บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมี ของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ คือ ข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบด พบว่า วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะเป็นผงที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (ภาพที่ ก.1) โดยที่ข้าวโพดบดหยาบมีค่าความสว่างของสี (L*) ต่ำกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด (82.23±0.41 และ 91.04±0.13 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.1) และมีค่าความเข้มของสี (C*) สูงกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด (41.57±0.81 และ 10.09±0.24 ตามลำดับ) โดยทั้งข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบด มีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเหลืองเช่นเดียวกัน (86.93±0.21 และ 92.63±0.21 องศา ตามลำดับ) เมื่อนำไปหาขนาดอนุภาคโดยร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดต่างกันพบว่า ข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบดมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-50 เมช (ร้อยละ 73.00±1.00 และ 48.83±0.29 ตามลำดับ) ขนาดอนุภาคของข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบดในการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยของ จตุพร (2550) ที่ได้ใช้ข้าวโพดบดหยาบที่มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-50 เมช ในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ ความเรียบเนียน และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก

สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ความชื้นของข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบด (ร้อยละ 6.97±0.02 และ 12.87±0.03 ตามลำดับ) มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของข้าวโพดและข้าวหอมมะลิไทย ที่กำหนดให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.5 และ 14 ตามลำดับ (ประกาศกระทรวงพาณิชย์, 2544) การที่ข้าวโพดบดหยาบ และปลายข้าวหอมมะลิบด มีความชื้นที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีการนำเมล็ดข้าวโพดไปอบแห้งก่อนการบดทั้งเมล็ด เพื่อให้เมล็ดมีความเปราะแตกง่าย วัตถุดิบหลักทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณเยื่อใยหยาบที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 2.57±0.31 และ 1.77±0.13 ตามลำดับ) โดยในข้าวโพดบดหยาบมีปริมาณเยื่อใยหยาบสูงกว่าปลายข้าวหอมมะลิบด และสูงกว่างานวิจัยของ สุลาลักษณ์ (2549) และ จตุพร (2550) (ร้อยละ 0.45 และ 0.42 ตามลำดับ) ส่วนเยื่อใยหยาบในปลายข้าวหอมมะลิบดที่ศึกษา มีความสอดคล้องกับกรมวิชาการเกษตร (2545) ที่รายงานว่า ปลายข้าวมีปริมาณเยื่อใยหยาบประมาณร้อยละ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมี ของข้าวโพดบดหยาบและปลายข้าวหอมมะลิบด

ลักษณะคุณภาพ[1/]	ข้าวโพดบดหยาบ	ปลายข้าวหอมมะลิบด
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าความสว่างของสี (L*)	82.23[b]±0.41	91.04[a]±0.13
ค่าความเข้มของสี (C*)	41.57[a]±0.81	10.09[b]±0.24
ค่าเฉดสี (h : องศา)	86.93[b]±0.21	92.63[a]±0.21
ขนาดอนุภาค		
ใหญ่กว่า 20 เมช (ร้อยละ)	13.67[a]±0.58	3.67[b]±0.58
ช่วง 20-50 เมช (ร้อยละ)	73.00[a]±1.00	48.83[b]±0.29
เล็กกว่า 50 เมช (ร้อยละ)	13.33[b]±1.04	46.67[a]±0.76
คุณภาพทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	6.97[b]±0.02	12.87[a]±0.03
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	2.57[a]±0.31	1.77[b]±0.13

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบัวบกสด 3 รูปแบบ คือ บัวบกทั้งต้นสด บัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด (ภาพที่ ก.2) เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของบัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด พบว่า บัวบกทั้งต้นสดบดมีค่าความสว่าง (L*) และความเข้มของสี (C*) (24.50±0.16 และ 8.69±0.45 ตามลำดับ) สูงกว่าน้ำคั้นบัวบกสด (17.39±0.28 และ 5.17±0.24 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.2) โดยบัวบกทั้งต้นสดบดและน้ำคั้นบัวบกสดมีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเขียวเช่นเดียวกัน (123.07±1.53 และ 148.20±1.14 ตามลำดับ) เมื่อนำบัวบกทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเปรียบเทียบกับบัวบกทั้งต้นสดพบว่า น้ำคั้นบัวบกสด และบัวบกทั้งต้นสดบดมีความชื้นสูงกว่าบัวบกทั้งต้นสด (ร้อยละ 95.68±0.01 91.63±0.54 และ 90.78±0.02 ตามลำดับ) โดยที่น้ำคั้นบัวบกสดมีความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากคั้นแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวออกมา ส่วนบัวบกทั้งต้นสดบดมีความชื้นสูงรองจากน้ำคั้นบัวบกสด เนื่องจากยังคงมีส่วนที่เป็นกากผสมอยู่กับส่วนที่เป็นของเหลว และเมื่อทำการวิเคราะห์เยื่อใยหยาบพบว่า บัวบกทั้งต้นสดบดมีปริมาณสูงใกล้เคียงกับบัวบกทั้งต้นสด (ร้อยละ 1.59±0.04 และ 1.58±0.01 ตามลำดับ) เนื่องจากปริมาณเยื่อใยหยาบที่วิเคราะห์ได้นี้มาจากส่วนเดียวกันคือบัวบกทั้งต้น (ราก ลำต้น ใบ และปุ่มบัวบก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนน้ำคั้นบัวบกสดมีปริมาณเยื่อใยหยาบต่ำที่สุด (ร้อยละ 0.15±0.04) เนื่องจากแยกเอาส่วนที่เป็นกากออกไป

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมี ของบัวบกสดรูปแบบต่างๆ

ลักษณะคุณภาพ[1/]	บัวบกทั้งต้นสด	บัวบกทั้งต้นสดบด	น้ำคั้นบัวบกสด
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความสว่างของสี (L*)	-	24.50^{a}±0.16	17.39^{b}±0.28
ค่าความเข้มของสี (C*)	-	8.69^{a}±0.45	5.17^{b}±0.24
ค่าเฉดสี (h : องศา)	-	123.07^{a}±1.53	148.20^{b}±1.14
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	90.78^{c}±0.02	91.63^{b}±0.54	95.68^{a}±0.01
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	1.58^{a}±0.01	1.59^{a}±0.04	0.15^{b}±0.04
สารเอเซียติโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
โดยน้ำหนักเปียก	78.24^{a}±0.46	0.24^{b}±0.11	0.79^{b}±0.07
โดยน้ำหนักแห้ง	848.59^{a}±4.99	2.83^{b}±1.26	23.61^{b}±2.03
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	110.50^{a}±0.03	71.50^{b}±0.02	72.00^{b}±0.01
ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน (ร้อยละ)	8.23^{a}±0.09	7.31^{c}±0.09	7.51^{b}±0.02
ความสามารถในการกำจัด DPPH (ร้อยละ)	22.02^{a}±0.12	21.49^{b}±0.19	21.50^{b}±0.01

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารเอเซียติโคไซด์ และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน และความสามารถในการกำจัด DPPH ในบัวบกพบว่า บัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบก มีปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าบัวบกทั้งต้นสด การที่มีสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำ เนื่องมาจากมีขั้นตอนของการบดสำหรับการเตรียมบัวบกทั้งต้นสดบด และมีขั้นตอนของการบีบคั้นเพิ่มขึ้นอีกสำหรับการเตรียมน้ำคั้นบัวบกสด เป็นผลให้สารสำคัญในบัวบกมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากขึ้น เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะสารเอเซียติโคไซด์ที่มีพันธะและลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่ง่ายต่อการถูกออกซิไดซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และสลายตัวไป (Aziz *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2004) เมื่อปริมาณสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในบัวบกลดลง จึงส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงด้วย

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบัวบกแห้ง 2 รูปแบบ คือ บัวบกทั้งต้นแห้งบด และใบบัวบกแห้งบด (ภาพที่ ก.2) พบว่า บัวบกทั้งต้นแห้งบดมีค่าความสว่างของสี (L*) สูงกว่าใบบัวบกแห้งบด (51.81±0.65 และ 47.66±0.74 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.3) และมีค่าความเข้มของสี (C*) ต่ำกว่าใบบัวบกแห้งบด (18.06±0.58 และ 20.28±0.29 ตามลำดับ) โดยบัวบกทั้งต้นแห้งบดมีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเหลือง (103.83±1.39) ส่วนใบบัวบกแห้งบดมีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเขียว (115.50±0.26) เมื่อนำบัวบกทั้ง 2 รูปแบบไปหาขนาดอนุภาคโดยร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดต่างกันพบว่า บัวบกทั้งต้นแห้งบด และใบบัวบกแห้งบดมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่เล็กกว่า 50 เมช (ร้อยละ 57.33±0.58 และ 58.17±1.10 ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าบัวบกแห้งบดที่ได้มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากในขั้นตอนของการบด ได้ทำการบดบัวบกแห้งผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งเล็กกว่าขนาดรูของตะแกรงที่ใช้ในการบดวัตถุดิบหลัก

สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ความชื้นของใบบัวบกแห้งบดสูงกว่าบัวบกทั้งต้นแห้งบด (ร้อยละ 8.35±0.24 และ 7.56±0.21 ตามลำดับ) เนื่องจากในขั้นตอนการอบแห้งใบบัวบกนั้นใช้อุณหภูมิต่ำกว่า และระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งบัวบกทั้งต้น ส่วนเยื่อใยหยาบพบว่า บัวบกทั้งต้นแห้งบดมีปริมาณสูงกว่าใบบัวบกแห้งบด (ร้อยละ 18.04±0.59 และ 11.49±0.36 ตามลำดับ) เนื่องจากบัวบกทั้งต้นแห้งบดประกอบด้วยส่วนของราก ลำต้น ใบ และปุ่ม ทำให้มีปริมาณเยื่อใยหยาบอยู่สูง

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในบัวบกพบว่า ใบบัวบกแห้งบดมีค่าสูงกว่าบัวบกทั้งต้นแห้งบด โดยเฉพาะสารเอเชียติโคไซด์ที่ใบบัวบกแห้งบดมีปริมาณสูงกว่าบัวบกทั้งต้นแห้งบดถึงประมาณ 7 เท่า (39,177.45±119.88 และ 5,654.00±14.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากในส่วนต่างๆ ของบัวบกมีปริมาณของสารดังกล่าวแตกต่างกัน ซึ่งพบในส่วนของใบมากที่สุด (Zainol *et al*., 2008; Aziz *et al*., 2007; Kim *et al*., 2004) หรืออาจเป็นผลจากสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งบัวบกที่แตกต่างกัน ซึ่งการทำแห้งใบบัวบกใช้อุณหภูมิที่ต่ำเพียง 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นเพียง 3 ชั่วโมง แต่การทำแห้งบัวบกทั้งต้นใช้อุณหภูมิสูงถึง 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานถึง 24 ชั่วโมง อาจทำให้สารเอเชียติโคไซด์เกิดการสลายตัวไปได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพและเคมี ของบัวบกแห้ง 2 รูปแบบ

ลักษณะคุณภาพ[1/]	บัวบกทั้งต้น แห้งบด	ใบบัวบก แห้งบด
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าความสว่างของสี (L*)	51.81[a]±0.65	47.66[b]±0.74
ค่าความเข้มของสี (C*)	18.06[b]±0.58	20.28[a]±0.29
ค่าเฉดสี (h : องศา)	103.83[b]±1.39	115.50[a]±0.26
ขนาดอนุภาค		
ใหญ่กว่า 20 เมช (ร้อยละ)	2.17[b]±0.29	3.27[a]±0.29
ช่วง 20-50 เมช (ร้อยละ)	40.67[a]±0.58	38.20[b]±0.82
เล็กกว่า 50 เมช (ร้อยละ)	57.33[b]±0.58	58.17[a]±1.10
คุณภาพทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	7.56[b]±0.21	8.35[a]±0.24
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	18.04[a]±0.59	11.49[b]±0.36
สารเอเซียติโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
โดยน้ำหนักเปียก	5,227.00[b]±13.00	35,906.13[a]±109.52
โดยน้ำหนักแห้ง	5,654.00[b]±14.06	39,177.45[a]±119.88
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	150.50[b]±0.02	221.50[a]±0.06
ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน (ร้อยละ)	9.79[b]±0.15	11.41[a]±0.02
ความสามารถในการกำจัด DPPH (ร้อยละ)	32.94[b]±0.19	52.88[a]±0.04

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

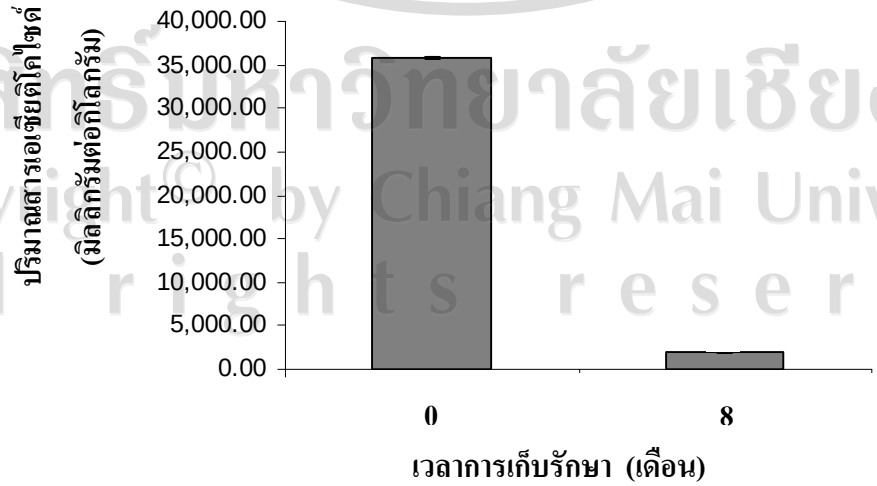
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่าบัวบกแห้งกับบัวบกสดมีปริมาณสารสำคัญ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นบัวบกคนละชุดที่เก็บเกี่ยวมาจากฤดูกาลที่แตกต่างกัน ได้มีรายงานการวิจัยของ Kormin (2005) พบว่า น้ำคั้นบัวบกจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกันมีปริมาณสารเอเซียติโคไซด์แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยที่หลากหลาย เช่น พันธุ์ของบัวบก แหล่งที่ปลูก การปลูก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และวิธีการผลิต เป็นต้น จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำบัวบกแห้งที่มีปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่สูงไปใช้เป็นวัตถุดิบส่วนผสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ โดยเฉพาะบัวบกทั้งต้นแห้งบดที่มีต้นทุนไม่สูงมากนัก ง่ายต่อการเก็บ

รักษา และนำไปใช้ ส่วนใบบัวบกแห้งบดซึ่งมีปริมาณสารสำคัญ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบส่วนผสมในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เนื่องจากความร้อนที่สูงมากในระหว่างการผลิต อาจทำให้สารสำคัญที่มีอยู่ในใบบัวบกแห้งบดสลายตัวไป อีกทั้งใบบัวบกแห้งบดยังมีต้นทุนการผลิตที่สูง จึงพิจารณาเลือกนำไปใช้เป็นผงปรุงรส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีสารสำคัญเพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้มีการศึกษาต่อไป สำหรับบัวบกสดทั้ง 2 รูปแบบ คือ บัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด ถึงแม้จะมีปริมาณสารสำคัญ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำ แต่ก็ยังคงมีศักยภาพในการนำไปใช้ เนื่องจากเตรียมง่าย และมีต้นทุนการผลิตต่ำ จึงนำไปเป็นวัตถุดิบส่วนผสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

4.2 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ในบัวบกรูปแบบที่เลือกไว้

นำใบบัวบกแห้งบดซึ่งเป็นรูปแบบที่มีปริมาณสารเอเซียติโคไซด์สูงที่สุดไปบรรจุไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์สภาพสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 เดือน พบว่า สารเอเซียติโคไซด์ในใบบัวบกแห้งบดลดลงอย่างมากเหลือเพียง 1,946.02±10.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งลดลงจากเดิมประมาณ 20 เท่าตัว แสดงว่าสารเอเซียติโคไซด์ไม่คงตัวในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะดังกล่าว ได้มีรายงานการวิจัยของ ชาญณรงค์ (2550) พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาบัวบกเพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารเอเซียติโคไซด์ในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคความดันโลหิตสูงนั้น สารเอเซียติโคไซด์ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดเอเซียติกโดยเอนไซม์ที่อยู่ในบัวบกเอง ทำให้ปริมาณของสารเอเซียติโคไซด์ลดลงจนไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ ดังนั้นในการนำใบบัวบกแห้งบดไปใช้ประโยชน์จึงควรมีการเตรียมใหม่ๆ ซึ่งมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากบัวบกเป็นพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เกือบตลอดทั้งปี



ภาพที่ 4.1 ปริมาณสารเอเซียติโคไซด์ในใบบัวบกแห้งบดที่ผ่านการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 รูปแบบที่เหมาะสมของบัวบกในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

จากการนำบัวบก 3 รูปแบบ คือ บัวบกทั้งต้นสดบด น้ำคั้นบัวบกสด และบัวบกทั้งต้นแห้งบด ไปเติมทดแทนส่วนผสมของแป้งในสูตรพื้นฐานร้อยละ 4 หลังการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวตามวิธีการผลิตที่กำหนดไว้ในข้อ 3.4.3 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับการไม่เติมบัวบกพบว่า การเติมบัวบกแต่ละรูปแบบให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างของสี (L*) ใกล้เคียงกับการไม่เติมบัวบก โดยการเติมบัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเข้มของสี (C*) สูงสุดใกล้เคียงกันและสูงกว่าการไม่เติมบัวบก (19.40±1.70 19.11±1.74 และ 15.86±3.27 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.4) ในขณะที่การเติมบัวบกทั้งต้นแห้งบดให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเข้มของสี (C*) ต่ำที่สุด (14.07±1.58) ซึ่งการเติมและไม่เติมบัวบก ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเหลืองเช่นเดียวกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านอัตราส่วนการพองตัว ความหนาแน่น และแรงกดแตกพบว่า การเติมบัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพทั้ง 3 ด้านดังกล่าวดีกว่าการไม่เติมบัวบก คือ มีค่าอัตราส่วนการพองตัวสูง ความหนาแน่น และแรงกดแตกต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบ แต่การเติมบัวบกทั้งต้นแห้งบดให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพที่ไม่ดี เนื่องจากบัวบกทั้งต้นแห้งบดที่เติมลงในส่วนผสมสำหรับการผลิตนั้นมีปริมาณเยื่อใยหยาบสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าอัตราส่วนการพองตัวต่ำ ความหนาแน่นและแรงกดแตกสูง ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบ สอดคล้องกับการวิจัยของ ประชา และคณะ (2539) Naivikal *et al*. (2002) และ สุลาลักษณ์ (2549) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณเยื่อใยหยาบในส่วนผสมการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าอัตราส่วนการพองตัวลดลง ความหนาแน่นและแรงกดแตกสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า การเติมบัวบกทั้งต้นแห้งบดให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ต่ำ ส่วนการเติมบัวบกทั้งต้นสดบด และน้ำคั้นบัวบกสด ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่สูงใกล้เคียงกับการไม่เติมบัวบก จะเห็นได้ว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีความสอดคล้องกับคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการที่ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพที่ดี ก็จะส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้ดีด้วย โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมบัวบกทั้งต้นสดบดได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวมสูงกว่าที่ไม่มีการเติมบัวบก ดังนั้นจึงเลือกใช้บัวบกทั้งต้นสดบดซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบในการทดลองขั้นต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัส ของขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบกรูปแบบต่างๆ ร้อยละ 4

ลักษณะคุณภาพ [1/]	รูปแบบบัวบกที่เติม			
	ไม่เติมบัวบก	บัวบกทั้งต้นสดบด	น้ำคั้นบัวบกสด	บัวบกทั้งต้นแห้งบด
คุณภาพทางกายภาพ				
ค่าความสว่างของสี (L*)[ns]	55.34±6.02	55.83±3.84	59.76±4.38	51.52±4.10
ค่าความเข้มของสี (C*)	15.86[ab]±3.27	19.40[a]±1.70	19.11[a]±1.74	14.07[b]±1.58
ค่าเฉดสี (h : องศา)[ns]	92.40±1.85	92.57±2.57	94.97±1.65	91.58±0.64
อัตราส่วนการพองตัว	1.87[b]±0.06	1.96[a]±0.14	1.98[a]±0.08	1.80[c]±0.07
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.13[b]±0.00	0.13[b]±0.00	0.13[b]±0.00	0.15[a]±0.00
แรงกดแตก (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	0.0015[ab]±0.93	0.0015[ab]±0.78	0.0014[b]±0.73	0.0016[a]±0.75
คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
สี	6.62[a]±1.10	6.76[a]±1.13	6.52[a]±1.22	6.06[b]±1.45
กลิ่น	5.74[b]±1.27	6.10[a]±1.30	5.60[b]±0.99	5.76[b]±1.36
รสชาติ	5.68[b]±1.49	6.18[a]±1.55	5.46[b]±1.46	5.72[b]±1.59
ความกรอบ	7.50[a]±0.89	7.48[a]±1.03	7.28[ab]±1.25	7.20[b]±1.09
ความเนียนเนื้อ	6.84[a]±1.02	7.06[a]±1.02	6.50[b]±1.36	6.48[b]±1.31
ความชอบโดยรวม	6.50[b]±1.15	6.90[a]±1.16	6.26[b]±1.14	6.48[b]±1.33

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ปริมาณที่เหมาะสมของบัวบกในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

จากการเสริมบัวบกทั้งต้นสดบดซึ่งได้รับการคัดเลือกจากการทดลองที่ 4.3 เข้าไปทดแทนส่วนผสมของแป้งในสูตรพื้นฐานในปริมาณร้อยละ 0 2 4 6 และ 8 หลังการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบตามวิธีที่กำหนด เมื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่า การเติมบัวบกทั้งต้นสดบดลงในส่วนผสมของแป้งในสูตรพื้นฐานในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่างของสี (L*) มีแนวโน้มลดลงหรือสีคล้ำขึ้น (62.70±5.73 60.11±6.25 55.52±0.64 52.23±4.30 และ 52.03±2.21 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.5) สำหรับค่าความเข้มของสี (C*) นั้นพบว่า การเติมบัวบกทั้งต้นสดบดในปริมาณร้อยละ 0 2 และ 4 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสูงใกล้เคียงกัน (26.67±3.20 30.09±2.18 และ 24.46±2.97 ตามลำดับ) ส่วนการเติมบัวบกร้อยละ 6 และ 8 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าต่ำใกล้เคียงกัน (20.61±1.58 และ 21.04±1.11 ตามลำดับ) โดยการเติมบัวบกปริมาณต่างๆ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเฉดสี (h) เป็นสีเหลืองเช่นเดียวกัน

เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์อัตราส่วนการพองตัว ความหนาแน่น และแรงกดแตก พบว่าการเติมบัวบกในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าอัตราส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง ความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์นั้นพบว่า การเสริมบัวบกในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีค่าแรงกดแตกต่ำ (0.0011±1.10 และ 0.0012±1.07 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ) ซึ่งไม่สอดคล้องกับรายงานของ ชนิดา และคณะ (2549) ที่กล่าวว่าการเสริมเยื่อใยอาหารจากสมุนไพรในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ได้มีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากการเสริมบัวบกในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 ในงานวิจัยนี้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งเปราะแตกง่าย (ภาพที่ ก.6) ทำให้ค่าแรงกดสูงสุดที่บันทึกได้มีค่าต่ำ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมบัวบกทั้งต้นสดบดร้อยละ 0 2 และ 4 มีอัตราส่วนการพองตัวสูง ความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ดี

เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า การเติมบัวบกทั้งต้นสดบดในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่ต่ำ จะเห็นว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีความสอดคล้องกับคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบน้อยคือผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนการพองตัวน้อย ความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเส้นใยในวัตถุดิบส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเติมบัวบกทั้งต้นสดบดร้อยละ 4 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่สูงใกล้เคียงกับการไม่เติมบัวบก ดังนั้นจึงเลือกบัวบกทั้งต้นสดบดร้อยละ 4 สำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวในการทดลองขั้นต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัส ของขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบกทั้งต้นสดบดในปริมาณที่แตกต่างกัน

ลักษณะคุณภาพ [1/]	ปริมาณบัวบกทั้งต้นสดบด (ร้อยละ)				
	0	2	4	6	8
คุณภาพทางกายภาพ					
ค่าความสว่างของสี (L*)	62.70^{a}±5.73	60.11^{ab}±6.25	55.52^{ab}±0.64	52.23^{b}±4.30	52.03^{b}±2.21
ค่าความเข้มของสี (C*)	26.67^{a}±3.20	30.09^{a}±2.18	26.46^{a}±2.97	20.61^{b}±1.58	21.04^{b}±1.11
ค่าเฉดสี (h : องศา)	94.57^{a}±0.90	93.63^{ab}±1.27	93.93^{ab}±2.78	90.27^{bc}±0.35	89.27^{c}±3.18
อัตราส่วนการพองตัว	2.02^{a}±0.23	2.01^{a}±0.20	2.00^{a}±0.16	1.45^{b}±0.12	1.40^{b}±0.16
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.10^{c}±0.00	0.12^{b}±0.00	0.13^{b}±0.01	0.13^{ab}±0.00	0.14^{a}±0.00
แรงกดแตก (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	0.0015^{a}±0.47	0.0015^{a}±0.66	0.0015^{a}±0.83	0.0011^{b}±1.10	0.0012^{b}±1.07
คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
สี	7.26^{a}±1.16	6.14^{c}±1.25	6.76^{b}±1.22	4.72^{d}±1.60	4.68^{d}±1.71
กลิ่น	5.48^{a}±1.69	5.38^{a}±1.35	5.42^{a}±1.39	5.24^{ab}±1.55	4.98^{b}±1.45
รสชาติ[ns]	5.76±1.51	5.42±1.43	5.52±1.52	5.62±1.37	5.58±1.30
ความกรอบ	7.28^{a}±1.03	6.68^{b}±1.39	7.02^{ab}±1.08	6.24^{c}±1.27	6.10^{c}±1.54
ความเนียนเนื้อ	7.04^{a}±1.11	6.16^{bc}±1.45	6.52^{b}±1.25	5.80^{cd}±1.58	5.54^{d}±1.46
ความชอบโดยรวม	6.88^{a}±1.27	5.96^{b}±1.23	6.58^{a}±1.43	5.76^{bc}±1.22	5.36^{c}±1.40

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 สภาวะการผลิตที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวพองกรอบโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

จากการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบกทั้งต้นสดบดร้อยละ 4 โดยศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรล และความเร็วรอบสกรู วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial Experiment in Central Composite Design ได้สภาวะในการผลิตทั้งหมด 13 สภาวะ (ตารางที่ 4.6) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละสภาวะของการผลิตไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสพบว่า สภาวะในการผลิตทั้ง 13 สภาวะ มีค่าคุณภาพแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.6) หลังจากนำข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 จะได้สมการถดถอยถอดรหัสของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ที่มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 75 ซึ่งถ้า R^2 ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ร้อยละ 100 มากเท่าไร แสดงว่าสมการนั้นสามารถใช้ในการทำนายผลนั้นให้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น พบว่าได้สมการถดถอยถอดรหัส 3 สมการ คือ 1) ความหนาแน่น 2) อัตราส่วนการพองตัว และ 3) ความชอบโดยรวม (ตารางที่ 4.7) เมื่อพิจารณาค่า R^2 จาก 3 สมการดังกล่าวนี้ จะเห็นว่าสมการที่ 1) มีค่า R^2 สูงกว่าสมการที่ 2) และ 3) แสดงว่าสมการที่ 1) สามารถนำไปใช้ในการทำนายคุณภาพด้านความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงความจริงมากกว่าสมการที่ 2) และ 3) นอกจากนั้นยังพบว่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (ไม่คิดเครื่องหมายบวกหรือลบ เครื่องหมายดังกล่าวแสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรตามกันหรือแปรผกผันกันตามลำดับ) ของอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลมีค่าสูงกว่าความเร็วรอบสกรู แสดงว่าอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลนี้มีอิทธิพลต่อคุณภาพทั้ง 3 ด้านของผลิตภัณฑ์ที่ได้มากกว่าความเร็วรอบสกรู

เมื่อนำสมการถดถอยถอดรหัสที่ได้ไปสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 จะได้กราฟพื้นที่การตอบสนองด้านความหนาแน่น อัตราส่วนการพองตัว และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ) พบว่า เมื่อความเร็วรอบสกรูมีค่าสูง แต่อุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลมีค่าต่ำ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะมีค่าต่ำ แต่อัตราส่วนการพองตัวจะมีค่าสูง เนื่องจากความเร็วรอบสกรูที่สูงทำให้ส่วนผสมภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้รับแรงเฉือนมากขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น ประกอบกับอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลที่ต่ำประมาณ 160 องศาเซลเซียส เมื่อส่วนผสมถูกอัดผ่านรูเปิดหน้าแปลนออกมา จึงทำให้น้ำในส่วนผสมระเหยออกทันที เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนหรือโพรงอากาศจำนวนมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ แต่มีอัตราส่วนการพองตัวสูง ซึ่งเป็นลักษณะของขนมขบเคี้ยวพองกรอบที่ต้องการ ส่วนด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่า ผลิตภัณฑ์จะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงในสภาวะการผลิตที่ความเร็วรอบสกรูมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 172-250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 162-177 องศาเซลเซียส

จากนั้นทำการประมวลผลกราฟพื้นที่การตอบสนองที่ได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบกทั้งต้นสดบดประกอบด้วย ความเร็วรอบสกรู 247 รอบต่อนาที และอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรล 160 องศาเซลเซียส ซึ่งจากสภาวะดังกล่าวนี้ โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 ก็จะคำนวณค่าคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา ซึ่งประกอบด้วย อัตราส่วนการพองตัว ความหนาแน่น และความชอบโดยรวม (2.09 0.12 กรัมต่อมิลลิลิตร และ 6.95 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.8) เมื่อนำสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ได้นี้ไปผลิตเป็นขนมขบเคี้ยวพองกรอบเสริมบัวบก แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่นที่วัดได้จริง (1.95±0.10 และ 0.13±0.00 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) กับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนคุณภาพด้านความชอบโดยรวมนั้นยังไม่ใช้ค่านี้ในการคำนึงถึง เนื่องจากจะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ไปปรุงรสต่อไป

สำหรับคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดพบว่า มีปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน และความสามารถในการกำจัด DPPH เท่ากับ 0.80±0.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ร้อยละ 0.21±0.11 และ 1.82±0.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับของสด โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่พบสารเอเซียติโคไซด์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ แสดงว่าในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันซึ่งมีการใช้อุณหภูมิที่สูงมาก ทำให้สารเอเซียติโคไซด์สลายตัวไป การลดลงของสารเอเซียติโคไซด์นี้สามารถที่จะเพิ่มปริมาณได้โดยการเติมใบบัวบกแห้งบดซึ่งมีปริมาณสารเอเซียติโคไซด์อยู่สูง ผสมกับผงปรุงรส โดยจะทำการศึกษาต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 ผลของสภาวะในการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

สภาวะในการผลิต		คุณภาพทางกายภาพ			คุณภาพทางประสาทสัมผัส		
อุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	อัตราส่วนการพองตัว	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าแรงกดแตก (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	ความกรอบ	ความเรียบเนียน	ความชอบโดยรวม
156	200	2.18±0.13	0.12±0.00	0.0011±0.91	7.08±0.97	6.94±1.08	6.88±1.08
160	250	2.22±0.15	0.12±0.00	0.0012±1.28	7.30±1.13	7.04±1.12	6.94±1.08
160	150	1.82±0.16	0.14±0.01	0.0013±1.02	6.70±1.11	6.32±0.89	6.32±0.98
170	200	1.96±0.12	0.13±0.01	0.0017±0.96	7.18±1.51	7.00±1.41	6.96±1.43
170	200	1.90±0.18	0.13±0.00	0.0017±0.84	7.24±1.49	7.00±1.44	6.98±1.42
170	271	1.81±0.28	0.13±0.01	0.0015±1.19	6.98±1.15	6.40±1.28	6.80±1.11
170	200	1.92±0.15	0.11±0.00	0.0015±1.10	7.56±0.93	6.96±1.05	7.24±0.94
170	129	1.88±0.11	0.14±0.01	0.0015±0.93	6.96±1.16	6.72±1.16	6.80±1.14
170	200	1.79±0.19	0.11±0.00	0.0017±1.01	7.46±1.34	7.40±1.23	7.26±1.34
170	200	2.05±0.10	0.11±0.01	0.0014±0.97	7.54±1.07	7.26±1.31	7.16±1.27
180	250	1.76±0.22	0.10±0.01	0.0014±2.34	7.32±1.06	6.58±1.21	6.90±1.04
180	150	1.82±0.10	0.11±0.00	0.0013±1.12	7.32±1.24	6.60±1.12	6.92±1.16
184	200	1.70±0.15	0.12±0.00	0.0013±0.77	7.24±1.12	6.36±1.16	6.54±1.13

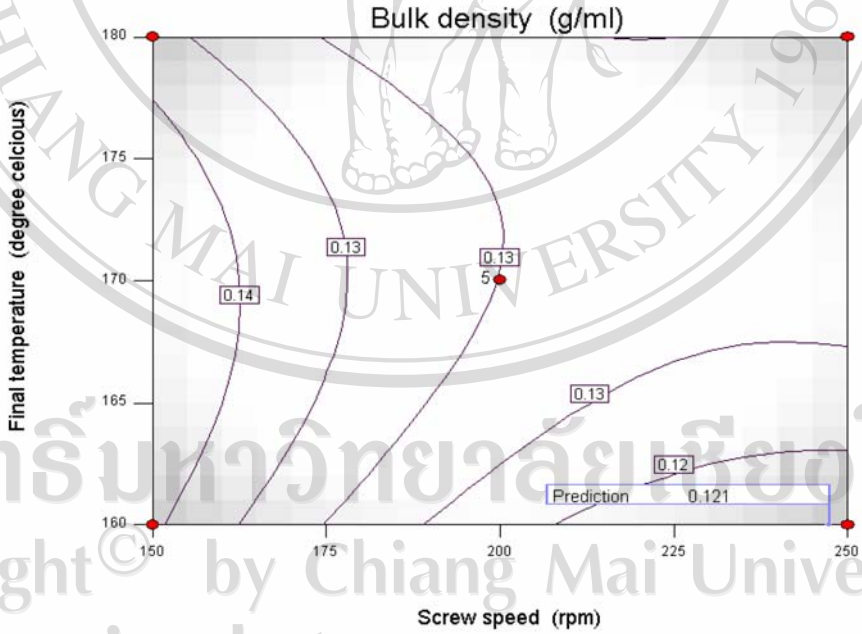
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 สมการถดถอยถอดรหัสของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ที่เป็นผลมาจากสภาวะการผลิตต่างๆ ซึ่งมีค่า $R^2 \geq$ ร้อยละ 75

สมการถดถอยถอดรหัส	R^2 (ร้อยละ)
1) ความหนาแน่น = -0.72 - 0.00156(S) + 0.01(T) + 0.0000015(S^2) -0.0000375(T^2) + 000005(S)*(T)	84
2) อัตราส่วนการพองตัว = 30.06 + 0.036(S) - 0.38(T) - 0.0000207(S^2) +0.00121(T^2) - 0.000155(S)*(T)	76
3) ความชอบโดยรวม = -71.56 + 0.008(S) + 0.82(T) - 7.13(S^2) -0.00223(T^2) - 0.00032(S)*(T)	76

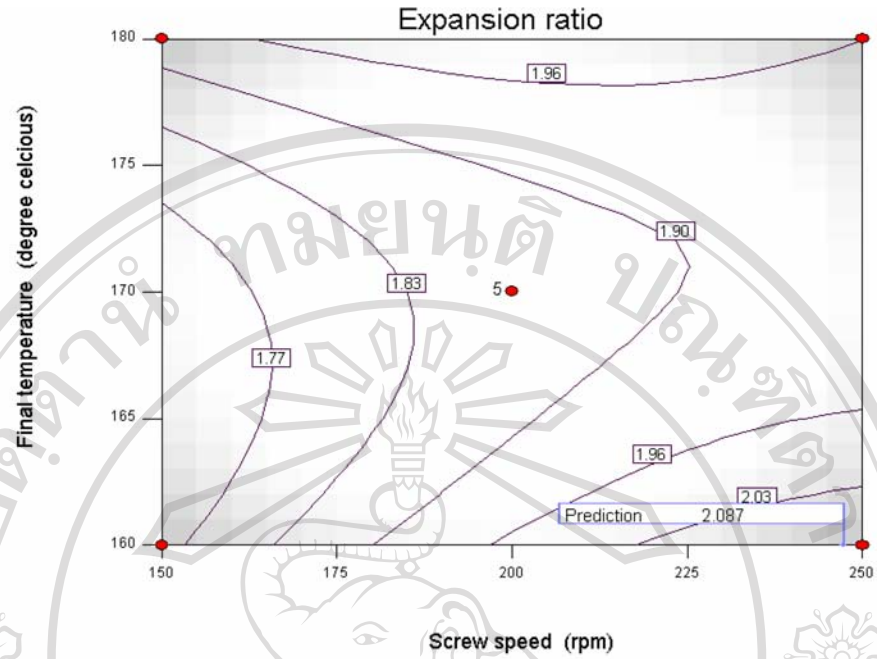
หมายเหตุ: S หมายถึง ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)

T หมายถึง อุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)

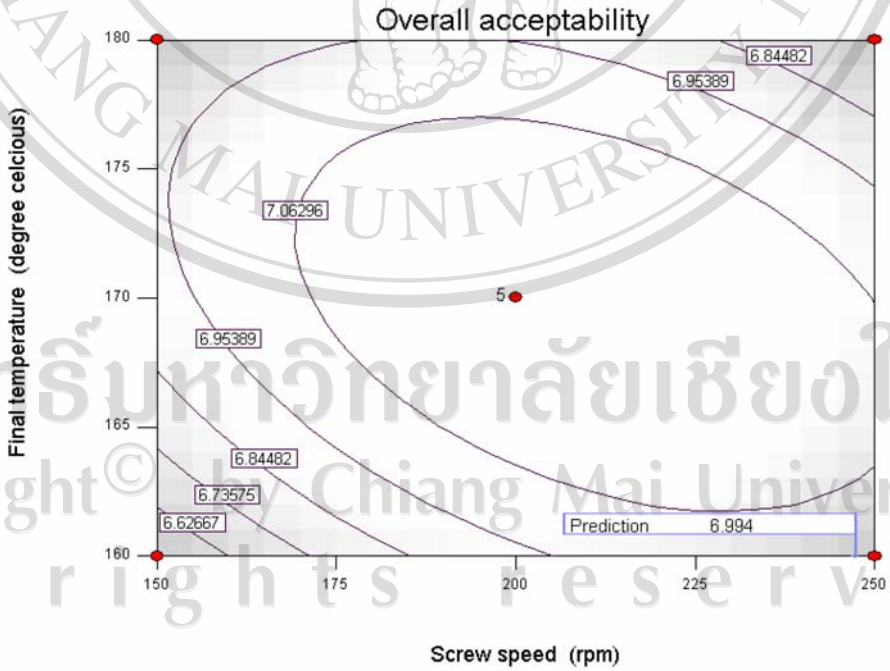


ภาพที่ 4.2 กราฟพื้นที่การตอบสนองด้านความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ที่สภาวะความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.3 กราฟพื้นที่การตอบสนองด้านอัตราส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ที่สภาวะความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.4 กราฟพื้นที่การตอบสนองด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่สภาวะความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรลที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ลักษณะคุณภาพ	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด	ค่าคุณภาพที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมสำเร็จรูป
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าความสว่างของสี (L*)	82.76±0.53	-
ค่าความเข้มของสี (C*)	30.62±0.34	-
ค่าเฉดสี (h : องศา)	95.6±0.30	-
อัตราส่วนการพองตัว	1.95±0.10	2.09
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.13±0.00	0.12
แรงกดแตก (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	0.0015±0.75	-
คุณภาพทางเคมี		
น้ำอิสระ	0.30±0.02	-
ความชื้น (ร้อยละ)	5.16±0.05	-
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	1.03±0.03	-
สารเอเซียติโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ND	-
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	0.80±0.00	-
ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน (ร้อยละ)	0.21±0.11	-
ความสามารถในการกำจัด DPPH (ร้อยละ)	1.82±0.16	-
คุณภาพทางประสาทสัมผัส		
ความชอบโดยรวม	-	6.99

หมายเหตุ: ND หมายถึง ไม่พบสารเอเซียติโคไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 ปริมาณที่เหมาะสมของบัวบกแห้งบดในการปรุงรสขนมขบเคี้ยวพองกรอบ

จากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในข้อ 4.5 เมื่อนำไปทำการปรุงรส โดยพ่นด้วยน้ำมันพืชร้อยละ 8 แล้วโรยผงปรุงรสโนริสาหร่ายร้อยละ 15 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และใบบัวบกแห้งบดในปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการจัดลำดับความชอบ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน พบว่า การเคลือบใบบัวบกแห้งบดปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด แตกต่างจากปริมาณอื่นๆ (ตารางที่ 4.9) ดังนั้นจึงเลือกใช้ใบบัวบกแห้งบดปริมาณดังกล่าวโรยลงบนผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนของการปรุงรส

ตารางที่ 4.9 ผลรวมการจัดลำดับความชอบของผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้

ปริมาณใบบัวบกแห้งบดที่เคลือบ[1/] (ร้อยละของน้ำหนักผลิตภัณฑ์)	ผลรวมการจัดลำดับความชอบ
0	164[b]
5	141[b]
10	93[a]
15	138[b]
20	212[c]

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.7 คุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์ที่โรยด้วยใบบัวบกแห้งบดร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ไปตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด ซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นข้าวโพดและข้าว และปรุงรสโนริสาหร่ายเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้ อีกทั้งยังมีรูปร่างคล้ายคลึงกับตัวอย่างที่ทำการศึกษา (ภาพที่ ก.7) จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพพบว่า ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้มีค่าความสว่างของสี (L*) ค่าความเข้มของสี (C*) ค่าเฉดสี (h) อัตราส่วนการพองตัว และความหนาแน่น แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ทางการค้าไม่มากนัก (ตารางที่ 4.10) แต่ที่เด่นคือ แรงกดแตก ซึ่งผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้มีค่าต่ำที่สุด (0.0018±0.72) แสดงว่ามีความกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่นำมาเปรียบเทียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับคุณภาพทางเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และเยื่อใยหยาบ ไม่ได้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดมากนัก แต่ที่เด่นคือ มีปริมาณสารเอเซียติโคไซด์อยู่สูง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ทางการค้าไม่พบ ซึ่งทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน และความสามารถในการกำจัด DPPH ของผลิตภัณฑ์สำเร็จก็มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิดเช่นเดียวกัน สำหรับคุณภาพทางจุลินทรีย์นั้นพบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (ตารางที่ 4.10) โดยผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้มีคะแนนความชอบด้านรสชาติ ความกรอบ ความเรียบเนียน และความชอบโดยรวม ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า แต่มีคุณภาพด้านลักษณะปรากฏที่น่าสนใจกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าชนิดที่ 2 ส่วนคุณภาพด้านกลิ่นด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าเพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าการเสริมบัวบกลงในผลิตภัณฑ์กลุ่มของขนมขบเคี้ยวพองกรอบ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารเอเซียติโคไซด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แสดงว่าสารสำคัญดังกล่าวในบัวบกมีศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ให้สูงขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด

ลักษณะคุณภาพ [1/]	ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้	ผลิตภัณฑ์ทางการค้าชนิดที่ 1	ผลิตภัณฑ์ทางการค้าชนิดที่ 2
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความสว่างของสี (L*)	74.37^{b}±0.06	76.13^{a}±0.43	68.87^{c}±0.50
ค่าความเข้มของสี (C*)	34.32^{a}±0.23	30.38^{c}±0.43	32.33^{b}±0.40
ค่าเฉดสี (h : องศา)	100.27^{a}±0.23	93.37^{b}±0.06	93.70^{b}±0.35
อัตราส่วนการพองตัว	1.97^{a}±0.12	2.02^{a}±0.17	1.61^{b}±0.15
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.15^{b}±0.01	0.16^{b}±0.01	0.19^{a}±0.02
แรงกดแตก (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	0.0018^{c}±0.72	0.0037^{a}±0.29	0.0026^{b}±1.93
คุณภาพทางเคมี			
น้ำอิสระ	0.39^{a}±0.03	0.27^{b}±0.03	0.22^{b}±0.01
ความชื้น (ร้อยละ)	5.98^{a}±0.16	5.29^{b}±0.37	3.43^{c}±0.29
เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)	1.15^{b}±0.04	0.28^{c}±0.01	1.46^{a}±0.02
สารเอเซียติโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
โดยน้ำหนักเปียก	2,759.13±104.57	ND	ND
โดยน้ำหนักแห้ง	2,934.62±110.03	ND	ND
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	32.10^{a}±0.00	1.50^{c}±0.00	2.00^{b}±0.00
ความสามารถในการจับเฟอรัสไอออน (ร้อยละ)	4.67^{a}±0.64	2.26^{b}±0.71	2.11^{b}±0.72
ความสามารถในการกำจัด DPPH (ร้อยละ)	20.88^{a}±0.51	11.62^{b}±1.16	12.09^{b}±0.93
คุณภาพทางจุลินทรีย์			
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	<10	<10	<10
ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)	<10	<10	<10
โคลิฟอร์ม (MPN โคลิฟอร์ม/กรัม)	<3	<3	<3

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ND หมายถึง ไม่พบสารเอเซียติโคไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้ กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด

ลักษณะคุณภาพ [1/]	ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้	ผลิตภัณฑ์ทางการค้า ชนิดที่ 1	ผลิตภัณฑ์ทางการค้า ชนิดที่ 2
คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
ลักษณะปรากฏ	7.08^{a}±1.18	7.04^{a}±1.31	6.48^{b}±1.37
กลิ่น	6.48^{b}±1.09	7.10^{a}±1.04	6.96^{a}±1.18
รสชาติ^{ns}	7.20±1.03	7.20±1.01	7.50±1.15
ความกรอบ^{ns}	7.24±1.06	7.34±0.87	7.32±1.04
ความเนียนเนื้อ^{ns}	6.80±1.14	7.12±1.10	6.98±0.94
ความชอบโดยรวม^{ns}	7.10±0.86	7.28±0.97	7.30±1.09

หมายเหตุ: [1/] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพตามแนวนอน อักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved