บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของลำไยสด (FL) ลำไยอบแห้งจากกรรมวิธีการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (HADL) และลำไยผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDL)

ลำไยที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 3 รูปแบบ (แสดงดังภาพที่ ก.2) คือ (1) ลำไยสด (FL) พันธุ์ดอ ล้างให้สะอาด ปอกเปลือก คว้านเมล็ดออก ล้างด้วยน้ำสะอาด บดละเอียดและคั้นน้ำออก (2) ลำไยอบแห้งจากกรรมวิธีการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน (HADL) โดยนำลำไยพันธุ์ดอ ปอกเปลือก คว้านเมล็ดออก ล้างด้วยน้ำสะอาด แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นอบต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนลำไยมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 นำลำไยที่ได้มาบดให้ละเอียด และ (3) ลำไยผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDL) โดยนำเนื้อลำไยพันธุ์อีดอไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพและด้านเคมี จากการวิเคราะห์พบว่า สมบัติทางด้านกายภาพและด้านเคมีของลำไยสด ลำไยอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนบดละเอียด และลำไยผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ได้จากการเตรียมลำไยดังกล่าวข้างต้นมีสมบัติทางกายภาพและเคมีแสดงในตารางที่ 4.1 โดยค่าสีของ FL, HADL และ FDL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า L* เท่ากับ 65.44, 71.90, 84.85 ค่า a* เท่ากับ -1.30, 9.23, 0.93 และค่า b* เท่ากับ 12.96, 36.55, 22.91 ตามลำดับ ซึ่ง HADL และ FDL มีสีคล้ำมากกว่า FL อาจเนื่องมากจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น ซึ่งลำไยมีองค์ประกอบของน้ำตาลและโปรตีน ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยปฏิกิริยานี้จะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส (นิธิยา, 2543) ความชื้นของ FL มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมา คือ FDL และ HADL ตามลำดับ โดยมีความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 85.67, 12.45 และ 11.92 ตามลำดับ เนื่องจาก HADL และ FDL ได้ผ่านกระบวนการระเหยน้ำออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยการใช้ความร้อนและการแช่เยือกแข็งจึงทำให้ปริมาณความชื้นเหลือน้อยกว่าลำไยสดถึง 8 เท่า โดยประมาณ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของ FL มีมากที่สุด ตามด้วย FDL และ HADL มีปริมาณน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 553.82, 240.75 และ 187.14 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 72.37, 68.91 และ 67.42 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahattanatawee *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาปริมาณฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระของลำไยสด พบว่าลำไยสดมีปริมาณฟีนอล 482 ไมโครกรัม และมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ประมาณ 70 ไมโครกรัมเมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อกรัม (คำนวณเทียบฐานเปียก) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาลำไยอบแห้งแบบทั้งผลที่ใช้อุณหภูมิการอบ 70-80 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.73-1.09 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ศรัณยา, 2550) ส่วนค่า FRAP ที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ของ FDL มีมากที่สุด รองลงมาคือ HADL และ FL มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 2.33, 2.08 และ 1.07 ตามลำดับ เมื่อเทียบจากน้ำหนักเปียกของลำไย ซึ่งค่า FRAP เป็นตัวบ่งบอกถึงแนวโน้มของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ โดยลำไยที่มีค่า FRAP มาก แสดงว่ามีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลมาก

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของลำไย

สมบัติทางกายภาพและเคมี		FL	HADL	FDL
ค่าสี	L*	65.44±2.21^{c}	71.90±1.58^{b}	84.85±0.30^{a}
	a*	-1.30±0.67^{c}	9.23±0.19^{a}	0.93±0.09^{b}
	b*	12.96±4.47^{c}	36.55±0.65^{a}	22.91±0.17^{b}
ความชื้น(ร้อยละ)		85.67±0.31^{a}	11.92±0.00^{b}	12.45±0.04^{b}
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)		553.82±0.85^{a}	187.14±0.68^{c}	240.75±0.48^{b}
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)		72.37±0.94^{a}	67.42±1.02^{b}	68.91±1.04^{b}
Ferric reducing antioxidant power (FRAP)		1.07±0.05^{c}	2.08±0.10^{b}	2.33±0.05^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.) ในแถวตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, FL คือ ลำไยสด ; HADL คือ ลำไยอบแห้งจากกรรมวิธีการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน, FDL คือ ลำไยผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การศึกษารูปแบบของลำไยที่เหมาะสมสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

วัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไย ซึ่งรูปแบบของลำไยที่ใช้ ในการศึกษาสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยมี 3 รูปแบบ ได้แก่ FL, HADL และ FDL โดยกำหนดปริมาณของลำไยคงที่ในปริมาณ 5 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 13 เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยทั้ง 3 รูปแบบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ ก.3) พบว่า ลำไยทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยขนมขบเคี้ยวที่ผสม FL มีสีอ่อนมากที่สุด รองลงมาคือ FDL และ HADL มีสีเข้มมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่า L* อยู่ในช่วง 73.21-85.04 ค่า a* อยู่ในช่วง 1.33-8.43 และค่า b* อยู่ในช่วง 17.27-27.02 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของลำไยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษา ความชื้นของขนมขบเคี้ยวผสม FDL มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ FL และ HADL ตามลำดับ โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 3.60, 3.49 และ 3.31 ตามลำดับ และพบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสม FDL มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมา คือ HADL และลำไยสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.079, 0.061 และ 0.055 ตามลำดับ เนื่องจาก ลำไยผงจะดูดความชื้นได้เร็ว ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของขนมขบเคี้ยวสูงกว่าลำไยสดและลำไยอบแห้ง

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสม HADL มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมาคือ FDL และ FL ตามลำดับ และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 57.65, 53.31 และ 17.37 มิลลิกรัมเมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย HADL เท่ากับ 19.67 และผสมลำไย FDL เท่ากับ 16.74 มิลลิกรัมเมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ส่วนความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย FL ไม่สามารถตรวจพบได้ เนื่องจากในลำไยสดมีปริมาณเนื้อลำไยน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียก เมื่อนำมาผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันซึ่งถูกความร้อนสูงจึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยสดได้ ส่วน ค่า FRAP ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร พบว่า ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย HADL มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ FDL และ FL ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1.45, 0.91 และ 0.40 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราส่วนการพองตัว ความหนาแน่น และค่าแรงกดแตก มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าอัตราส่วนการพองตัวน้อย ส่งผลให้ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกมาก เช่นเดียวกัน หากอัตราส่วนการพองตัวมาก ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกน้อย ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คือผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นและแรงกดแตกมากผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งมาก (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ขนมขบเคี้ยวผสม FL มีอัตราการพองตัวมากที่สุด รองลงมาคือ HADL และ FDL ตามลำดับ เท่ากับ 2.12, 1.87 และ 1.78 เท่า ตามลำดับ ค่าแรงกดแตกของขนมขบเคี้ยวผสม HADL มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ FDL และ FL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 5.92, 4.86 และ 4.17 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยวผสม FDL มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ HADL และ FL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 208.47, 203.99 และ 197.27 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยทั้ง 3 รูปแบบไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมขบเคี้ยวผสม FL มีค่าเท่ากับ 4.19 ขนมขบเคี้ยวผสม HADL เท่ากับ 4.43 และที่ผสม FDL เท่ากับ 4.36 ส่วนค่าความสามารถในการละลายน้ำของขนมขบเคี้ยวผสม FL มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ FDL และ HADL มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 40.08, 37.91 และ 35.93 ตามลำดับ

การประเมินทางประสาทสัมผัส (แสดงในตารางที่ 4.2) พบว่าคะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสม HADL มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผสม FDL และ FL ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.06, 6.00 และ 5.58 ตามลำดับ ส่วนในด้านอื่นๆไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลสมบัติทางกายภาพเคมีและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผสมลำไยทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่ผสม HADL มีคุณภาพทางกายภาพและเคมีดี ได้รับคะแนนการยอมรับจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ลำไยรูปแบบของ HADL มาใช้ในการศึกษาปริมาณของลำไยที่เหมาะสมสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผสมลำไยรูปแบบแตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ	ผสมลำไย FL	ผสมลำไย HADL	ผสมลำไย FDL
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความสว่าง (L*)	85.04±0.48^{a}	74.55±0.36^{b}	73.21±5.02^{b}
ค่าสีแดง (a*)	1.33±0.05^{c}	6.74±0.11^{b}	8.43±0.20^{a}
ค่าสีเหลือง (b*)	17.27±0.23^{c}	25.62±0.16^{b}	27.02±0.12^{a}
อัตราส่วนการพองตัว	2.12±0.11^{a}	1.87±0.06^{b}	1.78±0.18^{b}
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	197.27±0.74^{c}	203.99±0.37^{b}	208.47±0.75^{a}
ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)	4.17±0.26^{c}	5.92±1.14^{a}	4.86±1.13^{b}
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	3.49±0.09^{a}	3.31±0.05^{b}	3.60±0.04^{a}
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.055±0.00^{c}	0.061±0.00^{b}	0.079±0.00^{a}
WAI ^{ns}	4.19±0.18	4.42±0.14	4.36±0.05
WSI (ร้อยละ)	40.08±2.24^{a}	35.93±1.55^{b}	37.91±1.20^{ab}
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	17.37±0.95^{c}	57.65±0.88^{a}	53.31±0.41^{b}
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	nd	19.67±0.91	16.74±0.43
FRAP (OD 700 nm)	0.40±0.01^{c}	1.45±0.31^{a}	0.91±0.05^{b}
คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)			
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.16±1.48	6.50±1.54	6.12±1.17
สี ^{ns}	6.36±1.50	6.82±1.53	6.38±1.38
กลิ่น ^{ns}	6.02±1.36	6.20±1.40	6.36±1.22
รสชาติ	5.58±1.50^{b}	6.06±1.72^{a}	6.00±1.55^{a}
ความเนียนเนื้อ ^{ns}	6.36±1.55	6.50±1.58	6.22±1.40
ความกรอบ ^{ns}	7.92±1.12	7.80±1.34	7.76±1.06
ความชอบโดยรวม ^{ns}	6.42±1.33	6.78±1.64	6.60±1.14

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.) ในแถวตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, nd หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้, FL คือ ลำไยสด, HADL คือ ลำไยอบแห้งจากกรรมวิธีการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน; FDL คือ ลำไยผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไย (HADL) โดยใช้แป้ง ร้อยละ 80-90 น้ำตาลทราย ร้อยละ 0-5 และลำไย (HADL) ร้อยละ 5-15 โดยปรับส่วนผสมให้มีความชื้น ร้อยละ 13 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ สมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3-4.5

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 69.08-75.88 มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของน้ำตาลทรายและลำไย (HADL) เพิ่มขึ้น ค่าสี a* อยู่ในช่วง 6.17-7.81 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 19.65-21.60 มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของแป้งที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.3) โดยน้ำตาลจะไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไรซ์เซชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณลำไยและน้ำตาลลงในส่วนผสม (Altan *et al.*, 2008) นอกจากนี้อาจเกิดจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตสูงจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Kadan and Pepperman, 2002; Sacchetti *et al.*, 2004) ทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยที่ปริมาณลำไยร้อยละ 5 มีอัตราการพองตัวมากที่สุด อยู่ในช่วง 1.69-1.79 ส่วนที่ร้อยละ 15 มีอัตราการพองตัวน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 1.28-1.36 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิราพร และคณะ (2534) ซึ่งทำการพัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยใช้ปลายข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ พบว่า น้ำตาลที่ใช้มีผลต่อการพองของผลิตภัณฑ์โดยเมื่อใช้น้ำตาลมากขึ้น น้ำตาลจะเข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลน้ำทำให้น้ำเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ลดลง ดังนั้นแป้งจึงดูดน้ำได้ลดลง ทำให้การเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งลดลง ส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงไปด้วย (Guy, 2001; Altan *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2007) และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิและส่วนผสมของวัตถุดิบต่อคุณภาพทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมกรอบจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเกาลัด (chestnut flour) ของ Sacchetti *et al.* (2004) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเกาลัดมากขึ้นจะมีผลต่อการเกิดเจลาติไนซ์เซชันและอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากแป้งเกาลัดมีปริมาณน้ำตาลที่ค่อนข้างมาก ส่วนความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของลำไย (HADL) ที่เพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสม HADL ร้อยละ 5 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 172.82-209.12 กรัมต่อลิตร และมีค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 3.93-5.48 กิโลกรัม และผลิตภัณฑ์ที่ผสม HADL ร้อยละ 15 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 293.82-384.54 กรัมต่อลิตร และ มีค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 8.11-9.29 กิโลกรัม (แสดงในตารางที่ 4.3) จากผลการทดลองพบว่าอัตราการพองตัวมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความหนาแน่นและค่าแรงกดแตก คือ ถ้าอัตราการพองตัวน้อย ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกจะมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Altan *et al.* (2008), Wang *et al.* (2007) และ Yang *et al.* (2008) และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารประกอบที่ไม่ใช่แป้ง เช่น โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะไปแทนที่แป้ง โดยจะส่งผลกับโมเลกุลและการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันในแป้ง (Guy, 2001 และ Yağci *et al.*, 2008)

สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย (ตารางที่ 4.4) พบว่า ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณ HADL เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.19-5.45 และ 0.05-0.22 ตามลำดับ ส่วนค่า WAI และ WSI มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของลำไยเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.82-4.51 และ 29.72-42.72 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจจะเกิดจากการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันและดีกราเดชันของแป้งลดลงทำให้ค่า WAI และ WSI ของผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง (Wang *et al.*, 2007 และ Yağci *et al.*, 2008) ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอล และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) พบว่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณลำไยเพิ่มขึ้น โดยที่ขนมขบเคี้ยวที่ผสมลำไย HADL ร้อยละ 15 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 108.51, 53.76 และ 1.76 ตามลำดับ และร้อยละ 5 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 45.57, 10.34 และ 0.86 ตามลำดับ เนื่องจากในเนื้อลำไยอบแห้งที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทดลองมีสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับขนมขบเคี้ยวจึงทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีแนวโน้มของปริมาณสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณลำไยอบแห้งที่เพิ่มขึ้น

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย (แสดงในตารางที่ 4.5) พบว่าลักษณะปรากฏ สี ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของ HADL ร้อยละ 5 แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 92.5 และน้ำตาลทรายร้อยละ 2.5 ได้คะแนนมากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของ HADL ร้อยละ 15 แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 80.0 และน้ำตาลทรายร้อยละ 5.0 ได้คะแนนกลิ่นและรสชาติมากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของ HADL อยู่มากจึงทำให้กลิ่นและรสชาติของลำไยชัดเจน ทำให้ได้คะแนนสูง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มขึ้น ความเนียนเนื้อและความกรอบน้อย และมีลักษณะแข็งจึงทำให้คะแนนที่ได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผสมลำไย HADL ร้อยละ 5 และมีผลให้คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์น้อยตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีอัตราส่วนของส่วนผสมแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	อัตราส่วนผสม			คุณภาพทางกายภาพ					
				ค่าสี			อัตราส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)
	แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	น้ำตาลทราย (กรัม)	ลำไยอบแห้งบดละเอียด (กรัม)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)			
1	85.0	5.0	10	71.17±0.57	7.35±0.34	20.87±0.66	1.36±0.00	293.82±0.84	8.11±1.86
2	90.0	0	10	74.24±0.45	6.55±0.16	20.75±0.34	1.70±0.02	175.99±0.52	4.57±1.02
3	85.0	0	15	70.92±0.99	7.14±0.42	20.01±0.59	1.51±0.01	273.29±0.09	7.23±2.64
4	95.0	0	5	75.11±0.28	6.24±0.11	20.55±0.16	1.73±0.05	172.82±0.31	4.08±0.84
5	90.0	5.0	5	72.26±0.07	6.59±0.11	19.65±0.32	1.69±0.02	209.12±0.52	5.48±1.87
6	92.5	2.5	5	75.88±0.51	5.58±0.11	19.74±0.10	1.69±0.03	194.67±0.27	3.95±0.78
7	92.5	2.5	5	73.36±0.32	6.17±0.07	19.73±0.13	1.79±0.01	195.08±0.25	3.93±1.16
8	80.0	5.0	15	69.08±0.32	7.81±0.11	21.60±0.17	1.28±0.01	384.54±0.36	9.29±2.97

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีอัตราส่วนของส่วนผสมแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อัตราส่วนผสม			คุณภาพทางเคมี						
	แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	น้ำตาลทราย (กรัม)	ลำไยอบแห้ง (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)	a_w	WAI	WSI (ร้อยละ)	Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	FRAP (OD 700 nm)
1	85.0	5.0	10	3.93±0.17	0.07±0.00	3.82±0.18	33.70±0.55	66.58±0.87	46.29±0.86	1.29±0.05
2	90.0	0	10	3.19±0.16	0.05±0.00	4.49±0.09	34.33±0.36	64.96±0.73	46.46±0.46	1.30±0.09
3	85.0	0	15	4.24±0.01	0.07±0.00	4.21±0.06	30.17±0.71	108.51±0.67	53.76±0.04	1.76±0.10
4	95.0	0	5	3.24±0.09	0.06±0.00	4.51±0.03	35.07±0.48	50.71±0.81	30.16±0.25	1.01±0.03
5	90.0	5.0	5	4.12±0.08	0.10±0.00	3.97±0.04	42.72±0.68	50.03±0.93	28.24±0.92	0.86±0.03
6	92.5	2.5	5	3.58±0.15	0.08±0.00	4.21±0.08	36.99±0.39	45.57±0.50	13.92±0.70	0.89±0.04
7	92.5	2.5	5	3.82±0.21	0.08±0.00	4.05±0.15	38.38±0.67	45.84±0.42	10.34±0.21	0.87±0.05
8	80.0	5.0	15	5.45±0.02	0.22±0.00	3.97±0.20	29.72±0.45	78.13±5.40	49.64±0.07	1.49±0.00

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีอัตราส่วนของส่วนผสมแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	อัตราส่วนผสม			คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)						
	แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	น้ำตาลทราย (กรัม)	ลำไยอบแห้งบดละเอียด (กรัม)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	85.0	5.0	10	4.72±1.71	5.00±1.51	5.54±1.55	5.38±1.81	5.04±1.60	5.92±1.74	5.34±1.56
2	90.0	0	10	6.24±1.45	6.36±1.44	5.32±1.52	5.02±1.41	6.08±1.44	6.62±1.40	6.04±1.21
3	85.0	0	15	5.14±1.60	5.36±1.68	5.48±1.36	4.66±1.62	5.52±1.62	6.38±1.55	5.60±1.36
4	95.0	0	5	6.46±1.25	6.54±1.28	5.48±1.34	5.20±1.74	6.40±1.28	6.78±1.42	6.22±1.49
5	90.0	5.0	5	6.44±1.53	6.58±1.37	5.48±1.42	5.54±1.63	6.16±1.57	6.54±1.49	6.22±1.45
6	92.5	2.5	5	6.36±1.27	6.44±1.39	5.34±1.38	5.38±1.37	6.20±1.21	6.84±1.23	6.18±1.12
7	92.5	2.5	5	7.00±1.26	6.70±1.39	5.24±1.33	5.36±1.31	6.42±1.40	6.86±1.21	6.30±1.27
8	80.0	5.0	15	3.86±1.65	4.54±1.68	5.74±1.59	5.84±1.80	4.30±1.95	4.56±2.29	5.06±1.75

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสที่ได้จากการทดลองเมื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยกับสูตรของการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้ง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert (แสดงในตารางที่ 4.6) ซึ่งพบว่า ปริมาณส่วนผสมในการผลิตมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย โดยพิจารณาจากค่า | *p*-value ของแต่ละรูปแบบซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 และค่า *p*-value ของการทดสอบ lack of fit มีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลและสามารถยอมรับรูปแบบการถดถอยนั้นได้ นอกจากนี้ยังพิจารณาจากค่า R^2 (Coefficient of determination) เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์เป็นอย่างดีระหว่างตัวแปรต้น (แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไยอบแห้ง) และตัวแปรตามที่ศึกษา (คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7674-0.9738 และภาพที่ 4.1-4.3 แสดงสมการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสูง ($R^2 > 0.7674$) ซึ่งสมการที่มีค่า R^2 สูงสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ดี นำสมการถดถอยที่ได้มาสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (response surface) เพื่อนำไปใช้ในการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น หากเปลี่ยนแปลงระดับของแป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไยอบแห้ง แต่การคาดคะเนต้องทำในขอบเขตของช่วงหรือระดับต่ำ-สูงที่ได้จากการทดลองจริงเท่านั้น

จากการพิจารณาสมการถดถอยของคุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้ง พบว่าแป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไยอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

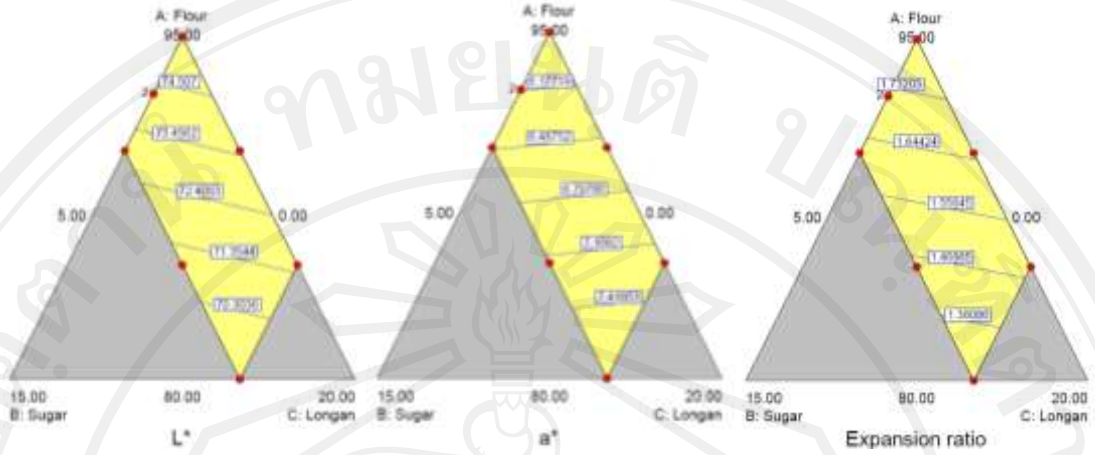
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation) ของอัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อคุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์

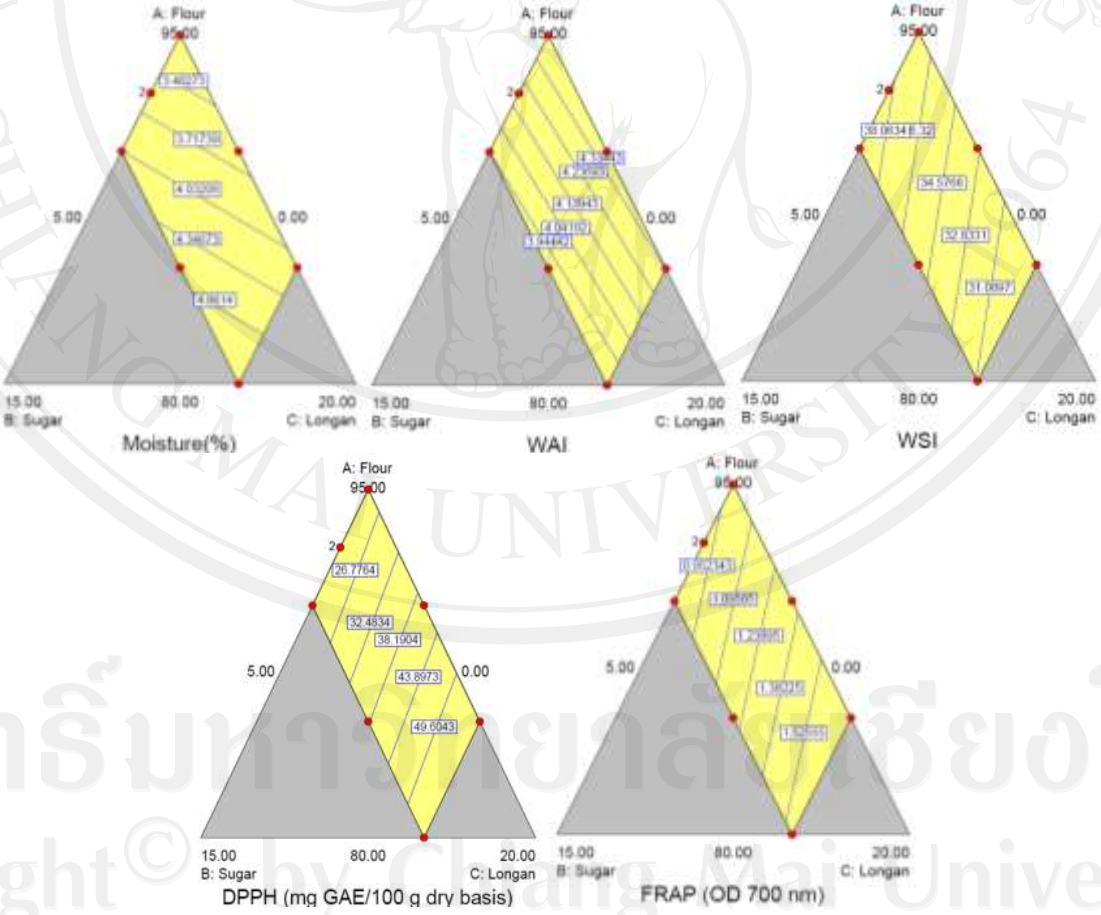
สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation)	R^2
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง (L*) =0.77577(A) +0.25883(B) +0.37202(C)	0.8656
ค่าสีแดง (a*) = 0.051898(A) +0.17343(B) +0.18732(C)	0.8475
อัตราส่วนการพองตัว = 0.019854(A) -0.020564(B) -0.013258 (C)	0.8815
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ) = 0.025740(A) +0.21530(B) +0.12856(C)	0.7757
WAI = 0.044790(A) -0.052712(B) +0.035371(C)	0.8319
WSI = 0.41364(A) +0.85169(B) -0.42337(C)	0.8064
DPPH (mg GAE/100 g dry basis) = 0.071088(A) -0.34299(B) +3.36011(C)	0.7674
Ferric reducing antioxidant power (FRAP) = 6.18118×10^{-3}(A)-0.022581(B)+ 0.078880(C)	0.9738
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	
ลักษณะปรากฏ = 0.080627(A) -0.10737(B) -0.12683(C)	0.8883
สี = 0.077221(A) -0.065445(B) -0.085688(C)	0.8908
ความเนียนเนื้อ = 0.074003(A) -0.092664(B) -0.065270(C)	0.9252
ความชอบโดยรวม = 0.068785(A) -0.013882(B) -0.022852 (C)	0.9016

หมายเหตุ : A หมายถึง ปริมาณแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)
B หมายถึง ปริมาณน้ำตาลทราย (ร้อยละ)
C หมายถึง ปริมาณลำไย HADL (ร้อยละ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

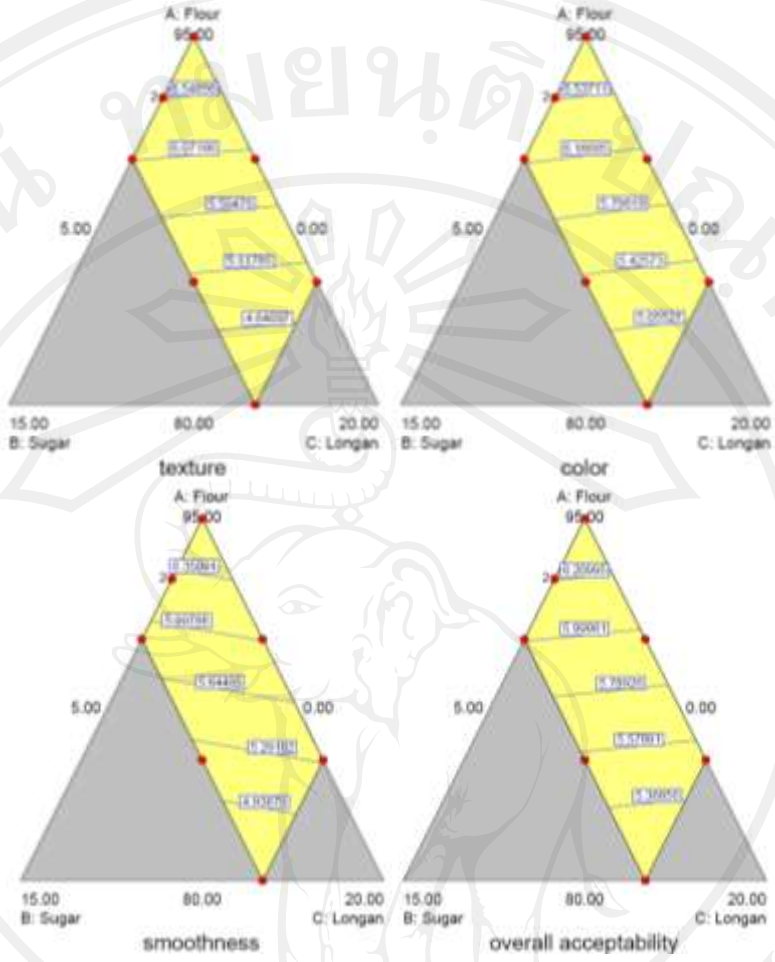


ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทรายและลำไย HADL ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทรายและลำไย HADL ต่อคุณภาพทางด้านเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทรายและลำไย HADL ต่อคะแนนทางด้านทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

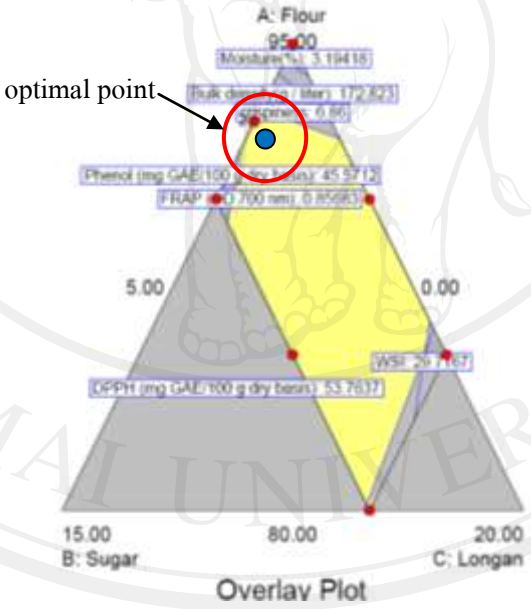
จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert เพื่อคำนวณหาสูตรที่เหมาะสมที่สุด พบว่ามีอัตราส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย (HADL) (แสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.4) ซึ่งประกอบไปด้วย แป้งข้าวเจ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 89.66-93.27 น้ำตาลทรายอยู่ในช่วงร้อยละ 1.35-4.71 และลำไยอบแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 5.00-5.62 เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (แสดงในตารางที่ 4.8) พบว่า มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงพิจารณาจากค่า Desirability ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 เท่ากับ 0.725 ถือว่าเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 คือ แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 92.11 น้ำตาลทรายร้อยละ 2.89 และลำไยอบแห้งร้อยละ 5.00 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่จะนำไปทำการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย เนื่องจากให้คุณภาพทางกายภาพ เคมีที่ดี และผู้บริโภคยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนส่วนผสมที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

สิ่งทดลองที่	ส่วนผสมที่เหมาะสม			Desirability
	แป้งข้าว (ร้อยละ)	น้ำตาลทราย (ร้อยละ)	ลำไยอบแห้ง (ร้อยละ)	
1	92.11	2.89	5.00	0.725
2	93.27	1.35	5.38	0.700
3	89.66	4.71	5.62	0.686



ภาพที่ 4.4 อัตราส่วนส่วนผสมที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ลักษณะคุณภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัสปริมาณแป้งข้าว น้ำตาลทราย และลำไย HADL สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลักษณะคุณภาพ (คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัส)	ส่วนผสมที่ 1	2	3
คุณภาพทางเคมี กายภาพ			
ค่าความสว่าง (L*)	74.07	74.71	72.87
ค่าสีแดง (a*)	6.22	6.08	6.52
ค่าสีเหลือง (b*)	20.02	19.97	20.18
ความชื้น (ร้อยละ)	3.64	3.38	4.05
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.08	0.06	0.11
อัตราส่วนการพองตัว	1.70	1.75	1.61
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	195.03	172.82	235.55
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม)	4.55	3.98	5.64
WAI	4.15	4.30	3.97
WSI (ร้อยละ)	38.44	37.45	38.72
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	46.39	51.10	45.57
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	22.36	24.25	23.65
FRAP (OD 700)	0.90	0.97	0.89
คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
ลักษณะปรากฏ	6.48	6.69	6.01
สี	6.50	6.65	6.13
กลิ่น	5.39	5.34	5.46
รสชาติ	5.40	5.20	5.62
ความเนียนเนื้อ	6.22	6.43	5.83
ความกรอบ	6.71	6.95	6.30
ความชอบโดยรวม	6.18	6.27	5.97

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การศึกษาปริมาณกัวกัมและความชื้นที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยว

กัวกัมเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติไม่ทำให้เกิดเจล แต่กระจายตัว และอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ (นิธิยา, 2543) เส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบที่ให้คุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร จึงทำให้มีการนำเส้นใยอาหารมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจุดมุงหมายโดยทั่วไปของการเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารคือ ใช้เป็น functional ingredients เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร และยังใช้ทดแทนส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร (Prosky and Devries, 1992 ; Southgate *et al*., 1990; ธนิกานต์, 2549) ดังนั้นการเลือกกัวกัมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อเติมลงไปแล้วจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการยึดเกาะตัวกันมากขึ้น (ประเสริฐ และคณะ, 2551)

ในการทดลองนี้ได้เพิ่มกัวกัมลงไปในส่วนผสมหลัก ร้อยละ 5-9 และมีการปรับปริมาณความชื้นของส่วนผสมในช่วง ร้อยละ 11-15 โดยมีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบหลักที่เหมาะสม คือ แป้งข้าว ร้อยละ 92.11 น้ำตาลทราย ร้อยละ 2.89 และลำไย (HADL) ร้อยละ 5 สภาวะที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วย ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (feeder speed) 40 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู (screw speed) 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบาร์เรล (barrel temperature) โซนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100, 120 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสี L* ในช่วง 67.28-78.23 ค่าสี a* ในช่วง 4.33-9.38 จะเห็นได้ว่าค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นและค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ในช่วง 24.87-30.06 อัตราส่วนการพองตัวและค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อปริมาณกัวกัมและความชื้นเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนการพองตัวมีค่า 1.91-2.30 และค่าแรงกดแตกมีค่า 5.22-6.72 กิโลกรัม ส่วนความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีค่าในช่วง 65.66-88.05 กรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding *et al*. (2005), Meng *et al.* (2010) และ Pansawat *et al.* (2008) เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแป้งสูงขึ้น (Ding *et al*., 2005) และ melt viscosity แรงเฉือนและอุณหภูมิในเอกซ์ทรูเดอร์ต่ำลง ทำให้ความดันไอของน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลงส่งผลให้อัตราการพองตัวลดลง แต่ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น (Guy, 2001, Altan *et al.*,2008 และ Singh *et al.*,2007) และปริมาณกัวกัมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากผลการทดลอง พบว่า การเติมกัวกัมในปริมาณที่ศึกษาไม่ได้ทำให้อัตราการพองตัว ค่าแรงกดแตกและค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากกัวกัมเป็นสารเพิ่มความหนืดหรือสารเพิ่มความคงตัว จึงมีคุณสมบัติช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการยึดเกาะตัวกันมากขึ้น บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เรียบเนียนขึ้นเท่านั้น เมื่อเติมลงไปในปริมาณที่เล็กน้อยจึงไม่มีผลต่ออัตราการพองตัว ค่าแรงกดแตก (ความแข็ง) และค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (ประเสริฐ และคณะ, 2551)

ปริมาณกัวกัมและปริมาณความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (แสดงในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.5) โดยผลิตภัณฑ์มีความชื้นในช่วงร้อยละ 3.49-5.20 และค่าวอเตอร์-แอคติวิตี้ในช่วง 0.08-0.14 โดยปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณกัวกัมและความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มกัวกัมลงไปช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น จึงมีผลให้ความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหารมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.6 (นิธิยา, 2543; Fellows, 1993; Banwart,1983) ค่า WAI ในช่วง 5.20-6.28 ซึ่งค่า WAI จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกัวกัมเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นลดลง ส่วนค่า WSI ในช่วงร้อยละ 21.02-28.42 โดยค่า WSI จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความชื้นของวัตถุดิบสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding *et al.* (2005), Lazou and Krokida (2010) และ Pansawat *et al.* (2008) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Jin *et al.*(1995) พบว่า เมื่อเติมเส้นใยลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-20 จะทำให้ค่า WSI และ WAI ลดลง และผลการทดลองยังสอดคล้องกับการศึกษาของสิริรัตน์ (2551) ที่พบว่าการเสริมรำข้าวบดในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ WSI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ WAI มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การเพิ่มความชื้นของวัตถุดิบในกระบวนการเอกซ์ทรูชันประเภทแป้ง เช่น เม็ดข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความร้อนด้วย อาหารจะได้รับแรงเฉือนอย่างรุนแรง เม็ดแป้งจะบวม ดูดน้ำ และกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลแป้งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่จะเปิดออก และกลายเป็นมวลที่มีความหนืดสูง และเกิดคุณสมบัติแบบพลาสติก (Mercier, 1980) แป้งจะละลายน้ำได้แต่ไม่ถูกย่อย การวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิและอัตราการเฉือนต่างๆ ทำได้โดยการวัด WAI และสมบัติการละลายน้ำ (water solubility characteristic, WSC) โดยทั่วไปค่า WAI ของผลิตภัณฑ์จากธัญพืชจะเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเพิ่มความรุนแรงของกรรมวิธี และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ค่า WSC ลดลง เมื่อค่า WAI สูงขึ้น (วิไล, 2545) ส่วนค่า soluble dietary fiber และ insoluble dietary fiber ของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่า soluble dietary fiber อยู่ในช่วง 0.98-7.78 กรัมต่อ 100 กรัม insoluble dietary fiber อยู่ในช่วง 0.68-9.17 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนค่า total dietary fiber มีค่า 5.80-12.16 กรัมต่อ 100 กรัม โดยปริมาณกัวกัมจะมีผลต่อปริมาณ fiber เมื่อเพิ่มปริมาณกัวกัมปริมาณ total dietary fiber ก็จะเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 17.46-52.88 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในช่วง 4.84-38.83 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP อยู่ในช่วง 0.45-1.49 จากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.5 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปริมาณกัวกัมไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP ของผลิตภัณฑ์ การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นทำให้แรงเฉือนและอุณหภูมิระหว่างการเอกซ์ทรูชัน และการเกิดดีกราเดชันของแป้งลดลง ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง (Singh *et al.*, 2007)

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยเสริมปริมาณกัวกัมและความชื้นที่แตกต่างกัน ในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบรวม พบว่าคุณภาพด้านประสาทสัมผัสทุกด้านมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก (แสดงในตารางที่ 4.11) เมื่อนำมาวิเคราะห์ ตามตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.6 พบว่าปริมาณกัวกัมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่แตกต่างกันมีผลต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีปริมาณกัวกัมและความชื้นที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	กัวกัม (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	คุณภาพทางกายภาพ					
			ค่าสี			อัตราส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)
			L*	a*	b*			
1	9.83	13.00	78.23±0.98	5.10±0.78	24.87±1.23	2.20±0.12	69.00±0.22	6.65±0.75
2	4.17	13.00	73.48±1.40	6.71±0.51	28.16±1.09	2.29±0.13	68.81±0.15	6.05±0.63
3	9.00	15.00	77.30±1.66	4.64±0.96	25.21±1.90	1.91±0.12	82.61±0.09	5.83±0.79
4	5.00	11.00	68.36±1.32	9.00±0.42	30.06±0.60	2.25±0.25	65.94±0.03	5.90±0.54
5	7.00	13.00	70.95±0.55	8.19±0.20	29.68±0.27	2.17±0.28	69.27±0.03	5.96±0.78
6	7.00	10.17	67.28±1.24	9.38±0.38	28.94±0.47	2.31±0.29	65.74±0.24	6.72±1.06
7	7.00	13.00	71.89±1.78	7.48±0.77	28.42±1.38	2.09±0.31	68.90±0.06	5.85±0.84
8	7.00	13.00	73.78±1.38	7.37±1.03	29.01±1.25	2.16±0.32	68.80±0.05	6.02±0.76
9	9.00	11.00	68.12±1.84	8.97±0.57	29.37±0.73	2.06±0.34	65.66±0.24	6.33±0.74
10	5.00	15.00	74.48±1.70	4.90±0.60	27.35±1.06	1.98±0.36	88.03±0.04	5.22±1.08
11	7.00	13.00	71.03±1.26	7.50±0.73	27.96±1.69	2.14±0.37	68.68±0.07	6.08±0.70
12	7.00	15.83	73.41±1.79	4.33±0.91	26.08±1.39	1.99±0.41	88.05±0.02	5.86±1.47
13	7.00	13.00	71.83±0.50	6.60±0.69	28.24±1.46	2.13±0.39	70.85±0.07	5.81±0.85

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีปริมาณกัวกัมและความชื้นที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	กัวกัม (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	คุณภาพทางเคมี						
			ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ	WAI	WSI (ร้อยละ)	Soluble dietary fiber (g/100g)	Insoluble dietary fiber (g/100g)	Total dietary fiber (g/100g)
1	9.83	13.00	3.53±0.03	0.07±0.00	5.46±0.60	26.66±0.54	1.45	8.62	10.07
2	4.17	13.00	3.77±0.03	0.06±0.00	5.52±0.33	27.83±1.23	1.17	4.63	5.8
3	9.00	15.00	5.20±0.01	0.14±0.01	6.28±0.42	21.02±0.39	2.99	9.17	12.16
4	5.00	11.00	3.84±0.08	0.08±0.01	5.65±0.37	27.85±1.43	1.78	5.15	6.93
5	7.00	13.00	4.69±0.02	0.12±0.00	5.72±0.21	26.95±0.93	1.29	6.50	7.79
6	7.00	10.17	3.73±0.03	0.07±0.00	5.43±0.00	28.13±0.01	0.98	7.43	8.41
7	7.00	13.00	4.12±0.02	0.09±0.00	5.54±0.51	26.37±0.37	6.64	1.72	8.36
8	7.00	13.00	4.25±0.06	0.09±0.00	5.61±0.38	26.00±0.84	7.02	1.95	8.97
9	9.00	11.00	3.49±0.05	0.06±0.00	5.20±0.11	28.42±1.01	7.78	0.90	8.68
10	5.00	15.00	4.47±0.37	0.09±0.00	6.01±0.15	23.99±0.55	5.85	1.20	7.05
11	7.00	13.00	4.66±0.01	0.12±0.00	5.30±0.53	27.08±0.79	1.00	4.90	5.9
12	7.00	15.83	5.09±0.01	0.12±0.00	6.25±0.22	21.02±1.21	5.38	0.68	6.06
13	7.00	13.00	3.66±0.37	0.08±0.00	5.48±0.07	25.88±1.56	6.00	0.83	6.83

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) สมบัติทางเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีปริมาณกัวกัมและความชื้นที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	กัวกัม (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	คุณภาพทางเคมี		
			Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	FRAP (OD 700 nm)
1	9.83	13.00	33.23±0.96	14.80±0.69	0.99±0.01
2	4.17	13.00	30.77±0.78	11.02±0.14	0.98±0.04
3	9.00	15.00	27.16±0.91	4.84±0.65	0.57±0.04
4	5.00	11.00	40.42±0.48	27.96±0.50	1.27±0.05
5	7.00	13.00	30.43±0.79	15.05±0.43	0.94±0.03
6	7.00	10.17	52.88±0.60	38.83±1.25	1.49±0.05
7	7.00	13.00	32.66±0.68	14.77±1.35	0.97±0.03
8	7.00	13.00	31.62±0.83	14.18±0.43	0.88±0.01
9	9.00	11.00	37.42±0.30	25.28±1.50	1.04±0.04
10	5.00	15.00	23.87±0.06	2.58±0.26	0.51±0.02
11	7.00	13.00	30.50±0.41	16.46±0.93	0.87±0.02
12	7.00	15.83	17.46±0.64	nd	0.45±0.05
13	7.00	13.00	30.92±1.75	12.46±0.89	0.89±0.03

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.) ; nd หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่มีปริมาณกัวกัมและความชื้นที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	กัวกัม (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)						
			ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	9.83	13.00	6.48±1.13	6.68±1.32	5.88±1.44	5.52±1.45	6.44±1.42	7.18±1.12	6.42±1.26
2	4.17	13.00	6.46±1.31	6.70±1.30	5.88±1.52	5.80±1.20	6.40±1.37	7.14±1.01	6.36±1.19
3	9.00	15.00	6.22±1.61	6.50±1.45	5.52±1.57	5.12±1.57	5.68±1.61	6.46±1.57	5.72±1.21
4	5.00	11.00	5.84±1.25	6.00±1.41	5.86±1.58	5.80±1.41	6.18±1.40	7.04±1.12	6.22±1.18
5	7.00	13.00	6.34±1.24	6.28±1.21	5.82±1.40	5.84±1.38	6.50±1.04	7.06±1.02	6.36±1.05
6	7.00	10.17	5.68±1.67	5.80±1.63	5.90±1.72	5.28±1.77	6.14±1.60	7.08±1.28	6.02±1.42
7	7.00	13.00	6.46±1.11	6.56±1.25	5.70±1.52	5.48±1.27	6.50±1.30	7.24±0.96	6.40±1.09
8	7.00	13.00	6.16±1.15	6.50±1.11	5.84±1.50	5.74±1.41	6.38±1.14	7.26±1.01	6.36±1.01
9	9.00	11.00	5.82±1.45	6.02±1.25	5.66±1.62	5.56±1.49	6.22±1.43	7.08±1.16	6.28±1.11
10	5.00	15.00	6.12±1.47	6.28±1.49	5.30±1.54	4.96±1.51	5.52±1.85	6.24±1.64	5.80±1.25
11	7.00	13.00	6.36±1.08	6.50±0.86	5.92±1.44	5.56±1.37	6.32±1.02	6.96±0.97	6.38±0.90
12	7.00	15.83	6.06±1.42	6.34±1.55	5.44±1.63	5.10±1.39	5.64±1.47	6.40±1.59	5.80±1.36
13	7.00	13.00	6.32±1.30	6.56±0.95	5.80±1.55	5.84±1.48	6.20±1.16	7.00±1.07	6.46±0.99

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลของคุณภาพทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสที่ได้จากการทดลอง เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยกับปริมาณกัวกัมและความชื้นการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้ง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert ได้ผลดังตารางที่ 4.12 พบว่า ปริมาณส่วนผสมในการผลิตมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไย โดยพิจารณาจากค่า *p*-value ($P < 0.05$) และค่า *p*-value ของการทดสอบ lack of fit ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลและสามารถยอมรับรูปแบบการถดถอยนั้นได้ นอกจากนี้ค่า R^2 ของแต่ละสมการมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7674-0.9738 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์เป็นอย่างดีระหว่างตัวแปรต้น (แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และลำไยอบแห้ง) และตัวแปรตามที่ศึกษา (คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส) และภาพที่ 4.5-4.7 แสดงสมการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสูง ($R^2 > 0.7674$) ซึ่งสมการที่มีค่า R^2 สูงสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ดี นำสมการถดถอยที่ได้มาสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (response surface) เพื่อนำไปใช้ในการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น หากเปลี่ยนแปลงระดับของปริมาณกัวกัมและความชื้น แต่การคาดคะเนต้องทำในขอบเขตของช่วงหรือระดับต่ำ-สูงที่ได้จากการทดลองจริงเท่านั้น

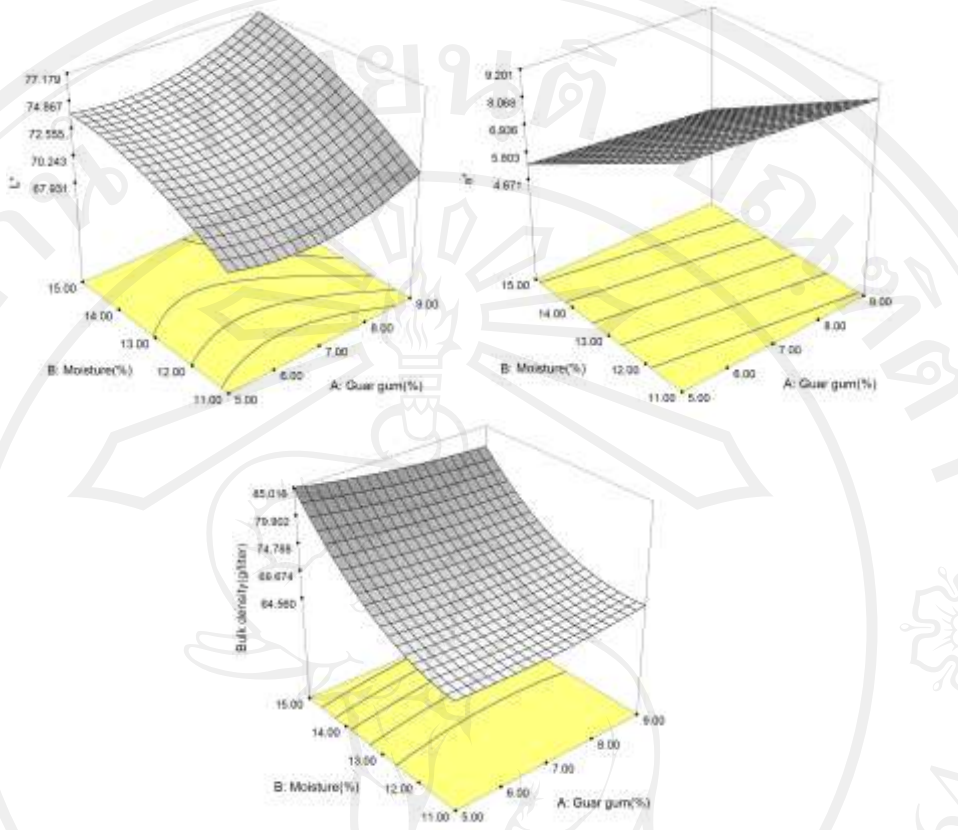
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation) ของปริมาณกัวกัมและปริมาณความชื้นสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อคุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์

สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation)	R^2
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง (L*) = 32.95003-6.92635(A)+7.97250(B)*+0.40222(A^2)*-0.28735(B^2) +0.14113(AB)	0.8840
ค่าสีแดง (a*) = 20.69740-0.16008(A)-0.97240(B)*	0.8529
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร) = 192.53603+1.32114(A)-23.97726(B)*+0.17948(A^2) +1.17833(B^2)*-0.32103(AB)	0.9565
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ) = 0.71242+2.07494×10^{-3}(A)+0.26657(B)*	0.5542
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aw) = -0.066202+3.12168×10^{-3}(A)+0.010488(B)*	0.4543
WAI = 15.42185-0.63136(A)*-1.33568(B)*+2.03529×10^{-3}(A^2)+0.045478(B^2)*+0.045143(AB)*	0.8971
WSI = -8.47535+2.39816(A)+5.60187(B)*+3.54167×10^{-3}(A^2)-0.20714(B^2)*-0.22109(AB)*	0.9511
Total dietary fiber = 2.05593+0.80617(A)*+0.017287(B)	0.5242
DPPH (mg GAE/100 g dry basis) = 97.44681+0.30760(A) -6.50242(B)*	0.9519
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	
ลักษณะปรากฏ = -5.14776-0.19048(A)+1.78834(B)*+7.12500×10^{-3}(A^2)-0.067875(B^2)* +7.50000×10^{-3}(AB)	0.8719
สี = -3.54061-0.35927(A)+1.63273(B)*+0.015000(A^2)-0.062500(B^2)*+0.012500(AB)	0.8628
กลิ่น = 4.01231-0.28575(A)+0.51509(B)*-3.87500×10^{-3}(A^2)-0.030125(B^2)*+0.026250(AB)	0.7925
รสชาติ = -2.26431-0.24187(A)+1.46622(B)*-8.06250×10^{-3}(A^2)-0.066813(B^2)*+0.025000(AB)	0.7672
ความเนียนเนื้อ = -5.08085+0.071661(A)+1.83518(B)*-0.010937(A^2)-0.077188 (B^2)* +7.50000×10^{-3}(AB)	0.8322
ความกรอบ = -0.76027-0.010089(A)+1.35352(B)*-8.31250×10^{-3}(A^2)-0.060813(B^2)* +0.011250(AB)	0.8336

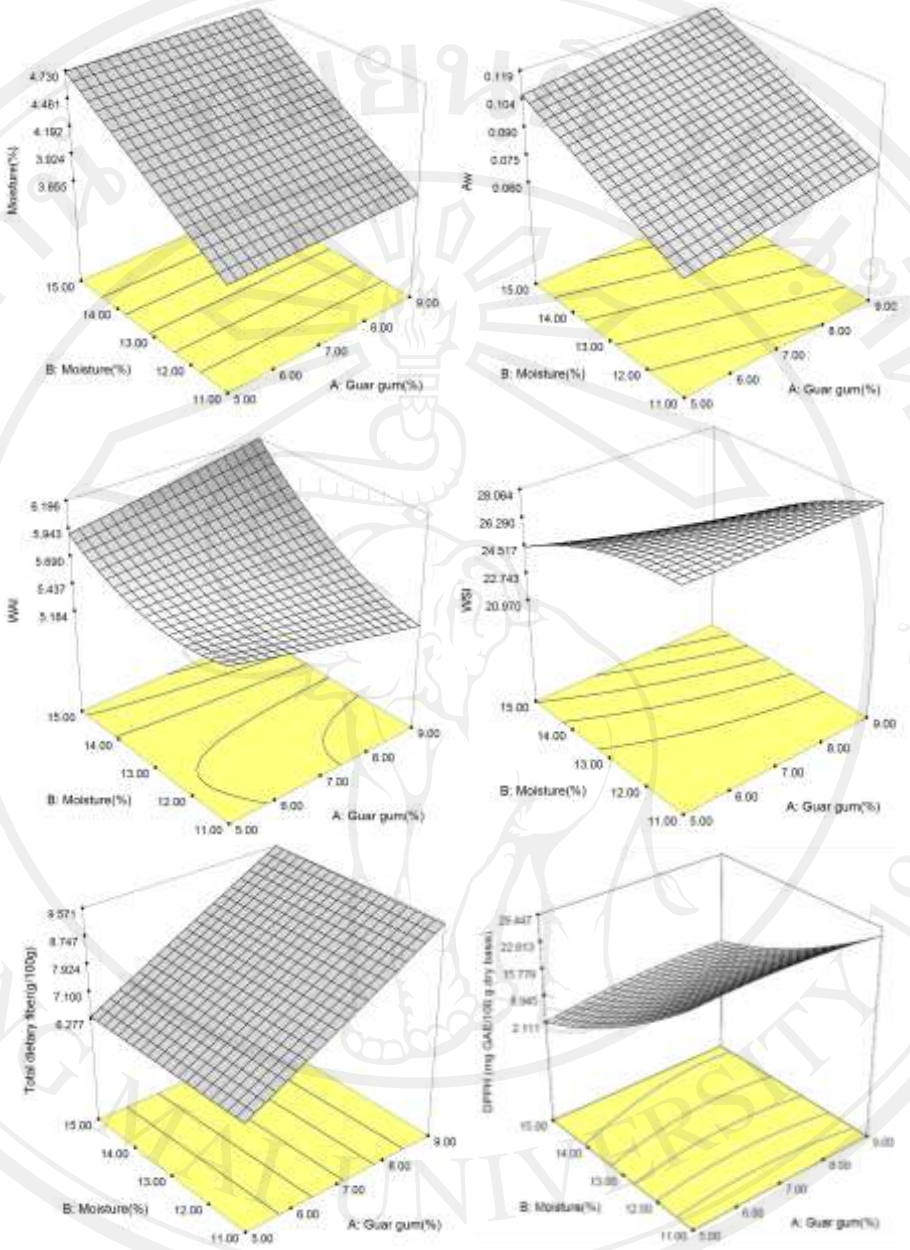
หมายเหตุ : A หมายถึง ปริมาณ กัวกัม (ร้อยละ)
B หมายถึง ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (ร้อยละ)
* หมายถึง ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



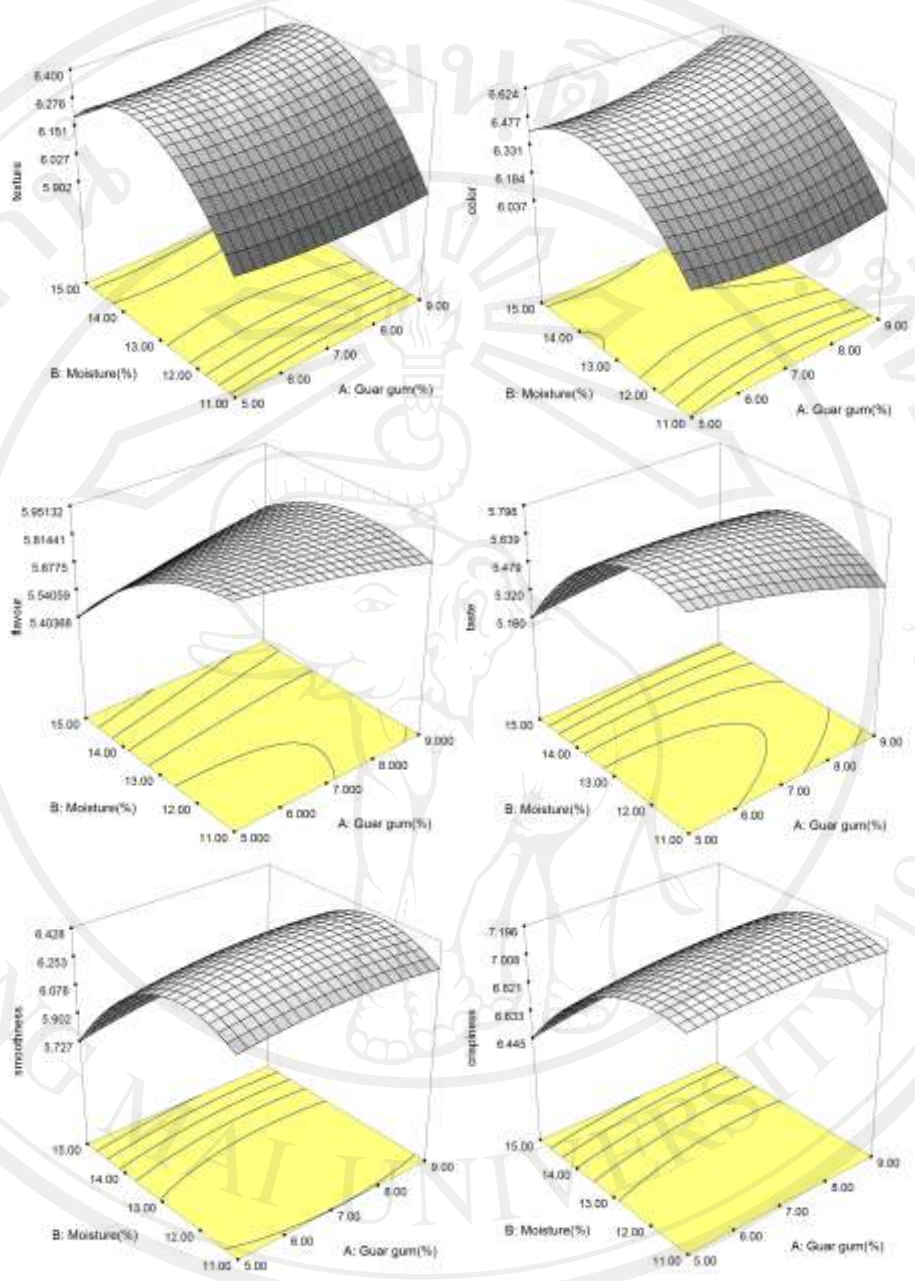
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณกัวกัม (ร้อยละ) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณกัวกัม (ร้อยละ) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ต่อคุณภาพทางด้านเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



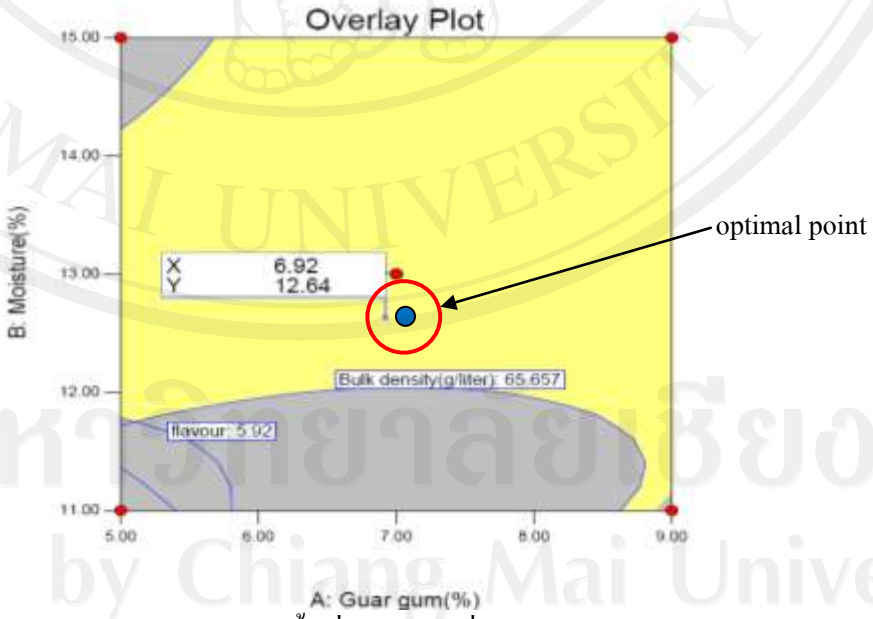
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของปริมาณกัวกัม (ร้อยละ) และปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ต่อคะแนนทางด้านทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อคำนวณหาสูตรที่เหมาะสมที่สุด พบว่ามีอัตราส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้ง 2 อัตราส่วนดังตารางที่ 4.13 ซึ่งประกอบด้วย กัวกัมอยู่ในช่วงร้อยละ 6.92 และ 6.94 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 12.64 และ 12.65 เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert (ตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.8) พบว่า ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกสิ่งทดลองใดก็ได้ เนื่องจากค่า Desirability ที่ได้จากการคำนวณเท่ากันคือ 0.846 โดยค่า Desirability ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ถือว่าเป็นปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเลือกปริมาณกัวกัมร้อยละ 6.92 และปริมาณความชื้นร้อยละ 12.64 ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อไป

ตารางที่ 4.13 ปริมาณกัวกัมและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

สิ่งทดลอง	ปริมาณที่เหมาะสม		Desirability
	กัวกัม (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	
1	6.92	12.64	0.846
2	6.94	12.65	0.846



ภาพที่ 4.8 ปริมาณกัวกัมและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ลักษณะคุณภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัสปริมาณกัวกัมและปริมาณความชื้นสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลักษณะคุณภาพ (คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัส)	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าความสว่าง (L*)	71.493	71.507
ค่าสีแดง (a*)	7.295	7.289
ค่าสีเหลือง (b*)	29.910	29.910
อัตราส่วนการพองตัว	2.150	2.149
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	67.394	67.402
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม)	6.067	6.068
คุณภาพทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	4.097	4.098
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.088	0.088
WAI	5.482	5.482
WSI (ร้อยละ)	26.661	26.650
Soluble dietary fiber	3.638	3.647
Insoluble dietary fiber	4.220	4.225
Total dietary fiber	7.852	7.867
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	33.951	33.939
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	17.361	17.345
FRAP (OD 700)	0.973	0.972
คุณภาพทางประสาทสัมผัส		
ลักษณะปรากฏ	6.292	6.292
สี	6.438	6.438
กลิ่น	5.843	5.843
รสชาติ	5.721	5.720
ความเนียนเนื้อ	6.412	6.412
ความกรอบ	7.148	7.148
ความชอบโดยรวม	6.411	6.411

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 การศึกษาผลของสภาวะของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

จากอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้จากการศึกษา 4.4 ได้แก่ แป้งข้าว ร้อยละ 92.11 น้ำตาลทราย ร้อยละ 2.89 และลำไย (HADL) ร้อยละ 5 กัวกัม ร้อยละ 6.92 และมีปริมาณความชื้น ร้อยละ 12.64 นำมาศึกษาสภาวะการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูชันแบบสกรูเดี่ยวที่เหมาะสม ทำการวางแผนการทดลองแบบ CCD โดยทำการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (ช่วง 15-45 รอบต่อนาที) ความเร็วรอบสกรู (ช่วง 150-250 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (ช่วง 120-160 องศาเซลเซียส) กำหนดให้อุณหภูมิของบาร์เรลโซนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 และ 120 องศาเซลเซียส สภาวะที่ทำการทดลองมีทั้งหมดเท่ากับ 11 สภาวะ จากการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยจากสภาวะข้างต้นนี้ (แสดงในตารางที่ 4.15-4.16) พบว่าเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบ และความเร็วของสกรูลดลงค่าสี L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี a* มีแนวโน้มลดลง อยู่ในช่วง 66.46-81.39, 2.66-9.55 และ 26.18-31.42 ตามลำดับ ส่วนค่าสี b* จะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิบาร์เรลโซน 3 เพิ่มขึ้น อัตราการพองตัว ความหนาแน่นและค่าแรงกดแตกมีแนวโน้มลดลง อยู่ในช่วง 2.11-2.38, 59.80-83.68 และ 5.26-11.66 ตามลำดับ เมื่ออัตราการป้อนส่วนผสมลดลง ความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ความเร็วรอบของสกรูเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากความเร็วรอบของสกรูที่สูงขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือน เม็ดแป้งถูกทำลายมากขึ้น และเกิดเป็นเดกซ์ตรินทำให้การพองตัวจะลดลง (Lee *et al*., 1999; มยุรี และ อาภาภร, 2551) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์เซชันเม็ดแป้งสูญเสียความสามารถในการพองตัว ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนและแรงกลในระหว่างการเอกซ์ทรูชันทำให้เม็ดแป้งจับตัวกันแน่นขึ้น (เมธาวี และ สุรีย์, 2548)

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ผ่านกระบวนการผลิตจากสภาวะต่าง ๆ 11 สภาวะ (แสดงในตารางที่ 4.16) พบว่าปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้มีปริมาณลดลงตามอุณหภูมิการผลิตที่เพิ่มขึ้นโดยที่สภาวะการผลิตที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 3.32-6.59 และ 0.07-0.79 ตามลำดับ ค่า WAI และ ค่า WSI มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่า WAI อยู่ในช่วง 4.46-6.00 และค่า WSI อยู่ในช่วงร้อยละ 21.26-32.04 จากผลที่วิเคราะห์ได้ พบว่า ค่า WAI ของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่ออุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของบาร์เรลเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องการการศึกษาของ Guha *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูชันจากแป้งข้าวเจ้าจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการทำลายโมเลกุลของเม็ดแป้งมากขึ้น ทำให้คุณสมบัติของการดูดซึมน้ำลดลง ขนาดของโมเลกุลแป้งลดลง ส่วนค่า WSI ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรูสูงขึ้น โดยการเพิ่มความเร็วรอบของสกรูที่สูงจะทำให้เกิดการทำลายเม็ดแป้งมากขึ้นทำให้เกิดเจลมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ละลายน้ำได้มากขึ้น (Wang *et al.*, 1999) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ค่า FRAP ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยสภาวะอัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 39.74 และ 11.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.87 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้อัตราการป้อนวัตถุดิบต่ำ ความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น

White *et al.* (2010) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขนมขบเคี้ยวผสมแคนเบอร์รี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเอกซ์ทรูชันได้ไปช่วยกระตุ้นในการสกัดสารเหล่านี้ออกมา เช่นเดียวกับการศึกษาของ รุ่งทิพย์ (2549) ที่พบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของลำไยอบแห้งแบบทั้งผลพร้อมเปลือกพันธุ์ดอมีปริมาณเพิ่มขึ้นภายหลังจากการอบ ทั้งนี้เนื่องจากลำไยพันธุ์ดอมีสารประกอบฟีนอลที่สำคัญ 3 ชนิด คือ กรดแกลลิค กรดเอลลาจิค และโคริลาจิน ซึ่งตามปกติแล้วสารประกอบฟีนอลเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปของแกลโลแทนนิน และเอลลาจิแทนนินที่จับกับสารอื่น เช่น น้ำตาล การใช้อุณหภูมิสูงจึงมีผลไปเร่งการแตกตัวทั้งแบบที่ใช้เอนไซม์ และไม่ใช้เอนไซม์ของสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในรูป bound form ให้ไปอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลที่เป็นอิสระมากขึ้น จึงส่งผลให้เนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความสามารในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (Rangkadilok *et al.*, 2005) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิที่สูงมีผลไปเร่งการแตกตัวของสารประกอบเหล่านี้ได้มากกว่าสภาวะที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soong and Barlow (2004) ซึ่งทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าเมล็ดมะม่วงที่อบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดย Soong and Barlow (2004) ให้เหตุผลที่สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเกิดและสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้จากสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.17 พบว่าคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความกรอบและการยอมรับโดยรวมใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.54-7.42, 6.30-7.10, 5.64-6.02, 5.92-6.82, 6.30-7.22, 6.80-7.74 และ 6.48-7.12 ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อัตราการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิโซน 3 ไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้จากสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	สภาวะ			คุณภาพทางกายภาพ					
	Feed rate	Screw speed	Temp	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)	อัตราส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัม)
1	15	250	160	71.61±0.30	7.67±0.21	29.51±0.55	2.12±0.05	59.80±2.13	6.48±1.09
2	30	200	140	72.99±0.43	7.46±0.09	30.12±0.23	2.31±0.03	70.32±0.32	8.21±1.01
3	45	150	120	77.64±0.56	4.61±0.14	28.60±0.33	2.37±0.00	83.68±0.06	11.66±2.06
4	45	250	120	74.65±0.46	6.62±0.15	29.15±0.26	2.20±0.03	71.36±0.26	7.94±1.51
5	15	150	120	74.07±0.31	7.11±0.17	31.42±0.35	2.37±0.02	80.20±0.18	8.73±1.27
6	45	250	160	75.08±0.57	6.34±0.13	28.98±0.31	2.11±0.01	64.11±0.28	8.08±1.07
7	15	150	160	71.68±0.87	7.87±0.13	30.55±0.33	2.33±0.01	62.10±0.20	5.26±1.41
8	45	150	160	81.39±0.41	2.66±0.09	26.18±0.30	2.39±0.03	78.88±0.11	9.67±1.87
9	30	200	140	73.37±0.44	6.93±0.16	29.53±0.53	2.32±0.02	68.82±0.19	7.01±1.19
10	15	250	120	66.46±0.67	9.55±0.14	30.71±0.27	2.23±0.01	67.99±0.06	5.88±0.85
11	30	200	140	75.11±0.63	6.35±0.16	29.91±0.33	2.38±0.03	72.54±0.20	9.76±1.47

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางเคมีของขนมขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้จากสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	สภาวะ			คุณภาพทางเคมี						
	Feed rate	Screw speed	Temp	ความชื้น (ร้อยละ)	a_w	WAI	WSI (ร้อยละ)	Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	FRAP (OD 700 nm)
1	15	250	160	4.04±0.04	0.07±0.00	4.97±0.70	27.54±1.65	39.74±1.43	11.56±1.14	0.87±0.06
2	30	200	140	3.32±0.09	0.09±0.00	5.53±0.33	26.23±1.63	32.15±1.05	3.97±0.91	0.77±0.01
3	45	150	120	6.28±0.00	0.24±0.00	4.66±0.30	22.31±1.33	21.27±1.89	nd	0.46±0.04
4	45	250	120	5.09±0.01	0.17±0.00	4.46±0.44	26.23±1.81	32.14±1.18	3.75±0.93	0.73±0.02
5	15	150	120	6.59±0.21	0.27±0.00	4.63±0.28	32.04±1.49	28.44±0.94	0.92±0.56	0.65±0.01
6	45	250	160	3.85±0.05	0.08±0.00	5.47±1.24	26.41±0.68	34.47±0.96	5.32±0.55	0.80±0.02
7	15	150	160	4.06±0.04	0.14±0.00	5.52±0.22	21.26±1.09	29.12±0.64	0.61±0.32	0.61±0.10
8	45	150	160	5.09±0.02	0.15±0.00	6.00±0.49	23.15±0.94	23.56±0.92	nd	0.51±0.05
9	30	200	140	3.79±0.13	0.11±0.00	5.87±0.61	23.10±0.99	30.32±1.07	0.64±0.45	0.68±0.05
10	15	250	120	3.93±0.01	0.12±0.00	5.63±0.33	29.31±0.97	31.88±0.74	8.15±1.69	0.83±0.01
11	30	200	140	3.94±0.01	0.12±0.00	5.16±0.03	29.45±1.95	29.33±1.13	2.34±0.24	0.74±0.04

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

nd หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้จากสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน

สิ่งการทดลอง	สภาวะ			คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)						
	feed rate	screw speed	temp	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความเนียนเนื้อ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	15	250	160	6.74±1.27	6.72±0.88	5.64±1.52	6.06±1.65	6.84±1.30	7.66±0.80	6.96±0.90
2	30	200	140	7.24±0.98	7.04±0.95	5.94±1.56	6.52±1.25	7.16±0.84	7.72±0.90	7.06±0.93
3	45	150	120	7.42±0.86	7.10±0.86	5.68±1.78	5.92±1.70	6.32±1.52	7.00±2.00	6.58±1.11
4	45	250	120	6.54±1.45	6.48±1.20	5.92±1.88	5.96±1.58	6.58±1.13	7.50±1.04	6.78±1.13
5	15	150	120	7.22±1.02	7.10±1.02	5.92±1.44	6.12±1.51	6.64±1.44	7.38±1.21	7.00±1.03
6	45	250	160	6.72±1.36	6.90±1.16	5.96±1.78	6.02±1.78	6.64±1.16	7.68±0.91	6.96±1.11
7	15	150	160	6.74±1.27	6.62±1.18	5.86±1.54	6.14±1.44	7.22±1.02	7.74±1.05	7.02±1.12
8	45	150	160	7.22±1.46	6.80±1.70	5.82±1.66	6.06±1.87	6.30±1.94	6.80±2.05	6.80±1.63
9	30	200	140	6.56±1.07	6.84±0.89	5.72±1.78	6.38±1.71	6.80±1.01	7.64±0.88	7.00±0.97
10	15	250	120	6.76±1.25	6.30±1.22	5.88±1.41	5.94±1.28	6.84±1.11	7.46±0.97	6.48±1.15
11	30	200	140	7.02±1.17	7.04±1.09	6.02±1.65	6.82±0.92	6.98±1.13	7.60±0.97	7.12±1.00

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยถอดรหัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้งที่สภาวะการผลิตแตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert พบว่า ค่า R^2 (Coefficient of determination) ของแต่ละสมการ อยู่ในช่วง 0.6814-0.9171 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น (อัตราการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3) และตัวแปรตามที่ศึกษา (คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส) นำสมการถดถอยที่ได้มาสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (response surface) แสดงดังภาพที่ 4.7-4.8 ซึ่งสมการถดถอยและกราฟพื้นที่ตอบสนองสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นหากเปลี่ยนแปลงระดับของอัตราการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิ แต่การคาดคะเนต้องทำในขอบเขตของช่วงหรือระดับต่ำ-สูงที่ได้จากการทดลองจริงเท่านั้นพบว่าอัตราการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิมีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* อัตราการพองตัว ความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก ปริมาณ Total phenol content ค่า DPPH และค่า FRAP ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ แต่ไม่มีผลต่อค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่า WAI ค่า WSI และคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังผลในตารางที่ 4.18

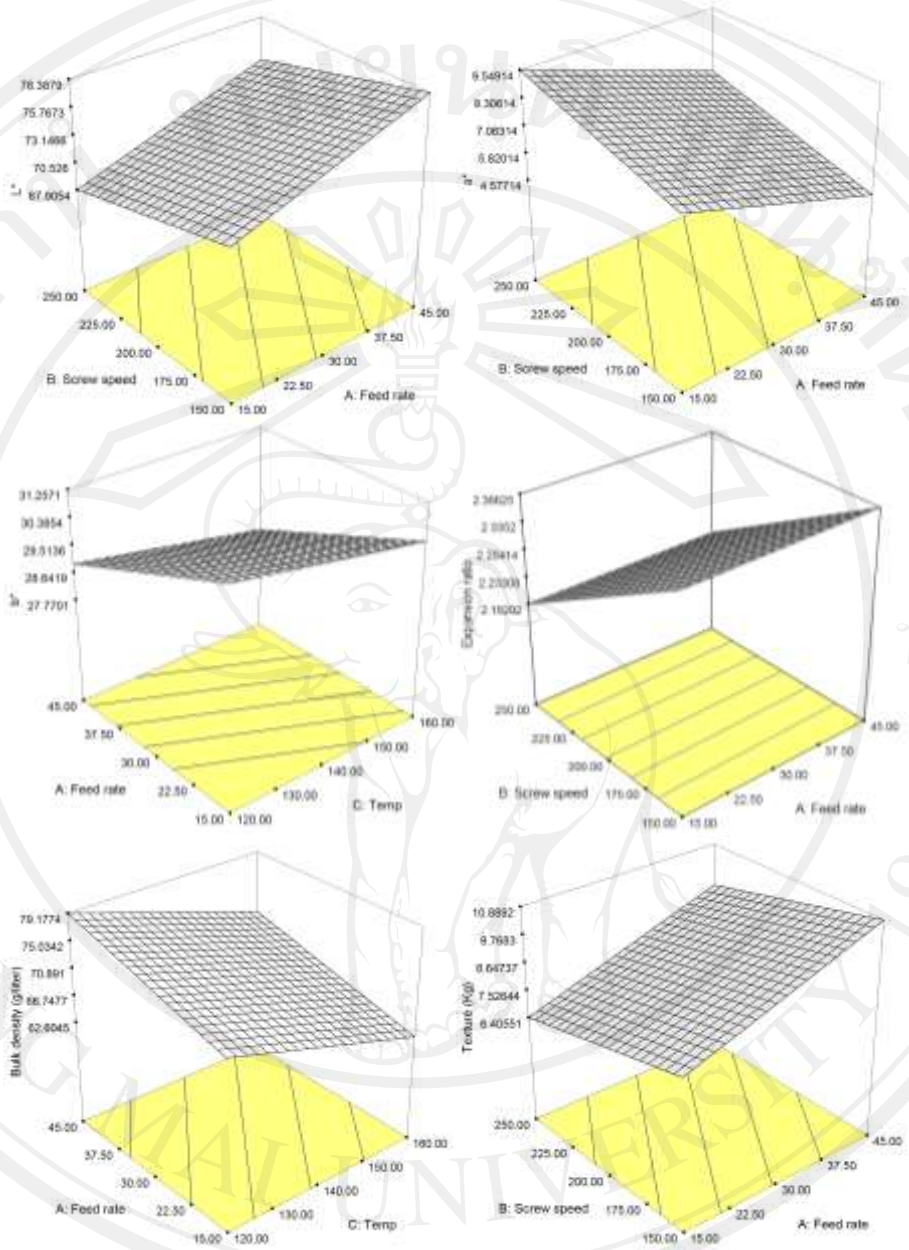
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation) ของสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อคุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์

สมการถดถอยถอดรหัส (decoded equation)	R^2
คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง (L*) = 70.18425+0.20788(A)*-0.042460(B)*+0.043387(C)	0.8555
ค่าสีแดง (a*) = 8.60112-0.099675(A)*+0.019817(B)*-0.020881(C)	0.8452
ค่าสีเหลือง (b*) = 35.12076-0.077292(A)*+4.00250×10^{-3} (B)-0.029206(C)	0.7256
อัตราส่วนการพองตัว = 2.87218+1.28500×10^{-4}(A) -2.00378×10^{-3} (B)* -1.36529×10^{-3}(C)	0.8103
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร) = 118.24368+0.23297(A)*-0.10399(B)*-0.23960(C)*	0.8636
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม) = 12.92460+0.091643(A)*-0.017344(B)*-0.029582(C)	0.6814
คุณภาพทางเคมี	
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis) = 5.21170-0.14790(A)* +0.089592(B)*+0.082333(C)*	0.8915
DPPH (mg GAE/100 g dry basis) = -15.94866-0.18206(A)*+0.092322(B)* +0.038947(C)	0.9171
FRAP = +0.19627-3.84861×10^{-3}(A)*+2.48925×10^{-3}(B)*+8.26875×10^{-3}(C)	0.9163

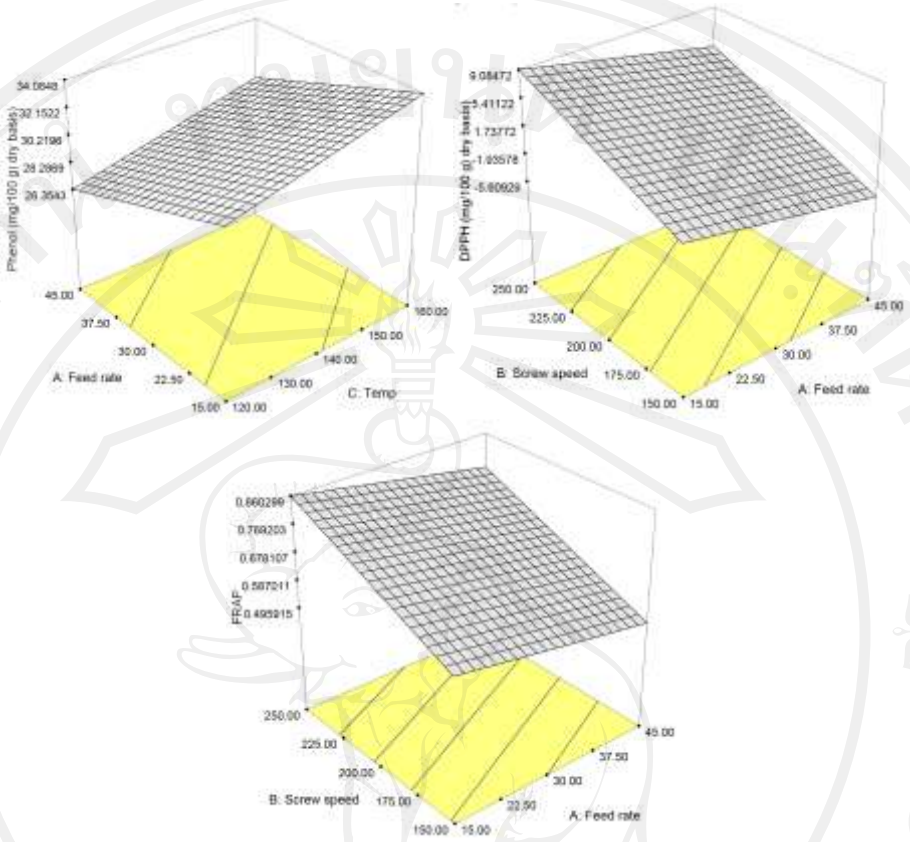
หมายเหตุ : A หมายถึง อัตราการป้อน (รอบต่อนาที)
B หมายถึง ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)
C หมายถึง อุณหภูมิของบาร์เรลโซน 3 (องศาเซลเซียส)
* หมายถึง ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของอัตราการป้อน (รอบต่อนาที) ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที) และอุณหภูมิของบาร์เรลโซนที่ 3 (องศาเซลเซียส) ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



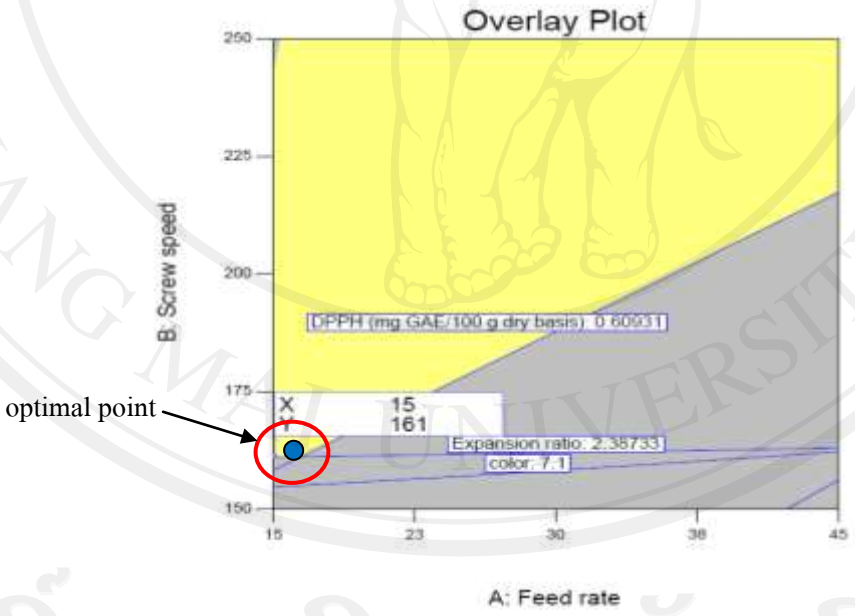
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของอัตราการป้อน (รอบต่อนาที) ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที) และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส) ต่อคุณภาพด้านเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยอบแห้ง 9 อัตราส่วน ดังตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.11 ได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ อยู่ในช่วง 15-45 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 157.47-248.81 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 120.26-160 องศาเซลเซียส โดยค่า Desirability อยู่ในช่วง 0.561-0.636 และเมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert (ตารางที่ 4.20-4.21) แล้ว พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และพบว่าปริมาณ Total phenol content เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบลดลง ความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิ เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 161 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการเคลือบขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 สภาวะที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

สิ่งทดลอง	ปริมาณที่เหมาะสม			Desirability
	Feed rate	Screw speed	Temp 3	
1	15.00	160.99	120.26	0.636
2	15.00	160.66	120.73	0.636
3	15.00	160.53	120.97	0.636
4	15.00	158.29	124.22	0.635
5	15.00	157.47	125.43	0.635
6	45.00	240.73	160.00	0.576
7	45.00	248.81	160.00	0.574
8	44.28	234.76	160.00	0.572
9	45.00	212.62	160.00	0.561



ภาพที่ 4.11 สภาวะที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้สำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย โดยกำหนดให้อุณหภูมิคงที่ 120.26 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 ลักษณะคุณภาพทางกายภาพเคมีของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัสสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลักษณะคุณภาพ (คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัส)	ส่วนผสมที่ 1	2	3	4	5	6	7	8	9
คุณภาพทางกายภาพ									
ค่าความสว่าง (L*)	71.69	71.72	71.74	71.97	72.06	76.26	75.92	76.36	77.45
ค่าสีแดง (a*)	7.79	7.77	7.76	7.65	7.61	5.55	5.71	5.50	4.99
ค่าสีเหลือง (b*)	31.09	31.08	31.07	30.97	30.93	27.93	27.97	27.97	27.82
อัตราส่วนการพองตัว	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.18	2.16	2.19	2.23
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	76.18	76.10	76.06	75.52	75.31	65.36	64.52	65.81	68.28
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม)	7.95	7.94	7.94	7.88	7.86	8.14	8.00	8.18	8.63
คุณภาพทางเคมี									
ความชื้น (ร้อยละ)	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
WAI	4.96	4.96	4.96	4.99	5.00	5.49	5.43	5.54	5.73
WSI (ร้อยละ)	30.80	30.71	30.67	30.02	29.77	27.16	27.62	26.79	25.56
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	27.32	27.33	27.33	27.40	27.43	33.30	34.02	32.87	30.78
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	0.87	0.86	0.85	0.77	0.74	4.31	5.06	3.90	1.72
FRAP (OD 700)	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.75	0.77	0.74	0.68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัสสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ลักษณะคุณภาพ (คำนวณจากสมการถดถอยถอดรหัส)	ส่วนผสมที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
คุณภาพทางประสาทสัมผัส									
ลักษณะปรากฏ	7.16	7.16	7.16	7.13	7.12	6.78	6.74	6.81	6.91
สี	7.05	7.05	7.05	7.04	7.03	6.97	6.98	6.96	6.93
กลิ่น	5.94	5.94	5.94	5.93	5.93	5.95	5.96	5.94	5.92
รสชาติ	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
ความเนียนเนื้อ	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76
ความกรอบ	7.51	7.51	7.52	7.54	7.54	7.61	7.67	7.57	7.40
ความชอบโดยรวม	6.96	6.96	6.96	6.99	6.99	7.06	7.08	7.04	6.98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 การศึกษาผลของการเคลือบขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ดีที่สุด จากอัตราส่วนผสมและสภาวะกระบวนการเอกซ์-ทรูชันดังนี้ แป้งข้าว ร้อยละ 92.11 น้ำตาลทราย ร้อยละ 2.89 และลำไย (HADL) ร้อยละ 5 กัวกัม ร้อยละ 6.92 แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณคงที่ที่ 1 กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม วัตถุดิบมีปริมาณความชื้น ร้อยละ 12.64 อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 161 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล 120 องศาเซลเซียส แล้วนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้มาเคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL 3 ระดับ คือ ร้อย 10, 20 และ30 ซึ่งคาราเมลที่ใช้เคลือบ มีอัตราส่วนของน้ำตาลทราย ร้อยละ 55 น้ำ ร้อยละ 35 เนยชนิดเค็ม ร้อยละ 9.6 และเกลือ ร้อยละ 0.4 โดยทำการเคลือบคาราเมลที่อัตราส่วนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อน้ำเชื่อมเท่ากับ 2:1 ด้วยวิธี hand spray จากนั้นนำไปอบในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส (แสดงในตารางที่ 4.22) พบว่า ค่า L* ลดลง ค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่า b* เพิ่มขึ้น ตามปริมาณของ HADL ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก HADL มีสีน้ำตาลจึงทำให้ค่าความสว่างลดลงและค่าสีเหลืองและสีแดงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ HADL ที่เพิ่มขึ้นด้วย อัตราการพองตัวและความหนาแน่นที่ปริมาณ HADL ร้อยละ 10 มีค่าน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) เท่ากับ 2.36 และ 88.58 ตามลำดับ ส่วนค่าแรงกดแตกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่เคลือบด้วยคาราเมล พบว่าปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL ร้อยละ 20 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ ร้อยละ 6.31 และ 0.21 ค่า WAI ของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL ร้อยละ 30 มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 4.88 ส่วนค่า WSI ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณสารประกอบฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL ร้อยละ 30 มีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 53.28, 21.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ 1.19 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในเนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระอยู่แล้วเมื่อนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์จึงมีผลทำให้ปริมาณสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณของHADL ที่เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่เคลือบคาราเมลผสมลำไย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL ร้อยละ 20 ได้คะแนนทางด้านปรากฏ สี รสชาติ ความเนียนเนื้อ ความกรอบ และความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.50, 7.48, 7.48, 7.40, 7.84 และ 7.52 ตามลำดับ ส่วนคะแนนทางด้านกลิ่นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสม HADL ร้อยละ 30 ได้มากที่สุดเท่ากับ 7.42 โดยผลิตภัณฑ์ที่ถูกเคลือบคาราเมลจะมีสีน้ำตาลทอง มันวาวมากขึ้น (วิจิตรา, 2546) นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนทางด้านกลิ่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปริมาณลำไยที่เพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสมลำไย HADL ร้อยละ 20 ให้คุณภาพทางด้านกายภาพ และประสาทสัมผัส ที่ดีเหมาะสมสำหรับการเคลือบขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่สุด เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสมลำไย HADL ร้อยละ 10 มีกลิ่นลำไยน้อย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสมลำไย HADL ร้อยละ 30 มีลักษณะที่เหนียวติดฟัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.22 คุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่เคลือบด้วยคาราเมลที่ผสมลำไย HADL ในระดับที่แตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ	ร้อยละของลำไยผงที่เพิ่มในคาราเมล		
	10	20	30
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความสว่าง (L*)	58.60±1.06[a]	58.07±0.88[a]	55.92±1.67[b]
ค่าสีแดง (a*)	12.75±0.61[b]	12.52±0.19[b]	13.45±0.46[a]
ค่าสีเหลือง (b*)[ns]	36.63±0.79	37.39±0.50	37.10±1.10
อัตราส่วนการพองตัว	2.36±0.02[b]	2.41±0.01[a]	2.37±0.02[b]
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	88.58±0.61[c]	96.07±0.16[a]	95.24±0.33[b]
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม)[ns]	6.11±1.83	6.62±1.18	6.19±1.15
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	5.36±0.07[c]	6.31±0.03[a]	5.91±0.03[b]
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.16±0.00[b]	0.21±0.00[a]	0.16±0.00[b]
WAI	4.53±0.10[ab]	4.44±0.25[b]	4.88±0.22[a]
WSI (ร้อยละ)[ns]	35.94±0.59	35.49±1.06	33.60±1.76
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	35.83±0.48[c]	41.92±0.79[b]	53.28±0.42[a]
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	17.13±0.28[c]	19.77±0.26[b]	21.76±0.41[a]
FRAP (OD 700 nm)	0.81±0.06[c]	1.01±0.03[b]	1.19±0.03[a]
คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)			
ลักษณะปรากฏ[ns]	7.46±1.09	7.50±1.23	7.48±1.18
สี[ns]	7.48±0.84	7.48±0.89	7.30±0.93
กลิ่น[ns]	7.04±0.95	7.30±1.09	7.42±1.28
รสชาติ[ns]	7.24±1.13	7.48±1.25	7.34±1.27
ความเนียนเนื้อ[ns]	7.36±0.98	7.40±1.05	7.28±1.37
ความกรอบ[ns]	7.68±1.10	7.84±1.00	7.66±1.12
ความชอบโดยรวม[ns]	7.32±1.00	7.52±1.05	7.31±1.26

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.) ในแถวตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns. หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7 การศึกษาคุณภาพของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ดีที่สุด โดยใช้อัตราส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 4.6 ดังนี้ แป้งข้าว ร้อยละ 92.11 น้ำตาลทราย ร้อยละ 2.89 และลำไย (HADL) ร้อยละ 5 กัวกัม ร้อยละ 6.92 แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณคงที่ที่ 1 กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมหลัก 100 กรัม วัตถุดิบมีปริมาณความชื้น ร้อยละ 12.64 อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 161 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซนที่ 1,2 และ 3 ของบาร์เรลเท่ากับ 100, 120 และ 120 องศาเซลเซียส แล้วนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ได้มาเคลือบด้วยคาราเมลที่ผสมลำไย (HADL) ที่มีอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ น้ำตาลทราย ร้อยละ 55 น้ำ ร้อยละ 35 เนยชนิดเค็ม ร้อยละ 9.6 เกลือ ร้อยละ 0.4 ลำไย HADL ร้อยละ 20 โดยทำการเคลือบคาราเมลที่อัตราส่วนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ต่อน้ำเชื่อมเท่ากับ 2:1 โดยใช้วิธี hand spray จากนั้นนำไปอบในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเอกซ์ทรูเดตที่ได้แสดงดังภาพที่ ก.8 ซึ่งมีคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 4.23 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีน้ำตาล โดยมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 58.07, 12.52 และ 37.39 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ มีความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ต่ำ มีค่า ร้อยละ 6.31 และ 0.21 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่ปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหารมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.6 (นิธิยา, 2543; Fellow, 1993; Banwart, 1983) สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยให้พลังงาน 386.78 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม และให้ปริมาณใยอาหารที่สามารถบริโภคได้ทั้งหมด 2.67 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังประกอบด้วยปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 41.92 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) 19.77 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิคต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 100 กรัม ซึ่งเท่ากับการบริโภคแก้วมังกร (red dragon fruit) ประมาณ 150 กรัม หรือครึ่งผล (mahattanatawee *et al.*, 2006) และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) เท่ากับ 1.01 อีกทั้งผู้บริโภคยังให้การยอมรับตัวผลิตภัณฑ์ มีคะแนนยอมรับโดยรวม เท่ากับ 7.52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 คุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวผสมลำไยที่ดีที่สุด

คุณภาพทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง (L*)	58.07±0.88
ค่าสีแดง (a*)	12.52±0.19
ค่าสีเหลือง (b*)	37.39±0.50
อัตราส่วนการพองตัว	2.41±0.01
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	96.07±0.16
ค่าแรงกดแตก(กิโลกรัม)	6.62±1.18
คุณภาพทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ)	6.31±0.03
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	0.21±0.00
WAI	4.44±0.25
WSI (ร้อยละ)	35.49±1.06
พลังงาน (kcal/100g)	386.78
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (g/100g)	82.39
ไขมัน (g/100g)	3.38
โปรตีน (g/100g)	6.70
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	1.25
Soluble Dietary Fiber (g/100g)	0.32
Insoluble Dietary Fiber (g/100g)	2.35
Total Dietary Fiber (g/100g)	2.67
Total phenol content (mg GAE/100 g dry basis)	41.92±0.79
DPPH (mg GAE/100 g dry basis)	19.77±0.26
FRAP (OD 700 nm)	1.01±0.03
คุณภาพทางประสาทสัมผัส (n = 50)	
ลักษณะปรากฏ	7.50±1.23
สี	7.48±0.89
กลิ่น	7.30±1.09
รสชาติ	7.48±1.25
ความเนียนเนื้อ	7.40±1.05
ความกรอบ	7.84±1.00
ความชอบโดยรวม	7.52±1.05

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (±S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) ของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย จากการคำนวณ พบว่า เมื่อรับประทานขนมขบเคี้ยวผสมลำไย จะได้รับไขมันทั้งหมด 1.01 กรัม (เทียบเท่า 1.55 % Thai RDI) โดยปริมาณไขมันที่คนไทยควรจะได้รับแต่ละวัน คือ 65 กรัม ได้รับโปรตีน 2.01 กรัม ได้รับคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 24.72 กรัม (เทียบเท่า 8.24 % Thai RDI) โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่คนไทยควรจะได้รับแต่ละวันคือ 300 กรัม ได้รับเส้นใยอาหาร 0.80 กรัม (เทียบเท่า 3.2 % Thai RDI) และได้รับพลังงานทั้งหมด 116.01 กิโลแคลอรี ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวผสมลำไย

คุณค่าทางโภชนาการ	**ขนมขบเคี้ยวผสมลำไยต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม)**			
	กรัม	**% Thai RDI***	**พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)**	**พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)**
ไขมันทั้งหมด	1.01	1.55	9	9.09
โปรตีน	2.01	-	4	8.04
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	24.72	8.24	4	98.88
เส้นใยอาหาร	0.80	3.2	-	-
			รวมพลังงานทั้งหมด	116.01

หมายเหตุ : * หมายถึง ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยคิดจากความต้องการวันละ 2,000 กิโลแคลอรี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved