

การผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
PRODUCTION OF SNACK FROM FEED CORN

วรรณวรางค์ วัชรานันท์
WANWARANG WATCHARANUNT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-455-7

การผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

PRODUCTION OF SNACK FROM FEED CORN



วรรณวรางค์ วัชรานานันท์
WANWARANG WATCHARANUNT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 49610
วัน, เดือน, ปี 25 ก.พ. 2547

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-455-7

PRODUCTION OF SNACK FROM FEED CORN

WANWARANG WATCHARANUNT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-455-7

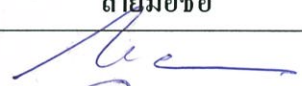


COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
PRODUCTION OF SNACK FROM FEED CORN
ชื่อนักศึกษา นางสาววรรณวรางค์ วัชรานานันท์
รหัสประจำตัว 44066014
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์	
ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	
รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 20 พฤษภาคม 2546 เวลา 9.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๖.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๖

หัวข้อวิทยานิพนธ์

นักศึกษา

รหัสประจำตัว

ปริญญา

สาขาวิชา

พ.ศ.

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

การผลิตขนมخبเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

นางสาววรรณวรางค์ วัชรานานันท์

44066014

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

วิทยาศาสตร์การอาหาร

2546

ผศ. ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

บทคัดย่อ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 1 พบว่าประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 11.19 โปรตีนร้อยละ 10.29 ไขมันร้อยละ 4.62 เถ้าร้อยละ 1.44 กากใยร้อยละ 1.73 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70.73 เมื่อนำมาผลิตขนมخبเคี้ยวโดยนำมาบดและผสมกับไซเดียมไบคาร์บอเนต เกลือ เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส และน้ำ พบว่าการใช้ไซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบดทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากที่สุด แต่จะมีสีคล้ำ การใช้เกลือร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบดจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดี ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในโด (dough) คือร้อยละ 60 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบและได้รับการยอมรับสูงสุดด้านรสชาติและลักษณะปรากฏอื่น ๆ การใช้ข้าวโพดบดที่แยกต้นอ่อนและไม่แยกต้นอ่อนจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบเหมือนกันแต่การใช้ข้าวโพดบดที่แยกต้นอ่อนจะมีสีคล้ำกว่า และการใช้เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสกลิ่นบาร์บิคิวในรูปแบบทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับสูงสุดจากผู้ทดสอบ เมื่อศึกษาการเก็บขนมخبเคี้ยวที่อุณหภูมิห้องในถุงลามิเนตโดยใช้สภาวะการบรรจุ 3 สภาวะคือ บรรจุโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน บรรจุในอากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนและบรรจุในอากาศธรรมดา เป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่าการบรรจุแบบใช้ก๊าซไนโตรเจนและบรรจุในอากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะสามารถรักษาคุณภาพขนมخبเคี้ยวได้นานกว่าการบรรจุในอากาศธรรมดา แต่เนื่องจากการใช้แก๊สไนโตรเจนเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้ตัวดูดซับออกซิเจน จึงควรใช้สภาวะนี้ในการเก็บ

Thesis Title	Production of Snack from Feed Corn
Student	Miss Wanwarang Watcharanunt
Student ID.	44066014
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2003
Thesis Advisor	Assistant. Professor. Dr. Kittiphong Huangrak

Abstract

The chemical compositions of corn variety Suwan 1, were 11.19% moisture, 10.29% protein, 14.62% fat, 1.44% ashes, 1.73% fiber and 70.73% carbohydrate. Corn snack was made by this kind of corn to produce snack, grinding and mixing of corn flour with sodium bicarbonate, salt, flavoring agent, and water. It was found that adding 1.5% of sodium bicarbonate to corn flour weight gave the most crispiness texture, but the color was darker while adding 1.5% salt to corn flour gave the better good taste. The optimum amount of water in dough was 60%. The product was crispy and had the highest score in taste and total acceptability. The crispiness of snack made from separated germ flour was comparable to that of the product made from whole corn flour but the color was darker. The product with barbecue seasoning had the highest score for taste and total acceptability. The snack were packed in laminated aluminum foil bags under 3 conditions, i.e. under nitrogen gas, under normal air with oxygen absorber and under normal air. They were kept for 6 months at room temperature. It was shown that snack packed under nitrogen gas and those packed with oxygen absorber could be kept longer. Packing under nitrogen gas was a selected conditions due to the cost was less than using oxygen absorber.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยกรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา ตรวจทานและแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ และ รศ.ดร. วรณา ตั้งเจริญชัย ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขรวมทั้งให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์การอาหารให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ปริญญาโทและปริญญาตรีทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้กันและกัน และให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณของมารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรรณวรางค์ วิชรานานันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว.....	3
2.1.1 ข้าวโพด.....	3
2.1.2 น้ำ.....	10
2.1.3 เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส.....	10
2.1.4 น้ำมันสำหรับทอด.....	13
2.2 กรรมวิธีการผลิต.....	14
2.2.1 การผสมและการนวด.....	15
2.2.2 การปั้นและการนึ่ง.....	15
2.2.3 การหั่น.....	16
2.2.4 การทำให้แห้ง.....	16
2.2.5 การทอด.....	17
2.3 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การพองตัว.....	19
2.5 ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ	20
2.6 การเสื่อมเสียของอาหารทอดและวิธีการป้องกัน.....	23
2.7 ค่า PV.....	25
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.1.1 เครื่องมือ.....	27
3.1.2 วัสดุดิบ.....	27
3.1.3 สารเคมี.....	27
3.2 สถานที่ดำเนินงาน.....	27
3.3 วิธีการดำเนินงาน.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	31
4.1 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของข้าวโพด.....	31
4.2 ศึกษาปริมาณเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม	32
4.3 ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม.....	36
4.4 ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดบดที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน.....	40
4.5 ศึกษากลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว.....	41
4.6 ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวโพด.....	4
2.2 แสดงปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในส่วนต่างๆของข้าวโพด.....	6
2.3 แสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในพันธุ์ข้าวโพดทั่วไปและพันธุ์โอเพค-2.....	8
2.4 อัตราการซึมผ่านความดันไอของฟิล์มชนิดต่างๆ.....	22
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1.....	31
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เมื่อใช้เกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างกัน.....	32
4.3 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้เกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างกัน.....	33
4.4 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตและปริมาณเกลือที่ต่างกัน.....	35
4.5 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน.....	36
4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน.....	38
4.7 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดบดที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน.....	40
4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดบดที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน.....	41
4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสต่างกัน.....	42
4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA ของขนมขบเคี้ยว.....	45
4.11 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA เมื่อเก็บขนมขบเคี้ยว 6 เดือน.....	45
4.12 ผลของระยะเวลาการเก็บขนมขบเคี้ยวต่อค่าการแตก ค่าสี PV และ ค่า TBA.....	48

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน.....	55

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน.....	25
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	26
4.1 ขนมอบเคี้ยวที่แปรปริมาณน้ำในโดต่างกัน.....	39
4.2 ขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสในรูปแบบต่าง ๆ	44
4.3 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าการแตกของขนมอบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	50
4.4 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าความสว่าง(L)การแตกของขนมอบเคี้ยวเมื่อ เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	51
4.5 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าสีแดง(a)ของขนมอบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	51
4.6 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าสีเหลือง(b)ของขนมอบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	52
4.7 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าTBAของขนมอบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	53
4.8 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่า PVของขนมอบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารคนหรืออาหารสัตว์ได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถนำส่วนของเมล็ด เช่น ต้นอ่อน (germ) มาสกัดเป็นน้ำมันพืชซึ่งเมื่อผ่านขั้นตอนทำให้บริสุทธิ์จะได้น้ำมันบริโภคที่มีคุณภาพสูงหรือส่วนเอ็นโดสเปิร์มเมื่อนำมาสกัดจะได้แป้ง เมล็ดข้าวโพดยังนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น คอร์นเฟลก (corn flakes) คอร์นชิพ (corn chips) เป็นต้น เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายในที่ดอนทั่ว ๆ ไป เกษตรกรจึงนิยมปลูกกันแพร่หลาย ประเทศที่ผลิตข้าวโพดได้มากเช่น สหรัฐอเมริกา รัสเซีย เม็กซิโก สหภาพอาฟริกาใต้ อาร์เจนตินา รุมาเนีย และยูโกสลาเวีย เป็นต้น (ศุภวรรณ, 2523) ประเทศไทยมีเนื้อที่การเพาะปลูกประมาณ 7,685,000 ไร่ และสามารถผลิตข้าวโพดได้ 4,466,000 ตัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

ประเทศไทยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้เป็นจำนวนมาก ปริมาณผลผลิตเกือบทั้งหมดที่ผลิตได้เป็นสินค้าส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศ ในปี 2545 ประเทศไทยส่งข้าวโพดเป็นสินค้าออกประมาณ 153,140 ตันเป็นมูลค่า 1,181.06 ล้านบาท (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545) สิ่งที่เป็นปัญหาสำคัญและเป็นที่หวั่นวิตกกันอยู่ในขณะนี้ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีราคาค่อนข้างต่ำและมีความแปรปรวนของความต้องการตลาดในต่างประเทศ การแก้ปัญหาโดยการเพิ่มการใช้ข้าวโพดภายในประเทศทั้งทางตรงและทางอ้อมให้มากขึ้น โดยแปรรูปเป็นเครื่องอุปโภคบริโภคจะเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยทำให้ข้าวโพดมีราคาสูงขึ้น การคิดค้นหาวิธีใช้ประโยชน์จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยทำผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปชนิดใหม่ที่สามารถเก็บรักษาได้และสามารถผลิตในรูปแบบของอุตสาหกรรมได้ จะเป็นวิธีทางหนึ่งที่จะทำให้มีการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบในปริมาณที่มากขึ้น

ทอทิลลารีชีฟส์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกอาหารว่าง (snack foods) ชนิดหนึ่งที่ทำจากข้าวโพด มีลักษณะเป็นแผ่นกรอบ มีกลิ่นรสข้าวโพด ส่วนใหญ่มีสีเหลืองตามสีของข้าวโพด จัดเป็นผลิตภัณฑ์พวกเดียวกับมันฝรั่งทอด (potato chips) ป๊อปคอร์น (pop corn) ผลิตภัณฑ์ประเภทขนมพอง (expanded product) ถั่วและผลิตภัณฑ์ถั่วต่าง ๆ ซึ่งมีจำหน่ายตามซูเปอร์มาเก็ตและร้านค้าทั่วไป ทอทิลลารีชีฟส์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป (ready-to-eat) ที่รับประทานง่าย สะดวกแก่การนำไปทุกหนทุกแห่ง ให้ความเพลิดเพลินในเวลาชบเคี้ยว และให้ความอิ่มเมื่อรับประทานเป็นจำนวนมาก องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของทอทิลลารีชีฟเป็นคาร์โบไฮเดรต ถ้าหากต้องการปรับปรุงให้มีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้นอาจกระทำได้โดยการเติม

เกลือแร่และวิตามินที่ต้องการลงไป หรือจะเสริมโปรตีนโดยการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองหรือโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ เพื่อให้คุณค่าทางอาหารครบสมบูรณ์ หรือทำการปรุงแต่งกลิ่นรสโดยการใช้สมุนไพร

คนไทยนิยมรับประทานอาหารว่างกันมากขึ้นโดยรับประทานกันในยามว่างหรือใช้เป็นเครื่องเล่น ดังจะเห็นได้จากการขยายตัวของตลาดอาหารว่าง เช่น มันฝรั่งทอด ข้าวเกรียบกุ้ง และอื่น ๆ ทั้งชนิดที่สั่งมาจากต่างประเทศและที่ทำภายในประเทศ คาดคะเนได้ว่า หากมีการผลิตคอร์นชิพส์ขึ้นจำหน่ายภายในประเทศในราคาถูกและมีคุณภาพดี ประชาชนจะนิยมบริโภค เป็นการแก้ปัญหาหาคาข้าวโพดอันเป็นผลจากความแปรปรวนของราคาข้าวโพดในตลาดโลก และอาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศได้

ทอร์ทิลลารชิพส์สามารถผลิตได้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวโพดธรรมดา (ศุภวรรณ, 2523) แต่เนื่องจากประเทศไทยส่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นสินค้าออกในปี พ.ศ. 2545 ในราคา กิโลกรัมละ 3.95 บาทแต่ราคาข้าวโพดธรรมดาส่งออกกิโลกรัมละ 7.71 บาท ดังนั้นในการทดลองจะใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงกรรมวิธีและเทคนิคการทำขนมขบเคี้ยวที่มีคุณภาพดี และศึกษาการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ทางฟิสิกส์ ทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
- 1.2.2 ศึกษาการหาปริมาณส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ขนมขบเคี้ยวที่มีคุณภาพดี มีสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค
- 1.2.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปริมาณส่วนผสมในการหาสูตรการทำขนมขบเคี้ยว และสภาวะการเก็บ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงานวิจัยนี้จะพัฒนาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้เป็นขนมขบเคี้ยว ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว

2.1.1 ข้าวโพด

2.1.1.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าวโพด

pericarp เป็นเยื่อบาง ๆ หุ้มเมล็ด ไม่มีสี ที่ส่วนยอดของเมล็ดจะมีรอยอันเกิดจากเส้นไหมที่แห้งและหลุดร่วงไป เรียกว่า silk scar

testa หรือ pure seed coat เป็นชั้นที่อยู่ใต้ *pericarp* *testa* และ *pericarp* รวมกันเรียกว่า hull มีองค์ประกอบเป็นพวก cellulose และ hemicellulose เป็นส่วนใหญ่

aleurone layer เป็นเยื่อบาง ๆ ที่อยู่ใต้ *testa* และหุ้มส่วนของเอนโดสเปิร์มทั้งหมด ไม่มีสี จึงยากแก่การสังเกตหรือแยกออกจาก *testa* หรือ *pericarp* มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดเพราะเป็นที่สังเคราะห์เอนไซม์สำคัญ ๆ ที่ใช้ย่อยอาหารในเอนโดสเปิร์ม

เอนโดสเปิร์ม (*endosperm*) เป็นส่วนที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ด มีสีต่าง ๆ เช่น เหลืองหรือขาว อาหารที่เก็บสะสมในเอนโดสเปิร์มส่วนใหญ่เป็นแป้ง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แป้งชนิดอ่อน (*floury endosperm*) เป็นแป้งซึ่งรวมกันอยู่อย่างหลวม โดยมากพบที่ส่วนบนหรือส่วนกลางของเมล็ด มีสีขาวขุ่น แป้งชนิดแข็ง (*horny endosperm*) เป็นแป้งซึ่งอยู่รวมกันแน่น พบที่ด้านข้างและด้านบนของเมล็ด มีลักษณะค่อนข้างใส

ต้นอ่อน (*embryo*) ส่วนนี้มีลักษณะเป็นมัน (*oily portion*) อยู่ค่อนข้างทางด้านล่างของเมล็ด โดยฝังตัวอยู่ทางด้านหนึ่งของเอนโดสเปิร์ม ประกอบด้วยแกนกลาง (*central axis*) ปลายข้างหนึ่งคือ *radicle* ซึ่งมี *coleorhiza* หุ้มอยู่ไปทางด้าน *pedicel* อีกด้านหนึ่งเป็นส่วนของ *stem tip* ซึ่งมีใบอ่อน (*embryonic leaves*) ประมาณ 5 ใบม้วนติดกันเป็นกรวยและมี *coleoptile* หุ้มด้านข้างของแกนกลาง ด้านติดกับเอนโดสเปิร์มจะพบ *scutellum* (*cotyledon*) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวโพดได้แสดงในตารางที่

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวโพด

โครงสร้าง	ปริมาณ (ร้อยละ)	องค์ประกอบ (ร้อยละ)				
		แป้ง	โปรตีน	ไขมัน	น้ำตาล	เถ้า
เปลือกหรือรำ	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3	0.8
ต้นอ่อน	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8	10.1
เอนโดสเปิร์ม	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
ข้าว	0.8	5.3	9.1	3.8	1.6	1.6
ทั้งเมล็ด	100	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4

ที่มา : ณรงค์, 2538

ข้าวโพดเป็นพืชที่นักโบราณคดีสันนิษฐานกันว่ามนุษย์รู้จักปลูกกันมากกว่า 4,500 ปี มีกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ปัจจุบันแหล่งที่ปลูกข้าวโพดกันมากอยู่ในแถบทวีปอเมริกา ข้าวโพดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. และมีอยู่หลายประเภท ได้แก่ ข้าวโพดไร่ชนิดหัวนุบ ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ข้าวโพดข้าวเหนียว ข้าวโพดแป้ง และข้าวโพดป่า ฯลฯ สำหรับข้าวโพดที่เป็นพืชเศรษฐกิจของโลกในปัจจุบันได้แก่ข้าวโพดไร่ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

ข้าวโพดไร่ชนิดหัวนุบ (dent corn) ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Zea mays indentata* เป็นข้าวโพดที่เมล็ดตอมนบนมีรอยนุบสีขาว เนื่องจากตอมนบนเป็นแป้งชนิดอ่อน (soft starch) ส่วนตอมนข้างเมล็ดเป็นแป้งชนิดแข็ง (corneous starch) เมื่อดอกให้แห้งส่วนที่เป็นแป้งอ่อนจึงหดยุบตัวเกิดลักษณะหัวนุบดังกล่าว มีลำต้นสูงตั้งแต่ 8-15 ฟุต ผักยาวตั้งแต่ 6-12 นิ้วและมีเมล็ดระหว่าง 8-24 แถว เป็นข้าวโพดที่ปลูกแพร่หลายในสหรัฐอเมริกาแต่ในเมืองไทยเกษตรกรไม่นิยมปลูก โดยอ้างว่าเมล็ดดูความชื้นง่าย มอดชอบกิน และน้ำหนักเบากว่าพวกหัวแข็ง

ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (flint corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays indurata* ลักษณะเมล็ดค่อนข้างแข็ง กลม เรียบ หัวไม่นุบเพราะมีแป้งชนิดอ่อนอยู่ตอมนกลาง แต่ข้างนอกถูกห่อหุ้มด้วยแป้งชนิดแข็ง เมื่อดอกให้แห้งจึงไม่หดตัว มีขนาดฝักและจำนวนแถวน้อยกว่าพวกหัวนุบ ปลูกกันมากในยุโรป เอเชีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ในประเทศไทยมีปลูกกันมาช้านานได้แก่พันธุ์แก้วเตมาลาซึ่งตลาดต่างประเทศต้องการไปเป็นอาหารสัตว์

2.1.1.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของข้าวโพด

คาร์โบไฮเดรต เมล็ดข้าวโพดประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งอยู่ในรูปของแป้ง (starch) มากที่สุด Kent (1966) ศึกษาพบว่า แป้งที่มีอยู่ในลักษณะธรรมชาติจะมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่มีรสชาติ และไม่เหมาะสำหรับรับประทาน การทำให้แป้งอยู่ในลักษณะที่ย่อยง่ายและเป็นที่ยอมรับในการบริโภคคือการหุงต้ม (cooking) ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

(ready-to-eat-cereal) ธัญพืชจะถูกหุงต้มเรียบร้อยแล้วในระหว่างกระบวนการผลิต การหุงต้มโดยใช้น้ำอุณหภูมิ 60–90 องศาเซลเซียสจะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) และง่ายต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบการย่อยอาหาร แต่ถ้าการหุงต้มไม่ใช้น้ำหรือใช้น้ำเพียงเล็กน้อย จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูง กรณีเช่นนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งเรียกว่า browning reaction ระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) หรือคาร์โบไฮเดรต แป้งก็จะเกิดกระบวนการ dextrinization เป็นบางส่วนด้วย

Inglette (1970) รายงานว่า แป้งจากเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ จะประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในปริมาณต่างกัน อะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวโพดเป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วย D – glucose โมเลกุลของอะไมโลสเป็นแบบเส้นตรง (linear molecule) ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 1,000 หน่วย ส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินเป็นแบบแตกแขนง (branched molecule) มีหน่วยกลูโคส 40,000 หรือมากกว่า ในสารละลายแป้งที่เจือจางหากเติมบิวทิลแอลกอฮอล์หรือสารประกอบพวก polar organic โมเลกุลของอะไมโลสจะตกตะกอน

โปรตีน Reiner และคณะ (1973) รายงานว่า เมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 ส่วนมากอยู่ในเอ็นโดสเปิร์มซึ่งมีประมาณร้อยละ 75 ส่วนมากอยู่ในโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในเมล็ด ในต้นอ่อน (germ) มีโปรตีนมากเป็นอันดับ 2 ประมาณร้อยละ 19 โปรตีนในข้าวโพดมีอยู่ 4 ชนิดซึ่งแบ่งตามคุณสมบัติในการละลายคือ อัลบูมิน (albumin) จะละลายในน้ำ โกลบูลิน (globulin) ละลายในน้ำเกลือ โปรลามีน (prolamine) หรือเซอิน (zeine) จะละลายในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70-80 และกลูเตลิน (glutelin) ละลายได้ในด่าง (0.1 M.NaOH) จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่า ในต้นอ่อนจะมีโปรตีนพวกอัลบูมินและโกลบูลินมากกว่าในเอ็นโดสเปิร์ม ประมาณร้อยละ 8 ส่วนโปรตีนพวกเซอินและกลูเตลินมีอยู่มากในเอ็นโดสเปิร์ม โปรตีนต่าง ๆ ใน เอ็นโดสเปิร์มจะประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณต่างกัันดังแสดงในตารางที่ 2.3 โปรตีนพวกอัลบูมินและโกลบูลินจะมีกรดอะมิโนพวกไลซีน อาร์จินีน และทริพโตแพนมากกว่าโปรตีนพวกเซอินและกลูเตลิน พวกเซอินประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดนอนโพลาร์ (non-polar) ตัวอย่างเช่น ลูซีน อะลานีน และโพลีน เป็นจำนวนมาก อันเป็นสาเหตุให้เซอินละลายในสารละลายแอลกอฮอล์ เซอินมีปริมาณกลูตามีนจำนวนมาก เมื่อไฮโดรไลซ์เซอินด้วยกรดจะเกิดแอมโมเนียขึ้น เซอินมีคุณค่าทางอาหารน้อยกว่าโปรตีนพวกอัลบูมิน โกลบูลิน และกลูเตลิน เพราะเซอินขาดกรดอะมิโนพวกไลซีนและทริพโตแพน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย ส่วนกลูเตลินประกอบด้วยปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย ส่วนกลูเตลินประกอบด้วยปริมาณกรดอะมิโนปานกลางระหว่างเซอินกับโกลบูลินแต่มีเมทไธโอนีนมากกว่า

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด

ส่วนประกอบ	ทั้งเมล็ด (ร้อยละ)	เอนโดสเปิร์ม (ร้อยละ)	ต้นอ่อน (ร้อยละ)	Bran and Tip Cap (ร้อยละ)
เมล็ดข้าวโพด	100	84	10.2	6.3
โปรตีนในเมล็ดข้าวโพด	100	76.4	20.3	3.3
โปรตีนในแต่ละส่วน	9.8	8.8	19.0	5.1
ชนิดของโปรตีน :				
อัลบูมิน	8	4	30	-
โกลบูลิน	9	4	30	-
เซอรัม	39	47	5	-
กลูเตลิน	40	39	25	-

ที่มา: Reiner *et al.*, 1973

Mertz และคณะ (1964) เป็นผู้ค้นพบข้าวโพดพันธุ์ที่มีไลซีนและทริฟโตแพนสูง ข้าวโพดสายพันธุ์ที่พบนี้มีปริมาณไลซีนสูงถึงร้อยละ 14 หรือมากกว่าข้าวโพดปกติถึง 1 เท่าตัว ข้าวโพดพันธุ์นี้เป็นพันธุ์แท้ของลักษณะที่เรียกว่าทึบแสง (homozygous opaque-2) เมล็ดมีลักษณะทึบแสงคล้ายข้าวโพดแบ่งโดยทั่วไป มีปริมาณเซอรัมเพียงร้อยละ 15.7 ส่วนโปรตีนกลูเตลินเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 42.3 และได้พิสูจน์ให้เห็นว่าลักษณะทึบแสงของเมล็ดนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไลซีนที่เพิ่มขึ้น คือหากเมล็ดทึบแสงมากขึ้น ปริมาณไลซีนก็เพิ่มขึ้น ถ้าลักษณะนี้หายไป ปริมาณไลซีนก็ลดลงเป็นปกติ เมื่อทดลองนำไปทดสอบคุณค่าทางอาหารโดยใช้เลี้ยงหนูเลี้ยงหนู เลี้ยงเด็กที่มีอาการขาดอาหาร และทดลองกับผู้ทดสอบที่มีสุขภาพปกติ 6 คน ปรากฏว่าได้ผลดีเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดทั่วไปของอเมริกาและอเมริกาใต้ซึ่งมีโปรตีนเซอรัมร้อยละ 41-60 และมีปริมาณ กลูเตลินร้อยละ 17-31 โปรตีนเซอรัมซึ่งมีมากในข้าวโพดนั้นมีคุณค่าทางอาหารน้อย เพราะไม่มีกรดอะมิโนไลซีน มีแต่ทริฟโตแพนร้อยละ 0.1 ส่วนกลูเตลินมีไลซีนร้อยละ 3.6 และทริฟโตแพนร้อยละ 0.9 จึงมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าแต่ก็มีปริมาณน้อยในข้าวโพด และวิเคราะห์พบว่าพันธุ์ floury-2 มีปริมาณไลซีนสูงกว่าพันธุ์ opaque-2 แต่ต่างก็มีลักษณะเมล็ดเป็นแบ่งและน้ำหนักเบา เมื่อถ่ายทอดลักษณะความมีไลซีนสูงจากข้าวโพดทั้งสองพันธุ์นี้ไปสู่อำนาจพันธุ์ใดก็ตามมักมีผลผลิตไม่ค่อยดี จึงทดลองเอา 2 พันธุ์นี้ผสมเข้าเป็นพันธุ์เดียวกัน ปรากฏว่าได้ข้าวโพดพันธุ์หัวแข็ง ลักษณะทึบแสงและลักษณะแบ่งหายไป น้ำหนักเมล็ดดีขึ้น และปริมาณไลซีนสูงขึ้น

ซึ่งนับได้ว่าข้าวโพดพันธุ์นี้มีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถใช้เสริมโปรตีนกับอาหารชนิดอื่นได้เป็นอย่างดีสำหรับประชากรบางส่วนของโลกที่ขาดโปรตีน

ข้าวโพดพันธุ์ที่มีไลซีนสูงนี้ ประเทศไทยได้สนใจและเริ่มงานทดลองตั้งแต่ปี 2509 โดยทางมูลนิธิร็อกกี้เฟลเลอร์ได้นำข้าวโพดพันธุ์ต่าง ๆ ที่ผสมกับพันธุ์มีไลซีนสูงมาทดลองปลูกที่สถานีทดลองฝึกนิสิตสุวรรณวาจกสิกิจ ปากช่อง โครงการนี้เป็นงานร่วมมือกันระหว่างกรมกสิกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมูลนิธิร็อกกี้เฟลเลอร์ (อำพล, 2510)

ในปี 1971 De Olivera และคณะ ศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดพันธุ์opaque-2 ที่ปลูกในบราซิลเปรียบเทียบพันธุ์ opaque-2 หลายพันธุ์ของสหรัฐอเมริกา พบว่ามีคุณค่าทางอาหารสูงใกล้เคียงกันคือมีไลซีนสูง จะมีบางพันธุ์ที่มีปริมาณกรดอะมิโนแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งการเพาะปลูกและปีที่เพาะปลูกต่างกัน และศึกษาพบว่าหนูที่กินข้าวโพดพันธุ์ opaque-2 ของประเทศบราซิลและของสหรัฐอเมริกาจะมีอัตราการเจริญพอกัน แต่อัตราการเจริญจะสูงกว่าหนูที่กินข้าวโพดพันธุ์ทาง (hybrid corn) และถ้าหากใช้ข้าวโพดข้าวโพดพันธุ์ opaque-2 ผสมกับแป้งสาลีให้หนูกิน เปรียบเทียบการใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว พบว่าค่า PER จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจึงควรใช้พันธุ์ opaque-2 ผสมกับธัญพืชที่มีไลซีนต่ำ อย่างเช่น ข้าวโพดทั่วไปและข้าวสาลีในการผลิตอาหารเพื่อเป็นการเสริมโปรตีนแก่คนที่ขาดโปรตีน

จากผลการศึกษาของ Misra และคณะ (1975) ในเรื่องชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในข้าวโพดทั่วไปและพันธุ์ opaque-2 จะเห็นได้ว่า ข้าวโพดทั่วไปให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าพันธุ์ opaque-2 แต่ปริมาณของกรดอะมิโนในข้าวโพดพันธุ์ opaque-2 ดีกว่าทั่วไปดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในพันธุ์ข้าวโพดทั่วไปและพันธุ์โอเพค-2

ชนิดของกรดอะมิโน	พันธุ์ทั่วไป	พันธุ์โอเพค-2
	ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด	ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด
ไลซีน	1.6	3.5
ทริโตนแพน	0.3	0.8
ลูซีน	16.4	12.1
ไอโซลูซีน	4.3	4.3
ทรีโอนีน	4.0	4.4
เมทไธโอนีน	2.4	2.7
ซิสตีน	2.1	2.1
ฟีนิลอะลานีน	6.8	6.0
ไทโรซีน	5.9	5.2
วาเลีน	5.2	5.9
ฮิสทีดิน	3.0	3.4
อาร์จินีน	3.4	5.1
ไกลซีน	3.3	5.9
อะลานีน	10.1	8.2
ซีรีน	6.0	5.4
กรดแอสพาทิค	7.5	9.4
กรดกลูตามิค	30.0	23.6
โพรลีน	11.3	9.8
ร้อยละของโปรตีน	11.8	10.1

ที่มา: Misra *et al.*, 1975

ไขมัน ในปี 1979 Tan และคณะ ศึกษาปริมาณไขมันหรือน้ำมันที่มีในต้นอ่อน (germ) เอนโดสเปิร์ม เปลือกหรือรำ และข้าวของข้าวโพดพันธุ์ amylose พันธุ์ทาง LG-11 และพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่าทั้งสามพันธุ์มีปริมาณไขมันร้อยละ 9.3 4.9 และ 5.1 ตามลำดับ ในต้นอ่อนมีน้ำมันร้อยละ 39 ส่วนใหญ่เป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ ในเอนโดสเปิร์มจะมีกรดไขมันอิสระชนิดสเตียริลเอสเทอร์ โดกลีเซอไรด์ ไกลโคไลปิด และฟอสโฟไลปิด ในเปลือกหรือรำมีน้ำมันหรือไขมันร้อยละ 0.8-2.5 ส่วนใหญ่เป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ สเตียริลเอสเทอร์ โดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ส่วนข้าวมีไขมันร้อยละ 2.5-2.9 จะมีไตรกลีเซอไรด์ ไกลโคไลปิด และ ฟอสโฟไลปิด

ในปี ค.ศ.1971 Bookwalter และคณะ ได้ศึกษาการผสมแบ่งถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์ข้าวโพด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะให้คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ปราศจากต้นอ่อน (degermed corn meal) ผสมกับแบ่งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน (defatted soy-flour) ร้อยละ 15 หรือแบ่งถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้สกัดเอาไขมันออกร้อยละ 20 หรือ แบ่งถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้สกัดไขมันออกและทำให้สุกแล้วร้อยละ 35 นอกจากนั้น Bressani และ Elias (1966) พบว่าการใช้ข้าวโพดกับถั่วเหลืองผสมกันเป็นที่ยอมรับของนักโภชนาการมานานแล้ว เนื่องจากผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะคุณภาพและปริมาณของโปรตีน Dimler (1967) กล่าวว่ากรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกายของอาหารผสมระหว่างข้าวโพดกับถั่วเหลืองมีคุณค่าใกล้เคียงไขทั้งฟองที่ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบของ FAO และ WHO มากกว่าข้าวโพดหรือถั่วเหลืองอย่างหนึ่งอย่างใดเพียงอย่างเดียว

ในปี ค.ศ 1978 Wang และ Field ได้ศึกษาเกี่ยวกับเมล็ดข้าวโพดกำลังงอก พบว่าหากแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำที่ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จะให้ผลดีที่สุด โดยจะช่วยเพิ่มปริมาณไลซีน เมทไทโอนีน และทริพโตเฟน จากร้อยละ 22.5 9.0 และ 2 ไปเป็นร้อยละ 56.5 45.0 และ 13 ตามลำดับ เมื่อคิดค่า % RNV (relative nutritive value) จะเพิ่มจากร้อยละ 66.8 เป็น ร้อยละ 99.5 เปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ยังไม่งอก สรุปได้ว่าเมล็ดข้าวโพดที่ทำให้งอกจะได้ไลซีนเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า ทริพโตเฟนเพิ่มขึ้น 6.5 เท่า และเมทไทโอนีนเพิ่มขึ้น 5 เท่าของเมล็ดที่ไม่งอก ดังนั้นข้าวโพดที่กำลังงอกจะมีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้นและมีกรดอะมิโนครบถ้วน ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำอาหารภายในประเทศที่กำลังพัฒนา ต่อมาในปี 1979 Hasim และ Fields ศึกษาการทำคอรันิฟส์จากข้าวโพดที่กำลังงอกเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ไม่งอก พบว่าข้าวโพดที่กำลังงอกมีไรโบฟลาวินเพิ่มจาก 0.1 มิลลิกรัมเป็น 0.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และไนอะซินจาก 2.19 มิลลิกรัมเพิ่มเป็น 3.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่โทอะมีนมีปริมาณเท่ากันในเมล็ดทั้ง 2 ชนิด เมล็ดข้าวโพดที่กำลังงอกจะมีค่า %RNV เพิ่มขึ้นร้อยละ 17 เมื่อนำมาทำคอรันิฟส์เปรียบเทียบกันพบว่าคอรันิฟส์ที่ทำจากข้าวโพดที่กำลังงอกจะมีไนอะซินและ

โรโบฟลาวินเพิ่มขึ้นจาก 1.97 และ 0.09 เป็น 3.21 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ และค่า %RNV จะเพิ่มจากร้อยละ 62 เป็นร้อยละ 73 เมื่อนำคอรันิทิลส์ที่ทำจากข้าวโพดกำลังงอกมาทดสอบโดยการชิมเปรียบเทียบกับคอรันิทิลส์ที่ทำจากเมล็ดข้าวโพดธรรมดา พบว่าคอรันิทิลส์ที่ทำจากข้าวโพดกำลังงอกจะมีลักษณะเนื้อที่เปราะแตกหักได้น้อยกว่าและมีรสขมเกิดขึ้น ซึ่งผู้ชิมไม่ยอมรับ แต่ถึงอย่างไรก็ตามคอรันิทิลส์ที่ทำจากเมล็ดข้าวโพดที่กำลังงอกก็ช่วยให้คุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นคือมีความสมดุลระหว่างปริมาณของกรดอะมิโน วิตามิน เกลือแร่ และแคลอรี

2.1.2 น้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวมีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้งมาก ถ้าใช้น้ำมากเกินไป เม็ดแป้งจะแตกตัวมาก ให้เจลที่เหนียว (Gutcho, 1973) ในทางตรงข้ามถ้าใช้น้ำน้อยเกินไป แป้งพองตัวน้อย ไม่สุก จะไม่เกิดเจลมากนัก ได้ก้อนแป้งที่ร่วน และเมื่อนำไปทอดจะไม่พองตัว ผู้ผลิตมักจะคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ใส่เพื่อการคงรูปของก้อนแป้งในขณะหนึ่งให้สุกโดยมิได้คำนึงถึงการเกิดเจลมากนัก จากการตรวจวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวพบว่า ขนมขบเคี้ยวที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวจะใช้น้ำร้อยละ 78 ของน้ำหนักแป้ง เมื่อเติมส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้จะเพิ่มขึ้น การใช้แป้งข้าวเจ้าแต่เพียงอย่างเดียวจะใช้น้ำถึงร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้ง (เกรียงศักดิ์, 2523) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใส่ส่วนผสมอื่นซึ่งมีความชื้นลงไปด้วย ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลง แต่จะลดลงเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของส่วนผสมนั้น

2.1.3 เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส

การบริโภคอาหารนอกจากจะบริโภคเพื่อขจัดความหิวโหยและเพื่อความจำเป็นของร่างกายในการดำรงชีวิตแล้วยังเลือกบริโภคเพื่อความเอร็ดอร่อยของรสอีกด้วย ดังนั้นรสชาติอาหารจึงจัดเป็นลักษณะทางคุณภาพที่สำคัญของอาหารประการหนึ่งสำหรับผู้บริโภคต้องการ และมีอิทธิพลต่อจิตประสาทในการยอมรับอย่างมาก คำตอบของผู้คนส่วนใหญ่ที่บอกว่าชอบหรือไม่ชอบอาหารนั้นมักมีสาเหตุมาจากกลิ่นรสเป็นสำคัญ ทั้งที่สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในอาหารนั้นเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (สายสนม, 2540) การเติมสารปรุงแต่งกลิ่นรสไม่ว่าจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมาจึงเป็นสิ่งที่ทำให้ขนมขบเคี้ยวน่ารับประทานยิ่งขึ้น แม้ว่าสารปรุงแต่งกลิ่นรสจะไม่ใช่ส่วนผสมหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยวแต่ก็มีผลต่อลักษณะปรากฏและรสชาติของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้มีการให้คำจำกัดความของสารที่ใช้ปรุงแต่งกลิ่นรสว่าเป็นสารที่เติมลงในอาหาร ยา หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่บริโภคเข้าไปในปากโดยมีจุดประสงค์อย่างเด่นชัดเพื่อที่จะทำให้เกิดกลิ่นรสขึ้นในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้น (ศิริินทร์, 2536) นอกจากนี้สารปรุงแต่งกลิ่นรสยัง

หมายถึงสารประกอบที่ตามปกติแล้วจะไม่นำมาใช้เป็นอาหารบริโภคโดยตรง และไม่ใช่วัสดุประกอบหลักในผลิตภัณฑ์อาหารไม่ว่าสารนั้นจะมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ตาม แต่จะนำมาเติมลงในอาหารเพื่อจุดประสงค์ทางด้านเทคนิคของการผลิต การแปรรูป หรือการปฏิบัติการใดก็ตามที่ส่งผลต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นหรือรสชาติ หรือทั้งกลิ่นและรสชาติในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างปลอดภัย และได้รับอนุญาตให้ใช้ในประเทศนั้น (สายสนม, 2540)

2.1.3.1 เกลือ

เกลือบริสุทธิ์มีสีขาว มีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นผลึกรูปร่างไม่คงที่ จัดเป็นสั้เหลี่ยมลูกบาศก์ มีสมบัติดูดความชื้นซึ่งจะมากขึ้นถ้าเกลือนั้นไม่บริสุทธิ์ (กล้าณรงค์, 2521) นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์แล้วยังมีโปตัสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ในปริมาณเล็กน้อย หลังจากกินเกลือเข้าไปแล้ว โซเดียมจะถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายทำให้เกิดแรงดันออสโมติกมีผลต่อปริมาณน้ำในและนอกเซลล์ ทำให้ระดับน้ำในร่างกายเป็นปกติ (วิจิต, 2528)

ประเสริฐ (2524) ได้ศึกษาการเติมเกลือในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเมล็ดข้าวโพดหวานอบกรอบ พบว่าการเติมเกลือร้อยละ 0.5-5.5 ของผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มการพองตัว นอกจากนี้เกลียวยังมีผลต่อโปรตีนด้วยโดยทำให้ไมโอซินละลายออกมา จึงทำให้ส่วนผสมมีความเหนียวมากขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหนียวด้วย

ในอุตสาหกรรม การเลือกใช้เกลือบริสุทธิ์เป็นเรื่องจำเป็นอย่างมาก ถ้าเกลือไม่บริสุทธิ์จะทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไปได้ เพราะสิ่งเจือปนในเกลือที่ไม่บริสุทธิ์ มีผลต่อคุณภาพของอาหารได้ เช่น ถ้ามีแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรือแมกนีเซียมไอออน (Mg^{+2}) ปะปนอยู่ในเกลือที่ใช้ทำอาหารจำพวกผัก จะทำให้เกิด hardness ซึ่งเป็นลักษณะของความแข็งกระด้างที่เกิดขึ้นในบางส่วนของอาหารโดยเฉพาะพวกผักใบอ่อน และถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้เกิดรสขมได้ หรือถ้ามีเฟอร์รัส เฟอร์ริกไอออน หรือ คอปเปอร์ไอออนมากจะทำให้เกิดการเหม็นหืนของอาหารจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidation rancidity) ได้ง่ายมาก (กล้าณรงค์, 2521)

เกลือเป็นสารเพิ่มรสชาติของขนมขบเคี้ยว ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 99 ส่วนที่เหลือคือความชื้น จุดประสงค์ของการใช้เกลือในอาหารมีหลายประเภท ประการแรกคือใช้เป็นสารเพิ่มรส (flavoring agent) เพราะเป็นตัวทำให้เกิดรสเค็มในอาหารและรสเค็มนี้จะไปลดความเปรี้ยวให้น้อยลงพร้อมทั้งเพิ่มรสหวานในแง่ประสาทสัมผัส เน้นรสหวานของผลิตภัณฑ์ที่ผสม น้ำตาลให้เด่นชัดขึ้น Whistler และ Paschall (1967) กล่าวว่าในการผลิตขนมขบเคี้ยว หากใส่เกลือลงไปจะทำให้แป้งมีความเหนียวและเกิดเจลลดลง นอกจากนี้เกลียวยังมีผลต่อโปรตีนด้วยโดยทำให้ myosin ละลายออกมา ส่วนผสมจะมีความเหนียวมากขึ้น (ประเสริฐ, 2514)

เกลือที่ใช้ในอาหารนั้นเป็นตัวปรุงรสและสามารถป้องกันการเน่าเสียของอาหารได้ เนื่องจากเกลือเป็นตัวลดความชื้น เมื่อเกลือละลายน้ำ ประจุของน้ำจะถูกดึงตัวเกาะกับประจุของเกลือเกิดเป็น ion hydration ขึ้น ทำให้ความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนไป นอกจากนี้เกลือยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพราะสารละลายเกลือทำให้เกิดการ dehydration ของเซลล์เกิดขึ้นเนื่องจาก osmotic pressure ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเสียน้ำอย่างรุนแรงและหยุดการเจริญเติบโต

2.1.3.2 สารปรุงแต่งกลิ่นรส

การเพิ่มสารให้กลิ่นรสในข้าวเกรียบนั้นอาจทำได้ด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เช่น เพิ่มลงในน้ำมันที่ใช้ทอด หรือนำไปคลุกเคล้ากับขนมขบเคี้ยวหลังทอด นอกจากนี้ยังอาจใส่ในรูปของส่วนผสมเสริม สารให้กลิ่นรสที่นิยมใช้ได้แก่ กลิ่นเนื้อ กลิ่นบาร์บิคิว กลิ่นควัน กลิ่นพิชซ่า กลิ่นส้ม กลิ่นหัวหอม กลิ่นกระเทียม กลิ่นพริกไทย กลิ่นมะนาว กลิ่นปลา กลิ่นเครื่องแกง และอื่น ๆ (Oak, 1974) กลิ่นรสที่ใช้จะแตกต่างกันคือ แบบแรกเป็นกลิ่นรสที่อยู่ในรูปของเหลว แต่แบบที่สองจะอยู่ในรูปผง สำหรับส่วนผสมนั้นเป็นวัสดุที่ให้กลิ่นรสตามธรรมชาติ เช่น เบคอน หอมแห้ง เนยแข็ง มันฝรั่งบด ถั่วเหลืองบด ถั่วลิสงบด งา เป็นต้น ส่วนผสมเหล่านี้จะต้องนำไปผสมกับส่วนผสมที่เป็นของแข็งอื่น ก่อนที่จะผสมกับน้ำ ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 1.5-10.5 ของน้ำหนักแป้ง (Gutcho, 1973)

Gutcho (1973) ได้ปรับปรุงกลิ่นรสและสามารถเก็บรักษากลิ่นรสไว้ได้นานโดยเตรียมสารให้กลิ่นรสเข้มข้นเป็นสารประกอบพวกวงแหวนโพรลีน (proline cyclic) กับไดคีโตน (diketone) ซึ่งเป็นกลิ่นรสอย่างเดียวกับ บัตเตอร์ ปอปคอร์น (battered pop corn) พบว่าผู้ทดสอบส่วนมากยอมรับ

Nadison (1969) กล่าวว่า การนำกลิ่นรสสำเร็จรูปมาใช้ในอาหารอาจทำได้ 2 แบบคือ การฉาบผิวหน้าอาหาร (surface coating) ทำได้โดยการโรยเครื่องปรุงลงในอาหารที่ทอดหรืออบหรือผสมเครื่องปรุงกับน้ำมันก่อนฉีด (spray) ลงในอาหาร วิธีนี้มีข้อเสียคือ เทคนิคการฉีดของสารแขวนลอยที่มีเครื่องปรุงรสกับน้ำมันต้องใช้เครื่องมือพิเศษและต้องระวังเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์ หรือใช้วิธีผสมเครื่องปรุงรสลงในส่วนผสมก่อนกระบวนการเอ็กทราซัน วิธีนี้มีข้อเสียคือ การใช้ความร้อนสูงในกระบวนการเอ็กทราซัน การอบ หรือการทอดทำให้สารให้กลิ่นรสชนิดที่ระเหยได้ สูญเสียไป และบางครั้งอาจเกิดกลิ่นรสไม่ดี

2.1.4 น้ำมันสำหรับทอด

น้ำมันเป็นตัวนำความร้อน ทำให้ขนมขบเคี้ยวพองตัว ช่วยหล่อลื่นไม่ให้ข้าวเกรียบติดภาชนะที่ใช้ทอด น้ำมันจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ตลอดเวลา ฉะนั้นคุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้จึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวเกรียบมาก น้ำมันที่เหมาะสมสำหรับทอดจึงต้องบริสุทธิ์ไม่สลายตัวได้ง่าย (Fox and Carmeron, 1970) การผลิตข้าวเกรียบในประเทศไทยนั้นกล่าวถึงการใช้ไขมันไว้น้อยมาก มีเพียงกล่าวไว้ว่า ควรใช้น้ำมันพืช จะทำให้เก็บข้าวเกรียบได้นานกว่าน้ำมันหมู (ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2523) ถึงแม้การทอดจะเป็นการลดความชื้นและเพิ่มน้ำมันในอาหาร (Siegel, 1974) แต่ก็ไม่ต้องการให้เหลือน้ำมันอยู่ในอาหารมากนัก เพราะนอกจากผู้ผลิตจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงแล้ว ยังทำให้ข้าวเกรียบมีผิวเยิ้ม เหนอะหนะ ไม่น่ารับประทาน (Feustal *et al.*, 1963)

น้ำมันที่ใช้ทอดจะถูกดูดซับไว้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทพองกรอบค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 40 (Matz, 1984) ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการทอดมีดังนี้คือ สภาพพื้นที่ผิวของอาหาร ลักษณะและโครงสร้างของอาหาร ความชื้นเริ่มต้น เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด สาเหตุการอมน้ำมันส่วนใหญ่มาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด หากอุณหภูมิต่ำไปการอมน้ำมันจะมาก การทอดนานจนสุกมากเกินไป (overcook) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอมน้ำมัน ความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนทอดถ้าสูง การอมน้ำมันก็จะเพิ่มตามไปด้วย สำหรับสภาวะการทอดจะมีผลต่อ ผลิตภัณฑ์ได้มาก โดยการทอดจะทำให้เกิดการพองตัวของแป้งขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ การพองตัวขึ้นกับปัจจัย 2 อย่างคือความดันและความต้านทาน ความดันเกิดจากการให้พลังงานเข้าไปในอาหารจะโดยวิธีใดก็ตาม ทำให้น้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรงหรือรูพรุนเพื่อให้ความชื้นหลุดออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะที่เดียวกันก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดมิให้น้ำขยายตัวหรือหลุดออกไป ถ้าใช้พลังงานทอดพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับความต้านทาน การพองตัวที่ได้จะสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนก็จะแห้ง (ธงชัย, 2535)

การทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหาร (deep fat frying) อาหารจะจมในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงเกิดฟองปุดอย่างรุนแรงเนื่องจากน้ำบริเวณผิวอาหารระเหย ทำให้ผิวอาหารด้านนอกพองกรอบและเกิดสีน้ำตาลทองในเวลาอันสั้น อาหารชุบแป้งเมื่อทอดที่อุณหภูมิ 150-220 องศาเซลเซียส น้ำภายในอาหารจะระเหยอย่างรวดเร็วและแป้งผิวนอกจะสัมผัสกับอุณหภูมิสูงมากจนเกิดเจลาคีโนเซชันใสมากกว่าแป้งที่อยู่ด้านใน เมื่อความชื้นที่ผิวด้านนอกลดลงถึงจุดหนึ่ง จะเกิดการพองตัวกรอบและเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (caramelazation) ของน้ำตาล โดยเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของน้ำตาลหลายชั้นในแป้งจนได้น้ำตาลชั้นเดียวแล้วเกิดโพลี

เมอร์ไรซ์เซชัน (polymerization) จนได้สีน้ำตาล ถ้าทอดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดการพองตัวน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่ผิวนอกเร็วเกินไปโดยที่ข้างในยังไม่สุก (Thorner, 1973) และจากการศึกษาของคมคาย (2536) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอดมันเทศ 4 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง (ตราอรุณ) น้ำมันรำข้าว (ตราคิง) น้ำมันปาล์ม (ตรามรกต) และน้ำมันหมูเจียวแล้วที่มีขายตามท้องตลาด พบว่าผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันเทศทอดกรอบด้วยน้ำมัน 4 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่การทอดด้วยน้ำมันปาล์มจะทำให้ได้รับคะแนนความยอมรับรวมสูงที่สุด น้ำมันปาล์มยังทนต่อการเกิดออกซิเดชันได้ดี นอกจากนี้ยังไม่ค่อยเกิดฟองเวลาทอด (กมลทิพย์, 2542) รวมทั้งยังมีราคาถูกที่สุด

น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันรำข้าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีกลิ่นหืนยากกว่าและยังไม่เกิดควันเมื่อผัดหรือทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง น้ำมันปาล์มสามารถสกัดได้จาก 2 แหล่ง คือ จากเมล็ด (kernel) และจากเนื้อ (mesocarp) ของปาล์มน้ำมัน น้ำมันปาล์มที่บริโภคเป็นน้ำมันที่สกัดจากส่วนเนื้อจึงเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อปาล์ม (palm olein from mesocarp) มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงมาก และได้พิสูจน์แล้วว่าไม่มีผลในการเพิ่มการสร้างโคเลสเตอรอลในเลือดเหมือนน้ำมันจากสัตว์ มะพร้าว เมล็ดปาล์ม และถั่วลิสง (วิสิฐ, 2535)

2.2 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตขนมขบเคี้ยวในปัจจุบันมีวิธีการผลิต 3 แบบ คือ การผลิตแบบใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ การผลิตแบบก้อนแป้ง (dough) และการผลิตแบบแป้งเหลว (batter) การผลิตแบบใช้เอกซ์ทรูดเดอร์ นั้นเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ซึ่งมีความสะดวกในการผลิตมาก ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกรรมวิธีนี้จะรับประทานได้ทันที (Siegel, 1974) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีหลายรูปแบบและมีความหนาแน่นต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ธัญพืชและพืชตระกูลถั่ว สำหรับการผลิตแบบทำเป็นก้อนแป้งนั้น อาจทำได้ทั้งแบบพื้นบ้านและแบบใช้เครื่องจักรทันสมัย การผลิตแบบพื้นบ้านทำโดยนำแป้งมาทำให้สุกบางส่วนหรือผสมแป้งสุกมาบางส่วน (Gutcho, 1973) นวดให้เหนียว หลังจากนั้นจึงนึ่งให้สุก หั่นเป็นแผ่น ตากแห้ง กรรมวิธีการผลิตใช้เวลา 4-5 วัน นิยมทำกันในประเทศไทย (นิรมล, 2527) สำหรับการผลิตด้วยเครื่องจักรใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งข้าวเกรียบข้าวเจ้า (sembe) และข้าวเกรียบข้าวเหนียว (arare) วิธีการผลิตเป็นระบบต่อเนื่อง ใช้เวลาผลิต 3-4 ชั่วโมง (Li และ Luh, 1980) ส่วนการผลิตแบบแป้งเหลวนั้นมีวิธีการผลิตคล้ายกับการผลิตก๋วยเตี๋ยว กล่าวคือ ใส่น้ำแป้งลงในภาชนะให้สุกแล้วตัดเป็นชิ้นเล็ก ฝึ่งให้แห้ง (Siegel, 1974)

การผลิตข้าวเกรียบแบ่งเป็นขั้นตอนการผลิตคือ การเตรียมวัตถุดิบ การผสมและการนวด การปั้นและนึ่งก้อนแบ่ง การหั่น การทำให้แห้ง และการทอด

2.2.1 การผสมและการนวด

วิธีผสมและนวดนั้นแตกต่างกันไปตามวิธีการผลิตหรือชนิดของผลิตภัณฑ์ ถ้าเป็นการผลิตแบบใช้เครื่องเอกซ์ทราuderการผสมจะนำเอาส่วนที่เป็นของแห้งไปผ่านเครื่องเพื่อให้ผสมกันพร้อมกับพองตัว ต่อจากนั้นจึงนำไปเคลือบกลี้น สี หรือรสต่อไป ส่วนการผลิตแบบก้อนแบ่งจะต้องผสมส่วนผสมทุกชนิดเข้าด้วยกันก่อนทำให้สุก

พรณี (2530) กล่าวว่า ในการทดลองผลิตข้าวเกรียบปลา การนวดแบ่งจะมีผลต่อการพองตัวของแบ่งข้าวเหนียวมากกว่าแบ่งข้าวเจ้า ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดแบ่งของแบ่งข้าวเหนียวแตกง่าย ส่วนเม็ดแบ่งของแบ่งข้าวเจ้าแข็งแรงและแตกยาก

สำหรับข้าวเกรียบญี่ปุ่นนั้น การนวดและการผสมจะทำหลังจากนำแบ่งที่มีความชื้นร้อยละ 38 ไปนึ่ง โดยใช้เวลานึ่ง 15-30 นาที การปฏิบัติเช่นนี้ทำให้แบ่งส่วนหนึ่งสุกทำให้เม็ดแบ่งแตกตัว ปล่อยให้เย็นตัว 2-3 นาที แล้วนำไปนวด ปล่อยให้เย็นลงอีก ตัดเป็นชิ้นเล็ก นำไปผสมกับเครื่องเทศ นวดอีกครั้งหนึ่งในภาชนะ นำไปแช่แข็งเพื่อลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอุณหภูมิตั้ง 2-5 องศาเซลเซียส เก็บไว้ที่อุณหภูมินี้ 2-3 วันเพื่อให้แบ่งแข็งตัวและมีความเหนียวมากขึ้น ตัดเป็นชิ้นเคลือบด้วยซีอิ๊วและเครื่องปรุงรส แล้วนำไปลดความชื้นให้น้อยลงอีก การเคลือบซีอิ๊วอาจทำก่อนหรือหลังการทำให้พองตัวแล้วก็ได้ (Li and Luh, 1980)

สำหรับการผลิตแบบทำแบ่งเหลวนั้นไม่ยุ่งยากนัก โดยผสมส่วนผสมทุกชนิดเข้าด้วยกันจนมีลักษณะเป็นของเหลวข้น นำส่วนผสมนี้ไปเทลงในถาดให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตรหนึ่งให้สุก แล้วตัดเป็นแผ่นตามขนาดที่ต้องการ นำไปตากให้แห้ง (ชวนชม, 2517)

2.2.2 การปั้นและการนึ่ง

หลังจากที่ผสมและนวดจนได้ที่แล้ว จะแบ่งแบ่งเป็นก้อน ๆ แต่ละก้อนมีน้ำหนักเท่ากันแล้วปั้นเป็นแท่งกลมยาวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75-2 นิ้ว (งามจิตร, 2529) วางลงในลังถึงโดยมีใบตองหรือผ้าดิบชุบน้ำพอหมาด ๆ รองไว้ แบ่งแต่ละก้อนควรวางให้มีระยะห่างกันประมาณ 1 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันการติดกัน ต่อจากนั้นจึงนึ่งด้วยไฟกลาง (นิรมล, 2527) จนมีอุณหภูมิประมาณ 88-90 องศาเซลเซียส (Gutcho, 1973) ส่วนระยะเวลาที่ใช้หนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนแบ่ง โดยปกติใช้เวลาหนึ่ง 40 นาทีสำหรับก้อนแบ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75-1 นิ้ว (นิรมล, 2527) นึ่ง 1-1.5 ชั่วโมงสำหรับก้อนแบ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-1.5 นิ้ว (ประเสริฐ , 2514) หรือหนึ่งจนก้อนแบ่งใส (ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2523) ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้

ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแป้งที่เป็นส่วนผสม (ผ่องพรรณ, 2513) ตำรับที่ใช้แป้งมัน 3 ส่วน และปลาหมึกกล้วย 2 ส่วนใช้เวลาหนึ่งเพียง 1 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้แป้งข้าวเจ้าแทนแป้งมันสำปะหลัง จะต้องใช้นานขึ้นมิฉะนั้นแป้งจะไม่สุก (ผ่องพรรณ, 2513) นอกจากนี้ยังขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้ ถ้าใช้ปริมาณน้ำมากแป้งจะสุกเร็วแต่ก้อนแป้งอาจไม่สามารถรักษารูปทรงไว้ได้ ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะสุกช้าหรือไม่สุกเลยถึงแม้จะใช้เวลาหนึ่งนาน อีกประการหนึ่งในขณะนี้ควรระมัดระวังมิให้น้ำหยดลงไปบนก้อนแป้ง มิฉะนั้นแป้งอาจละลายได้ (Gutcho, 1973)

2.2.3 การหั่น

หลังจากที่หนึ่งก้อนแป้งจนสุกแล้วจะต้องทิ้งก้อนแป้งไว้ให้เย็น ถ้าก้อนแป้งมีลักษณะไม่ติดมืออาจหั่นได้ทันที แต่ถ้าก้อนแป้งมีลักษณะเหนียวเหนอะหนะต้องทิ้งก้อนแป้งไว้ให้ผิวแห้งซึ่งต้องใช้เวลา 12 ชั่วโมง (งามจิตร, 2529) บางคนใช้วิธีลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นแล้วนำก้อนแป้งไปผึ่งให้แห้งแข็ง ก่อนจะนำมาหั่นต้องนำก้อนแป้งที่แห้งแข็งนี้มาแช่น้ำไว้ 30 นาที (นิรมล, 2527)

การหั่นอาจทำด้วยมือหรือใช้เครื่องหั่น สิ่งที่ต้องระวังในการหั่นคือความหนาของแผ่น ถ้ามีความหนามาก การพองตัวจะน้อย เนื้อแข็ง แต่ถ้าแผ่นมีความหนาน้อยลง การพองตัวจะมากขึ้น (Li และ Luh, 1980) ความหนาควรอยู่ระหว่าง 1.0-1.75 มิลลิเมตร (นิรมล, 2527)

2.2.4 การทำให้แห้ง

เนื่องจากน้ำมีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมาก ข้าวเกรียบที่มีน้ำมากเกินไปเมื่อนำไปทอดจะเกิดรูพรุนทั่วไป ผิวขรุขระไม่น่ารับประทาน เมื่อลดความชื้นลง รูพรุนขนาดใหญ่ค่อย ๆ หายไป ผิวจะเรียบมากขึ้น (เกรียงศักดิ์, 2523) ในการผลิตข้าวเกรียบจึงต้องควบคุมความชื้นสุดท้ายของข้าวเกรียบให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ ข้าวเกรียบที่มีความชื้นบริเวณพื้นผิวดำกว่าภายในมากเมื่อนำไปทอดจะไม่พองตัว (Gutcho, 1973)

การทำให้แห้งสามารถทำได้ 2 วิธีคือการใช้แสงแดดและการใช้ตู้อบ การทำให้แห้งโดยใช้แสงแดดใช้เวลาประมาณ 1-2 แดด (ผ่องพรรณ, 2513) ระยะเวลาที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่น แผ่นข้าวเกรียบที่มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตรจะใช้เวลาตากแดดเพียง 3 ชั่วโมงเท่านั้น (ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2523) สำหรับการทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบนั้น ถ้าใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง (เกรียงศักดิ์, 2523) การอบแห้งข้าวเกรียบที่ผลิตแบบแป้งเหลวนั้น หลังจากที่ได้ตัดเป็นชิ้นตามขนาดที่ต้องการแล้ว ก็นำไปลดความชื้นซึ่งอาจใช้แสงแดดหรือเตาอบก็ได้ (Siegel, 1974)

หลังจากลดความชื้นแล้ว ความชื้นสุดท้ายควรอยู่ระหว่างร้อยละ 6-12 ความชื้นที่เหมาะสมที่สุดควรเป็นร้อยละ 8 (Gutcho, 1973)

2.2.5 การทอด

การทอดเป็นกระบวนการที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวโดยใช้น้ำมันเป็นสื่อความร้อน ผลของการทอดจะลดความชื้นให้ต่ำลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มไขมันให้มากขึ้นด้วย ข้าวเกรียบที่ทอดแล้วจะมีน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 10-40 (Joslyn and Heid, 1964) ในการทดลองผลิตข้าวเกรียบที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งถั่วเหลือง เมื่อนำไปทอดความชื้นจะลดลงเหลือร้อยละ 3.9 (Siegel, 1974) ปกติการทอดข้าวเกรียบจะต้องใช้น้ำมันมาก น้ำมันที่ใช้ควรมีอุณหภูมิ 175-200 องศาเซลเซียส ทันทีที่สัมผัสกับน้ำมัน พรายน้ำมันจะพุ่งขึ้นมาอย่างแรง เมื่อข้าวเกรียบพองตัวดีแล้วพรายน้ำมันจะหมดไป อาหารจะแข็งและเกิดสีน้ำตาลขึ้น (Fox and Carmeron, 1970) อุณหภูมิที่นิยมทอดข้าวเกรียบจะอยู่ระหว่าง 175-180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเกิดควันเล็กน้อย เวลาที่ใช้ทอดประมาณ 4-5 วินาทีถ้าข้าวเกรียบมีความหนา 1 มิลลิเมตร (ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2523) หรืออุณหภูมิ 177-204 องศาเซลเซียส เวลา 10 วินาทีถ้าข้าวเกรียบมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร (เกรียงศักดิ์, 2523)

สำหรับปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในข้าวเกรียบนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นข้าวเกรียบที่มีความชื้นสุดท้ายก่อนทอดสูงจะดูดน้ำมันมากกว่าข้าวเกรียบที่มีความชื้นต่ำ (Siegel, 1974)

2.3 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยว (snack foods) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป (ready-to-eat) เช่น คอรันชิพ (corn chip) มันฝรั่งทอด (potato chip) ป๊อปคอรัน (pop corn) ฯลฯ วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตขนมขบเคี้ยว ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี มันเทศ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง วัตถุดิบเหล่านี้อาจเป็นชนิดเดียวหรือตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป นำไปผสมและผ่านเครื่องคูกเกอร์เอกซ์ทรูดเดอร์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างต่างกันและมีลักษณะเนื้อหลายแบบ (Smith, 1974)

Gutcho (1973) ได้รวบรวมกรรมวิธีผลิตคอรันชิพส์หลายรูปแบบดังนี้คือ ต้มข้าวโพดในน้ำเดือดที่มี pH เป็นกลางในเวลาจำกัด เมื่อต้มแล้วรินน้ำทิ้งและทำให้เย็น แล้วนำไปปดด้วยไม้หินจนได้ของที่เหนียวเหนียวเรียกว่า มาสา (masa) นำมาสาป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่มีความดันสูงอัดออกมาในลักษณะแบบริบบิน ตัดออกให้เป็นชิ้นให้มีความยาวตามต้องการแล้วนำไปทอดในน้ำมัน พบว่าการเติมแป้งข้าวโพด (corn starch) เกลือและ CMC (carboxy methyl cellulose) ลงในมาสาที่เกิดเจลลาคือในขณะที่ยังต้มอยู่ แล้วนำไปทำให้แห้งจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ก่อนนำไปทอด จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น มีการพองตัวดี กรอบ ผิวหน้าพอง (bubble outer surface) มีกลิ่นรสของข้าวโพดและ cell structure ดี และยังพบว่า การใช้แป้งข้าวโพดร่วมกับแป้งมันฝรั่งในการทำขนมขบเคี้ยวจากมันฝรั่ง (snack chip) โดยใช้แป้งข้าวโพดร้อยละ 40 ร่วมกับแป้งมันฝรั่งร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก จะได้ขนมขบเคี้ยวที่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสดี และอาจ

ใช้ข้าวสาลี ข้าวเจ้า หรือธัญพืชชนิดอื่นจำนวนเล็กน้อย เติมน้ำเข้าไปก่อนนำไปทอดด้วยไม้ท่อนจะทำให้ขนมขบเคี้ยวมีกลิ่นรสหลายแบบ ในประเทศญี่ปุ่นมีการผลิตคอร์นชิพส์ด้วยวิธีการดังนี้ นำแป้งข้าวโพด (corn flour) ที่ร่อนแล้วมานึ่ง ปล่อยให้เย็น เติมน้ำตาลลงไปแล้ววนวดให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียสระยะหนึ่ง ตัดให้เป็นชิ้นเล็กตามขนาดที่ต้องการแล้วทอดในน้ำมัน จะได้คอร์นชิพส์ที่มีลักษณะกรอบและฟู (Gutcho, 1973)

พรธณี (2530) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและคุณภาพของข้าวเกรียบปลา ส่วนผสมที่ใช้ประกอบด้วย แป้ง เนื้อปลา เครื่องเทศ และเครื่องปรุงรส แป้งประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลัง ผสมแป้งข้าวเจ้า ศึกษาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งข้าวเจ้าคือ 100:0 80:20 60:40 40:60 20:80 และ 0:100 และปริมาณเนื้อปลาคือร้อยละ 0 20 40 และ 60 ของน้ำหนักแป้งผสม การผลิตเริ่มด้วยผสมแป้งสุกกับแป้งดิบและเนื้อปลาเข้าด้วยกันให้ความเหนียวพอเหมาะสมสามารถรีดเป็นแผ่นบางได้ หลังจากนั้นจึงตัดเป็นชิ้นเล็ก นึ่งให้สุก อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าในแป้งทำให้ต้องใช้น้ำและแป้งสุกมากขึ้น ปริมาณแป้งสุกและน้ำที่ใช้ไม่มีผลต่อการพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบ การเพิ่มปริมาณเนื้อปลาลงในส่วนผสมทำให้รีดเป็นแผ่นได้ง่าย ใช้แป้งสุกน้อยลง การเพิ่มปริมาณเนื้อปลาและแป้งข้าวเจ้ามีผลให้การพองตัวของข้าวเกรียบน้อยลง ทำให้สีคล้ำลง และความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ความชอบของผู้ทดสอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบปลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเรื่องความชอบสีของข้าวเกรียบนั้นพบว่า ผู้ทดสอบชอบข้าวเกรียบที่ใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 60 และเสริมเนื้อปลาร้อยละ 60 มากที่สุด เมื่อนำข้าวเกรียบนี้มาศึกษาความชื้นและความหนาที่มีต่อการพองตัวและการดูดน้ำมัน พบว่าเมื่อข้าวเกรียบมีความชื้นลดลง การพองตัวจะมากขึ้น ความชื้นก่อนทอดที่ให้ผลดีที่สุดคือร้อยละ 8 ส่วนความหนานั้นพบว่า ข้าวเกรียบมีการพองตัวมากขึ้นถ้าแผ่นข้าวเกรียบมีความหนาน้อยลง ข้าวเกรียบที่มีการพองตัวมากจะดูดน้ำมันมากด้วย

สุรางค์ (2534) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบอยุธยาโดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลีที่ทำให้ลักษณะของข้าวเกรียบด้าน สี ความกรอบ การพองตัว และการดูดซับน้ำมันตรงกับความต้องการของผู้บริโภค โดยทดลองใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเจ้า : แป้งสาลีดังนี้ 81:0:0 80:0:1 79:0:2 71:10:1 70:10:2 61:20:0 60:20:1 และ 59:20:2 พบว่าผู้บริโภคชอบรับประทานข้าวเกรียบที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเจ้า : แป้งสาลี คือ 70:10:1 เนื่องจากความกรอบกำลังดี ไม่แข็งและขึ้นฟูมากจนเกินไป และสีที่ได้เป็นสีเหลืองนวลจึงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

สมยศและคณะ (2533) ได้ศึกษาวิธีทำคอร์นชิพ (corn chip) ในลักษณะกระบวนการผลิตข้าวเกรียบโดยผสมแป้งมันสำปะหลัง ในการผสมครั้งแรกใช้แป้งมันร้อยละ 40 คอร์นชิพที่ได้มี

ความพองมากเกินไป จึงทดลองลดแป้งมันสำปะหลังลงเหลือร้อยละ 30 20 และ 15 พบว่า คอร์นชิพที่ได้จากการผสมแป้งมันร้อยละ 15 จะกรอบและแข็งกำลังดี และคอร์นชิพที่ทำจากแป้งที่ไม่ได้แยกต้นอ่อนออกมีความกรอบน้อย เนื่องจากในต้นอ่อนมีไขมันมากและไขมันทำให้แป้งพองตัวน้อยเวลาทอด ในการแยกต้นอ่อนออกจากเมล็ดข้าวโพด นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีแล้วยังป้องกันการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ เพราะไขมันเป็นแบบไม่อิ่มตัว จะเกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity แป้งที่ได้จากข้าวโพดที่ไม่แยกต้นอ่อนมีไขมันร้อยละ 5.68 ขณะที่ตัวอย่างที่แยกต้นอ่อนมีไขมันเพียงร้อยละ 1.80 ต้นอ่อนที่แยกได้ยังสามารถนำไปสกัดไขมันทำน้ำมันข้าวโพด (corn oil)

ปริศนา (2542) กล่าวว่าทอริทิลลาร์ได้จากการนำเมล็ดข้าวโพดมาแช่ในสารละลายต่างซึ่งมีข้อดีคือนอกจากจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสแล้วยังทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะอีกด้วย หลังจากนั้นนำมาล้างและทำให้แห้งจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 14 นำมาบดและปั้นเป็นโด เรียกโดนี้ว่า มาสา นำโดที่ได้มารีดเป็นแผ่นแล้วนำไปย่าง อบ หรือ ทอด ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า ทอริทิลลาร์ ถ้า นำแป้งทอริทิลลาร์ที่ได้มาทำลักษณะคล้ายขนมเบื้องใส่ไส้และปรุงด้วยเครื่องเทศเฉพาะ เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า Taco ซึ่งเป็นที่นิยมมากในอเมริกากลาง

2.4 การพองตัว

การพองตัวของข้าวเกรียบเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ แบบแรกเกิดจากการใช้เครื่องเอกซ์ทрудเดอร์การพองตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นค่อนข้างสูง โดยนำส่วนผสมของแป้งไปปรับความชื้นให้เหมาะสม ใส่เข้าเครื่องเอกซ์ทрудเดอร์ ขณะที่อยู่ในเครื่องแป้งจะถูกอัดให้อยู่ในช่องว่างที่จำกัด และอยู่ใต้แรงอัดที่สูงมาก แรงอัดนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากการกระทำของเครื่อง อีกส่วนหนึ่งเกิดจากไอน้ำและแก๊สที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน เมื่อแป้งถูกดันให้ผ่านพื้นเครื่องออกมาแรงดันจะลดลงทันที ในสภาพเช่นนี้ไอน้ำที่อยู่ในแป้งจะขยายตัวออก และหนีออกไปทำให้แป้งที่อ่อนตัวลงขยายตัวออกไปด้วย ปริมาตรของแป้งจึงใหญ่ขึ้นและเกิดรูพรุน เมื่อไอน้ำหนีออกไปหมดแล้วจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงเหลืออยู่ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวเกรียบ

การพองตัวแบบที่สองเป็นการพองตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ มีหลักการที่แตกต่างไปจากการพองตัวแบบแรก กล่าวคือ เป็นการสร้างไอน้ำและทำให้เกิดแก๊สขยายตัวภายในก้อนแป้งสุก ไอน้ำและอากาศจะถูกเก็บกักอยู่ภายในจนเกิดแรงดันสูงมาก เมื่อแผ่นแป้งอ่อนตัวลงไอน้ำและแก๊สจะหนีออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการขยายตัวและเหลือเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนไว้ การที่ข้าวเกรียบจะพองตัวได้ดีต้องอาศัยปัจจัยหลายประการ ประการแรกการเกิดไอน้ำและการขยายตัวของแก๊สจะต้องเกิดขึ้นก่อนการอ่อนตัว โดยมีช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม กล่าวคือ ไอน้ำและการขยายตัวของแก๊สที่เกิดขึ้นมีแรงดันสูงมากพอก่อนที่แป้งจะอ่อนตัวลง การพองตัวจะเกิด

ขึ้นมาก หากเกิดไอน้ำเข้าเกินไป เช่น ใช้อุณหภูมิต่ำเกินไป ไอน้ำจะเกิดขึ้นก่อนการอ่อนตัวมาก ไอน้ำส่วนหนึ่งจึงหนีออกไปก่อน แรงดันที่เหลืออยู่จึงไม่มากนัก การพองตัวของข้าวเกรียบจะน้อยลง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การเกิดไอน้ำจะต้องรวดเร็วจนกระทั่งมีแรงดันมากพอก่อนการอ่อนตัวของแป้ง ความหนาของแผ่นข้าวเกรียบก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการพองตัว ถ้าแผ่นข้าวเกรียบหนาเกินไปจะต้องใช้เวลามากกว่าความร้อนจะเข้าไปถึงจุดศูนย์กลางของแผ่น ในลักษณะเช่นนี้ไอน้ำและแรงดันของแก๊สที่เกิดขึ้นที่ส่วนนอกของแป้งจะมีผลให้เกิดการพองตัวขึ้นก่อน ในขณะที่ไอน้ำและแก๊สที่อยู่บริเวณจุดศูนย์กลางยังไม่ได้รับความร้อน ถ้าเอาขึ้นจากน้ำมันในระยาะนี้จะปรากฏเป็นไตขาวตรงบริเวณจุดศูนย์กลาง เป็นลักษณะของข้าวเกรียบที่ยังไม่มีการพองตัว ข้าวเกรียบจะมีปริมาตรน้อยกว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรเดิม ถ้าต้องการให้ข้าวเกรียบพองตัวทั้งแผ่นจะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ข้าวเกรียบไหม้ การที่จะทำให้ไอน้ำเกิดขึ้นก่อนการอ่อนตัวของแป้งเล็กน้อยนั้น จะทำได้เมื่อลดความชื้นของข้าวเกรียบให้น้อยลง ซึ่งเป็นการเพิ่มจุดอ่อนตัวให้สูงขึ้น ถ้าข้าวเกรียบมีความชื้นมากเกินไปจะอ่อนตัวลงในเวลาใกล้เคียงกับการเกิดไอน้ำ แรงดันภายในจะเกิดขึ้นน้อยและไอน้ำที่เกิดขึ้นจะหนีไปทางใดทางหนึ่งทำให้เกิดการพองตัว และเกิดช่องอากาศขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้าง

เมื่อความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบลดน้อยลง การเกิดแผ่นแข็งรอบแผ่นข้าวเกรียบจะง่ายขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำร้อน ไอน้ำจึงหนีไปได้ง่าย ทำให้เกิดแรงดันมาก การพองตัวจึงมีมากขึ้น เมื่อแผ่นข้าวเกรียบมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 9.2-12.8 ไอน้ำจะเกิดขึ้นก่อนการหลอมตัวของแผ่นแข็งที่อยู่รอบเพียงเล็กน้อย และเป็นระยะที่เกิดแรงดันไอน้ำสูงสุด จึงทำให้เกิดการพองตัวมากที่สุด (Li และ Luh, 1980) ข้าวเกรียบที่ได้มีฟองอากาศสม่ำเสมอ แต่เนื้อยังหยาบและดูความชื้นจากอากาศได้เร็วทำให้เก็บได้ไม่นาน เมื่อลดความชื้นลงไปอีก การพองตัวจะลดลงเนื่องจากมีไอน้ำเกิดขึ้นน้อยเพราะมีความชื้นต่ำ ในขณะเดียวกันแผ่นแข็งที่อยู่ทางด้านนอกก็จะหลอมตัว แต่ช้ากว่าการเกิดไอน้ำมาก ไอน้ำส่วนหนึ่งจึงหนีไป การพองตัวของข้าวเกรียบจึงน้อยลง (ณรงค์, 2526) เมื่อแผ่นข้าวเกรียบมีความชื้นร้อยละ 8 การพองตัวของข้าวเกรียบจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ มีรูพรุนเล็ก ๆ อยู่ทั่วไป เนื้อละเอียดและมีลักษณะกรอบแข็ง ดูความชื้นได้ช้า ทำให้เก็บได้นาน อย่างไรก็ตามการพองตัวของข้าวเกรียบที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 8-12 ก็นับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ทั้งสิ้น (Gutcho, 1973)

2.5 ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ

สำหรับภาชนะบรรจุสำหรับอาหารขบเคี้ยวต้องมีคุณสมบัติคือ ป้องกันความชื้นได้ ป้องกันออกซิเจนได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำมันอยู่พอสมควรถ้าออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุได้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และภาชนะบรรจุ

ต้องมีความแข็งแรงพอสมควรเพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ (Matz,1984; Sacharow and Griffin,1980)

ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารขบเคี้ยวควรมีออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยกว่า 1 มิลลิเมตรต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตร ต่อ 24 ชั่วโมง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 23.9 องศาเซลเซียส และมีค่าอัตราการซึมผ่านความดันไอ (Water Vapour Transmission Rate, WVTR) ต่ำกว่า 0.4 กรัม ต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตรต่อ 24 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 อุณหภูมิ 37.7 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ควรน้อยกว่าร้อยละ 3.5 ซึ่งถ้ามากกว่านี้จะทำให้ความกรอบลดลง (Sacharow และGriffin,1980) ภาชนะบรรจุที่ใช้กับอาหารขบเคี้ยวมี 2 ประเภท ได้แก่ กล่องกระดาษซึ่งพับได้ (folding carton) ภายในบุด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วเคลือบด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ หรือทำเป็นกระป๋องรูปทรงกระบอกป้องกันออกซิเจน แสง และความชื้นได้ดี ภายนอกพิมพ์ได้ ทนทานต่อการขนส่งและแรงกระแทกได้ดี วางบนชั้นจำหน่ายได้อย่างสวยงาม เปิดง่าย เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานเป็นปี แต่ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 25 (Labuza,1982) อีกประเภทหนึ่งคือภาชนะบรรจุอ่อนตัวซึ่งมีทั้งแบบขุ่นและแบบใส แบบขุ่นจะป้องกันแสงและช่วยไม่ให้เห็นส่วนที่แตกหักของผลิตภัณฑ์ได้ วัสดุที่ใช้ได้แก่ ฟิล์มเคลือบชนิดต่าง ๆ (laminated film) เช่น พีวีดีซีเคลือบกับกลาสซีน (PVDC/glassine) พีวีดีซีเคลือบกลาสซีนและโอเรียนพีพี (PVDC/glassine/ OPP) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เคลือบด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์นั้นเหมาะสมกับอาหารประเภทขบเคี้ยว (Anonymous,1991; Sacharow และ Griffin,1980) นอกจากที่บแสงและปิดผนึกได้ด้วยความร้อนแล้ว เมื่อเคลือบกับฟิล์มบางๆจะมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น (ตารางที่ 2.5) คือมีค่า 0-0.02 กรัมต่อ 100 ตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อมิลลิเมตร ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ดีควรหนามากกว่า 0.00035 นิ้ว ซึ่งจะมีค่ารูเล็ก ๆ (pin hole) น้อยกว่า 20 ต่อตารางฟุต ถ้ามีการเคลือบด้วยฟิล์มพลาสติก ปัญหาเรื่องรูเล็ก ๆ จะหมดไป (Matz,1984) ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ไม่ทำปฏิกิริยากับไขมันและตัวทำละลายหลายชนิด ทนร้อนได้ถึง 176.67 องศาเซลเซียส ทนแดดได้ดี พับตามรอยพับได้ง่าย และถ้าเคลือบวัสดุชนิดอื่นจะเพิ่มความทนทานและความแข็งแรงขึ้น อะลูมิเนียมฟอยล์บางที่สุดที่ใช้สำหรับทำภาชนะบรรจุควรมีความหนาน้อย 0.005 มิลลิเมตร ซึ่งยอมให้ก๊าซผ่านได้บ้าง

ตารางที่ 2.4 อัตราการซึมผ่านความดันไอของฟิล์มชนิดต่างๆ

วัสดุ	ค่าอัตราการซึมผ่านความดันไอ (WVTR) (กรัม./100ม ² /24ชม./ความหนา 1 มิลลิเมตร)
อะลูมิเนียมฟอยล์ (0.00035นิ้ว)	0.00-0.02
โอเรียนท์โพลีโพรพิลีน (Oriented pp,opp)	0.20-0.40
โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE)	0.70-1.00
โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	1.00-2.00
อันโอเรียนท์โพลีโพรพิลีน (UPP)	0.60-0.90
โอเรียนท์โพลีโพรพิลีนที่เคลือบด้วยโพลีเมอร์	0.30-0.40
0.005 นิ้ว PE/0.00035 นิ้ว อะลูมิเนียมฟอยล์/กระดาษ	0.0032
0.001 นิ้ว PE/0.001 นิ้ว อะลูมิเนียมฟอยล์/กระดาษ	0.0032
0.001 นิ้ว PE	0.0032-0.32

ที่มา: Matz., 1984, Sacharow *et al.*, 1980

ถุงโพลีเอธิลีน (polyethylene, PE) เป็นภาชนะบรรจุใสที่นิยมใช้บรรจุอาหารขบเคี้ยว (Matz,1984) มีทั้งชนิดความหนาแน่นปานกลางและสูง ความหนาของถุงที่ใช้มีตั้งแต่ 1-1.5 มิลลิเมตร ถุงชนิดที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความหนาแน่นสูงกว่าถุงชนิดหนาแน่นปานกลางถึง 0.935 เท่า จะทนต่อการตีบแทงได้ดี กันไอน้ำ ไนโตรเจน และออกซิเจนได้ดี แต่กันคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร (Sacharow *et al.*,1980) เชื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ราคาค่อนข้างถูก และสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ถุงโพลีเอธิลีนที่ใช้กันมากคือ ลินีเยอร์โพลีเอธิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LLDPE-Linear Low density polyethylene) และพวกที่เคลือบ เช่น โพลีเอธิลีนเคลือบกับเซลโลเฟนโพลีเอธิลีนเคลือบกับโพลีโพรพิลีน

สำหรับถุงโพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) มีความหนาแน่น 0.9-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Sacharow *et al.*,1980) มีคุณสมบัติ คือทนทานต่ออุณหภูมิสูง ใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างแข็ง มีความต้านทานต่อแรงดึงได้สูง จึงทนทานต่อการตีบแทงของผลิตภัณฑ์ (Matz,1984) กันออกซิเจนและความชื้นได้ดียอมให้ความชื้นผ่านได้เพียง 0.25-0.5 เท่าของโพลีเอธิลีนเท่านั้น (Sacharow *et al.*,1980) แต่เพราะที่อุณหภูมิต่ำ มีความต้านทานการซึมผ่านของไขมันสูงกว่าโพลีเอธิลีน ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด ไม่มีกลิ่นรส ส่วนโอเรียนท์โพลีโพรพิลีนกันออกซิเจนได้ดีกว่าโพลีโพรพิลีน อีกทั้งทนต่ออุณหภูมิต่ำได้อีกด้วยและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Labuza,1982; Sacharow *et al.*,1980)

การยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกประการหนึ่งทำได้โดยการบรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะช่วยลดความชื้นอันเป็นตัวเร่งให้เกิดความชื้นซึ่งความชื้นทำ

ให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพและมีอายุการจำหน่ายสั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นตัวกำหนดอายุของการขายปลีก การวางจำหน่ายบนชั้นจัดจำหน่ายควรป้องกันความร้อน แสงแดด และแสงไฟที่จะมาสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง (Labuza,1982)

2.6 การเสื่อมเสียของอาหารทอดและวิธีการป้องกัน

ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจะเกิดการสูญเสียคุณภาพจนผู้บริโภคไม่ยอมรับจากสาเหตุใหญ่ ๆ คือการสูญเสียความกรอบกับการเหม็นหืน การสูญเสียความกรอบเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นต่ำมากทำให้สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศบริเวณข้างเคียงได้ง่าย และถ้าความชื้นเกินระดับหนึ่งแล้วผลิตภัณฑ์จะไม่ใช่ยอมรับของผู้บริโภค (มานะ, 2531) Quast และ Karel (1972) พบว่าเมื่อระดับวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดมีค่าสูงถึง 0.4 จะมีผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลงมากที่สุด Katz และ Labuza (1981) รายงานว่าความกรอบแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจะลดลงเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้นไป และเมื่อระดับวอเตอร์แอกติวิตี้ดังกล่าวเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่า 0.3-0.5 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจะไม่เป็นที่ยอมรับ Peleg (1994) พบว่าเมื่อระดับวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่า 0.28-0.55 ความกรอบแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลงจนไม่ใช่ยอมรับของผู้บริโภค

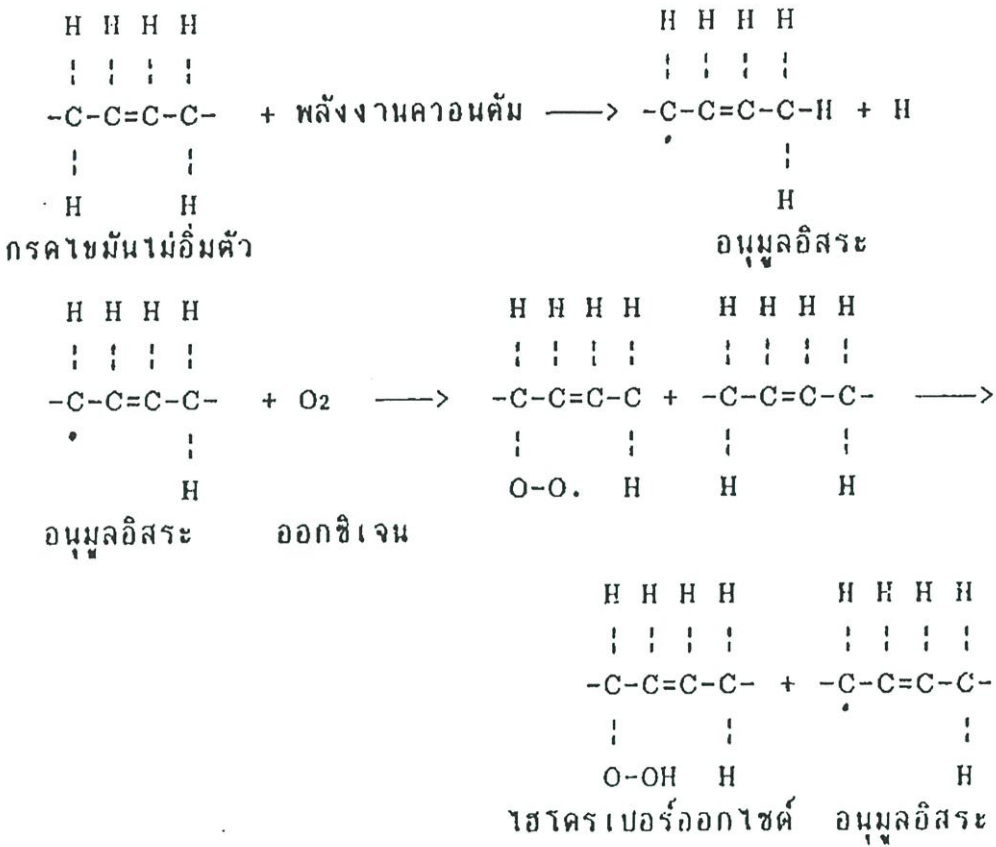
ส่วนการเหม็นหืนเกิดขึ้นเนื่องจากในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภททอด Matz (1984) กล่าวว่า ไขมันจะเป็นตัวก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้โดยเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (oxidative rancidity) และเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว (hydrolytic rancidity) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

การเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (oxidative rancidity) โมเลกุลของน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่ไฮโดรเจนตัวที่อยู่กับคาร์บอนอะตอมที่ใกล้กับคาร์บอนอะตอมที่เกิดพันธะคู่จะถูกแทนที่ด้วยพลังงานควันตัม ซึ่งได้แก่ความร้อนและแสง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 จากนั้นโมเลกุลออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้สารประกอบตัวใหม่ที่เรียกว่าแอกติเวเตดเปอร์ออกไซด์ (activated peroxide) และพลังงานของสารนี้สามารถแทนที่ไฮโดรเจนจากกรดไขมันตัวอื่น ๆ ทำให้ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระ (free radical) ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นและหมุนเวียนไปเรื่อย ๆ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารไม่คงตัวจะสลายต่อไปเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีเส้นสายเล็ก ๆ เช่น กรดไขมัน อัลดีไฮด์ และคีโตน (ธงชัย, 2535) ปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนมีหลายอย่าง โครงสร้างของกรดไขมันจะมีผลต่ออัตราการ

เกิดปฏิกิริยานี้ ไขมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายจุดจะเกิดปฏิกิริยานี้ได้ง่ายกว่า โลหะหนักปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้อัตราเกิดเร็วขึ้น เช่น ทองแดง เหล็ก และโคบอลท์ ไขมันในอาหารมักจะมีโลหะเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย และยากที่จะขจัดออกไปได้หมด แสงจะเร่งการเหม็นหืนไขมัน แสงอุลตราไวโอเลตและแสงคลื่นสั้นที่มองเห็นได้ (สีน้ำเงิน) จะเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด ความชื้นอาจจะมีผลต่อการเหม็นหืนและแตกต่างกันไปตามชนิดอาหาร เช่น ธัญพืชที่มีปริมาณความชื้นต่ำโดยการหอดกรอบ อาจจะทำให้เหม็นหืนเร็ว ในทางตรงกันข้ามไขมันและนมผงจะเก็บได้นาน ถ้าปริมาณความชื้นต่ำ (ศิริลักษณ์, 2522)

การเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการสลายตัว โลเปสจะทำให้ไขมันสลายตัวแล้วให้กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล กรดไขมันที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นลูกโซ่สั้น ๆ ถูกปล่อยออกมา เช่น บิวทีริก แคพโรอิก และแคพริก เป็นผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติไม่ดี ส่วนกรดไขมันอิสระที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นโซ่ยาวจะไม่มีผลต่อรสชาติ นอกจากนี้จะเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนร่วมและมีตัวเร่งในการเปลี่ยนแปลงจากการเติมออกซิเจน เนื่องจากสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นการเหม็นหืนจากการสลายตัวแบบนี้จึงมักเกิดในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านความร้อนสูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ (ศิริลักษณ์, 2522) อาหารขบเคี้ยวส่วนมากจะได้รับอนุมูลอิสระสูงขณะผลิตจึงช่วยให้สามารถควบคุมการเกิดเหม็นหืนจากปฏิกิริยาการสลายตัว (Labusa, 1982)

สำหรับวิธีการป้องกันอาหารเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยววิธีหนึ่งที่ใช้กันคือการใช้สารกันหืน (antioxidants) กับสารเสริมสารกันหืน (synergists) สารกันหืนเป็นสารเคมีที่เติมลงไปในน้ำมันหรืออาหารที่มีไขมันเพื่อชะลอปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน ทำให้เกิดกลิ่นหืนช้า สารกันหืนสามารถป้องกันการเหม็นหืนได้เนื่องจากโมเลกุลของสารกันหืนจะถูกออกซิไดซ์แทนกรดไขมันไม่อิ่มตัวและใช้พลังงานที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระหมดไป (ศิริลักษณ์, 2522) ไขมันและน้ำมันจากพืชผักจะมีปริมาณสารกันหืนในธรรมชาติต่าง ๆ กัน เช่น พวกโทโคเฟอรอล (tocopherols) อย่างไรก็ตามก็จะมีการเติมสารกันหืนเพิ่มเข้าไปในน้ำมันอีกเพื่อที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน สารกันหืนที่สำคัญใช้กันทางการค้าได้แก่ BHA (butylated hydroxyanisole) BHT (butylated hydroxytoluene) TBHQ (tertiary butylhydroquinone) PG (propyl gallate) และ NDGA (nordihydroguaiaretic) ปริมาณของสารกันหืนที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกินร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักทั้งหมดของไขมันและน้ำมันที่มีอยู่รวมถึงไขมันที่จำเป็น (essential oils) ด้วย ซึ่งสารกันหืนที่ใช้อาจจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายอย่างรวมกันก็ได้ (Labusa, 1982) สำหรับสารเสริมกันหืนที่ใช้กันอาจเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และมักจะมีลักษณะเป็นกรด เช่น ฟอสฟอริก ซิตริก ซัลฟิวริก แอสคอบิก เลซิติน และกรดอะมิโนบางตัว



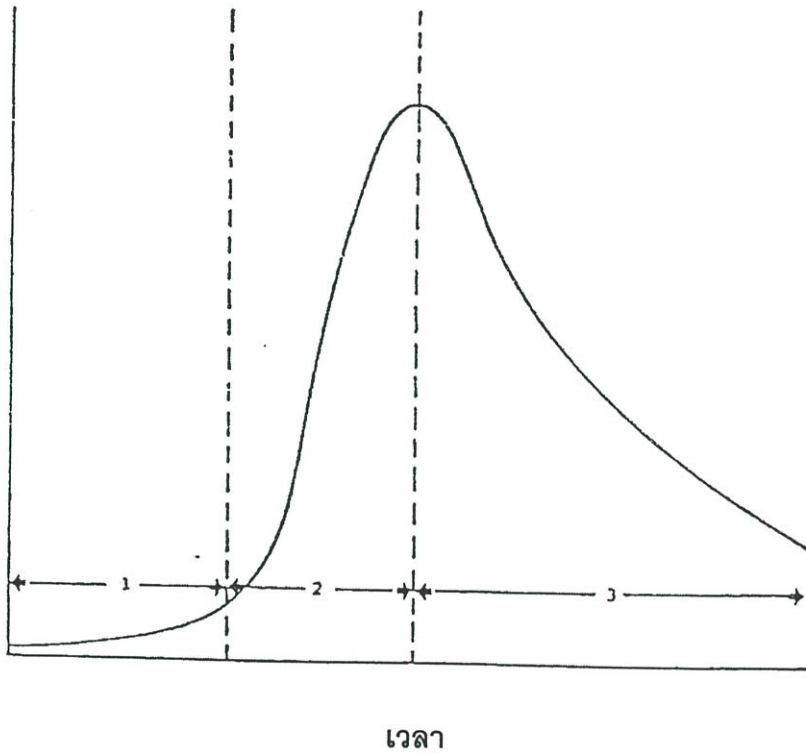
รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดเหม็นหืนของน้ำมัน
ที่มา : ศิริลักษณ์, 2522

2.7 ค่า PV

Pearson (1976) กล่าวว่าค่า PV เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งในช่วงการเกิดระยะแรก ๆ ค่า PV จะน้อยและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการเพิ่มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลา ชนิดของน้ำมัน และอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าสารประกอบเปอร์ออกไซด์ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนโดยตรง แต่จะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเสื่อมเสียของน้ำมันที่เกิดขึ้น

Jan (1987) ได้กล่าวถึงวงจรของค่าเปอร์ออกไซด์ไว้ว่า ค่า PV มีวงจรของการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ระยะ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ค่า PV



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ที่มา: Jan, 1987

ระยะแรก (induction period) ค่าเปอร์ออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับที่ยังยอมรับได้ ไม่แตกต่างจากสภาวะเริ่มต้นมากนัก

ระยะที่สอง (oxidation period) เป็นระยะที่ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นหืนอย่างสังเกตเห็นได้ชัดเจน

ระยะที่สาม (terminal period) ในระยะนี้ค่าเปอร์ออกไซด์จะลดลงเนื่องจากในระยะนี้จะมีปริมาณของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นด้วยนอกเหนือจากค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระยะก่อนหน้านี้ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากันเอง ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันดำเนินไปอย่างช้าลง มีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเช่นกัน

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือ

3.1.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก	Mettler PE 3000	ญี่ปุ่น
3.1.1.2 เครื่องบดแป้ง	Retesh,ZM1000	เยอรมัน
3.1.1.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	TA – XT2i	อังกฤษ
3.1.1.4 เครื่องโม่	Hammer Mill	ไทย
3.1.1.5 เครื่องหั่น	Severin	เยอรมัน
3.1.1.6 เครื่องวัดสี	Minolta Cr – 300	ญี่ปุ่น
3.1.1.7 เครื่องอบลมร้อน	B.W.S – 3	ไทย
3.1.1.8 เครื่องสกัดไขมัน	Buchi 810	เยอรมัน
3.1.1.9 เครื่องสกัดโปรตีน	Buchi B-316	เยอรมัน

3.1.2 วัสดุดิบ

- 3.1.2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณจากบริษัทเจริญโภคภัณฑ์เมล็ดพันธ์
- 3.1.2.2 เปลือก ปรุททิพย์ของบริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
- 3.1.2.3 กลิ่นซีส กลิ่นกุ้ง และ กลิ่นบาร์บิคิวของบริษัท Gims Group
- 3.1.2.4 ถูกลามิเนตเมเทอร์ไลท์ และ ถูงโพลีโพรพิลีนของบริษัท Gims Group
- 3.1.2.5 ตัวดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) Ageless RP300 ของบริษัทเจริญจรัส
ชัยพลาย ญี่ปุ่น

3.1.3 สารเคมี

โซเดียมไบคาร์บอเนต (Food grade) ของบริษัท Merck,Germany

3.1.4 อุปกรณ์

เครื่องแก้วสำหรับงานวิเคราะห์

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 วิธีการดำเนินงาน

3.3.1 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของข้าวโพด

นำตัวอย่างข้าวโพดมาบดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในด้าน

3.3.1 ปริมาณความชื้น (AOAC.1984)

3.3.2 ปริมาณไขมัน (AOAC.1984)

3.3.3 ปริมาณโปรตีน (AOAC.1984)

3.3.4 ปริมาณเถ้า (AOAC.1984)

3.3.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC.1984)

3.3.2 ศึกษาปริมาณเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม

นำข้าวโพดมาโม่หยาบด้วยเครื่อง Hammer Mill และนำข้าวโพดที่โม่แล้วมาบดละเอียดอีกครั้งด้วยเครื่อง Pin Mill จนร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำข้าวโพดที่ผ่านการบดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยละลายเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำแล้วนำไปผสมกับข้าวโพดบดโดยใช้น้ำร้อยละ 60 ของน้ำหนักส่วนผสม นวดเป็นเวลา 10 นาที ปั่นเป็นแท่งกลมยาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว นึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากสุกแล้วทิ้งไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาหั่นด้วยเครื่องหั่นเป็นแผ่นบางมีความหนา 1 มิลลิเมตร ทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (tray dryer) โดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงแล้วนำไปทอดที่อุณหภูมิ 175 – 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 วินาที โดยใช้อัตราส่วนน้ำมัน : ผลิตภัณฑ์คือ 30 มิลลิลิตร : 1 กรัม แปรปริมาณการใช้เกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับคือร้อยละ 0 0.75 และ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบด ตรวจสอบตัวอย่างที่ได้ในด้าน

3.3.2.1 ค่าการแตก ของขนมขบเคี้ยวใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.3.2.2 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.3.2.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นต่าง รสเค็ม รสต่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสและความกรอบ โดยให้คะแนนขนาด 5 ระดับใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข. 1 ให้ผู้ทดสอบ 20 คน

ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อที่ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2 ตามแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design ขนาด 3x 3 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test ส่วนผลการทดลองข้อ 3.3.2.3 ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 9 เพื่อเลือกปริมาณเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม

3.3.3 ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

จากปริมาณเกลือและด่างที่เหมาะสมในข้อ 3.3.2 ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้ปริมาณน้ำ 3 ระดับคือ ร้อยละ 50 55 และ 60 ของน้ำหนักโด ตรวจสอบและวิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้ในด้าน

3.3.3.1 ค่าการแตก ของขนมขบเคี้ยวใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.3.3.2 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.3.3.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นต่าง รสเค็ม รสต่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสและความกรอบ โดยให้คะแนนขนาด 5 ระดับใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข. 1 ใช้ผู้ทดสอบ 20 คน

ทดลอง 2 ข้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อที่ 3.3.4.1 และ 3.3.4.2 ตามแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test ส่วนผลการทดลองข้อ 3.3.4.3 ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 9 เพื่อเลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสม

3.3.4 ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดบดที่แยกและที่ไม่ได้แยกต้นอ่อน

การแยกต้นอ่อนทำโดยนำข้าวโพดมาไม่หยาบด้วยเครื่อง hammer mill จากนั้นแยกต้นอ่อน (germ) โดยนำข้าวโพดที่ผ่านการไม่หยาบไปแช่น้ำเพื่อให้ต้นอ่อนลอยขึ้นสู่น้ำ นำส่วนที่เหลือไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนแห้งจึงนำไปบดละเอียดด้วยเครื่อง pin mill จนร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh หลังจากนั้นนำมาผลิตเป็นขนมขบเคี้ยวเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้แยกต้นอ่อนโดยใช้ปริมาณเกลือและด่างที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 ใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3 ตรวจสอบและวิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3.1-3.3.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 20 คน และทดสอบด้านสี กลิ่นต่าง เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม โดยให้คะแนนขนาด 5 ระดับใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข. 2 เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่มีและไม่มีการแยกต้นอ่อน

3.3.5 ศึกษากลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้ปริมาณเกลือและความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 และใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3 ประูแต่งกลิ่นรสขนมขบเคี้ยวโดยใช้กลิ่นบาร์บิคิว กลิ่นไก่ กลิ่นชีสในปริมาณที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยการนำกลิ่นรสไปคลุกเคล้ากับขนมขบเคี้ยวหลังทอด เปรียบเทียบการใช้กลิ่นรสชนิดต่าง ๆ ตรวจสอบและ

วิเคราะห์คุณภาพของขนมขบเคี้ยวทางประสาทสัมผัสตามข้อ 3.3.1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบ 20 คน โดยศึกษาด้านสี ความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ให้คะแนนขนาด 5 ระดับ ใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข. 3 เพื่อคัดเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสม

3.3.6 ศึกษาสภาวะบรรจุ

นำขนมขบเคี้ยวที่ผลิตตามสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2-3.3.5 มาบรรจุในถุงชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30ไมครอน โดยศึกษาสภาวะการบรรจุดังนี้

ก. ปิดผนึกในสภาวะบรรยากาศ

ข. ปิดผนึกภายใต้ก๊าซไนโตรเจน

ค. ใส่ตัวดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) ในภาชนะบรรจุก่อนปิดผนึก ทดลอง 2 ซ้ำ โดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 1 เดือน ในด้าน

3.3.6.1 ค่าการแตกของขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.3.6.2 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.3.6.3 ค่า TBA (TBA number) (Kirk and Sawyer. 1991)

3.3.6.4 Peroxide value (PV) (AOAC.1984)

3.3.6.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นต่าง รสเค็ม รสต่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความกรอบ โดยให้คะแนน 5 ระดับ ใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข.4 ให้ผู้ทดสอบ 20 คน

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ split – plot design โดย main plot เป็น เวลาการเก็บ และ sub plot เป็นสภาวะการเก็บ ส่วนผลการทดลองข้อ 3.3.6.5 ใช้แผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 9 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test เพื่อศึกษาสภาวะบรรจุที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1

	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)
ความชื้น	11.19±0.06
โปรตีน	10.29±0.13
ไขมัน	4.62±0.20
เถ้า	1.44±0.02
กากใย	1.73±0.10
คาร์โบไฮเดรต	70.73±0.84

พบว่า ข้าวโพดที่นำมาใช้มีคาร์โบไฮเดรตสูงสุดถึงร้อยละ 70.73 รองลงมาเป็นความชื้น ร้อยละ 11.19 และโปรตีนร้อยละ 10.29 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ ศุภวรรณ (2523) ในการหาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 พบว่าสอดคล้องกันคือ จากการศึกษาของศุภวรรณ ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีความชื้นร้อยละ 12.35 โปรตีนร้อยละ 10.15 ไขมันร้อยละ 4.44 เถ้าร้อยละ 1.42 กากใยร้อยละ 1.75 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 69.89 เมื่อศุภวรรณได้นำข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 นี้มาทำคอรันิฟิลส์เปรียบเทียบกับข้าวโพด 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โอเพคคอมพอลิต 2 พันธุ์พื้นเมือง และพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่าข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 เหมาะสำหรับนำมาทำคอรันิฟิลส์มากกว่าข้าวโพดพันธุ์อื่น ๆ เพราะผู้ชิมให้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด

4.2 ศึกษาปริมาณเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์ในด้านสีและค่าการแตก (fracturability) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เมื่อใช้เกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างกัน

SOV	df	P-value			
		การแตก (g.f)	L	a	b
สิ่งทดลอง	8	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
โซเดียมไบคาร์บอเนต	2	0.00*	0.00*	0.01*	0.00*
เกลือ	2	0.80 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.93 ^{ns}
โซเดียมไบคาร์บอเนต X เกลือ	4	0.00*	0.00*	0.00*	0.01*
Error	9				
Total	17				

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตมีผลต่อค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเกลือ พบว่าเกลือจะไม่มีผลต่อค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณานอิทธิพลร่วมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและเกลือพบว่า มีผลต่อค่าการแตก ความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และ ค่าสีเหลือง (b) ($p \leq 0.05$) ผลของปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตและเกลือ ต่อค่าการแตก ความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และ ค่าสีเหลือง (b) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้เกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างกัน

โซเดียมไบคาร์บอเนต (%)	เกลือ (%)	การแตก (g.f)	ค่าสี		
			L	a	b
0	0	782.10±71.76 ^c	73.15±0.71 ^a	5.53±0.36 ^a	38.79±0.85 ^a
	0.75	781.02±159.09 ^c	72.76±1.15 ^a	5.39±0.37 ^a	38.61±1.27 ^a
	1.50	720.37±116.29 ^c	72.51±0.99 ^a	5.30±0.28 ^a	38.18±0.42 ^a
0.75	0	1036.73±158.13 ^b	71.15±0.79 ^b	4.97±0.37 ^b	38.16±0.98 ^a
	0.75	1045.80±304.68 ^b	70.78±1.02 ^b	4.48±0.45 ^c	38.03±0.78 ^a
	1.50	1032.50±249.99 ^b	70.76±0.61 ^b	4.32±0.10 ^{cd}	37.81±0.55 ^a
1.50	0	1319.68±103.92 ^a	69.68±0.51 ^c	4.05±0.40 ^{de}	35.00±0.73 ^b
	0.75	1374.58±126.67 ^a	69.67±0.34 ^c	3.93±0.10 ^e	34.88±0.67 ^b
	1.5	1373.45±180.69 ^a	69.50±1.16 ^c	3.77±0.12 ^e	34.18±0.90 ^b

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าโซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทางด้านการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้งจะมีค่าการแตกสูงที่สุด ค่าการแตกคือค่าความเปราะบางของผลิตภัณฑ์ ถ้าตัวเลขมากผลิตภัณฑ์จะมีความเปราะบางน้อย ส่วนค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้งและเกลือร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง โดยเมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจะวัดค่าการแตกได้มากขึ้น เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดประกอบด้วยโปรตีนชนิดกลูเตนินร้อยละ 35.1 ของโปรตีนในข้าวโพดซึ่งมีมากเป็นอันดับ 2 รองจากเซอีน (Inglett, 1970) กลูเตนินเป็นโปรตีนแบบโกลบูลาโปรตีนที่สานตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและเป็นโปรตีนที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดแป้ง มีคุณสมบัติละลายได้ในด่าง โดยสารละลายต่างจะไปสลายพันธะไฮโดรเจนทำให้โครงสร้างของกลูเตนินคลายตัวจากโครงสร้างขั้นตติยภูมิ (tertiary) เป็นโครงสร้างขั้นทุติยภูมิ (secondary) นอกจากนี้ยังสลายพันธะที่ยึดเกาะระหว่างโปรตีนกับเม็ดแป้งอีกด้วย (อรอนงค์, 2532) หลังจากที่ไม่เลกุลโปรตีนเกิดการคลายตัวและหลุดออกจากเม็ดแป้ง ทำให้โปรตีนเป็นอิสระและเคลื่อนตัวเข้ามาอยู่ใกล้กันและสานตัวกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์และพันธะไฮโดรฟอฟิก (ณรงค์, 2538) ด้วยสาเหตุนี้เมื่อเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปมากขึ้นจึงทำให้ขนมขบเคี้ยวมีลักษณะแข็งขึ้น จากการทดลองของศุภวรรณ (2523) พบว่าข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด เมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวโพดพันธุ์อื่น ๆ พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากพันธุ์สุวรรณมีเนื้อ

สัณณัฒที่แฉงมากที่สุดและเมือใช้ปริมาณไซเดียมไบคาร์บอเนตมากขึ้นจะทำให้ได้ขนมขบเคี้ยวที่มีเนือสัณณัฒแฉงขึ้นด้วย พรรณี (2530) คึกษาการผลิตข้าวเกรียบปลา โดยใช้ปริมาณปลาในปริมาณที่ต่าง ๆ กันคือร้อยละ 0 20 40 และ 60 พบว่าปริมาณเนือปลามีผลต่อความแฉงของข้าวเกรียบเมือใช้ปริมาณปลาเพิ่มมากขึ้นข้าวเกรียบจะมีความแฉงมากขึ้น โดยให้เหตุผลว่าเนือปลาหุ้มเม็ดแบ่งไว้ เม็ดแบ่งจึงแตกตัวได้ยากและจะแฉงตัวเมือแห้ง หรืออาจเป็นเพราะปลามีโปรตีนเมือถูกทำให้สุกจะแฉงตัว ทั้งสองปัจจัยนี้ทำให้ความแฉงของข้าวเกรียบเพิ่มมากขึ้น

จากตารางที่ 4.3 เมือปริมาณไซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นค่าความสว่าง (L) จะมีค่าลดลงเนือจกไซเดียมไบคาร์บอเนตทำให้ pH สูงขึ้นซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกริยาเมลลาร์ด ที่ pH ต่ำน้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุดเช่นที่ pH 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุดในรูป pyranose hemiacetal ring เมือ pH สูงขึ้นน้ำตาลจะเปลี่ยนรูปเป็น reactive acyclic aldehyde ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกริยารวมตัวกันระหว่างน้ำตาลและเอมีนได้อย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2545) ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณท์แสดงดังตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่าความเข้มของสี ความชอบสี ความเค็ม ความชอบรสเค็ม ความชอบรสต่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบเนื้อสัมผัส ความกรอบ และความชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต และเกลือในปริมาณที่ต่างกัน ส่วนความแรงของกลิ่นต่าง ความชอบกลิ่นต่าง และความเผื่อนของต่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อใส่โซเดียมไบคาร์บอเนต และเกลือเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มขึ้น คะแนนความกรอบและคะแนนความชอบความกรอบจะเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบดและเกลือร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดจะได้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด สีค่อนข้างไปทางสีน้ำตาล และมีรสเค็มปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.3 การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตและเกลือร้อยละ 1.5 ผลิตภัณฑ์จะมีค่าการแตกสูงที่สุดซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบความกรอบมากที่สุดนั้นแสดงว่าสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดนี้ผู้ทดสอบชอบที่ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็ง ไม่เปราะแตกง่ายดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตและเกลืออย่างละร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบดสำหรับศึกษาในขั้นต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของศุภวรรณ (2523) ซึ่งผลิตคอร์นชิพจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมต่างกับการทดลองนี้ โดยศุภวรรณใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเพียงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักแป้งเพื่อไม่ให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำจนเกินไป และจะเพิ่มความกรอบให้กับผลิตภัณฑ์โดยใช้แป้งมันสำปะหลังร่วมกับข้าวโพดบด ส่วนปริมาณเกลือนั้นจะใช้เท่ากัน

4.3 ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

เนื่องจากปริมาณน้ำมีผลต่อการเกิดเจลของแป้งและการพองตัว ดังนั้นจึงต้องปรับปริมาณน้ำให้เหมาะสม เมื่อทดลองแปรปริมาณน้ำที่ใช้ผสม 3 ระดับคือร้อยละ 50 55 และ 60 ของน้ำหนักโด นำมาตรวจทดสอบด้านสีและการแตกได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน

ปริมาณน้ำที่เติม (ร้อยละ)	การแตก (g.f)	ค่าสี		
		L	a	b
50	748.76±213.89 ^b	53.55±0.90 ^c	3.47±0.17 ^c	24.46±1.39 ^c
55	790.04±284.28 ^b	55.58±0.94 ^b	10.09±0.41 ^b	26.94±1.21 ^b
60	1387.88±212.61 ^a	70.91±0.99 ^a	11.38±0.41 ^a	35.91±1.16 ^a

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พบว่าปริมาณน้ำทำให้ค่าการแตกและค่าสีของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 ของน้ำหนักโด ผลิตภัณฑ์จะมีค่าการแตกมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ของเม็ดแป้ง เมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนเต็มทีและแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสและอะไมโลเพคตินจะออกมาและสานตัวกันเป็นร่างแหและอุ้มน้ำไว้ซึ่งเรียกว่าการเกิดเจล(กัลลาณรงค์, 2536) ส่วนการใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 50 และ 55 ของน้ำหนักโด ปริมาณน้ำจะไม่เพียงพอต่อการเกิดการเจลลาตินส์ของเม็ดแป้ง โมเลกุลของอะมิโลสจึงยังอยู่ภายในเม็ดไม่เกิดการสานตัวกันเป็นร่างแหทำให้เนื้อของขนมขบเคี้ยวยังมีส่วนที่เป็นเม็ดแป้งที่พองตัวไม่เต็มที่ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะหยาบ ร่วน แดกง่าย (สุรางค์, 2534) เมื่อนำไปวัดเนื้อสัมผัสจึงได้ค่าการแตกน้อย

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 ของน้ำหนักโดจะมีค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) สูงสุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 55 และ 50 จะมีลักษณะใหม่ การไหม้ของผลิตภัณฑ์อาหารทอดโดยใช้น้ำมันท่วม(deep fat fry) เกิดจากเมื่ออาหารโดนน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูง ความชื้นจากอาหารจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็วและเมื่อความชื้นลดลงถึงจุด ๆ หนึ่งจะเกิดเป็นสีน้ำตาลไหม้ของปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลของน้ำตาล (caramelization) ซึ่งได้จากการไฮโดรไลซิสของอะมิโลสจนได้น้ำตาลชั้นเดียว แล้วเกิดโพลิเมอร์ไรซ์เซชันจนได้สีน้ำตาล (Thorner, 1973) ขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 50 และ 55 ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดการเจลลาตินส์ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในขนมขบเคี้ยวก่อนนำมาทอดจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระระหว่างเม็ดแป้งที่ไม่พองตัวเต็มที่ ส่วนขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 ซึ่งเพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ ทำให้น้ำในขนมขบเคี้ยวก่อนทอดอยู่ในรูปของน้ำที่ถูกยึดไว้ด้วยพันธะไฮโดรเจนกับอะมิโลส (ณรงค์และอัญชนีย์, 2528) ดังนั้นเมื่อนำขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำต่างกันมาทอดในระยะเวลาที่เท่ากันขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์น้ำสามารถระเหยออกจาก ผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าขนมขบเคี้ยวที่เกิดเจลลาตินส์อย่างสมบูรณ์เพราะขนมขบเคี้ยวที่เกิดการเจลลาตินส์อย่างสมบูรณ์นั้นน้ำจะถูกยึดไว้ด้วยพันธะไฮโดรเจนกับอะมิโลสทำให้ระเหยออกไปช้า ดังนั้นขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำน้อย ความชื้นจึงลดลงได้เร็วกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลได้เร็วกว่าขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ (ณรงค์และอัญชนีย์, 2528)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกันแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน

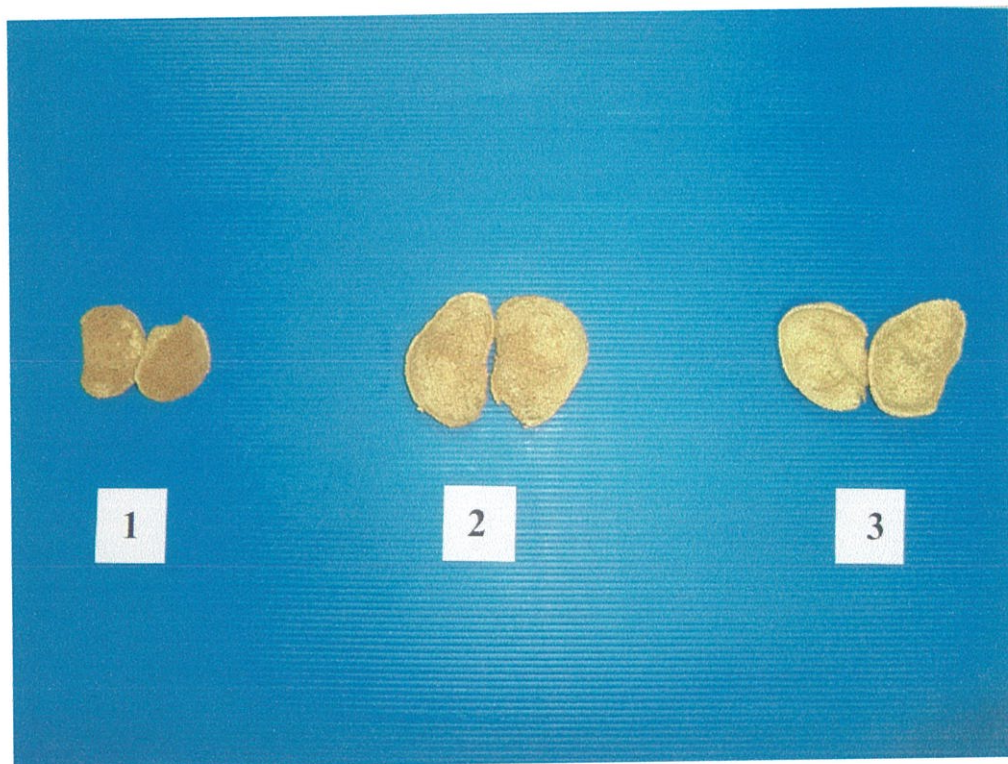
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ร้อยละของน้ำที่เติม		
	60	55	50
ความเข้มของสี	1.93±0.44 ^b	2.10±1.13 ^a	2.10±1.04 ^a
ความชอบสี	4.00±0.65 ^a	1.70±0.80 ^b	1.87±0.92 ^b
ความแรงของกลิ่นต่าง ^{ns}	2.30±0.85	2.15±1.04	2.37±1.17
ความชอบกลิ่นต่าง ^{ns}	2.95±0.79	2.77±0.86	2.75±0.80
ความเค็ม ^{ns}	2.27±0.48	2.00±0.83	2.05±0.81
ความชอบรสเค็ม	3.22±0.87 ^a	2.45±1.05 ^b	2.37±0.90 ^b
ความเผื่อนของต่าง ^{ns}	2.32±0.96	2.05±0.84	2.05±0.89
ความชอบรสต่าง ^{ns}	2.95±0.83	2.50±0.95	2.52±0.91
ลักษณะเนื้อสัมผัส	3.27±0.63 ^a	1.32±0.49 ^b	1.45±0.68 ^b
ความชอบเนื้อสัมผัส	3.70±0.62 ^a	1.77±0.76 ^b	1.85±0.86 ^b
ความกรอบ	3.87±0.60 ^a	2.07±0.49 ^b	2.02±0.69 ^b
ความชอบความกรอบ	3.85±0.61 ^a	1.67±0.69 ^b	1.72±0.73 ^b

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวนอนต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำต่างกัน ความเข้มของสี ความชอบสี ความชอบรสเค็ม ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบเนื้อสัมผัส ความกรอบ และความชอบความกรอบของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ส่วนความแรงกลิ่นต่าง ความชอบกลิ่นต่าง ความเค็ม ความเผื่อนของต่าง และความชอบรสต่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากปริมาณต่างที่ใส่ลงไปเท่ากัน คะแนนความเข้มสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 จะน้อยกว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 50 และ 55 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เนื่องจากการใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 นั้นเพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ของเม็ดแป้ง ทำให้ไม่เกิดการไหม้ สีที่ได้จึงอ่อนกว่าดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้คะแนนความชอบสีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 สูงที่สุด คะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำปริมาณร้อยละ 60 สูงกว่าเมื่อใช้น้ำร้อยละ 50 และ 55 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) นั้นเป็นเพราะปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการเกิดเจลลาตินส์ของเม็ดแป้งทำให้ผลิตภัณฑ์กักเก็บไอน้ำไว้ได้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทอดด้วยความร้อนสูงไอน้ำจะเกิดแรงดันที่สูงมาก เมื่อแผ่นแป้งอ่อนตัวลงไอน้ำจะหนีออกไปอย่างรวดเร็วทำให้ขยายตัวและเหลือเป็นรูพรุนไว้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพองตัวและกรอบ ด้วยสาเหตุนี้ทำให้คะแนนความชอบความกรอบและคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสสูงที่

สุดท้าย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการแตกและค่าสีที่ได้จากตารางที่ 4.5 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ใช้น้ำ ร้อยละ 60 ของน้ำหนักโดมีค่าการแตกสูงสุดซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสสูงสุดเช่นกัน ส่วนค่าความสว่าง (L) ของขนมขบเคี้ยวที่ใช้น้ำร้อยละ 60 มากกว่าเมื่อใช้น้ำร้อยละ 55 และ 50 ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความเข้มสีของขนมขบเคี้ยวที่ใช้น้ำร้อยละ 60 จะมีความเข้มสีน้อยที่สุดและมีคะแนนความชอบสีมากที่สุด (ตารางที่ 4.6)



รูปที่ 4.1 ขนมขบเคี้ยวที่แปรปริมาณน้ำในโดต่างกัน

1. คือ ขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 50
2. คือ ขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 55
3. คือ ขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อใช้น้ำปริมาณร้อยละ 50 และ 55 (หมายเลข 1 และ 2) ขนมขบเคี้ยวมีลักษณะด้านและลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวไม่น่ารับประทานเมื่อเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 60 (หมายเลข 3)

4.4 ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อนเมื่อนำมาทดสอบด้านสีและการแตกได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าการแตก ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน

	การแตก ^{ns} (g.f)	ค่าสี		
		L	a	b ^{ns}
ไม่แยกต้นอ่อน	1234.42±146.36	71.37±0.156 ^a	2.57±0.006 ^a	34.35±0.487
แยกต้นอ่อน	1283.15±256.18	68.97±1.058 ^b	2.98±0.253 ^b	33.17±2.25

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าการแตก และค่าสีเหลือง (b) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความสว่าง (L) และค่าสีแดง (a) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวโพดที่ผ่านการแยกต้นอ่อนจะมีค่าความสว่าง (L) และค่าสีแดง (a) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกต้นอ่อน เนื่องจากการแยกต้นอ่อนนั้นต้องใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานในการอบข้าวโพดบดให้เหลือความชื้นร้อยละ 10 เท่ากับข้าวโพดอบที่ไม่ได้ทำการแยกต้นอ่อน หลังจากนั้นจึงนำมาทำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีคล้ำ แต่ถ้านำข้าวโพดที่ผ่านการแยกต้นอ่อนมาทำเป็นโด (dough) เลยโดยไม่นำไปอบระเหยน้ำออกนั้นพบว่าก้อนโดที่ได้จะร่วนเนื่องจากน้ำที่ใช้ในขณะที่ปั้นโดเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตไนส์ของแป้ง เม็ดแป้งดูดน้ำเข้าไปได้น้อย ไม่เกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ , 2536) ในการทำขนมขบเคี้ยวโดยใช้วิธีการผลิตแบบข้าวเกรียบนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำร้อนร่วมกับขั้นตอนการนวดแป้งเนื่องจากความร้อนจะไปทำให้เม็ดแป้งพองตัวเกิดเจลลิตไนส์และเกิดการสานตัวกันของอะมิโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งและทำให้ก้อนโดที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (สุรางค์ , 2534)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่แยกต้นอ่อน	ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่ไม่แยกต้นอ่อน
ความเข้มข้น ^{ns}	3.52±0.54	3.32±0.52
ความชอบทางด้านสี ^{ns}	3.73±0.76	3.85±0.44
ความชอบทางด้านกลิ่น ^{ns}	3.99±0.93	3.65±1.03
เนื้อสัมผัส ^{ns}	4.15±0.71	4.03±0.77
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส ^{ns}	3.84±0.81	3.89±0.82
การยอมรับรวม ^{ns}	4.25±0.48	3.91±0.80

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกอย่างที่ทดสอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการแตกและค่าสีเหลือง (b) จากตารางที่ 4.7 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดอบที่แยกและไม่ได้แยกต้นอ่อนมีค่าการแตกและค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้าวโพดอบที่ไม่ได้แยกต้นอ่อนในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดูคล้ำจนเกินไป กระบวนการผลิตง่ายและประหยัดกว่า

4.5 ศึกษากลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้กลิ่นรสที่อยู่ในรูปของเหลวกับในรูปผงโดยนำมาคลุกเคล้ากับผลิตภัณฑ์หลังทอด แล้วนำมาทดสอบด้านประสาทสัมผัสจะได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเมื่อใช้สารให้กลิ่นรสในลักษณะที่ต่างกัน

กลิ่นรส	ความเข้มข้น ของsesoning	ความชอบด้าน สี	ความแรงของ กลิ่น	ความชอบด้าน กลิ่น	รสเค็ม	ความชอบด้าน รส	ความชอบด้าน เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
ไม่เติม	2.69±0.97 ^{cd}	2.82±0.83 ^{de}	1.97±0.78 ^d	3.04±0.90 ^{bc}	1.73±0.79 ^c	2.85±0.98 ^b	3.08±0.93 ^b	2.98±1.05 ^b
กลิ่นบาร์บิคิวแบบผง	3.80±0.82 ^a	3.64±0.82 ^{ab}	3.29±0.71 ^b	3.77±0.73 ^a	3.16±0.89 ^a	3.73±0.78 ^a	3.69±0.64 ^a	3.90±0.48 ^a
กลิ่นซีสแบบผง	3.23±0.68 ^b	3.81±0.85 ^a	2.66±0.81 ^c	3.44±0.71 ^{ab}	2.74±0.73 ^b	3.68±0.95 ^a	3.80±0.72 ^a	3.88±0.85 ^a
กลิ่นกุ้งแบบผง	2.75±0.88 ^{bcd}	3.37±0.88 ^{bc}	3.05±0.98 ^{bc}	3.31±0.90 ^b	3.07±0.75 ^{ab}	3.62±0.90 ^a	3.64±0.83 ^a	3.70±0.71 ^a
กลิ่นบาร์บิคิวแบบเหลว	2.93±1.13 ^{bc}	2.56±0.88 ^e	3.38±1.08 ^b	2.70±1.19 ^c	1.85±0.77 ^c	2.45±0.83 ^c	2.74±0.92 ^c	2.69±1.01 ^b
กลิ่นซีสแบบเหลว	2.86±1.08 ^{bcd}	2.44±0.98 ^e	3.88±0.99 ^a	1.89±0.85 ^d	1.68±0.65 ^c	2.02±0.81 ^d	2.37±0.93 ^{bc}	1.99±0.89 ^c
กลิ่นกุ้งแบบเหลว	2.40±0.88 ^d	3.16±0.78 ^{cd}	3.83±0.99 ^a	1.98±0.51 ^d	1.61±0.57 ^c	1.98±0.81 ^d	2.84±0.85 ^b	2.14±0.84 ^c

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแนวอนด่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

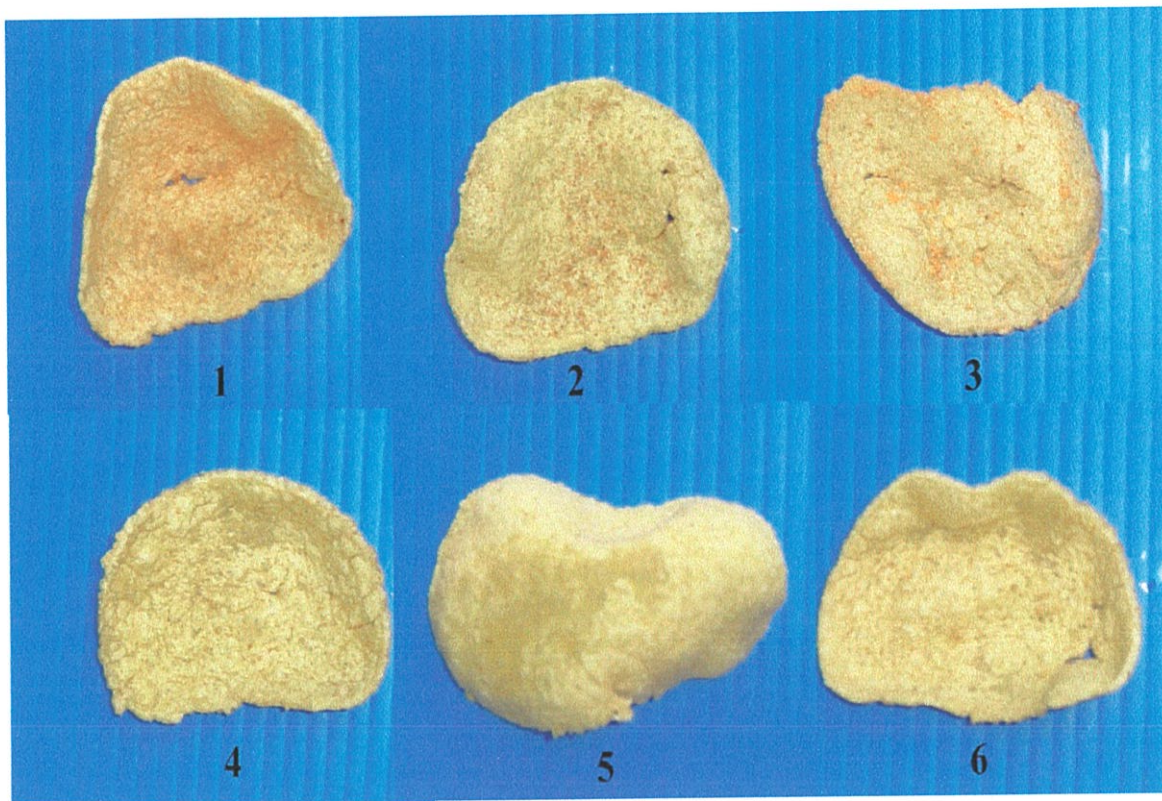
จากตารางที่ 4.9 พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้านที่ทดสอบของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นบาร์บิควินจะได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสต่างจากการใช้กลิ่นซีสแบบผง กลิ่นกึ่งแบบผง กลิ่นบาร์บิควินแบบเหลว กลิ่นซีสแบบเหลว และกลิ่นกึ่งแบบเหลว

ด้านการยอมรับในด้านความชอบด้านสีและความชอบด้านกลิ่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นบาร์บิควินแบบผงจะได้รับการยอมรับสูงกว่าและแตกต่างจากการใช้กลิ่นกึ่งแบบผง กลิ่นบาร์บิควินซีส และกึ่งแบบเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะไม่แตกต่างจากการใช้กลิ่นชนิดซีสแบบผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ด้านความแรงของกลิ่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นซีสแบบเหลว ผู้ทดสอบจะให้คะแนนความแรงของกลิ่นสูงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้กลิ่นกึ่งแบบเหลว ($p > 0.05$) แต่แตกต่างจากการใช้กลิ่นบาร์บิควินแบบเหลว กลิ่นบาร์บิควิน ซีส และกลิ่นกึ่งแบบผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นบาร์บิควินและกลิ่นกึ่งแบบผง ผู้ทดสอบให้คะแนนการทดสอบทางด้านรสเค็มไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่สูงกว่าคะแนนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นซีสแบบผง กลิ่นบาร์บิควิน ซีส และกึ่งแบบเหลว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในด้านความชอบด้านรส ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นบาร์บิควิน ซีส และกึ่งแบบผงได้รับการยอมรับสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างจากการใช้กลิ่นรสแบบเหลวชนิดอื่น จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นรสแบบผงจะได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นรสแบบเหลว ทั้งนี้เป็นเพราะสารให้กลิ่นรสแบบผงนอกจากจะประกอบด้วยสารให้กลิ่นแล้วยังประกอบไปด้วยสารปรุงรสชนิดอื่นเช่น เกลือ โมโนโซเดียมกลูตาเมต และเครื่องเทศหลายชนิด จึงให้ทั้งกลิ่น สี และรสชาติกับผลิตภัณฑ์ (Oak, 1974) แต่กลิ่นรสที่อยู่ในรูปของเหลวประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นผสมอยู่ในน้ำมันซึ่งจะให้กลิ่นอย่างเดียว จึงทำให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสแบบผงมากกว่า



รูปที่ 4.2 ขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสในรูปแบบต่าง ๆ

1. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสบาร์บิคิวในรูปผง
2. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งในรูปผง
3. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสชีสในรูปผง
4. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสบาร์บิคิวในรูปของเหลว
5. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสกุ้งในรูปของเหลว
6. คือขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสชีสในรูปแบบของเหลว

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสบาร์บิคิวผง (หมายเลข 1) มีสีเข้มกว่ารับประทาน เมื่อเปรียบเทียบกับขนมอบเคี้ยวที่ใช้สารให้กลิ่นรสในรูปแบบอื่น

4.6 ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาขนมอบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เมื่อเก็บรักษาขนมอบเคี้ยวในสภาวะบรรจุต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือนและติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมอบเคี้ยวทุก 15 วัน ได้ผลดังตารางที่ 4.10 - 4.12

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA ของขนม
خبเคี้ยว

sov	df	P-value					
		การแตก	L	a	b	PV	TBA
ระยะเวลา	12	0.008 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]
Error	13						
สภาวะบรรจุ	2	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]
ระยะเวลาxสภาวะบรรจุ	24	0.595 ^{ns}	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*]
Error	36						

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

^{*} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าระยะเวลาการเก็บและสภาวะบรรจุมีผลต่อค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA ($p\leq 0.05$) ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและสภาวะบรรจุมีผลต่อค่าสี ค่า PV และค่า TBA ($p\leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าการแตก ($p>0.05$)

ผลของสภาวะบรรจุที่มีผลต่อค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA เมื่อเก็บขนม
خبเคี้ยว นาน 6 เดือน

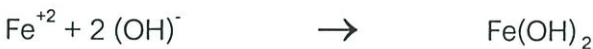
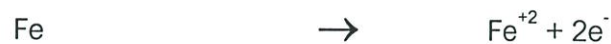
	สภาวะการบรรจุ		
	บรรยากาศปกติ	ก๊าซไนโตรเจน	ตัวดูดซับออกซิเจน
ค่าการแตก ^{ns}	1476.45±277.14	1495.97±260.16	1526.33±261.08
ค่าสี			
L ^{ns}	71.47±1.34	71.74±1.34	72.12±1.66
a	2.54±0.65 ^b	3.71±0.93 ^a	3.86±0.53 ^a
b	32.17±0.67 ^c	33.47±0.67 ^b	34.37±0.76 ^a
PV	8.19±4.44 ^a	5.01±2.67 ^b	4.98±2.64 ^b
TBA	3.58±4.45 ^a	1.56±2.01 ^b	1.76±2.13 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

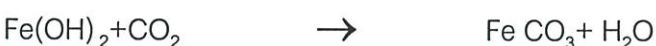
จากตารางที่ 4.11 พบว่าสภาวะบรรจุทั้งสามแบบไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) และค่าการแตกโดยค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลต่อ ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) ค่า PV และค่า TBA

เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่า ค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุทั้งสามสภาวะนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสีแดง (a) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำกว่าที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจน ส่วนขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่าสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีค่าสูงสุดและขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นั้นมีสารแคโรทีนเป็นสารให้สีเหลือง (สนิท, 2530) โครงสร้างของแคโรทีนเป็นสายโซ่ยาวและมีพันธะคู่จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสาเหตุหลักในการทำให้แคโรทีนเสื่อมสลาย (Arya *et al.*, 1979) การบรรจุขนมขบเคี้ยวภายใต้บรรยากาศปกติยังมีออกซิเจนเหลืออยู่นอกจากนั้นระหว่างการเก็บรักษาจะมีก๊าซออกซิเจนแพร่เข้ามาในภาชนะตลอดเวลา (งามทิพย์, 2537) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยสาเหตุนี้ค่าสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติจึงมีค่าน้อยที่สุด ส่วนสาเหตุที่ค่าสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนมีค่ามากกว่าเมื่อบรรจุโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเนื่องจากก๊าซออกซิเจนซึ่งซึมผ่านเข้ามาภายในภาชนะบรรจุในระหว่างการเก็บจะทำให้ปฏิกิริยากับตัวดูดซับออกซิเจนทำให้ภายในภาชนะบรรจุอยู่ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน สารแคโรทีนจึงเสื่อมสลายน้อย แต่ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนถึงแม้ว่าในตอนแรกจะไม่มีออกซิเจนอยู่ภายในภาชนะบรรจุแต่ในระหว่างการเก็บ ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้ามาภายในภาชนะบรรจุซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารแคโรทีนจึงทำให้ค่าสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้สภาวะตัวดูดซับออกซิเจน

ตัวดูดซับออกซิเจนผลิตจากผงเหล็กซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสาร deoxidizer โดยจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนดังนี้ (Abe and Kondon, 1989; วารุณี และ Hirata, 2540)



หรือ



Emenhiser และคณะ (1999) ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและการเก็บมันเทศอบกรอบเป็นเวลา 210 วัน พบว่าการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนร่วมกับการใช้ภาชนะบรรจุที่เป็น nylon film จะช่วยรักษาสีของมันเทศอบกรอบโดยมีปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลืออยู่ไม่ต่างจากเมื่อเริ่มต้นเก็บแต่การปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศอย่างเดียวโดยไม่ใช้ตัวดูดซับออกซิเจนเมื่อเก็บรักษาไว้ 210 วัน ปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลงและแตกต่างจากเมื่อเริ่มต้นเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ปฏิริยาออกซิเดชันของไขมันจะเกิดสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน โดยตัวที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนคือ มาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งแยกออกมาด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำในสภาพเป็นกรดมาโลนัลดีไฮด์ที่ถูกกลั่นออกมาสามารถทำปฏิกิริยากับกรด 2-ไธโอบาบิทูริก (2-thiobarbituric acid) ให้สารละลายสีชมพูซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ 538 นาโนเมตร ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของมาโลนัลดีไฮด์ โดยค่าที่วัดได้เป็นมิลลิกรัมของมาโลนัลดีไฮด์ในตัวอย่างอาหาร 1 กิโลกรัม จะเป็นค่า TBA ซึ่งแสดงถึงระดับของปฏิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น ดังนั้นค่า TBA จึงถูกใช้เป็นตัวติดตามปฏิริยาออกซิเดชันของไขมัน (มณีวรรณ, 2523) นอกจากนี้การเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์อาหารทอดยังสามารถบ่งบอกได้จากค่า PV ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่แสดงถึงการเสื่อมเสียของไขมัน (pearson, 1976) จากตารางที่ 4.11 พบว่า ค่า TBA และค่า PV ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงสุด ส่วนขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและบรรจุในสภาวะตัวดูดซับออกซิเจนมีค่า TBA และค่า PV ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เพราะการบรรจุในก๊าซไนโตรเจนและบรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนทำให้ออกซิเจนที่เหลืออยู่ในภาชนะน้อยกว่าแบบบรรจุในบรรยากาศปกติ จึงทำให้เกิดปฏิริยาออกซิเดชันได้น้อย ผลิตภัณฑ์จึงเกิดการเหม็นหืนน้อย

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวที่มีผลต่อค่าการแตก ค่าสี ค่า PV และค่า TBA ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของระยะเวลาการเก็บขนมขบเคี้ยวต่อค่าการแตก ค่าสี PV และ ค่า TBA

ระยะเวลา การเก็บ (เดือน)	ค่าการแตก	L	a	b	PV	TBA
0.0	1701.00±258.20 ^a	69.61±0.88 ^k	4.81±1.02 ^a	35.01±0.53 ^a	1.02±0.03 ⁱ	0.34±0.02 ^e
0.5	1673.15±219.49 ^a	70.05±0.86 ^{ij}	4.25±0.66 ^{ab}	33.68±1.38 ^{ab}	1.67±0.21 ⁱ	0.36±0.01 ^e
1.0	1597.45±278.64 ^{abc}	70.47±1.17 ^{hi}	3.91±0.43 ^{bc}	34.15±0.72 ^{bc}	2.71±0.94 ^{ij}	0.41±0.07 ^e
1.5	1559.43±256.68 ^{abc}	70.90±0.57 ^{gh}	3.61±0.69 ^{bcd}	33.70±1.17 ^{bc}	3.79±1.69 ^{hi}	0.43±0.11 ^e
2.0	1535.66±245.78 ^{bc}	71.40±0.97 ^{fg}	3.42±0.79 ^{cde}	33.59±1.28 ^{bc}	4.69±1.61 ^{gh}	0.46±0.13 ^e
2.5	1520.45±259.69 ^{bc}	71.65±0.45 ^{ef}	3.35±0.77 ^{cde}	33.46±1.17 ^{bc}	5.21±1.41 ^{fgh}	0.66±0.26 ^e
3.0	1505.77±248.47 ^{bcd}	71.85±0.91 ^{def}	3.30±0.64 ^{cde}	33.35±1.08 ^{bc}	5.79±1.16 ^{efg}	0.74±0.53 ^e
3.5	1511.90±328.62 ^{bcd}	72.18±0.55 ^{de}	3.26±0.58 ^{def}	33.03±1.22 ^{bcd}	7.06±1.36 ^{def}	1.00±0.78 ^e
4.0	1471.83±213.37 ^{bcd}	72.50±0.53 ^{cd}	3.14±0.60 ^{def}	33.97±1.37 ^{cd}	7.47±1.43 ^{cde}	2.15±0.37 ^{de}
4.5	1441.80±235.38 ^{cd}	72.21±0.65 ^{ef}	2.85±0.66 ^{efg}	32.91±0.97 ^{cd}	8.57±2.37 ^{bcd}	3.57±2.26 ^{cd}
5.0	1433.25±247.63 ^{cd}	73.09±0.63 ^{bc}	2.72±0.61 ^{efg}	32.67±0.98 ^{cd}	9.04±2.98 ^{bc}	4.07±3.45 ^c
5.5	1417.77±254.41 ^{cd}	73.76±0.62 ^{ab}	2.57±0.57 ^{hi}	32.55±0.99 ^{cd}	9.94±2.57 ^b	7.23±3.09 ^b
6.0	1373.34±257.68 ^d	74.00±0.82 ^a	2.33±0.63 ⁱ	32.13±1.16 ^d	11.94±3.32 ^a	9.50±2.87 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของระยะเวลาการเก็บขนมขบเคี้ยวที่สภาวะต่าง ๆ กันเป็นเวลา 6 เดือนพบว่า ค่าการแตกของขนมขบเคี้ยวมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ค่าการแตกคือค่าที่วัดความเปราะบางของผลิตภัณฑ์ ถ้าตัวเลขมากผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งแรงมาก เมื่อเก็บนานขึ้น ค่าการแตกมีค่าน้อยลงนั้นแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลง เนื่องจากการดูดซับความชื้นที่สามารถซึมผ่านเข้ามาภายในภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

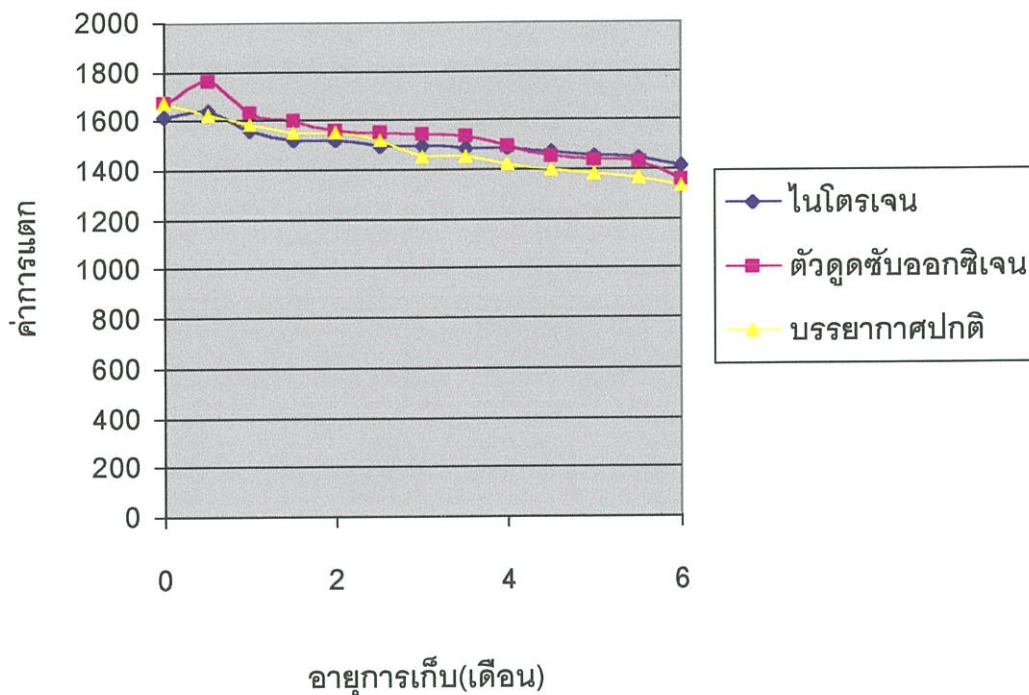
โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสถานะเป็นของแข็งนั้นอาจอยู่ในสภาวะต่าง ๆ อันได้แก่ crystalline state ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความคงตัวมากที่สุดและ amorphous state อันเป็นสภาวะที่สารไม่มีความคงตัวอย่างแท้จริง ซึ่งอาหารโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาวะนี้โดย amorphous state นั้นแบ่งออกเป็น glassy state และ rubbery state ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเปลี่ยนสภาวะไปมาระหว่าง 2 สภาวะดังกล่าวนี้ผ่าน glass transition temperature (T_g) อันเป็นระดับอุณหภูมิที่มีส่วนในการกำหนดสภาวะของอาหาร ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษานั้นมีค่าสูงกว่า T_g อาหารนั้นจะอยู่ในสภาวะ rubbery state ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ

โมเลกุลในอาหาร ณ สถานะนี้เกิดขึ้นมาก ทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดขึ้นได้อย่างอิสระ ในขณะที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่ำกว่า T_g อาหารนั้นจะอยู่ในสถานะ glassy state ซึ่งเป็นสถานะที่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอาหารน้อยมากเป็นผลให้อาหารมีความคงตัวสูง ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะอยู่ในสถานะ glassy state ที่มีความคงตัวสูงซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสแห้งและกรอบ การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นจะมีผลให้ T_g มีค่าต่ำลงจนน้อยกว่าอุณหภูมิการเก็บรักษา ทำให้อาหารเปลี่ยนสถานะไปสู่ rubbery state ที่มีความคงตัวค่อนข้างต่ำซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแข็งแรงลดลง ไม่กรอบ เหนียว และชื้น (Roos, 1995 ; Labuza and Hyman, 1998 ; Szczesniak, 1998)

ค่าความสว่าง (L) ของขนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างจะมีค่าจาก 0 (สีดำ) ไปจนถึง 100 (สีขาว) ค่าความสว่างของขนมขบเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้นแสดงว่าขนมขบเคี้ยวมีสีซีดจางลง เมื่อพิจารณาค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) จะลดลง แสดงว่าขนมขบเคี้ยวมีสีจางลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังที่กล่าวมาแล้ว

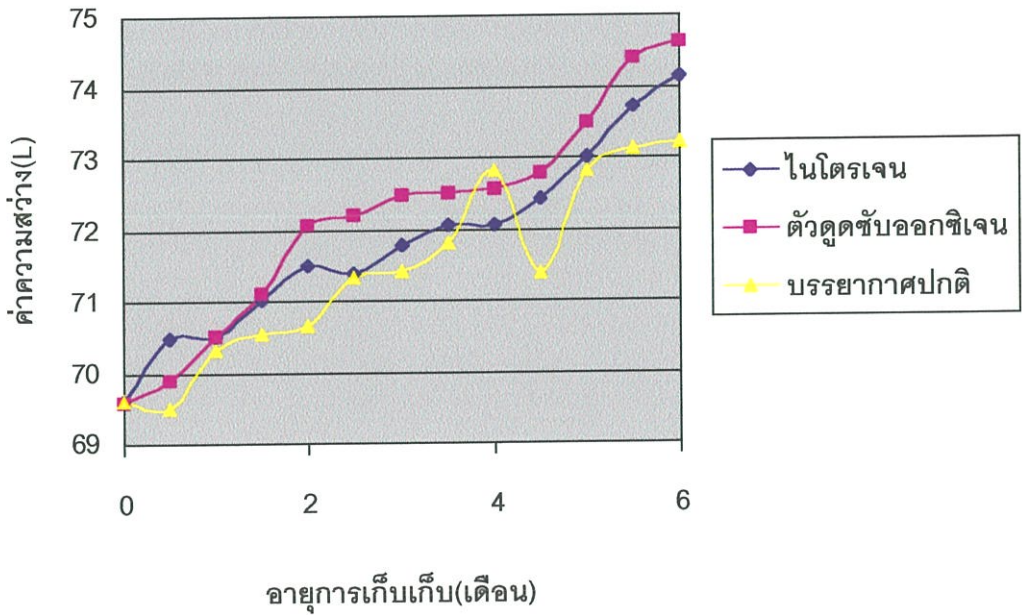
ค่า PV ของขนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นาน 6 เดือนจะมีค่า PV เท่ากับ 11.94 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันหนึ่งกิโลกรัม (meq/kg) จากมาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน (พ.ศ.2533) กล่าวว่าน้ำมันหรือไขมันที่เหมาะสมแก่การบริโภคไม่ควรมีค่าเกินกว่า 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันหนึ่งกิโลกรัม เห็นว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เกิน 5.5 เดือนค่าเปอร์ออกไซด์จะเกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันหนึ่งกิโลกรัม ซึ่งทำให้อาหารเหม็นหืนและไม่เหมาะกับการบริโภค

ค่า TBA ของขนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเริ่มต้นเก็บจะมีค่า TBA แตกต่างจากเดือนที่ 4.5 5 5.5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในเดือนที่ 6 ของการเก็บขนมขบเคี้ยวจะมีค่า TBA สูงสุด

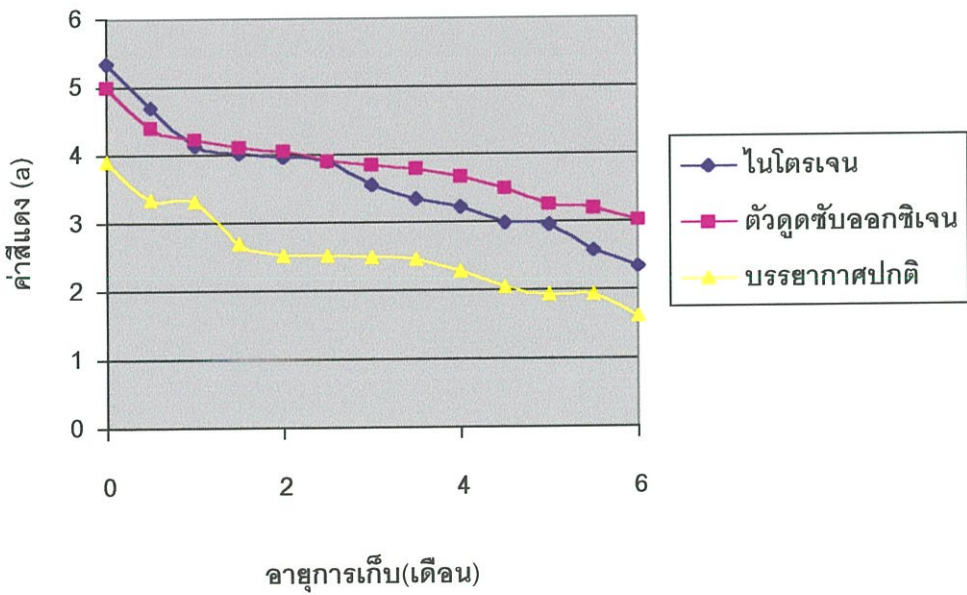


รูปที่ 4.3 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าการแตกของขนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

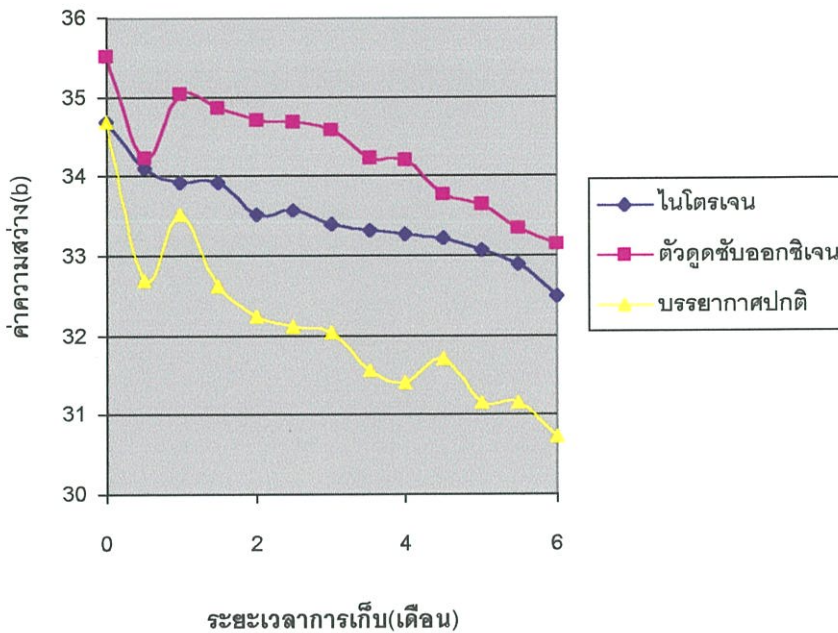
จากรูปที่ 4.3 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะที่ต่างกันจะมีค่าการแตกใกล้เคียงกัน และเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวในระยะเวลาสั้นขึ้นค่าการแตกจะลดลงแต่จะลดลงจากเดือนแรก ไม่มากนัก เนื่องจากภาชนะบรรจุเป็นแบบลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 0.12 มิลลิเมตร ซึ่งภาชนะบรรจุชนิดนี้มีความหนา 0.12 มิลลิเมตร มีค่ารูเข็ม (pin hole) น้อยกว่า 20 รูต่อตารางฟุต ทำให้อัตราการความชื้นเกือบจะเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน ความชื้นสามารถซึมผ่านเข้ามาได้ (Matz, 1984) ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าการแตกลดลง



รูปที่ 4.4 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าความสว่าง(L) ของขมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



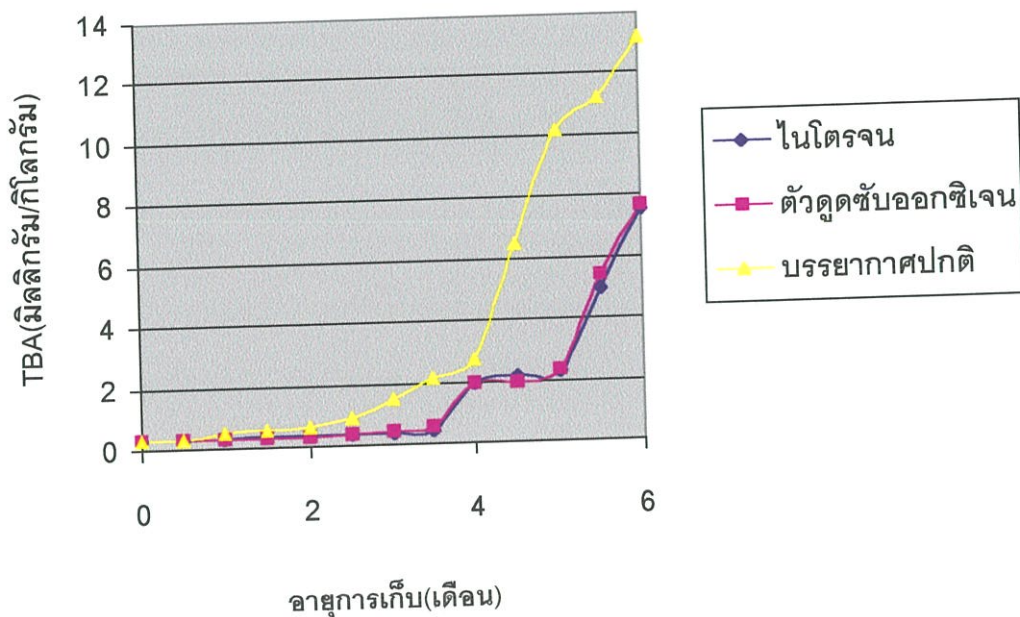
รูปที่ 4.5 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าสีแดง (a) ของขมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.6 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าสีแดง (b) ของขนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

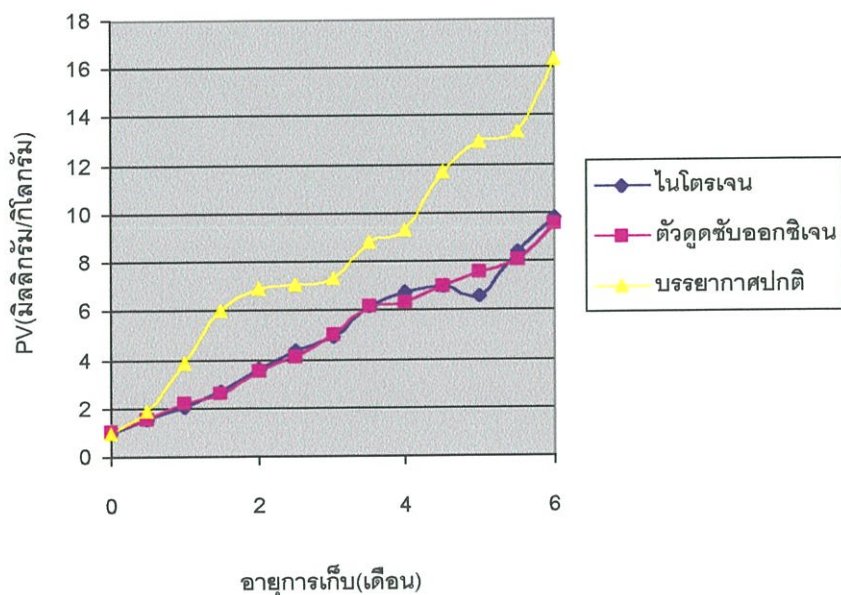
รูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 เป็นการแสดงผลของสภาวะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี จากรูปที่ 4.4 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะที่ต่างกันจะมีค่าความสว่าง (L) ใกล้เคียงกัน เมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวไว้นานขึ้น ค่าความสว่าง (L) จะมากขึ้น รูปที่ 4.5 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกปิดจะมีค่าสีแดง (a) ต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะก๊าซไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจนเมื่อเก็บไว้นานขึ้นค่าสีแดง (a) จะลดลง รูปที่ 4.6 แสดงถึงสภาวะบรรจุที่มีผลต่อค่าสีเหลือง (b) โดยขนมขบเคี้ยวที่บรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีค่าสีเหลือง (b) สูงสุด และขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกปิดจะมีค่าสีเหลือง (b) ต่ำสุด และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาเวลานานขึ้นค่าสีเหลือง(b)จะมีค่าลดลง

จากผลของสภาวะบรรจุที่มีต่อค่าสีจะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวเป็นระยะเวลาเวลานานขึ้นค่าสีจะมีค่าลดลงไม่ว่าจะเป็นค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) และการบรรจุขนมขบเคี้ยวภายใต้สภาวะบรรยากาศปกปิดจะมีค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ต่ำที่สุด เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแคโรทีนซึ่งเป็นสารให้สีที่มีอยู่ในข้าวโพดดั่งที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.7 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่า TBA ของนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 4.7 พบว่านมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่า TBA สูงกว่านมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้สภาวะไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจน เนื่องจากในสภาวะบรรยากาศปกติมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในภาชนะบรรจุจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เกิดสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อเก็บนมขบเคี้ยวเป็นระยะเวลาเวลานานขึ้นค่า TBA จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเข้าไปในภาชนะบรรจุเมื่อเวลานานขึ้น



รูปที่ 4.8 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าPVของนมขบเคี้ยวเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 4.8 พบว่านมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติจะมีค่า PV สูงกว่านมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจน เนื่องจากการบรรจุนมขบเคี้ยวภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติจะมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ ออกซิเจนไปจับตัวกับโมเลกุลของน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้สารประกอบเปอร์ออกไซด์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Matz, 1984) ดังนั้นค่า PV จึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.12 แสดงคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.13 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	คะแนนทางประสาทสัมผัส			
		นมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่	บรรยากาศปกติ	สภาวะไนโตรเจน	สารดูดซับออกซิเจน
ความเข้มของสี	0.0 ^{ns}	3.70±1.16	3.79±0.95	3.87±0.91	4.05±0.85
	0.5 ^{ns}	3.59±0.78	3.45±0.55	3.41±0.98	3.56±0.85
	1.0 ^{ns}	3.76±0.86	3.42±0.53	3.41±0.54	3.68±0.75
	1.5 ^{ns}	3.35±0.94	3.38±0.67	2.80±0.79	3.19±0.63
	2.0	3.43±0.75 ^a	2.71±0.90 ^b	3.25±0.60 ^a	3.32±0.68 ^a
	2.5	3.72±0.47 ^a	2.91±0.81 ^b	3.44±0.65 ^a	3.60±0.85 ^a
	3.0	3.68±0.67 ^a	2.69±0.75 ^b	3.24±0.64 ^a	3.70±0.63 ^a
	3.5	4.07±0.65 ^a	3.07±1.00 ^b	3.05±0.77 ^b	3.36±0.82 ^b
	4.0	3.73±0.55 ^a	2.50±0.93 ^b	2.85±0.76 ^b	2.49±0.76 ^b
	4.5	4.03±0.66 ^a	2.97±0.73 ^b	3.14±0.92 ^b	3.27±0.69 ^b
	5.0	4.38±0.38 ^a	3.56±0.44 ^b	3.47±0.47 ^b	3.39±0.99 ^b
	5.5	3.90±0.65 ^a	3.52±0.63 ^b	3.29±0.54 ^b	3.36±0.59 ^b
	6.0	3.81±0.60 ^a	3.56±0.44 ^b	3.47±0.47 ^b	3.39±0.99 ^b
กลิ่นหืน	0.0 ^{ns}	1.45±0.72	1.46±0.73	1.48±0.83	1.51±0.79
	0.5 ^{ns}	2.12±1.24	1.74±1.01	1.78±0.81	1.67±0.77
	1.0 ^{ns}	1.94±0.88	1.63±0.60	1.90±0.98	1.55±0.61
	1.5 ^{ns}	2.11±0.72	2.36±1.03	2.13±0.93	2.17±0.76
	2.0 ^{ns}	2.38±0.82	2.36±0.84	2.51±1.00	2.35±1.00
	2.5 ^{ns}	1.91±0.75	2.28±1.16	2.32±0.90	2.32±1.07
	3.0 ^{ns}	2.23±1.08	2.55±1.16	2.53±1.09	2.44±1.05
	3.5 ^{ns}	2.47±1.09	2.49±1.12	2.36±1.03	2.45±0.86
	4.0 ^{ns}	2.49±1.24	2.39±1.29	1.97±0.90	2.11±1.11
	4.5 ^{ns}	2.45±1.28	2.27±0.93	2.42±1.09	2.17±0.89
	5.0	1.84±0.77 ^b	2.66±0.94 ^a	2.04±0.97 ^b	1.99±0.79 ^b
	5.5	2.44±1.04 ^b	3.16±1.13 ^a	2.51±1.14 ^b	2.61±1.23 ^b
	6.0	2.65±0.91 ^b	3.13±1.22 ^a	2.47±0.96 ^b	2.67±0.84 ^b

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

คุณภาพทาง ประสาทสัมผัส	ระยะเวลาการ เก็บ (เดือน)	คะแนนทางประสาทสัมผัส			
		ขนมขบเคี้ยวที่ ผลิตใหม่	บรรยากาศปกติ	สภาวะ ไนโตรเจน	สารดูดซับ ออกซิเจน
เนื้อสัมผัส	0.0 ^{ns}	4.71±0.58	4.66±0.59	4.62±0.63	4.60±0.67
	0.5 ^{ns}	4.54±0.54	4.73±0.39	4.27±0.90	4.67±0.50
	1.0 ^{ns}	3.45±1.05	3.20±0.78	3.20±0.82	4.61±0.68
	1.5 ^{ns}	3.85±0.59	3.56±0.82	3.39±0.85	3.46±0.63
	2.0	3.72±0.74 ^a	2.83±0.96 ^b	3.22±0.79 ^{ab}	3.31±0.70 ^{ab}
	2.5	3.83±0.68 ^a	3.15±0.77 ^b	3.29±0.98 ^{ab}	3.49±0.46 ^{ab}
	3.0	4.09±0.75 ^a	3.51±0.71 ^b	3.29±1.13 ^b	3.62±1.14 ^b
	3.5	3.93±0.75 ^a	2.83±1.03 ^b	2.67±0.92 ^b	3.09±0.84 ^b
	4.0	3.91±0.78 ^a	2.54±0.94 ^b	2.80±0.86 ^b	2.77±0.70 ^b
	4.5	3.85±0.53 ^a	2.79±0.92 ^b	2.84±0.85 ^b	3.20±0.88 ^b
	5.0	4.36±0.32 ^a	2.84±1.23 ^b	3.04±1.23 ^b	3.34±0.95 ^b
	5.5	4.13±0.44 ^a	3.47±0.99 ^b	3.32±0.96 ^b	3.39±0.87 ^b
	6.0	4.38±0.36 ^a	3.54±1.73 ^b	3.08±0.94 ^b	3.55±0.99 ^b
การยอมรับรวม	0.0 ^{ns}	4.11±0.95	3.95±1.00	3.92±0.89	4.11±0.85
	0.5	4.14±0.56 ^a	4.11±0.50 ^a	3.31±0.97 ^c	3.65±0.87 ^b
	1.0 ^{ns}	3.71±0.66	3.37±1.14	3.32±0.96	3.83±0.77
	1.5	3.78±0.91 ^a	2.97±0.87 ^b	3.47±0.80 ^{ab}	3.42±0.78 ^{ab}
	2.0	3.54±0.78 ^{ab}	3.18±0.77 ^b	3.84±0.51 ^a	3.83±0.89 ^a
	2.5	4.08±0.70 ^a	3.36±0.86 ^b	3.97±0.79 ^a	3.83±0.72 ^a
	3.0	3.79±0.63 ^a	3.08±0.90 ^b	3.47±0.73 ^a	3.66±0.38 ^a
	3.5	3.41±0.63 ^a	2.80±0.80 ^b	3.04±0.84 ^a	3.46±0.53 ^a
	4.0	3.92±0.43 ^a	2.71±0.79 ^b	2.70±0.70 ^b	3.14±0.74 ^b
	4.5	4.05±0.45 ^a	2.99±0.72 ^b	3.69±1.03 ^a	3.63±1.24 ^a
	5.0	3.69±0.59 ^a	2.74±0.88 ^b	3.44±0.74 ^a	3.56±0.99 ^a
	5.5	3.63±0.90 ^a	3.02±0.94 ^b	3.56±0.87 ^a	3.58±0.63 ^a
	6.0	3.56±0.65 ^a	2.53±0.54 ^b	3.90±0.83 ^a	3.80±0.42 ^a

หมายเหตุ: ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 แสดงคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน ในด้านความเข้มข้นพบว่าเมื่อเก็บไว้ 0.5 -1.5 เดือน ความเข้มข้นของสีขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้สภาวะทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่ต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ ในเดือนที่ 2-3 ของการเก็บพบว่าความเข้มข้นของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติมีสีอ่อนกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจน และขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ และเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวเป็นเวลา 3.5-6.0 เดือนพบว่าความเข้มข้นของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุทั้งสามสภาวะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะแตกต่างจากตัวควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้เป็นเวลา 3.5-6.0 เดือนมีสีซีดจางกว่าขนมขบเคี้ยวที่เป็นตัวควบคุมเนื่องจากขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาานานจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแคโรทีนจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติสีจะซีดจางลงมากกว่าเมื่อบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจนและบรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจน เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) (ตารางที่ 4.11) พบว่าค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีค่าสูงกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบจะให้คะแนนความเข้มข้นของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะทั้งสามมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ในเดือนที่ 2.0-3.0 เท่านั้น แต่หลังจากนั้นผู้ทดสอบจะให้คะแนนความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะบรรจุทั้งสามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าแม้ว่าสีของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศปกติจะซีดกว่าสีของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุที่สภาวะอื่นแต่ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างได้

พบว่าเมื่อเริ่มเก็บขนมขบเคี้ยวจนถึง 4.5 เดือนลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นหืนของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้สภาวะทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ผู้ทดสอบรู้สึกว่ามีผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะต่างกันทั้งหมดมีกลิ่นหืนน้อยไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ แต่ในเดือนที่ 5-6 กลิ่นหืนของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติจะมากกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจน บรรจุโดยใช้สภาวะตัวดูดซับออกซิเจน และตัวควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนจะมีกลิ่นหืนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะตัวดูดซับออกซิเจนและตัวควบคุม ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า TBA และค่า PV (ตารางที่ 4.11) พบว่าค่า TBA และค่า PV ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและเมื่อใช้ตัวดูด

ขับออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและที่บรรจุโดยใช้ตัวดูดขับออกซิเจนจะมีค่า TBA และค่า PV ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวพบว่าตั้งแต่เริ่มเก็บขนมขบเคี้ยวจนถึงเดือนที่ 1.5 คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุภายใต้สภาวะทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นั่นคือขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้ในสภาวะต่าง ๆ มีความกรอบแข็งเหมือนกันและเหมือนกับขนมขบเคี้ยวที่ผลิตขึ้นมาใหม่ เมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวเป็นเวลา 2-2.5 เดือน ขนมขบเคี้ยวที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติมีคะแนนเนื้อสัมผัสน้อยลงและแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวเป็นเวลา 3-6 เดือนพบว่าขนมขบเคี้ยวที่เก็บภายใต้สภาวะทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะแตกต่างจากตัวควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยได้รับคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสต่ำกว่า เนื่องจากเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวไว้เป็นเวลานานขึ้นทำให้ขนมขบเคี้ยวดูดซับความชื้นที่ผ่านเข้ามาภายในภาชนะบรรจุ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการแตกจากตารางที่ 4.11 พบว่าค่าการแตกของขนมขบเคี้ยวที่สภาวะบรรจุทั้งสามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุโดยใช้ตัวดูดขับออกซิเจนสูงกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ต่างจากขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจน ($p > 0.05$) และขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่บรรจุที่บรรยากาศปกติ ($p > 0.05$)

ในด้านการยอมรับรวม พบว่าเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวเป็นเวลา 1 เดือนที่สภาวะต่าง ๆ คะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ ($p > 0.05$) ในเดือนที่ 1.5 พบว่าขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้ในสภาวะบรรยากาศปกติมีคะแนนการยอมรับรวมต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและที่ใช้ตัวดูดขับออกซิเจน ($p > 0.05$) ในเดือนที่ 2-3.5 คะแนนการยอมรับรวมของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุที่บรรยากาศปกติจะมีค่าต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจน ในสภาวะตัวดูดขับออกซิเจนและขนมขบเคี้ยวที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ($p \leq 0.05$) แต่คะแนนการยอมรับรวมของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจน บรรจุโดยใช้ตัวดูดขับออกซิเจนและขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีคะแนนสูงสุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวควบคุม แต่จะแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่เก็บในสภาวะตัวดูดขับออกซิเจนและบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนที่ 4 ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในสภาวะต่างกันจะมีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 4.5-6.0 เดือน คะแนนการยอมรับ

รวมของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจน บรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจน และขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่บรรจุที่สภาวะบรรยากาศปกติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าการเก็บขนมขบเคี้ยวโดยบรรจุในสภาวะก๊าซไนโตรเจนและตัวดูดซับออกซิเจนสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีเหมือนกันเมื่อดูจากผลของค่าการแตก ค่าสี ค่า TBA ค่า PV และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคหลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยจะดีกว่าเมื่อบรรจุในบรรยากาศปกติ ถ้าดูด้านราคาก๊าซไนโตรเจน 1 ถึง ปริมาตร 7 ลูกบาศก์เมตรราคา 1000 บาทสามารถบรรจุในถุงที่มีขนาด 8×12 นิ้วได้จำนวน 1000 ถุง ค่าใช้จ่ายตกลูกละ 1 บาท แต่การใช้ตัวดูดซับออกซิเจนกับถุงที่มีขนาด 8×12 นิ้วนั้น ต้องใช้ตัวดูดซับออกซิเจนชนิด RP 300 ราคา 3 บาทต่อถุง จะเห็นว่าการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ไนโตรเจน ดังนั้นจึงควรเลือกการบรรจุด้วยไนโตรเจน นอกจากนี้ก๊าซไนโตรเจนยังช่วยเพิ่มระดับความดันภายในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบตัวของภาชนะ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักเสียหายทรงของผลิตภัณฑ์ (งามทิพย์, 2538)

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของขนมขบเคี้ยวพบว่าเมื่อเก็บขนมขบเคี้ยวไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนกลิ่นหืนของขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในก๊าซไนโตรเจนและบรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนมีความหืนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ ($p>0.05$) และยังมีค่า PV ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัม สมมูลย์เปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมันหนึ่งกิโลกรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ คะแนนเนื้อสัมผัสและค่าการแตกของขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนที่สภาวะที่ต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนคะแนนการยอมรับรวมของขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนโดยบรรจุในก๊าซไนโตรเจนและบรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่ ($p>0.05$) แสดงว่าสามารถเก็บขนมขบเคี้ยวไว้ได้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือนในสภาวะบรรจุโดยใช้ตัวดูดซับออกซิเจนหรือในก๊าซไนโตรเจน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.19 โปรตีนร้อยละ 10.29 ไขมันร้อยละ 4.62 เถ้าร้อยละ 1.44 กากใยร้อยละ 1.73 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70.73
2. การใช้ปริมาณเกลือและโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดบดจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุด ผลิตภัณฑ์จะมีค่าการแตกเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตมากขึ้นแต่ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) จะมีค่าลดลง
3. ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์คือร้อยละ 60 ของน้ำหนักโดเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพูลักษณะฟองอากาศสม่ำเสมอ
4. เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่แยกต้นอ่อนและไม่แยกต้นอ่อนพบว่าลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสีเหลือง (b) และการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงควรใช้ข้าวโพดที่ไม่ผ่านกระบวนการแยกต้นอ่อนเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายและทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง
5. สำหรับการใช้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์พบว่าผู้ทดสอบยอมรับกลิ่นรสบาร์บิคิวในรูปแบบผง
6. สามารถเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวไว้ที่อุณหภูมิห้องในถุงลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอนได้เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือนโดยบรรจุในก๊าซไนโตรเจน เนื่องจาก PV ยังอยู่ในระดับที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด คะแนนกลิ่นหืนและคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตใหม่และก๊าซไนโตรเจนมีราคาถูกกว่าตัวดูดซับออกซิเจน

บรรณานุกรม

- กมลทิพย์ มั่นภักดี. 2542. "การดัดแปรสแตร์ชันในแป้งข้าวเพื่อทำแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอดแช่เยือกแข็ง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. ข้อมูลการส่งออกสินค้าเกษตรของไทย. เข้าถึงได้จาก <http://www.moac.go.th/situation.htm>
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2521. เกลือ:คุณสมบัติและการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2536. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- เกรียงศักดิ์ นิตพงศ์สกุล. 2523. "ศึกษาคุณสมบัติบางอย่างของแป้งชนิดต่าง ๆ ในการทำข้าวเกรียบ." ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. 2521. "เอกสารคำแนะนำวิธีการแปรรูปสัตว์น้ำ." กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- คมคาย ศรีสถาพร. 2536. "การผลิตมันเทศกรอบที่ได้คุณภาพ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- งามจิตร จารุพันธ์. 2529. คู่มือประกอบอาหารนานาชาติ. พุทธอุปถัมภ์การพิมพ์. กรุงเทพฯ
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- จินตนา แจ่มเมฆ, อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. เบอเกอร์รีและเทคโนโลยีเบื้องต้น. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ชวนชม จันทรเปารยะ. 2517. การถนอมอาหารภายในบ้าน. ครูสภาลาดพร้าว. กรุงเทพฯ
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ธงชัย สุวรรณลิขันธ์. 2535. "การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนซ์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

- นิรมล สุรัสวดี. 2527. ข้าวเกรียบ : รายงานวิชาอาหารจากธัญชาติและพืชหัว. ภาควิชา
คหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- นริยา รัตนพานนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ
- ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2524. ผลิตภัณฑ์ประมงและหลักการถนอม. โรงพิมพ์คุรุสภา. กรุงเทพฯ
- ปริศนา สุวรรณภรณ์. 2542. เอกสารประกอบคำสอนวิชาเบเกอรี่เทคโนโลยีและวิชาธัญพืช. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ผ่องพรรณ แสงสิงแก้ว. 2513. การทดลองและปรับปรุงการทำข้าวเกรียบปลาหมึกและปลา
ราคาฎก. รายงานผลการทดลองแผนกอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. 2530. "การผลิตข้าวเกรียบปลาโอใช้เครื่องรีดแผ่น." วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2523. "Snack Food." เอกสารประกอบการจัด
นิทรรศการ. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- มานะ จีตระกูล. 2531. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงแผ่น." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพฯ
- วิจิต วัฒนาวินูล. 2528. เครื่องปรุงแต่งธรรมชาติมีคุณค่ามหาศาล. สำนักพิมพ์หมอบชานบ้าน.
กรุงเทพฯ
- วารุณี วารัญญานนท์ และ Hirata, T. 2540. " การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารในประเทศญี่ปุ่น."
วารสารอาหาร. 27(1) : 1-13
- วิสิฐ จะวะสิต. 2535. น้ำมันพืช. สำนักพิมพ์หมอบชานบ้าน. กรุงเทพฯ
- สมยศ จรรยาวิลาส, รัศมี ศุภกร และสุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2533. "การพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์
อาหารว่างจากข้าวโพด." อาหาร 20 (1):5-43
- สนิท ลวดทอง. 2530. ข้าวโพดและการจัดการ. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น. ขอนแก่น
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2540. ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

- สุรางค์ ลาเกลี้ยง. 2534. "การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบอบสุญญากาศ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันบริโภค มอก. 47. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ
- ศุภวรรณ ศรีศักดิ์รินทร์. 2523. "ศึกษาการทำและคุณภาพของคอร์นชิพจากข้าวโพดบางพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ศิริลักษณ์ ลินธวาลัย. 2522. ทฤษฎีอาหารเล่ม 3 : หลักการทดลองอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ศิรินทร์ ปุษยไพบูรณ์. 2536. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- อำพล เสนานรงค์. 2510. ข้าวโพดที่มีคุณค่าอาหารเท่าเนื้อสัตว์. กสิกร 40(2) : 103-104.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2533. เคมีทางธัญพืช. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- Abe, Y. and Kondon, Y. 1989. Oxygen absorbers. In controlled/modified atmosphere / vacuum packaging of foods. Food and nutrition Press Trumbull, CT.
- Anonymous. 1991. "Aluminium advances in Europe: spotlight on new foils." Food Packaging Technology International. 4(1) :32-34.
- AOAC. 1984. Official Method of the association of official analytical chemists. 14th ed. Arlington, Virginia.
- Arya, S.S., Natesan, V., Parihar, D.B. and Vijayaraghavan, P.K. 1979. "Stability of β -carotene in isolated system." J. Food Technol. 14(3):571-578.
- Bookwalter, G.N., Kwolek, M.F., Black, L.T. and Griffin, Jr. 1971. "Corn Meal Soy Flour Blends: Characteristics and Food Applications." J. Food. Sci. 36(4):1026-1031.
- Bressani, R. and Elias, L.G. 1966. "All Vegetable Protein Mixtures for Human Feeding: The development of INCAP vegetable mixture 14, base on soy-bean flour." J. Food Sci. 31(3):626-631.
- De Oliveira, D. 1975. "Nutritive value of Opaque-2 corn and its mixture with hybrid corn and wheat flour." J. Food. Sci. 36(3):370-371.

- Dimler, R.J. 1967. Soybean and Corn Joint Force in Food. *Soybean dig.* 27(1):50.
- Emenhiser, C., Watkins, R.H., Simunovic, N., Solomona, N., Bulux, J., Barrows, J., and Schwartz, S.J. 1999. "Packaging preservation of beta carotene in sweet potato flakes using flexible film and oxygen absorber." *J Food Quality.* 22 (1):63-73.
- Fox, B.A. and Cameron, A.G.1970. *Food Science:A Chemical Approach.* Hodder and Stouhton. London.
- Feustal, J.C., Juilly, M.C. and Kamington, W.O. 1963. "Processing of frozen french fried potatoes and Other frozen potatoes products." *USDA/ARS Report* 74(8): 224.
- Gutcho, M.1973. *Perpared Snack Foods.* Noyes Data Cooperation,NewJersey:USA.
- Hamper, J.M.1981. *Extrusion of foods.* USA : CRC Press.
- Hasim, N.B. and Fields, M.L. 1979. Germination and Relative Nutritive Value of corn meal and corn chips. *J. Food Sci.* 44(3):936-937.
- Inglett, G.E. 1970. *Corn:Culture, Processing, Products.* The AVI Publishing Co., Inc.
- Jan, D.A. 1987. *Antioxidants.* Chemical Division, wormerveer, Holland. 144p.
- Joslyn,M.A. and Heid, J.L.1964. *Food Processing Operation.* The AVI Publishing Co.Inc., Westport.,Connecticut.
- Katz, E.E. and Labuza, T.P. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food product. *J. Food Sci.* 46(3) : 403-409.
- Kent, N.L. 1966. *Technology of Cereal with Special Reference to Wheat.* New York : Porgamon Pross.
- Kirk, R.S. and Sawyer, R.1991. *Person 's composition and analysis of food.* Longman Scientific and Technical.
- Labuza,T.P.1982. *Shelf-life dating of Foods.* Food and Nutrition , The AVI Publishing Co.Inc. Westport. Connecticut.
- Labuza,T.P.1998. Moisture migration and control in multi-domain foods. *Trends in Food Sci and tech.* 9(1):47-55.
- Li, C.F. and Luh, B.S. 1980. Rice snack food.In B.S.Luth. *Rice Production and Utilization.*The AVI Publishing Co.,Inc.,Westport,Connecticut.

- Matz, S.A. 1984. *Snack Food Technology*. The AVI Publishing Co., Inc., Westport
.Connecticut
- Mertz, E.T. Bates, L.S. and Nelson, O.E. 1964. "Mutant gene that change protein composition and increase lysine content of maize endosperm." *Science*. 145 (2): 279-282.
- Misra, P.S., Mertz, E.T. and Glover, D.V. 1975. Characteristics of protein in single and double endosperm mutants of maize endosperm mutants of maize. *High quality protein maize*. Dower: Hutchinson and Ross, inc.
- Nadison, G. 1969. "Seasoning blends for expanded snack product." *Cereal Sci Today*. 14 (6) : 215-216
- Oak, B.S. 1974. "Extrusion-cooked snack in a fast growing market." *Food Technol.* 19(6) : 312-315.
- Peleg, M. 1994. A mathematical model of crunchiness/crispness loss in breakfast cereals. *J. Food Proc. and Preserv.* 4(1): 51-65.
- Quast, D.G. and Karel, M. 1972. Effect of environmental factors on the oxidation of potato chip. *J. Food Sci.* 37(3) : 584-588.
- Reiners, R.A., Wall, J.S. and Inglett, G.E. 1973. Corn Protein : Potential for their industrial use. In *Industrial Uses of Cereals*. Y. Pomeranz. AACC. Missouri.
- Robb, J. 1991. *Moisture migration in apples pies*. UK: FMBRA Report No. 145, CCFRA, Chipping Campden.
- Roos, Y.H. 1995. Glass transition-related physicochemical changes in foods. *Food Tech.* 48(10) : 97-102.
- Sacharow, S. and Griffin, R.C. 1980. *Principles of Food Packing*. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut.
- Smith, O.B. 1974. "Extrusion-cooked snack in a fast growing market." *Cereal Sci Today*. 19(8) : 312-315.
- Siegel, A. 1974. "Development acceptability, and nutrition evaluation of new high protein rice-based food for Thai children." Ph.D. Dissertation, Kansas State University, Kansas.

- Szczesniak, A.S. 1998. Effect of strong on texture. Food Storage Stability. USA : CRC Press LLC.
- Tan, S.L. and Morrison. W.R. 1979. "The distribution of lipids in the germ, endosperm, pericarp and tip cap of amylomaize, LG-II hybrid maize and waxy maize." J.Amer. Oil. Chem. Soc. 56(4): 531-535.
- Thorner, M.E.1973. Deep Frying in convenience and Fest Food Handbook. The AVI Publishing Co.,Inc., Westport ,Connecticut. 358.
- Wang, Y.D. and Fields. M.L. 1978. "Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value." J. Food Sci. 43(8):1113.
- Whistler, R.L. and Paschall, E.F. 1967. Starch : Chemistry and Technology. Vol.2. Academic Press ,Newyork.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

1. ความชื้น (AOAC. 1998)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้น้ำหนักที่นอนใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน เดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำอีกประมาณ 1 ชั่วโมง หรืออบจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. ปริมาณไขมัน

ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 10 กรัมใน thimble



บรรจุ thimble ในชุดสกัดไขมัน soxhlet



ตวง anhydrous ether 150 ml ในขวดก้นกลม เปิดสวิสซ์เตา heating mantle ปรับระดับความร้อนอย่างเหมาะสมสกัดนาน 16 ชั่วโมง

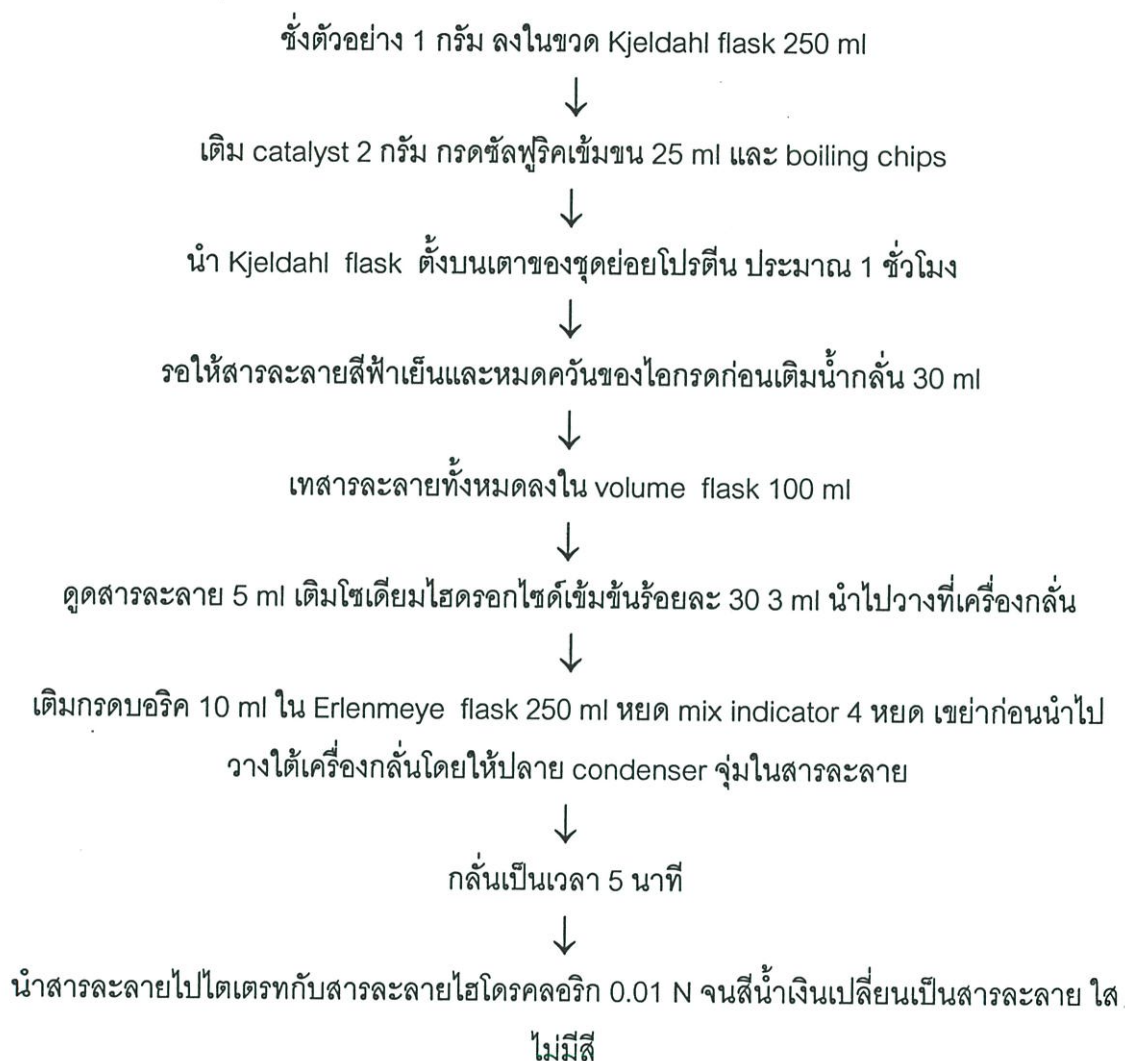


แยก anhydrous ether ออกด้วย vacuum evaporator จนหมดนำไปทำให้เย็นใน desiccator ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักของ crude fat

การคำนวณ

$$\text{คำนวณร้อยละของไขมัน} = \frac{(\text{น.น. บีกเกอร์และไขมัน} - \text{น.น. บีกเกอร์}) \times 100}{\text{น.น. ตัวอย่างแห้ง}}$$

3. ปริมาณโปรตีน



การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times CDE \times 100}{FG \times 1000}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

C = ความเข้มข้น (N) ของกรดไฮโดรคลอริก

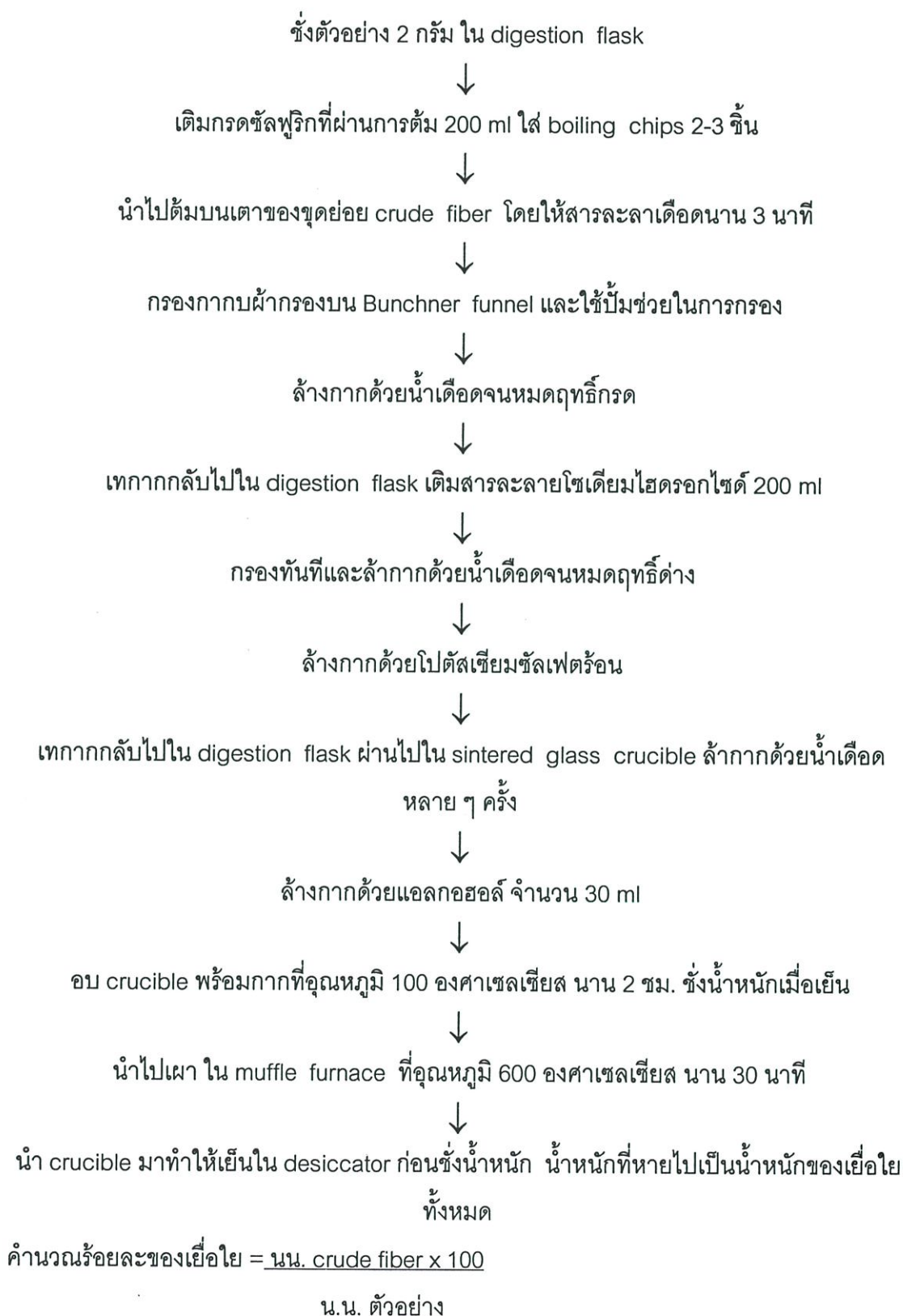
D = 14

E = มิลลิลิตรของสารละลายที่ผ่านการย่อย (100 ml)

F = มิลลิลิตรของสารละลาย E ที่นำไปกลั่น (5 ml)

G = น้ำหนักของตัวอย่าง

4. ปริมาณเยื่อใย



5. ปริมาณเก่า

ซึ่งตัวอย่าง 2 กรัมใน platinum dish เผาตัวอย่างด้วยตะเกียงเบนเซนช้า ๆ จนเผาไหม้หมด จึงนำ dish วางในเตาเผา จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าขาว ซึ่งน้ำหนักเถ้าด้วยตาซึ่งละเอียด คำนวณหาร้อยละของเถ้า เช่นเดียวกับการคำนวณ crude fiber

6. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (P.V.)

6.1 สารเคมี

- 6.1.1 คลอโรฟอร์ม
- 6.1.2 กรด เกลเซียล-อะซีติก
- 6.1.3 โปแตสเซียมไฮไดรด์
- 6.1.4 0.002 N โซเดียมไทโอซัลเฟต
- 6.1.5 สารละลายน้ำแข็งร้อยละ 1
- 6.1.6 คลอโรฟอร์ม : เมทานอล เป็น 2 : 1 (v/v) เรียกว่า C-M solution
- 6.1.7 บีเอชเอ-บีเอชที ร้อยละ 1
- 6.1.8 anhydrous-โซเดียมซัลเฟต

6.2 วิธีการ

- 6.2.1 ซึ่งตัวอย่างประมาณ 30 กรัม บดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า
- 6.2.2 ใส่สารละลาย C-M 3.5 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างและสารละลาย BHA-BHT 2-3 หยด
- 6.2.3 บ่ม 1 นาที เทใส่กรวยแยกที่มีน้ำกลั่นอยู่ $\frac{1}{4}$ หนึ่งภายนอกด้วยอะลูมิเนียมฟอล์ย เขย่า 2-3 ครั้ง ทิ้งค้างคืนไว้
- 6.2.4 กรองสารละลายส่วนล่างของกรวยแยกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในฟลาสก์ที่มี โซเดียมซัลเฟต 2-5 กรัม เขย่าทิ้งไว้ 5 นาที
- 6.2.5 ล้างกระดาษกรอง 2-3 ครั้ง ด้วยสารละลาย C-M
- 6.2.6 ทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยใน vacuum water bath โดยอย่าปล่อยให้สารแห้ง นำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป
- 6.2.7 เตรียมสารละลายอะซีติก-คลอโรฟอร์ม (A-C) ในอัตราส่วน 3 : 2
- 6.2.8 ซึ่งตัวอย่างไขมันใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลาย A-C 25 ml และโปแตสเซียมไฮไดรด์ 0.5 กรัม ปิดจุกอย่างรวดเร็ว และเก็บไว้ในที่มืดทันทีเป็นเวลา 5 นาที ณ อุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส

6.2.9 เติมน้ำกลั่น 75 ml

6.2.10 ไตเตรทไอโอดีนอิสระด้วย 0.002 N โซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

$$PV = \frac{V \times T \times 100}{M}$$

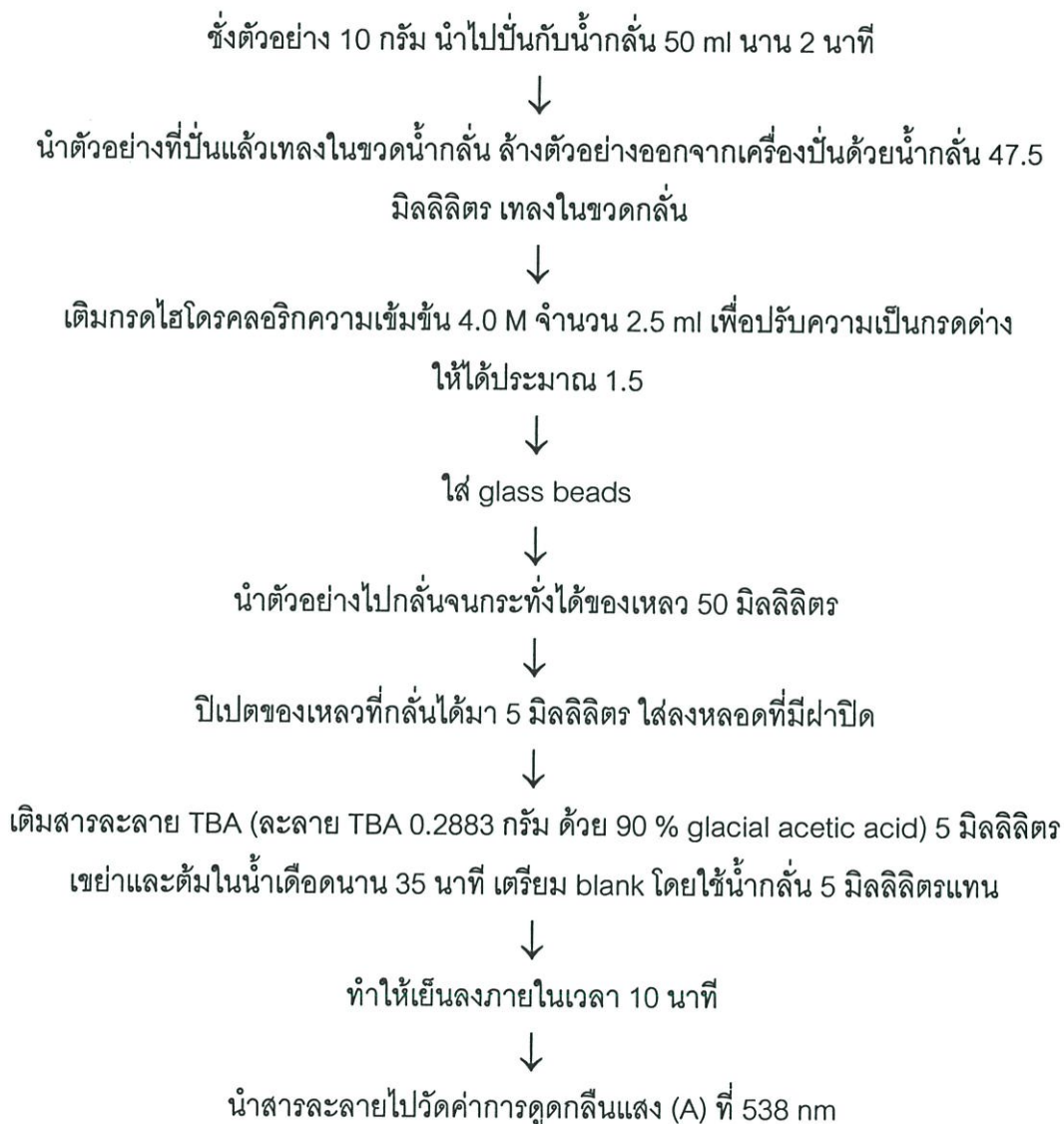
V = ปริมาตรของ โซเดียมไทโอซัลเฟต

T = normality ของ โซเดียมไทโอซัลเฟต

M = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่าง

7. Thiobarbituric acid number (TBA) (Kirk and Sewyer. 1991)

ด้วยวิธี acid hydrolysis



การคำนวณ

TBA no. (มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อ ตัวอย่าง 1 กิโลกรัม) = 7.8A

8. การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Minolta chroma meter

8.1 เครื่องมือ

Minolta chroma meter, CR 300 series

8.2 วิธีการ

วัดสีของผลิตภัณฑ์โดยใส่ตัวอย่างในภาชนะ ทำการวัด ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือคือค่า L a และ b โดยที่

ค่า L แทนค่าความสว่าง

ค่า a แทนค่าสีแดง (+) แทนค่าสีแดง (-) แทนค่าสีเขียว

ค่า b แทนค่าสีเหลือง (+) แทนค่าสีเหลือง (-) แทนค่าสีน้ำเงิน

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมและแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน

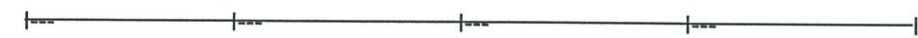
ชื่อ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

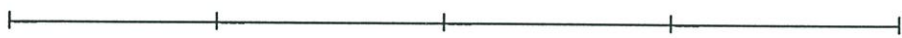
1. สี

สีเหลือง



อ่อน ค่อนข้างอ่อน ปานกลาง ค่อนข้างเข้ม เข้ม

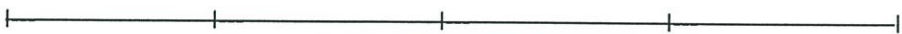
ความชอบด้านสี



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

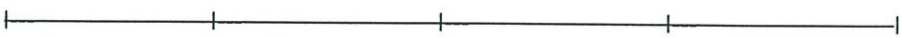
2. ความชอบด้านกลิ่น

ความแรงของกลิ่น



ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นเล็กน้อย มีกลิ่นปานกลาง กลิ่นฉุน กลิ่นฉุนมาก

ความชอบด้านกลิ่น



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

3. รสเค็ม

รสเค็ม



ไม่มีรส เค็มเล็กน้อย เค็มปานกลาง เค็ม เค็มมาก

ความชอบด้านรสเค็ม



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

4. รสต่าง

รสต่าง



ไม่เผื่อน

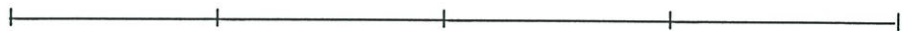
เผื่อนเล็กน้อย

ปานกลาง

เผื่อน

เผื่อนมาก

ความชอบรสต่าง



ไม่ชอบ

ไม่ค่อยชอบ

เฉยๆ

ชอบ

ชอบมาก

5. เนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัส



ด้าน

พองตัวน้อย

พองตัวค่อนข้างดี

พองตัวดี

พองตัวดี

มาก

ความชอบด้านเนื้อสัมผัส



ไม่ชอบ

ไม่ค่อยชอบ

เฉยๆ

ชอบ

ชอบมาก

6. ความกรอบ

ความกรอบ



เหนียว

แข็งกระด้าง

เกือบกระด้าง

ดี

ดีมาก

ความชอบด้านความกรอบ



ไม่ชอบ

ไม่ค่อยชอบ

เฉยๆ

ชอบ

ชอบมาก

ข้อเสนอแนะ.....

ข. 2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสชนมขบเคี้ยวที่ใช้เปรียบเทียบชนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวโพดบดที่แยกต้นอ่อนและข้าวโพดที่ไม่ได้แยกต้นอ่อน

ชื่อ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ชนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....

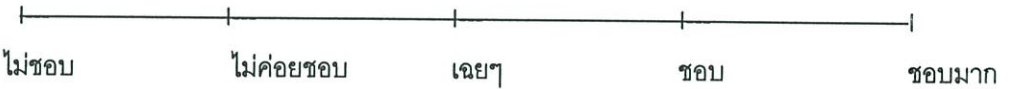
คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1. สี

สีเหลือง



ความชอบด้านสี



2. ความชอบด้านกลิ่น

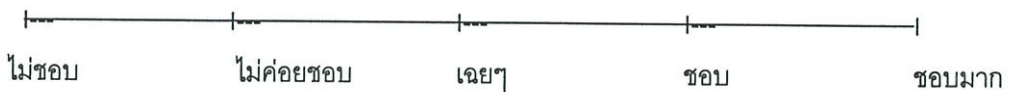


3. เนื้อสัมผัส

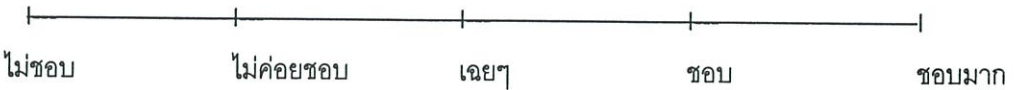
ลักษณะเนื้อสัมผัส



ความชอบด้านเนื้อสัมผัส



4. การยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

ข.3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ขนมอบเคี้ยวที่ใช้คัดเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ขนมอบเคี้ยว

ชื่อ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมอบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1. สี

ความเข้มสีของ SEASONING



สีอ่อนมาก สีอ่อน สีปานกลาง สีเข้ม สีเข้มมาก

ความชอบด้านสี



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

2. ความชอบด้านกลิ่น

ความแรงของกลิ่น



ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นเล็กน้อย มีกลิ่นปานกลาง กลิ่นจุน กลิ่นจุนมาก

ความชอบด้านกลิ่น



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

3. รสชาติ

รสเค็มของสารให้กลิ่นรส



ไม่มีรส เค็มเล็กน้อย เค็มปานกลาง เค็ม เค็มมาก

ความชอบด้านรส



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

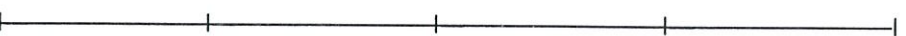
4. ความชอบด้านเนื้อสัมผัส

ความชอบด้านเนื้อสัมผัส



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

5. การยอมรับรวม



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

ข้อเสนอแนะ.....

ข.4 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสชนมชนเขียวที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาที่เก็บไว้ในสภาวะต่าง ๆ

ชื่อ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ชนมชนเขียวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย | ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1. สี

สีเหลือง



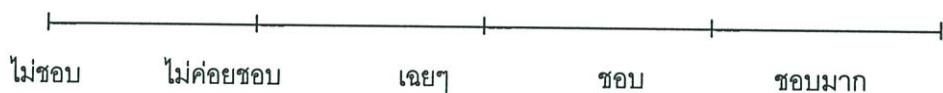
2. กลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์



3. ลักษณะเนื้อสัมผัส



4. การยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค

การทดสอบเนื้อสัมผัสขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)

1. เครื่องมือ

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA XT2I

2. วิธีการทดลอง

2.1 ทำการ calibrate force ก่อนการวัดทุกครั้ง

2.2 ประกอบชุดเครื่องมือสำหรับกด ใช้หัว ball 0.25s กับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

2.3 ทำการ calibrate probe ก่อนการวัด

2.4 เลือกรูปแบบการวัดเป็น

Test mode and option : Measure force in compression

Parameters

Pre test 1.0 mm/s

Test speed 1.0 mm/s

Post test speed 10.0 mm/s

Distance 3 mm

2.5 วางชิ้นขนมขบเคี้ยวบนฐาน เมื่อเริ่มทำการวัดเครื่องคอมพิวเตอร์จะแสดงกราฟที่วัด จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาค่าการแตกของขนมขบเคี้ยว

ประวัติผู้เขียน

นางสาว วรรณวรางค์ วัชรานานันท์ เกิดวันที่ 9 มีนาคม 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ในปีการศึกษา 2544 ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2546