.32	29.18 ^{b} ±0.89	26.60 ^{c} ±0.07	23.43 ^{d} ±0.14	21.74 ^{e} ±0.01	19.89 ^{f} ±0.51
คุณภาพทางประสาทสัมผัส						
สี	6.70 ^{a} ±1.30	6.70 ^{a} ±1.03	6.30 ^{ab} ±1.49	5.55 ^{bc} ±1.91	5.05 ^{c} ±2.09	3.95 ^{d} ±2.33
กลิ่น	5.75 ^{a} ±1.33	6.25 ^{a} ±1.25	5.80 ^{a} ±1.28	5.70 ^{a} ±1.17	5.75 ^{a} ±1.41	4.90 ^{b} ±1.17
รสชาติ	5.70 ^{a} ± 1.30	5.85 ^{a} ±1.31	5.60 ^{a} ±1.31	5.50 ^{a} ±1.43	5.20 ^{a} ±1.88	4.30 ^{b} ±1.53
ความกรอบ	7.05 ^{ab} ±1.19	7.55 ^{a} ±0.89	7.10 ^{ab} ±1.17	6.55 ^{b} ±1.47	6.65 ^{b} ±1.42	3.70 ^{c} ±1.81
ความเนียนเนื้อ	6.20 ^{ab} ±1.96	6.95 ^{a} ±1.28	6.50 ^{ab} ± 1.67	6.1 5 ^{b} ±1.63	5.95 ^{b} ±1.54	3.70 ^{c} ±1.66
การยอมรับโดยรวม	6.30 ^{ab} ± 1.08	6.75 ^{a} ±0.72	6.50 ^{a} ±1.19	6.25 ^{ab} ±1.12	5.80 ^{b} ±1.61	3.75 ^{c} ±1.52

หมายเหตุ : 1 / เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว ซึ่งเสริมงาขาวดิบ-ไม่บด ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ[1/]	ปริมาณงาขาวที่เสริมในขนมขบเคี้ยว (ร้อยละ)			
	2	4	6	8
คุณภาพทางกายภาพ				
อัตราการพองตัว	2.87 ^{a} ±0.03	2.48 ^{b} ±0.07	1.99 ^{c} ±0.53	1.84 ^{c} ±0.68
ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	89.96 ^{d} ±0.07	109.27 ^{c} ±0.17	156.11 ^{b} ±0.49	163.76 ^{a} ±0.14
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	4.88 ^{b} ±0.79	6.43 ^{b} ±1.19	10.12 ^{a} ±3.09	12.58 ^{a} ±8.39
ค่าความสว่าง (L*)	84.15 ^{a} ±0.33	84.65 ^{a} ±0.04	83.77 ^{a} ±0.59	80.40 ^{b} ±1.29
ค่าสีแดง (a*)	2.94 ^{a} ±0.06	2.94 ^{a} ±0.01	2.29 ^{a} ±0.04	2.24 ^{b} ±0.06
ค่าสีเหลือง (b*)	40.33 ^{a} ±0.34	38.20 ^{b} ±0.11	41.40 ^{a} ±0.33	40.20 ^{a} ±1.18
คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
สี	7.25 ^{a} ±1.59	6.70 ^{a} ±1.81	6.85 ^{a} ±1.84	5.60 ^{b} ±1.67
กลิ่น	5.95 ^{a} ±1.43	5.80 ^{a} ±1.40	5.45 ^{ab} ±1.36	5.05 ^{b} ±1.57
รสชาติ	6.00 ^{a} ±1.12	5.80 ^{a} ±1.36	4.70 ^{b} ±1.42	4.65 ^{b} ±1.66
ความกรอบ	7.05 ^{a} ±1.70	6.40 ^{a} ±2.14	4.25 ^{b} ±1.80	3.65 ^{b} ±2.21
ความเนียนเนื้อ	6.90 ^{a} ±1.45	6.55 ^{a} ±1.54	4.35 ^{b} ±2.09	3.90 ^{b} ± 2.02
การยอมรับโดยรวม	6.90 ^{a} ±1.12	6.10 ^{b} ±1.89	4.60 ^{c} ±1.70	3.80 ^{d} ±1.85

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาปริมาณการเติมงาดำดิบไม่บดร้อยละ 6 และงาขาวดิบไม่บด ร้อยละ 4 นำมาผลิตด้วยวิธีและสภาวะการผลิตเดิม เปรียบเทียบกันในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกชนิดของงาที่เหมาะสมที่สุดเพียงชนิดเดียวในการนำมาผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงา เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และการยอมรับโดยรวมพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) โดยขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำร้อยละ 6 ได้คะแนนการยอมรับสูงในคุณภาพด้านกลิ่น (7.85±1.10) และสูงกว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวร้อยละ 4 (7.05±1.50) โดยที่ขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวร้อยละ 4 ได้รับคะแนนการยอมรับคุณภาพด้านสี สูงกว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำร้อยละ 6 (7.00±1.34 และ 6.35±1.57 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาผลคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งหมดพบว่า ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำร้อยละ 6 มีผลคะแนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เฉลี่ย 6.65 และขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวร้อยละ 4 มีผลคะแนนเฉลี่ย 6.36 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคะแนนรวมคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ ร้อยละ 6 ดังนั้นจึงเลือกการเติมงาดำดิบไม่บด ร้อยละ 6 เติมลงในสูตรพื้นฐานเพื่อทำการผลิตขนมขบเคี้ยวในการศึกษาตอนต่อไป

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด ร้อยละ6 และขนมขบเคี้ยวเสริมงาขาวดิบไม่บด ร้อยละ4

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาดิบไม่บด	
	งาดำ ร้อยละ 6	งาขาว ร้อยละ 4
สี ns.	6.35± 1.57	7.00±1.34
กลิ่น ns.	6.35±1.23	5.90±1.45
รสชาติ ns.	6.20±1.54	5.75±1.65
ความกรอบ ns.	7.85±1.10	7.05±1.50
ความเนียนเนื้อ ns.	6.55±1.47	6.10±1.55
การยอมรับโดยรวม ns.	6.60±1.00	6.35±1.53
ผลคะแนนเฉลี่ย	6.65	6.36

หมายเหตุ : ns. หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

จากชนิดและปริมาณงาที่เหมาะสมในการเติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว นำมาศึกษาการเตรียมงาแบบไม่คั่ว และคั่วจากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ปริมาณงาดำคั่วสูงขึ้นจากเดิมร้อยละ 4 เพิ่มเป็นร้อยละ 6 ในการเติมลงในสูตรพื้นฐานเพื่อผลิตขนมขบเคี้ยวพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องผู้ชิมแต่ละคนมีความชอบที่แตกต่างกัน และปริมาณงาดำคั่วที่เติมลงไปในขนมขบเคี้ยวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยคือ จากร้อยละ 4 เพิ่มเป็นร้อยละ 6 และมีลักษณะปรากฏภายนอกคล้ายกัน ทำให้ผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำคั่วได้รับคะแนนทุกคุณลักษณะสูงกว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบ และเมื่อพิจารณาผลคะแนนเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะรวมกัน พบว่า ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำคั่ว ได้รับผลคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบเล็กน้อยเท่านั้น (7.06 และ 6.70 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.9) แต่เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอน การเตรียมวัตถุดิบพบว่ามีขั้นตอนการเตรียมมากกว่างาดำดิบ นอกจากนี้ได้มีการนำไปคั่ว ด้วยความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้เพิ่มเวลาในการเตรียมส่วนผสม เสียพลังงานในการคั่ว และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการบางส่วนจากความร้อน ดังนั้นจึงพิจารณาเลือก งาดำดิบไม่บด ที่ระดับร้อยละ 6 เพื่อใช้ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาในการศึกษาตอนต่อไป

ตารางที่ 4.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด และขนมขบเคี้ยวเสริมดำคั่วไม่บด ร้อยละ6

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ขนมขบเคี้ยวที่มีการเสริมงาดำ-ไม่บด ร้อยละ6	
	งาดำดิบ	งาดำคั่ว
สี ns.	7.05±1.01	7.15±1.23
กลิ่น ns.	6.55± 1.19	6.85±1.35
รสชาติ ns.	5.95±1.40	6.35±1.46
ความกรอบ ns.	7.20±1.28	7.55±1.10
ความเนียนเนื้อ ns.	6.70±1.17	7.15±1.23
การยอมรับโดยรวม ns.	6.75±0.91	7.30±0.98
ผลคะแนนเฉลี่ย	6.70	7.06

หมายเหตุ : ns. หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.4 สภาวะการผลิตที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวเสริมงา

จากการเติมงาดำดิบ ไม่บด ร้อยละ 6 ลงในส่วนผสมพื้นฐานข้างต้น นำไปศึกษาสภาวะการผลิตโดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experiment in Central Composite Design (ตาราง ง.1) โดยกำหนดค่าสูงสุด และต่ำสุดของปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมงา 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบสกรู 150 และ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 160 และ 180 องศาเซลเซียส และความชื้นของส่วนผสม ร้อยละ 13 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งจะได้สภาวะในการผลิตทั้งหมด 20 สภาวะ (ตาราง ง.2) ทำการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงา ทั้ง 20 สภาวะ และนำขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อ ค่าความหนาแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ในช่วง 84.28±0.26 ถึง 121.60±0.35 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนการพองตัวอยู่ในช่วง 1.97±0.06 ถึง 2.65±0.19 และค่าแรงกดแตกของขนมขบเคี้ยวเสริมงา อยู่ในช่วง 6.07±1.32 ถึง 8.66±1.12 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.10) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทำการประเมินในด้าน ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสภาวะการผลิต พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบอยู่ในช่วง 5.85±1.87 ถึง 7.50±1.40 ความเนียนเนื้ออยู่ในช่วง 5.35±2.03 ถึง 7.40±0.94 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.30±1.75 ถึง 7.50±0.95 (ตารางที่ 4.11)

จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้ นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางสถิติ เพื่อหาสมการถดถอย (Stepwise multiple regression) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 สมการที่ได้เป็นสมการที่มีการให้รหัสของตัวแปรอิสระที่ระดับต่างๆ (coded equation) (ตาราง ง.3) และสมการที่ถอดรหัสของตัวแปรอิสระ (decoded equation) ทำการเลือกสมการที่มีค่า R^2 (Coefficient of determination) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 (ตารางที่ 4.12) ค่า R^2 ถ้ายิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 สมการนั้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ดียิ่งขึ้น และนำสมการถดถอยถอดรหัสที่เลือกได้ ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (response surface) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica 5.01 ซึ่งสมการถอดถอยถอดรหัส และกราฟพื้นที่การตอบสนองที่ได้ สามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับของ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิสุดท้าย และ ความชื้นส่วนผสมขนมขบเคี้ยวเสริมงา

เนื่องจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีค่า R^2 มากกว่า 0.9 ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ 1 จึงสามารถนำสมการที่ได้มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆได้ดี ดังนั้นจึงยอมรับสมการของคุณภาพทางกายภาพด้วยซึ่งมีค่า R^2 มากกว่า 0.7 และใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำในการเลือกสมการมาพิจารณา และการที่ค่า R^2 ของคุณภาพทางประสามสัมผัสมีค่าน้อย อาจเนื่องมาจากการวัดคุณภาพด้านกายภาพมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของขนมแต่ละชิ้น โครงสร้างภายในหรือเนื้อสัมผัสแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกัน และในการวัดค่าความหนาแน่นโดยใช้ภาชนะแก้วทรงกระบอกนั้น มีช่องว่างระหว่างขนมแต่ละชิ้นเกิดขึ้น อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองได้เช่นกัน และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆจากสมการพบว่า ค่าความชื้นของส่วนผสม เป็นตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์มากที่สุด ทั้งคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนั้นค่าความชื้นของส่วนผสม จึงมีอิทธิพลมากที่สุดต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ โดยพบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกับความชื้นของส่วนผสมคือความเร็วรอบสกรู สำหรับค่าความกรอบ และความชอบโดยรวม และอุณหภูมิสุดท้าย สำหรับความเนียนเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ผลของสภาวะในการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต			คุณภาพทางกายภาพ		
	ความชื้นส่วนผสม (ร้อยละ)	อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบสกรู (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนการพองตัว	แรงกดแตก (กิโลกรัม)
1	13.61	164	170	101.46±0.20	2.18±0.12	7.90±1.52
2	13.61	164	230	85.95±0.50	2.59±0.13	6.07±1.32
3	13.61	176	170	93.73±0.28	2.21±0.02	8.66±1.12
4	13.61	176	230	86.48±0.12	2.08±0.06	6.67±0.96
5	15.39	164	170	121.60±0.35	2.15±0.06	7.70±1.49
6	15.39	164	230	100.16±0.15	2.11±0.06	6.57±0.96
7	15.39	174	170	117.27±0.12	2.02±0.10	8.38±1.50
8	14.50	174	230	96.55±0.06	1.97±0.06	7.48±0.84
9	14.50	170	150	112.78±0.39	2.20±0.10	8.15±1.22
10	14.50	170	250	84.28±0.26	2.14±0.08	6.98±0.64
11	14.50	160	200	93.66±0.24	2.43±0.12	6.21±0.79
12	13.00	180	200	90.96±0.03	2.11±0.04	7.94±0.93
13	16.00	170	200	89.14±0.31	2.65±0.19	6.74±1.08
14	14.50	170	200	117.03±0.13	2.00±0.07	6.67±1.03
15	14.50	170	200	91.04±0.12	2.23±0.29	7.57±1.15
16	14.50	170	200	93.59±0.06	2.21±0.06	7.78±0.96
17	14.50	170	200	90.99±0.03	2.16±0.07	7.58±0.84
18	14.50	170	200	112.62±0.07	2.17±0.07	7.79±0.82
19	14.50	170	200	90.99±0.11	2.18±0.09	7.14±1.12
20	14.50	170	200	91.27±0.24	2.16±0.06	7.42±0.91

หมายเหตุ: สภาวะการผลิตที่ใช้ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experiment in Central Composite Design

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 ผลของสภาวะในการผลิต ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด

สภาวะที่	สภาวะในการผลิต			คุณภาพทางประสาทสัมผัส (คะแนนเต็ม 9)		
	ความชื้นส่วนผสม (ร้อยละ)	อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบสกรู (ร้อยละ)	ความกรอบ	ความเนียนเนื้อ	ความชอบโดยรวม
1	13.61	164	170	6.75±2.00	6.50±1.79	6.45±1.85
2	13.61	164	230	6.95±1.54	6.65±1.69	6.75±1.53
3	13.61	176	170	6.50±1.43	6.35±1.35	6.18±1.32
4	13.61	176	230	7.50±1.40	7.15±1.18	7.10±1.35
5	15.39	164	170	5.90±1.80	5.55±1.73	5.30±1.75.
6	15.39	164	230	7.15±1.46	6.50±1.70	6.75±1.77
7	15.39	174	170	5.95±1.99	5.20±1.74	5.30±1.78
8	14.50	174	230	7.10±1.41	7.05±1.67	6.88±1.45
9	14.50	170	150	6.00±1.45	5.95±1.47	5.75±1.45
10	14.50	170	250	7.70±0.98	7.40±0.94	7.50±0.95
11	14.50	160	200	7.20±0.99	6.60±1.82	6.65±1.64
12	13.00	180	200	7.40±1.36	7.00±0.97	7.14±1.14
13	16.00	170	200	7.15±1.63	6.25±1.52	6.48±1.36
14	14.50	170	200	5.85±1.87	5.35±2.03	5.45±1.73
15	14.50	170	200	7.25±1.25	6.95±.94	7.15±.81
16	14.50	170	200	7.45±1.19	7.10±1.33	7.25±0.97
17	14.50	170	200	7.10±1.45	6.65±1.79	6.70±1.66
18	14.50	170	200	7.10±1.25	6.80±1.28	7.05±1.05
19	14.50	170	200	7.00±1.34	6.60±1.14	6.73±1.16
20	14.50	170	200	7.45±1.00	6.90±1.29	7.13±1.00

หมายเหตุ: สภาวะการผลิตที่ใช้ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experiment in Central Composite Design

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation) ของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด

สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation)	R^2
คุณภาพทางกายภาพ	
ความหนาแน่น = 16.80-0.28(S)+9.43(M)	0.73
ค่าแรงกดแตก = $-1.05-1.93\times10^{-2}(S)+7.22\times10^{-2}(T)$	0.72
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	
ความกรอบ = $-57.70+6.91\times10^{-3}(S)+8.95(M)$ $-1.83\times10^{-3}(S^2)-0.36(M^2)+5.66\times10^{-3}(S)(M)$	0.91
ความเนียนเนื้อ = $-28.06-0.30(S)-0.20(T)+11.23(M)$ $-0.46(M^2)+1.10\times10^{-3}(S)(T)+8.72\times10^{-3}(S)(M)$	0.96
ความชอบโดยรวม = $-76.61-3.47\times10^{-2}(S)+12.09(M)-1.72\times10^{-4}(S^2)$ $-0.49(M^2)+8.37\times10^{-3}(S)(M)$	0.93

หมายเหตุ : S หมายถึง ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)
M หมายถึง ค่าความชื้นส่วนผสม (ร้อยละ)
T หมายถึง อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)

จากการพิจารณาสมการถดถอยเข้ารหัส ของอัตราการพองตัว (ตารางภาคผนวก ง.3) ซึ่งพบว่ามีค่า R^2 ต่ำกว่า 0.7 โดยสมการที่มีค่า R^2 ต่ำจะสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ไม่ดี เท่าที่ควร ดังนั้นจึงไม่นำสมการถดถอยถอดรหัสที่ได้ ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง และเมื่อนำสมการถดถอยถอดรหัส (จากตารางที่ 4.12) ไปสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง จากกราฟพื้นที่การตอบสนองของความหนาแน่น เมื่อใช้ระดับความชื้นของส่วนผสมและความรอบสกรูต่างกัน พบว่าหากความชื้นของส่วนผสมลดลงและความเร็วรอบสกรูสูงขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.1) เมื่อพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของค่าแรงกดแตก พบว่าเมื่ออุณหภูมิสุดท้ายลดลงและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.2) จากการที่ความชื้นของส่วนผสมต่ำ และความเร็วรอบสกรูสูง จะมีผลต่อแรงเฉือนที่กระทำกับสัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมขณะถูกอัดออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

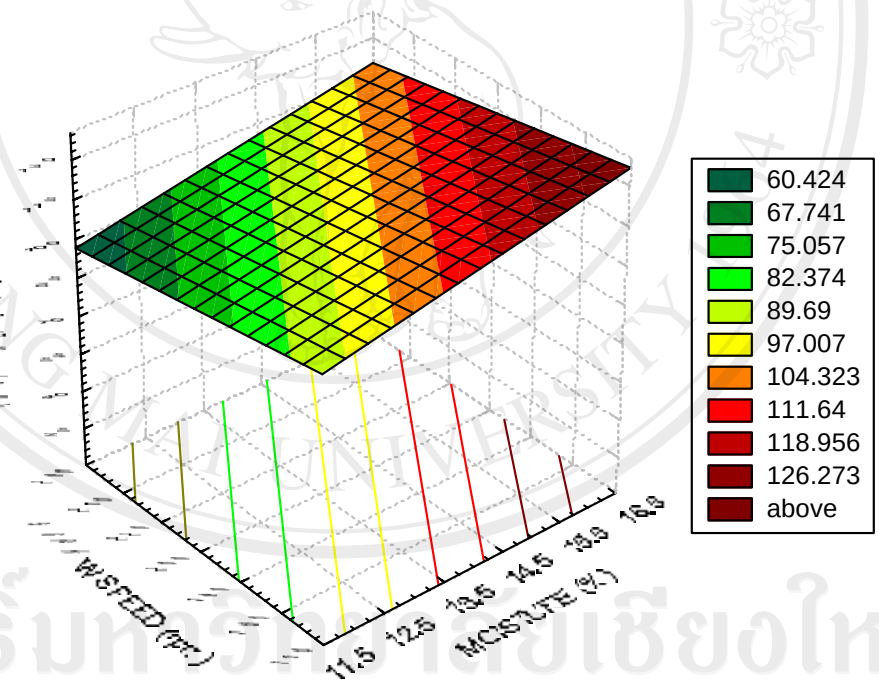
หน้าแปลน ซึ่งเมื่อความเร็วรอบสกรูสูงขึ้น แรงเฉือนจะสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในเครื่องสูงขึ้นด้วย วัตถุดิบส่วนผสมขณะที่ถูกบดอัดออกมาหน้าแปลนได้รับแรงบดอัดและเสียดสีมีความร้อน และความดันเกิดขึ้นมาก ทำให้วัตถุดิบเกิดการสุกหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงพองตัวดีและมีความหนาแน่นลดลง (ฤทัยพันธ์, 2537; ประชา และจุฬาลักษณ์, 2540; Frame, 1994 และสุลาลักษณ์, 2549)

การที่ใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ ที่อุณหภูมิสูง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง ลักษณะเบา และมีโครงสร้างเซลล์เปิดกว้าง เมื่อนำไปอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบนุ่ม และความชื้นของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยที่อัตราการพองตัวจะลดลง หากความชื้นของส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไป ทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในส่วนผสม ไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็ว จึงทำให้มีน้ำจำนวนมากเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ การพองตัวจึงเกิดไม่ดีเท่าที่ควร แต่ถ้าหากมีความชื้นของส่วนผสมต่ำเกินไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแห้งเปราะ มีรอยแตกร้าวที่ผิวภายนอก ของผลิตภัณฑ์ (Chiang and Johnson, 1977; Ding *et al*., 2005 และสุลาลักษณ์, 2549)

เมื่อพิจารณาสมการถดถอยเข้ารหัส ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน ความกรอบ (ภาคผนวก ง.3) พบว่าเมื่อใช้ระดับความชื้นของส่วนผสม และความเร็วรอบสกรูต่างกันในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ พบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยได้แก่ความเร็วรอบสกรูและความชื้นของส่วนผสม จากการพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของความกรอบ พบว่าคะแนนการยอมรับด้านความกรอบจะมีค่าสูง ในช่วงความชื้นของส่วนผสมประมาณ 15.5 ถึง 13.5 และความเร็วรอบสกรูสูงกว่า 190 รอบต่อนาที ถ้าหากมีความชื้นส่วนผสมสูงกว่าหรือต่ำกว่าในช่วงกราฟดังกล่าวและความเร็วรอบสกรูลดลง จะทำให้คะแนนการยอมรับด้านความกรอบน้อยลง (ภาพที่ 4.3) และ สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเนียนเนื้อ พบว่าเมื่อสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนองของความเนียนเนื้อเนื่องจากปัจจัยระดับอุณหภูมิสุดท้าย และความเร็วรอบสกรู เมื่อพิจารณาให้ความชื้นของส่วนผสมคงที่ พบว่าคะแนนการยอมรับจะสูงหากใช้อุณหภูมิสุดท้าย และความเร็วรอบสกรูสูง (ภาพที่ 4.4) เมื่อพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของความเนียนเนื้อ เนื่องจากปัจจัยระดับความชื้นส่วนผสม และความเร็วรอบสกรู เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสุดท้ายคงที่ พบว่าในช่วงความชื้นส่วนผสมประมาณร้อยละ 15.7 ถึง 13.7 และความเร็วรอบสกรูสูงกว่า 230 รอบต่อนาที พบว่า เป็นช่วงที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูง โดยที่ ถ้าความเร็วรอบสกรูลดลงลง และความชื้นของส่วนผสมสูงหรือต่ำกว่าช่วงกราฟดังกล่าวที่สังเกตได้ จะทำให้คะแนนการยอมรับด้านความเนียนเนื้อน้อยลง (ภาพที่ 4.5) เมื่อพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของความเนียนเนื้อ เนื่องจากปัจจัยระดับความชื้นส่วนผสม และอุณหภูมิสุดท้าย เมื่อพิจารณาความเร็วรอบสกรูคงที่ พบว่าในช่วงความชื้นส่วนผสมประมาณร้อยละ

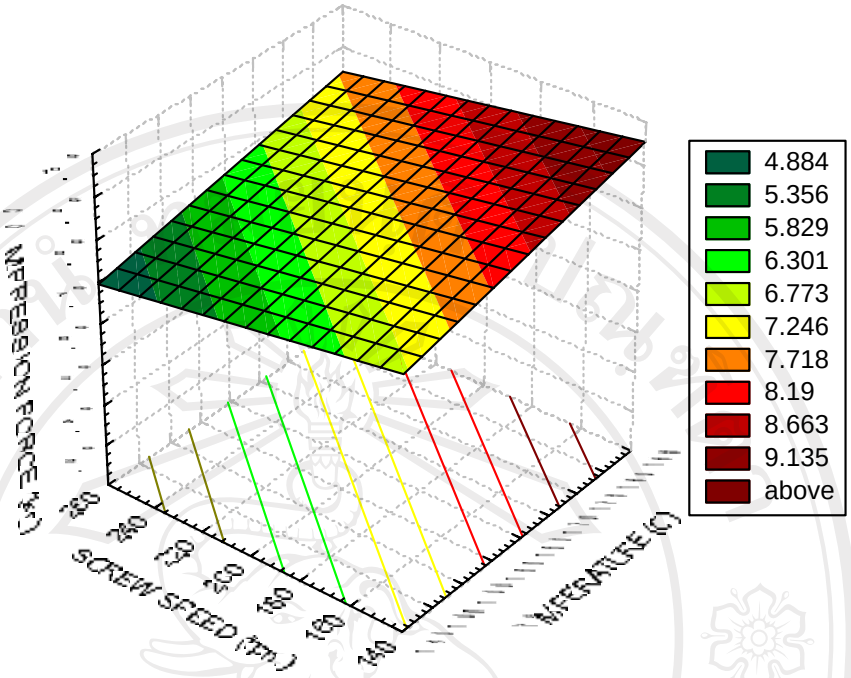
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

15.0 ถึง 13.2 และอุณหภูมิสุดท้าย สูงกว่า 160 องศาเซลเซียส ขึ้นไป พบว่า เป็นช่วงที่ได้รับคะแนนการยอมรับ สูง โดยที่ ถ้าอุณหภูมิสุดท้ายลดลงลง และความชื้นของส่วนผสมสูงหรือต่ำกว่าช่วงกราฟดังกล่าวที่สังเกตได้ จะทำให้คะแนนการยอมรับด้านความเนียนเนื้อน้อยลงด้วย (ภาพที่ 4.6) และเมื่อพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวมพบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วรอบสกรูและความชื้นของส่วนผสมและความเร็วรอบสกรู จากการพิจารณากราฟพื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวม พบว่าคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมจะมีค่าสูงในช่วงความชื้นของส่วนผสม ประมาณ 15.5 ถึง 13.5 และความเร็วรอบสกรูสูงกว่า 195 รอบต่อนาที ถ้าหากมีความชื้นส่วนผสม สูงกว่าหรือต่ำกว่าในช่วงกราฟดังกล่าวและความเร็วรอบสกรูลดลง จะทำให้คะแนนการยอมรับด้านความกรอบน้อยลง (ภาพที่ 4.7)

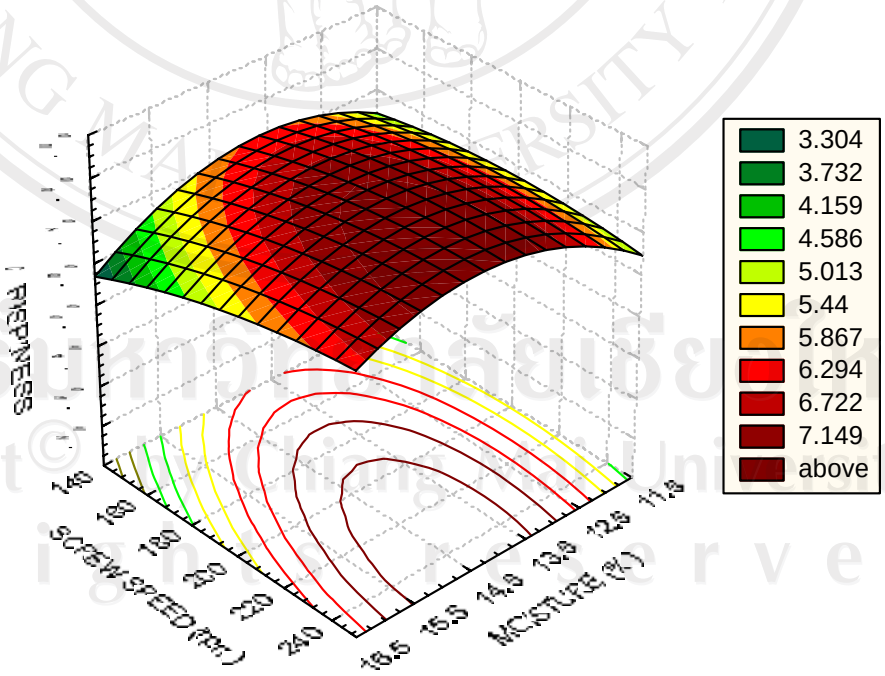


ภาพที่ 4.1 พื้นที่การตอบสนองของความหนาแน่น เมื่อใช้ระดับความชื้นของส่วนผสม และความรอบสกรูต่างกันในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

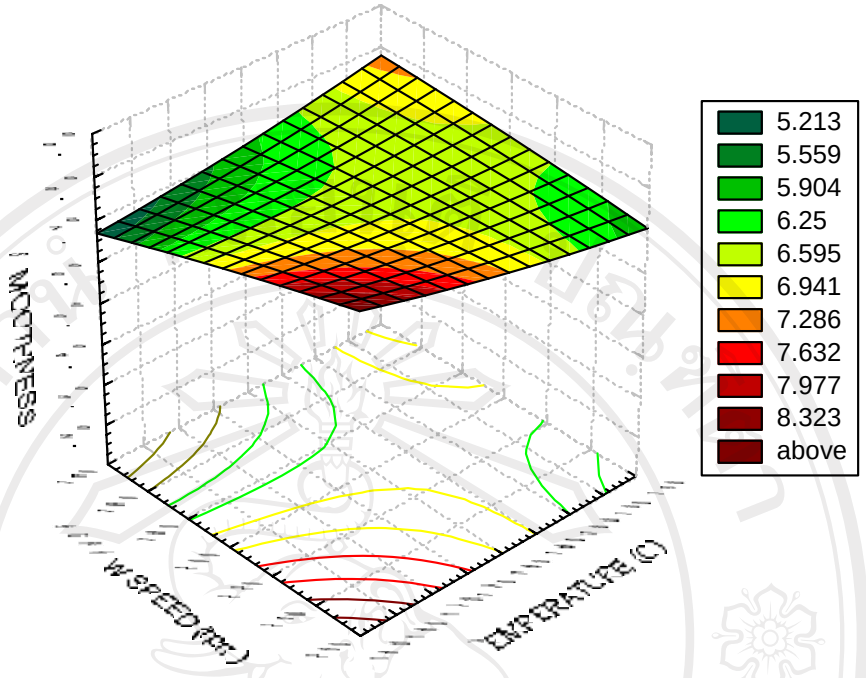


ภาพที่ 4.2 พื้นที่การตอบสนองของค่าแรงกดแตก เมื่อใช้ระดับอุณหภูมิสุดท้าย และความเร็วรอบสกรูต่างกันในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ

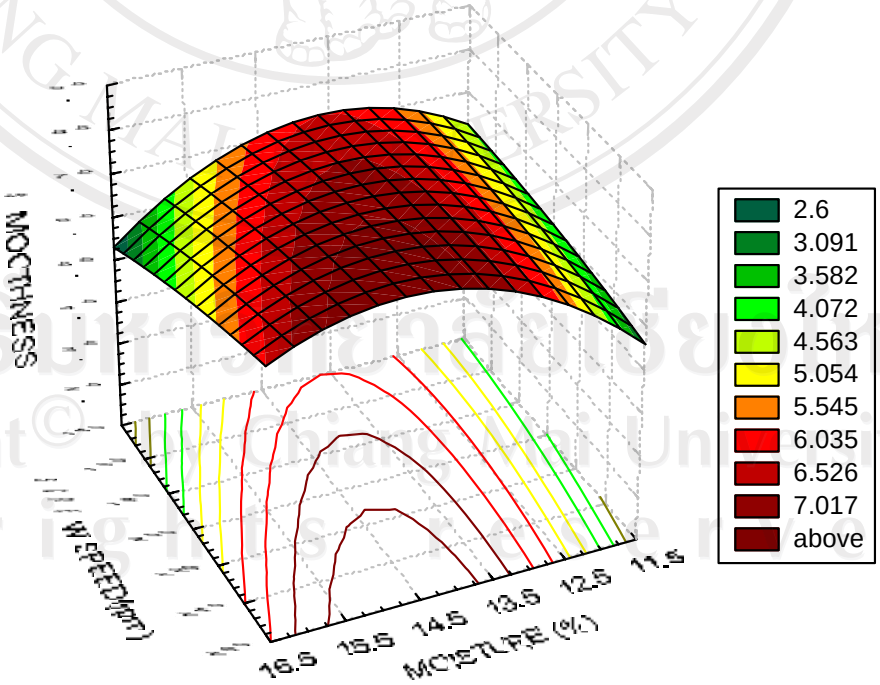


ภาพที่ 4.3 พื้นที่การตอบสนองของความกรอบ เมื่อใช้ระดับความชื้นของส่วนผสม และความเร็วรอบสกรูต่างกันในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

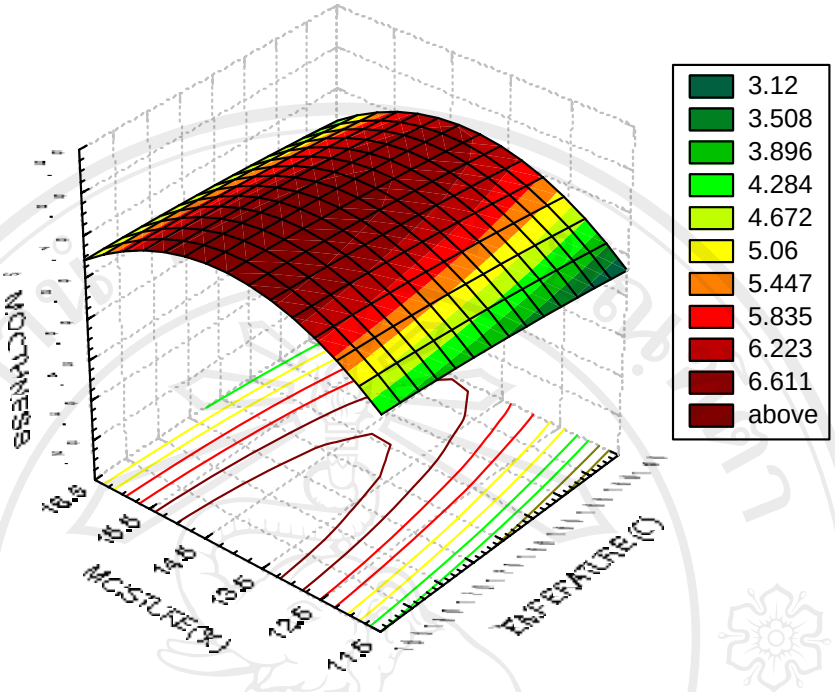


ภาพที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองของความเนียนเนื้อ เนื่องจากปัจจัยระดับอุณหภูมิสุดท้าย และความเร็วรอบสกรูในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ เมื่อพิจารณาความชื้นส่วนผสมคงที่

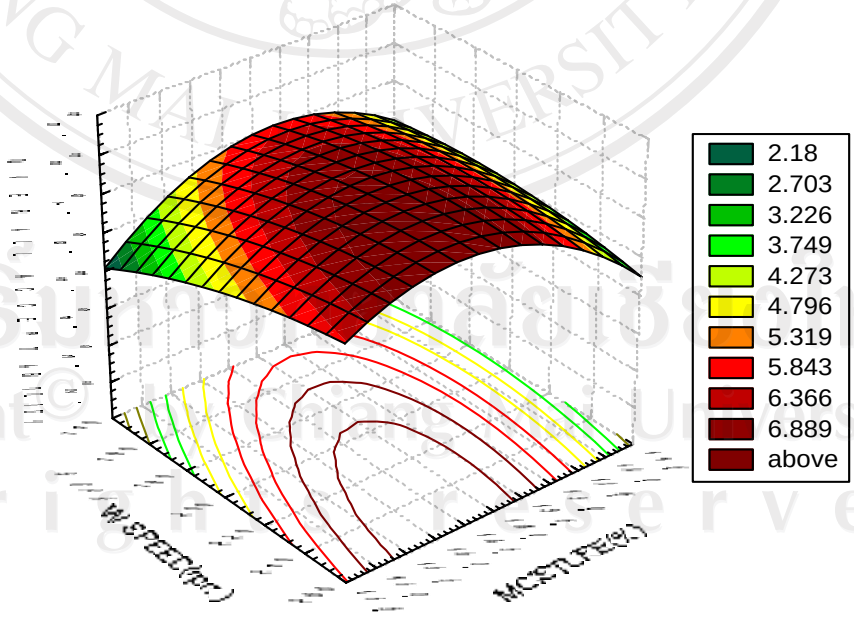


ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองของความเนียนเนื้อ เนื่องจากปัจจัยระดับความชื้นส่วนผสม และความเร็วรอบสกรูในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสุดท้ายคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองของความเนียนเนื้อ เนื่องจากปัจจัยระดับความชื้นส่วนผสม และอุณหภูมิสุดท้ายในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ เมื่อพิจารณาความเร็วรอบสกรูคงที่



ภาพที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองของความชอบโดยรวม เมื่อใช้ระดับความชื้นของส่วนผสม และความเร็วรอบสกรูต่างกันในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการประมาณผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำที่ได้ ทั้งหมด 10 สภาวะ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งมีความเร็วรอบสกรู 247 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายอยู่ในช่วง 169 ถึง 178 องศาเซลเซียส และความชื้นส่วนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 14.50 ถึง 14.51 จาการคำนวณคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการแทนค่าของแต่ละปัจจัย ทั้ง 10 สภาวะในสมการถดถอยถอดรหัสของความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวม พบว่าคะแนนความกรอบมีค่า 7.57 คะแนนความเนียนเนื้อ อยู่ในช่วง 7.48- 8.05 และคะแนนความชอบโดยรวม 7.41โดยคะแนนที่ได้มีการยอมรับอยู่ในระดับที่ดี อยู่ในช่วง ชอบปานกลางถึงชอบมาก ทุกสภาวะการผลิต ให้ผลทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบและความชอบโดยรวมเท่ากัน ส่วนด้านความเนียนเนื้อพบว่ามีความแตกต่างของคะแนนเล็กน้อย มีผลทำให้คะแนนเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละสภาวะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยด้วย ดังนั้นสามารถใช้สภาวะทั้ง 10 สภาวะทำการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำได้ โดยในการทดลองนี้จะเลือกสภาวะในการผลิตที่ดีที่สุดเพียงสภาวะเดียว คือสภาวะที่ 6 เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำสุดในการผลิต ลดการสูญเสียของสารอาหารที่สำคัญจากการใช้ความร้อนสูง และลดการใช้พลังงาน

4.5 การปรับปรุงคุณภาพโดยการปรุงรส และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงา

นำขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด ที่ผลิตได้จากสภาวะเหมาะสมที่สุดจากการศึกษาตอนที่ 4.4 (ค่าความชื้นส่วนผสมร้อยละ 14.51 ความเร็วรอบสกรู 247 รอบต่อนาที และอุณหภูมิสุดท้าย 169 องศาเซลเซียส) มาทำการปรุงรส โดยใช้ปริมาณผงปรุงรส โนริสาหร่าย ซึ่งเป็นรสชาติของผงปรุงที่นิยมใช้ในขนมขบเคี้ยวทั่วไปในผลิตภัณฑ์ทางการค้าอื่นๆ สามารถเข้ากับรสชาติและลักษณะผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบได้ดี ดังนั้นจึงเลือกใช้ผงปรุงงรส โนริสาหร่าย 4 ระดับคือ ร้อยละ 6 9 12 และ 15 ของน้ำหนักขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบที่ผ่านการพ่นด้วยน้ำมันพืช ร้อยละ 8 ของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบ เพื่อช่วยในการเกาะติดของผงปรุง เมื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมกับผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน โดยวิธีการจัดอันดับ (Ranking test) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ระดับปริมาณผลปรุงรส ร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ซึ่งมีค่าการจัดอันดับรวม 37 (ตารางที่ 4.14) และ ที่ระดับปริมาณผงปรุงรส ร้อยละ 6 9 และ12 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากมีค่าการจัดอันดับอยู่ในช่วง 39-61 (ตาราง จ ตารางเปรียบเทียบ Rank totals) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือก ปริมาณของผงปรุงรส โนริสาหร่ายที่ระดับร้อยละ 15 ของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบ ตรวจสอบคุณภาพที่ได้และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิดในการศึกษาตอนต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 สภาวะการผลิตที่เหมาะสมต่างๆที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด

สภาวะที่	สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต			คุณภาพทางประสาทสัมผัส (เป็นผลการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป)			
	ความเร็วรอบสกรู (ร้อยละ)	อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	ความชื้นส่วนผสม (ร้อยละ)	ความกรอบ	ความเนียนเนื้อ	ความชอบโดยรวม	คะแนนเฉลี่ยของคุณภาพทางประสาทสัมผัส
1	247	171	14.51	7.57	7.54	7.41	7.51
2	247	177	14.51	7.57	7.94	7.41	7.64
3	247	170	14.51	7.57	7.48	7.41	7.49
4	247	174	14.51	7.57	7.77	7.41	7.58
5	247	178	14.50	7.57	8.05	7.41	7.68
6	247	169	14.51	7.57	7.44	7.41	7.47
7	247	170	14.51	7.57	7.49	7.41	7.49
8	247	170	14.51	7.57	7.48	7.41	7.49
9	247	170	14.51	7.57	7.49	7.41	7.49
10	247	178	14.50	7.57	7.99	7.41	7.66

ตารางที่ 4.14 ผลรวมการจัดลำดับคะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำ ปรุงรสด้วยผงปรุงรส โนริสาหร่าย

ปริมาณผงปรุงรส[1/] (ร้อยละของขนมขบเคี้ยวเสริมงา)	ผลรวมการจัดลำดับความชอบ
6	58[b]
9	54[b]
12	51[b]
15	37[a]

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพโดยการปรุงรส ได้คัดเลือกขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดปรุงรสด้วยผงปรุงรสโนริสาหร่าย ร้อยละ 15 ของน้ำหนักขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ มาทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านต่างๆ กับผลิตภัณฑ์ทางการค้าอีก 2 ชนิด คือผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 และ 2 ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคล้ายกับขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด คือมีส่วนผสมหลักเป็นข้าวโพดร้อยละ 17-30 และข้าวร้อยละ 50 โดยปรุงรสสาหร่ายเช่นเดียวกันกับขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้ แต่มีความแตกต่างในส่วนของรูปร่างลักษณะผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ ก.5) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดมาทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (ค่าความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง) พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพทางกายภาพมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.15) เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านความหนาแน่น พบว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 มีค่าความหนาแน่นสูงสุด (105.14$\pm$0.20 กรัมต่อลิตร) และขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด (84.84$\pm$0.25 กรัมต่อลิตร) ส่วนค่าแรงกดแตก พบว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 มีค่าแรงกดแตกสูงสุด (11.7$\pm$1.19 กิโลกรัม) และขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้มีค่าแรงกดแตกต่ำสุด (6.23$\pm$0.81 กิโลกรัม) ซึ่งค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกที่วัดได้จริงจากขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้ เทียบกับค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกที่ได้จากการแทนค่า ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิสุดท้าย และความชื้นส่วนผสม ลงในสมการถดถอยถอดรหัส (ตารางที่ 4.12) จะได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาที่มีความหนานแน่น 85.13 กรัมต่อลิตร ค่าแรงกดแตก 6.39 กิโลกรัม โดยค่าที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ส่วนคะแนนการยอมรับทางด้านความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวมจากการแทนค่าความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิสุดท้าย และความชื้นส่วนผสมลงในสมการถดถอยถอดรหัสเท่ากับ 7.75 7.44 และ 7.41 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดพบว่า มีค่าความหนาแน่น และแรงกดแตกสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 มีค่าแรงกดแตกสูงมากที่สุด ทำให้มีผลในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส โดยที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทีความหนาแน่นและมีค่าแรงกดแตกมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบแข็งมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ดีความมีความหนานแน่นน้อย การพองตัวสูงสุด เบา กรอบนุ่ม ลื่นลิ้น และไม่ติดซอกฟัน มีเซลล์โครงสร้างที่ไม่แน่นทึบ หรือโปร่งมาก ฟองอากาศขนาดพอดี ผนังเซลล์ไม่หนามากและสม่ำเสมอกระจายทั่วตลอดชิ้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งตรวจสอบได้จากการวัดค่าแรงกดแตกหรือกล้องจุลทรรศน์ โดยค่าของแรงที่วัดได้จะสัมพันธ์กับกับค่าความแข็ง ซึ่งหากมีค่าแรงกดแตกมากจะมีแนวโน้มเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีความกรอบแข็ง ซึ่งเป็นเนื้อสัมผัสที่ได้รับจากยอมรับน้อยจากผู้บริโภค (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ข)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านค่าสี โดยวัดค่าความความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ของขนมขบเคี้ยวทั้ง 3 ชนิดพบว่าค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดมีค่าความสว่าง และค่าสีแดงสูงสุด (73.77±0.06 และ -1.61±0.03 ตามลำดับ) แต่มีค่าสีเหลืองต่ำที่สุด (21.38±0.04) ซึ่งผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 และ 2 มีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน (62.10±0.02 และ 62.71±0.05 ตามลำดับ) โดยที่ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1มีค่าสีแดงน้อยที่สุด (-9.25±0.06) และผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 มีค่าสีเหลืองมากที่สุด (37.11±0.01) ส่วนคุณภาพด้านเคมีพบว่า คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมขบเคี้ยวทั้ง 3 ชนิด มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันระหว่าง ร้อยละ 4.60±0.16 ถึง 5.60±0.03

จากค่าความชื้นที่วัดได้พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ดีของขนมขบเคี้ยว โดยผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยว และอาหารธัญชาติที่ผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์หลังจากการอบแห้งแล้วควรจะมีความชื้นเหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 1-2 ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบนาน (ประชา, 2537ก) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีขั้นตอนการปรับปรุงรสชาติ ทำให้ขนมขบเคี้ยวต้องออกมาสัมผัสกับอากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีความชื้นสูงขึ้นเช่นเดียวกับงานวิจัยของ ขนิษฐา (2549) พบว่าหลังการปรับปรุงรสขนมอบพองจากข้าวเหนียวหัก ทำให้ขนมอบพองที่ได้มีความชื้นสูงอยู่ระหว่างร้อยละ 5.60±0.36 ถึง 5.68 ±0.40 ส่วนค่าวอเตอร์แอคติวิตีที่วิเคราะห์ได้ของขนมขบเคี้ยวทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.24±0.00 ถึง 0.37±0.00 ซึ่งเป็นช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และปริมาณโปรตีน เยื่อใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรตในขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดมีค่าสูงสุด (ร้อยละ 7.07±0.02 2.02±0.08 และ 73.46±0.10 ตามลำดับ) เนื่องจากมีการเติมงาดำเพิ่มลงไปในส่วนผสม ซึ่งงาดำดิบมีปริมาณโปรตีน และเยื่อใยหยาบสูงกว่าข้าวโพดเกล็ดและปลายข้าวหอมมะลิบด และพบว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดมีปริมาณไขมันร้อยละ 9.10±0.03 ซึ่งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 5.45±0.06 5.54±0.03 ตามลำดับ) และปริมาณเยื่อใยหยาบต่ำ (ร้อยละ 0.56±0.04 และ 0.42±0.04 ตามลำดับ) มีปริมาณไขมันสูง (ร้อยละ 19.88±1.10 และ 18.59±0.16 ตามลำดับ) และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้ (ร้อยละ 66.52±1.27 และ 68.17±0.43 ตามลำดับ) ส่วนปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 มีค่าสูงสุด (ร้อยละ 2.96±0.02) รองลงมาคือ ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด และผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 (ร้อยละ 2.75±0.12 และ 1.71±0.05 ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด

ลักษณะคุณภาพ[1/]	ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว		
	ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำไม่บด	ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 (คาราด้านักเกต)	ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 (บิกก้าเทมากิ)
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	$84.84^{c}\pm0.25$	$105.14^{a}\pm0.20$	$95.07^{b}\pm0.07$
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	$6.23^{c}\pm0.81$	$8.14^{b}\pm1.12$	$11.74^{a}\pm1.19$
ค่าความสว่าง (L*)	$73.77^{a}\pm0.06$	$62.10^{c}\pm0.02$	$62.71^{b}\pm0.05$
ค่าสีแดง (a*)	$-1.61^{c}\pm0.03$	$-2.77^{b}\pm0.06$	$-9.25^{a}\pm0.06$
ค่าสีเหลือง (b*)	$21.38^{c}\pm0.04$	$33.06^{b}\pm0.01$	$37.11^{a}\pm0.01$
คุณภาพทางเคมี[2/]			
ความชื้น (ร้อยละ)	$5.60^{a}\pm0.03$	$4.60^{b}\pm0.16$	$5.58^{a}\pm0.29$
โปรตีน (ร้อยละ)	$7.07^{a}\pm0.02$	$5.45^{c}\pm0.06$	$5.54^{b}\pm0.03$
ไขมัน (ร้อยละ)	$9.10^{c}\pm0.03$	$19.88^{a}\pm1.10$	$18.59^{b}\pm0.16$
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	$2.02^{a}\pm0.08$	$0.56^{b}\pm0.04$	$0.42^{c}\pm0.04$
เถ้า (ร้อยละ)	$2.75^{b}\pm0.12$	$2.96^{a}\pm0.02$	$1.71^{c}\pm0.05$
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	$73.46^{a}\pm0.10$	$66.52^{c}\pm1.27$	$68.17^{b}\pm0.43$
วอเตอร์แอคติวิตี	$0.37^{a}\pm0.00$	$0.24^{c}\pm0.00$	$0.33^{b}\pm0.00$
คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
ลักษณะปรากฏ	$7.20^{a}\pm1.06$	$5.85^{b}\pm1.79$	$6.60^{ab}\pm1.50$
กลิ่น [ns.]	7.40 ± 1.14	7.45 ± 1.19	6.85 ± 1.39
รสชาติ	$7.55^{a}\pm0.94$	$7.25^{ab}\pm1.29$	$6.80^{b}\pm1.36$
ความกรอบ [ns.]	7.45 ± 0.83	7.35 ± 1.14	7.35 ± 0.93
ความเนียนเนื้อ [ns.]	7.20 ± 1.11	7.00 ± 1.38	6.60 ± 1.19
ความชอบโดยรวม [ns.]	7.45 ± 1.00	7.50 ± 1.32	6.85 ± 1.35

หมายเหตุ : 1/ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2 / คุณภาพทางเคมี ยกเว้นวอเตอร์แอคติวิตี คำนวณจากน้ำหนักฐานเปียก

ns. หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดพบว่า การยอมรับคุณภาพด้านกลิ่น ความกรอบ ความเนียนเนื้อ ความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดและผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิดได้รับยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังกล่าวดีใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ชอบน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ และรสชาติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด ได้รับการยอมรับสูงสุดในคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ ความกรอบ และความเนียนเนื้อ (7.20$\pm$1.06 7.55$\pm$0.94 7.45$\pm$0.83 และ 7.20$\pm$1.11 ตามลำดับ) ส่วนผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 ได้รับการยอมรับสูงสุดในคุณภาพด้านกลิ่น และความชอบโดยรวม (7.45$\pm$1.19 และ 7.50$\pm$1.32 ตามลำดับ) ส่วนผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ได้รับการยอมรับต่ำสุดในคุณภาพด้านกลิ่น ความเนียนเนื้อ และความชอบโดยรวม (6.85$\pm$1.39 6.60$\pm$1.19 และ 6.85$\pm$1.35 ตามลำดับ) ส่วนคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏพบว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ได้รับการยอมรับมากกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 (6.60$\pm$1.50 และ 5.85$\pm$1.79 ตามลำดับ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ เฉยๆ ถึง ชอบน้อย การยอมรับในคุณภาพด้านรสชาติพบว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 ได้รับการยอมรับมากกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 (7.25$\pm$1.29 และ 6.80$\pm$1.36 ตามลำดับ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ ชอบน้อย ถึง ชอบปานกลาง

จากคุณภาพทางกายภาพที่ดีกว่า และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้รับการยอมรับที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของส่วนประกอบวัตถุดิบ และสภาวะการผลิต ทำให้คุณภาพของขนมขบเคี้ยวมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าลักษณะภายในชิ้นขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด ที่ผลิตได้มีฟองอากาศเล็ก ละเอียด สม่ำเสมอ และผนังเซลล์บางกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) ของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด จากการคำนวณคุณภาพทางเคมีของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบ (ตารางที่ 4.15) พบว่า เมื่อรับประทานขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด 30 กรัม จะได้รับไขมันทั้งหมด 2.7 กรัม (เทียบเท่า 4.2 % Thai RDI) และได้รับโปรตีน 2.1 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 22 กรัม (เทียบเท่า 7.3 % Thai RDI) ใยอาหาร0.6 กรัม (เทียบเท่า 2.4 % Thai RDI) พลังงานทั้งหมด 120.7 กิโลแคลอรี โดยได้รับพลังงานจากไขมัน 24.3 กิโลแคลอรี (ตารางที่ 4.16) เห็นได้ว่าขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดที่ผลิตได้ ให้โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด และให้พลังงานจากไขมันต่ำกว่าถึง 2 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยไม่รวมค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีต้นทุนการผลิตจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด ปรุงรสโนริสาหร่ายทั้งหมด 59 บาท ต่อกิโลกรัม (ภาคผนวก ง.3) ซึ่งเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากราคาขายของผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1 (227.27 บาท ต่อกิโลกรัม) และผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 (178.6 บาทต่อกิโลกรัม) โดยราคาที่จำหน่ายของผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดอาจรวมค่าใช้จ่ายในการผลิต ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าโฆษณา กำไร และค่าใช้จ่ายในการนำเข้าของวัตถุดิบ เป็นต้น ดังนั้นขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดจึงเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ด้วยต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีไขมันต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวในท้องตลาด มีผลดีต่อผู้บริโภค เป็นการนำวัตถุดิบท้องถิ่น เช่น ปลายข้าว และธัญพืชต่างๆ ที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันต่อไป

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บดกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด

คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม)	ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำดิบไม่บด		ผลิตภัณฑ์ทางการค้า1 (คาราด้านักเกต)		ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 (บิกก้าเทมากิ)	
	กรัม	% Thai RDI*	กรัม	% Thai RDI*	กรัม	% Thai RDI*
ไขมันทั้งหมด	2.7	4.2	6.0	9.2	5.6	8.6
โปรตีน	2.1	-	1.6	-	1.6	-
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	22.0	7.3	20.0	6.7	20.5	6.8
ใยอาหาร	0.6	2.4	0.2	0.8	0.1	0.4
พลังงานทั้งหมด	120.7 กิโลแคลอรี		140.4 กิโลแคลอรี		138.8 กิโลแคลอรี	
พลังงานจากไขมัน	24.3 กิโลแคลอรี		54.0 กิโลแคลอรี		50.4 กิโลแคลอรี	

หมายเหตุ: % Thai RDI * หมายถึง ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved