บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรเบื้องต้นของแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

1.1 การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบด้วยวิธี Ideal Ratio Profile; IRP โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 15 คน ในการกำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญ โดยใช้แบบทดสอบชิมดังภาพ ข.1 ได้ผลดังนี้

ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่ต้องการพัฒนา ได้แก่

1. ลักษณะปรากฏ	ผู้ทดสอบชิม	13	คน	บอกว่าควรเป็น	สีเหลือง
	ผู้ทดสอบชิม	12	คน	บอกว่าควรเป็น	ความพอง
	ผู้ทดสอบชิม	2	คน	บอกว่าควรเป็น	ความเรียบ
2. ลักษณะเนื้อสัมผัส	ผู้ทดสอบชิม	15	คน	บอกว่าควรเป็น	ความกรอบ
	ผู้ทดสอบชิม	9	คน	บอกว่าควรเป็น	ความเหนียว
	ผู้ทดสอบชิม	1	คน	บอกว่าควรเป็น	ความบาง
3. กลิ่นและรสชาติ	ผู้ทดสอบชิม	13	คน	บอกว่าควรเป็น	รสหวาน
	ผู้ทดสอบชิม	12	คน	บอกว่าควรเป็น	กลิ่นข้าว
	ผู้ทดสอบชิม	1	คน	บอกว่าควรเป็น	รสเค็ม
	ผู้ทดสอบชิม	1	คน	บอกว่าควรเป็น	รสมัน
	ผู้ทดสอบชิม	1	คน	บอกว่าควรเป็น	กลิ่นมอล์ต
4. การยอมรับโดยรวม	ผู้ทดสอบชิม	15	คน	บอกถึงการยอมรับโดยรวม	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลข้างต้น แสดงว่าลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมให้ความสำคัญ โดยพิจารณาจากผู้ทดสอบชิมร้อยละ 50 หรือมากกว่าให้ความสนใจในลักษณะของผลิตภัณฑ์ ลักษณะเดียวกันได้แก่

1. สีเหลือง
2. ความพอง
3. ความกรอบ
4. ความเหนียว
5. รสหวาน
6. กลิ่นข้าว
7. การยอมรับโดยรวม

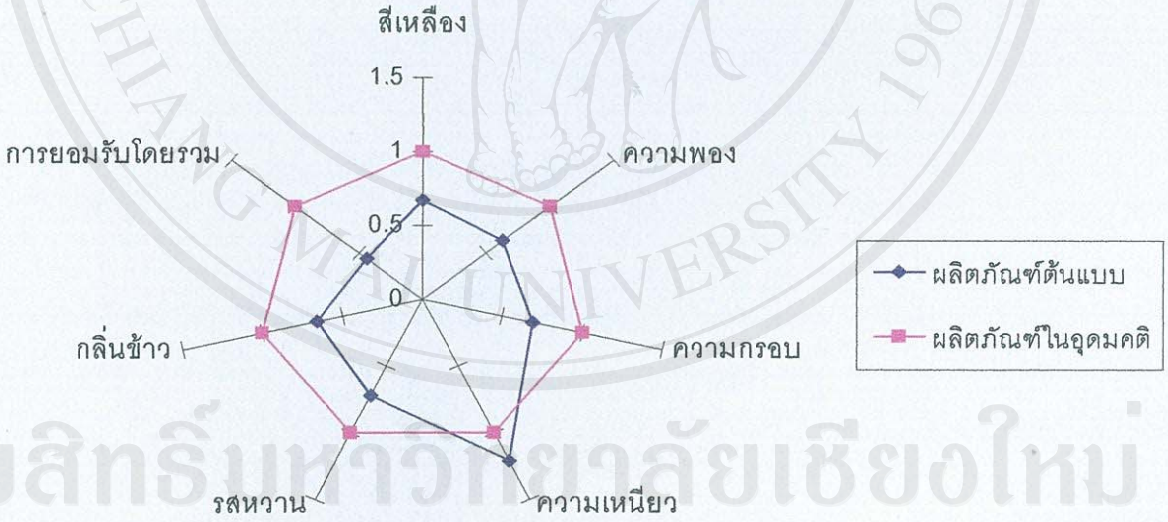
ส่วนความเรียบไม่ถือว่าเป็นลักษณะที่สำคัญ เนื่องจากมีผู้ทดสอบชิมไม่ถึงร้อยละ 50 ที่ให้ความสำคัญ โดยผู้ทดสอบชิมให้ความสำคัญร้อยละ 13.33 สำหรับลักษณะความบาง รสเค็ม รสมันและกลิ่นมอล์ตมีผู้ทดสอบชิมให้ความสำคัญร้อยละ 6.67 จึงถือว่าเป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สำคัญเช่นกัน

ข้อมูลจากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ เมื่อนำมาหาค่าสัดส่วนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ค่าดังตาราง 4.1 นำค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะและค่าสัดส่วนอุดมคติมาสร้างเป็นแผนภาพเค้าโครง (profile) ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม แสดงดังภาพ 4.1 ซึ่งพบว่าลักษณะสีเหลือง ความพอง ความกรอบ รสหวาน กลิ่นข้าวและการยอมรับโดยรวมมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยน้อยกว่า 1.00 ซึ่งหมายความว่า ลักษณะดังกล่าวมีความจำเป็นต้องมีการเพิ่มความเข้มข้นหรือความรุนแรงให้มากขึ้น ส่วนลักษณะความเหนียวมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะความเหนียวมีความจำเป็นต้องมีการลดความเข้มข้นหรือความรุนแรงของความเหนียวให้ลดลง และพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกลักษณะมีค่าน้อยกว่า 0.5 หมายถึง ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 15 คนมีความเห็นในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบแตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ผลทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบก่อนการพัฒนา

ลักษณะ	ค่าสัดส่วน	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ลักษณะปรากฏ		
สีเหลือง	0.63	0.29
ความพอง	0.67	0.25
2. ลักษณะเนื้อสัมผัส		
ความกรอบ	0.69	0.30
ความเหนียว	1.21	0.45
3. กลิ่นและรสชาติ		
รสหวาน	0.72	0.24
กลิ่นข้าว	0.66	0.26
4. การยอมรับโดยรวม	0.44	0.16



ภาพ 4.1 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ต้นแบบของแผ่นข้าวอบกรอบ

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบในครั้งแรก จะสามารถกำหนดค่าอุดมคติถาวร (fixed ideal) ของแต่ละลักษณะได้ โดยการนำค่าอุดมคติถาวรของลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจุดอุดมคติถาวรนี้จะนำไปใช้ตลอดการวิจัยในครั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 การกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

จากการทดสอบหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ โดยวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ได้ผลดังตาราง 4.2 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.2 และ 4.3 หาค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron และหาปริมาณความชื้นได้ผลดังตาราง 4.3 และหาค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเครื่องวัดสีได้ผลดังตาราง 4.4 และหาค่าผลของปัจจัยและค่า t คำนวณของคุณภาพทางกายภาพและเคมี รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบได้ผลดังตาราง 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

สิ่งทดลอง	สีเหลือง	ความพอง	ความกรอบ	ความเหนียว	รสหวาน	กลิ่นข้าว	การยอมรับโดยรวม
1.2.1	1.01±0.16	0.82±0.18	0.77±0.11	1.94±0.28	0.92±0.14	0.90±0.14	0.57±0.14
1.2.2	0.88±0.18	0.70±0.18	0.53±0.05	2.20±0.27	0.87±0.20	0.87±0.19	0.42±0.15
1.2.3	0.92±0.19	0.65±0.17	0.52±0.11	2.29±0.20	0.88±0.20	0.89±0.16	0.43±0.14
1.2.4	0.75±0.17	0.72±0.16	0.49±0.08	2.42±0.25	0.89±0.17	0.92±0.13	0.36±0.04
1.2.5	0.87±0.18	0.71±0.17	0.43±0.10	2.42±0.27	0.92±0.19	0.91±0.18	0.39±0.09
1.2.6	0.82±0.18	0.78±0.16	0.34±0.12	2.61±0.21	0.91±0.15	0.93±0.10	0.30±0.07
1.2.7	0.92±0.17	0.85±0.17	0.58±0.10	2.22±0.23	0.93±0.11	0.91±0.13	0.37±0.07
1.2.8	0.79±0.16	0.80±0.11	0.38±0.11	2.57±0.22	0.92±0.11	0.93±0.08	0.34±0.09
1.2.9	0.92±0.15	0.73±0.14	0.42±0.13	2.55±0.26	0.94±0.09	0.93±0.09	0.39±0.07
1.2.10	1.01±0.20	0.82±0.14	0.72±0.14	1.55±0.28	0.93±0.11	0.93±0.08	0.47±0.12
1.2.11	0.85±0.11	0.79±0.11	0.43±0.11	2.55±0.28	0.92±0.09	0.92±0.09	0.41±0.14
1.2.12	0.88±0.17	0.83±0.16	0.76±0.12	1.80±0.21	0.93±0.11	0.91±0.11	0.54±0.14

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวอบกรอบในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

สิ่งทดลอง	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
1.2.1	3.81 ± 0.21	9.74 ± 0.04
1.2.2	7.59 ± 0.14	10.23 ± 0.06
1.2.3	8.21 ± 0.23	11.08 ± 0.06
1.2.4	8.07 ± 0.15	10.72 ± 0.05
1.2.5	7.42 ± 0.28	10.81 ± 0.01
1.2.6	7.26 ± 0.24	11.38 ± 0.06
1.2.7	8.24 ± 0.11	10.15 ± 0.01
1.2.8	5.40 ± 0.22	10.57 ± 0.03
1.2.9	4.38 ± 0.22	10.06 ± 0.05
1.2.10	2.82 ± 0.03	8.70 ± 0.02
1.2.11	5.78 ± 0.10	9.33 ± 0.05
1.2.12	3.68 ± 0.18	9.07 ± 0.04

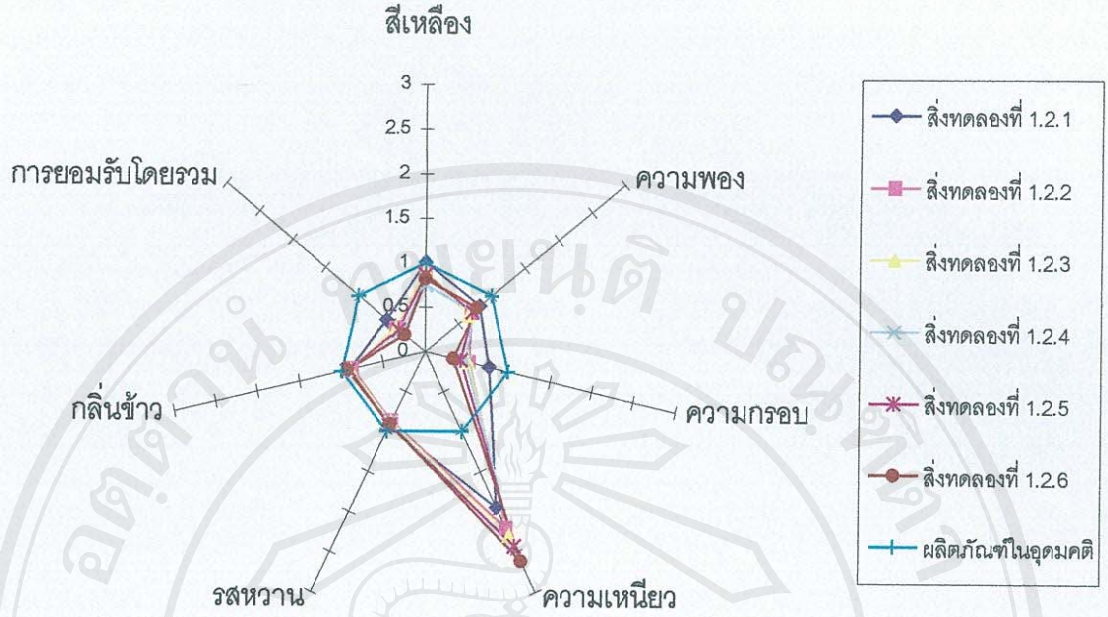
หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตาราง 4.4 ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของแผ่นข้าวอบกรอบในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

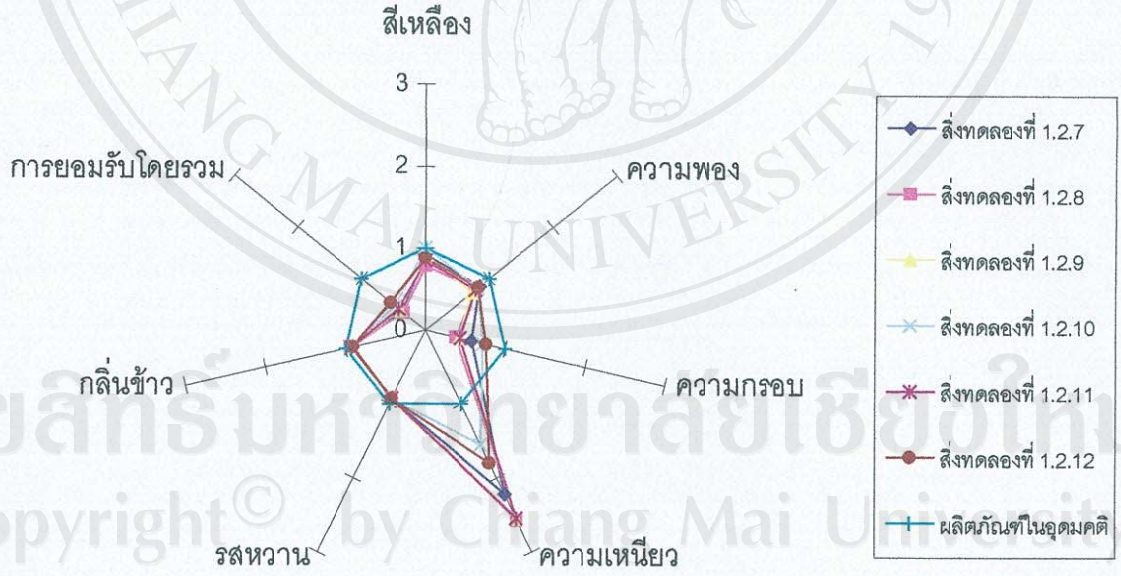
สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
1.2.1	74.46 ± 0.22	2.71 ± 0.04	17.73 ± 0.06
1.2.2	69.74 ± 0.20	2.33 ± 0.16	16.67 ± 0.15
1.2.3	72.29 ± 0.24	0.76 ± 0.08	14.59 ± 0.26
1.2.4	75.23± 0.23	0.32 ± 0.07	13.94 ± 0.28
1.2.5	73.79 ± 0.17	0.65 ± 0.28	14.66 ± 0.25
1.2.6	74.17 ± 0.11	0.81 ± 0.24	14.09 ± 0.16
1.2.7	74.47 ± 0.28	2.09 ± 0.12	17.81 ± 0.24
1.2.8	75.53 ± 0.29	0.88 ± 0.17	15.27 ± 0.19
1.2.9	71.42 ± 0.24	2.60 ± 0.17	18.01 ± 0.24
1.2.10	76.53 ± 0.25	2.52 ± 0.12	18.17 ± 0.09
1.2.11	75.44 ± 0.24	1.86 ± 0.15	17.28 ± 0.07
1.2.12	75.33 ± 0.08	1.66 ± 0.29	16.37 ± 0.18

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.2 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์สิ่งทดลองที่ 1.2.1-1.2.6 ของแผ่นข้าวอบกรอบในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ



ภาพ 4.3 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์สิ่งทดลองที่ 1.2.7-1.2.12 ของแผ่นข้าวอบกรอบในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของปัจจัยที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

1. ผลของแป้งข้าวเจ้า

จากตาราง 4.5 พบว่าแป้งข้าวเจ้าไม่มีผลต่อค่าทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.25$) และจากตาราง 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 48 เป็นร้อยละ 55 จะทำให้คะแนนความกรอบและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นจาก 0.34 เป็น 0.77 และ 0.30 เป็น 0.57 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.25$) เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 37.34 (วิเคราะห์ตามวิธี ค.2.9) เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าในปริมาณมาก โมเลกุลของอะไมโลสจะจับตัวกันแบบเป็นระเบียบ ทำให้น้ำเข้าออกภายในโมเลกุลของอะไมโลสได้ง่าย แป้งจึงพองตัวได้ดี ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบจึงมีความกรอบมากขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบชิมได้ให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่มีความกรอบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าในระดับสูงคือ ร้อยละ 55 ในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของศิราพรและคณะ (2534) ที่ทำการศึกษาการพัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้า ซึ่งพบเช่นกันว่าเมื่อใช้ปริมาณแป้งปลายข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้ามากขึ้น

2. ผลของแป้งข้าวเหนียว

จากตาราง 4.5 พบว่าถ้าใช้ปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14 เป็นร้อยละ 20.5 จะทำให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุเพิ่มขึ้นจาก 2.82 เป็น 8.24 นิวตัน หมายถึง ความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.25$) และจากตาราง 4.6 พบว่าถ้าใช้แป้งข้าวเหนียวในปริมาณเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14 เป็นร้อยละ 20.5 จะมีผลทำให้ความพองของแผ่นข้าวอบกรอบลดลงจาก 0.85 เป็น 0.65 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.15$) ดังนั้นในการศึกษาต่อไป จึงมีการศึกษาแป้งข้าวเหนียวในระดับต่ำลงคือ ร้อยละ 12, 13 และ 14 ซึ่งน่าจะทำให้ความกรอบและความพองของแผ่นข้าวอบกรอบสูงขึ้น เพราะแป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลองเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงถึงร้อยละ 89.84 (วิเคราะห์ตามวิธี ค.2.9) เมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวในปริมาณมากขึ้น โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะจับเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้น้ำเข้าออกภายในโมเลกุลของแป้งได้ยากขึ้น แป้งจึงพองตัวได้ไม่ดี ทำให้ความพองและความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ผลของน้ำตาล

จากตาราง 4.5 พบว่าน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าทางเคมีและกายภาพของแผ่นข้าวอบกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.25$) แต่จากการศึกษาการพัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้าของศิราพรและคณะ (2534) พบว่าน้ำตาลมีผลต่อสีน้ำตาลของอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้า โดยเมื่อใช้น้ำตาลในปริมาณมากขึ้นจากร้อยละ 26 เป็นร้อยละ 35 จะทำให้อาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้ามีสีน้ำตาลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-hedonic scale เพิ่มขึ้นจาก 5.35 เป็น 7.55 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากผลการทดลองการพัฒนาแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟที่กำลังศึกษา พบว่าน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าสีของแผ่นข้าวอบกรอบ ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าเวลา 1 นาทีที่ใช้ในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบไม่นานพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนสีเหลืองของแผ่นข้าวอบกรอบที่เกิดขึ้น น่าจะเกิดจากสีของมอล์ตสกัด

จากตาราง 4.6 พบว่าเมื่อใช้น้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 26 เป็นร้อยละ 35 จะทำให้ความกรอบและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะลดลงจาก 0.77 เป็น 0.34 และ 0.57 เป็น 0.30 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.25$) เพราะว่าการใช้น้ำตาลมากกว่าร้อยละ 11 ในผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก จะทำให้น้ำตาลในแป้งจับกับน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่จะเข้าไปจับในโมเลกุลของแป้งระหว่างการเจลาติไนซ์ลดน้อยลง เมื่อแป้งดูดน้ำได้น้อยลง การพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะน้อยลง ทำให้ความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบลดลง ส่งผลทำให้ผู้ทดสอบชิมมีการยอมรับโดยรวมต่อแผ่นข้าวอบกรอบลดลง จึงควรใช้น้ำตาลในระดับต่ำคือ ร้อยละ 26 ในสูตรต่อไป

4. ผลของมอล์ตสกัด

จากตาราง 4.5 พบว่าเมื่อใช้มอล์ตสกัดในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 1.5 เป็นร้อยละ 2.6 จะมีผลทำให้ค่าสีเหลือง (b) มากขึ้นจาก 13.94 เป็น 18.17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.10$) หมายความว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบชิมต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมาก และจากตาราง 4.6 พบว่าเมื่อใช้มอล์ตสกัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.5 เป็นร้อยละ 2.6 จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.75 เป็น 1.01 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) เนื่องจากมอล์ตสกัดเป็นผงสีน้ำตาลทอง และจะให้กลิ่นมอล์ตหรือกลิ่นคล้ายน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไหม้ ซึ่งการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องมือวัดสี ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไป จึงควรศึกษาปริมาณมอล์ตสกัดในระดับที่สูงขึ้นคือ ร้อยละ 2.6, 3.05 และ 3.5

5. ผลของเกลือ

จากตาราง 4.5 พบว่าถ้าใช้เกลือในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1.5 จะมีผลทำให้ค่าสีเหลือง (b) สูงขึ้นจาก 13.94 เป็น 18.17 และค่าแรงต้านการเจาะทะลุลดลงจาก 8.24 เป็น 2.82 นิวตันหรือความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.25$) และจากตาราง 4.6 พบว่าเกลือในปริมาณร้อยละ 0.5 ถึง 1.5 ไม่มีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.25$) ดังนั้นควรใช้เกลือในระดับสูงคือ ร้อยละ 1.5

6. ผลของเลซิทิน

จากตาราง 4.5 พบว่าถ้าใช้เลซิทินในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 0.1 จะทำให้ค่าความสว่าง (L) สูงขึ้นจาก 69.74 เป็น 76.53 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.15$) และจากตาราง 4.6 พบว่าเมื่อใช้เลซิทินในปริมาณมากขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 0.1 จะทำให้ความพองและรสหวานเพิ่มขึ้นจาก 0.65 เป็น 0.85 และจาก 0.87 เป็น 0.94 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.15$) ดังนั้นควรมีการศึกษาการใช้เลซิทินในระดับที่สูงขึ้นคือ ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3

7. ผลของนมผงพร่องมันเนย

จากตาราง 4.5 พบว่าถ้าใช้นมผงพร่องมันเนยในปริมาณที่สูงขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 1.3 จะทำให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและค่าสีเหลือง (b) สูงขึ้นจาก 2.82 เป็น 8.24 นิวตันและ 13.94 เป็น 18.17 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.25$) และจากตาราง 4.6 พบว่าเมื่อใช้นมผงพร่องมันเนยในปริมาณมากขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 1.3 จะทำให้การยอมรับโดยรวมลดลงจาก 0.30 เป็น 0.57 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.25$) แต่จะช่วยเพิ่มกลิ่นข้าวให้แก่แผ่นข้าวอบกรอบจาก 0.87 เป็น 0.93 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.15$) นมผงพร่องมันเนยช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ค่าสีเหลืองและกลิ่นข้าวให้แก่ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ จึงเลือกใช้นมผงพร่องมันเนยในระดับสูงคือ ร้อยละ 1.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

ปัจจัย	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)		ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		ค่าความสว่าง (L)		ค่าสีแดง (a)		ค่าสีเหลือง (b)	
	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ
แป้งข้าวเจ้า	0.213	0.121	0.220	0.319	-0.093	-0.090	-0.085	-0.184	-0.738	-0.862
แป้งข้าวเหนียว	0.447	0.253	0.273	0.397	-0.523	-0.505	-0.232	-0.500	-0.422	-0.492
น้ำตาล	0.513	0.291	-0.097	-0.140	0.187	0.180	-0.328	-0.666	-0.398	-0.465
มอล์ตสกัด	-0.427	-0.242	-0.320	-0.464	-1.763	-1.701 [d]	1.138	2.459 [d]	1.835	2.143 [d]
เกลือ	-0.703	-0.399	0.130	0.189	-1.147	-1.106	0.532	1.148	0.525	0.613
เลซิทิน	-0.953	-0.541	-0.540	-0.784	2.007	1.936 [c]	0.372	0.803	1.148	1.341
นมผงพร่องมันเนย	0.073	0.042	-0.193	-0.281	1.020	0.984	0.202	0.436	0.728	0.851

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติดังนี้

a หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.25 (t ตาราง=1.344)

b หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.20 (t ตาราง=1.533)

c หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.15 (t ตาราง=1.778)

d หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.10 (t ตาราง=2.132)

e หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.05 (t ตาราง=2.776)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบ

ปัจจัย	สีเหลือง		ความพอง		ความกรอบ		ความเหนียว		รสหวาน		กลิ่นข้าว		การยอมรับโดยรวม	
	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ	ผล	t คำนวณ
แป้งข้าวเจ้า	0.010	0.285	-0.017	-0.535	0.032	0.299	-0.140	-0.658	-0.013	-1.281	-0.005	-0.469	0.005	0.084
แป้งข้าวเหนียว	0.003	0.094	-0.060	-1.924 [c]	-0.042	-0.393	0.203	0.955	-0.003	-0.320	-0.002	-0.156	0.018	0.308
น้ำตาล	-0.037	-1.034	-0.040	-1.283	-0.038	-0.362	0.007	0.031	-0.023	-2.242 [d]	-0.005	-0.469	-0.022	-0.364
มอล์ตสกัด	0.117	3.289 [e]	-0.010	-0.321	0.116	1.117	-0.270	-1.269	-0.003	-0.320	-0.015	-1.406 [a]	0.052	0.868
เกลือ	-0.013	-0.376	0.007	0.214	-0.105	-0.992	0.287	1.347 [a]	0.000	0.000	0.002	0.156	-0.022	-0.364
เลซิทิน	0.047	1.316	0.063	2.031 [c]	0.042	0.393	-0.103	-0.486	0.020	1.922 [c]	0.008	0.781	0.018	0.308
นมผงพร่องมันเนย	-0.013	-0.376	0.030	0.962	-0.068	-0.645	0.113	0.533	0.013	1.281	0.022	2.030 [c]	-0.065	-1.092

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติดังนี้

a หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.25 (t ตาราง=1.344)

b หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.20 (t ตาราง=1.533)

c หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.15 (t ตาราง=1.778)

d หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.10 (t ตาราง=2.132)

e หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.05 (t ตาราง=2.776)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของแผ่นข้าวอบกรอบ

ในการกลั่นกรองปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P>0.15 ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาล เกลือและนมผงพร่องมันเนยโดยในการทดลองต่อไปจะกำหนดให้ใช้แป้งข้าวเจ้าที่ระดับสูงคือ ร้อยละ 55 น้ำตาลที่ระดับต่ำคือ ร้อยละ 26 เกลือที่ระดับสูงคือ ร้อยละ 1.5 และนมผงพร่องมันเนยที่ระดับสูงคือ ร้อยละ 1.3 และปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.15 หรือปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มาก ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความพองของผลิตภัณฑ์ เมื่อแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความพองของผลิตภัณฑ์ลดลง และมอล์ตสกัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่ามอล์ตสกัดมีผลอย่างมากต่อสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกันทั้งการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวัดสีและการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อมอล์ตสกัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง และทำให้ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนเลซิทินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อค่าความสว่าง (L) ความพองและรสหวานของผลิตภัณฑ์ เมื่อเลซิทินเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสว่าง (L) ความพองและรสหวานเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงดังตาราง 4.7 จากการทดลองตอนที่ 1.2 จะสามารถกลั่นกรองปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบได้แก่ แป้งข้าวเหนียว มอล์ตสกัดและเลซิทิน และนำเอาปัจจัยที่กลั่นกรองได้นี้ไปทำการศึกษา เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่อไป

ตาราง 4.7 ผลของปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อคุณลักษณะของแผ่นข้าวอบกรอบ

ปัจจัย	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	สีเหลือง	ความพอง	รสหวาน
แป้งข้าวเหนียว					-	
มอล์ตสกัด	-	+	+	+		
เลซิทิน	+				+	+

หมายเหตุ เครื่องหมาย – หมายถึง ปัจจัยมีผลต่อคุณลักษณะโดยเมื่อระดับของปัจจัยเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของคุณลักษณะนั้นลดลง

เครื่องหมาย + หมายถึง ปัจจัยมีผลต่อคุณลักษณะโดยเมื่อระดับของปัจจัยเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของคุณลักษณะนั้นเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

จากการทดสอบหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยคือแป้งข้าวเหนียว มอล์ตสกัด และเลซิทิน สิ่งทดลองแสดงดังตาราง 4.8 โดยกำหนดให้

ปัจจัย A คือ ระดับปริมาณของแป้งข้าวเหนียวหน่วยเป็นร้อยละโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ ร้อยละ 12

0 แทน ระดับกลางคือ ร้อยละ 13

1 แทน ระดับสูงคือ ร้อยละ 14

ปัจจัย B คือ ระดับปริมาณของมอล์ตสกัดหน่วยเป็นร้อยละโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ ร้อยละ 2.6

0 แทน ระดับกลางคือ ร้อยละ 3.05

1 แทน ระดับสูงคือ ร้อยละ 3.5

ปัจจัย C คือ ระดับปริมาณของเลซิทินหน่วยเป็นร้อยละโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ ร้อยละ 0.1

0 แทน ระดับกลางคือ ร้อยละ 0.2

1 แทน ระดับสูงคือ ร้อยละ 0.3

จากการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ได้ผลดังตาราง 4.9 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.4 และ 4.5 หาค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron และหาปริมาณความชื้นได้ผลดังตาราง 4.10 และหาค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเครื่องวัดสีได้ผลดังตาราง 4.11

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยอธิบายในรูปสมการถดถอย (multiple regression) สมการความสัมพันธ์ที่ได้จะต้องเป็นสมการที่มีนัยสำคัญ (significant equation) เนื่องจากสมการถดถอยที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส จึงต้องทำการถอดรหัส (decoding) ก่อน การถอดรหัสสมการสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional หรือคำนวณโดยใช้สมการ 4.1 (Milton, 1992)

$$\text{ปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส} = \frac{\text{ค่าจริง} - (\text{ค่าที่ระดับสูง} + \text{ค่าที่ระดับต่ำ}) / 2}{(\text{ค่าที่ระดับสูง} - \text{ค่าที่ระดับต่ำ}) / 2} \qquad (4.1)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.8 แผนการทดลองที่ใช้ในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

สิ่งทดลอง	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C
1.3.1 (1)	-1	-1	-1
1.3.2 (a)	1	-1	-1
1.3.3 (b)	-1	1	-1
1.3.4 (c)	-1	-1	1
1.3.5 (ab)	1	1	-1
1.3.6 (ac)	1	-1	1
1.3.7 (bc)	-1	1	1
1.3.8 (abc)	1	1	1
1.3.9 (cp_1)	0	0	0
1.3.10 (cp_2)	0	0	0
1.3.11 (cp_3)	0	0	0

หมายเหตุ (1) หมายถึง ระดับของปัจจัยทุกตัวเป็นระดับต่ำ

a, b และ c หมายถึง ระดับของปัจจัย A, B และ C เป็นระดับสูงตามลำดับ

cp_1, cp_2 และ cp_3 หมายถึง ระดับของปัจจัยทุกตัวเป็นระดับกลาง หรือจุดกึ่งกลาง

ตาราง 4.9 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบ ในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

สิ่งทดลอง	สีเหลือง	ความพอง	ความกรอบ	ความเหนียว	รสหวาน	กลิ่นข้าว	การยอมรับโดยรวม
1.3.1	0.84±0.15	0.79±0.16	0.49±0.14	2.47±0.25	0.93±0.16	0.91±0.17	0.40±0.16
1.3.2	1.07±0.08	0.90±0.13	0.94±0.18	1.65±0.20	0.95±0.16	0.93±0.18	0.62±0.18
1.3.3	0.80±0.05	0.68±0.14	0.67±0.12	1.52±0.24	0.97±0.07	0.91±0.17	0.47±0.10
1.3.4	0.79±0.13	0.83±0.10	0.47±0.08	2.41±0.24	0.93±0.16	0.91±0.17	0.37±0.11
1.3.5	0.83±0.08	0.79±0.16	0.51±0.14	2.47±0.21	0.89±0.16	0.77±0.16	0.40±0.14
1.3.6	0.96±0.08	0.93±0.11	0.97±0.11	1.09±0.26	1.02±0.04	0.96±0.12	0.69±0.13
1.3.7	0.98±0.08	0.90±0.20	0.81±0.22	1.31±0.21	0.95±0.16	0.93±0.18	0.50±0.16
1.3.8	0.83±0.08	0.87±0.13	0.72±0.18	1.76±0.23	0.86±0.16	0.85±0.20	0.44±0.13
1.3.9	0.83±0.08	0.79±0.16	0.56±0.16	1.50±0.23	0.86±0.19	0.85±0.20	043±0.12
1.3.10	0.83±0.08	0.79±0.16	0.67±0.23	1.90±0.27	0.86±0.19	0.85±0.20	0.43±0.13
1.3.11	0.79±0.13	0.79±0.10	0.64±0.22	1.87±0.28	0.87±0.18	0.85±0.20	0.43±0.13

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.10 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

สิ่งทดลอง	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
1.3.1	10.58 ± 0.13	11.92 ± 0.09
1.3.2	3.92 ± 0.06	10.47 ± 0.16
1.3.3	3.38 ± 0.14	7.78 ± 0.03
1.3.4	4.21 ± 0.07	7.93 ± 0.28
1.3.5	2.39 ± 0.21	7.33 ± 0.05
1.3.6	3.56 ± 0.22	8.19 ± 0.12
1.3.7	7.72 ± 0.21	11.09 ± 0.28
1.3.8	6.36 ± 0.19	9.85 ± 0.25
1.3.9	4.33 ± 0.25	9.38 ± 0.11
1.3.10	6.73 ± 0.22	11.10 ± 0.11
1.3.11	6.59 ± 0.20	10.00 ± 0.00

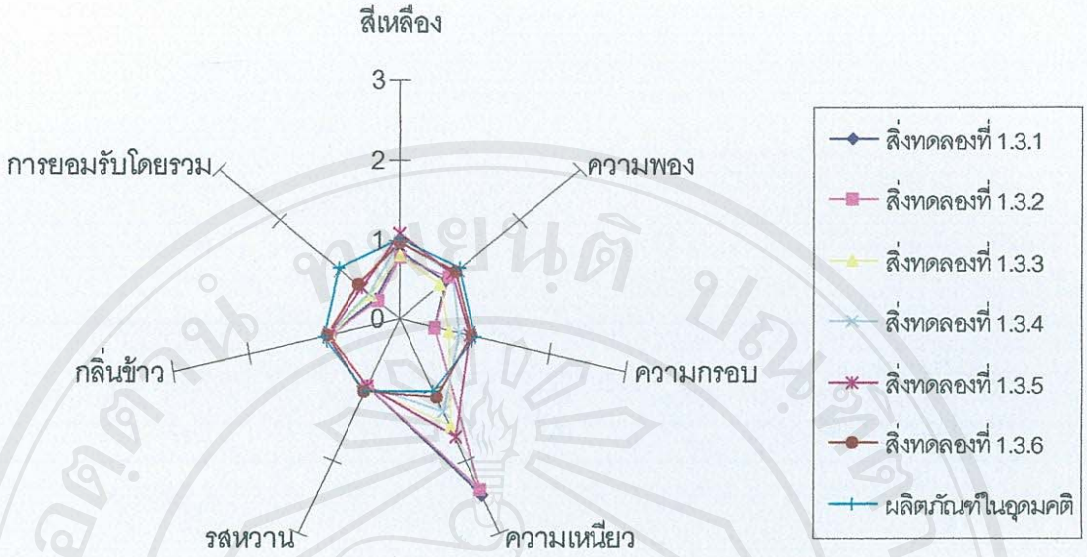
หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตาราง 4.11 ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

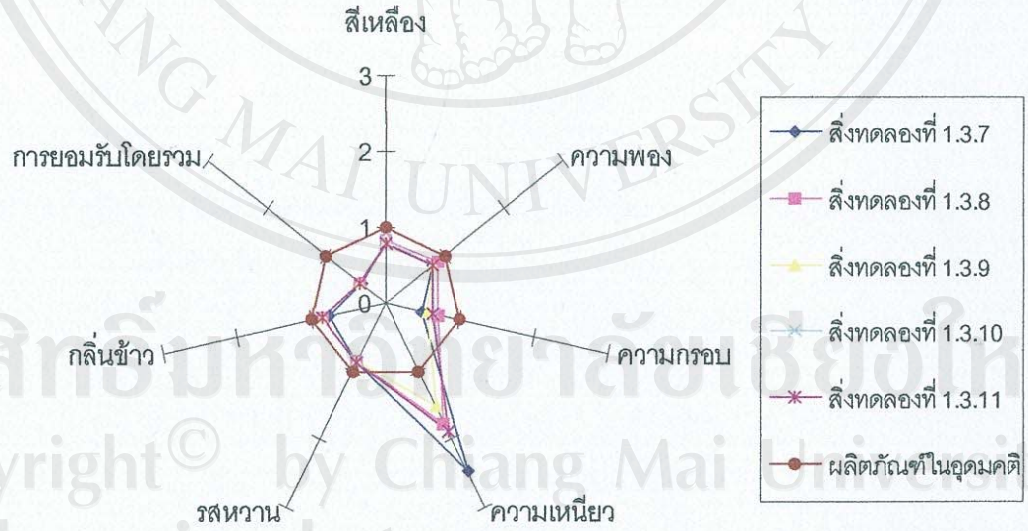
สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
1.3.1	68.45 ± 0.22	2.23 ± 0.09	16.58 ± 0.23
1.3.2	72.51 ± 0.27	2.20 ± 0.15	17.33 ± 0.10
1.3.3	77.65 ± 0.26	2.79 ± 0.07	18.21 ± 0.07
1.3.4	74.19 ± 0.23	3.79 ± 0.29	19.59 ± 0.01
1.3.5	75.01 ± 0.30	3.37 ± 0.10	18.77 ± 0.27
1.3.6	70.55 ± 0.31	3.75 ± 0.10	17.93 ± 0.17
1.3.7	69.38 ± 0.23	2.39 ± 0.28	17.73 ± 0.10
1.3.8	70.69 ± 0.28	2.51 ± 0.11	18.84 ± 0.17
1.3.9	70.49 ± 0.29	2.11 ± 0.29	17.42 ± 0.19
1.3.10	70.49 ± 0.29	2.11 ± 0.29	17.42 ± 0.19
1.3.11	71.44 ± 0.29	2.13 ± 0.29	17.53 ± 0.13

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์สิ่งทดลองที่ 1.3.1-1.3.6 ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง



ภาพ 4.5 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์สิ่งทดลองที่ 1.3.7-1.3.11 ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการถดถอยที่ถอดรหัสแล้วจะได้ว่า

ปริมาณความชื้น = 16.940 – 2.424 (M) $R^2 = 0.824$ (4.2)

ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ = 13.450 – 2.627 (M) $R^2 = 0.843$ (4.3)

ค่าสีเหลือง (b) = 13.070 + 1.620 (M) $R^2 = 0.966$ (4.4)

ความกรอบ = -0.493 + 0.090 (G) $R^2 = 0.973$ (4.5)

ความเหนียว = 2.199 – 1.930 (L) $R^2 = 0.962$ (4.6)

การยอมรับโดยรวม = -0.179 + 0.050 (G) $R^2 = 0.852$ (4.7)

เมื่อ G หมายถึง ปริมาณแป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ)

M หมายถึง ปริมาณมอล์ตสกัด (ร้อยละ)

L หมายถึง ปริมาณเลซิทิน (ร้อยละ)

R^2 หมายถึง coefficient of determination

จากการหาระดับที่เหมาะสมของแป้งข้าวเหนียว มอล์ตสกัดและเลซิทิน โดยการคำนวณจากสมการที่ถอดรหัสแล้วด้วยการแทนค่าของปัจจัยทดลองลงไป ซึ่งต้องเป็นค่าที่ทำการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

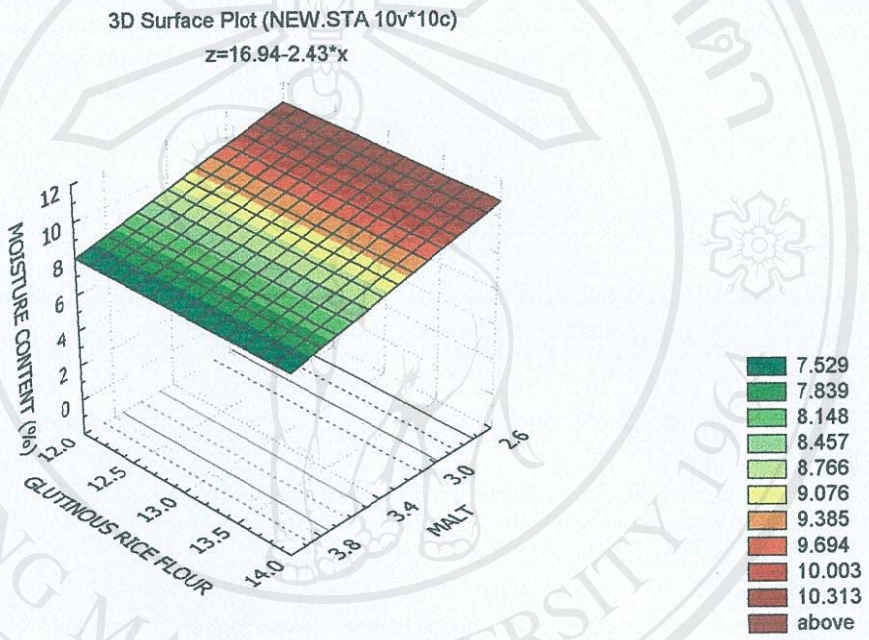
จากสมการ 4.2 แทนค่า f(มอล์ตสกัด) ได้ค่าปริมาณความชื้นดังนี้

f(2.60) = 10.64

f(3.05) = 9.55

f(3.50) = 8.46

จากการแทนค่าปริมาณของมอล์ตสกัดในสมการ 4.2 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.2 ดังภาพ 4.6 พบว่าปริมาณของมอล์ตสกัดร้อยละ 3.50 จะให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด จะทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน



ภาพ 4.6 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณความชื้นเมื่อใช้ปริมาณมอล์ตสกัดต่างกันตามสมการ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

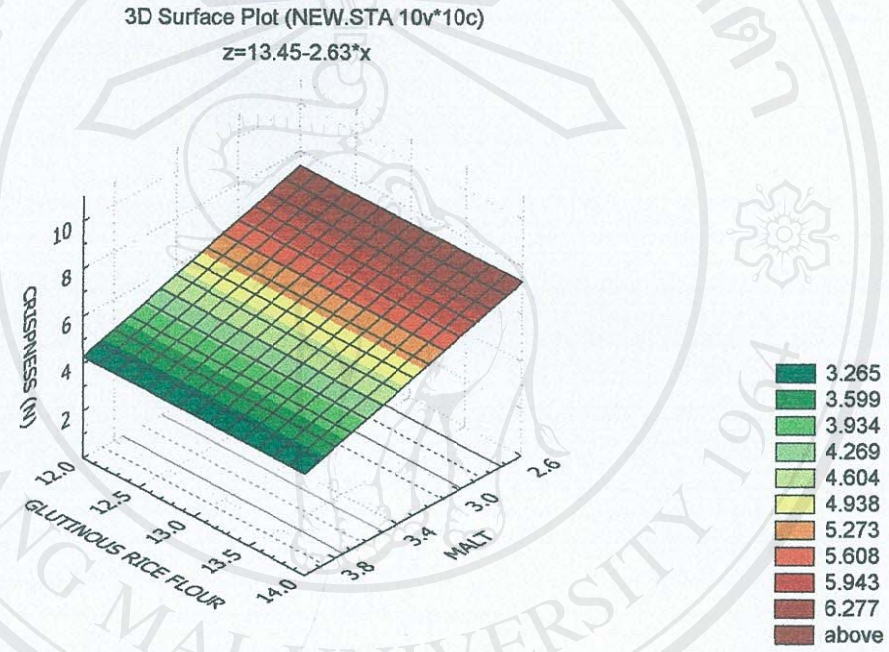
จากสมการ 4.3 แทนค่า f(มอล์ตสกัด) ได้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุดังนี้

f(2.60) = 6.62

f(3.05) = 5.44

f(3.50) = 4.26

จากการแทนค่าปริมาณของมอล์ตสกัดในสมการ 4.3 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.3 ดังภาพ 4.7 พบว่าปริมาณของมอล์ตสกัดร้อยละ 3.50 จะให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์จะมีความกรอบมากที่สุด



ภาพ 4.7 พื้นที่การตอบสนองของค่าแรงต้านการเจาะทะลุเมื่อใช้ปริมาณมอล์ตสกัดต่างกันตามสมการ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

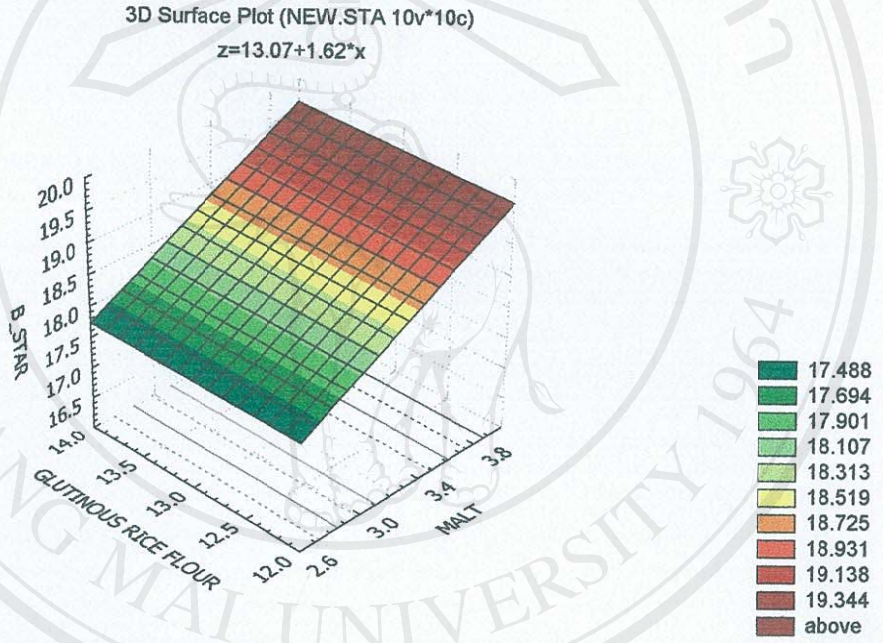
จากสมการ 4.4 แทนค่า f(มอล์ตสกัด) ได้ค่าสีเหลือง (b) ดังนี้

f(2.60) = 17.28

f(3.05) = 18.01

f(3.50) = 18.74

จากการแทนค่าปริมาณของมอล์ตสกัดในสมการ 4.4 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.4 ดังภาพ 4.8 ต้องการให้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบมีสีเหลืองน้ำตาล ดังนั้นค่าสีเหลือง (b) ต้องสูง จึงควรใช้มอล์ตสกัดร้อยละ 3.50 จึงจะทำให้ได้ค่าสีเหลือง (b) สูงที่สุดคือ 18.74



ภาพ 4.8 พื้นที่การตอบสนองของค่าสีเหลือง (b) เมื่อใช้ปริมาณมอล์ตสกัดต่างกันตามสมการ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

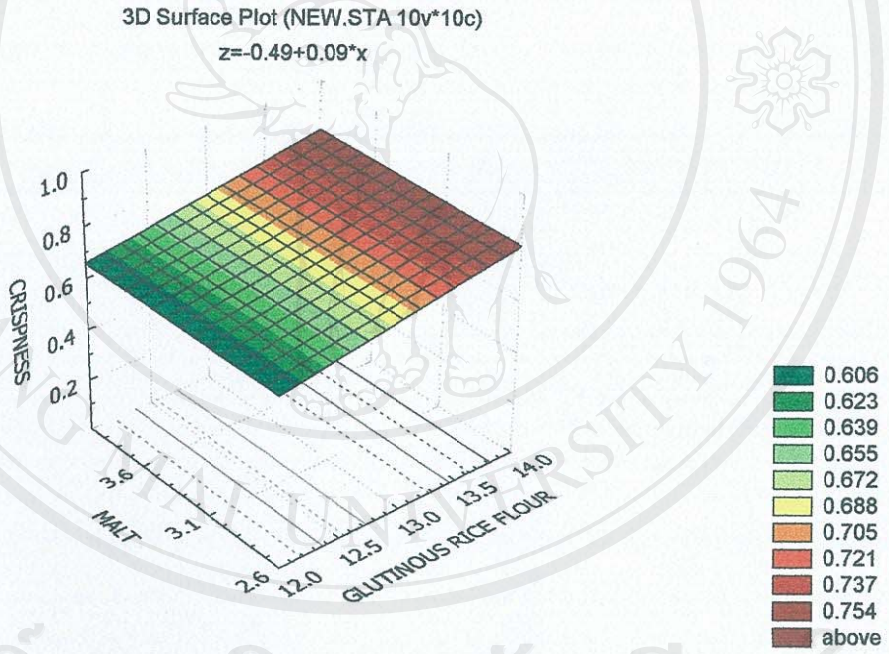
จากสมการ 4.5 แทนค่า f(แป้งข้าวเหนียว) ได้ค่าสัดส่วนของความกรอบดังนี้

f(12) = 0.59

f(13) = 0.38

f(14) = 0.77

จากการแทนค่าปริมาณของแป้งข้าวเหนียวในสมการ 4.5 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.5 ดังภาพ 4.9 ค่าคะแนนที่ได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากความกรอบเป็นค่าทางประสาทสัมผัสที่ได้มาจากการทดสอบแบบ Idea Ratio Profile จึงจะแสดงว่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการมากที่สุด พบว่าปริมาณของแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 14 จึงจะทำให้มีความกรอบเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.77



ภาพ 4.9 พื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวต่างกันตามสมการ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

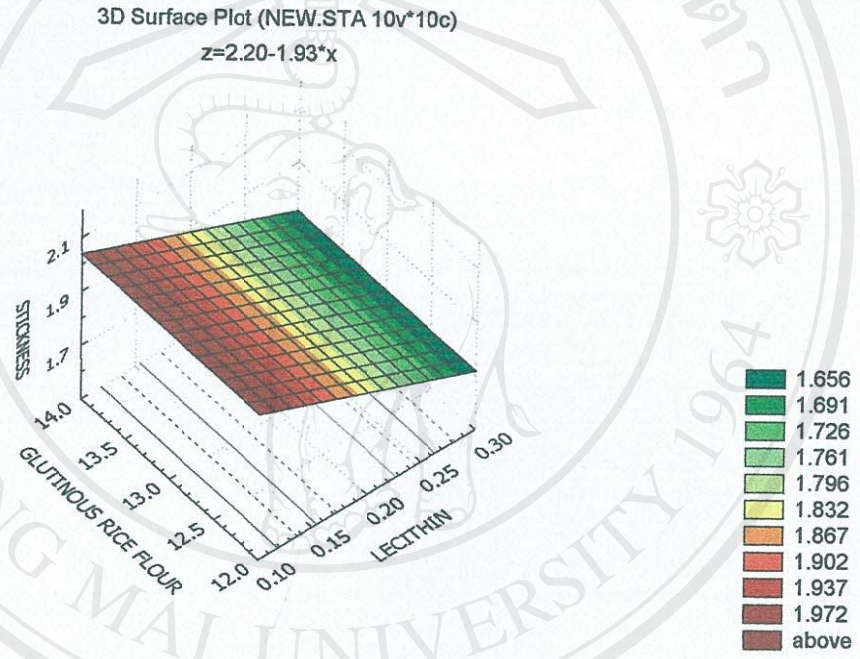
จากสมการ 4.6 แทนค่า f(เลซิทิน) ได้ค่าสัดส่วนของความเหนียวดังนี้

f(0.10) = 2.01

f(0.20) = 1.81

f(0.30) = 1.62

จากการแทนค่าปริมาณของเลซิทินในสมการ 4.6 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.6 ดังภาพ 4.10 พิจารณาปริมาณของเลซิทินที่ทำให้ความเหนียวมีค่าใกล้ 1 มากที่สุด พบว่า เลซิทินร้อยละ 0.30 จะทำให้ได้ความเหนียวเท่ากับ 1.62



ภาพ 4.10 พื้นที่การตอบสนองของความเหนียวเมื่อใช้ปริมาณเลซิทินต่างกันตามสมการ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

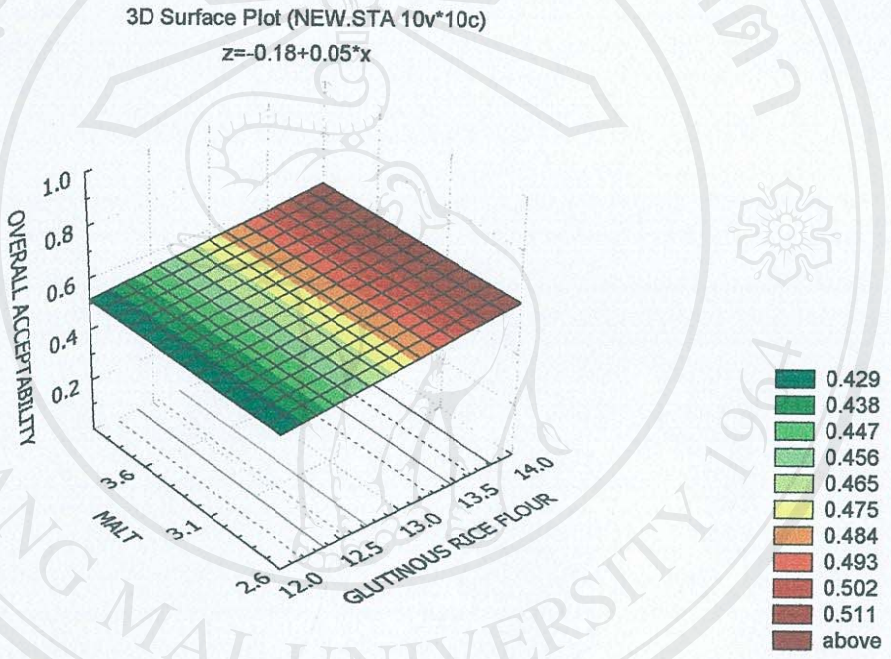
จากสมการ 4.7 แทนค่า f(แป้งข้าวเหนียว) ได้ค่าสัดส่วนของการยอมรับโดยรวมดังนี้

f(12) = 0.42

f(13) = 0.47

f(14) = 0.52

จากการแทนค่าปริมาณของแป้งข้าวเหนียวในสมการ 4.7 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.7 ดังภาพ 4.11 พบว่าแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 14 จะทำให้ได้ค่าการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ 0.52



ภาพ 4.11 พื้นที่การตอบสนองของการยอมรับโดยรวมเมื่อใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวต่างกันตามสมการ 4.7

จากผลการทดลอง พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสคือ ความกรอบและการยอมรับโดยรวมในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผันตามโดยเมื่อแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 14 มีผลทำให้ความกรอบและการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 0.59 เป็น 0.77 และจาก 0.42 เป็น 0.52 ตามลำดับดังนั้นจึงใช้แป้งข้าวเหนียวที่ระดับร้อยละ 14 เพราะทำให้ความกรอบและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มอล์ตสกัดมีผลต่อค่าทางเคมีและกายภาพคือ ปริมาณความชื้นและค่าแรงต้านการเจาะทะลุในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผกผัน โดยเมื่อเพิ่มมอล์ตสกัดจากร้อยละ 2.6 เป็นร้อยละ 3.5 จะทำให้ปริมาณความชื้นลดลงจากร้อยละ 10.64 เป็น 8.46 และทำให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุลดลงจาก 6.62 เป็น 4.26 นิวตันหรือความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบเพิ่มขึ้น มอล์ตสกัดยังมีผลต่อค่าสีเหลือง (b) ในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผันตาม โดยเมื่อเพิ่มมอล์ตสกัดจากร้อยละ 2.6 เป็นร้อยละ 3.5 ทำให้ค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นจาก 17.28 เป็น 18.70 ดังนั้นจึงใช้มอล์ตสกัดที่ร้อยละ 3.5 เพราะทำให้ได้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและปริมาณความชื้นน้อยที่สุดและทำให้ได้และค่าสีเหลือง (b) มากที่สุด

เลซิทินมีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสคือ ความเหนียวในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผกผัน โดยเมื่อเลซิทินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 เป็นร้อยละ 0.3 จะทำให้ความเหนียวลดลงจาก 2.01 เป็น 1.62 ดังนั้นจึงใช้เลซิทินร้อยละ 0.3 เพราะจะทำให้ได้ค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้นจากการทดลองตอนที่ 1.3 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม จะได้ระดับปริมาณของปัจจัยที่เหมาะสมคือ แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 14 มอล์ตสกัดร้อยละ 3.5 และเลซิทินร้อยละ 0.3

จากการทดลองศึกษาหาแนวทางในการพัฒนาสูตรเบื้องต้นของแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟในตอนที่ 1 พบว่าสูตรเบื้องต้นของแผ่นข้าวอบกรอบเป็นดังนี้

แป้งข้าวเจ้า	ร้อยละ	54.13
น้ำตาล	ร้อยละ	25.59
แป้งข้าวเหนียว	ร้อยละ	13.78
มอล์ตสกัด	ร้อยละ	3.44
เกลือ	ร้อยละ	1.48
นมผงพร่องมันเนย	ร้อยละ	1.28
เลซิทิน	ร้อยละ	0.30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 2 ผลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อคุณสมบัติความกรอบ และหาปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ โดยไมโครเวฟ

จากการทดสอบหาปริมาณอะไมโลสที่มีต่อปริมาณความชื้นของโด และหาปริมาณอะไมโลสของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.12 และภาพ 4.12

ตาราง 4.12 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและปริมาณความชื้นของโด ในการศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อความกรอบ

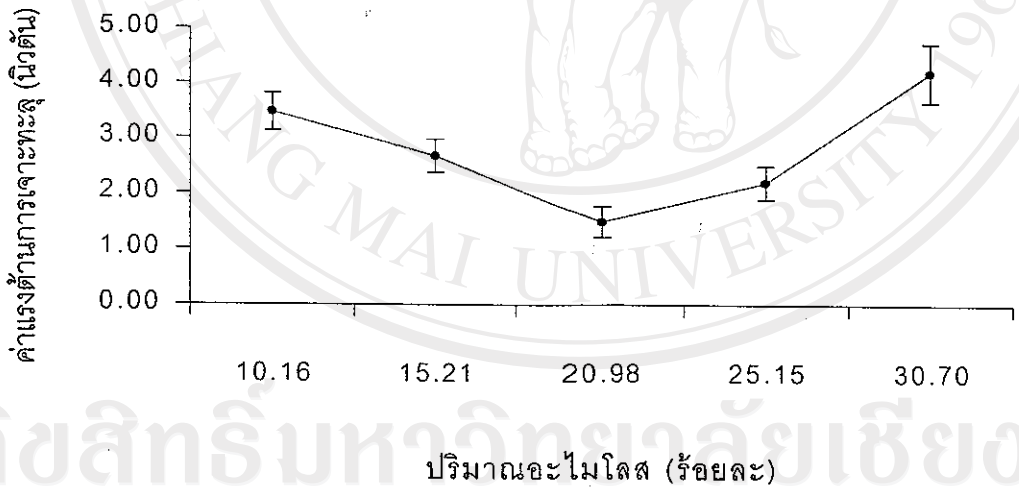
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
10.16	3.47 ± 0.34^{cd}	32.82 ± 0.14^{b}
15.21	2.67 ± 0.28^{bc}	32.29 ± 0.08^{b}
20.98	1.48 ± 0.30^{a}	31.40 ± 0.08^{a}
25.15	2.19 ± 0.30^{ab}	30.74 ± 0.09^{a}
30.70	4.20 ± 0.24^{d}	31.33 ± 0.14^{a}

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้ง แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.12 พบว่าที่ปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.98 ซึ่งได้มาจากการผสมกันระหว่างแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 55 และแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 45 จะทำให้ได้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าโดที่ได้จะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 30.74-32.82 และโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 31.40 จะทำให้ได้แผ่นข้าวอบกรอบที่มีความกรอบมากที่สุด ถ้าโดมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 31.40 จะทำให้โดที่ได้แห้ง เปราะและมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าเมื่อมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 31.40 แป้งจะเกิดการเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์ จะทำให้อัตราการพองตัวลดลง แผ่นข้าวอบกรอบที่ได้จึงไม่พองกรอบ และถ้าโดมีปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 31.40 โดที่ได้จะมีลักษณะเหนียวหนืด จะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้ไม่เต็มที่ เพราะปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ไอน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบไม่สามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จะระเหยออกมาได้หมดภายในเวลาที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (process time) ทำให้น้ำเหลือค้างอยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบอยู่ปริมาณมาก ทำให้การพองตัวเกิดไม่เต็มที่ผลิตภัณฑ์จึงไม่พองกรอบ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Chiang และ Johnson (1977) ทำการศึกษาโดยใช้แป้งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 18-22 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่สูงเกินไปสำหรับวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คือ ร้อยละ 13 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 18-22 จะนุ่ม ไม่กรอบและมีเนื้อสัมผัสที่เหนียว เนื่องจากไอน้ำที่อยู่ในแป้งโดไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดเมื่อได้รับความร้อนจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ และจากการศึกษาของศุภรัตน์ (2537) พบว่าปริมาณความชื้นของโดมีความสำคัญมากต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะความกรอบของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำมีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้งและการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ ถ้าโดมีปริมาณความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้โดร่วน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่กรอบและแห้ง แต่ถ้ามีปริมาณความชื้นมากเกินไปจะทำให้โดเหนียวมากมีลักษณะเป็นเจลยืด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเหนียวและไม่กรอบ



ภาพ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสและค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบ

จากภาพ 4.12 พบว่าเมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้นจากร้อยละ 10.16 เป็นร้อยละ 20.98 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุจะลดลงจาก 3.47 เป็น 1.48 นิวตันหรือความกรอบของผลิตภัณฑ์จะมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้น และที่ปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.98 แผ่นข้าวอบกรอบจะมีความกรอบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเป็นปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ และเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20.98 เป็นร้อยละ 30.70 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุจะเพิ่มขึ้นจาก 1.48 เป็น 4.20 นิวตันหรือความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบจะลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสจับตัวกับโมเลกุลของอะไมโลเพกตินหรือจับตัวกันเองอย่างหนาแน่นในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบคือ สานตัวเป็นร่างแห ทำให้น้ำเข้าออกโมเลกุลอะไมโลสได้ลดลง เจลที่ได้จะมีลักษณะเหนียวหนืด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการพองตัวได้น้อย และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะแข็งและไม่กรอบ จึงทำให้การยอมรับโดยรวมในตัวผลิตภัณฑ์ลดลง (พัชรินทร์และสุจิรา, 2542) ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของพจนา (2536) ธงชัย (2535) และศิรินทร์ (2536) คือ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดี ได้จากแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 5–20 ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวและมีความกรอบมาก ถ้าแป้งมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความพองตัวและความกรอบลดลง และถ้าแป้งที่นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 50 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพองตัวได้ยากขึ้น และผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น และจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าว พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิสายพันธุ์ 105 มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 30 ซึ่งต่ำกว่าข้าวพันธุ์เหลืองประทิวสายพันธุ์ 123 ที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 38 และข้าวพันธุ์ขาวตาแห้งสายพันธุ์ 17 ที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 35 จะมีความเหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มากที่สุด เพราะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จึงทำให้ได้คะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด (จิราภา, 2539) จากผลการทดลองการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบตอนที่ 1 และ 2 ทำให้ได้สูตรแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟที่เหมาะสมเป็นดังนี้

แป้งข้าวเจ้า	ร้อยละ	37.35
แป้งข้าวเหนียว	ร้อยละ	30.56
น้ำตาล	ร้อยละ	25.59
มอล์ตสกัด	ร้อยละ	3.44
เกลือ	ร้อยละ	1.48
นมผงพร่องมันเนย	ร้อยละ	1.28
เลซิทิน	ร้อยละ	0.30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 3 กระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมของแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

3.1 อุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม

จากการทดสอบหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ได้ผลดังตาราง 4.13 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.13

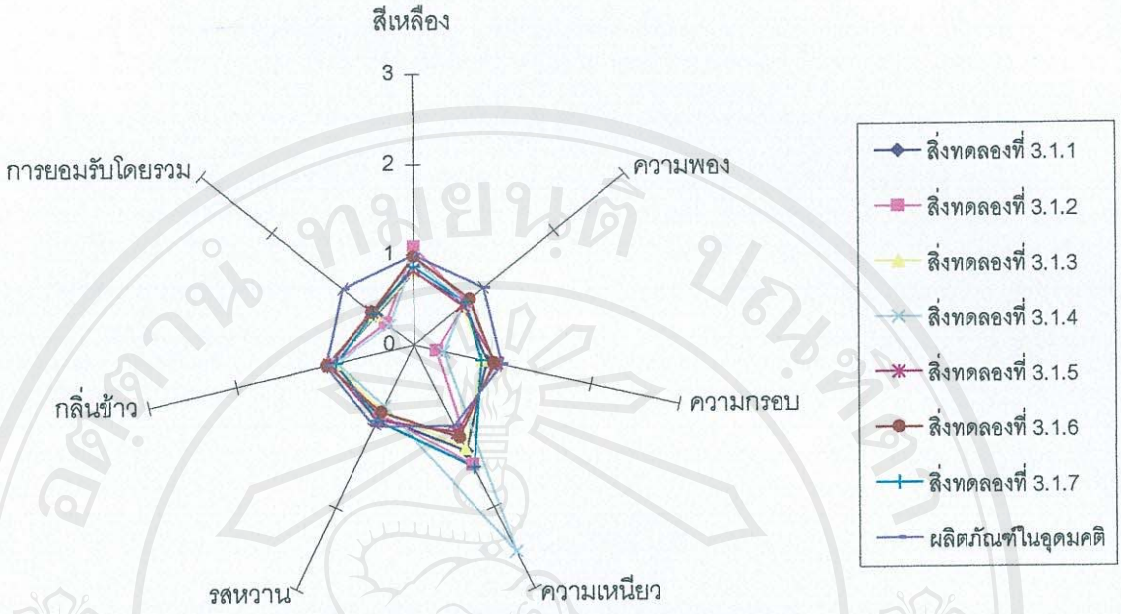
ตาราง 4.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	สีเหลือง	ความพอง	ความกรอบ	ความเหนียว	รสหวาน	กลิ่นข้าว	การยอมรับโดยรวม
3.1.1	0.81±0.13	0.73±0.14	0.83±0.14	1.31±0.21	0.88±0.18	0.90±0.16	0.53±0.16
3.1.2	1.09±0.17	0.75±0.18	0.26±0.12	1.48±0.29	0.85±0.12	0.91±0.10	0.39±0.07
3.1.3	0.82±0.12	0.69±0.17	0.78±0.12	1.28±0.24	0.81±0.20	0.89±0.09	0.54±0.12
3.1.4	0.97±0.12	0.71±0.13	0.34±0.15	2.55±0.28	0.75±0.20	0.86±0.16	0.35±0.03
3.1.5	0.83±0.13	0.69±0.16	0.93±0.10	1.08±0.34	0.92±0.13	0.95±0.09	0.59±0.14
3.1.6	0.98±0.18	0.80±0.11	0.91±0.11	1.14±0.22	0.83±0.13	0.98±0.09	0.58±0.19
3.1.7	0.87±0.14	0.74±0.13	0.77±0.16	1.51±0.21	0.93±0.13	0.88±0.13	0.56±0.10

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยอธิบายในรูปสมการถดถอย สมการความสัมพันธ์ที่ได้จะต้องเป็นสมการที่มีนัยสำคัญ เนื่องจากสมการถดถอยที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส จึงต้องทำการถอดรหัสก่อน การถอดรหัสสมการสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional หรือคำนวณโดยใช้สมการ 4.1 (Milton, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.13 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม

สมการถดถอยที่ถอดรหัสแล้วจะได้ว่า

สีเหลือง = 0.018 + 0.011 (T) $R^2 = 0.854$ (4.8)

ความกรอบ = 2.832 – 0.025 (T) $R^2 = 0.965$ (4.9)

ความเหนียว = -2.336 + 0.036 (T) + 0.017 (M) $R^2 = 0.644$ (4.10)

การยอมรับโดยรวม = 1.220 – 0.008 (T) $R^2 = 0.988$ (4.11)

เมื่อ T หมายถึง อุณหภูมิในการนึ่งโด (องศาเซลเซียส)

M หมายถึง เวลาในการนึ่งโด (นาที)

R^2 หมายถึง coefficient of determination

จากการหาระดับที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการนึ่งโด โดยการคำนวณจากสมการที่ถอดรหัสแล้ว ด้วยการแทนค่าของปัจจัยทดลองลงไป ซึ่งต้องเป็นค่าที่ทำการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

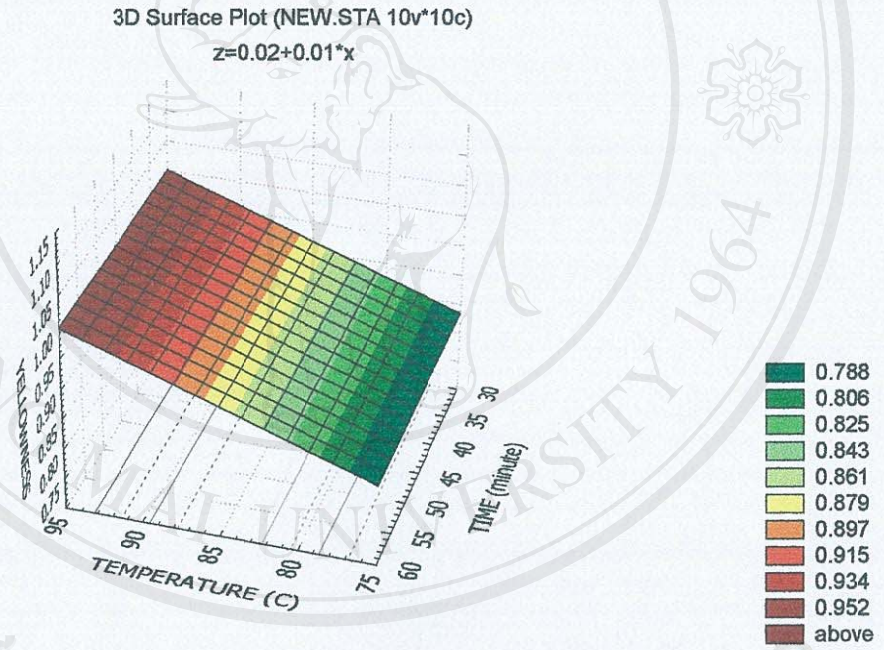
จากสมการ 4.8 แทนค่า f(อุณหภูมิ) ได้ค่าสัดส่วนของสีเหลืองดังนี้

f(75) = 0.84

f(85) = 0.95

f(95) = 1.06

จากการแทนค่าอุณหภูมิในสมการ 4.8 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.8 ดังภาพ 4.14 เนื่องจากสีเหลืองเป็นการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ดังนั้นค่าคุณลักษณะที่ได้ควรมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียงมากที่สุด จึงจะกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการพัฒนามีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียสจึงจะให้ค่าคะแนนสีเหลืองใกล้เคียง 1 มากที่สุด



ภาพ 4.14 พื้นที่การตอบสนองของสีเหลืองเมื่อใช้อุณหภูมิในการนึ่งโดต่างกันตามสมการ 4.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

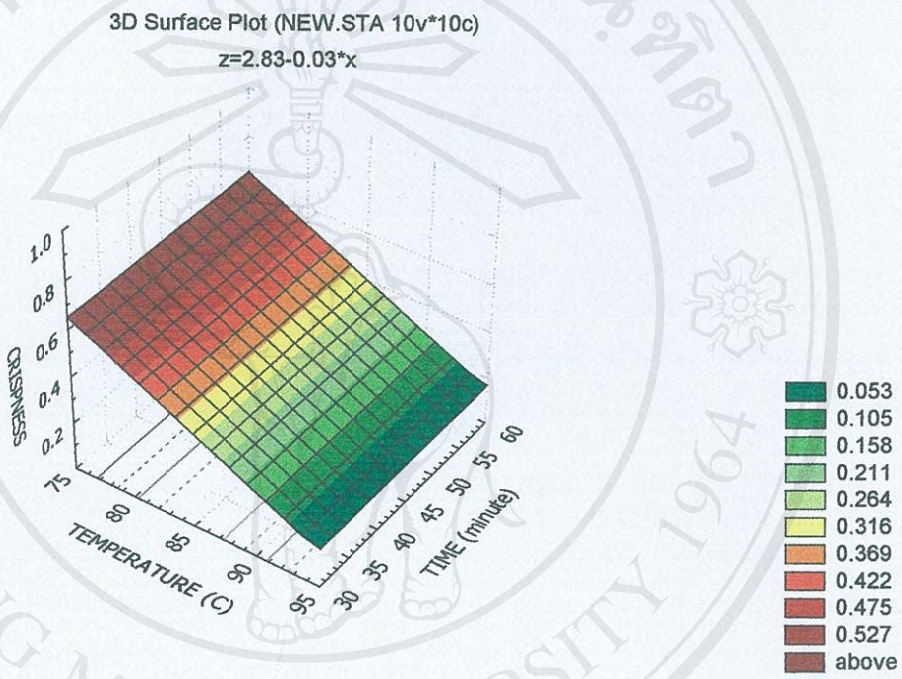
จากสมการ 4.9 แทนค่า f(อุณหภูมิ) ได้ค่าสัดส่วนของความกรอบดังนี้

f(75) = 0.96

f(85) = 0.71

f(95) = 0.46

จากการแทนค่าอุณหภูมิในสมการ 4.9 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.9 ดังภาพ 4.15 พบว่าอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสจึงจะให้ค่าความกรอบใกล้เคียง 1 มากที่สุด



ภาพ 4.15 พื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อใช้อุณหภูมิในการนึ่งโดต่างกัน ตามสมการ 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ 4.10 แทนค่า f(อุณหภูมิ, เวลา) ได้ค่าสัดส่วนของความเหนียวดังนี้

f(75, 30) = 0.87 f(85, 60) = 1.74

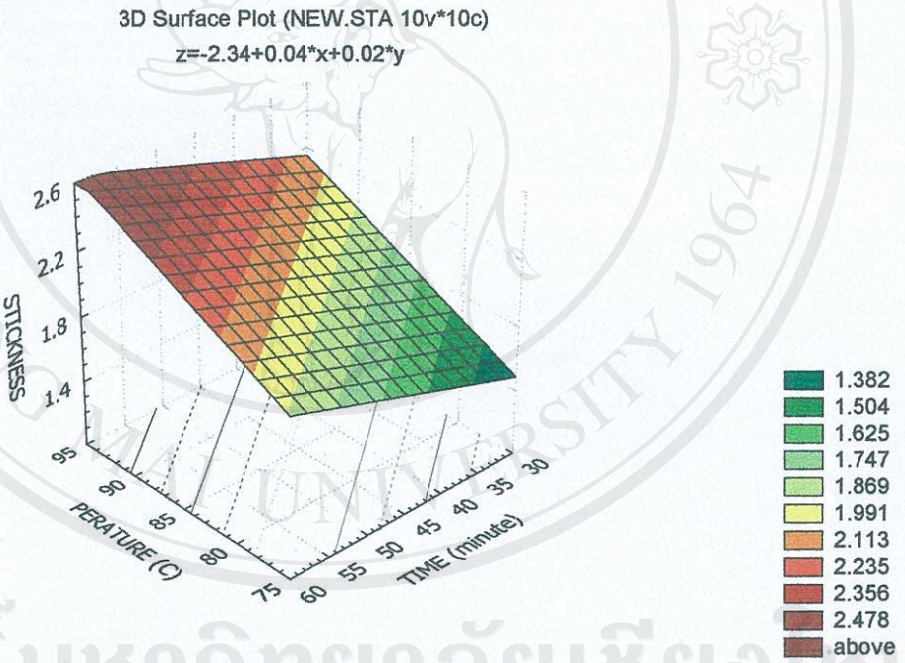
f(75, 45) = 1.13 f(95, 30) = 1.59

f(75, 60) = 1.38 f(95, 45) = 1.85

f(85, 30) = 1.23 f(95, 60) = 2.10

f(85, 45) = 1.49

จากการแทนค่าอุณหภูมิและเวลาในสมการ 4.10 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.10 ดังภาพ 4.16 พบว่าอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสและที่เวลา 45 นาทีได้ให้ค่าความเหนียวใกล้เคียง 1 มากที่สุด



ภาพ 4.16 พื้นที่การตอบสนองของความเหนียวเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการนึ่งโดต่างกันตามสมการ 4.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

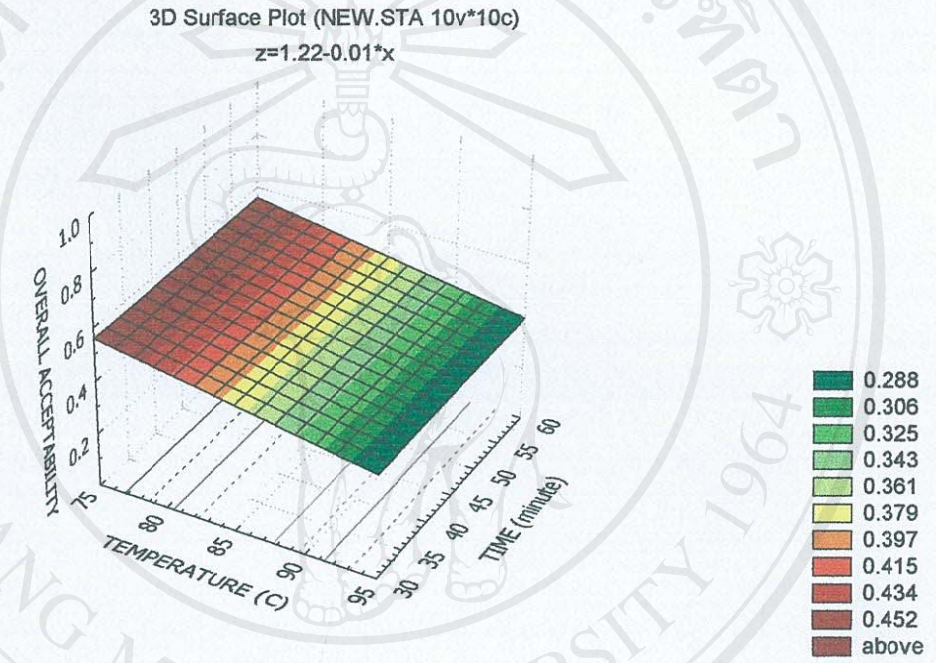
จากสมการ 4.11 แทนค่า f(อุณหภูมิ) ได้ค่าสัดส่วนของการยอมรับโดยรวมดังนี้

f(75) = 0.58

f(85) = 0.49

f(95) = 0.41

จากการแทนค่าอุณหภูมิในสมการ 4.11 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.11 ดังภาพ 4.17 พบว่าอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสได้ให้ค่าการยอมรับโดยรวมใกล้เคียง 1 มากที่สุด



ภาพ 4.17 พื้นที่การตอบสนองของการยอมรับโดยรวมเมื่อใช้อุณหภูมิในการนึ่งโดต่างกันตามสมการ 4.11

จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสคือ ความกรอบและการยอมรับโดยรวมในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผกผัน และมีผลต่อสีเหลืองในลักษณะเส้นตรงแบบแปรผันตาม โดยเมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 95 เป็น 75 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ความกรอบและการยอมรับโดยรวมสูงขึ้นจาก 0.46 เป็น 0.96 และ 0.41 เป็น 0.58 ตามลำดับ แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 75 เป็น 95 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สีเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 0.84 เป็น 1.06 และพบว่าอุณหภูมิมีปฏิกิริยาร่วมกับเวลา ซึ่งมีผลต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 75 เป็น 95 องศาเซลเซียส และเวลาเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 60 นาที จะทำให้ความเหนียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้นจาก 0.87 เป็น 2.10 ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เพราะทำให้ความกรอบ ความเหนียวและการยอมรับโดยรวมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด และพบว่าเวลาในการนึ่งโดมีผลต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ในลักษณะเป็นเส้นตรงและมีปฏิกิริยาร่วมกับอุณหภูมิ จากการทดลองควรใช้เวลา 45 นาที เพราะทำให้ได้ความเหนียวมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

อุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดนี้จะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวจะอยู่ในช่วง 68-78 องศาเซลเซียส ซึ่งการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยถ้าแป้งเกิดเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์ โดที่ได้จะร่วน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเปราะ ส่วนแป้งที่เกิดการเจลาติไนซ์ที่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการพองตัวที่ดี และเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนซ์แล้วถ้าให้ความร้อนต่อไปอีก จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวและแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา ทำให้เกิดลักษณะเจลเหนียวหนืดคล้ายฟิล์มหรือผลึก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเหนียวไม่กรอบ (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543; Smith, 1979)

จากการทดลองตอนที่ 3.1 เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม ได้ว่าควรใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าว เป็นเวลา 45 นาที สภาวะนี้น่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งโด ทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ที่สมบูรณ์ ทำให้ได้โดที่ไม่ร่วนและไม่เหนียวเป็นฟิล์ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมโดยเฉพาะในด้านความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบ

3.2 ความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

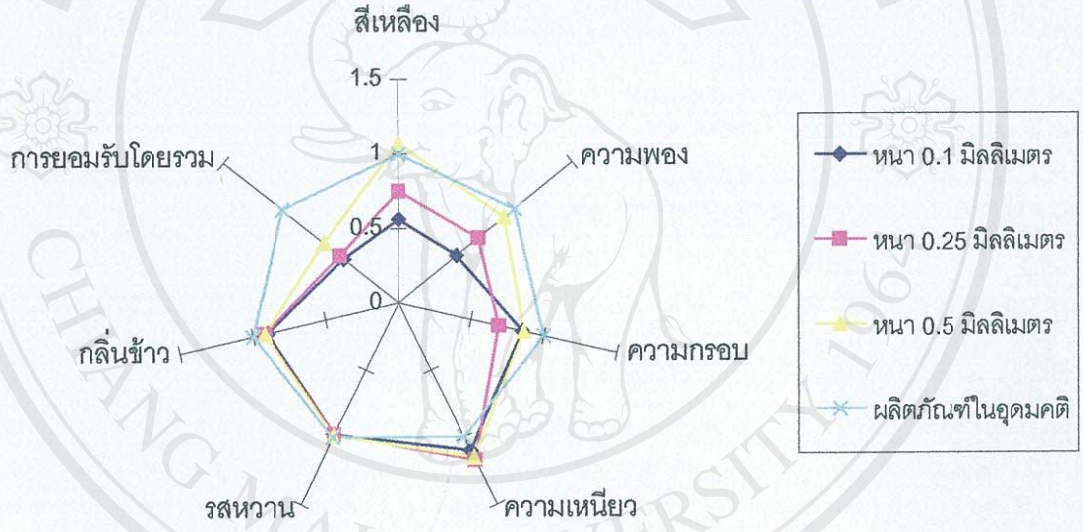
ความหนาของแผ่นข้าวอบกรอบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบ ซึ่งจากการทดสอบหาความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ได้ผลดังตาราง 4.14 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

ความหนา (มิลลิเมตร)	สีเหลือง	ความพอง	ความกรอบ	ความเหนียว	รสหวาน	กลิ่นข้าว	การยอมรับโดยรวม
0.1	0.56±0.17^{a}	0.50±0.11^{c}	0.85±0.13	1.10±0.12	0.98±0.05	0.90±0.16	0.47±0.12^{b}
0.25	0.75±0.09^{b}	0.69±0.16^{b}	0.69±0.16	1.17±0.17	0.98±0.05	0.92±0.16	0.50±0.11^{ab}
0.5	1.07±0.19^{a}	0.91±0.08^{a}	0.86±0.16	1.15±0.27	0.99±0.03	0.92±0.16	0.64±0.17^{a}

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15) ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05



ภาพ 4.18 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

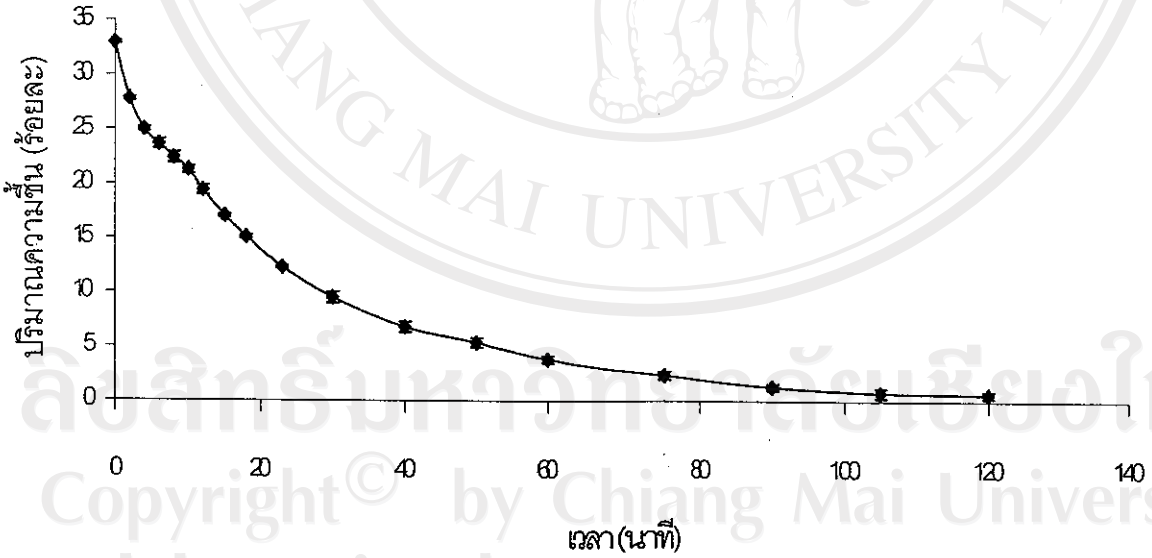
จากตาราง 4.14 พบว่าแผ่นแป้งที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรจะทำให้ได้คุณลักษณะสีเหลือง และความพองของผลิตภัณฑ์ให้ค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) รองลงมาคือ แผ่นแป้งที่มีความหนา 0.25 และ 0.1 มิลลิเมตรตามลำดับ สิ่งทดลองที่ให้ค่าการยอมรับโดยรวมเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ แผ่นแป้งที่มีความหนา 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตร แต่พบว่าแผ่นแป้งที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเข้าใกล้ 1 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ส่วนคุณลักษณะด้านความกรอบ ความเหนียว รสหวาน และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลิ่นข้าวไม่มีความแตกต่างของตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบทั้ง 3 สิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาทุกคุณลักษณะแล้วพบว่าแผ่นแป้งที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรมีคะแนนโดยรวมเข้าใกล้ 1 มากที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

3.3 การหาเวลาในการอบโดเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

ปริมาณความชื้นของโดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ด้วยไมโครเวฟ จะมีผลต่อน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีการระเหยของน้ำออกมา จึงมีผลต่อความพอง และเนื้อสัมผัสหรือความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบ จากผลการศึกษาปริมาณความชื้นของโดต่อเวลาในการทำแห้งโดตั้งแต่นาทีที่ 0 จนถึงนาทีที่ 120 โดยใช้เตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสได้ผลดังภาพ 4.19 และตาราง 4.15



ภาพ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของโดและเวลาในการทำแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.15 ปริมาณความชื้นของโดที่เวลาการทำแห้งที่ 0 ถึง 120 นาที

เวลาการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
0	32.96 ± 0.14
2	27.83 ± 0.16
4	25.05 ± 0.18
6	23.69 ± 0.44
8	22.44 ± 0.51
10	21.32 ± 0.36
12	19.45 ± 0.44
15	17.06 ± 0.15
18	15.10 ± 0.16
23	12.32 ± 0.13
30	9.51 ± 0.50
40	6.81 ± 0.48
50	5.37 ± 0.44
60	3.84 ± 0.33
75	2.35 ±0.37
90	1.30 ± 0.29
105	0.75 ± 0.44
120	0.61 ± 0.31

จากภาพ 4.19 พบว่าที่เวลาในการทำแห้ง 4, 11 และ 18 นาที จะทำให้โดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25.05, 20.39 และ 15.10 ตามลำดับ เมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นของโดลดลง เนื่องจากน้ำอิสระในโดจะระเหยออกมา โดยเฉพาะช่วงเวลานาทีที่ 0 ถึง 60 นาที ปริมาณความชื้นจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นปริมาณความชื้นจะลดลงน้อยมาก เพราะน้ำที่เหลืออยู่ในโดเป็นน้ำเกาะติดอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบในโด ทำให้น้ำระเหยออกมาได้ยากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณความชื้นของโดจะมีผลต่อค่าแรงต้านการเจาะทะลุ โดยผลค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron ของโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 15.10, 20.39 และ 25.05 เป็นดังตาราง 4.16

ตาราง 4.16 ผลค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาเวลาในการอบโดเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นของโดที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)
โดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 15.10	6.76 ± 0.12^{c}
โดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.39	3.55 ± 0.39^{a}
โดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 25.05	4.63 ± 0.19^{b}

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.16 พบว่าโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.39 จะทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบมีความกรอบมากที่สุด เพราะให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 15.10 และ 25.05 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากที่ปริมาณความชื้นของโดร้อยละ 15.10 โดมีปริมาณน้ำน้อยที่สุด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งไม่กรอบ ส่วนโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 25.05 มีปริมาณน้ำมากเกินไป จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่กรอบมากนัก ดังนั้นโดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.39 ซึ่งต้องทำการอบ เพื่อลดความชื้นของโดโดยใช้เตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 นาที จึงจะมีความเหมาะสมที่สุดต่อการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟมากที่สุด

3.4 ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบเป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญกับกระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ เนื่องจากไมโครเวฟจะมีผลต่อน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ และมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบ เมื่อใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบแตกต่างกันตามสิ่งทดลองที่ 3.4.1-3.4.7 ได้คุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบที่ต่างกันไป จากการศึกษาหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ โดยวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ได้ผลดังตาราง 4.17 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.20 หาค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron และหาปริมาณความชื้นได้ผลดังตาราง 4.18 และหาค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเครื่องวัดสีได้ผลดังตาราง 4.19

ตาราง 4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	สีเหลือง	ความพอง	ความกรอบ	ความเหนียว	รสหวาน	กลิ่นข้าว	การยอมรับโดยรวม
3.4.1	0.89±0.12	0.64±0.14	0.29±0.09	2.66±0.14	1.01±0.02	0.96±0.06	0.24±0.11
3.4.2	0.90±0.14	0.71±0.19	0.39±0.09	1.61±0.36	0.91±0.10	0.95±0.07	0.41±0.13
3.4.3	0.78±0.17	0.67±0.13	0.39±0.09	2.11±0.10	0.93±0.08	1.00±0.01	0.39±0.13
3.4.4	1.17±0.18	0.78±0.16	0.86±0.15	1.23±0.24	0.93±0.08	0.95±0.11	0.66±0.18
3.4.5	0.93±0.16	0.85±0.19	0.58±0.21	2.63±0.21	0.89±0.14	0.93±0.11	0.45±0.21
3.4.6	0.84±0.11	0.74±0.11	0.49±0.05	2.07±0.33	0.96±0.08	0.98±0.05	0.54±0.14
3.4.7	0.88±0.20	0.80±0.15	0.55±0.16	2.24±0.26	0.93±0.09	0.97±0.06	0.49±0.16

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15)

ตาราง 4.18 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุและปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
3.4.1	6.84 ± 0.16	24.95 ± 0.16
3.4.2	6.03 ± 0.26	15.68 ± 0.16
3.4.3	6.87 ± 0.03	16.73 ± 0.10
3.4.4	3.61 ± 0.17	6.91 ± 0.05
3.4.5	6.14 ± 0.17	17.13 ± 0.10
3.4.6	6.42 ± 0.10	17.01 ± 0.06
3.4.7	6.52 ± 0.17	18.14 ± 0.10

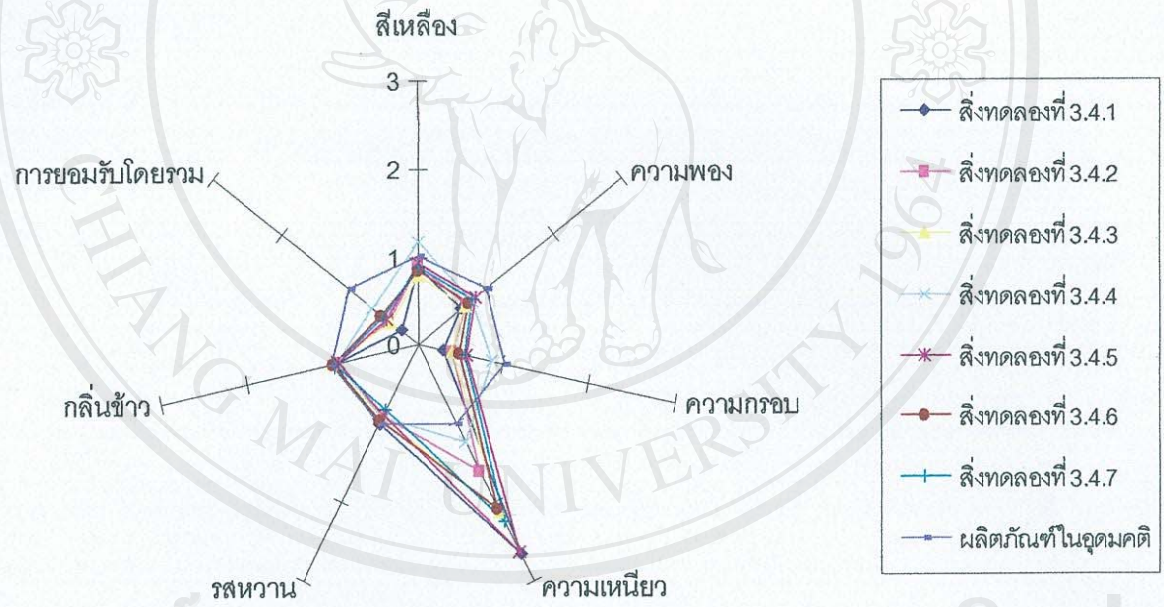
หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.19 ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
3.4.1	68.05 ± 0.29	2.16 ± 0.07	12.66 ± 0.24
3.4.2	70.16 ± 0.27	2.07 ± 0.09	13.48 ± 0.29
3.4.3	73.41 ± 0.20	1.54 ± 0.08	12.25 ± 0.16
3.4.4	60.49 ± 0.20	3.15 ± 0.10	12.50 ± 0.26
3.4.5	70.36 ± 0.25	1.68 ± 0.04	12.61 ± 0.21
3.4.6	67.90 ± 0.23	1.75 ± 0.13	12.06 ± 0.25
3.4.7	69.53 ± 0.20	1.82 ± 0.12	12.71 ± 0.22

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)



ภาพ 4.20 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของแผ่นข้าวอบกรอบในการหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยอธิบายในรูปสมการถดถอย สมการความสัมพันธ์ที่ได้จะต้องเป็นสมการที่มีนัยสำคัญ เนื่องจากสมการถดถอยที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส จึงต้องทำการถอดรหัสก่อน การถอดรหัสสมการสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional หรือคำนวณตามสมการ 4.1 (Milton, 1992)

สมการถดถอยที่ถอดรหัสแล้วจะได้ว่า

ปริมาณความชื้น = 47.960 – 0.190 (H) – 0.280 (T) $R^2 = 0.973$ (4.12)

ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ = 11.710 – 0.035 (H) - 0.049 (T) $R^2 = 0.997$ (4.13)

ค่าสีเหลือง (b) = 13.990 – 0.023 (T) $R^2 = 0.963$ (4.14)

สีเหลือง = 0.610 + 0.0041 (H) $R^2 = 0.976$ (4.15)

ความกรอบ = -0.485 + 0.0057 (H) + 0.0095 (T) $R^2 = 0.972$ (4.16)

การยอมรับโดยรวม = -0.267 + 0.0043 (H) + 0.066 (T) $R^2 = 0.995$ (4.17)

เมื่อ H หมายถึง ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ

T หมายถึง เวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบ (วินาที)

R^2 หมายถึง coefficient of determination

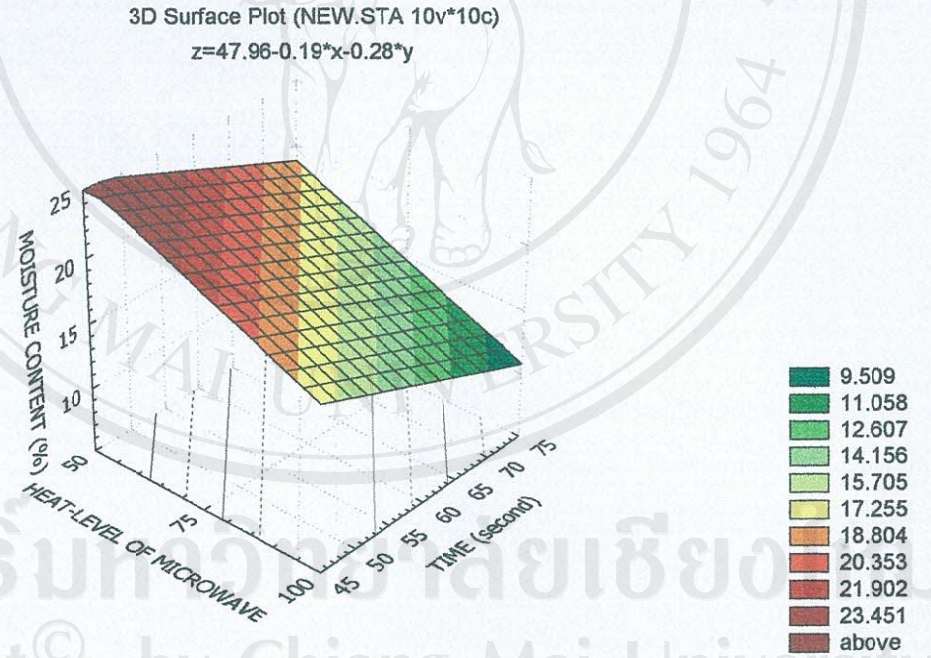
จากการหาระดับที่เหมาะสมของระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ โดยการคำนวณจากสมการที่ถอดรหัสแล้ว ด้วยการแทนค่าของปัจจัยทดลองลงไป ซึ่งต้องเป็นค่าที่ทำการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ 4.12 แทนค่า f(ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ, เวลา) ได้ค่าปริมาณความชื้นดังนี้

f(ปานกลาง, 45) = 25.86
f(ปานกลาง, 60) = 21.66
f(ปานกลาง, 75) = 17.46
f(สูงปานกลาง, 45) = 21.11
f(สูงปานกลาง, 60) = 16.91
f(สูงปานกลาง, 75) = 12.71
f(สูงสุด, 45) = 16.36
f(สูงสุด, 60) = 12.16
f(สูงสุด, 75) = 7.96

จากการแทนค่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในสมการ 4.12 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.12 ดังภาพ 4.21 โดยที่ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุด สูงปานกลาง และปานกลาง หมายถึง ระดับการทำงานของแมกนิตรอนเป็นร้อยละ 100, 75 และ 50 ตามลำดับ พบว่าที่ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุด เป็นเวลา 75 วินาที จะให้ปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวอบกรอบน้อยที่สุด ทำให้สามารถเก็บรักษาแผ่นข้าวอบกรอบได้นาน



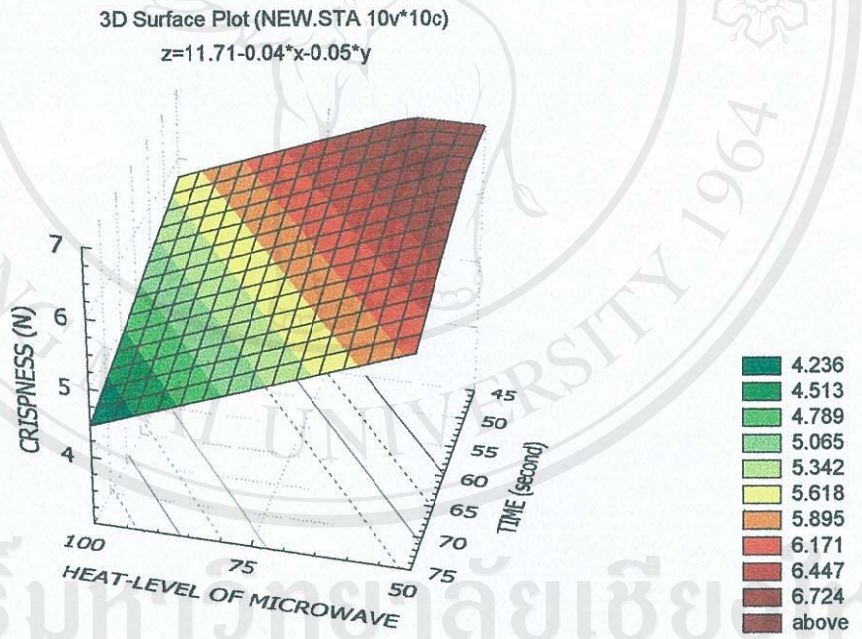
ภาพ 4.21 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณความชื้นเมื่อใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ 4.13 แทนค่า f(ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ, เวลา) ได้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุดังนี้

f(ปานกลาง, 45) = 7.76
f(ปานกลาง, 60) = 7.02
f(ปานกลาง, 75) = 6.29
f(สูงปานกลาง, 45) = 6.88
f(สูงปานกลาง, 60) = 16.15
f(สูงปานกลาง, 75) = 5.14
f(สูงสุด, 45) = 6.00
f(สูงสุด, 60) = 5.27
f(สูงสุด, 75) = 4.54

จากการแทนค่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในสมการ 4.13 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.13 ดังภาพ 4.22 พบว่าที่ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุดและใช้เวลา 75 วินาที จะให้ค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบน้อยที่สุด แผ่นข้าวอบกรอบที่ได้มีความกรอบมากที่สุด



ภาพ 4.22 พื้นที่การตอบสนองของค่าแรงต้านการเจาะทะลุเมื่อใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

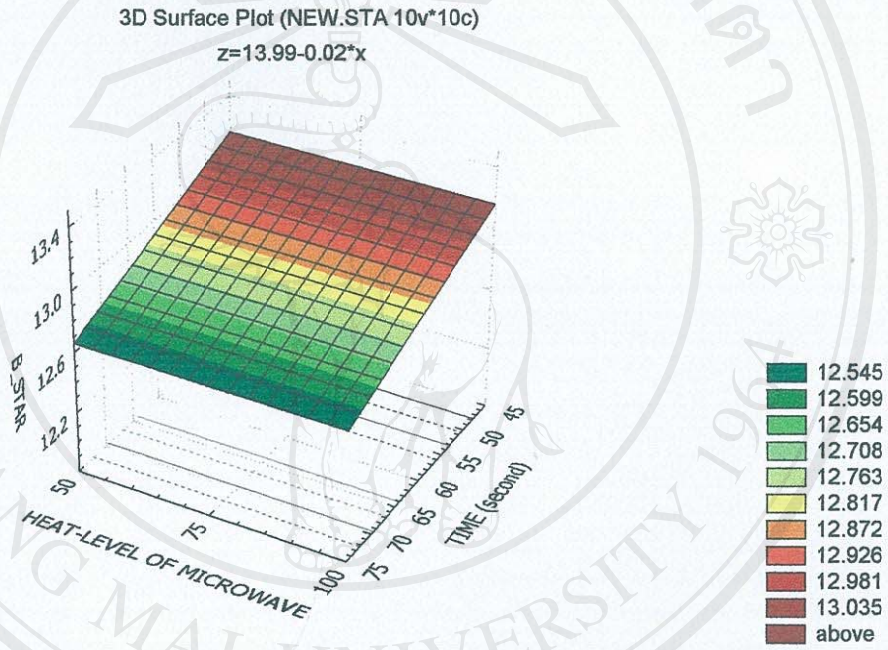
จากสมการ 4.14 แทนค่า f(เวลา) ได้ค่าสีเหลือง (b) ดังนี้

f(45) = 12.96

f(60) = 12.61

f(75) = 12.27

จากการแทนค่าเวลาในสมการ 4.14 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.14 ดังภาพ 4.23 ต้องการให้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบมีสีเหลืองน้ำตาล ดังนั้นค่าสีเหลือง (b) ต้องสูง จึงควรใช้เวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบ 45 วินาที จึงจะทำให้ได้ค่าสีเหลือง (b) สูงที่สุดคือ 12.96



ภาพ 4.23 พื้นที่การตอบสนองของค่าสีเหลือง (b) เมื่อใช้เวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

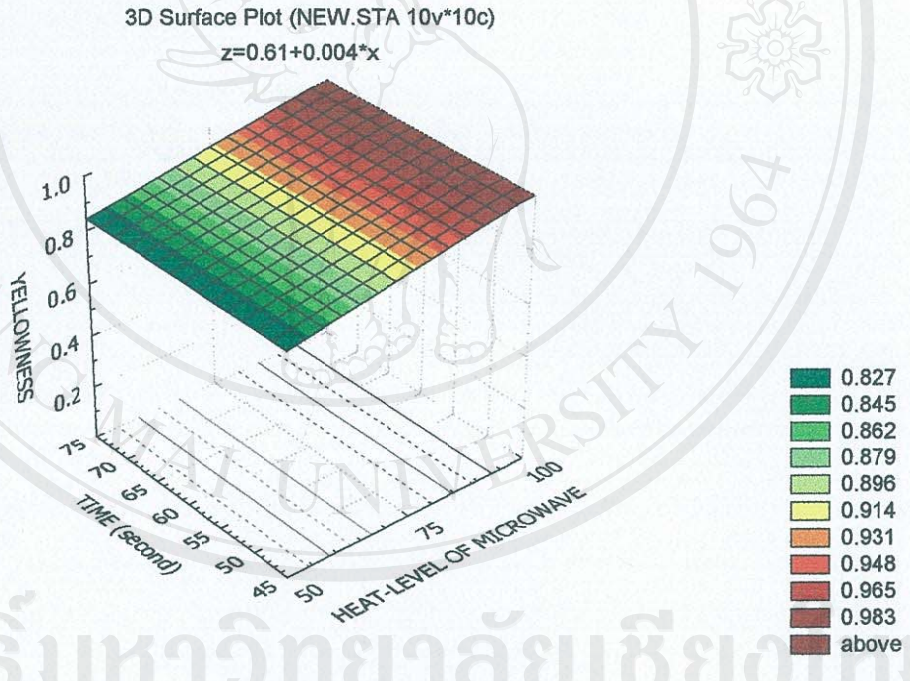
จากสมการ 4.15 แทนค่า f(ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ) ได้ค่าสัดส่วนของสีเหลืองดังนี้

f(ปานกลาง) = 0.82

f(สูงปานกลาง) = 0.92

f(สูงสุด) = 1.02

จากการแทนค่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟในสมการ 4.15 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.15 ดังภาพ 4.24 ค่าที่ได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากสีเหลืองเป็นค่าทางประสาทสัมผัสที่ได้มาจากการทดสอบแบบ Ideal Ratio Profile จึงจะแสดงว่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติที่ผู้ทดสอบชิมต้องการมากที่สุด พบว่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุด ทำให้ค่าสีเหลืองเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 1.02



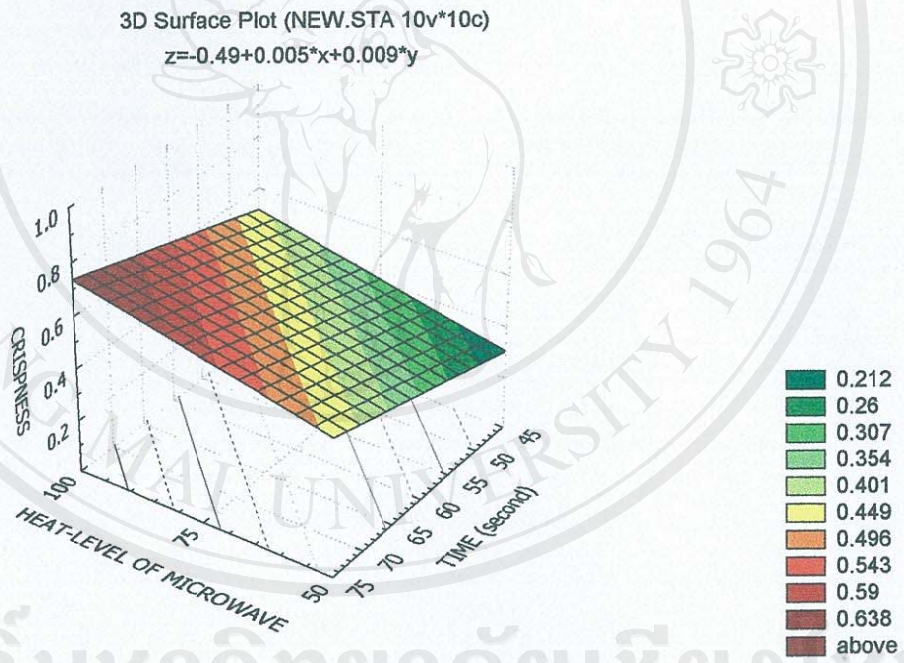
ภาพ 4.24 พื้นที่การตอบสนองของสีเหลืองเมื่อใช้ประดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ 4.16 แทนค่า f(ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ, เวลา) ได้ค่าสัดส่วนของความกรอบดังนี้

f(ปานกลาง, 45) = 0.23
f(ปานกลาง, 60) = 0.37
f(ปานกลาง, 75) = 0.51
f(สูงปานกลาง, 45) = 0.37
f(สูงปานกลาง, 60) = 0.51
f(สูงปานกลาง, 75) = 0.66
f(สูงสุด, 45) = 0.51
f(สูงสุด, 60) = 0.66
f(สูงสุด, 75) = 0.79

จากการแทนค่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในสมการ 4.16 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.16 ดังภาพ 4.25 พบว่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุดเป็นเวลา 75 วินาที ทำให้ความกรอบเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.79



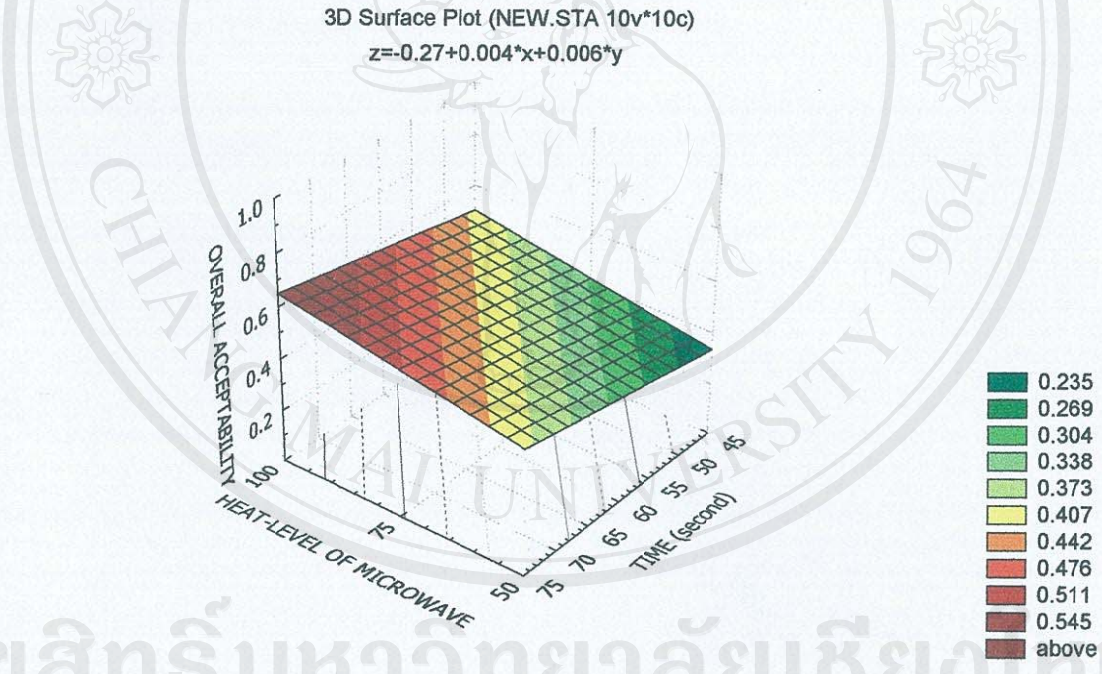
ภาพ 4.25 พื้นที่การตอบสนองของความกรอบเมื่อใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ 4.17 แทนค่า f(ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ, เวลา) ได้ค่าสัดส่วนของการยอมรับโดยรวมดังนี้

f(ปานกลาง, 45) = 0.25
f(ปานกลาง, 60) = 0.33
f(ปานกลาง, 75) = 0.44
f(สูงปานกลาง, 45) = 0.35
f(สูงปานกลาง, 60) = 0.45
f(สูงปานกลาง, 75) = 0.55
f(สูงสุด, 45) = 0.46
f(สูงสุด, 60) = 0.56
f(สูงสุด, 75) = 0.66

จากการแทนค่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในสมการ 4.17 และพื้นที่การตอบสนองของสมการ 4.17 ดังภาพ 4.26 พบว่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุดเป็นเวลา 75 วินาที จะทำให้ได้ค่าการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือได้ 0.66



ภาพ 4.26 พื้นที่การตอบสนองของการยอมรับโดยรวมเมื่อใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบแผ่นข้าวอบกรอบต่างกันตามสมการ 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษา พบว่าระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่าแรงต้านการเจาะทะลุ และยังมีผลต่อค่าทางด้านประสาทสัมผัส คือ ความกรอบและการยอมรับโดยรวม โดยเมื่อระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟเพิ่มขึ้นจากปานกลางเป็นสูงสุดหรือจากระดับการทำงานของแมกนิตรอนจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 100 และเวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 เป็น 75 วินาที จะทำให้ปริมาณความชื้น ความกรอบและการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.96 เป็นร้อยละ 25.86, 0.23 เป็น 0.79 และจาก 0.25 เป็น 0.66 ตามลำดับ และค่าแรงต้านการเจาะทะลุจะลดลงจาก 16.15 เป็น 4.54 นิวตัน หรือความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟเพิ่มขึ้นจากปานกลางเป็นสูงสุดจะมีผลทำให้สีเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 0.82 เป็น 1.02 ดังนั้นจึงเลือกใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟระดับสูงสุด เพราะทำให้ค่าทางประสาทสัมผัสมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด รวมทั้งมีคุณภาพทางเคมีและกายภาพดีที่สุด

เวลาในการให้ความร้อนแก่แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่าแรงต้านการเจาะทะลุ และยังมีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสคือ ความกรอบและการยอมรับโดยรวมร่วมกับระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ และเวลายังมีผลต่อค่าสีเหลือง (b) โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 45 เป็น 75 วินาที ทำให้ค่าสีเหลือง (b) ลดลงจาก 12.27 เป็น 12.96 ดังนั้นจึงใช้เวลา 75 วินาที เพราะทำให้ได้ค่าทางประสาทสัมผัสเข้าใกล้ 1 มากที่สุด และทำให้แผ่นข้าวอบกรอบมีคุณภาพทางเคมีและกายภาพดีที่สุด

จากการทดลองตอนที่ 3.4 พบว่าควรใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟสูงสุด เป็นเวลา 75 วินาที ในการอบแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ แต่รองรัตน์ (2543) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซีเรียลเฟลกโดยไมโครเวฟ พบว่าต้องใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟที่ระดับปานกลาง เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งมากกว่าการอบแผ่นข้าวอบกรอบที่ศึกษานี้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซีเรียลเฟลกที่ใช้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งหนากว่าผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่มีความหนาเพียง 0.5 มิลลิเมตร จึงใช้ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาในการอบผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 ความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลในระดับต่างๆ

ความคงตัวในน้ำนมในแง่ความกรอบ (crispness in milk) ซึ่งวิเคราะห์เป็นค่าแรงต้านการเจาะทะลุของผลิตภัณฑ์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องทำการศึกษา เพราะเมื่อบริโภคแผ่นข้าวอบกรอบ ผู้บริโภคมักจะบริโภคร่วมกับนม ความคงตัวในน้ำนมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในกระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ ซึ่งความคงตัวในน้ำนมนี้เป็นระยะเวลาที่แผ่นข้าวอบกรอบจะอยู่ในน้ำนมได้โดยยังคงความกรอบเมื่อบริโภค

จากการทดสอบความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบทั้งที่ไม่เคลือบและเคลือบคาราเมลระดับต่างๆ โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสเฉพาะรสหวานได้ผลดังตาราง 4.20 และค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron ได้ผลดังตาราง 4.21 และภาพ 4.27

ตาราง 4.20 ผลการทดสอบชิมทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลในระดับต่างๆ

สิ่งทดลอง	รสหวาน
3.5.1	0.94 ± 0.06^{c}
3.5.2	0.96 ± 0.03^{abc}
3.5.3	1.03 ± 0.06^{a}
3.5.4	1.00 ± 0.03^{abc}
3.5.5	1.03 ± 0.07^{ab}
3.5.6	0.95 ± 0.11^{bc}

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=15) ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.20 พบว่ากลุ่มที่มีคะแนนเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4 และ 3.5.5 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่พบว่าสิ่งทดลองที่ 3.5.4 ซึ่งเคลือบคาราเมลร้อยละ 60 ได้รับคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานเท่ากับ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.21 ผลความคงตัวในน้ำนมของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)						
	0	0.5	1	1.5	2	3	4
3.5.1	7.58±0.20^{b}	8.07±0.27	7.44±0.29^{ab}	8.26±0.19^{c}	9.14±0.25^{b}	9.44±0.18	9.12±0.05^{abc}
3.5.2	6.44±0.10^{ab}	8.52±0.28	7.34±0.28^{ab}	7.20±0.12^{ab}	7.57±0.06^{a}	8.48±0.23	8.79±0.15^{ab}
3.5.3	7.67±0.28^{b}	8.32±0.07	7.16±0.18^{ab}	7.57±0.24^{abc}	7.16±0.24^{a}	9.12±0.23	9.10±0.27^{abc}
3.5.4	9.42±0.25^{c}	8.54±0.21	8.13±0.09^{bc}	8.24±0.13^{c}	7.53±0.27^{a}	8.72±0.03	9.52±0.25^{c}
3.5.5	6.54±0.23^{ab}	7.61±0.26	6.75±0.20^{a}	6.77±0.19^{a}	8.19±0.23^{a}	8.11±0.37	9.45±0.19^{bc}
3.5.6	5.80±0.27^{a}	7.59±0.27	8.60±0.09^{c}	7.84±0.16^{bc}	8.02±0.16^{a}	8.38±0.11	8.64±0.18^{a}

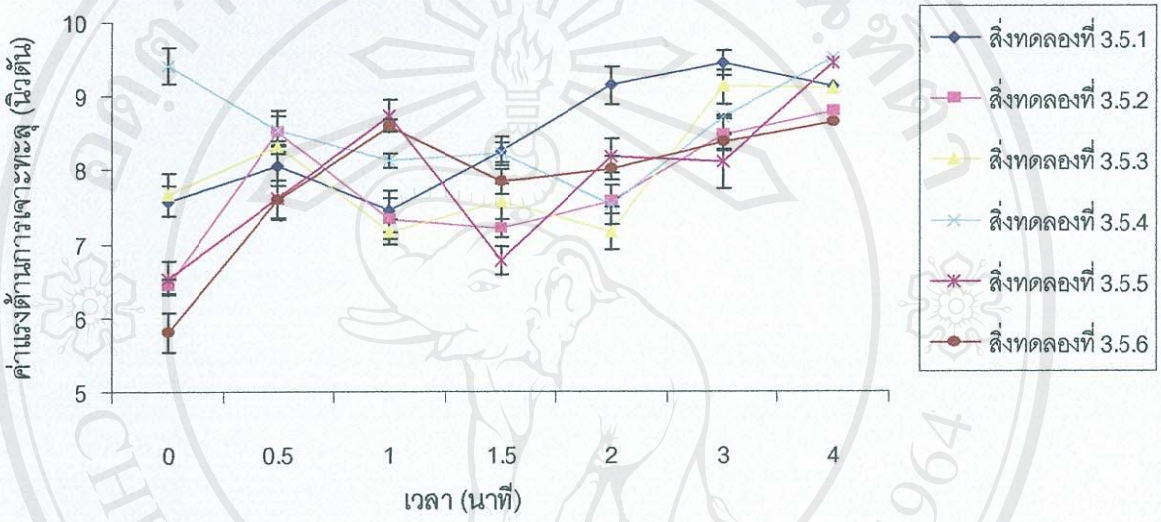
หมายเหตุ ค่าของค่าแรงต้านการเจาะทะลุแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับความแตกต่างกันในแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.21 พบว่าที่เวลาเริ่มต้น กลุ่มที่มีค่าแรงต้านการเจาะทะลุน้อยที่สุดหรือมีความกรอบมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.2, 3.5.5 และ 3.5.6 หรือแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 70 และแผ่นข้าวอบกรอบตราโดเน่ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อใส่สิ่งทดลองลงไปในน้ำนมและจับเวลาที่ 0.5 นาที พบว่าสิ่งทดลองทั้ง 6 สิ่งทดลองให้ความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในนาทีที่ 1 พบว่ากลุ่มที่มีความกรอบมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 และ 3.5.5 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่ไม่เคลือบคาราเมลและเคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50 และ 70 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ต่อมาที่นาทีที่ 1.5 นาที กลุ่มที่มีความกรอบมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.2, 3.5.3 และ 3.5.5 หรือแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50 และ 70 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และที่ 2 นาที พบว่ากลุ่มที่มีความกรอบมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.2-3.5.6 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 และแผ่นข้าวอบกรอบตราโดเน่ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนนาทีที่ 3 พบว่าสิ่งทดลองทั้ง 6 สิ่งทดลองให้ความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และที่นาทีสุดท้ายคือนาทีที่ 4 กลุ่มที่มีความกรอบมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 และ 3.5.6 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่ไม่เคลือบคาราเมลและเคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50 และแผ่นข้าวอบกรอบตราโดเน่ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าสิ่งทดลองที่ 3.5.5 คือแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 70 เป็นสิ่งทดลองที่มีความคงตัวในน้ำนมมากที่สุด ดังจะเห็นได้จากมีความกรอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มากที่สุดตั้งแต่นาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 3 ส่วนนาทีที่ 4 จะมีความกรอบน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 และ 3.5.6 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่ไม่เคลือบคาราเมลและเคลือบคาราเมลร้อยละ 40, 50 และแผ่นข้าวอบกรอบตราโดเน่ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าทางประสาทสัมผัสพบว่าสิ่งทดลองที่ 3.5.5 หรือแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลร้อยละ 70 มีคะแนนของรสหวานเข้าใกล้ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟที่เคลือบคาราเมลร้อยละ 70 จึงเหมาะสมที่สุดในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ



ภาพ 4.27 ความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลในระดับต่างๆ

จากผลการศึกษาของพัชรินทร์และสุจิรา (2542) ซึ่งได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแผ่นกรอบโปรตีนสูงเคลือบคาราเมล โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการเคลือบคาราเมลจะมีความมันวาว มีกลิ่นหอมของเนยและรสชาติที่ดีกว่า เนื่องจากน้ำตาลและเนยในตัวกลิ่นคาราเมลที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเคลือบคาราเมลมากขึ้น จะทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง และ Burrington (2001) ได้ศึกษาความคงตัวในน้ำนมระหว่างแผ่นข้าวโพดอบกรอบ แผ่นข้าวสาลีอบกรอบและแผ่นข้าวอบกรอบ วิเคราะห์ค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยใช้หัววัดแบบ kramer shear press เครื่อง Instron รุ่น TA.xT2i พบว่าแผ่นข้าวโพดอบกรอบและแผ่นข้าวสาลีอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมนานเท่ากันคือ 4 นาที ส่วนแผ่นข้าวอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมน้อยที่สุดเพียง 2 นาทีเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟในการศึกษานี้ที่มีความคงตัวนานถึง 4 นาที และพบว่าการเคลือบน้ำตาลลงบนแผ่นข้าวอบกรอบจะทำให้แผ่นข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อบกรอบมีรสหวานและมีสีน้ำตาลทองมากขึ้น น้ำตาลที่เคลือบนี้จะไปเคลือบอยู่ระหว่างชั้นของนมและแผ่นข้าวอบกรอบ ทำให้แผ่นข้าวอบกรอบมีความกรอบได้นานขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำนม

จากการทดลองตอนที่ 3 เรื่องการหากระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟที่เหมาะสม ทำให้สามารถสรุปกระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟที่เหมาะสมได้ดังนี้

1. เตรียมส่วนผสมได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาล เกลือ มอล์ตสกัด เลซิทิน นมผงพร่องมันเนยและน้ำ

2. ชั่งน้ำหนักส่วนผสมตามสูตรแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟที่ได้จากตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

3. ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้มือผสม และเติมน้ำเพื่อปรับส่วนผสมให้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 31.40

4. นำโดมารีดให้เป็นแผ่นหนา 3 มิลลิเมตรด้วยเครื่องรีดบะหมี่ และนำมานึ่งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาทีด้วยลังถึงบนเตาแก๊ส

5. รีดโดด้วยเครื่องรีดบะหมี่ จนได้โดที่มีความหนา 0.50 มิลลิเมตร

6. ลดปริมาณความชื้นของโดโดยใช้เตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 นาที เพื่อทำให้โดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.39

7. ตัดให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดกว้างและยาว 1.5 เซนติเมตรด้วยกรรไกร

8. นำโดที่ตัดเป็นชิ้นวางเรียงบนภาชนะจานเซรามิค โดยวางเรียงแผ่นข้าวอบกรอบ 15 ชิ้นต่อจาน นำไปเข้าเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้ระดับพลังงานความร้อนของไมโครเวฟสูงสุด (high) หรือระดับการทำงานของแมกนิตรอนร้อยละ 100 เป็นเวลา 75 วินาที

9. จะได้แผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟ

10. ทำน้ำเคลือบคาราเมลตามวิธีการทดลองตอนที่ 3.5

11. พ่นน้ำเคลือบคาราเมลเป็นฝอยบางๆด้วยกระบอกพ่นฝอยลงบนแผ่นข้าวอบกรอบ ทำการเคลือบคาราเมลให้ได้ร้อยละ 70 โดยการควบคุมน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

12. อบแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลในเตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

13. จะได้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมล และนำแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลที่ได้มาบรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตปิดผนึกและเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนที่ 4 คุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยาและการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบชิม

4.1 คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ

ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบหลังการพัฒนามีค่าทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาได้ผลดังตาราง 4.22 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารเชิงคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 69.30 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.81 และพบว่ามีปริมาณไขมันน้อยเพียงร้อยละ 0.55 ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองน้ำตาลและมีค่าแรงต้านการเจาะทะลุ 3.75 นิวตัน มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.02 และมีปริมาณน้ำอิสระ 0.47 ทำให้เชื้อราและยีสต์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ผลิตภัณฑ์มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 120 CFU/กรัม จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/กรัม และตรวจไม่พบโคลิฟอร์มหรือมีโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/กรัม

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของแผ่นข้าวอบกรอบนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ ซึ่งต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ CFU/กรัม จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/กรัม และต้องตรวจไม่พบโคลิฟอร์ม หรือมีโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/กรัม (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2541) ดังนั้นผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ จึงถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ส่วนอาหารเช้าซนิดแผ่นจากแป้งข้าวที่แปรรูปโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่พัฒนาโดยจิราภา (2539) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 10 CFU/กรัม จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/กรัม และไม่พบเชื้อโคลิฟอร์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.22 คุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของแผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟ

คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.02±0.09
ปริมาณน้ำอิสระ	0.47±0.01
ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	8.48±0.11
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	24.91±0.05
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	8.81±0.01
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	0.55±0.01
ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)	6.84±0.01
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	69.30±0.05
คุณภาพทางกายภาพ	**ปริมาณ**
ค่าความสว่าง (L)	56.39±0.19
ค่าสีแดง (a)	4.66±0.06
ค่าสีเหลือง (b)	14.37±0.08
ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)	3.75±0.11
คุณภาพทางจุลชีววิทยา	**ปริมาณ**
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม)	Est. 120
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/กรัม)	น้อยกว่า 10
เชื้อโคลิฟอร์ม (MPN/กรัม)	น้อยกว่า 3

หมายเหตุ ค่าทางเคมีและกายภาพแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

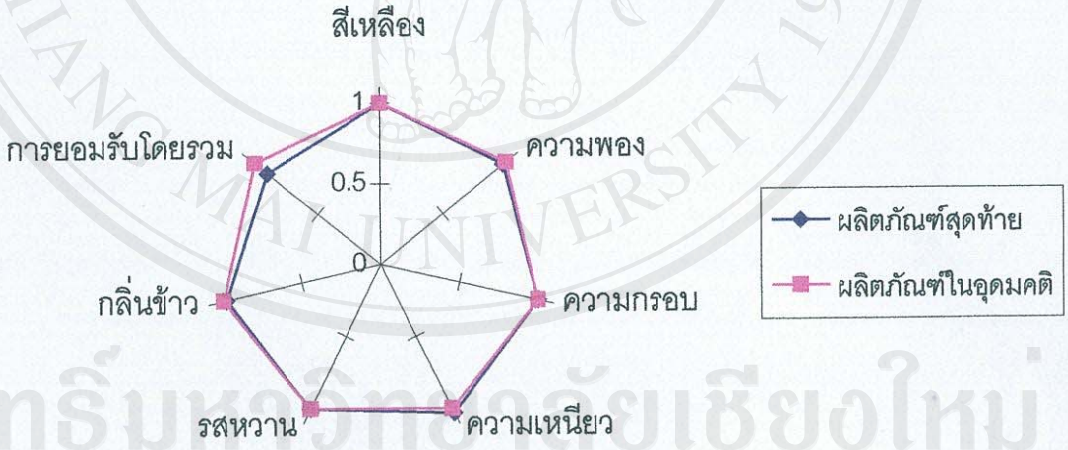
4.2 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Ideal Ratio Profile จากผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 15 คน แสดงดังตาราง 4.23 และแสดงแผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์ดังภาพ 4.28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.23 ผลการทดสอบชิมทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบหลังการพัฒนา

ลักษณะ	ค่าสัดส่วน	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ลักษณะปรากฏ		
สีเหลือง	1.00	0.02
ความพอง	0.98	0.03
2. ลักษณะเนื้อสัมผัส		
ความกรอบ	1.00	0.00
ความเหนียว	1.03	0.04
3. กลิ่นและรสชาติ		
รสหวาน	1.00	0.03
กลิ่นข้าว	0.98	0.02
4. การยอมรับโดยรวม	0.90	0.09



ภาพ 4.28 แผนภาพเค้าโครงผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบหลังการพัฒนา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.23 เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสีเหลือง ความพอง ความกรอบ ความเหนียว รสหวานและกลิ่นข้าวที่มีผลต่อการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบชิมของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบจะได้ดังสมการ 4.18

การอยมรับโดยรวม = - 3.49 - 1.20 (สีเหลือง) + 0.75 (ความพอง) + 0.87 (ความเหนียว)
+ 1.32 (รสหวาน) + 2.70 (กลิ่นข้าว)

$R^2 = 0.812$ (4.18)

จากสมการ 4.18 พบว่าในการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่ทำการพัฒนานั้น ผู้ทดสอบชิมจะพิจารณาทั้งลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะกลิ่นและรสชาติรวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประกอบการตัดสินใจยอมรับด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ต้นแบบและผลิตภัณฑ์ในอุดมคติของผู้ทดสอบชิม ได้ผลดังตาราง 4.24 และจากการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สุดท้ายและผลิตภัณฑ์ในอุดมคติของผู้ทดสอบชิมโดยใช้วิธีการทดสอบค่า t ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ P=0.05 และดีกรีออฟฟรีดอมเท่ากับ 14 ได้ผลดังตาราง 4.25

ตาราง 4.24 ผลการเปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบต้นแบบและผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบในอุดมคติของผู้ทดสอบชิม

ลักษณะ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย	ค่า t คำนวณ	ความมีนัยสำคัญ
สีเหลือง	0.67±0.25	-4.803	*
ความพอง	0.63±0.29	-4.318	*
ความกรอบ	0.69±0.30	-3.977	*
ความเหนียว	1.21±0.45	1.399	*
รสหวาน	0.72±0.24	-4.321	*
กลิ่นข้าว	0.66±0.26	-4.595	*
การยอมรับโดยรวม	0.44±0.16	-13.419	*

หมายเหตุ * หมายถึง ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.25 ผลการเปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบสุดท้ายและผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบในอุดมคติของผู้ทดสอบชิม

ลักษณะ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย	ค่า t คำนวณ	ความมีนัยสำคัญ
สีเหลือง	1.00±0.02	0.361	
ความพอง	0.98±0.03	-2.817	*
ความกรอบ	1.00±0.00	-	
ความเหนียว	1.03±0.04	3.452	*
รสหวาน	1.00±0.03	-0.264	
กลิ่นข้าว	0.98±0.02	-2.901	*
การยอมรับโดยรวม	0.90±0.09	-4.267	*

หมายเหตุ * หมายถึง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ไม่มี * หมายถึง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

จากตาราง 4.24 พบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติในทุกคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และจากตาราง 4.25 พบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมโดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่างๆ เข้าใกล้ค่าอุดมคติ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ พบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติในด้านสีเหลือง ความกรอบและรสหวาน ส่วนด้านความพอง ความเหนียว กลิ่นข้าวและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกับค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้ พบว่ามีคะแนนเข้าใกล้ค่า 1 มากกว่าผลิตภัณฑ์ก่อนการพัฒนา แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์หลังการพัฒนาหรือผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบได้ทำการศึกษาโดยบรรจุแผ่นข้าวอบกรอบลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลา 0, 1, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ทำการสุ่มตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบครั้งละ 3 ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยใช้เครื่อง Instron ผลการศึกษาแสดงดังตาราง 4.26 และภาพ 4.29

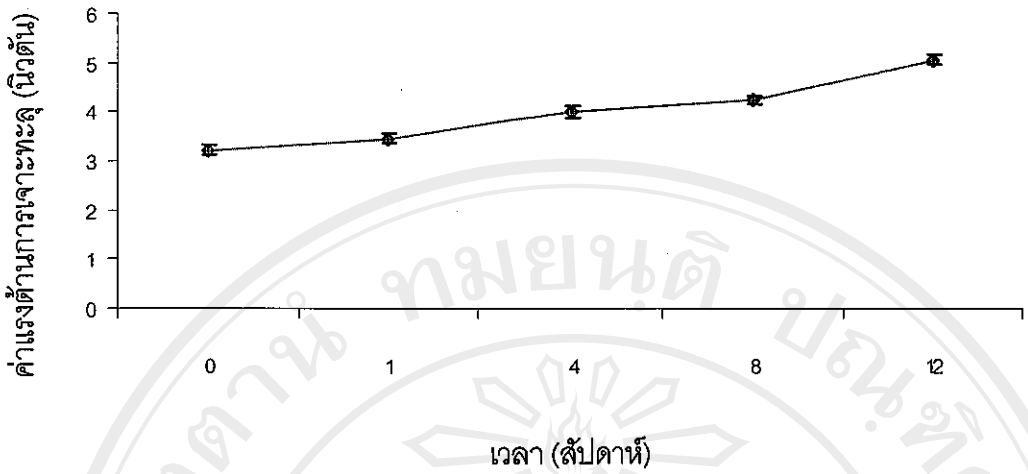
ตาราง 4.26 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เวลา (สัปดาห์)	ค่าแรงต้านการเจาะทะลุ (นิวตัน)
0	3.22 ± 0.09^{a}
1	3.46 ± 0.10^{b}
4	4.01 ± 0.12^{c}
8	4.26 ± 0.07^{d}
12	5.08 ± 0.10^{e}

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้ง แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

จากตาราง 4.26 พบว่าที่เวลาเริ่มต้น 1, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ มีค่าแรงต้านการเจาะทะลุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าแรงต้านการเจาะทะลุจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ที่เวลาเริ่มต้นจะมีค่าแรงต้านการเจาะทะลุ 3.22 นิวตัน เมื่อใช้เวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ 12 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงต้านการเจาะทะลุ 5.08 นิวตัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากเวลาเริ่มต้น 1.86 นิวตัน น่าจะเป็นเพราะว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อากาศและความชื้นจะแพร่ผ่านเข้าไปในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตที่เก็บตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบ ทำให้แผ่นข้าวอบกรอบนิ่มและไม่กรอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.29 ค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากภาพ 4.29 พบว่าค่าแรงต้านการเจาะทะลุของแผ่นข้าวอบกรอบมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.22 นิวตันเป็น 5.08 นิวตัน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 12 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved