



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

โดย นางอรทัย บุญทะวงศ์

ตุลาคม 2551

สัญญาเลขที่ RDG5050088

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

คณะผู้วิจัย

สังกัด

นางอรัญญา บุญทะวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

ชุดโครงการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ	3
Abstract	4
แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5)	5
บทที่ 1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 2 อุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัย	37
บทที่ 3 ผลและวิจารณ์	48
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย	102
เอกสารอ้างอิง	103
ภาคผนวก	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส	14
2 สมบัติและการใช้ประโยชน์จากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน	14
3 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	15
4 ประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก	16
5 ประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก	16
6 อัตราการพองตัวของข้าวแต่นผู้ประกอบการที่ผ่านการทอดและการอบด้วยเตาไมโครเวฟ	49
7 ปริมาณน้ำอิสระ(a_w)และอัตราการพองตัวของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปที่แตกต่างกัน	52
8 อัตราการพองตัวของข้าวแต่นที่ทำจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 40 และน้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40	54
9 ผลของสภาวะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ	56
10 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นที่ทำจากข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษ กับข้าวคัดทั่วไป	57
11 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต่นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่	58
12 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวหลังการอบโดยเตาไมโครเวฟของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปหนา 3 และ 6 มิลลิเมตร	60
13 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 4 เซนติเมตร	61
14 คุณภาพของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ที่อบแห้งระยะเวลาแตกต่างกัน	62
15 เปรียบเทียบค่าสีและอัตราการพองตัวของข้าวแต่นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้น้ำตาลแตกต่างกัน	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16 เปรียบเทียบอัตราการรอดตาย และค่าสีของข้าวแต๋นที่ใช้ปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน	65
17 เปรียบเทียบอัตราการรอดตายของข้าวแต๋นที่ใช้ปริมาณน้ำมันพืชแตกต่างกัน	65
18 เปรียบเทียบคุณภาพทางกาย และทางประสาทสัมผัสของข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้ปริมาณผงฟูแตกต่างกัน	66
19 การเปรียบเทียบอัตราการรอดตายของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใช้ปริมาณยีสต์แตกต่างกัน	67
20 เปรียบเทียบอัตราการรอดตายของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใช้ปริมาณเบกิ้งโซดาแตกต่างกัน	68
21 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค	69
22 ผลการสัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปเกี่ยวกับการยอมรับทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ	70
23 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่นำไปสัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไป	70
24 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและที่อบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก	72
25 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน	73
26 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน	74
27 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน	75
28 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแต๋นที่ใช้ภาชนะสำหรับการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่แตกต่างกัน	77
29 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแต๋นที่ปริมาณการบรรจุที่ใช้อบพองด้วยเตาไมโครเวฟต่างกัน	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
30 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	79
31 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	80
32 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	81
33 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	82
34 เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับ ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง	84
35 เปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับ ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 10 ตัวอย่าง	85
36 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับ ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง	86
37 ต้นทุนการผลิตข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ	96
38 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค	97
39 ข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น	98
40 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป	100
 ตารางผนวกที่	 หน้า
1 คุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟ	118

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กรรมวิธีการผลิตข้าวแต๋น	39
2 ปริมาณน้ำอิสระของข้าวแต๋นที่ทำจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 40 และน้ำเปล่าร้อยละ 23 40 ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	55
3 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นก่อนอบและหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ ทั้ง 3 ขนาด	58
4 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่สำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟที่ใช้น้ำตาลแตกต่างกัน	63
5 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้ผงฟูร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว	67
6 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้ยีสต์ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว	67
7 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้เบกิ้งโซดาร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว	68
8 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ	70
9 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่พองตัวได้ไม่ทั่วทั้งแผ่น	71
10 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก	72
11 อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นที่สำเร็จรูปที่เก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บที่แตกต่างกันในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	76
12 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่ใช้ภาชนะสำหรับการอบที่แตกต่างกันด้วยเตาไมโครเวฟ	77
13 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่จำนวนชิ้นที่อบต่อครั้งในการอบพองด้วยเตาไมโครเวฟต่างกัน	78
14 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 700 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน	79
15 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 800 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16 ผลិតภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 900 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน	81
17 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน	82
18 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง	83
19 การเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	87
20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	88
21 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^*) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	88
22 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b^*) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	89
23 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	89
24 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	90
25 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำอิสระ(a_w) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	91
26 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นหืนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	92
27 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นรสหืนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	92
28 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านความกรอบของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	93
29 คะแนนด้านการยอมรับคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์	94

บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

1. **ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)** ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ
คำสำคัญ ไมโครเวฟ, ข้าวแต่น, นึ่งสำเร็จรูป
(ภาษาอังกฤษ) Microwavable Crispy Rice Snack (Kao-tan)
keywords Microwavable, Crispy, Rice, Snack
2. **หัวหน้าโครงการ**
ชื่อ-สกุล อาจารย์อรรถัย บุญทะวงศ์
หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
ที่อยู่ เลขที่ 200 หมู่ที่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
โทรศัพท์ 0 – 5434 – 2547 – 8 โทรสาร 0 – 5434 – 2549
E-mail orathai_bun@hotmail.com

4. **ระยะเวลาดำเนินการ** 12 เดือน

5. **ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญของปัญหา**

ข้าวแต่น เป็นขนมพื้นบ้านหรือเป็นอาหารว่างของชาวภาคเหนือในประเทศไทย ที่แสดงถึงเอกลักษณ์และภูมิปัญญาพื้นบ้านที่แสดงถึงวัฒนธรรมของชาวพื้นเมืองที่บริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก และนำมาทำเป็นขนมพื้นบ้านเพื่อถนอมอาหาร โดยการนำข้าวเหนียวหนึ่ง เอมาคดใส่พิมพ์แล้วเอาไปตากแดดให้แห้ง แล้วนำไปทอด จากนั้นราดด้วยน้ำอ้อยนำมาบริโภค และใช้ในเทศกาลงานบุญ ข้าวแต่นเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานง่ายและกรอบอร่อย ที่สำคัญไม่มีโคเรสเตอรอล มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และโซเดียมที่จำเป็นต่อร่างกาย (จุลจันทร์, 2545) โดยทั่วไปการทำข้าวแต่นต้องผ่านการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันที่ใช้ทอดเสื่อมคุณภาพเร็ว เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ มีความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีกลิ่น และสีเปลี่ยนไป ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยและเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนั้นน้ำมันยังสลายตัวได้เป็นอะครีลีน (acrolein) ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดกลุ่มควันสีน้ำเงินขึ้นบริเวณเหนือผิวหน้าน้ำมันขณะทอด และทำให้เกิดมลภาวะของอากาศได้และมักมีกลิ่นหืนในขณะการเก็บรักษาได้ง่าย (นิธิยา, 2544) แต่ในการทอดข้าวแต่นผู้ขายมักนำน้ำมันที่ใช้แล้วนำมาใช้ซ้ำและมีการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปทดแทนเรื่อยๆ โดยไม่ได้นำน้ำมันเก่าที่ใช้แล้วทิ้งไปเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิต ซึ่งผลของอาหารที่ผ่านการทอดจะทำให้ร่างกายของเราเสื่อมลงจนเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ขึ้นได้ ตั้งแต่โรคหลอดเลือดหัวใจ อัมพาต ความดันเลือดสูง ข้ออักเสบ ภูมิแพ้ ภูมิคุ้มกันไวเกิน ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ ต้อกระจก ผิวหนังเหี่ยวแห้ง จนกระทั่งเป็นมะเร็ง (ลลิตา, 2549)

และจากการที่ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับการคัดเลือกบริโภคอาหาร และให้ความสำคัญกับการรักษาสุขภาพกันอย่างกว้างขวางมากขึ้น และจากกระบวนการผลิตข้าวแต๋นนั้นต้องใช้น้ำมันในการทอดก่อนที่จะนำมาบริโภค โดยน้ำมันที่ใช้ในการทอดข้าวแต๋นต้องใช้อุณหภูมิที่สูง คือ 190 องศาเซลเซียส (อุบลรัตน์, 2549) และน้ำมันก็จะถูกใช้ทอดซ้ำอยู่หลายครั้งกว่าที่จะเปลี่ยนน้ำมันสักครั้ง จากสาเหตุที่กล่าวมานั้นส่งผลให้น้ำมันที่ใช้ทอดนั้นเกิดสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นตัวการให้เกิดสารอนุมูลอิสระในข้าวแต๋น และการผลิตอาหารด้วยการทอดนั้นน้ำมันที่ทอดจะเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของอาหารซึ่งทำให้อาหารนั้นมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อให้ข้าวแต๋นซึ่งเป็นขนมพื้นบ้านหรืออาหารว่างที่ได้รับความนิยมในการบริโภคนั้น เป็นอาหารที่มีคุณภาพถูกสุขลักษณะต่อสุขภาพมากขึ้น เมื่อบริโภคแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่บริโภค ผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญที่จะทำการวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพสินค้าให้พัฒนาขึ้น โดยทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวแต๋นโดยไม่ใช้วิธีการทอด โดยศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในลักษณะกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค หากต้องการรับประทานเพียงนำเข้าไปอบในเตาไมโครเวฟไม่กี่นาทีก็สามารถรับประทานได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาและช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคได้ ทั้งนี้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ที่ใช้ปรุงอาหารคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการปรุงอาหารไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ คลื่นจะสลายตัวไปไม่สะสมในอาหาร (หนังสือพิมพ์มติชน, 2546) และเพื่ออนุรักษ์ข้าวแต๋นซึ่งเป็นขนมพื้นบ้านของภาคเหนือ โดยมุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวให้หมดไป เพื่อให้ได้ข้าวแต๋นที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากขึ้น ลดปริมาณไขมันและลดการหืนในผลิตภัณฑ์ สะดวกต่อการบริโภค และผู้บริโภคสามารถรับประทานข้าวแต๋นที่มีความสดใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ขนมพื้นบ้านภาคเหนือ และเป็นแนวทางหนึ่งในการประกอบอาชีพของกลุ่มแม่บ้าน ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดย่อม (Small Medium Enterprise, SMEs) ทำให้มีความเข้มแข็งด้วยตนเองอย่างยั่งยืน สามารถแข่งขันกับสินค้าต่างประเทศได้ตามนโยบายของรัฐบาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ เพื่อลดขั้นตอนทอดข้าวแต๋น และข้าวแต๋นสามารถพองตัวจากการอบในเตาไมโครเวฟ จากการวิจัยพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จากนั้นนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที เมื่อนำข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปอบในเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900-1,000 วัตต์ เป็นเวลา 30-35 วินาที จะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีลักษณะการพองตัวมากที่สุด โดยมีปริมาณไขมันเฉลี่ยร้อยละ 0.35 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพข้าวแต๋นจากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดจำนวน 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง พบว่า ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีปริมาณไขมันน้อยกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และจากการสืบค้นซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 14-33 จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 500 คน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 84.80 และมีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีจำหน่ายในท้องตลาดร้อยละ 69.20 โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคต้องการซื้อ เนื่องจากไม่มีกลิ่นน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ ใช้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ จากการทำนายอายุการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 950 วัน และเก็บอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ได้นาน 193 วัน

Abstract

This research aims to study the process of the microwavable crispy rice snack (Kao-tan) in order to decrease its frying process and Kao-tan could be swollen by waving in microwave. Sticky rice RD6 was found to be suitable for this research. To reduce the moisture content in sticky rice, it was dried at a temperature of 60 °C for 160 minutes. The microwavable crispy rice snack, by far the best quality, was waved at 900-1,000 watts for 30-35 seconds with 0.35 % of fat content, whereas other 10 commercial rice snack (Kao-tan) products contain fat between 14-33%. The percentages of 500 favoured consumers were evaluated and were expected to buy were 84.8 and 69.2 respectively. This microwavable crispy rice snack was attractive to consumers as it has no oily smell. In addition, it is the new product which easily to eat, and can be used as a souvenir For preservation of the product, it can be stored at 5 °C for 950 days and at room temperature (28 °C) for 193 days.

แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5)

สัญญาเลขที่ RDG5050088 ชื่อโครงการ ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

หัวหน้าโครงการ นางอรัญญา บุญทะวงศ์

สถาบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง

โทรศัพท์ 0-5434-2547-8 ต่อ 186 โทรสาร 0-5434-2549

E-mail address : orathai_bun@hotmail.com

ความสำคัญ / ความเป็นมา

ข้าวแต่นึ่ง เป็นขนมพื้นบ้านหรือเป็นอาหารว่างของชาวภาคเหนือในประเทศไทย ที่แสดงถึงเอกลักษณ์และภูมิปัญญาพื้นบ้านที่แสดงถึงวัฒนธรรมของชาวพื้นเมืองที่บริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก และนำมาทำเป็นขนมพื้นบ้านเพื่อถนอมอาหาร โดยการนำข้าวเหนียวหนึ่ง เอมาคดใส่พิมพ์แล้วเอาไปตากแดดให้แห้ง แล้วนำไปทอด จากนั้นราดด้วยน้ำอ้อยนำมาบริโภค และใช้ในเทศกาลงานบุญ ข้าวแต่นึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานง่ายและกรอบอร่อย ที่สำคัญไม่มีโคเรสเตอรอล มีโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และโซเดียมที่จำเป็นต่อร่างกาย (จุลจันทร์, 2545) โดยทั่วไปการทำข้าวแต่นึ่งต้องผ่านการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันที่ใช้ทอดเสื่อมคุณภาพเร็ว เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ มีความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีกลิ่น และสีเปลี่ยนไป ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยและเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนั้นน้ำมันยังสลายตัวได้เป็นอะครีลีน (acrolein) ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดกลุ่มควันสีน้ำตาลขึ้นบริเวณเหนือผิวหน้าน้ำมันขณะทอด และทำให้เกิดมลภาวะของอากาศได้ และมักมีกลิ่นหืนในขณะการเก็บรักษาได้ง่าย (นิธิยา, 2544) แต่ในการทอดข้าวแต่นึ่งผู้ขายมักนำน้ำมันที่ใช้แล้วนำมาใช้ซ้ำ และมีการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปทดแทนเรื่อยๆ โดยไม่ได้นำน้ำมันเก่าที่ใช้แล้วทิ้งไปเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิต ซึ่งผลของอาหารที่ผ่านการทอดจะทำให้ร่างกายของเราเสื่อมลงจนเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ขึ้นได้ ตั้งแต่โรคหลอดเลือดหัวใจ อัมพาต ความดันเลือดสูง ข้ออักเสบ ภูมิแพ้ ภูมิคุ้มกันต่ำ ไตเสื่อม ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ ต้อกระจก ผิวหนังเหี่ยวแห้ง จนกระทั่งเป็นมะเร็ง (ลลิตา, 2549) และจากการที่ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับการคัดเลือกบริโภคอาหาร และให้ความสำคัญกับการรักษาสุขภาพกันอย่างกว้างขวางมากขึ้น และจากกระบวนการผลิตข้าวแต่นึ่งนั้นต้องใช้น้ำมันในการทอดก่อนที่จะนำมาบริโภค โดยน้ำมันที่ใช้ในการทอดข้าวแต่นึ่งต้องใช้อุณหภูมิที่สูง คือ 190 องศาเซลเซียส (อุบลรัตน์, 2549) และน้ำมันก็จะถูกใช้ทอดซ้ำอยู่หลายครั้งกว่าที่จะเปลี่ยนน้ำมันสักครั้ง จากสาเหตุที่กล่าวมานั้นส่งผลให้น้ำมันที่ใช้ทอดนั้นเกิดสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นตัวการให้เกิดสารอนุมูลอิสระในข้าวแต่นึ่ง และการผลิตอาหารด้วยการทอดนั้น น้ำมันที่ทอดจะเข้าไปเป็นส่วนหนึ่ง

ของอาหารซึ่งทำให้อาหารนั้นมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อให้ ข้าวแต่นซึ่งเป็นขนมพื้นบ้านหรืออาหารว่างที่ได้รับความนิยมในการบริโภคนั้น เป็นอาหารที่มีคุณภาพถูกสุขลักษณะต่อสุขภาพมากขึ้น เมื่อบริโภคแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่บริโภค ผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญที่จะทำการวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพสินค้าให้พัฒนาขึ้น โดยทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวแต่นโดยไม่ใช้วิธีการทอด โดยศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นในลักษณะกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค หากต้องการรับประทานเพียงนำเข้าไปอบในเตาไมโครเวฟไม่กี่นาทีก็สามารถรับประทานได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาและช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคได้ ทั้งนี้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ที่ใช้ปรุงอาหารคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการปรุงอาหารไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ คลื่นจะสลายตัวไปไม่สะสมในอาหาร (หนังสือพิมพ์มติชน, 2546) และเพื่ออนุรักษ์ข้าวแต่นซึ่งเป็นขนมพื้นบ้านของภาคเหนือ โดยมุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวให้หมดไป เพื่อให้ได้ข้าวแต่นที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากขึ้น ลดปริมาณไขมันและลดการหืนในผลิตภัณฑ์ สะดวกต่อการบริโภค และผู้บริโภคสามารถรับประทานข้าวแต่นที่มีความสดใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ขนมพื้นบ้านภาคเหนือ และเป็นแนวทางหนึ่งในการประกอบอาชีพของกลุ่มแม่บ้าน ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดย่อม (Small Medium Enterprise, SMEs) ทำให้มีความเข้มแข็งด้วยตนเองอย่างยั่งยืน สามารถแข่งขันกับสินค้าต่างประเทศได้ตามนโยบายของรัฐบาล

วัตถุประสงค์โครงการ

1. ศึกษากระบวนการผลิตข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อการอบด้วยไมโครเวฟ
2. ศึกษาระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปด้วยไมโครเวฟ
3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาและภาชนะบรรจุสำหรับข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ
4. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

ผลที่ได้รับ	บรรลุมิติวัตถุประสงค์ข้อที่	โดยทำให้
ทราบถึงสถานะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อการอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ	1	ได้สถานะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อการอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ
ทราบถึงระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแต๋นด้วยเตาไมโครเวฟ	2	ได้ระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแต๋นด้วยเตาไมโครเวฟ
ทราบถึงอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ โดยการบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม และทราบถึงการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ	3 และ 4	ผู้บริโภคมีทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ชอบรับประทานข้าวแต๋น และเลือกบริโภคอาหารอย่างปลอดภัยต่อสุขภาพ และถูกสุขลักษณะ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟถือว่าเป็นอีกวิธีใหม่อีกแบบหนึ่งสำหรับการผลิตในประเทศไทย คือ มีขั้นตอนทำให้ข้าวแต๋นพองตัว โดยไม่ต้องใช้วิธีการทอด ทำให้ลดปริมาณไขมันในข้าวแต๋นได้ เมื่อเทียบกับข้าวแต๋นที่ใช้วิธีการทอดในน้ำมัน ซึ่งนับว่าเป็นผลดีต่อผู้ที่ชอบรับประทานข้าวแต๋น ทำให้มีทางเลือกรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพ โดยวิธีการผลิตข้าวแต๋น ถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟนี้ จักได้ทำการเผยแพร่ให้ความรู้ โดยนางอรทัย บุญทะวงศ์ (หัวหน้าโครงการวิจัย) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง เพื่อนำไปผลิตเพื่อทำเป็นธุรกิจการค้าต่อไป เพื่อเป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดย่อม (Small Medium Enterprise, SMEs) ทำให้มีความเข้มแข็งด้วยตนเองอย่างยั่งยืน

การประชาสัมพันธ์

- จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
- จัดทำเอกสารเผยแพร่และแนะนำกระบวนการที่ดีที่สุด
- การลงตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ
- บทความทางวิชาการ ในส่วนของสารานุกรมเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย

- ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้ ผลที่คาดว่าจะได้รับ และผลการดำเนินการตลอดโครงการ

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
ตรวจเอกสารและวางแผนการทดลอง ศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ศึกษาพันธุ์ข้าว และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ด้าน ความกว้างและความหนาของข้าวแต๋นก่อนการอบพอง, ระยะเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวแต๋นก่อนอบ ศึกษาระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ศึกษาภาชนะบรรจุที่ใช้อบพองด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และปริมาณการบรรจุข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป ที่เหมาะสม ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบ ด้วยไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และศึกษาดัชนีทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป สรุปโครงการและทำรายงานฉบับสมบูรณ์	วางแผนการทดลองและดำเนินงานตามแผน ทราบพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ทราบพันธุ์ข้าว และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ด้านความกว้างและความหนาของข้าวแต๋นก่อนการอบพอง, ระยะเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวแต๋นก่อนอบ ทราบระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ทราบภาชนะบรรจุที่ใช้อบพองด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และปริมาณการบรรจุข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสม ทราบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป ทราบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และศึกษาดัชนีทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป ทราบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป สรุปโครงการและทำรายงานฉบับสมบูรณ์	วางแผนการทดลองและดำเนินงานตามแผน ทราบพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ทราบพันธุ์ข้าว และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ด้านความกว้างและความหนาของข้าวแต๋นก่อนการอบพอง, ระยะเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวแต๋นก่อนอบ ทราบระดับความร้อนและเวลาที่เหมาะสมต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ทราบภาชนะบรรจุที่ใช้อบพองด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และปริมาณการบรรจุข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสม ทราบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป ทราบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และศึกษาดัชนีทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป ทราบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูป สรุปโครงการและทำรายงานฉบับสมบูรณ์	

บทที่ 1

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ข้าวแต่น

ข้าวแต่น เป็นขนมพื้นบ้านของชาวภาคเหนือในประเทศไทย ที่แสดงถึงเอกลักษณ์และภูมิปัญญาพื้นบ้าน ที่แสดงถึงวัฒนธรรมของชาวพื้นเมืองที่บริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักและนำมาทำเป็นขนมพื้นบ้านเพื่อถนอมอาหาร โดยการนำข้าวเหนียวนึ่งมากดใส่พิมพ์แล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้งและนำไปทอด จากนั้นราดด้วยน้ำอ้อยนำมาบริโภค แต่ก่อนไม่ค่อยมีใครทำออกขาย จะได้บริโภค หรือใช้เป็นของรับแขกเฉพาะในงานบุญ และงานประเพณีสำคัญๆ ได้แก่ ประเพณีบวชพระ ขึ้นบ้านใหม่ และ สงกรานต์ เป็นต้น วาณิและประหยัด (2538) กล่าวว่า ขนมที่ชาวล้านนาานิยมนำไปถวายพระสงฆ์ในวันสงกรานต์ ได้แก่ ขนมเทียน ข้าวแต่น ข้าวเกรียบ สล้าอ่อน ฯลฯ

จุลจันทร์ (2545) กล่าวว่า ข้าวแต่นมีหลายชนิด โดยข้าวแต่นแบบดั้งเดิมเรียกว่า ข้าวแต่นขาว อีกแบบหนึ่งเรียกว่า ข้าวแต่นแดง ทั้งสองอย่างจะแตกต่างกันตรงที่ข้าวแต่นขาวจะไม่ใช้น้ำอ้อยคลุกข้าวให้เข้ากัน ก่อนดักใส่พิมพ์จะเอาไปตากแดด สำหรับข้าวแต่นแดงจะคลุกน้ำอ้อยก่อนตาก และอีกประการหนึ่ง ข้าวแต่นแดงเมื่อทอดแล้วไม่ต้องหยอดน้ำอ้อยเคี้ยว เพราะมีรสหวานอยู่ในเนื้อข้าวเรียบร้อยแล้ว แต่ข้าวแต่นขาวจะหยอดน้ำอ้อยเคี้ยวบนผิวเพื่อเพิ่มความหวาน แต่ในปัจจุบันข้าวแต่นขาวมักไม่ค่อยมีให้เห็น ทำข้าวแต่นแดงเป็นพื้น เมื่อทอดเสร็จก็จะหยอดน้ำอ้อยเคี้ยวลงไปอีก จะเห็นได้ว่าความหวานเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของคนโบราณ แสดงถึงพฤติกรรมบริโภคของคนปัจจุบันเปลี่ยนไปนิยมรสชาติที่หวานมากขึ้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานข้าวแต่นในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวแต่น (มผช.) โดยมีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

1.1.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมข้าวแต่นที่อาจมีส่วนประกอบอื่นเป็นส่วนผสม และอาจปรุงแต่งหน้าด้วยเครื่องปรุงต่างๆ

1.1.2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

1.1.2.1 ข้าวแต่น หรือ ข้าวแต่น หรือรังแต่น หมายถึง อาหารว่างที่ทำจากข้าวเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก โดยนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำ นึ่งสุก คลุก อาจผสมกับส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำแดงโมหรือน้ำผลไม้อื่นๆ เกลือ น้ำอ้อย งา น้ำกระทิ แล้วทำให้เป็นแผ่นหรือรูปแบบอื่น ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือจากแหล่งพลังงานอื่น ทอดให้พอง อาจปรุงแต่งหน้าด้วยเครื่องปรุงต่างๆ

เช่น น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว หมูหยอง น้ำพริกเผา ในกรณีที่แผ่นข้าวทำจากข้าวเหนียวโดยไม่มีส่วนประกอบอื่นเป็นส่วนผสม และมีน้ำตาลเคี้ยวเป็นเครื่องปรุงแต่งหน้า เรียกว่า “นางเล็ด”

1.1.3. คุณลักษณะที่ต้องการ

1.1.3.1 ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นแผ่นหรือรูปแบบอื่น กรอบร่วน อาจแตกหักได้เล็กน้อย เม็ดข้าวมีการพองตัวดีและสม่ำเสมอ

1.1.3.2 เครื่องปรุงแต่งหน้า (ถ้ามี) ต้องเกาะติดแผ่นข้าวแน่น และกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ

1.1.3.3 สี มีสีสม่ำเสมอ และเป็นไปตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้

1.1.3.4 กลิ่นรส มีกลิ่นรสเฉพาะของส่วนประกอบที่ใช้ และปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 8.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

1.1.3.5 สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบในการทำข้าวแตน เช่น เส้นผม แมลง หรือชิ้นส่วนของแมลง

1.1.3.6 จุลินทรีย์

1.1.3.6.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

1.1.3.6.2 ต้องไม่มีราปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน

1.2 ข้าว

ข้าวจัดเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า (Family Graminae) สกุล *Oryza* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน (Tropical) และเขตอบอุ่น (Temperate) ปัจจุบันข้าวที่ปลูกบริเวณนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* L.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima*)

O. sativa ปลูกทั่วไปทั้งในเอเชีย แอฟริกา ยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย แบ่งออกเป็น

- Indica ส่วนใหญ่ปลูกในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้ และตอนกลาง อินเดีย บังกลาเทศ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทย

- Japonica ปลูกในประเทศที่อยู่ในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี

- Javanica ปลูกอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย

ส่วน *O. glaberrima* ปลูกอยู่ในแอฟริกาตะวันตก (สงกรานต์, 2534)

1.2.1 การแบ่งประเภทตามคุณสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าวสาร หรือตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.2.1.1. ข้าวเจ้า (Non-Glutinous Rice) คือ เป็นข้าวที่เมล็ดข้าวสารประกอบด้วยแป้งชนิดธรรมดา (Starch Endosperm) ร้อยละ 90 ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ D-Glucose ที่ต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขา (Branch Chain) ประมาณร้อยละ 70-90 และอะไมโลส (Amylose) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ D-Glucose ที่ต่อกันแบบเส้นตรง (Linear Chain) ประมาณร้อยละ 10-30 เมล็ดข้าวสารมีสีขาวใส หลังจากหุงหรือนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่มีสีขาวนวลและร่วน

1.2.1.2. ข้าวเหนียว (Glutinous Rice หรือ Waxy Rice) เป็นข้าวที่เมล็ดข้าวสารประกอบด้วยพวก Soluble Endosperm และมี Dextrin ในเมล็ดแป้ง เมล็ดข้าวสารของเมล็ดข้าวเหนียวมีสีขาวนวล นึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่เหนียวจับติดกันแน่นและมีลักษณะใส

ข้าวที่มีจำหน่ายทั่วไปสามารถจัดกลุ่มตามปริมาณอะไมโลสได้เป็นข้าวเหนียว (มีอะไมโลสร้อยละ 1-2) ข้าวอะไมโลสดำ (มีร้อยละ 12-20) ข้าวอะไมโลสปานกลาง (มีร้อยละ 20-25) ข้าวอะไมโลสสูงปานกลาง (มีร้อยละ 25-27) และข้าวอะไมโลสสูง (มากกว่าร้อยละ 27) (Cagampang *et. al*, 1973) ถึงแม้จะเป็นพันธุ์ข้าวเดียวกัน ความแตกต่างของอะไมโลสตั้งแต่ต่ำถึงสูง และส่วนใหญ่จะมีอะไมโลสสูง อัตราส่วนขององค์ประกอบอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ของข้าว

1.2.2 องค์ประกอบของข้าว

1.2.2.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในข้าว คือ มีประมาณ ร้อยละ 60-90 ของน้ำหนักข้าวซึ่งจะถูกสะสมอยู่ในรูปของแป้ง (starch) นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลซูโครส ลิกนิน (lignin) เพนโตซาน (pentosan) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และสารเพคติน (pectin) ซึ่งอยู่ในส่วนของเยื่อใย การขัดสีข้าวจะพบองค์ประกอบเหล่านี้ มีมากใน ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว (rice bran) และรำละเอียด (rice polish) สตาร์ชที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว โดยทั่วไปประกอบด้วยอะไมโลสประมาณร้อยละ 12.35 - 25.0 ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีอะไมโลสดำที่สุด นอกจากนั้นเป็นอะไมโลเพคติน ร้อยละ 65.0-88.0 องค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลพบมากในส่วนของคัพพะประมาณร้อยละ 20.7 รองลงมาพบในรำข้าวร้อยละ 6.4-6.5 ส่วนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโตซาน ซึ่งอยู่ในรูปของเยื่อใย โดยเฉพาะในส่วนของแกลบที่ได้จากการขัดสีข้าว ร้อยละ 9.5-13.2

1.2.2.2 โปรตีน (Protein) เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญและมีปริมาณมากรองมาจากสตาร์ช พบมากในส่วนที่เป็นเอ็มบริโอ ประมาณร้อยละ 19 - 27 ของน้ำหนักของเอ็มบริโอ โปรตีน

ในข้าวอยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่า Protein Bodics แทรกอยู่ระหว่างองค์ประกอบของแป้ง โปรตีนอาจแบ่งตามคุณสมบัติการละลายได้ดังนี้

1.2.2.2.1 อัลบูมิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายในน้ำ (water solution)

1.2.2.2.2 กลูเตลิน (Glutelin) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายในกรดหรือด่าง (acid or alkali solution) เจือจาง

1.2.2.2.3 โกลบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายในน้ำเกลือ (salt solution) ร้อยละ 10 เกลือ

1.2.2.2.4 โพรลามิน (Prolamin) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol solution) ร้อยละ 70-90 แอลกอฮอล์ (งามชื่น, 2546)

ข้าวมีกลูเตลินอยู่ประมาณ ร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดมีโกลบูลินอยู่ประมาณ ร้อยละ 10 มีอัลบูมินอยู่ประมาณร้อยละ 5 และมีโพรลามิน เป็นโปรตีนที่มีอยู่น้อยที่สุดในเมล็ดข้าว มีไม่เกินร้อยละ 5 โปรตีนที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) อยู่หลายชนิดโดยมีกรดอะมิโนลิซีน (leucine) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ วาลีน (valine) และไลซีน (lysine) ตามลำดับ

1.2.2.3 ไขมัน (Fat) พบมากบริเวณเยื่ออัลลูโรน allulone และในเอ็มบริโอ embryo หรือ คัพพะ จะถูกขับออกเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว โดยไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเม็ดไขมัน (lipid droplet) ไขมันในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) จะอยู่รวมกลุ่มกับโปรตีน (protein bodics) และในเมล็ดแป้ง ก็มีไขมันยึดเกาะอยู่ด้วยเมล็ดข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย คือ ประมาณร้อยละ 1.5-2.5 ในข้าวกล้อง และร้อยละ 0.3 – 0.7 ในข้าวสารไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมัน (fatty acid) ได้แก่ กรดพาล์มิติก (palmetic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid)

นอกจากนี้ไขมันของข้าวสารยังมีสาร Antioxidant คือ Oryzanol และ Tocopherols ซึ่งสารนี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) จากเอนไซม์ลิพอกซิเดส (lipoxidase) ทำให้ไขมันอยู่ได้นานโดยไม่เหม็นหืน แต่อย่างไรก็ตามแป้งข้าวเจ้าที่ดีควรมีปริมาณไขมันอยู่เล็กน้อย ถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้เกิดการหืน Rancidity ได้

1.2.2.4. วิตามิน ส่วนใหญ่พบในส่วนที่เรียกว่า เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด และจมูกข้าว โดยพบกลุ่มวิตามินบีรวมมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ไม่พบวิตามิน เอ วิตามินซี และวิตามินดีในข้าวสาร รำละเอียด และรำข้าวขาว พบวิตามินบี1 วิตามินบี2 และ niacin โดยพบวิตามินบี1 ในรำละเอียดร้อยละ 65 รำข้าวขาวร้อยละ 13 และ ข้าวขาวร้อยละ 22 วิตามินบี2 ในรำละเอียดร้อยละ 39 รำข้าวขาวร้อยละ 8 และข้าวขาวร้อยละ 53 และ niacin ในรำละเอียดร้อยละ 54 รำข้าวขาวร้อยละ 13 และข้าวขาวร้อยละ 33 (Juliano, 1971) เป็นส่วนที่ได้จากการขัดสีในกระบวนการสีข้าวทำให้สูญเสียวิตามินไป ซึ่งมีส่วนสำคัญ

ต่อร่างกายในการควบคุมเมตาบอลิซึมต่าง ๆ และเสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย นอกจากนี้ยังพบวิตามินอี 149.2 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งเป็นสารช่วยป้องกันการเหี่ยวเหิน

1.2.2.5 เกลือแร่ มีปริมาณไม่คงที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของดินที่ใช้ปลูกและวิธีวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์เกลือแร่จากส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดพบว่า เกลือแร่ร้อยละ 51 อยู่ในรำละเอียด ร้อยละ 10 อยู่ในรำข้าวขาว และร้อยละ 28 อยู่ในข้าวขาว แร่ธาตุที่พบมี ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน โซเดียม และเหล็ก แร่ธาตุที่พบมากที่สุดคือ แมกนีเซียม โพแทสเซียม และซิลิกอน (Juliano, 1971)

1.2.2.6 ปริมาณเถ้าในข้าวสารอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.26-1.95 โดยน้ำหนักซึ่งข้าวเมล็ดยาว เมล็ดปานกลาง และเมล็ดสั้นของสหรัฐฯ มีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.69 - 0.64 และ 0.61 ตามลำดับ ชนิดของ Major Minerals หรือ Macrominerals ในเถ้าที่พบได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซิลิกอน แมกนีเซียม แคลเซียมโซเดียมและเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับแร่ธาตุในดิน ที่ปลูกข้าวนั้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการกระจายตัวของปริมาณเถ้าดังนี้ ในรำร้อยละ 51 ในคัพพะ ร้อยละ 10 ในเปลือกร้อยละ 10 และในข้าวสารร้อยละ 28

1.2.3 คุณภาพของข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวเป็นสินค้าหลักที่สำคัญ ผลผลิตของข้าวได้ 2 ใน 3 ส่วนใช้สำหรับบริโภคภายในประเทศ และที่เหลือส่งออกไปยังต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีสัดส่วนการส่งออกข้าวในตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่งมาหลายปี โดยข้าวเหนียวจะมีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 4 ของปริมาณการส่งออกข้าวทั้งหมด ข้าวเหนียวนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถนารายได้เข้าสู่ประเทศเช่นเดียวกับข้าวเจ้าแม้ในสัดส่วนที่น้อยกว่า และเมื่อนามาแปรรูปจะมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากข้าวเจ้า การที่ข้าวแต่ละชนิดมีคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ แหล่งปลูก และสภาวะแวดล้อม ดังนั้นจึงทำให้คุณภาพการหุงต้มแตกต่างกันโดยที่คุณภาพการหุงต้มและรับประทานข้าว (Cooking and eating quality) เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบ ดังนี้ (งามชื่น, 2541)

1.2.3.1 ปริมาณอะไมโลส ในเมล็ดข้าวสารมีแป้งประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง (Bor, 1980) เช่นเดียวกับธัญพืชอื่น แป้งข้าวมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ชนิดคือ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) และอะไมโลส (Amylose) แป้งข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียวหรืออาจมีอะไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 7 - 35 ในข้าวสารร้อยละ 9-37 ในแป้งส่วนที่เหลือร้อยละ 63-91 จะเป็นอะไมโลเพคติน สัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกันคือ ข้าวที่มีอะไมโลสสูง จะดูดซึมน้ำและขยาย

ปริมาณในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ และทำให้ข้าวสุก มีลักษณะทึบแสง ไม่เลื่อมมัน ข้าวสุกจะร่วนและแข็งกระด้างกว่า ในการหุงต้มจึงมักใส่น้ำมาก เพื่อปรับปรุงให้ความแข็งของข้าวลดลง ส่วนข้าวเหนียวจะดูดซึมน้ำและขยายตัวน้อยกว่าข้าวเจ้า และข้าวสุกที่ได้จะเหนียวและนุ่มกว่า ได้มีการจัดประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสในข้าวสาร ดังแสดงตารางที่ 1 (งามชื่น, 2541)

ตารางที่ 1 ประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลสในข้าวสาร (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 - 2	เหนียวมาก
ข้าวอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียว, นุ่ม
ข้าวอมิโลสปานกลาง	20 - 25	เหนียวเล็กน้อย
ข้าวอมิโลสสูง	25 - 34	ร่วนแข็ง

ที่มา : งามชื่น (2541)

ตารางที่ 2 สมบัติและการใช้ประโยชน์จากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน

ชนิดข้าว	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก	การใช้ประโยชน์
ข้าวเหนียว	0 – 2	เหนียวมาก	บริโภคหรือทำขนมอาหารว่าง
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	10 – 19	เหนียวนุ่ม	บริโภคเป็นข้าวสุก
ข้าวเจ้าอะไมโลส	20 – 25	ค่อนข้างร่วนปานกลาง	บริโภคแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25 – 34	ร่วนแข็ง	แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ที่มา: งามชื่น (2538)

ความแตกต่างที่เป็นพื้นฐานระหว่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียวดังกล่าว ทำให้มีการนำข้าวทั้งสองชนิดไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมอาหารที่แตกต่างกัน เช่น ข้าวเจ้าเหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์เส้น เช่น ขนมหุ้น ก๋วยเตี๋ยว เพราะต้องการลักษณะคงรูปหลังการทำให้สุก ส่วนข้าวเหนียวสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของซอสในผลิตภัณฑ์อาหารเยือกแข็ง เนื่องจากข้าวเหนียวมี Freeze-

thaw stability ที่ดีเมื่อนำข้าวเหนียวมาแปรรูปเป็นของหวาน อาหารว่าง เช่น ข้าวเหนียวมูล ขนมห่วง ขนมหั่วลอย ให้ลักษณะที่นุ่มเหนียวไม่แข็งกระด้าง เมื่อใช้ในกลุ่มของขนมขบเคี้ยว ขนมอบกรอบ เช่น ขนมอบกรอบ อร่าเร่ (arare) ข้าวเกรียบว่าว ข้าวแต๋น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้ มีการพองตัวดี มีเนื้อสัมผัสกรอบเบา และละลายในปาก (งามชื่น, 2538)

ตารางที่ 3 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล
กลูโคส		สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส
		เกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	แอลฟา-(1, 4)	แอลฟา-(1, 4)และ แอลฟา (1, 6)
ขนาด	200 – 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum และ Roels (1985)

1.2.3.2 ความคงตัวของแป้งสุก ข้าวที่มีอะไมโลสด้วยกันยังมีความแตกต่างด้านคุณภาพข้าวสุก เนื่องจากสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากันทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute : IRRI) ได้แบ่งประเภทของข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก แสดงดังตารางที่ 4 IRRI (1972); Cagampang *et. al.* (1973)

ตารางที่ 4 ประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	26 - 40
แป้งสุกปานกลาง	41 - 60
แป้งสุกอ่อน	61 - 100

ที่มา : IRRI (1972) ; Cagampang *et.al.* (1973)

ความคงตัวของแป้งสุกมักมีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณอะไมโลส ซึ่งพบว่าข้าวที่มีอะไมโลส ต่างกันจะมีความแตกต่างของความคงตัวของแป้งสุก ปัจจัยข้อนี้จึงอาจใช้คาดคะเนคุณภาพการหุงต้ม และรับประทานของข้าว เช่น ข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกสูงกว่าย่อมจะมี ข้าวสุกแข็ง และร่วนกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน ในการเก็บรักษาข้าวจะมีผลทำให้ความ คงตัวของแป้งสุกแข็งขึ้น (งามชื่น, 2541)

1.2.3.3 อุณหภูมิแป้งสุก แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อเพิ่มความร้อนจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง แป้งจะเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งแสง อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) อุณหภูมิแป้งมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่จะหุงต้มข้าวให้สุกซึ่งอาจแบ่งเป็นประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 ประเภท แสดงดังตารางที่ 5 (Beachell, 1967)

ตารางที่ 5 ประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก

ระดับอุณหภูมิที่แป้งสุก	อุณหภูมิแป้งสุก (องศาเซลเซียส)
ต่ำ	69
ปานกลาง	70 - 74
สูง	ตั้งแต่ 75 ขึ้นไป

ที่มา: Beachell (1967)

ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจะหุงสุกเร็วกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง การคาดคะเนระดับอุณหภูมิที่แป้งสุกอาจทำได้โดยการหาค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkali Spreading Value) ตามวิธีการของ Little *et. al.* (1958)

1.2.3.4 โปรตีน (Protein) ในเมล็ดข้าวแม้จะมีโปรตีนน้อยกว่าแป้งมาก แต่ปริมาณของโปรตีนมีผลต่อคุณภาพข้าวสุกบ้างเหมือนกัน เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หรือ ข้าวหอมมะลิ ที่นิยม

บริโภคกันทั่วไปซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ หากเมล็ดข้าวมีโปรตีนสูงข้าวสุก กระจ่างและสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำกว่า โปรตีนนอกจากจะทำให้สีคล้ำลงแล้วยังทำให้ความเหนียวลดลง เนื่องจากแป้งสุกมีลักษณะเหนียวทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันเป็นแผ่น แต่โปรตีนไม่มีสมบัติดังกล่าว เมื่อปริมาณโปรตีนของข้าวสูงขึ้นคุณภาพด้านความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียว จะลดลงและจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง (งามชื่น, 2541) โดย Shibuya และ Iwasaki (1982) กล่าวว่า โปรตีน ยังขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าว ดังนั้นข้าวที่มีโปรตีนสูงจะต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานขึ้น (อรอนงค์, 2547) กล่าวถึงผลของโปรตีนในข้าวว่าสารถีอาจเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างการหุงต้ม ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของสารถีลดลง มีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าว่วนขึ้น

1.2.3.5 ความเก่าของข้าว หลังการเก็บเกี่ยวภายในเมล็ดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเอนโดสเปิร์มจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพสีดีขึ้น การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน จากปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน (Oxidation Reaction) ทำให้เกิดไขมันอิสระ และสารคาร์บอนิล (Carbonyl) เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นสาบในข้าวเก่า อะไมโลส มีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งมากขึ้น และความเหนียวลดลง สำหรับส่วนของโปรตีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนกับกรดอะมิโน ทำให้สารระเหยที่ได้จากกรดอะมิโนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบลดลง ทำให้กลิ่นของข้าวเปลี่ยนไป นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนด้วยกันทำให้เกิดปฏิกิริยา Non-enzymatic browning มีผลให้สีของข้าวคล้ำลง การเกิดเมล็ดเหลืองในข้าวเก่าสืบเนื่องจากปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างเชื้อจุลินทรีย์หรือเคมี ในข้าวเปลือกที่ได้รับ ความชื้นและความร้อนสูงก่อนที่จะทำการลดความชื้น การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ข้าวเก่ามีสมบัติการหุงต้มและข้าวสุกแตกต่างจากข้าวใหม่ คือ ข้าวเก่าต้องการเวลาในการหุงต้มมากกว่า มีความสามารถดูดน้ำ (Water absorption) ได้มากขึ้นโดยเมล็ดข้าวไม่แตกทำให้น้ำข้าวใสและขยาย ปริมาตร (Volume expansion) ได้มากกว่าและข้าวสุก่วนและแข็งขึ้น กลิ่นหอมของข้าวลดลง เมล็ดข้าวเก่ามักพบมีสีคล้ำลง เนื่องจากความเหนียวของข้าวสุกลดลง (งามชื่น, 2541)

1.2.4 ข้าวที่นำมาทำข้าวแต๋น

ตามลักษณะของพื้นที่ปลูกข้าวสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 3 ชนิด คือข้าวไร่ ข้าวนาสวน ข้าวนาเมือง หรือข้าวฟางลอย โดยข้าวไร่เป็นข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีน้ำท่วมไม่ถึง ข้าวชนิดนี้ปลูกกันมากทางภาคเหนือบนภูเขาสูง เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวแม่จัน ข้าวนาสวนเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำไม่เกิน 80 เซนติเมตร ข้าวนาสวนเหมาะสำหรับนาปีภาคเหนือ เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ส่วนข้าวนาเมืองหรือข้าวฟางลอยเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป จนถึง 3 - 4 เมตร เนื่องจากลำต้นสามารถปรับให้มีความยาวตามระดับน้ำได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์นางฉลอง (ณรงค์, 2538

และเอกสาร, 2544) โดยผู้ประกอบการส่วนใหญ่ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ในการผลิตข้าวแต๋น โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Scientific name) : *Oryza sativa* L. ชื่อสามัญ (Common name) : ข้าวเหนียว (Rice) และชื่อพันธุ์กลาย (Name of mutant) : กข 6 (RD 6) ปีที่เผยแพร่/ขอขึ้นทะเบียนพันธุ์ (Year of release or register from the breeder) : พ.ศ. 2520

ข้าวพันธุ์ กข 6 เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวหอม ไวต่อช่วงแสง เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้รังสีแกมมาที่ 20 กิโลเรด ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2508 ปลูกและคัดเลือกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ฉายรังสีช่วงที่ 2 ที่สถานีทดลองข้าวบางเขน ปลูกช่วงที่ 3 ที่สถานีทดลองข้าวพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ฯลฯ คัดเลือกได้ข้าวสายพันธุ์ดี ทั้งสายพันธุ์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ปลูกทดสอบผลผลิตระหว่างสถานีและในนาเกษตรกรในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างปี พ.ศ. 2514- 2519 ผลปรากฏว่าสายพันธุ์ KDML 105'65-G3U-68-254 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวเหนียว นุ่ม มีกลิ่นหอม ทนแล้ง และมีคุณภาพการหุงต้มรับประทานดี ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งและให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกกันแพร่หลายในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรมวิชาการเกษตรจึงพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง และแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2520

1.3 อาหารประเภทฟองกรอบ (Expanded Product)

มีอาหารฟองกรอบหลายประเภทที่สามารถใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบ ที่มีเทคโนโลยีแตกต่างกัน กัน เช่น

1. การฟองด้วยการย่างบนความร้อน (baking) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อะราเร่ (arare) ที่ทำจากข้าวเหนียว และเซมเบ่ (sembei) ที่ทำจากข้าวอะมิโลสต่ำ เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้ นำมาจากชาวญี่ปุ่น ในการทำผลิตภัณฑ์อะราเร่ ข้าวเหนียวพันธุ์ที่นิยมใช้ คือ กข 6 สำหรับผลิตภัณฑ์เซมเบ่ ข้าวที่เหมาะสม คือ ข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ

2. การฟองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ในปัจจุบันมีการนำ extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย การฟองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากขดลวดและความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหล่านี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงกะทันหันไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหล่านี้จะกระจายระเหยออกทันที และดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เครื่อง extrusion นี้มีทั้งชนิด single screw และ twin screw

เทคโนโลยีนี้สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ และยังสามารถอำนวยความสะดวกในการเตรียมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

3. การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงกดและการเคลื่อนกลับช่องแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ประกอบกันผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้แก่ rice cake

4. การพองที่เกิดจากการอบหรือทอดในน้ำมันร้อน (Oven or deep fry puffing) เช่น ข้าวตอกซึ่งทำจากข้าวเหนียว ข้าวตังทอด ขนมนางเล็ด จากการศึกษาการพองของข้าวที่ทอดในน้ำมันพบว่า ข้าวที่เหมาะสมควรเป็นข้าวสุกอบแห้ง ข้าวจะมีโลสต่ำและข้าวเหนียวจะมีการพองตัวได้ดีกว่าข้าวชนิดอื่น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้หากได้รับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จะช่วยให้มีมูลค่าสูงขึ้น

1.3.1 กลไกการพองตัวของขนมอบพอง

1.3.1.1. การพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ในปัจจุบันมีการนำเทคนิค extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากขดลวด และความดันส่งจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียวทำให้แป้งและองค์ประกอบ ของอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหล่านี้เคลื่อนที่ออกจากเครื่องสู่บรรยากาศเป็นผลให้ความดันลดลงกะทันหันไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันที และดันก้อนแป้งให้เกิดรู พรุณกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้

1.3.1.2. การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงกดและการเคลื่อนที่กลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ประกอบกัน

1.3.1.3. การพองที่เกิดจากการอบ หรือทอดในน้ำมันร้อน (oven or deep fry puffing) เช่น ข้าวตอกซึ่งทำจากข้าวเหนียว ข้าวตังทอด จากการศึกษาการพองตัวของข้าวที่ทอดในน้ำมันพบว่า ข้าวที่เหมาะสมควรเป็นข้าวสุกอบแห้ง ข้าวจะมีโลสต่ำและข้าวเหนียวจะมีการพองตัวได้ดีกว่าข้าวชนิดอื่น (งามชื่น, 2547)

1.3.2 การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจะเกิดการสูญเสียคุณภาพ จนผู้บริโภคอาหารไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ มีสาเหตุมาจากการสูญเสียความกรอบกับการเกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งเป็นกระบวนการเสื่อม

เสียหลักที่อาจเกิดขึ้นพร้อมกัน สำหรับการสูญเสียความกรอบเกิดขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศบริเวณรอบๆ ได้โดยง่าย และเมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นเกินระดับหนึ่ง ผลิตภัณฑ์จะไม่ใช่ที่ยอมรับของผู้บริโภค (มานะ, 2531 ; รุ่งนภา, 2540) ส่วนการเกิดกลิ่นเหม็นหืนเกิดจากผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวมีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวประเภททอดด้วยน้ำมัน จะเป็นตัวการก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเกิดการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative rancidity) และการเกิดการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการสลายตัว (hydrolytic rancidity) (Matz, 1984; รัชณี, 2537) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกลิ่นรสที่ไม่ใช่ที่ยอมรับในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวดังกล่าวจากผู้บริโภค

1.4 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นพลังงานรูปใหม่ที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์ในราวปี พ.ศ. 2483 และพัฒนาออกมาในรูปของเตาไมโครเวฟในปี 2489 เป็นที่นิยมแพร่หลายจนกลายเป็นของใช้ภายในครัวเรือนในรูปของเตาอบไมโครเวฟที่ใช้หุงต้มอาหารได้ โดยเน้นประโยชน์ของพลังงานในรูปของการประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการของผู้คนทั้งหลายที่ดำรงชีวิตอยู่ในสังคมปัจจุบัน และยังมีผลกระทบต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานที่ผู้บริโภคเพียงแต่นำไปอุ่นให้ร้อนก็รับประทานได้นั้น ควรจะต้องมองให้ไกลไปถึงภาชนะบรรจุที่สามารถทำให้ร้อนได้ด้วยเตาไมโครเวฟ นอกจากนี้ยังนำพลังงานในรูปดังกล่าว มาปรับใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารหลายแบบได้อย่างเหมาะสม (วิไล, 2545)

การยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหารโดยการฆ่าเชื้อด้วยไมโครเวฟได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ในต่างประเทศ แต่ยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ในประเทศไทย อย่างไรก็ตามเริ่มได้รับความนิยมมากในการอุ่นอาหารในร้านขายปลีกหรือระดับอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 10 ปีก่อน ในประเทศเนเธอร์แลนด์โดยการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในถาดเพท สาเหตุที่การฆ่าเชื้อด้วยไมโครเวฟไม่ได้รับความนิยมมากนักเพราะว่าระบบนี้สามารถยืดอายุอาหารได้พอๆกับการฆ่าเชื้อ ด้วยการพาสเจอร์ไรซ์เท่านั้น (วิไล, 2545)

เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่ชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนได้ในสองแบบรวมกันได้แก่

1. Ionic polarization เป็นการเกิดความร้อน เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าแต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้น

และเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีขึ้นกับไอออนอื่นๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน แล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่น ๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย

2. Dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) คือ น้ำนั่นเอง ในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะเรียงตัวประจุบวกและลบอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามระดับ ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915 – 2450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นและเป็นลักษณะการเกิดความร้อนที่สำคัญ (คณาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

1.4.1 หลักการของไมโครเวฟ

ผู้บริโภคปัจจุบันต้องการอาหารที่ให้ความสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียมมากขึ้น ทำให้การใช้ไมโครเวฟภายในครัวเรือนเป็นที่นิยมมากขึ้น จึงทำให้ผู้ผลิตอาหารต่างๆ พัฒนาผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุอาหารที่สามารถใช้กับไมโครเวฟในครัวเรือนได้มากขึ้น

ไมโครเวฟมีความถี่อยู่ในช่วงของ 300 MHz ถึง 300 GHz โดยแต่ละตำแหน่งจะสอดคล้องกันทั้งด้านความถี่และความยาวคลื่น ความยาวคลื่นเป็นระยะระหว่างตำแหน่งถัดกันที่เหมือนกันในรูปของหนึ่งวงจรคลื่นที่สมบูรณ์ ในทำนองเดียวกันความถี่เป็นจำนวนครั้งต่อวินาทีที่คลื่นเคลื่อนผ่าน 1 วงจร หรือคือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนผ่านจุด 2 จุดถัดจากกันซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันในคลื่น จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$C = \lambda f$$

เมื่อ C = ความเร็ว (m/s)

λ = ความยาวคลื่น λ (m)

F = ความถี่ (Hz)

โดยแถบสเปกตรัมของไมโครเวฟบางช่วงเท่านั้น ที่นำมาใช้ทางอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์ (ISM: industrial, scientific and medical application) โดยแถบความถี่ไมโครเวฟ ISM ที่ใช้มาก คือ 915 ± 25 MHz และ 2450 ± 50 MHz

1.4.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ในการให้ความร้อนแก่อาหารนั้น จะอาศัยความเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นของพลังงานไมโครเวฟหมุนรอบเหนือและต่ำกว่าแนวราบ โดยครึ่งวงจรที่ต่ำกว่าเส้นฐาน (baseline) มีสมบัติเป็นลบ และครึ่งวงจรที่อยู่ด้านบนจะมีสมบัติเป็นบวก ผลของคลื่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างบวกกับลบจึงเหมือนแม่เหล็กหมุนไปและกลับ

ในผลิตภัณฑ์อาหารและของเหลวประกอบด้วยโมเลกุลต่างๆ ที่อนุภาคทั้งที่เป็นบวกและลบจึงกระทำตัวคล้ายแม่เหล็กเล็กๆ ในขณะที่ครึ่งวงจรที่เป็นบวกของคลื่นไมโครเวฟแทรกซึมเข้าสู่อาหารอนุภาคที่เป็นลบของโมเลกุลจะถูกดึงดูดและจัดเรียงตัวให้สอดคล้องกับสนามพลังงานที่เป็นบวก และเมื่อพลังงานไมโครเวฟเปลี่ยนไปเป็นครึ่งวงจรที่เป็นลบ ปรากฏการณ์ตรงกันข้ามจะเกิดขึ้นคือ อนุภาคที่เป็นลบจะถูกผลักออกไปและอนุภาคที่เป็นบวกจะถูกดึงดูดเข้ามา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน (flip) กลไกเหล่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคต่างๆ (ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุ) ภายในแต่ละโมเลกุล ซึ่งเรียกโมเลกุลเหล่านี้กลับขั้ว (reverse polarity) โครงสร้างโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มีประจุลบ ซึ่งแยกออกจากอะตอมของไฮโดรเจนที่มีประจุบวก ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ขั้วคู่ทางไฟฟ้า (electric dipole) ลักษณะไดโพลของน้ำในอาหารมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากประจุไฟฟ้าบวกและลบของโมเลกุลน้ำวางอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมมาตรกัน เมื่อให้ไมโครเวฟหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับอย่างรวดเร็วแก่อาหาร ไดโพลในน้ำพยายามจัดเรียงตัวตามการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละครั้ง การที่อนุภาคที่มีประจุถูกดึงดูดหรือผลักออกโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อนขึ้น การให้ความร้อนที่เป็นแบบไดอิเล็กทริกหรือความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัตถุโดยตรงขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีการทั่วไปซึ่งทำให้เกิดการชน

เมื่อพิจารณาความถี่ของพลังงานคลื่นที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ คือ 2450 ล้านรอบต่อวินาที นอกจากนี้ภายในหนึ่งวงจรคลื่นโมเลกุลจะมีการเปลี่ยนทิศ 2 ครั้ง (วงจรครึ่งหนึ่งที่เป็นบวก และที่เป็นลบ) อัตราการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุลต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้ ทำให้เกิดการเสียดทานภายในอาหารอย่างมาก (เช่นเดียวกับการถูมือไปมา แรงเสียดทานทำให้เกิดความร้อนขึ้น) ความร้อนเกิดขึ้นภายในอาหารโดยตรง โดยเริ่มเกิดขึ้นภายใต้ผิวหนังด้านนอก อัตราและระดับของการให้ความร้อนขึ้นกับความลึกและความหนาแน่นของอาหาร และความสามารถของอาหารในการทำ

ให้เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟเปลี่ยนไปเป็นความร้อนและอาหารดูดซับไว้ ทำให้อาหารไม่มีการปนเปื้อนของรังสี

1.4.3 สมบัติไดอิเล็กทริก

แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่ยืนหรือตั้ง (E: electrical) และส่วนที่นอนที่เป็นแม่เหล็ก (H: magnetic) ซึ่งอยู่ในมุมฉากซึ่งกันและกัน ส่วนของ E เป็นส่วนที่ใช้ในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

สมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties) เป็นสมบัติที่บอกว่าสารชนิดหนึ่งดูดซับไมโครเวฟได้ดีเพียงใด สมบัตินี้สำคัญมากสำหรับผู้ผลิตอาหารที่ต้องการสร้างสูตรอาหารที่ใช้สำหรับการแปรรูปด้วยไมโครเวฟได้ เนื่องจากสมบัติไดอิเล็กทริกจะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของอาหาร (คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกลือ และปริมาณน้ำ)

เมื่อให้คลื่นไมโครเวฟแก่วัตถุจะเกิดปรากฏการณ์ขึ้นหนึ่งในสามอย่างต่อไปนี้คือ

1. พลังงานถูกดูดซับในระดับต่างกัน
2. พลังงานจะผ่านวัตถุไปโดยไม่มีการดูดซับ
3. พลังงานถูกสะท้อนกลับ

อาหารหรือวัตถุอาจสะท้อนหรือดูดซับไมโครเวฟขึ้นกับสมบัติไดอิเล็กทริกของวัตถุ ไมโครเวฟอาจส่งผ่านวัตถุโดยไม่มีการดูดซับ เช่น วัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุพวกแก้ว เซรามิกส์ และพวกเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่ ไมโครเวฟอาจมีการเปลี่ยนทิศทางเมื่อเดินทางจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่ง เช่นเดียวกับการหักเหของแสงเมื่อผ่านจากอากาศไปยังน้ำ

สมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุที่สำคัญในการแปรรูปด้วยไมโครเวฟ คือ dielectric constant (ϵ') และ dielectric loss (ϵ'') เทอม loss หรือการสูญเสียหมายถึงการเปลี่ยน (หรือ “สูญเสีย”) พลังงานไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

สมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวชี้ความสามารถของวัตถุในการเป็นฉนวนทางไฟฟ้า อาหารเป็นตัวฉนวนที่ไม่ดี ดังนั้นเมื่อวางอาหารไว้ในสนามของไมโครเวฟ อาหารจะดูดซับพลังงานส่วนใหญ่ไว้ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นทันที โดยค่า dielectric constant (ϵ') แสดงถึงความสามารถของวัตถุที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้า และ dielectric loss (ϵ'') เป็นความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นความร้อน นั่นคือแสดงระดับของสนามไฟฟ้าที่ให้แก่อาหารซึ่งเปลี่ยนไปเป็นความร้อน และมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$$

ค่า loss tangent ($\tan \delta$) เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าสามารถทะลุทะลวงวัตถุได้ดีเพียงใด และกระจายพลังงานไมโครเวฟไปเป็นความร้อนได้อย่างไร ค่าเหล่านี้ยิ่งสูงขึ้น วัตถุก็จะร้อนได้ดีขึ้น เช่น เมื่อใช้ความถี่ที่ 2450 MHz ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นจะมีค่า dielectric constant (ϵ') เป็น 78 และ loss tangent ($\tan \delta$) เป็น 0.16 ขณะที่ภาชนะบรรจุต่างๆ ที่ไม่ดูดซับพลังงานและยอมให้คลื่นไมโครเวฟผ่าน เช่น เซรามิกส์ พลาสติก และแก้ว มีค่า ϵ' เป็น 8-11, 2-4.5 และ 4 ตามลำดับ

เมื่ออาหารอยู่ในทางเดินของคลื่นไมโครเวฟ อาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงจะมีค่า ϵ'' (loss factor) สูงด้วย ดังนั้นจึงดูดซับพลังงานและเปลี่ยนไปเป็นความร้อนได้เร็ว การถ่ายเทความร้อนภายในอาหารก็เกิดขึ้นโดยการนำความร้อนด้วยเช่นกันเนื่องจากการกระจายพลังงานไม่สม่ำเสมอ แก้ว กระจก พลาสติกและฟิล์มพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มีค่า loss factor ต่ำ (ยอมให้คลื่นไมโครเวฟผ่าน) และไม่ร้อนขึ้น ส่วนโลหะต่างๆจะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนเสื่อมเสียได้

นอกจากสมบัติไดอิเล็กทริกจะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของอาหาร (คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกลือและปริมาณน้ำ) แล้วยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย จากการทดลองพบว่า dielectric constant อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดความร้อนของวัสดุ เพราะค่านี้มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างอาหารที่กำลังละลายและที่แข็งตัว ขณะที่น้ำดูดซับพลังงานและเกิดความร้อนได้ดี แต่น้ำแข็งยอมให้ไมโครเวฟผ่านและเกิดความร้อนได้ไม่ดี การละลายน้ำแข็งทำให้เกิดสภาวะของการให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งส่วนที่น้ำแข็งได้ละลายแล้วจะร้อนขณะที่ส่วนของอาหารที่ยังคงสภาวะแช่แข็งอยู่ยังคงเป็นน้ำแข็ง

1.4.3.1 อันตรกิริยา (interaction) กับวัตถุ

ไมโครเวฟ เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ไม่ใช่รูปของความร้อน แต่การให้ความร้อนเป็นผลของอันตรกิริยาระหว่างพลังงานไมโครเวฟกับวัตถุที่เป็นไดอิเล็กทริกซึ่งพลังงานที่ถูกดูดซับโดยวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการ คือ

$$P_v = k f E^2 \epsilon''$$

เมื่อ P_v = พลังงานที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุ

k = ค่าคงที่

f = ความถี่ของไมโครเวฟ

E = ความเข้มของสนามไฟฟ้า

ϵ'' = dielectric loss factor

การเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นความร้อนสามารถประมาณได้จากความเข้มของสนามไฟฟ้า ความถี่ของไมโครเวฟที่ใช้งาน ค่า dielectric loss factor (ϵ'') ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ ดังสมการต่อไปนี้

$$dT/d\theta = (k' f \epsilon'' E^2) / \rho C$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น
 C = ความร้อนจำเพาะ
 k' = ค่าคงที่

ซึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้า และความถี่เป็นคุณสมบัติของไมโครเวฟ ค่า dielectric loss factor (ϵ'') ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ เป็นสมบัติของวัตถุที่ถูกทำให้ร้อน จะเห็นว่าในกระบวนการให้ความร้อน วัตถุที่ถูกทำให้ร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระบบไมโครเวฟที่ให้พลังงาน

1.4.3.2 ความลึกของการทะลุทะลวงของไมโครเวฟ

วิธีที่ใช้บอกความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติไดอิเล็กทริกกับความสม่ำเสมอของการให้ความร้อนจะใช้ความลึกของการทะลุทะลวง (depth of penetration) ของไมโครเวฟซึ่งเป็นระยะทางจากผิวของผลิตภัณฑ์ที่พลังงานลดลงเหลือร้อยละ 37 หรือ $1/e$ ของพลังงานเริ่มต้นความลึกของการทะลุทะลวงขึ้นกับค่า dielectric constant และ loss tangent ของอาหารและความยาวคลื่นหรือความถี่ของไมโครเวฟ

โดยทั่วไปแล้ว ความถี่ของไมโครเวฟที่ใช้ยิ่งต่ำ ความสามารถในการทะลุทะลวงยิ่งมาก เช่น พลังงานไมโครเวฟที่ 915 MHz จะทะลุทะลวงได้ดีกว่าพลังงานไมโครเวฟที่ 2,450 MHz เนื่องจากมีความยาวคลื่นมากกว่านั่นเอง นอกจากนี้ เมื่อใช้ความถี่เดียวกันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส พบว่า ความสามารถในการทะลุทะลวงยิ่งสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ

โดยทั่วไปแล้วความถี่ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมมักเป็น 915 MHz ในประเทศสหรัฐอเมริกา 896 MHz ในอังกฤษ 2,450 MHz สำหรับทั่วโลก ส่วนเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือนมักใช้ความถี่ 2,450 MHz ทั้งนี้เนื่องจากความยาวคลื่นที่ความถี่เหล่านี้สอดคล้องกับขนาดของอาหาร ทำให้การให้ความร้อนมีประสิทธิภาพค่อนข้างมากกว่าที่จะใช้ความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่า

1.4.4 การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูป

การใช้ไมโครเวฟในการถนอมอาหารและแปรรูปอาหาร เป็นวิธีการหนึ่งของการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน ไมโครเวฟเป็นแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการถนอมและแปรรูปอาหาร โดยอาศัยสมบัติการมีไดโพล (dipole) 2 ขั้วคู่ ของโมเลกุลของน้ำในอาหาร และอนุภาคที่มีประจุ (charged particles) ซึ่งจะหมุนหรือเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนสลับขั้วหลายล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความเสียดทานกับตัวกลางที่อยู่รอบๆ และเกิดความร้อนขึ้น สมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric) ของอาหาร (ได้แก่ dielectric constant, dielectric loss และ loss tangent) เป็นสมบัติที่บ่งบอกความสามารถในการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ และการเปลี่ยนพลังงานคลื่นไมโครเวฟไปเป็นความร้อนเพื่อถนอมและแปรรูปอาหาร แม้การพัฒนาตัวกำเนิดไมโครเวฟกำลังสูงยังเป็นไปได้ช้า แต่ก็มีหรือนำมาใช้ในการทำให้แห้ง การอบ การคั่ว เป็นต้น

1.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ

1. ค่าความถี่ ความถี่ที่ใช้ในระบบไมโครเวฟมีอยู่ 2 ความถี่ คือ 915 และ 2,450 MHz ความถี่ที่ใช้จะมีผลต่อระดับความลึกในการเจาะเข้าเนื้อในอาหารของระบบไมโครเวฟเพื่อให้เกิดความร้อนอย่างทั่วถึง โดยปกติค่าความถี่ต่ำ (915 MHz) จะสามารถให้ความร้อนได้ดีกว่า นอกจากนี้ค่าความถี่ยังมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนพลังงานของอาหารแต่ละชนิด ซึ่งผลนี้จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของอาหาร

2. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า หรือกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5-100 kW ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการให้ความร้อนแก่อาหาร ดังนั้นจึงนิยมปรับกำลังไฟฟ้าของระบบเพื่อควบคุมความเร็วในการทำให้อาหารร้อน อย่างไรก็ตามการเร่งความเร็วมากเกินไปอาจมีผลเสีย เช่น น้ำในอาหารไม่สามารถระบายออกด้วยการระเหยได้ทันทำให้เกิดการเดือดขึ้นในอาหาร และเมื่อมีปริมาณมากจะเกิดการระเบิดออกมา ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์

3. ค่าความชื้นในอาหาร น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการดูดซึมพลังงานสูง สามารถให้ความร้อนแก่อาหารได้ดี อาหารที่มีความชื้นสูงจึงดูดซึมพลังงานได้ดีกว่าอาหารที่มีความชื้นต่ำ ดังนั้นอาหารที่มีความชื้นสูงจะเกิดความร้อนได้เร็วกว่าอาหารที่มีความชื้นต่ำ

4. ความหนาแน่นของอาหาร โดยปกติอากาศเป็นฉนวนความร้อนได้ดี ดังนั้นอาหารที่โปร่งหรือมีช่องซึ่งมีอากาศแทรกอยู่มากจะทำให้ร้อนได้ช้า แต่สำหรับไมโครเวฟอากาศไม่มีผลกระทบต่อการทำให้อาหารร้อน ดังนั้นในการอบขนมปังด้วยไมโครเวฟจะกินเวลาเพียง 1 ใน 3

ของเวลาปกติหรือน้อยกว่า

5. อุณหภูมิของอาหาร อุณหภูมิมีผลต่อระบบไมโครเวฟหลายกรณีดังนี้

5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงาน อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของอาหาร เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการทำให้อาหารร้อน

5.2 น้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง มีผลอย่างมากในการเปลี่ยนพลังงานของน้ำเย็นกับน้ำแข็งแตกต่างกันถึงร้อยละ 200 เนื่องจากความโปร่งใสของน้ำแข็งทำให้การดูดซึมความร้อน ไม่ดีพอ เพื่อง่ายต่อการควบคุมเราจึงนิยามละลายน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง ให้อุณหภูมิที่ได้ต่ำกว่าจุดหลอมละลาย

5.3 อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารควรทราบ หรือถูกกำหนดไว้ เพื่อง่ายต่อการปรับกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับการระบุอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

6. รูปร่างของอาหาร ลักษณะรูปร่างของอาหารที่นำมาผ่านระบบไมโครเวฟมีความสำคัญ ดังนี้

6.1 ขนาด ถ้าขนาดของชิ้นอาหารนั้นใหญ่มากโดยเฉพาะความหนา จะทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไม่ถึงจุดกึ่งกลางทำให้อาหารร้อนไม่ทั่วทั้งชิ้น ถ้าความหนาของชิ้นอาหารมีความใกล้เคียงกับความสามารถที่คลื่นสามารถทะลุถึงได้ จะทำให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความหนาของชิ้นมีอุณหภูมิสูงที่สุด

6.2 รูปร่าง อาหารที่มีรูปร่างขนาดความกว้างยาวเท่ากันทั้งชิ้นจะถูกทำให้ร้อนได้สม่ำเสมอกว่า ควรหลีกเลี่ยงรูปร่างที่มีขอบแหลมหรือมุมซึ่งจะไหม้ได้ ในกรณีที่จำเป็น เช่น น่องไก่สามารถช่วยได้โดยการลดกำลังไฟฟ้าและยืดระยะเวลาออกไป

7. ค่าการนำไฟฟ้า ในการเกิดความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟเชื่อกันว่าเกิดจาก Dipolar rotation ของอนุภาคในอาหารซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นๆ ดังนั้นถ้าเราเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร อาจช่วยเร่งการเกิดความร้อนให้อาหารได้ แต่อาจมีผลต่อความสามารถในการเจาะทะลุของคลื่นเข้าไปในชิ้นอาหาร และทำให้เกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ

8. ค่าการนำความร้อน จะมีผลต่ออาหารชิ้นใหญ่ โดยที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถเจาะลึกพอที่จะทำให้จุดกึ่งกลางของอาหารร้อนสม่ำเสมอได้ หรือเมื่อต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้อาหารร้อนนาน ในกรณีที่ใช้เวลาน้อยค่าการนำความร้อนจะไม่ส่งผลมากนัก

9. ค่าความร้อนเฉพาะ ส่วนใหญ่เรามักนึกถึงค่านี้ แต่สำหรับกรณีที่อาหารนั้นๆมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานต่ำ ค่าความร้อนจำเพาะจะมีส่วนช่วยให้เกิดความร้อนได้เป็นอย่างดี การควบคุมค่าความร้อนจำเพาะ เป็นเทคนิคหนึ่งในการการให้ความร้อนกับอาหารที่มีหลาย

องค์ประกอบโดยจัดองค์ประกอบต่างๆ ในอาหารให้มีค่าความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกัน (วัชรินทร์, 2531)

1.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ จะเกี่ยวข้องกับระบบไมโครเวฟและวัตถุที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น ปัจจัยหลักของอาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟ คือ

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดอัตราและเวลาการให้ความร้อน ในกระบวนการให้ความร้อนใดๆ อุณหภูมิเริ่มต้นยิ่งสูง อาหารจะยิ่งสุกเร็วขึ้น ซึ่งกฎนี้ก็ใช้ได้กับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเช่นกัน ส่วนปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิที่จะได้คือ ความร้อนแฝง (เช่น น้ำแข็งในอาหารแช่แข็งที่เปลี่ยนไปเป็นน้ำ จะต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น) คุณสมบัติไดอิเล็กทริก และคุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร)

2. ขนาด

เมื่อชิ้นอาหารถูกทำให้ร้อน อาหารที่มีขนาดเหมือนกันจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และขนาดของชิ้นอาหารที่เล็กกว่าต้องการพลังงานที่น้อยกว่าขนาดที่ใหญ่กว่า

3. รูปร่าง

ลักษณะพื้นฐานของอาหารก็มีความสำคัญ การให้ความร้อนมากเกินไป สามารถเกิดขึ้นในอาหารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนอาหารที่มีรูปร่างกลมมนมีแนวโน้มที่จะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากกว่าชิ้นอาหารที่มีมุมแหลมหรือที่มีทั้งส่วนหนาและบาง อย่างไรก็ตาม ทรงกลมหรือผิวที่โค้งคล้ายกับทรงกลมอาจจะมีส่วนตรงกลางที่ร้อนกว่า แต่การให้ความร้อนที่มากเกินไปไม่สามารถสังเกตได้ในชิ้นอาหารที่มีขนาดรัศมีเกิน 0-50 มิลลิเมตร

4. ความหนาแน่นหรือความเป็นเนื้อเดียวกัน

อาหารส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีผลต่อการทำให้อาหารเหล่านี้ร้อนขึ้นอาหารที่แน่นกว่ามีแนวโน้มที่จะใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีองค์ประกอบที่เปิดและเป็นรูพรุนมากกว่า

5. ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะเป็นสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมการให้ความร้อนอาหาร ความร้อนจำเพาะนิยามให้เป็น “ปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของมวลหนึ่งหน่วยขึ้น 1 องศาเซลเซียส” ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของสารที่จะจุความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับของน้ำ หน่วยของความจุความร้อนจำเพาะ คือ จูล/กรัม.องศาเซลเซียส ($J/g^{\circ}C$) ความร้อนจำเพาะของน้ำเป็น 1.0 ส่วนไขมันส่วนใหญ่ประมาณ 0.5 หมายความว่า สำหรับไขมันที่มีน้ำหนักเท่ากับน้ำ ไขมันต้องการความร้อนเพียงครึ่งเดียวของน้ำ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของมวลที่มีอยู่ขึ้น 1 องศาเซลเซียส ความร้อนจำเพาะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย ความร้อนจำเพาะจะมีค่าสูงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นรอบๆ จุดเยือกแข็งของอาหาร และผลของความร้อนแฝงที่ต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นในระหว่างการเปลี่ยนสถานะทางกายภาพระหว่างน้ำกับน้ำแข็ง ดังนั้นถ้าใช้ไมโครเวฟกับอาหารแช่แข็งปริมาณพลังงานที่ต้องใช้จะเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากผลของความร้อนแฝงเหล่านี้

6. สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละองค์ประกอบในอาหารที่ทำการแปรรูป มีผลต่อการให้สถานะการให้ความร้อนเหมาะสม ขึ้นของผิวที่ได้รับความร้อนมากเกินไปแต่ภายในชิ้นอาหารยังเย็นอยู่เกิดจากการให้ความร้อนที่มากเกินไปต่อผิวของอาหารที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการให้เกิดคลื่นระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและผลการนำความร้อน อัตราการให้ความร้อนควรจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนไปยังชั้นในของอาหารเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ถ้าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ผิวต่ำ

1.4.7 วิธีการใช้เตาอบไมโครเวฟที่ถูกต้องเพื่อความปลอดภัยและป้องกันอันตราย ดังนี้

- เมื่อจะต้มชาหรือกาแฟ ควรใส่ผงกาแฟหรือถุงชาลงไปในน้ำก่อนจะลงไปต้ม
- คนของเหลวหรือน้ำก่อนนำเข้าไมโครเวฟหรือต้ม ระหว่างปรุงควรหยุดเวลาแล้วเปิดคนอาหารเป็นระยะๆ เพื่อให้ความร้อนกระจายอุณหภูมิอาหารจะได้สมดุลกัน
- ห้ามใส่ภาชนะโลหะหรือภาชนะที่มีขอบเคลือบโลหะแวววาวเพราะอาจเกิดประกายไฟในเตาได้
- หลีกเลี่ยงภาชนะที่มีคอแคบ
- อย่าอุ่นหรือต้มในเตาไมโครเวฟนานเกินไป โดยเฉพาะของเหลวไม่ควรเกิน 2 นาที

- ห้ามใช้พลาสติกห่ออาหารที่ปรุงในเตา ควรใช้พลาสติกที่ทำมาเฉพาะเพื่อใช้กับเตาไมโครเวฟ เวลาแกะพลาสติกออกหลังจากอุ่นแล้ว ควรแกะให้ห่างจากใบหน้า
 - อาหารชนิดเช่นไข่ทั้งฟอง เวลาจะใช้ปรุง ควรเจาะไข่แดงให้แตกเสียก่อนคลุมด้วยพลาสติกที่ใช้กับเตาไมโครเวฟ ยกออกมาตั้งไว้ 1 นาที ก่อนแกะพลาสติกที่หุ้มออก
 - ควรเจาะรูอาหารทุกชนิดที่มีเปลือกหุ้มหรือผิวไม่มีรูเพื่อให้ไอน้ำในอาหารระเหยง่าย ป้องกันการพองตัวและการระเบิดของอาหาร เช่น มันฝรั่ง ดับไก่ ไข่
 - ห้ามอบหรืออุ่นสมุนไพรแห้งในเตา เนื่องจากอาจลุกติดไฟได้ง่าย
 - ควรใช้ที่หมุนด้านในเตาไมโครเวฟ เพื่อให้อาหารเหลวมีการเคลื่อนไหวและร้อนเร็วขึ้น
 - การเลือกภาชนะที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟให้เหมาะสม เช่น ขามแก้วทนไฟ ขามกระเบื้อง พลาสติกทนความร้อน ภาชนะไม้ จานกระดาษ ห้ามใช้ภาชนะโลหะทุกชนิดหรือภาชนะกระเบื้องที่มีขอบสีเงิน ขอบสีทอง
 - ควรใช้ฝาพลาสติกทนความร้อนครอบอาหารเพื่อป้องกันคราบอาหารกระเด็นไปติดเตาอบ
 - ไม่ควรนำอาหารที่มีเปลือกแข็งเข้าไปในเตาอบ เพราะเมื่อความร้อนภายในอาหารขยายตัว จะทำให้เกิดระเบิดได้
 - หมั่นทำความสะอาดภายในเตาอบเพื่อไม่ให้เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค
- (นิรนาม, 2545 ; ศูนย์รวมข้อมูลคุณภาพเพื่อสุขภาพคุณ, 2552)

1.4.8 อันตรายฉับพลันที่เกิดจากการใช้ไมโครเวฟ

การให้ความร้อนแก่ของเหลวที่อยู่ในภาชนะผิวเรียบด้วยเตาอบไมโครเวฟนี้ สามารถทำให้เกิด ซุปเปอร์ฮีท (superheat) ซึ่งคือปรากฏการณ์ที่ของเหลวนั้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเดือดของของเหลวนั้นเล็กน้อย โดยที่ไม่ได้มีอาการเดือด ซึ่งอาการเดือดนี้จะเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลัน เมื่อของเหลวนั้นได้รับการรบกวน เช่นเมื่อผู้ใช้เตานั้นหยิบยกภาชนะออกจากเตา ซึ่งทำให้เกิดการระเบิดของโอเวอร์ฮีทได้ ภาชนะปิดสนิท และไข่ อาจเกิดระเบิดได้เมื่อให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟ เนื่องจากความดันที่เพิ่มขึ้นจากไอน้ำภายในสิ่งที่ถูกให้ความร้อนนานเกินไปอาจเกิดลุกเป็นไฟได้

กระดาษฟอยล์ดีบุก (Tin foil), กระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil), เครื่องเคลือบประดับด้วยโลหะ และ ภาชนะอื่นๆที่มีส่วนประกอบโลหะ อาจทำให้เกิดประกายไฟได้หากให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ การนำวัตถุที่ทำจากโลหะขนาดเล็ก เช่น ช้อนโลหะ เข้าในเตาอบไมโครเวฟ นั้นไม่ทำให้เกิดอันตรายถ้าหากมีอาหาร หรือน้ำ เพื่อดูดซับคลื่นที่สะท้อนออกจากวัตถุนั้น

จะเห็นว่าในเตาอบไมโครเวฟบางรุ่นนั้นจะมีชั้นวางโลหะอยู่ในเตาอบด้วย (Safety Health Environment, 2007)

1.4.9 การรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

อันตรายที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกจากเตาอบไมโครเวฟ ตามกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา นั้นควบคุมการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟให้มีได้ไม่เกิน 1 mW/cm^2 ที่ 5 cm จากเตาอบใหม่ (เตาอบเก่านี้ให้มีได้ 5 เท่า) โดยปกติแล้วโอกาสที่เตาอบไมโครเวฟจะมีคลื่นรั่วออกมาเกินจากปริมาณที่กำหนดนี้จะมีน้อยมาก ลองเปรียบเทียบกับ โทรศัพท์มือถือ(cellular phone)GSM ซึ่งแผ่คลื่นถึง 1 W ที่ 1800 MHz ซึ่งเท่ากับ 2 mW/cm^2 ที่ 5 เซนติเมตร ซึ่งอันตรายจากคลื่นจากโทรศัพท์มือถือนี้ ก็ยังไม่เป็นที่แน่ชัดและยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่ (Safety Health Environment, 2007)

1.4.10 การบำรุงรักษาเตาอบไมโครเวฟอย่างถูกวิธี

1.4.10.1 ถอดปลั๊กไฟออกก่อนทำความสะอาดทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัยจากไฟฟ้าและคลื่นไมโครเวฟ

1.4.10.2 รักษาภายในเตาอบไมโครเวฟให้สะอาดอยู่เสมอ ถ้ามีอาหารกระเด็นโดนผนังภายในให้ใช้ผ้าชื้นๆ เช็ดออกหากสกปรกมากให้ใช้ผงซักฟอกอ่อนๆ ได้ห้ามใช้ของมีคมขูด

1.4.10.3 ภายนอกของเตาอบไมโครเวฟควรใช้สบู่น้ำเช็ดออก แล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าชื้นๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนภายในเตาอบ และไม่ควรให้น้ำไหลซึมลงไปในห้องระบายอากาศได้

1.4.10.4 หากแผงควบคุมเปียกให้ใช้ผ้าแห้งชื้นเช็ดทำความสะอาด ห้ามใช้ผงซักฟอกหรือของมีคมขัดถูจะทำให้แผงควบคุมเสียหายได้

1.4.10.5 หากเกิดไอน้ำเกาะประตูเตาอบทั้งด้านนอกและด้านในให้เช็ดด้วยผ้าชื้นๆ

1.4.10.6 การนำจานแก้วออกมาทำความสะอาด ให้ล้างด้วยน้ำอุ่นผสมสบู่

1.4.10.7 ขาสำหรับทำให้จานหมุนและพื้นเตาอบควรทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ

1.4.10.8 หากจานแก้วยังร้อนอยู่ ควรรอให้เย็นแล้วจึงทำความสะอาด

1.4.10.9 ควรตั้งเตาอบไมโครเวฟไว้ในที่อากาศถ่ายเทได้ดี ควรมีช่องว่างสำหรับช่วยระบายอากาศโดยรอบข้างให้เหมาะสม ไม่ควรตั้งติดผนัง (Safety Health Environment, 2007)

1.4.11 บรรจุภัณฑ์และภาชนะที่ใช้กับระบบไมโครเวฟ

ภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟนั้นว่ามีบทบาทสำคัญมาก โดยเฉพาะอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมรับประทาน เพียงแต่นำมาทำให้ร้อนขึ้นด้วยไมโครเวฟก็รับประทานได้นั้น จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่นำมาทำภาชนะบรรจุรวมถึงขนาดและรูปแบบ วัสดุใดที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้นั้นไม่เหมาะที่จะใช้เพราะจะแบ่งรับพลังงานไปจากอาหารที่บรรจุอยู่ ส่วนวัสดุที่สะท้อนคลื่นไมโครเวฟก็ไม่เหมาะสมเช่นกัน เพราะจะทำหน้าที่เหมือนเป็นเกราะกักอาหารไว้ไม่ให้กระทบกับไมโครเวฟได้ ภาชนะที่ทำด้วยโลหะทั้งหลายไม่เหมาะสมที่จะใช้อาจก่อให้เกิดประกายไฟขึ้น และคลื่นที่สะท้อนกลับจะทำให้แมกนีตรอนของเครื่องเสื่อมเสียมีอายุการใช้งานสั้นลง ส่วนวัสดุที่เหมาะสมนั้นควรเป็นชนิดที่ยอมให้คลื่นทะลุผ่านได้ดีได้แก่ กระดาษ พลาสติก เครื่องเคลือบดินเผาหรือเซรามิก วัสดุพลาสติกมีความเป็นไปได้สูงมีทั้งชนิดที่ใช้ครั้งเดียวทิ้งได้เลยได้แก่ โฟม มีความนิยมสูงมาก แต่ถ้าจะนำมาใช้กับเตาอบไมโครเวฟควรระวังเมื่อมีไขมันอยู่ด้วย ขณะที่ให้ความร้อนจะหลอมเหลวและบูดเปื่อยง่าย รูปร่างของภาชนะบรรจุก็มีผลบ้างต่อการทำให้ร้อนเร็วหรือช้าเมื่อใช้ไมโครเวฟ ภาชนะที่มีรูปร่างกลมปากกว้าง และมีมุมเอียงเข้าหาส่วนก้นที่แคบกว่าจะให้ผลดีกว่าภาชนะที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม เพราะมีมุมอบที่จะรับคลื่นไมโครเวฟได้น้อย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

การปรุงอาหารด้วยตู้ไมโครเวฟนั้น ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างจากการปรุงอาหารด้วยเครื่องอบธรรมดาหรือเตาแก๊ส ภาชนะต่างๆไปที่ใช้อยู่ในครัวเรือนก็สามารถนำมาใช้กับตู้อบไมโครเวฟได้ ยกเว้นภาชนะโลหะหรือภาชนะที่มีโลหะเป็นส่วนผสม เพราะคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ บรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กับตู้อบไมโครเวฟจึงควรทำจากวัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้น้อย และสามารถส่งผ่านคลื่นที่มาตกกระทบนั้นได้โดยไม่สะท้อนคลื่นนั้น ภาชนะที่สามารถใช้กับตู้อบไมโครเวฟ (วิลโล, 2545) ได้แก่

1. ภาชนะไม้ประเภทหวาย ไม้ ฟาง ใช้ได้กับตู้ไมโครเวฟในระยะเวลาที่สั้นๆ และไม่ควรใช้กับอาหารที่มีมันมาก หรือประกอบด้วยน้ำตาลปริมาณสูง เพราะความร้อนจากอาหารจะทำให้ภาชนะประเภทนี้เกรียมแห้งและแตกได้
2. กระเบื้อง จาน ชาม ถ้วย หรือภาชนะก้นลึกต่างๆ ที่ใช้สำหรับรับประทานอาหารนั้นสามารถนำมาใช้ได้ แต่ไม่ควรเป็นชนิดที่มีขอบเงินหรือทอง เพราะสีหรือวัสดุที่เคลือบภาชนะ เหล่านี้

มักประกอบด้วยวัตถุที่ทำจากโลหะจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับตู้ไมโครเวฟ

3. แก้วทนไฟ ภาชนะจำพวกเครื่องแก้วทนไฟที่ใช้สำหรับเตาธรรมดาประเภทที่ไม่มีวัตถุที่เป็นโลหะเป็นองค์ประกอบที่เหมาะสมจะนำมาใช้ได้แก่ เครื่องแก้วที่ทนต่อความร้อน เช่น ไพเร็กซ์ คอรันนิงแวร์ เครื่องเคลือบเซรามิก และเครื่องปั้นดินเผา

4. ภาชนะกระดาษ ใช้ได้กับอาหารที่ใช้ความร้อนไม่มาก เช่น การอุ่นอาหาร อาหารที่ใช้เวลาทำให้สุกสั้นมากหรืออาหารที่ไม่ค่อยมัน ไม่มีน้ำตาลหรือน้ำ ภาชนะกระดาษ เช่น กระดาษเช็ดปาก กระดาษเช็ดมือ จานกระดาษ ถ้วยกระดาษ ถ้วยกระดาษต่างๆ ล้วนเป็นภาชนะที่ใช้ได้แต่ควรหลีกเลี่ยงกระดาษไข เพราะความร้อนจะทำให้ไขที่เคลือบไว้ละลายและซึมเข้าไปในอาหารได้ ส่วนกระดาษที่นำกลับมาหลอมใช้ใหม่ไม่ควรนำมาใช้ เช่น กระดาษสีน้ำตาลเพราะมีส่วนผสมที่ไม่บริสุทธิ์อาจก่อให้เกิดประกายไฟได้

5. ภาชนะพลาสติก ประเภทพลาสติกที่ทนความร้อนสามารถใช้กับไมโครเวฟได้ดี ไม่ควรใช้ถุงพลาสติกธรรมดาเพราะจะไม่สามารถทนความร้อนของอาหารได้ ไม่ควรใช้ภาชนะพลาสติกกับอาหารที่มันมากหรือประกอบด้วยน้ำตาลในปริมาณสูง เพราะอาจทำให้ร้อนจัดมากเกินไปอาจทำให้ถุงเสียรูปได้

6. ภาชนะโลหะ การประกอบอาหารด้วยตู้ไมโครเวฟควรหลีกเลี่ยงภาชนะที่เป็นโลหะ เพราะคลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนกลับหมดเมื่อกระทบกับโลหะ และอาจเกิดประกายไฟได้

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภครุ่นหลายชนิดที่มีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถทำให้สุกหรืออุ่นด้วยเตาอบไมโครเวฟได้ง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติของภาชนะบรรจุ เช่น ปอบคอร์น พิชซ่า แซมเบอร์เกอร์ และเฟรนช์ฟราย ภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภครุ่นเหล่านี้สามารถ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. Transmit ได้แก่ แก้ว พลาสติก และถุงกระดาษ ซึ่งเป็นพวกที่ยอมให้พลังงานผ่านได้ และให้ความร้อนโดยตรงแก่อาหาร

2. Susceptor ได้แก่ โลหะที่เคลือบโพลีเอสเตอร์ สามารถเปลี่ยนจากพลังงาน ไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนทำให้อาหารกรอบ และเป็นสีน้ำตาล

3. Reflect microwave ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ในอดีตจะมีข้อห้ามไม่ให้ใช้ภาชนะที่เป็นโลหะทั้งนี้ก็เพราะจะทำให้เกิดความร้อนภายในเตาไมโครเวฟสูง หรืออาจเกิดประกายไฟ การเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้ไมโครเวฟเกิดความเสียหายมีอายุการใช้งานที่สั้นลง แต่ในปัจจุบันการพัฒนาเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ผลิตแมกนีตรอน โดยเปลี่ยนจากหลอดแก้วไปเป็นทำจากเซรามิกและโลหะซึ่ง

สามารถทนความร้อนได้สูง และสามารถเปิดไมโครเวฟใช้งานได้ติดต่อกันได้นานถึง 350 ชั่วโมง ในกรณีนี้จึงสามารถใช้ภาชนะที่ทำจากโลหะได้ ในปัจจุบัน aluminium foil ได้รับความนิยมมาก เพราะมีข้อดีคือ ช่วยให้อาหารสุกสม่ำเสมอ และไม่มีผลต่อคุณภาพอาหาร สามารถลดขนาดหรือ ขยายขนาดได้ตามต้องการ ไม่ละลายหรือเป็นเถ้าเพราะสามารถทนความร้อนและความเย็นได้ในช่วง -100 ถึง 400 องศาเซลเซียส (สันติ, 2534)

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิตา และสุภาพร (2538) ทำการศึกษา คุณสมบัติของข้าวเจ้า และข้าวเหนียว เพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่ พบว่าอุณหภูมิแป้งสุก หมายถึง อุณหภูมิ ซึ่งเม็ดแป้ง (starch granule) เริ่มพองในน้ำร้อน ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีอุณหภูมิแป้งสุก 55-79 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชันสามารถแบ่งได้เป็นช่วงต่ำ คือ 69.5 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่าช่วงปานกลาง 70-74 องศาเซลเซียส และสูงคือมากกว่า 74 องศาเซลเซียส สามารถวัดได้จาก ระดับการแตกตัวของเมล็ดข้าว 6 เมล็ดใน 1.7 % KOH 10 มล. นาน 23 ชั่วโมงที่ 30 องศาเซลเซียส โดยให้คะแนนเป็น 1-7 ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีเมล็ดยาว และข้าว ที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง จากค่าการสลายตัวในด่างแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ไม่มิกลื่นห้อมมีอุณหภูมิ แป้งสุกปานกลาง ข้าวหอมและข้าวเหนียวมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

รุ่งนภา (2543) ทำการศึกษาการวิเคราะห์กระบวนการเจลาติไนซ์และรีโทรกราเดชันที่มีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว พบว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ข้าว ที่ใช้อุณหภูมิ 15 และ 30 องศาเซลเซียส หลังการแช่ข้าวในน้ำนาน 3-7 ชั่วโมง แม้ปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 33-35 ก็ตาม แต่พบว่าตัวอย่างข้าวที่สุ่มขึ้นมาหลังจากการแช่ข้าว หลังชั่วโมงที่ 10 (ประมาณ 16 ชั่วโมง) เป็นต้นไป ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีกลิ่นหมักเกิดขึ้น ในขณะที่การแช่ข้าว ณ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะให้การดูดซึมน้ำที่สูงกว่าการแช่ที่อุณหภูมิ 15 และ 30 องศาเซลเซียส โดยที่ระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าวตั้งแต่ชั่วโมงที่ 7 เป็นต้นไป จะเกิดกลิ่นหมักขึ้นถึงแม้จะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่สูงก็ตาม การแช่ข้าวเป็นเวลา 23 ชั่วโมง ให้ข้าวที่มีลักษณะที่ละเอียดหักง่าย และมีกลิ่นหมักรุนแรง

Reberts *et. al.* (1954) ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการขยายของข้าวหนึ่งโดยผ่านไอน้ำอุณหภูมิระหว่าง 64-140 องศาเซลเซียส ไปยังข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำมาก่อน (soaked paddy) พบว่าอัตราการขยายตัวจะสูงสุด ที่ 125 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Chinnaswany and

Bhattacharya (1983) ยังพบว่าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปสำหรับการแช่ข้าวในการทำข้าวหนึ่ง จะไปทำให้เกิดท้องใจและไปลดการขยายตัวของข้าวหนึ่ง

Labuza and Kreismon (2004) ขนมอบพองเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษานาน เพราะมีไขมันต่ำ จึงไม่พบปัญหาการเสียเนื่องจากกลิ่นหืน ต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ทอดด้วยน้ำมันที่มักพบปัญหาการเกิดกลิ่นหืน การใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของความชื้นได้ จะช่วยให้ขนมมีอายุการเก็บรักษานาน 4 - 6 สัปดาห์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานมากกว่า 6 เดือน เมื่อเก็บในภาชนะบรรจุที่เป็น laminated และภายในบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน นอกจากนี้ยังไม่พบการเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ เพราะขนมขบเคี้ยวมีค่า a_w ที่ต่ำไม่เหมาะกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

สีวาพร และคณะ (2534) ทดลองเก็บผลิตภัณฑ์สำเร็จอาหารเข้าที่ผลิตมาจากแป้งข้าวเจ้าในถุง Polyethylene (PE) และถุง PE เคลือบด้วย Aluminium foil พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE เคลือบด้วย Aluminium foil มีอายุการเก็บที่ยอมรับนานถึง 10 สัปดาห์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE มีอายุ การเก็บต่ำกว่า 6 สัปดาห์ โดยวัดจากค่าปริมาณความชื้น ค่าแรงกดทดสอบความกรอบ และผลประเมินทางประสาทสัมผัส

Decareau (1985) พบว่า การใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งพาสต้าจะใช้เวลาเพียง 90 นาที เทียบกับวิธีอื่นที่ใช้เวลานานถึง 8 ชั่วโมง ปริมาณแบคทีเรียลดลงกว่า 15 เท่า ลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 20-25 และไม่เกิดการแข็งตัวของผิวนอก การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งที่ความดันต่ำ จะทำได้เร็วกว่าเพราะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากกว่า

Matrid *et. al.* (1998) ศึกษาอัตราการเกิดเจลของแป้ง 3 ชนิดคือ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลี โดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 15-30 วินาที พบว่าแป้งข้าวโพดมีอัตราการเกิดเจลที่ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลี แต่ถึงอย่างไรอัตราการเกิดเจลของแป้งก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมและระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

Miller and Hosney (1997) นำขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นหนา 20 มิลลิเมตร มาทำการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับสูงสุด (750 W) นาน 20 30 และ 40 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนาน 4 นาที เพื่อให้ความชื้นกระจายตัวทั่วทั้งแผ่น และนำขนมปังที่มีขนาดเท่ากันมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 3 5 และ 11 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นนาน 5 นาที เพื่อให้ความชื้นเท่ากับขนมปังที่อบด้วยไมโครเวฟ จากนั้นนำขนมปังทั้งสองมาวัดค่าความเหนียว เปรียบเทียบกัน

พบว่า ขนบปิ้งที่อบด้วยไมโครเวฟนาน 40 วินาที มีความเหนียวสูงสุด คือต้องใช้ แรงในการตัดขนบปิ้ง 997 กรัม ขณะที่ขนบปิ้งที่อบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 11 นาที ใช้แรงในการตัด เพียง 466 กรัม

Funebo *et. al.* (2002) ศึกษาผลของการใช้เอธานอลร้อยละ 95 และการแช่แข็ง แอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่า การใช้เอธานอลร้อยละ 95 ช่วยเพิ่มการดูดคืนน้ำของแอปเปิ้ล ส่วนการแช่แข็งแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นช่วยให้การกำจัดน้ำทำได้มากขึ้น และการดูดคืนน้ำก็ทำได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับแอปเปิ้ลที่ทำแห้งโดยไม่ผ่านการแช่แข็งมาก่อน

Ahrne *et. al.* (2003) ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของ แอปเปิ้ล และมันฝรั่งที่ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า แอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียม-คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีเนื้อสัมผัสดีที่สุด และดีกว่าเมื่อเทียบกับแอปเปิ้ลที่ทำแห้ง โดยไม่ผ่านการแช่สารละลายใดๆ แต่การแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการทำแห้งไม่มีผลกับ มันฝรั่ง ทั้งนี้การกระจายตัวของน้ำระหว่างการทำแห้งขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของเนื้อเยื่อผัก ผลไม้ อุณหภูมิในการทำแห้ง และลักษณะของคลอไรด์ที่ใช้

Liu *et. al.* (2005) ทำการศึกษาการกระจายตัวของพลังงาน และอุณหภูมิในระหว่าง การใช้ไมโครเวฟละลายอาหารแช่แข็ง โดยใช้สมการของ Maxwell และกฎของ Lambert พบว่า คุณสมบัติในการนำ และต้านทานความร้อนของอาหารมีผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ และการกระจายตัวของอุณหภูมิในระหว่างการละลายอาหารแช่แข็ง

Fu *et. al.* (2005) พบว่า การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งเป้งมันสำปะหลังในขั้นตอน สุดท้ายของการผลิตเป้งนั้น การใช้ระยะเวลาและระดับพลังงานที่ต่ำจะช่วยให้เป้งมันสำปะหลัง ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ระดับพลังงานที่เหมาะสมคือ 119-143 W และยังพบอีกว่าในการใช้ไมโครเวฟ ในการทำแห้งเป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนถึงร้อยละ 50-75

บทที่ 2

อุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- อุปกรณ์เครื่องครัว
- เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) บริษัท กล้วยน้ำไท
- ตู้บ่ม ยี่ห้อ Elecrem และ ยี่ห้อ Memmert
- เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) ยี่ห้อ JUKI รุ่น JC801S
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ GBX รุ่น FA-st/1 และ ยี่ห้อ Testo 650
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Hounsfield Test – TX0866 Model-H5K5
- เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ยี่ห้อ Powerfix รุ่น Nr. Z22855F
- ตู้ดูดความชื้น ยี่ห้อ Bossman รุ่น SBM-B1B
- ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert
- ชุดวิเคราะห์ไขมัน ยี่ห้อ PNP รุ่น KD6-250
- ชุดวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ Foss รุ่น Kjeltac 2200
- ชุดวิเคราะห์เส้นใย ยี่ห้อ FIWE (บริษัท ชัยวิทย์โฮลดิ้ง จำกัด)
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP221S
- เตาเผาเถ้า (muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น S302RR
- ถ้วยกระเบื้องซิลิกา (crucible)
- กระป๋องสำหรับวัดความชื้น (moisture can)
- อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

2.2.1 ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคและผู้ประกอบการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

2.2.1.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ประชาชนในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 300 คน เพื่อทราบถึงความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ลักษณะและชนิดของข้าวแต๋นที่ต้องการบริโภค ปัญหาที่พบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และราคาของผลิตภัณฑ์ที่สามารถซื้อได้

2.2.1.2 ด้านผู้ประกอบการ โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 10 ราย เพื่อทราบถึงวิธีการในการผลิตข้าวแต๋น รวมทั้งปัญหาที่พบในการผลิต และความต้องการของผู้ประกอบการในด้านการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแต๋น

2.2.1.3 ศึกษาการพองตัวของข้าวแต๋นแบบทอดด้วยน้ำมันและแบบอบด้วยเตาไมโครเวฟของผู้ประกอบการ โดยการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจากผู้ประกอบการจำนวน 10 ผู้ประกอบการ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทอด และอบด้วยเตาไมโครเวฟ และหาอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นโดยวิธีการแทนทีงา (อุบลรัตน์, 2549)

2.2.2. คัดเลือกพันธุ์ข้าว และศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กิ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

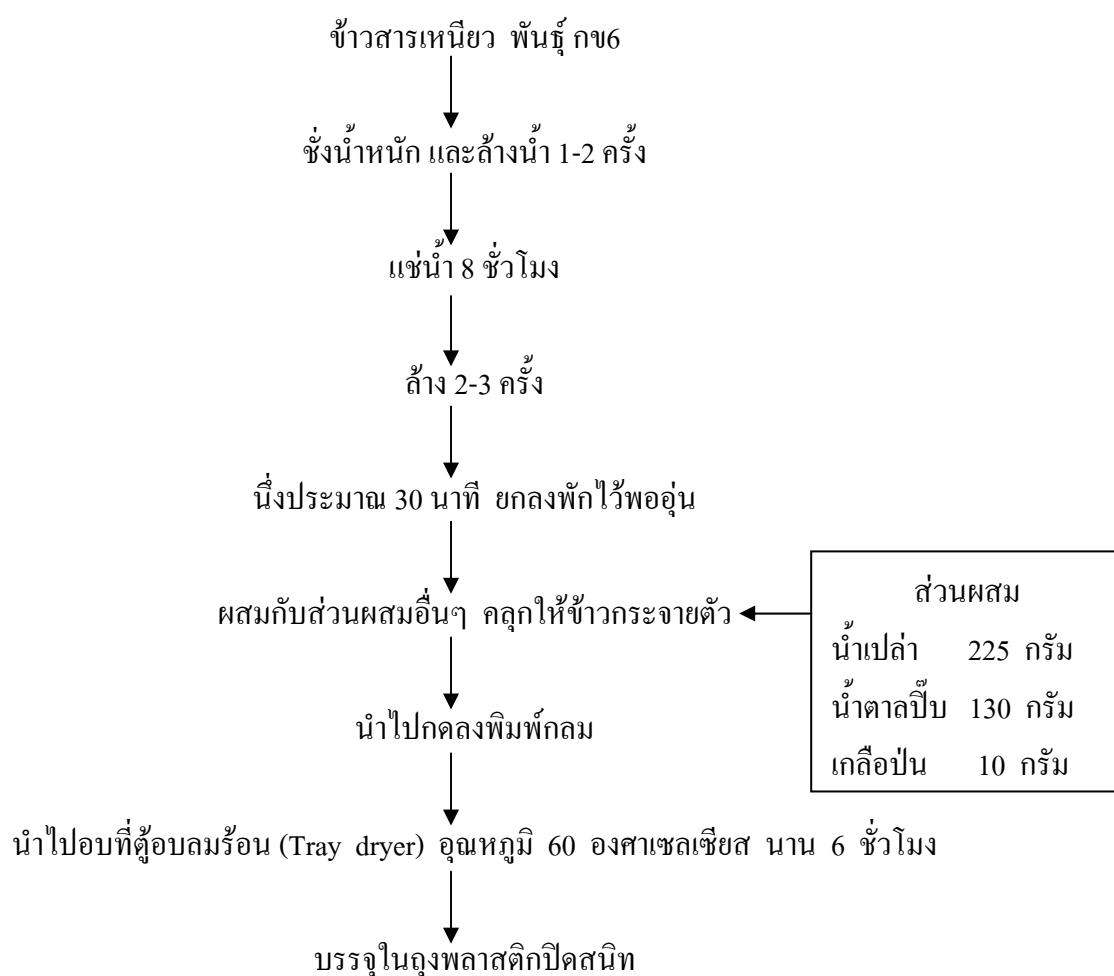
2.2.2.1 การคัดเลือกพันธุ์ข้าว ด้านพันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกในภาคเหนือ โดยศึกษาจากการตรวจเอกสาร การสัมภาษณ์ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋น และร้านจำหน่ายข้าวสาร เกี่ยวกับรายละเอียดของพันธุ์ข้าวเหนียวในภาคเหนือ

2.2.2.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต๋นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น กิ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในข้าวแต๋น 2 ระดับ คือ 50 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากขนิษฐา, 2549) และ 60 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากอุบลรัตน์, 2549)

โดยเตรียมข้าวเหนียวโดยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ แล้วเติมส่วนผสมของน้ำเชื่อม (จากการผสมน้ำ น้ำตาลปี๊บ และเกลือป่น คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน) ลงในส่วนของข้าวเหนียวที่นึ่งสุก คลุกให้ข้าวกระจายตัว (ไม่จับกันเป็นก้อน) แล้วนำไปกดลงพิมพ์กลม ดังภาพที่ 1 การศึกษาจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่างวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity ;

a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ GBX รุ่น FA-st/1 และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนที่น้ำ (อูบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตข้าวแต๋น

ที่มา : ดัดแปลงจากอูบลรัตน์ (2549) อ้างโดย เมทนีและแสงเดือน (2550)

2.2.2.3 ศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อคุณภาพการงอกตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยเตรียมข้าวเหนียวด้วยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ เดิมส่วนผสมของน้ำเชื่อมหรือน้ำ นำไปคลุกกับข้าวเหนียวที่นึ่งสุก ในอัตราส่วนน้ำเชื่อมต่อข้าวเหนียวนึ่งสุกคิดเป็นร้อยละดังนี้

1. น้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก (อุบลรัตน์, 2549)
2. น้ำเชื่อมร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก (พรชนก และคณะ, 2546)
3. น้ำเปล่าร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก
4. น้ำเปล่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก

นำตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการงอกตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.2.4 ศึกษาสถานะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการงอกตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวแต่นึ่งที่ผ่านการคลุกผสมน้ำเชื่อม จากนั้นกดลงพิมพ์กลมนำไปแช่แข็ง (ดัดแปลงขนิษฐา, 2549) เปรียบเทียบกับข้าวแต่นึ่งที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการงอกตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.2.5 ศึกษาผลของลักษณะเมล็ดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการงอกตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคัดพิเศษเมล็ดเต็มร้อยละ 100 และข้าวคัดทั่วไป (มีข้าวหักผสมประมาณร้อยละ 10) นำมาผลิตเป็นข้าวแต่นึ่งตามกระบวนการที่ได้คัดเลือกจากข้อ 2.2.2.2 -2.2.2.4 ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการงอกตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.2.6 ศึกษาขนาดของข้าวแต๋นที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ พิมพ์ข้าวแต๋น ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 4 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยกำหนดความหนา 5 มิลลิเมตร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.3. ศึกษาความหนาและขนาดของข้าวแต๋นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

2.2.3.1 ศึกษาความหนาของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์พลาสติกที่มีความหนาต่างกัน 2 ระดับ คือ 3 และ 6 มิลลิเมตร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.3.2 ศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 2 และ 4 เซนติเมตร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.3.3 ศึกษาระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.4.1 และ 2.2.4.2 ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 120, 130, 140, 150, 160, 170 และ 180 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยกำหนดใช้แรงกดแบบแท่งทะลุ หัวเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร กำหนด Test Speed เท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการวัดค่า

ความแข็ง (hardness) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4. ศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

2.2.4.1 ศึกษาชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ น้ำตาล 5 ชนิด คือ น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง น้ำเชื่อมฟรุคโตส และกลูโคส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ปริมาณน้ำตาล 5 ระดับ คือร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดค่าสี L^* a^* b^* และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.3 ศึกษาปริมาณน้ำมันพืชที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ปริมาณน้ำมันพืชทดแทนปริมาณน้ำในสูตร 9 ระดับ คือร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 ของน้ำหนักน้ำในสูตร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ช่วยในการขึ้นฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

2.2.4.4.1 ศึกษาปริมาณผงฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ผงฟู 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD และตรวจสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี DMRT และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน ใช้การประเมินผลแบบ Hedonic scaling 9 point ทางด้านการพองตัวและความเฟื่อน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.4.2 ศึกษาปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ยีสต์ 5 ระดับ คือ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์

ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.4.3 ศึกษาปริมาณเบกิ้งโซดาที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปโดยใช้เบกิ้งโซดา 5 ระดับ คือ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.4.5 สัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปด้านการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ โดยสัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปในเขตภาคเหนือจำนวน 200 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถาม (Questionnaire) การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยสำรวจและเชิงทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานผู้บริโภคต่อกระบวนการในการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปโดยใช้หลักเกณฑ์การสุ่มตัวอย่างประชากรโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) ในลักษณะการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience sampling) พิจารณาจากกลุ่มผู้บริโภคตัวอย่างในการสำรวจทัศนคติต่อผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ (สุดาดวง, 2540 ; ศิริวรรณ และคณะ, 2540) ทำการทดสอบผู้บริโภคแบบ Central Location Test (CLT)

2.2.5. ศึกษาวิธีการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

2.2.5.1 ศึกษาสภาวะการอบโดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวแต๋นที่อบแห้งแบบในฟิล์มพลาสติคและอบแห้งแบบไมไล่ฟิล์มพลาสติค จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.5.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์หลังการอบแห้งที่เหมาะสม โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าวแต๋นที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 3 เวลา คือ 140 150 และ 160 นาที นำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปตรวจสอบคุณภาพด้านปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.6. ศึกษาภาชนะสำหรับการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในเตาไมโครเวฟ

โดยศึกษาภาชนะที่ใช้อบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ 5 ชนิด คือ จานไมโครเวฟ จานเซรามิก ถังกระดาษเคลือบไข กล่องพลาสติก และถาดพลาสติกแบบมีรู จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.7. ศึกษาจำนวนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับอบในเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม

โดยศึกษาจำนวนข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป 6 ระดับ คือ 13 6 9 12 และ 15 ชิ้นต่อการอบ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และค่าสี L^* a^* b^* วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.8. ศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

2.2.8.1 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 40 43 45 47 และ 50 วินาที

2.2.8.2 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 35 37 40 43 และ 45 วินาที

2.2.8.3 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 33 35 38 40 และ 42 วินาที

2.2.8.4 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 28 30 33 35 และ 38 วินาที

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบโดยเตาไมโครเวฟจากข้อ 2.2.8.1-2.2.8.4 ตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.9. เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป

นำผลิตภัณฑ์มาทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ คือ ค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) คุณภาพทางเคมีโดยมีการตรวจสอบความชื้น และไขมัน (AOAC, 2000) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT และคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling 9 Point โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ตรวจสอบคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ การพองตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความกรอบ ความเปราะ หรือการแตกหัก) รสชาติ และความชอบรวม วางแผนการทดลองแบบ RCBD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.2.10. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

การศึกษาอายุการเก็บรักษา จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยวิธีการเร่งสภาวะ (Accelerated Shelf-life Testing ; ASLT) โดยการเก็บตัวอย่างข้าวแต๋น กึ่งสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิเร่ง 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างควบคุมที่ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างมาศึกษาคุณภาพ โดยมีปัจจัยคุณภาพที่ตรวจสอบดังนี้

2.2.10.1 คุณภาพทางกายภาพ ทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer วัดค่าสี L^* a^* b^* ทุก 2 สัปดาห์ และวัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) ทุกสัปดาห์

2.2.10.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยเครื่องวัด a_w ยี่ห้อ Testo 650 ทุก 2 สัปดาห์

2.2.10.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ คือปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ทุกสัปดาห์

2.2.10.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 15 คน ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีให้คะแนนความเข้ม (Intensity) ของคุณลักษณะทางด้านกลิ่น หิน ความกรอบ และกลิ่นรสหินของผลิตภัณฑ์ ทุกสัปดาห์ ใช้สเกลเส้นตรงที่มีความยาว 15 เซนติเมตร ร่วมกับการยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ด้วยวิธี Overall quality rating (Lawless, 1998) โดยคะแนน 1 และ 2 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด คะแนน 3 4 และ 5 หมายถึง ไม่ยอมรับ คะแนน 6 7 และ 8 หมายถึง ยอมรับได้ และคะแนน 9

และ 10 หมายถึง ขอมรับมากที่สุด โดยระดับการขอมรับเพิ่มขึ้น เมื่อค่าคะแนนมากขึ้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละคุณลักษณะในระหว่างการเก็บรักษา จากนั้นจึงทำนายอายุการเก็บรักษาของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป ตามวิธี ASLT

2.2.11. ศึกษาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

โดยใช้ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรม รวบรวมโดยศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย (นิรนาม, 2540) ซึ่งแบ่งสัดส่วนต้นทุนดังนี้ คือจากต้นทุนทั้งหมด 100 ส่วน คิดเป็นค่าวัตถุดิบร้อยละ 68.6 ค่าแรงงานร้อยละ 5.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 12.1 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรร้อยละ 4.5 และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 9.2 ในการคำนวณต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

2.2.12. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 500 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถาม (Questionnaire) โดยแบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ (Checklist question)

ตอนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

ตอนที่ 3 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ (Checklist question) (บุญธรรม, 2537)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยสำรวจและเชิงทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานผู้บริโภคต่อกระบวนการในการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้หลักเกณฑ์การสุ่มตัวอย่างประชากรโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) ในลักษณะการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience sampling) พิจารณาจากกลุ่มผู้บริโภคตัวอย่างในการสำรวจทัศนคติต่อผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ (สุดาดวง, 2540 ; ศิริวรรณ และคณะ, 2540) ทำการทดสอบผู้บริโภคแบบ Central Location Test (CLT)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทุกขั้นตอนมาตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล ทำการวิเคราะห์ และประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ข้อมูลพื้นฐานของผู้บริโภคในเขตจังหวัดภาคเหนือนำเสนอด้วยค่าร้อยละ

2. กระบวนการตัดสินใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป นำเสนอด้วย
คำร้อยละ

3. หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลลักษณะพื้นฐานของผู้บริโภคต่อการยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปโดยใช้สถิติไค-สแควร์

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

3.1. ผลการศึกษาถึงพฤติกรรมผู้บริโภคและผู้ประกอบการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

3.1.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ผลการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ประชาชนในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 300 คน พบว่า ความถี่ในการรับประทานส่วนใหญ่รับประทานข้าวแต๋นนานๆครั้งร้อยละ 79 ชนิดของข้าวแต๋นที่ชอบรับประทานมากที่สุด คือข้าวแต๋นราดน้ำอ้อยร้อยละ 35 รองลงมาคือข้าวแต๋นไม่ราดหน้าและข้าวแต๋น หน้าต่างๆ ร้อยละ 22 และ 20 ตามลำดับ เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อข้าวแต๋น ผู้บริโภคให้ความสำคัญด้านรสชาติมากที่สุด รองลงมาคือ ชนิดของข้าวแต๋น ราคา ความสะดวกในการหาซื้อ และด้านรูปร่าง/สีสันทของข้าวแต๋น ตามลำดับ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าควรอยู่ในระดับ 1 บาท/ชิ้น รองลงมาราคา 2 บาท/ชิ้น ในด้านปัญหาที่ผู้บริโภคประสบในการบริโภคข้าวแต๋นมากที่สุดคือ ข้าวแต๋นมีกลิ่นหืน รองลงมา คือ ข้าวแต๋นเกิดการแตกหักเสียหาย ความกรอบลดลง อมน้ำมัน ไม่พองตัวมากนัก รสชาติไม่อร่อย และข้าวแต๋นแข็งมากเกินไป ตามลำดับ

3.1.2 ด้านผู้ประกอบการ ผลการสอบถามผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋นจำนวน 10 ราย ในจังหวัดลำปาง ระยะเวลาประกอบกิจการผลิตข้าวแต๋น 1 - 5 ปี และ 11 - 15 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาประกอบกิจการเป็นระยะเวลา 6 - 7 ปี และ มากกว่า 15 ปี คิดเป็นร้อยละ 10 ตามลำดับ รายได้ต่อเดือนในช่วง 5,000 - 10,000 บาทที่สุด รองลงมาอยู่ในช่วง 10,001 - 20,000 และ มากกว่า 20,000 บาท ตามลำดับ ผลการสอบถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวแต๋น ก่อนทอดใช้เวลาในการเก็บ 1 วันคิดเป็นร้อยละ 80 และใช้เวลาในการเก็บ 2 และ 8 วัน ร้อยละ 10 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษา หลังทอดใช้เวลาในการเก็บรักษา 3 เดือนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80 และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ร้อยละ 20 ลักษณะการเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง คิดเป็นร้อยละ 100 และบรรจุโดยใช้ถุงพลาสติกร้อยละ 70 รองลงมาบรรจุด้วยถุงแก้ว ร้อยละ 20 และบรรจุแบบถาดโฟมร้อยละ 10 ส่วนวิธีการทำข้าวแต๋นส่วนมากผู้ประกอบการ คิดสูตรขึ้นมาเอง คิดเป็นร้อยละ 80 ที่เหลือได้จากการฝึกอบรมจากเกษตรกรตำบล ด้านลักษณะเมล็ดข้าวที่นิยมนำมาผลิตเป็นข้าวแต๋น มีทั้งข้าวเมล็ดสมบูรณ์และข้าวหัก ผู้ประกอบการนิยมใช้ข้าวเมล็ดสมบูรณ์ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผลิตจะมีลักษณะปรากฏที่ดี ด้านการใช้น้ำมันที่ทอดข้าวแต๋นผลิตโดยไม่มีการทิ้งแต่มีการเติมใหม่เรื่อยๆคิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาเป็นการทอดซ้ำ 1-3 ครั้งแล้วทิ้ง ร้อยละ 40 ปัญหาที่ผู้ประกอบการพบในการผลิตข้าวแต๋นมากที่สุด คือ สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการตากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นคิดเป็นร้อยละ 80 รองลงมาต้นทุนการผลิตสูง ร้อยละ 20 ส่วนปัญหาที่พบในขณะทอด

ข้าวแต๋น ส่วนมากไม่พบปัญหา คิดเป็นร้อยละ 70 และข้าวแต๋นทอดไม่พองตัว ร้อยละ 20 และเกิดการแตกหัก ร้อยละ 10 ชนิดข้าวแต๋นที่ผู้ประกอบการจำหน่าย มีตั้งแต่ 1 - 7 ชนิดเช่น ข้าวแต๋นไม่ราดหน้า (ข้าวแต๋นคำเดียว) ข้าวแต๋นราดน้ำอ้อย ข้าวแต๋นหน้าธัญพืช ด้านขนาดของข้าวแต๋นมีทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ราคาขายอยู่ในช่วง 12 - 25 บาทต่อถุง หรือ 100 บาทต่อกิโลกรัม แหล่งจำหน่ายมีการจำหน่ายภายในจังหวัดไปจนถึงส่งออกต่างประเทศ ผู้ประกอบการมีความพอใจกับการผลิตข้าวแต๋น เพราะช่วยสร้างรายได้ และต้องการให้มีการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแต๋นให้มีคุณภาพ

3.1.3 ผลการศึกษาการพองตัวของข้าวแต๋นแบบทอดด้วยน้ำมันและแบบอบด้วยเตาไมโครเวฟของผู้ประกอบการ

ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋นจำนวน 10 ราย ในจังหวัดลำปางโดยการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจากผู้ประกอบการที่ยังไม่ผ่านการทอด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทอด และอบด้วยเตาไมโครเวฟ และหาอัตราการพองตัวของข้าวแต๋น พบว่าข้าวแต๋นที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันมีอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 1.66 – 4.62 เท่า และข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 1.40 – 2.74 เท่า ดังตารางที่ 6 ทั้งนี้ค่าการพองตัวที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสม และกระบวนการผลิตข้าวแต๋นที่แตกต่างกันในแต่ละผู้ประกอบการ อีกทั้งลักษณะของข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีอัตราการพองตัวที่ต่ำกว่าวิธีการทอดด้วยน้ำมันตามวิธีการผลิตเดิม และมีลักษณะการพองตัวไม่เต็มที่ไม่พองตัวทั่วทั้งแผ่น และเกิดการไหม้ตรงกลางทุกชิ้น

ตารางที่ 6 อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นของผู้ประกอบการที่ผ่านการทอดและการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ผู้ประกอบการ	อัตราการพองตัว (เท่า)	
	ทอดด้วยน้ำมัน	อบด้วยเตาไมโครเวฟ
1	3.67± 0.32	2.22 ± 0.26
2	3.86± 0.56	1.96 ± 0.70
3	4.10± 0.23	2.14 ± 0.54
4	4.62± 0.48	2.56 ± 0.21
5	2.43± 0.11	2.18 ± 0.08
6	3.03± 0.13	2.14 ± 0.19
7	2.87± 0.09	1.50 ± 0.80
8	4.50± 0.55	2.74 ± 0.43
9	1.66± 0.38	1.40 ± 0.18
10	2.45± 0.30	2.02 ± 0.15

3.2. ผลการศึกษาพันธุ์ข้าว และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

3.2.1 ผลการคัดเลือกพันธุ์ข้าว ตามลักษณะของพื้นที่ปลูกข้าวสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 3 ชนิด คือข้าวไร่ ข้าวนาสวน ข้าวนาเมือง หรือข้าวฟางลอย โดยข้าวไร่เป็นข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีน้ำท่วมไม่ถึง ข้าวชนิดนี้ปลูกกันมากทางภาคเหนือบนภูเขาสูง เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ชีวแม่จัน ข้าวนาสวนเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำไม่เกิน 80 เซนติเมตร ข้าวนาสวนเหมาะสำหรับนาปีภาคเหนือ เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ส่วนข้าวนาเมืองหรือข้าวฟางลอยเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป จนถึง 3 - 4 เมตร เนื่องจากลำต้นสามารถปรับให้มีความยาวตามระดับน้ำได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์นางฉลอง (ณรงค์, 2538 และเอกสงวน, 2544)

จากการสอบถามผู้ประกอบการเปิดร้านค้าจำหน่ายข้าวเหนียวทางภาคเหนือ พบว่าการจำหน่ายข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวพันธุ์เขียว ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ข้าวเหนียวพันธุ์ชีวแม่จัน ซึ่งบางร้านมีการนำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ผสมกับข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง หรือผสมข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กับข้าวเหนียวพันธุ์เขียว โดยส่วนมากข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง นิยมนำไปผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียวมากกว่านำมาบริโภคโดยตรง ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์เขียว และข้าวเหนียวพันธุ์ชีวแม่จันเป็นข้าวพันธุ์ท้องถิ่น เป็นข้าวไร่ที่นิยมปลูกบนภูเขาสูง (เอกสงวน, 2544) ซึ่งจะมีปริมาณน้อยในการจำหน่าย หาซื้อได้ยาก ส่วนข้าวเหนียวที่ผู้ประกอบการเกือบทุกร้านมีจำหน่ายคือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋น ไม่นิยมนำมาผลิตเป็นข้าวแต๋นทั้งนี้เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋นที่แข็งเกินไปเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

ดังนั้นจึงเลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ทั้งนี้สามารถหาซื้อได้ง่าย และไม่มีพันธุ์ข้าวเหนียวอื่นปลอมปน อีกทั้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหในแป้งยึดติดกันอย่างหลวมๆ ส่งผลให้ข้าวมีการพองตัวที่ดี (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546) และยังมีกลิ่นหอม (วิไล, 2549) เนื่องจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้จากพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีกลิ่นหอม อาบรังสีแกมมา ขนาด 20 กิโลเรต (รุจิพร, 2545) โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีคุณภาพทางกายภาพและเคมีดังนี้ คือ ความชื้นร้อยละ 13.16 โปรตีนร้อยละ 5.66 เส้นใยร้อยละ 0.88 เถ้าร้อยละ 0.36 แป้ง (starch) ร้อยละ 83.1 อะไมโลสร้อยละ 0 – 2 และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.622 (กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ, 2548 และสำนักงานข้าวแห่งชาติ, 2548)

3.2.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งข้าวแค้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นใน ข้าวแค้น 2 ระดับ คือ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวแค้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสให้อัตราการพองตัวของข้าวแค้นสูงที่สุด คือ 3.04 เท่า สูงกว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้อัตราการพองตัวของข้าวแค้นสูงที่สุด คือ 2.94 เท่า (ตารางที่ 7) ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถใช้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยเฉพาะน้ำอิสระระเหยกลายเป็นไอ และถูกกำจัดออกไปในตอนแรก (นิธิยา, 2544) ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเหมาะสมในการเกิดการพองตัวด้านระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระยะเวลาของอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีแนวโน้มลดลงโดยอัตราการพองตัวของข้าวแค้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือการอบแห้งที่ 6.5 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบถึง 7 - 7.5 ชั่วโมง (ตารางที่ 7) เนื่องจากเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นจนระดับความชื้นเริ่มลดลงเรื่อยๆ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อยลง เมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟความชื้นที่เหลืออยู่ เมื่อถูกกับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกันเป็นความร้อน(บริษัทกรุงเทพการไฟฟ้า จำกัด, ม.ป.ป.) ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัวและพองตัวได้อย่างเต็มที่ (พันธิพา และคณะ, 2532) การพองตัวของผลิตภัณฑ์จึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบนานขึ้น

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำอิสระ(a_w)และอัตราการรอดตัวของอนุหภูมิและระยะเวลาการอบแห้ง
ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่แตกต่างกัน

เวลาในการ อบแห้ง (ชั่วโมง)	อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส		อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	
	ค่าปริมาณ น้ำอิสระ (a_w)	อัตราการรอดตัว (เท่า)	ค่าปริมาณ น้ำอิสระ (a_w)	อัตราการรอดตัว (เท่า)
1	0.89 ± 0.02	ไม่เกิดการรอดตัว	0.82 ± 0.02	1.65 ± 0.29^d
1.5	0.88 ± 0.04	ไม่เกิดการรอดตัว	0.78 ± 0.01	1.79 ± 0.30^d
2	0.85 ± 0.03	ไม่เกิดการรอดตัว	0.72 ± 0.01	1.88 ± 0.29^d
2.5	0.80 ± 0.01	2.74 ± 0.15^c	0.70 ± 0.02	2.73 ± 0.30^{bc}
3	0.76 ± 0.01	2.79 ± 0.10^{bc}	0.67 ± 0.03	2.72 ± 0.21^c
3.5	0.77 ± 0.02	2.83 ± 0.09^{bc}	0.66 ± 0.04	2.92 ± 0.22^{abc}
4	0.74 ± 0.01	2.84 ± 0.15^b	0.66 ± 0.04	2.89 ± 0.15^{abc}
4.5	0.73 ± 0.01	2.87 ± 0.19^{ab}	0.63 ± 0.01	2.96 ± 0.29^{abc}
5	0.69 ± 0.02	2.88 ± 0.15^{ab}	0.62 ± 0.01	2.99 ± 0.21^{ab}
5.5	0.69 ± 0.03	2.89 ± 0.18^{ab}	0.61 ± 0.02	2.99 ± 0.20^{ab}
6	0.69 ± 0.01	2.91 ± 0.44^a	0.61 ± 0.03	3.05 ± 0.20^a
6.5	0.66 ± 0.02	2.93 ± 0.12^a	0.59 ± 0.03	3.07 ± 0.16^a
7	0.65 ± 0.01	2.94 ± 0.10^a	0.59 ± 0.02	3.04 ± 0.18^a
7.5	0.64 ± 0.01	2.84 ± 0.15^b	0.59 ± 0.01	2.93 ± 0.19^{abc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

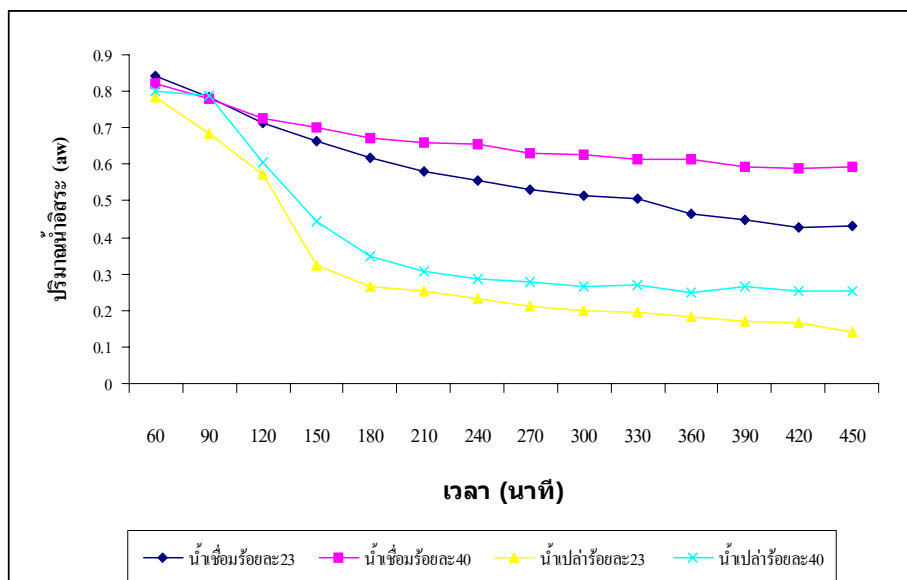
3.2.3 ผลการศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อคุณภาพการรอดตัวของข้าวแต๋น
ถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อคุณภาพการ
รอดตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยเตรียมข้าวเหนียวด้วยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ
แล้วเติมส่วนผสมของน้ำเชื่อมหรือน้ำที่นำไปคลุกกับข้าวเหนียวที่นึ่งสุก อัตราส่วนน้ำเชื่อมต่อข้าวคืด
เป็นร้อยละ คือ น้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก (อุบลรัตน์, 2549) น้ำเชื่อมร้อยละ 40
ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก (พรชนก และคณะ, 2546) และน้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40 พบว่าอัตรา
การรอดตัวของข้าวเหนียวนึ่งสุกที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 และ 40 และคลุกผสมกับน้ำเปล่าร้อยละ
23 และ 40 ในกระบวนการผลิตข้าวแต๋น ส่งผลให้อัตราการรอดตัวที่ต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นที่
คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ให้อัตราการรอดตัวสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวแต๋นที่คลุกผสมน้ำเชื่อม

ร้อยละ 40 และข้าวแต๋นที่ผสมคลุกกับน้ำเปล่าร้อยละ 40 และ 23 ดังตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาด้านเวลาการอบแห้งที่ผ่านไปกับปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ข้าวแต๋นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกที่ผสมกับน้ำเปล่า มีปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีน้ำตาลและเกลือเข้าจับกับโมเลกุลของน้ำ เมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณน้ำอิสระระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 2) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การพองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่ ส่วนข้าวแต๋นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 40 มีปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างช้าๆ และมีค่ามากที่สุด แต่ให้อัตราการพองตัวน้อยกว่าข้าวแต๋นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ทั้งนี้เนื่องจากผลของน้ำตาลและเกลือที่ใส่เป็นส่วนผสมของน้ำเชื่อมเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์ (ศิริพร และคณะ, 2534) ทำให้การระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ส่งผลให้มีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มาก เมื่อนำมาอบในเตาไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวโดยน้ำบางส่วนที่มีอยู่ภายในโครงสร้าง เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำ ดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและพองตัว แต่น้ำอีกส่วนยังคงเหลืออยู่ ส่งผลให้ยังคงมีส่วนของน้ำเหลืออยู่ในตัวของเมล็ดข้าว จึงทำให้โครงสร้างไม่สามารถพองตัวได้เต็มที่ ส่วนข้าวแต๋นที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ให้อัตราการพองตัวมากที่สุดทั้งนี้เพราะระดับความชื้นอยู่ในสภาวะเหมาะสมในการพองตัว เมื่อได้รับความร้อนความชื้นในผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นไอน้ำเกิดความดันทำให้น้ำของข้าวขยายตัวเป็นโพรงหรือรูพรุน (เพลินใจ, 2546)

ตารางที่ 8 อัตราการพองตัวของข้าวแฉ่นที่ทำจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 40 และ น้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการพองตัว (เท่า)			
	น้ำเชื่อมร้อยละ 23	น้ำเชื่อมร้อยละ 40	น้ำเปล่าร้อยละ 23	น้ำเปล่าร้อยละ 40
1	1.34 ± 0.20^f	1.65 ± 0.29^d	1.01 ± 0.21^d	ไม่เกิดการพองตัว
1.5	1.68 ± 0.51^e	1.79 ± 0.30^d	1.12 ± 0.09^c	2.34 ± 0.16^c
2	3.30 ± 0.18^{bc}	1.88 ± 0.29^d	1.56 ± 0.18^a	2.59 ± 0.18^a
2.5	3.77 ± 0.22^a	2.73 ± 0.30^{bc}	1.32 ± 0.11^b	2.45 ± 0.11^b
3	3.59 ± 0.48^{ab}	2.72 ± 0.21^c	ไม่เกิดการพองตัว	2.38 ± 0.22^{bc}
3.5	3.49 ± 0.57^{abc}	2.89 ± 0.15^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	2.33 ± 0.12^c
4	3.33 ± 0.56^{bc}	2.92 ± 0.22^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
4.5	3.22 ± 0.22^c	2.99 ± 0.21^{ab}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
5	2.85 ± 0.41^d	3.05 ± 0.20^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
5.5	2.85 ± 0.35^d	3.07 ± 0.16^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
6	2.69 ± 0.43^d	3.04 ± 0.18^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
6.5	2.60 ± 0.59^d	2.99 ± 0.20^{ab}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
7	2.60 ± 0.65^d	2.96 ± 0.29^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
7.5	2.56 ± 0.35^d	2.93 ± 0.19^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 3 ปริมาณน้ำอิสระของข้าวแต๋นที่ทำจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 40 และ น้ำเปล่าร้อยละ 23 40 ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.2.4 ศึกษาสถานะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการนำข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 นำมาคลุกพิมพ์กลม จากนั้นนำไปแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ไม่ผ่านการแช่แข็งก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการแช่แข็งและอบแห้งนาน 2.5 ชั่วโมง มีอัตราการพองตัวมากที่สุดคือ 3.77 เท่า มากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง และอบแห้งนาน 3.5 ชั่วโมง ซึ่งมีอัตราการพองตัว 3.63 (ตารางที่ 9) เนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่พบอยู่น้อยในข้าวเหนียวร้อยละ 0-2 ทำให้ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพคตินอยู่สูง (กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ, 2548) ซึ่งอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งก้านมากเกิดการจัดเรียงตัวของผลึกแบบ Crystalline Region ได้น้อย ทำให้เกิดการเกาะกันอย่างหลวมๆของพันธะไฮโดรเจนกับอะไมโลเพคติน (ณรงค์, 2538 และวิไลสนา, 2540) เมื่อนำข้าวเหนียวไปแช่แข็ง จะทำให้เกิดผลึกของน้ำแข็งภายในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2544) ช่วยเพิ่มความพรุนของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ทำให้อิอน้ำสามารถดันตัวให้ผลิตภัณฑ์พองได้มากขึ้นส่งผลให้ ข้าวเหนียวเกิดการพองตัวที่ดี มีผลทำให้เม็ดข้าวเกิดการพองตัว เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นไอน้ำเกิดความดันทำให้เนื้อของข้าวขยายตัวเป็นโพรงหรือรูพรุน (เพลินใจ, 2546) ได้ง่าย

ตารางที่ 9 ผลของสภาวะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

เวลาอบ (ชม.)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		อัตราการพองตัว (เท่า)	
	แช่แข็ง	ไม่แช่แข็ง	แช่แข็ง	ไม่แช่แข็ง
1	0.84 ± 0.02	0.84 ± 0.01	1.34 ± 0.20^f	1.40 ± 0.15^d
1.5	0.78 ± 0.03	0.80 ± 0.01	1.68 ± 0.51^c	1.84 ± 0.46^{cd}
2	0.71 ± 0.02	0.75 ± 0.03	2.60 ± 0.65^d	2.35 ± 0.27^{bc}
2.5	0.66 ± 0.01	0.69 ± 0.02	3.77 ± 0.22^a	3.41 ± 0.48^a
3	0.62 ± 0.01	0.66 ± 0.08	3.59 ± 0.48^{ab}	3.52 ± 1.12^a
3.5	0.58 ± 0.02	0.60 ± 0.01	3.49 ± 0.57^{abc}	3.63 ± 0.41^a
4	0.56 ± 0.02	0.58 ± 0.07	3.30 ± 0.18^{bc}	3.52 ± 0.44^a
4.5	0.53 ± 0.03	0.55 ± 0.06	3.33 ± 0.56^{bc}	3.43 ± 0.12^a
5	0.52 ± 0.03	0.53 ± 0.01	3.22 ± 0.22^c	3.41 ± 0.43^a
5.5	0.51 ± 0.01	0.52 ± 0.01	3.23 ± 0.76^c	3.21 ± 0.51^a
6	0.46 ± 0.01	0.51 ± 0.01	2.85 ± 0.35^d	3.25 ± 0.40^a
6.5	0.45 ± 0.02	0.49 ± 0.03	2.85 ± 0.41^d	3.23 ± 0.89^a
7	0.43 ± 0.03	0.47 ± 0.05	2.69 ± 0.43^d	3.18 ± 0.37^a
7.5	0.43 ± 0.03	0.466 ± 0.01	2.60 ± 0.59^d	2.89 ± 0.16^{ab}
8	0.42 ± 0.01	0.460 ± 0.01	2.56 ± 0.35^d	2.35 ± 0.33^{bc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2.5 ศึกษาผลของลักษณะเมล็ดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 และข้าวคัดทั่วไป (มีข้าวหักผสมประมาณร้อยละ 10) มาหนึ่งสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าว นำไปกดลงพิมพ์กลม แช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการพองของ ข้าวแต๋นที่ทำจากข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษมีอัตราการพองตัวสูงที่สุด คือ 3.77 สูงกว่าอัตราการพองตัวของข้าวคัดทั่วไป ดังตารางที่ 10 ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน การปนกันระหว่างข้าวต่างพันธุ์หรือต่างชนิดกัน เมื่อนำไปหุงต้มทำให้มีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน (สุนันทา, 2550) ส่งผลให้เมื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นทำให้มีอัตราการพองตัวที่ต่างกัน ดังนั้นข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 จึงให้ผลอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นดีที่สุด

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบอัตราการฟองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ทำจากข้าวคั้ดเมล็ดเต็มพิเศษกับข้าวคั้ดทั่วไป

เวลาอบ (ชม.)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		อัตราการฟองตัว (เท่า)	
	ข้าวคั้ดเมล็ดเต็ม พิเศษ	ข้าวคั้ดทั่วไป	ข้าวคั้ดเมล็ดเต็ม พิเศษ	ข้าวคั้ดทั่วไป
1	0.84 ± 0.01	0.87 ± 0.01	1.34 ± 0.20^f	1.60 ± 0.19^c
1.5	0.78 ± 0.02	0.78 ± 0.02	1.68 ± 0.51^e	1.78 ± 0.30^{bc}
2	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.01	2.60 ± 0.65^d	3.08 ± 1.25^{ab}
2.5	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.03	3.77 ± 0.22^a	3.38 ± 1.04^a
3	0.62 ± 0.03	0.61 ± 0.04	3.69 ± 0.48^{ab}	3.61 ± 0.54^a
3.5	0.58 ± 0.05	0.59 ± 0.01	3.49 ± 0.57^{abc}	3.71 ± 0.64^a
4	0.56 ± 0.02	0.55 ± 0.01	3.30 ± 0.18^{bc}	3.36 ± 0.66^a
4.5	0.53 ± 0.06	0.54 ± 0.03	3.33 ± 0.56^{bc}	3.18 ± 0.50^{ab}
5	0.52 ± 0.04	0.49 ± 0.01	3.22 ± 0.22^c	3.11 ± 0.04^{ab}
5.5	0.50 ± 0.03	0.47 ± 0.01	3.23 ± 0.76^c	2.96 ± 1.20^{abc}
6	0.46 ± 0.06	0.46 ± 0.04	2.85 ± 0.35^d	2.90 ± 0.30^{abc}
6.5	0.45 ± 0.05	0.43 ± 0.02	2.85 ± 0.41^d	2.86 ± 1.51^{abc}
7	0.43 ± 0.08	0.41 ± 0.02	2.69 ± 0.43^d	2.63 ± 1.83^{abc}
7.5	0.43 ± 0.04	0.41 ± 0.03	2.60 ± 0.59^d	2.97 ± 0.25^{abc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2.6 ศึกษาขนาดของข้าวแต๋นที่มีผลต่อคุณภาพการฟองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคั้ดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 มาหนึ่งสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าว นำไปกดลงพิมพ์กลม ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 4 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ นำไปแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบในเตาไมโครเวฟ พบว่าข้าวแต๋นขนาดเล็กมีอัตราการฟองตัวมากที่สุด คือ 4.96 รองลงมาเป็นข้าวแต๋นขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีอัตราการฟองตัว 4.56 และ 2.72 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กเมื่อนำไปอบให้ฟองด้วยเตาไมโครเวฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถกระจายไปทั่วผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่า (สมบัติ, 2529) จึงส่งผลให้ข้าวแต๋นขนาดเล็กมีการฟองตัวมากที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นขนาดเล็กและขนาดกลางให้อัตราการฟองตัวดีที่สุดที่สุดใน

ช่วงเวลาการอบแห้งที่ 2.5 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก เมื่อได้รับความร้อนปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จึงเกิดการระเหยได้เร็วและดีกว่า ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น (สมบัติ, 2529) เมื่อเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นขนาดใหญ่ซึ่งให้อัตราการพองตัวที่ดีเมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไป 6 ชั่วโมง แต่ข้าวแต๋นยังคงเกิดลักษณะการไหม้ตรงกลางแผ่นอยู่ ดังภาพที่ 3

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

เวลาอบ (ชม.)	อัตราการพองตัว (เท่า)		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
1	2.09 ± 0.03^f	1.35 ± 0.20^d	ไม่เกิดการพองตัว
1.5	2.60 ± 0.21^{ef}	1.68 ± 0.51^d	ไม่เกิดการพองตัว
2	4.17 ± 0.29^b	3.49 ± 0.57^a	2.02 ± 0.23^c
2.5	4.96 ± 0.52^a	4.56 ± 0.85^a	2.08 ± 0.33^c
3	3.88 ± 0.17^{bc}	2.85 ± 0.35^{bc}	2.20 ± 0.24^{bc}
3.5	3.25 ± 0.08^d	3.59 ± 0.48^a	2.30 ± 0.21^{bc}
4	3.91 ± 0.11^{bc}	3.30 ± 0.18^{ab}	2.25 ± 0.16^{bc}
4.5	3.88 ± 0.61^{bc}	3.22 ± 0.22^{ab}	2.40 ± 0.14^{abc}
5	3.67 ± 0.06^{bcd}	2.85 ± 1.41^{bc}	2.44 ± 0.36^{abc}
5.5	3.43 ± 0.42^{cd}	2.56 ± 0.35^c	2.58 ± 0.38^{ab}
6	2.69 ± 0.05^e	2.60 ± 0.65^c	2.72 ± 0.42^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นก่อนอบและหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ ทั้ง 3 ขนาด

3.3. ผลการศึกษาความหนาและขนาดของข้าวแต๋นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ เพื่อลดการไหม้ตรงกลางแผ่นข้าวแต๋น

3.3.1 ผลการศึกษาความหนาข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์ที่มีความหนาต่างกัน 2 ระดับ คือ พิมพ์ข้าวแต๋นหนา 3 และ 6 มิลลิเมตร พบว่าความหนาของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปมีผลต่อการพองตัวของข้าวแต๋นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่หนา 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.38 เท่า สูงกว่าข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่หนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.11 เท่า เนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดจะมีการเคลื่อนที่ภายในโมเลกุลมากกว่าวัตถุอีกชนิดหนึ่ง เราเรียกลักษณะนี้ว่า ความหวม (lossy) ระดับความหวมจะแปรผันกับคลื่นความถี่ อุณหภูมิและลักษณะของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหวมมาก วัตถุนั้นจะสามารถดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้มาก นั่นคือพลังงานความร้อนจะได้มาก (Goldblith, 1966) และความหนาของอาหารจะมีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟ โดยอาหารที่มีลักษณะหนามากๆ การดูดซับไมโครเวฟจะเกิดได้เฉพาะผิวหน้า และความร้อนจะเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ทั่วถึงด้วยการนำหรือการพา ซึ่งใช้เวลานานกว่าอาหารที่บางกว่าซึ่งเนื้ออาหารจะโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบจะระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วกว่า (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) จึงส่งผลให้ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่หนา 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัวดีกว่าข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหนา 6 มิลลิเมตร ด้านระยะเวลาการอบแห้งพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาการอบแห้งส่งผลให้อัตราการพองตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยข้าวแต๋นที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงการอบแห้งที่ 3 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งที่ 4-7 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การพองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่ (พันธิพา และคณะ, 2532) ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการฟองตัวหลังการอบโดยเตาไมโครเวฟของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหนา 3 และ 6 มิลลิเมตร

เวลาอบ (ชั่วโมง)	อัตราการฟองตัว (เท่า)	
	ความหนา 3 มิลลิเมตร	ความหนา 6 มิลลิเมตร
1	3.37 ± 0.37^{bcd}	3.31 ± 0.78^b
2	4.29 ± 0.37^a	3.37 ± 0.58^b
3	4.38 ± 0.61^a	4.11 ± 0.52^a
4	3.89 ± 0.35^{ab}	3.72 ± 0.27^{ab}
5	3.52 ± 0.44^{bc}	3.40 ± 0.36^b
6	3.17 ± 0.38^{cd}	3.40 ± 0.26^b
7	2.76 ± 0.58^d	3.49 ± 0.39^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3.2 ผลการศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ระดับ คือ 2 และ 4 เซนติเมตร พบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของข้าวแต๋นมีผลต่อการฟองตัวของข้าวแต๋นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 13) โดยข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร มีอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.62 เท่า สูงกว่าข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ซึ่งมีอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.47 เท่า เนื่องจากขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการอบแห้ง โดยอาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ส่งผลให้ข้าวแต๋นที่มีขนาดเล็กกว่ามีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การฟองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ด้านระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระยะเวลาของข้าวแต๋นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการฟองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงการอบแห้งที่ 3 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งที่ 4-7 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การฟองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และฟองตัวได้อย่างเต็มที่ (พันธิพา และคณะ, 2532) ดังนั้นจึง

คัดเลือกข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ระยะเวลาอบแห้งที่ 2 และ 3 ชั่วโมง เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 4 เซนติเมตร

เวลาอบ (ชั่วโมง)	อัตราการพองตัว (เท่า)	
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร
1	3.42 ± 0.42^{bc}	3.37 ± 0.17^b
2	4.47 ± 0.18^a	4.56 ± 0.40^a
3	4.23 ± 0.54^{ab}	4.62 ± 0.16^a
4	3.71 ± 0.99^{abc}	4.14 ± 0.48^a
5	3.51 ± 0.15^{bc}	4.16 ± 0.51^a
6	3.28 ± 0.48^{bc}	4.02 ± 0.64^{ab}
7	3.07 ± 0.24^c	3.90 ± 0.18^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1 และ 3.2 มาสุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 120 130 140 150 160 170 และ 180 นาที พบว่าระยะเวลาการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการพองตัว และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 14) แต่มีผลต่อปริมาณความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น ปริมาณความชื้นลดลง และลักษณะเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน เนื่องจากข้าวแต่นึ่งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งนานขึ้น เมื่ออบพองด้วยไมโครเวฟแล้วจะมีลักษณะเบา กรอบ เปราะมากขึ้น ตามระยะเวลาการอบแห้ง เนื่องจากได้สูญเสียไอน้ำที่เหลือยู่มากขึ้น ดังนั้นเมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกได้ จึงส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต่นึ่งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งนานขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อพิจารณาในด้านการพองตัวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทอบ พบว่า ที่ระยะการอบแห้งข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปนาน 160 นาที ให้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 4.57 เท่า และเมื่อพิจารณาด้านปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เพราะ

เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่จำกัด โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 0.7 (วารสารจารย์พา, 2545) พบว่าข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบแห้งนาน 160 นาที นั้นมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.69 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ได้ ส่วนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบแห้งนาน 160 นาที ก็มีลักษณะไม่แข็งมากเกินไป และไม่เปราะแตกง่ายเกินไป จะมีค่าในระดับปานกลาง ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบแห้งเป็นระยะเวลา 160 นาที เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 14 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ที่อบแห้งระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาอบ (นาที)	อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ ^{ns} (a_w)	ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) (นิวตัน)
120	3.58±0.01	10.44±0.07 ^a	0.74±0.02	0.54±0.01 ^a
130	4.36±0.38	10.08±0.28 ^{ab}	0.73±0.01	0.47±0.13 ^{ab}
140	4.44±0.29	9.90±0.31 ^{bc}	0.72±0.01	0.35±0.02 ^{bc}
150	4.47±0.89	9.60±0.05 ^c	0.71±0.02	0.33±0.01 ^{bc}
160	4.57±0.05	9.11±0.15 ^d	0.69±0.01	0.37±0.11 ^{bc}
170	4.37±0.33	8.76±0.05 ^d	0.69±0.06	0.23±0.02 ^c
180	4.07±0.63	8.71±0.21 ^d	0.68±0.03	0.25±0.05 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.4. ผลการศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

3.4.1 ผลการศึกษาชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป
จากการใช้น้ำตาล 5 ชนิด คือ น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง น้ำเชื่อมฟรุคโตส และกลูโคส พบว่าชนิดของน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 15) แต่มีผลต่ออัตราการพองตัว และค่าสีเหลือง (b^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นที่ใช้น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลทรายแดง และน้ำตาลทรายขาว มีอัตราการพองตัว

สูงสุดไม่ต่างกัน คือ 4.48 4.64 และ 4.62 เท่า ตามลำดับ ด้านค่าสีเหลือง (b^*) พบว่าข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใช้น้ำตาลทรายแดง และน้ำเชื่อมฟรุคโตสให้ค่าสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกัน คือ 9.64 และ 9.53 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายขาว และกลูโคส คือ 7.62 6.39 และ 7.18 ตามลำดับ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลทรายแดง และน้ำเชื่อมฟรุคโตสมีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้มกว่าข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใช้น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายขาว และกลูโคส ซึ่งจะมีสีค่อนข้างขาวกว่า (ภาพที่ 4) ดังนั้นสามารถใช้น้ำตาลในการผลิตข้าวแค้นได้ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายแดง และน้ำตาลทรายขาว แต่จะเลือกใช้น้ำตาลทรายขาวเพื่อพัฒนาต่อไป เนื่องจากผู้วิจัยต้องการที่จะสังเกตเห็นการเกิดลักษณะสีน้ำตาลบริเวณตรงกลางแผ่นข้าวแค้นหลังการอบด้วยไมโครเวฟได้ชัดเจนเมื่อเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นกับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าสีและอัตราการพองตัวของข้าวแค้นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้น้ำตาลแตกต่างกัน

ชนิดของน้ำตาล	ค่าสี			อัตราการพองตัว (เท่า)
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^*	
น้ำตาลปีบ	37.74 ± 0.36	1.73 ± 0.93	7.62 ± 0.48^b	4.48 ± 0.21^a
น้ำตาลทรายแดง	40.82 ± 0.16	1.17 ± 0.03	9.64 ± 0.69^a	4.64 ± 0.12^a
น้ำตาลทรายขาว	43.81 ± 0.35	0.61 ± 0.65	6.39 ± 0.43^b	4.62 ± 0.33^a
น้ำเชื่อมฟรุคโตส	39.64 ± 0.38	1.47 ± 1.01	9.53 ± 0.49^a	3.53 ± 0.18^b
กลูโคส	38.11 ± 0.61	1.70 ± 0.28	7.18 ± 0.81^b	2.71 ± 0.30^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟที่ใช้น้ำตาลแตกต่างกัน

หมายเหตุ : 1 = น้ำตาลทรายขาว, 2 = น้ำตาลปีบ, 3 = น้ำตาลทรายแดง

4 = น้ำเชื่อมฟรุคโตส, 5 = กลูโคส

3.4.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป จากการใช้ปริมาณน้ำตาล 5 ระดับ คือร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าสีแดง (a^*) ของข้าวแต๋นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีผลต่ออัตราการพองตัว ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 10 5 และ 15 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว มีอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.68 4.63 และ 4.31 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 16) โดยปริมาณน้ำตาลที่สูงมากกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว อัตราการพองตัวจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลจะจับตัวกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่จะเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดแป้งในระหว่างการเกิดเจลลิตินในเซชันลดน้อยลง จึงส่งผลให้อัตราการพองตัวต่ำลง (เพลินใจ, 2546) ในด้านค่าสีเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบสีคาราเมล (caramel) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิดเป็นสารเฟอร์ริฟิวราลที่มีสีน้ำตาล (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ, ม.ป.ป.) ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง แต่ค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาระดับปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับน้ำตาลปริมาณที่มากที่สุดที่จะสามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปได้ โดยที่เมื่อนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟจะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเกิดสีน้ำตาลไหม้เข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคจะยอมรับ จากตารางที่ 16 จะเห็นว่าที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 10 และ 15 เป็นระดับที่ข้าวแต๋นมีอัตราการพองตัวมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาด้านค่าความสว่าง (L^*) พบว่าข้าวแต๋นที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 และ 10 มีค่ามาก ส่วนค่าสีเหลืองมีค่าน้อย แสดงว่าข้าวแต๋นที่ได้นั้นมีสีที่ไม่เข้มมาก จากการทดสอบชิมเบื้องต้นพบว่ารสชาติของข้าวแต๋นที่ใช้ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 นั้นมีรสชาติจัดไม่หวานซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบ เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชอบรสหวานโดยเฉพาะหวานแบบน้ำตาล โดยสาเหตุที่คนส่วนใหญ่ชอบรับประทานน้ำตาลเพราะร่างกายจำเป็นต้องใช้น้ำตาลหรือสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะส่วนของสมองที่ต้องใช้พลังงานมาก ในขณะที่ลิ้นของคนจะชอบรับรสหวาน (สุรพจน์, 2551) ดังนั้นจึงคัดเลือกปริมาณน้ำตาลที่ระดับร้อยละ 10 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากมีอัตราการพองตัวสูง และสีของข้าวแต๋นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบอัตราการพองตัว และค่าสีของข้าวแต๋นที่ใช้ปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
5	4.63±0.30 ^a	42.06±0.13 ^a	1.11±0.02 ^c	7.44±0.16 ^c
10	4.68±0.29 ^a	40.89±0.95 ^{ab}	1.50±0.54 ^b	7.84±0.40 ^c
15	4.31±0.26 ^a	39.81±0.11 ^b	1.60±0.45 ^b	8.62±0.13 ^b
20	3.33±0.34 ^b	38.13±0.42 ^c	1.74±0.17 ^a	9.19±0.01 ^a
25	2.98±0.28 ^b	35.45±0.47 ^d	1.74±0.11 ^a	9.46±0.06 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4.3 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันพืชที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป
จากการใช้ปริมาณน้ำมันพืชทดแทนปริมาณน้ำในสูตร 9 ระดับ คือร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 ของน้ำหนักน้ำในสูตร พบว่าน้ำมันพืชมีผลต่ออัตราการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 17) โดยข้าวแต๋นที่ไม่ใส่น้ำมันพืชให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.71 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันพืชมากขึ้นส่งผลให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากไขมันสามารถรวมตัวกับอะมิโนเพคตินและอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ จึงมีผลยับยั้งการพองตัว และการเกิดเจลาคีโนเซชัน (Arambula-Villa *et. al.*, 2001) อีกทั้งอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะดูดซับกลิ่นโมโรเวฟได้ต่ำกว่าอาหารที่มีไขมันและน้ำมันอยู่น้อย จึงทำให้ความร้อนที่ได้รับไม่สูงพอที่ทำให้น้ำกลายเป็นไอออย่างรวดเร็ว การพองตัวจึงเกิดได้น้อยลง(คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่เติมน้ำมันพืช เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นที่ใส่ปริมาณน้ำมันพืชแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำมันพืช (ร้อยละของน้ำหนักน้ำในสูตร)	อัตราการพองตัว (เท่า)
0	4.71±0.10 ^a
10	4.50±0.69 ^a
20	4.25±0.35 ^{ab}
30	4.03±0.51 ^{abc}
40	3.70±0.10 ^{bcd}

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ปริมาณน้ำมันพืช (ร้อยละของน้ำหนักน้ำในสูตร)	อัตราการพองตัว (เท่า)
50	3.65±0.43 ^{bcd}
60	3.45±0.24 ^{cd}
70	3.41±0.34 ^{cd}
80	3.17±0.39 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4.4 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ช่วยในการขึ้นฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป

3.4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณผงฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปจากการใช้ผงฟู 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณผงฟูไม่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพด้านอัตราการพองตัว และทางประสาทสัมผัสด้านความเฝื่อน แต่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 18 และภาพที่ 5) โดยข้าวแต๋นที่เติมปริมาณผงฟูร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด คือ 7.00 ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณผงฟูร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบคุณภาพทางกาย และทางประสาทสัมผัสของข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้ปริมาณผงฟูแตกต่างกัน

คุณภาพ	ปริมาณผงฟู (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)				
	0	0.1	0.3	0.5	1.0
ทางกายภาพ					
อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	4.45±0.30	4.70±0.46	4.81±0.40	4.72±0.28	5.00±0.46
ทางประสาทสัมผัส					
การพองตัว	5.94±1.77 ^b	6.25±1.57 ^{ab}	6.63±1.02 ^{ab}	6.63±1.15 ^{ab}	7.00±0.89 ^a
ความเฝื่อน ^{ns}	5.81±1.60	6.19±1.47	6.38±1.63	6.31±1.49	6.50±1.55

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



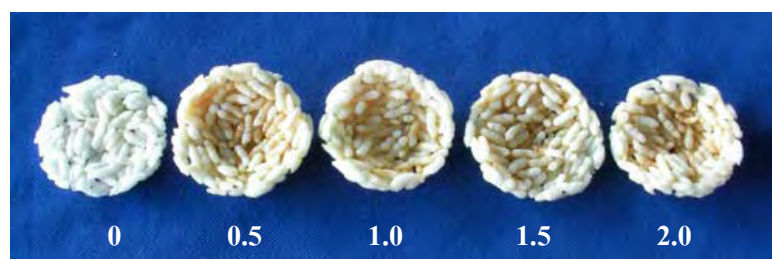
ภาพที่ 5 ผลผลิตข้าวแค้นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้ผงฟูร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว

3.4.4.2 ผลการศึกษาปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปจากการใช้ปริมาณยีสต์ 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียวพบว่าปริมาณยีสต์มีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวแค้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 19 และภาพที่ 6) โดยข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ไม่ใส่ยีสต์ให้อัตราการพองตัวของข้าวแค้นสูงที่สุด คือ 4.52 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณยีสต์มากขึ้นอัตราการพองตัวของข้าวแค้นมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งเกิดกลิ่นหมักจากการทำงานของยีสต์ ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่ใส่ยีสต์ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใส่ปริมาณยีสต์แตกต่างกัน

ปริมาณยีสต์ (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)	อัตราการพองตัว (เท่า)
0	4.52 ± 0.18^a
0.5	3.45 ± 0.88^b
1.0	3.29 ± 0.93^b
1.5	3.36 ± 0.87^b
2.0	3.07 ± 0.71^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



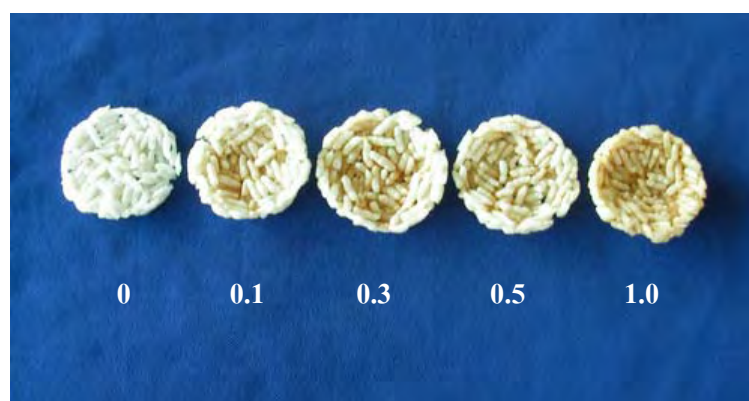
ภาพที่ 6 ผลผลิตข้าวแค้นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้ยีสต์ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว

3.4.4.3 ผลการศึกษาปริมาณเบกิ้งโซดาที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น-กึ่งสำเร็จรูป จากการใช้ปริมาณเบกิ้งโซดา 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณเบกิ้งโซดามีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 20 และภาพที่ 7) โดยข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปที่ไม่ใส่เบกิ้งโซดาให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.33 เท่า จากการเติมเบกิ้งโซดามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีออกเหลือง เนื้อสัมผัสมีลักษณะที่ค่อนข้างแข็ง ไม่กรอบ และมีกลิ่นรสแตกต่างจากข้าวแต๋นทั่วไป ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่ใส่เบกิ้งโซดาเพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปที่ใส่ปริมาณเบกิ้งโซดาแตกต่างกัน

ปริมาณเบกิ้งโซดา (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)	อัตราการพองตัว (เท่า)
0	4.33 ± 0.36^a
0.1	2.88 ± 0.30^b
0.3	2.85 ± 0.48^b
0.5	2.84 ± 0.22^b
1.0	3.05 ± 0.42^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 7 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาอบไมโครเวฟใช้เบกิ้งโซดาร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว

3.4.5 ผลการสัมภาษณ์ผู้บริโภครวบรวมไปด้านการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภคในเขตภาคเหนือจำนวน 200 คน ซึ่งมีชายร้อยละ 36 หญิงร้อยละ 64 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี 41-50 ปี และมากกว่า 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 28, 28 และ 22 ตามลำดับ และผู้บริโภครวบรวมไปด้านอาชีพรับจ้าง ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว และนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 20, 20 และ 19.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

ข้อมูล	ร้อยละ
1. เพศ	
ชาย	36.00
หญิง	64.00
2. อายุ	
น้อยกว่า 20 ปี	8.50
20-30 ปี	28.00
31-40 ปี	13.50
41-50 ปี	28.00
มากกว่า 50 ปี	22.00
3. อาชีพ	
นักเรียน/นักศึกษา	19.50
รับจ้าง	20.00
ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	20.00
แม่บ้าน	10.50
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	16.50
พนักงานบริษัทเอกชน	5.50
เกษตรกร	8.00

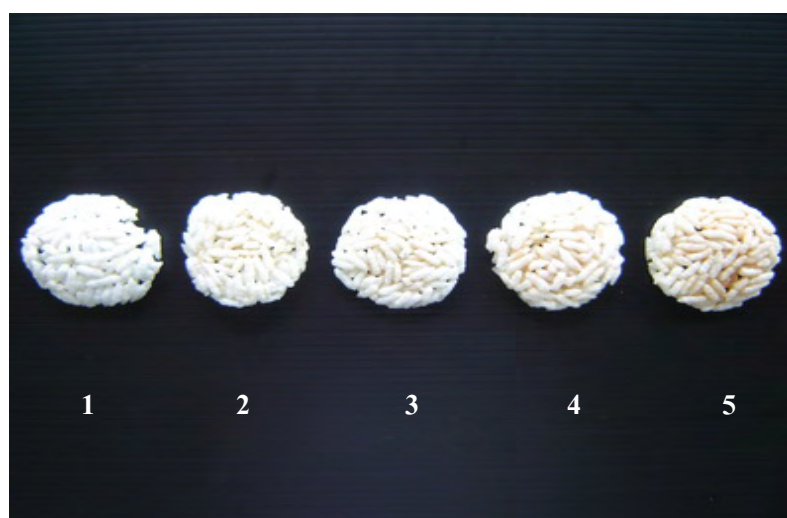
ข้อมูลทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภครวบรวมไป จากภาพที่ 8 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟ หมายเลข 4 และ 5 มากที่สุด คือร้อยละ 46 และ 20.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 22 และ 23)

ตารางที่ 22 ผลการสัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปเกี่ยวกับการยอมรับทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น
หลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

หมายเลขข้าวแต๋น	ร้อยละ
1	13.50
2	3.50
3	16.50
4	46.00
5	20.50

ตารางที่ 23 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่นำไปสัมภาษณ์
ผู้บริโภคทั่วไป

หมายเลขผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋นที่ไปสัมภาษณ์	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1	50.28 ± 0.52	2.80 ± 0.22	5.92 ± 0.41
2	48.70 ± 0.36	3.35 ± 0.44	6.12 ± 0.25
3	47.19 ± 0.35	3.36 ± 0.41	7.25 ± 0.35
4	42.95 ± 0.59	3.29 ± 0.36	8.62 ± 0.37
5	38.44 ± 0.28	2.92 ± 0.50	8.93 ± 0.22



ภาพที่ 8 ลักษณะสีของข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

3.5. ผลการศึกษาวิธีการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

ในการศึกษาการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเมื่อนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ พบว่าเกิดการพองตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นจะมีบริเวณขอบของข้าวแต๋นที่ยังมีเม็ดข้าวที่พองตัวได้ไม่หมด (ภาพที่ 9) โดยเกิดจากบริเวณขอบนอกของแผ่นข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปมีลักษณะแห้งกว่าบริเวณตรงกลางแผ่นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เนื่องจากในขั้นตอนของการอบแห้งข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพื่อลดความชื้นนั้น บริเวณขอบของข้าวแต๋นเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนก่อนจึงทำให้น้ำระเหยได้มากกว่าส่งผลให้ความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าส่วนตรงกลางแผ่น เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งทุกชนิด ถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้การพองตัวน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจึงมีน้ำเหลือในโครงสร้างการพองตัวจึงไม่ดี (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นที่น้อยเกินไป ก็จะส่งผลให้เกิดการพองตัวน้อยเช่นเดียวกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อยทำให้การพองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลือเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่



ภาพที่ 9 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่พองตัวได้ไม่ทั่วทั้งแผ่น

3.5.1 ผลการศึกษาสภาวะการอบโดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวแต๋นที่อบแห้งแบบใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก จากการศึกษา 2 วิธี คือ อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก พบว่าอัตราการพองตัว และปริมาณความชื้นของข้าวแต๋นทั้งสองสำเร็จรูปทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 24 และภาพที่ 10) พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวแต๋นทั้งสองสำเร็จรูปที่อบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติกจะน้อยกว่าข้าวแต๋นทั้งสองสำเร็จรูปที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติก เนื่องจากการใส่แม่พิมพ์พลาสติกระหว่างที่อบแห้งนั้นมีผลต่อการระเหยของน้ำภายในโมเลกุลของข้าว โดยเฉพาะบริเวณขอบจึงส่งผลให้ข้าวแต๋นทั้งสองสำเร็จรูปมีความชื้นที่เหลือน้อยกว่าเมื่อใช้เวลารอบนานเท่ากัน แต่จะมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติกมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.68 ซึ่งน้อยกว่าข้าวแต๋นที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติก ซึ่งเป็นค่าของปริมาณน้ำอิสระที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าต่ำกว่า 0.70 (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) ดังนั้นจึงเลือกวิธีการอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแต๋นทั้งสองสำเร็จรูปที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและที่อบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก

คุณภาพ	วิธีการอบแห้ง	
	ไม่ใส่พิมพ์พลาสติก	ใส่ในพิมพ์พลาสติก
อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	5.02 ± 0.10	4.98 ± 0.05
ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	9.11 ± 0.15	9.69 ± 0.18
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.68 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.01 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^{ns} แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 10 ผลผลิตข้าวแต๋นที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก

3.5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์หลังการอบแห้งที่เหมาะสม

จากการศึกษาการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ก่อนการอบพองเพื่อกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอทั้งทั่วทั้งแผ่นข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยแบ่งออกเป็น 2 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง และ อุณหภูมิแช่เย็น และระยะเวลาที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 7 ระดับ คือ 1 2 3 4 5 6 และ 7 วัน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 140 150 และ 160 นาที ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) อัตราการพองตัว และส่วนที่ไม่พองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 25 26 และ 27 ตามลำดับ แต่จะมีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็นจะมีความชื้นมากกว่าข้าวแต๋นที่เก็บอุณหภูมิห้อง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เย็นจะทำให้ความชื้นกระจายตัวเท่ากันทั้งชิ้นขนม (งามชื่น, 2547) โดยเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นแนวโน้มปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปจะดูดซับความชื้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทำให้ความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านระยะเวลาที่อบแห้งก่อนเก็บที่ 3 ระดับ คือ 140 150 และ 160 นาที ในด้านอัตราการพอง (ภาพที่ 11) พบว่า ระยะเวลาที่อบแห้ง 160 นาที เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 2 วัน ให้อัตราการพองตัวสูงที่สุด คือ 5.32 เท่า ดังนั้นจึงเลือกการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 25 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการเก็บ	ความชื้น (%)	ปริมาณ น้ำอิสระ ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส ^{ns} (นิวตัน)	อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	ส่วนที่ไม่พองตัว ^{ns} (มม.)
อุณหภูมิห้องเก็บ 1 วัน	9.98±0.01 ^{ef}	0.770±0.02	0.40±0.11	4.98±0.02	0.20±0.02
อุณหภูมิห้องเก็บ 2 วัน	10.04±0.06 ^c	0.778±0.03	0.67±0.30	4.15±0.27	0.21±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 3 วัน	10.06±0.03 ^e	0.773±0.04	0.49±0.19	3.96±0.25	0.21±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 4 วัน	10.19±0.08 ^d	0.782±0.03	0.57±0.05	4.41±0.15	0.20±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 5 วัน	10.54±0.03 ^b	0.754±0.03	0.60±0.32	4.99±0.89	0.21±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 6 วัน	10.51±0.01 ^b	0.767±0.03	0.56±0.17	5.05±0.60	0.20±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 7 วัน	11.00±0.08 ^a	0.768±0.03	0.53±0.03	4.45±0.39	0.19±0.02

ตารางที่ 25 (ต่อ)

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการเก็บ	ความชื้น (%)	ปริมาณ น้ำอิสระ ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส ^{ns} (นิวตัน)	อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	ส่วนที่ไม่พองตัว ^{ns} (มม.)
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 1 วัน	9.90±0.01 ^h	0.749±0.05	0.86±0.50	4.35±0.53	0.19±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 2 วัน	9.93±0.01 ^{gh}	0.771±0.03	0.82±0.70	4.50±0.05	0.18±0.03
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 3 วัน	10.19±0.01 ^d	0.754±0.06	0.50±0.02	4.89±0.38	0.18±0.03
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 4 วัน	10.28±0.01 ^c	0.732±0.01	0.43±0.11	4.54±0.37	0.21±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 5 วัน	10.32±0.01 ^c	0.756±0.03	0.54±0.09	5.00±0.75	0.20±0.07
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 6 วัน	10.32±0.01 ^c	0.759±0.03	0.60±0.06	5.07±0.30	0.28±0.05
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 7 วัน	10.32±0.01 ^c	0.741±0.02	0.67±0.21	4.47±0.49	0.19±0.01

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 26 คุณภาพของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน

อุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บ	ความชื้น (%)	ปริมาณ น้ำอิสระ ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส ^{ns} (นิวตัน)	อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	ส่วนที่ไม่พองตัว ^{ns} (มม.)
อุณหภูมิห้องเก็บ 1 วัน	9.45±0.01 ^g	0.775±0.02	0.44±0.07	4.49±0.35	0.20±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 2 วัน	9.64±0.01 ^{ef}	0.766±0.03	0.39±0.08	4.37±0.01	0.19±0.02
อุณหภูมิห้องเก็บ 3 วัน	9.72±0.01 ^d	0.756±0.04	0.45±0.04	4.93±1.05	0.19±0.03
อุณหภูมิห้องเก็บ 4 วัน	9.75±0.01 ^d	0.760±0.03	0.32±0.08	5.15±0.34	0.16±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 5 วัน	9.87±0.01 ^c	0.763±0.03	0.38±0.06	4.00±0.27	0.20±0.04
อุณหภูมิห้องเก็บ 6 วัน	9.99±0.01 ^b	0.763±0.03	0.60±0.13	4.95±0.13	0.20±0.03
อุณหภูมิห้องเก็บ 7 วัน	10.08±0.01 ^a	0.762±0.03	0.41±0.05	4.72±0.31	0.20±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 1 วัน	9.12±0.01 ^j	0.752±0.05	0.47±0.03	4.55±0.21	0.20±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 2 วัน	9.19±0.01 ⁱ	0.736±0.03	0.37±0.03	4.43±0.13	0.20±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 3 วัน	9.27±0.01 ^h	0.727±0.06	0.28±0.09	4.09±0.12	0.20±0.02
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 4 วัน	9.27±0.07 ^h	0.744±0.01	0.43±0.10	4.93±0.23	0.16±0.00
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 5 วัน	9.58±0.07 ^f	0.760±0.03	0.42±0.03	4.64±0.15	0.22±0.02
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 6 วัน	9.66±0.01 ^c	0.749±0.03	0.30±0.13	4.32±0.85	0.21±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 7 วัน	9.91±0.01 ^c	0.736±0.02	0.57±0.57	4.91±0.02	0.24±0.02

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

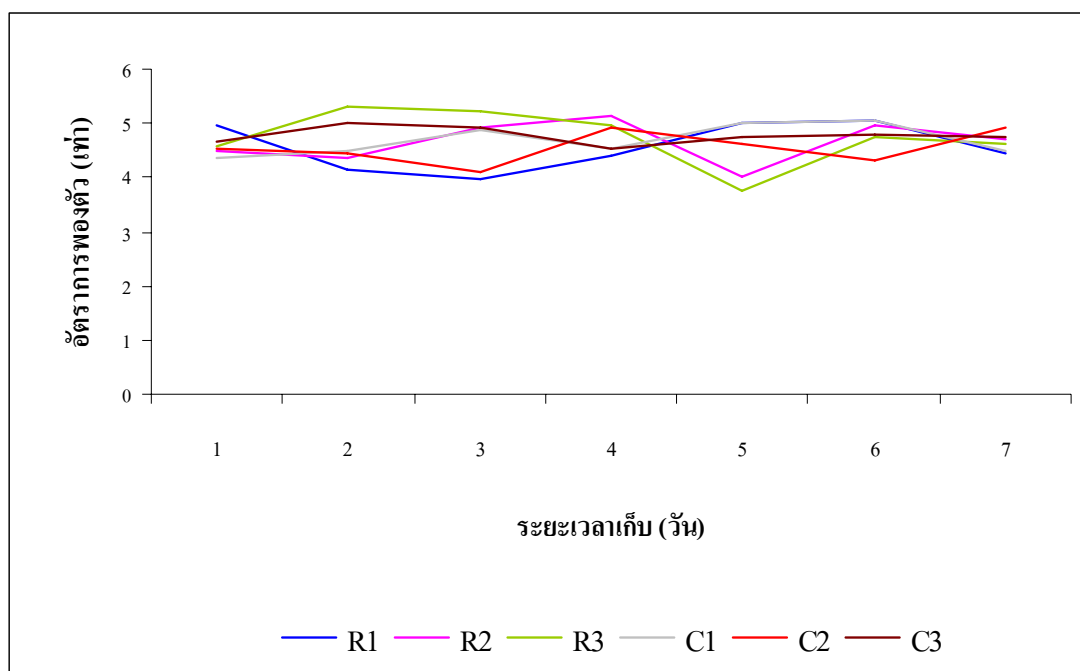
ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 27 คุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที และเก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกัน

อุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บ	ความชื้น (%)	ปริมาณ น้ำอิสระ ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส ^{ns} (นิวตัน)	อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	ส่วนที่ไม่พองตัว ^{ns} (มม.)
อุณหภูมิห้องเก็บ 1 วัน	8.87±0.07 ⁱ	0.769±0.03	0.57±0.11	4.58±0.40	0.22±0.04
อุณหภูมิห้องเก็บ 2 วัน	8.96±0.01 ^h	0.760±0.02	0.46±0.09	5.32±0.30	0.20±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 3 วัน	9.25±0.08 ^g	0.760±0.03	0.35±0.06	5.21±0.24	0.22±0.04
อุณหภูมิห้องเก็บ 4 วัน	9.46±0.01 ^f	0.759±0.02	0.36±0.05	4.97±0.49	0.17±0.02
อุณหภูมิห้องเก็บ 5 วัน	9.54±0.02 ^e	0.758±0.02	0.40±0.03	3.74±0.04	0.17±0.01
อุณหภูมิห้องเก็บ 6 วัน	9.70±0.01 ^{cd}	0.747±0.05	0.44±0.04	4.74±0.56	0.18±0.02
อุณหภูมิห้องเก็บ 7 วัน	9.89±0.01 ^a	0.750±0.04	0.42±0.04	4.61±0.03	0.19±0.02
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 1 วัน	9.03±0.03 ^h	0.747±0.02	0.64±0.33	4.65±0.14	0.20±0.03
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 2 วัน	9.30±0.01 ^g	0.757±0.03	0.68±0.09	5.00±0.95	0.18±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 3 วัน	9.56±0.01 ^e	0.747±0.03	0.46±0.09	4.90±0.14	0.17±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 4 วัน	9.64±0.01 ^d	0.749±0.03	0.29±0.17	4.55±0.15	0.20±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 5 วัน	9.73±0.01 ^c	0.750±0.04	0.52±0.08	4.75±0.41	0.22±0.01
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 6 วัน	9.81±0.06 ^b	0.738±0.02	0.61±0.13	4.80±0.27	0.22±0.02
อุณหภูมิแช่เย็นเก็บ 7 วัน	9.85±0.01 ^{ab}	0.736±0.01	0.53±0.10	4.73±0.14	0.21±0.01

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 11 อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บที่แตกต่างกัน ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

หมายเหตุ : R1 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที
 R2 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที
 R3 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที
 C1 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที
 C2 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที
 C3 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที

3.6. ผลการศึกษาภานะสำหรับการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในเตาไมโครเวฟ

จากการใช้ภานะที่ใช้อบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ 5 ชนิด คือ จานไมโครเวฟ จานเซรามิก ถังกระดาษ กล่องพลาสติก และถาดพลาสติกมีรู พบว่าภานะสำหรับการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ค่าสี L^* a^* b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 28 และภาพที่ 12) แต่มีผลต่ออัตราการพองตัว และส่วนที่ไม่พองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจานไมโครเวฟเป็นภานะที่อบข้าวแต๋นได้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 5.18 เท่า มีส่วนของเมล็ดข้าวที่พองตัวได้ไม่หมดน้อยที่สุด 0.56 มิลลิเมตร เนื่องจากขณะเตาไมโครเวฟทำงาน จะส่งคลื่นไมโครเวฟออกมาที่ตัวอาหาร ทำให้โมเลกุลใน

ตัวอาหารสัมผัสเย็น เกิดการเสียดสี เกิดความร้อนในตัวของมันและสุกด้วยตัวมันเอง (คู่มือเตาอบไมโครเวฟ, 2532) ดังนั้นการที่เราวางอาหารในจานของไมโครเวฟเลยโดยไม่ได้ใส่ในภาชนะใดๆ จะทำให้อาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟโดยตรง และรวดเร็ว จึงส่งผลให้การพองตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงคัดเลือกจานไมโครเวฟ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแค้นที่ใช้ภาชนะสำหรับการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่แตกต่างกัน

คุณภาพ	จานไมโครเวฟ	จานเซรามิก	ถาดกระดาด	กล่องพลาสติก	ถาดพลาสติกมีรู
อัตราการพองตัว (เท่า)	5.18±0.14 ^a	2.89±0.29 ^c	4.69±0.77 ^{ab}	4.21±0.47 ^{ab}	3.71±0.46 ^{bc}
ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ^{ns} (นิวตัน)	0.40±0.07	0.56±0.09	0.48±0.01	0.34±0.02	0.62±0.39
ค่าสี					
L* ^{ns}	40.37±0.53	39.91±0.21	39.56±0.38	39.92±0.16	39.45±0.59
a* ^{ns}	2.59±0.13	2.37±0.56	1.79±1.00	2.50±0.15	2.19±0.17
b* ^{ns}	5.78±0.76	4.44±0.23	5.29±0.52	5.90±0.92	4.54±0.59
ส่วนที่ไม่พองตัว (มิลลิเมตร)	0.56±0.79 ^b	7.83±0.62 ^a	1.47±0.25 ^b	1.92±0.34 ^b	1.68±0.49 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 12 ผลลัพธ์ข้าวแค้นที่ใช้ภาชนะสำหรับการอบในเตาไมโครเวฟที่แตกต่างกัน

3.7. ผลการศึกษาจำนวนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับอบในเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม

จากการศึกษาจำนวนข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟ คือ 1 3 6 9 12 และ 15 ชิ้นต่อครั้งการอบ พบว่าจำนวนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 29 และภาพที่ 13) แต่มีผลต่อค่าสีเหลือง (b^*) และอัตราการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยจำนวนข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟจำนวน 1 3 และ 6 ชิ้นให้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 5.13 5.04 และ 5.02 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของอาหารมีผลต่อเวลาในการแปรรูปอาหารด้วยเตาไมโครเวฟ ถ้าอาหารมีปริมาณที่มากขึ้น จะต้องใช้เวลาในการแปรรูปมากขึ้น (Brown, 1994) ส่งผลให้มีอาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ช้าลง อัตราการพองตัวจึงลดลง ดังนั้นจึงเลือกจำนวนข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟจำนวน 6 ชิ้นต่อภาชนะบรรจุเป็นจำนวนที่เหมาะสมสำหรับอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแต๋นที่ปริมาณการบรรจุที่ใช้อบด้วยเตาไมโครเวฟต่างกัน

ปริมาณการบรรจุ (ชิ้น)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าสี		
		L^* ^{ns}	a^* ^{ns}	b^*
1	5.13±0.13 ^a	47.58±0.34	3.49±0.55	8.60±0.09 ^a
3	5.04±0.18 ^a	46.55±0.29	3.68±0.46	8.39±0.24 ^a
6	5.02±0.08 ^a	46.15±0.04	3.00±0.58	8.47±0.35 ^a
9	3.41±0.08 ^b	46.79±0.94	2.89±0.42	7.39±0.45 ^b
12	2.70±0.15 ^c	47.49±0.19	3.09±0.11	7.44±0.45 ^b
15	2.64±0.13 ^c	47.57±0.18	3.05±0.07	7.06±0.09 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่จำนวนชิ้นที่อบต่อครั้งในเตาไมโครเวฟต่างกัน

3.8. ผลการศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

3.8.1 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 40 43 45 47 และ 50 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงที่เวลา 45 วินาที และมีแนวโน้มลดลงที่เวลา 47-50 วินาที ตามลำดับ (ตารางที่ 30) ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) พบว่าเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลากการอบนานขึ้นปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมามากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้กรอบ และแห้งเปราะมากขึ้น ความหนาแน่นน้อยลง เมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกได้ เมื่อพิจารณาจากค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้นผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น (ภาพที่ 14) โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลากอบ 50 วินาที สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ (ตารางที่ 23) ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ นาน 45 ± 2 วินาที

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาการอบ (วินาที)	อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะ เนื้อสัมผัส (นิวตัน)	ค่าสี			ส่วนที่ ไม่พองตัว (มิลลิเมตร)
			L*	a*	b*	
40	2.97±0.31	0.52±0.01	34.95±0.91	0.88±0.35	4.85±0.15	2.02±0.50
43	4.55±0.52	0.42±0.01	38.28±3.81	0.04±2.12	6.12±0.60	1.51±0.01
45	4.65±0.18	0.37±0.01	42.81±3.99	2.29±1.07	6.39±1.36	1.28±0.04
47	4.21±0.21	0.26±0.01	37.85±2.04	1.04±0.99	7.67±1.50	0.80±0.04
50	3.17±0.19	0.25±0.01	38.98±3.25	1.39±1.40	7.67±0.58	1.11±0.08



ภาพที่ 14 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 700 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน

3.8.2 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 35 37 40 43 และ 45 วินาที จากการศึกษาเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ส่วนที่ไม่พองตัวมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 31) เนื่องจากเมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นโอกาสที่คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดซับไปยังตัวอาหารก็มีมากขึ้น ทำให้ความร้อนกระจายทั่วทั้งชิ้นอาหารดีกว่า จึงส่งผลให้อาหารหลงเหลือส่วนที่ไม่พองตัวน้อยลง เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้น ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น (ภาพที่ 15) ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ นาน 40 ± 3 วินาที

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาการอบ (วินาที)	อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะ เนื้อสัมผัส (นิวตัน)	ค่าสี			ส่วนที่ ไม่พองตัว (มิลลิเมตร)
			L*	a*	b*	
35	3.86±0.23	0.34±0.01	43.43±3.14	1.10±0.71	5.79±0.01	1.63±0.01
37	3.92±0.20	0.33±0.08	42.09±1.54	0.78±0.36	6.62±0.53	1.50±0.01
40	4.44±0.27	0.36±0.01	42.44±1.64	0.83±0.58	6.65±0.28	1.16±0.06
43	4.14±0.22	0.30±0.07	39.40±2.20	0.64±0.03	7.28±0.89	0.85±0.02
45	4.34±0.14	0.32±0.17	36.64±0.94	0.56±0.96	8.93±1.23	0.17±0.02



ภาพที่ 15 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 800 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน

3.8.3 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 33 35 38 40 และ 42 วินาที จากการศึกษาเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น พบว่า อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 32) เนื่องจากความร้อนได้กระจายเข้าไปยังโมเลกุลของเม็ดข้าวได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่มากขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้น ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น (ภาพที่ 16) โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาอบ 42 วินาที สีของผลิตกัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ (ตารางที่ 23) ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ นาน 38 ± 2 วินาที

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาการอบ (วินาที)	อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะ เนื้อสัมผัส (นิวตัน)	ค่าสี			ส่วนที่ ไม่พองตัว (มิลลิเมตร)
			L*	a*	b*	
33	3.72±0.01	0.52±0.16	40.11±0.28	0.78±0.73	5.96±0.95	1.52±0.03
35	4.40±0.21	0.27±0.18	40.19±0.28	0.81±0.22	6.51±0.77	1.00±0.07
38	4.45±0.09	0.38±0.20	39.38±0.95	0.83±1.68	7.09±1.18	1.13±0.04
40	5.16±0.07	0.54±0.05	37.49±1.56	0.88±1.01	8.98±0.25	0.72±0.10
42	4.95±0.13	0.38±0.06	37.66±1.54	0.89±1.81	9.17±0.29	0.43±0.06



ภาพที่ 16 ผลิตกัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 900 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน

3.8.4 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 28 30 33 35 และ 38 วินาที จากการศึกษาลักษณะการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 33) เนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบสีคาราเมล (caramel) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อน ในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิดเป็นสารเฟอร์ฟิวราลที่มีสีน้ำตาล (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ, ม.ป.ป.) ยิ่งได้รับความร้อนนานขึ้นสีดังกล่าวก็จะเกิดมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่ออบข้าวแต๋นที่เวลา 38 วินาที (ภาพที่ 17) สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ (ตารางที่ 23) ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ นาน 33 ± 2 วินาที

ตารางที่ 33 เปรียบเทียบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาการอบ (วินาที)	อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะ เนื้อสัมผัส (นิวตัน)	ค่าสี			ส่วนที่ ไม่พองตัว (มิลลิเมตร)
			L*	a*	b*	
28	4.43±0.11	0.32±0.03	43.33±1.48	1.22±2.87	5.84±0.11	1.21±0.01
30	4.72±0.44	0.25±0.01	40.96±1.16	1.27±0.33	5.91±0.43	1.29±0.01
33	5.02±0.39	0.29±0.12	39.45±1.85	1.29±0.24	6.63±0.29	0.93±0.01
35	5.17±0.23	0.22±0.01	38.02±0.28	1.85±1.18	8.07±0.68	0.73±0.03
38	5.27±0.30	0.20±0.08	37.45±0.55	2.96±0.21	9.41±0.01	0.08±0.01



ภาพที่ 17 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ณ เวลาต่างกัน

จากการศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 และ 1,000 วัตต์ มีลักษณะการพองตัวมากที่สุด เนื่องจากที่คลื่นความถี่สูงพลังงานความร้อนที่ได้จะมาก (Garrick, 1967) ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปในอาหาร น้ำและสารประกอบที่มีไขมันในอาหาร จะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และปล่อยความร้อนออกมาจึงทำให้อาหารได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ เมื่อเกิดความร้อนจึงส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและพองตัวได้ดีกว่าที่ระดับความร้อนต่ำที่จะเกิดความร้อนได้ช้ากว่า และมีส่วนที่ไม่พองตัวน้อยที่สุด ดังนั้นในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟควรอบที่ระดับความร้อนตั้งแต่ 900 วัตต์ขึ้นไป

3.9. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

จากการตรวจคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 34) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 49.58-58.07 ส่วนข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 46.04 และค่าสีแดง (a^*) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 3.96-8.99 ส่วนข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 3.89 และค่าสีเหลือง (b^*) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไป มีค่าอยู่ในช่วง 28.88-31.60 ส่วนข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 8.49 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟนั้นจะมีค่าสีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการทอดจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบ non-enzymatic browning โดยกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีน และเปปไทด์ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิ่ง (กลูโคสหรือฟรุคโตส) ที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Leszkowiat *et.al.*, 1990) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างรวดเร็วในกระบวนการทอดทำให้เกิดองค์ประกอบสีน้ำตาล (brown-colored macromolecular melanoidins) สีน้ำตาลนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส (Pokorny, 1999) จึงทำให้ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดมีค่าสีเหลือง (b^*) มากกว่า และอัตราการพองตัวมีค่าใกล้เคียงกันโดยข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 4.14-5.08 เท่า ส่วนข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟเท่ากับ 5.00 เท่า และความชื้นข้าวแต๋นมีค่าใกล้เคียงกันโดยข้าวแต๋นจำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.18-2.84 ส่วนข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟเท่ากับร้อยละ 1.37 จะเห็นว่าทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) อัตราการพองตัว และความชื้นนั้นไม่แตกต่างกัน ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 1.96-3.23 นิวตัน ส่วน

ข้าวแค้นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 0.63 นิวตัน ซึ่งจะน้อยกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟจะมีลักษณะที่บาง อีกทั้งแห้งกว่าเมื่อใช้แรงกดลงบนชิ้นข้าวแค้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ข้าวแค้นแตกออกจากกันได้ ส่วนข้าวแค้นที่จำหน่ายทั่วไปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดมีลักษณะของแผ่นที่หนาและแข็งแรงมากกว่าจึงทำให้ได้ค่าที่มากกว่า

ตารางที่ 34 เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ค่าสี			อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) (นิวตัน)	ความชื้น (ร้อยละ)
	L*	a*	b*			
1	58.07±1.61	5.56±0.42	29.66±0.69	5.08±0.15	1.96±0.17	2.84±0.39
2	52.84±0.84	8.99±0.35	31.55±1.00	4.14±0.25	2.22±0.55	2.82±0.08
3	49.58±2.28	3.96±0.20	31.60±1.36	4.44±0.35	3.23±0.31	1.18±0.06
4	52.33±1.91	8.87±0.48	28.88±0.65	4.29±0.14	2.25±0.24	2.58±0.10
5	55.95±1.67	5.40±0.34	29.13±0.69	4.41±0.02	2.05±0.21	1.62±0.07
ข้าวแค้นอบด้วย เตาไมโครเวฟ	46.04±1.08	3.89±0.35	8.49±0.55	5.00±0.04	0.63±0.22	1.37±0.08

จากการเปรียบเทียบปริมาณไขมันผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นทอดที่จำหน่ายทั่วไป 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 35) พบว่าไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ได้จากการทอดมาก เนื่องจากในกระบวนการทอดนั้นน้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ออกมา จากนั้นน้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยออก (Fellow, 1990) ส่วนการอบด้วยไมโครเวฟผลิตภัณฑ์จะเกิดการพองตัวโดยน้ำในอาหารเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำ ดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและพองตัว (เพลินใจ, 2546) จึงส่งผลให้ปริมาณไขมันมีน้อยกว่าการทอด

ตารางที่ 35 เปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ไขมัน (ร้อยละ)
ข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟ	0.35±0.06
ข้าวแต๋นตลาด 1	19.60±0.37
ข้าวแต๋นตลาด 2	17.29±2.73
ข้าวแต๋นตลาด 3	23.91±1.57
ข้าวแต๋นตลาด 4	20.67±0.87
ข้าวแต๋นตลาด 5	33.08±1.11
อุบลรัตน์ (2549) (ข้าวแต๋นใยสับปะรด)	28.46
อุบลรัตน์ (2549) (ข้าวแต๋นต้นแบบ)	23.57
นิคม และอริสา (2547)	22.00
ศิริเพ็ญ และสุวรรณ (2546)	14.68
เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ศูนย์การศึกษานอก	23.30
โรงเรียนภาคเหนือ (ม.ป.ป.)	

จากการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง (ภาพที่ 18) พบว่าการพองตัวเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) รสชาติรวม และความชอบรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 36) ส่วนคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้การที่ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากข้าวแต๋นแต่ละผู้ผลิตมีส่วนผสมที่ต่างกัน รวมไปถึงกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย พบว่า ข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไป จำนวน 4 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	การพองตัว ^{ns}	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ^{ns}	รสชาติรวม ^{ns}	ความชอบรวม ^{ns}
ข้าวแต๋นอบ เตาไมโครเวฟ	7.24 ± 1.21 ^a	7.19 ± 1.10	7.27 ± 0.99	7.08 ± 1.01	7.11 ± 1.02
ข้าวแต๋นตลาด 1	6.89 ± 1.20 ^{ab}	6.95 ± 0.85	7.19 ± 0.94	7.05 ± 0.97	7.05 ± 0.94
ข้าวแต๋นตลาด 2	6.81 ± 0.94 ^{ab}	6.76 ± 0.89	7.00 ± 1.05	7.08 ± 1.01	6.97 ± 0.99
ข้าวแต๋นตลาด 3	6.95 ± 0.91 ^a	6.97 ± 0.76	7.30 ± 0.91	7.16 ± 0.76	7.08 ± 0.72
ข้าวแต๋นตลาด 4	6.43 ± 1.44 ^b	6.95 ± 1.10	7.00 ± 1.03	7.27 ± 0.90	7.11 ± 1.07
ข้าวแต๋นตลาด 5	7.27 ± 0.87 ^a	7.05 ± 0.66	7.41 ± 0.86	7.16 ± 0.99	7.11 ± 0.97

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

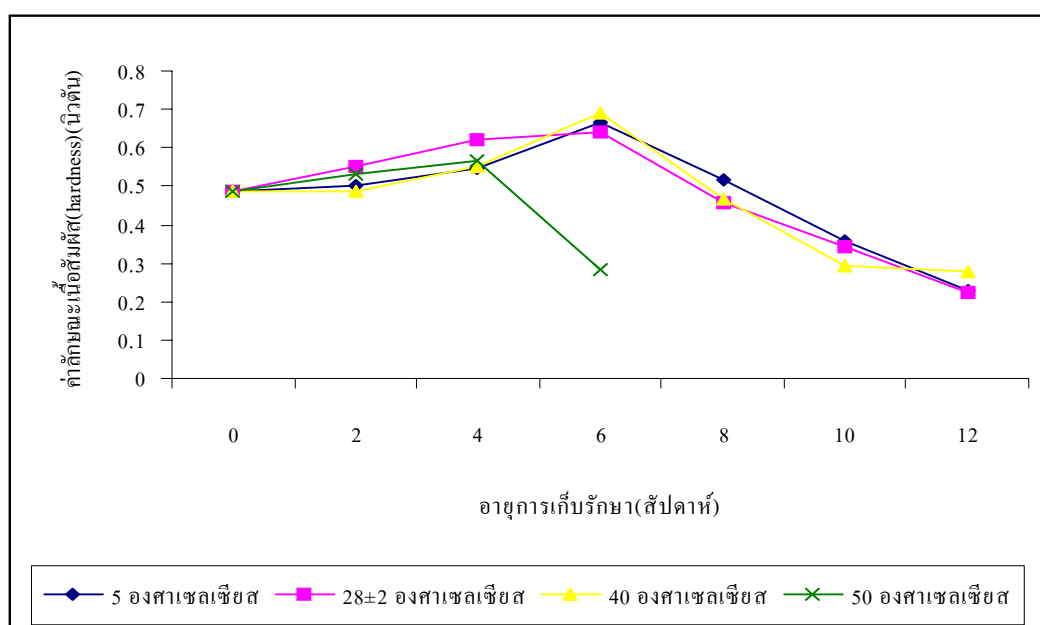


ภาพที่ 18 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

3.10. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

3.10.1 คุณภาพทางกายภาพ

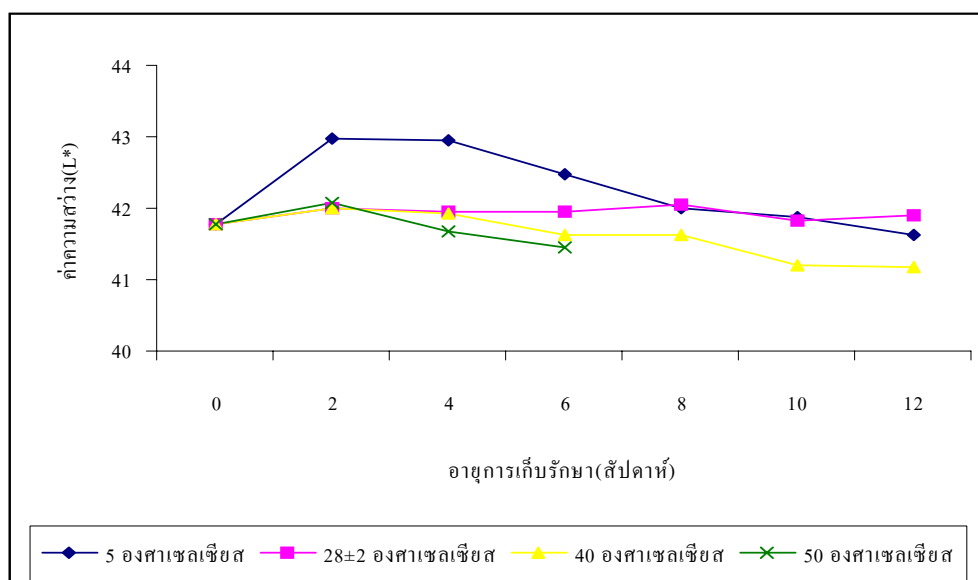
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพด้านค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดจนถึงสัปดาห์ที่ 6 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 19 เนื่องจากการเก็บรักษานานขึ้นลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋นจะมีความเปราะมากขึ้น ทำให้เมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ข้าวแต๋นเกิดการแตกหักได้ โดยมีค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.225-0.691 นิวตัน



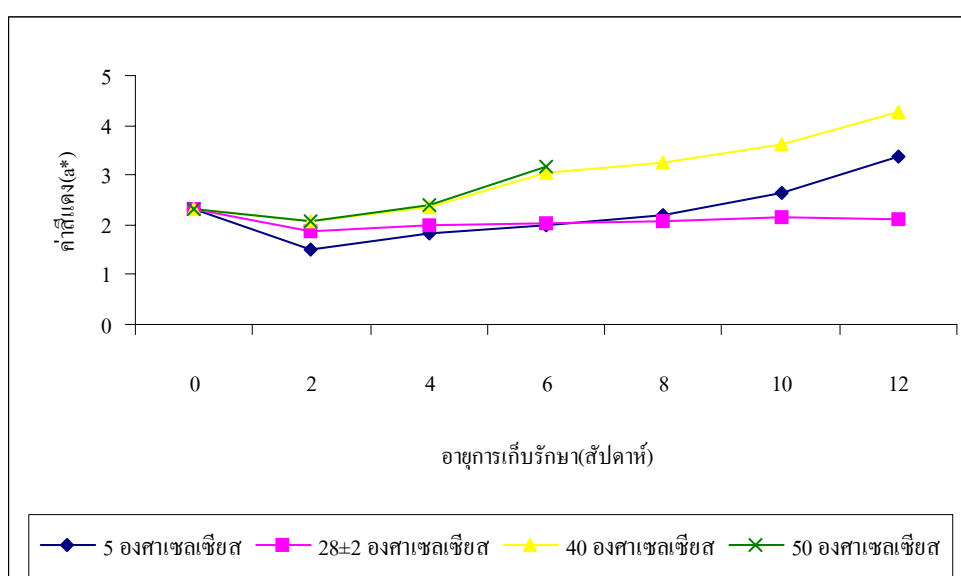
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

ค่าสีของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เมื่อผ่านการเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงค่า ความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) โดยค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จะลดลงในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 20 21 และ 22 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของละมุล (2541) เพลงพิน (2541) และ Chrastil (1994) ที่ได้ศึกษาคุณภาพของแป้งข้าวที่พบว่ามีความชื้นขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning) คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สร้าง

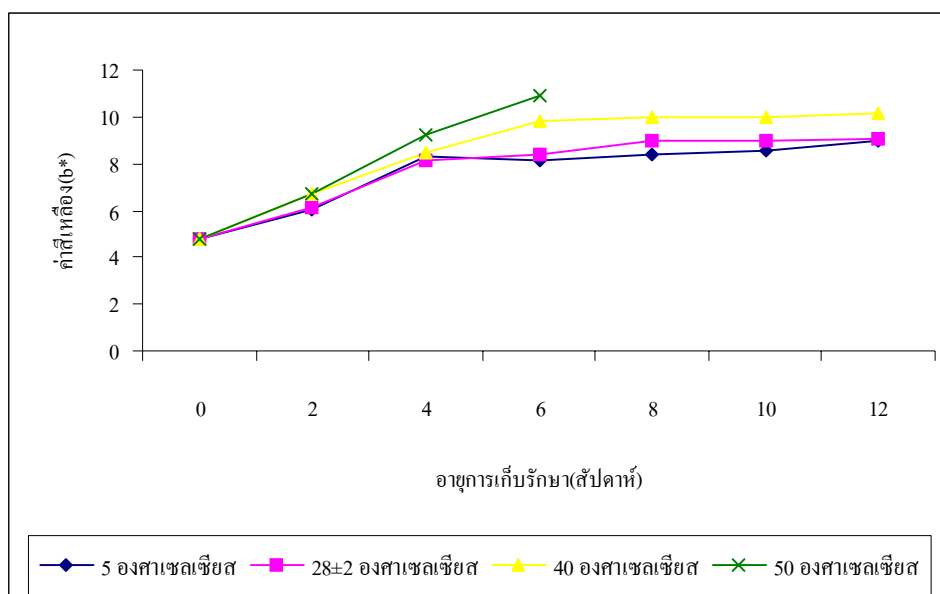
สารประกอบสีน้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (melanoidins) จึงทำให้สีของแป้งเข้มขึ้น (งามชื่น, 2539; Chrastil, 1994) โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.18-42.97 ค่าสีแดง (a^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.52-4.28 และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.78-10.95



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

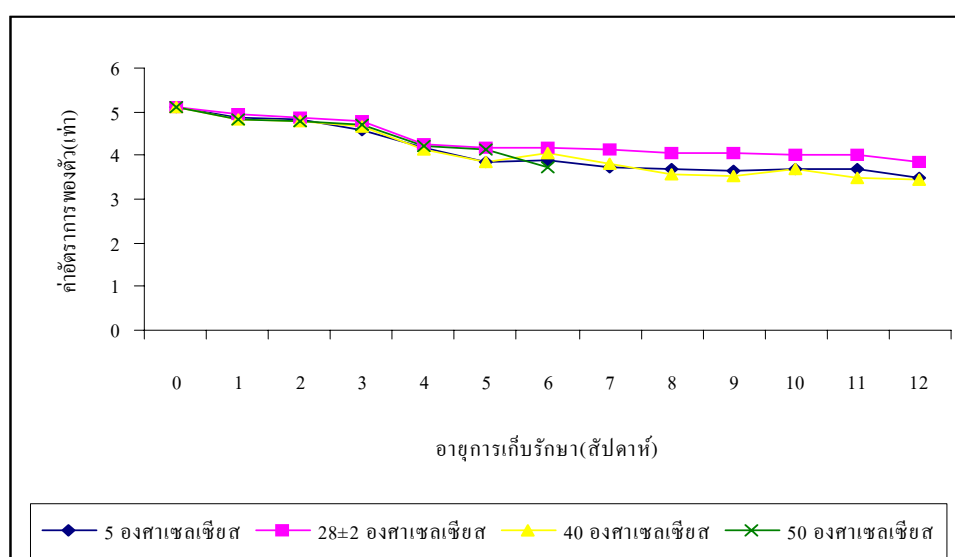


ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^*) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) ของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

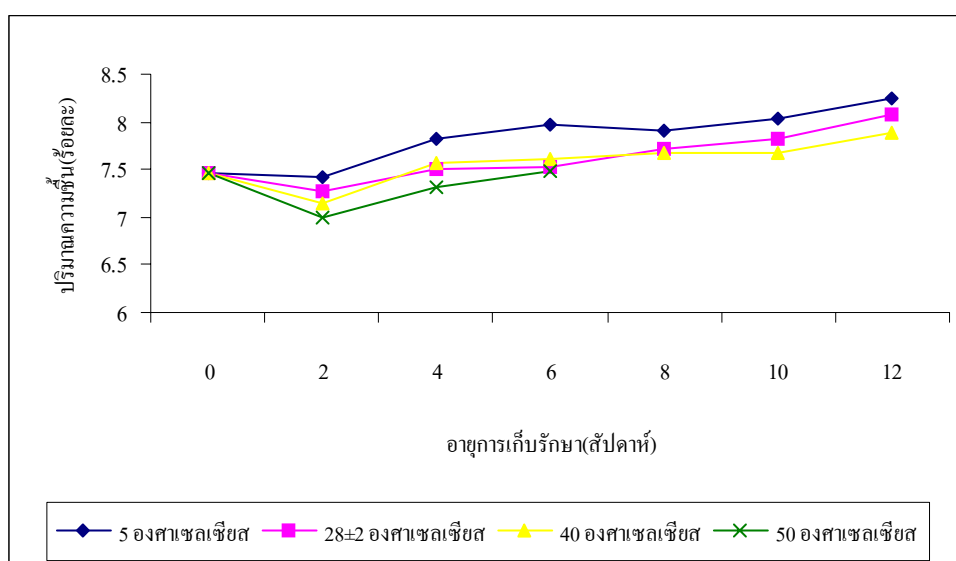
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพด้านค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูป พบว่าค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง ดังภาพที่ 23 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการพองตัวนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น โดยเมื่อเก็บรักษานานขึ้นความชื้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการพองตัวน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน จึงมีน้ำเหลือในโครงสร้างการพองตัวจึงไม่ดี (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) โดยมีค่าอัตราการพองตัวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.45-5.09 เท่า



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

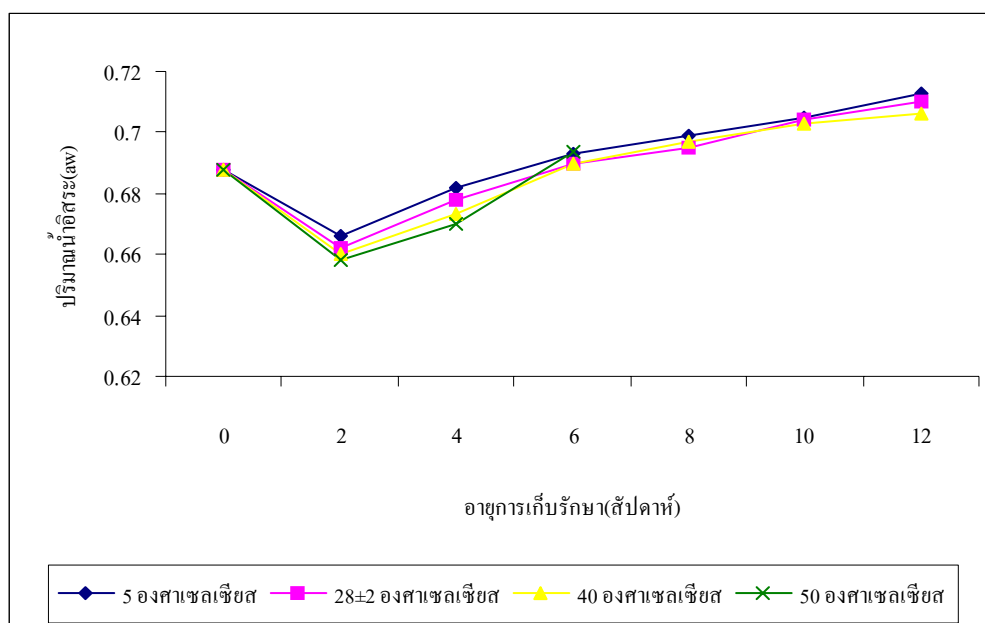
3.10.2 คุณภาพทางเคมี

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีด้านปริมาณความชื้น ผลผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 24 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ จะสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะการเก็บรักษา โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 7.00-8.25



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีด้านปริมาณน้ำอิสระ(a_w) ผลผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 25 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้นขณะเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทอากาศระหว่างบรรจุภัณฑ์ โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.658-0.713



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำอิสระ(a_w) ของข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

3.10.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

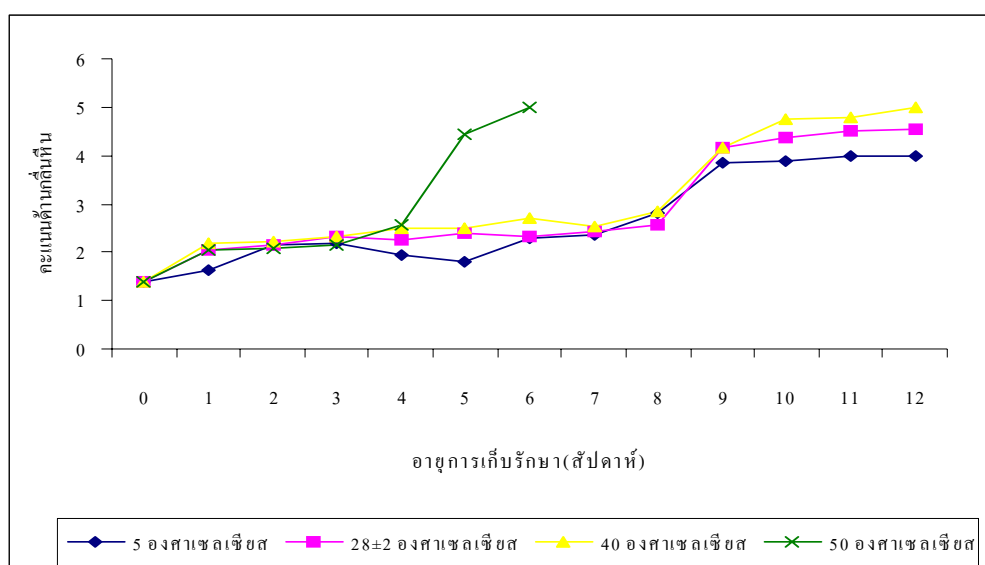
จากการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 3 เดือน ในสภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ในข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่เก็บอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส

3.10.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

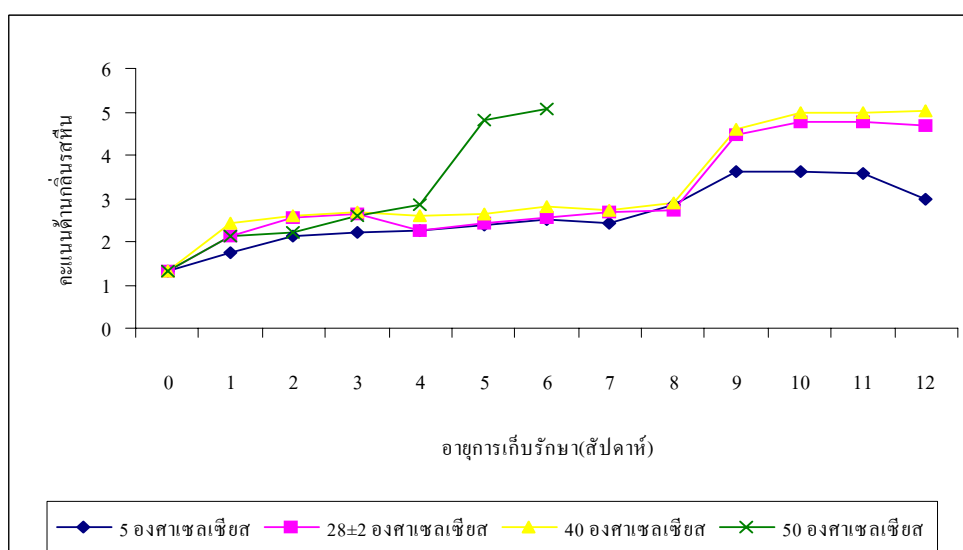
การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของการทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟในภาชนะบรรจุอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทำการทดสอบจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ทางด้านกลิ่นหืน ความกรอบ และกลิ่นรสหืนของข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ระดับความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นหืน และกลิ่นรสหืน ของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ระดับความเข้มเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นหืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 26 และ 27 โดยมีระดับความเข้มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.40-5.01 และ 1.33-5.06 ตามลำดับ เนื่องจากการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ไฮโดรไลซิสเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าวทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ส่วนออกซิเดชันเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) และการสัมผัสกับ

ออกซิเจน จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในข้าว (สุภาวดี, 2542) โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์เป็นสารเปอร์ออกไซด์และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิล ส่วนกรดไขมันอิสระเกิดออกไดออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิลเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติ (off-flavor) (สุภาวดี, 2542; อรอนงค์, 2534)

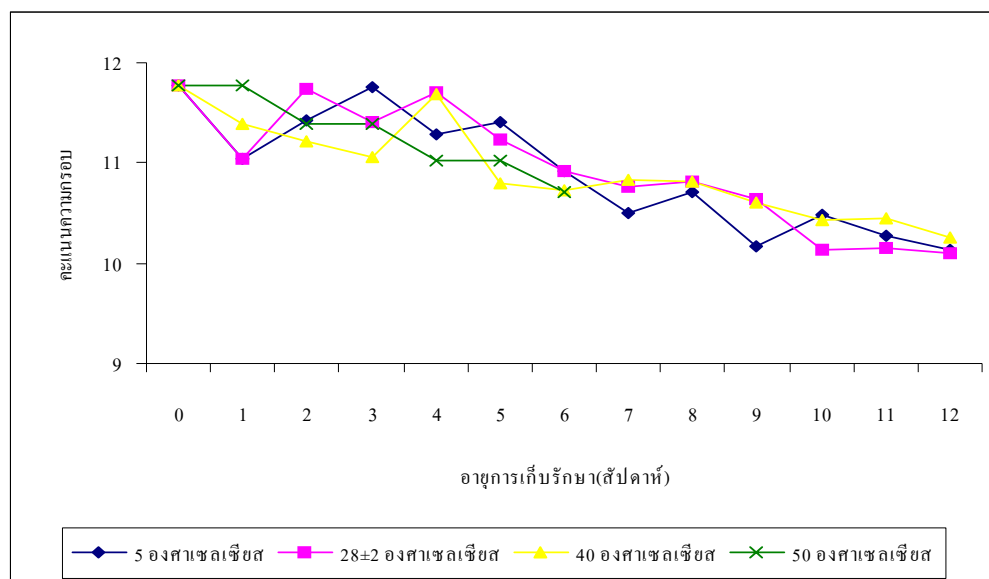


ภาพที่ 26 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นหืนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์



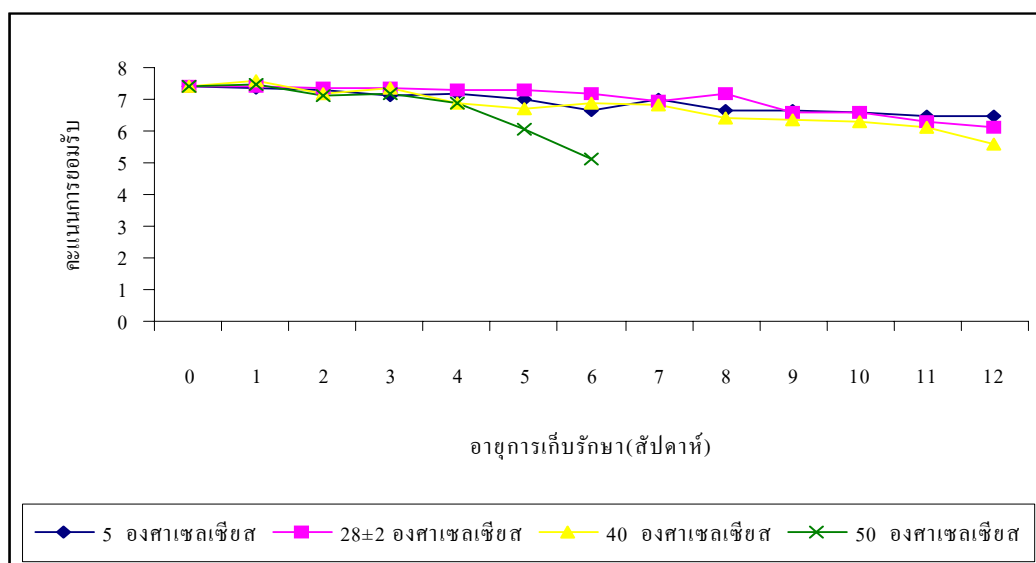
ภาพที่ 27 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นรสหืนของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

ระดับความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ระดับความเข้มเฉลี่ยคุณลักษณะด้านความกรอบมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 28 โดยมีระดับความเข้มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.10-11.77 เนื่องจากเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานจะสูญเสียความกรอบ เนื่องจากอาจเกิดการดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป



ภาพที่ 28 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านความกรอบของข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

การยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวมลดลงจนไม่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดจาก 7.60 – 5.13 ในสัปดาห์ที่ 12 ของการเก็บรักษา การศึกษาอายุการเก็บรักษาข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 อุณหภูมิห้อง (28±2) 40 และ 50 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้นาน 42 วัน และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้นาน 84 วัน ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 คะแนนด้านการยอมรับคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าว มาทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้สมการของ Labuza (1982) สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น คือ 5 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง คือ 28 องศาเซลเซียส ได้ดังนี้

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_1 (^{\circ}\text{C})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_2 (t_1 + 10) (^{\circ}\text{C})}$$

$$Q_{10}^{\Delta_{10}} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_1 (40^{\circ}\text{C})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_2 (50^{\circ}\text{C})}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta = \text{ผลต่าง } t_1 \text{ และ } t_2$$

$$Q_{10} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{84}{42} = 2.0$$

$$= \frac{t_1 (\text{ทำนาย})}{t_2}$$

$$\Delta = 40 - 5 = 35 \text{ และ } 40 - 28 = 12$$

$$\text{ดังนั้น} \quad Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{t_1 (5^{\circ}\text{C})}{t_2 (40^{\circ}\text{C})}$$

$$\begin{aligned} t (5^{\circ}\text{C}) &= Q_{10}^{\Delta/10} \times t_2 (40^{\circ}\text{C}) \\ &= 2.0^{35/10} \times 84 \\ &= 950 \text{ วัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad t (28^{\circ}\text{C}) &= Q_{10}^{\Delta/10} \times t_2 (40^{\circ}\text{C}) \\ &= 2.0^{12/10} \times 84 \\ &= 193 \text{ วัน} \end{aligned}$$

จากการคำนวณสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟพบว่า เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้ 950 วัน และเก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาได้ 193 วัน โดยข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไปและบรรจุในถุง Polyethylene (ที่มีการบรรจุข้าวแต๋นขายในท้องตลาด) มีอายุของผลิตภัณฑ์นานประมาณ 3-6 เดือน (องค์การบริหารส่วนตำบลพระบาทวังดวง, ม.ป.ป)

3.11. ศึกษาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

โดยใช้ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรม รวบรวมโดยศูนย์วิจัยกสิกรไทย (นิรนาม, 2540) ซึ่งแบ่งสัดส่วนต้นทุนดังนี้ คือจากต้นทุนทั้งหมด 100 ส่วน คิดเป็นค่าวัตถุดิบร้อยละ 68.6 ค่าแรงงานร้อยละ 5.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 12.1 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรร้อยละ 4.5 และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 9.2 ในการคำนวณต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป (ตารางที่ 37)

ตารางที่ 37 ต้นทุนการผลิตข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

วัตถุดิบ	ราคา/หน่วย (บาท/กิโลกรัม)	จำนวนที่ใช้ (กรัม)	จำนวนเงิน (บาท)
1. ข้าวพันธุ์ กข. 6	15	1,000	15.00
2. เกลือ	10	10	0.10
3. น้ำตาลทราย	23.5	100	2.35
4. ผงฟู	50	10	0.50
5. น้ำ	5	225	1.13
ต้นทุนวัตถุดิบ (ได้ผลิตภัณฑ์ 750 กรัม)			19.08
ค่าแรงงานร้อยละ 5.6			1.56
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 12.1			3.36
ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรร้อยละ 4.5			1.25
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 9.2			2.56
ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป 750 กรัม คิดเป็นเงิน			27.81
ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป 100 กรัม คิดเป็นเงิน			3.71

จากการสำรวจตลาด พบว่า ข้าวแต๋นที่จำหน่ายในตลาดปัจจุบันมีราคาเฉลี่ย 5-12 บาทต่อน้ำหนัก 100 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟที่มีปริมาณการบรรจุที่เท่ากัน มีต้นทุนการผลิต 3.71 บาท จากการเปรียบเทียบราคาผลิตภัณฑ์โดยประมาณดังกล่าว พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายในท้องตลาด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถแข่งขันทางการตลาดกับข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายปัจจุบันซึ่งใช้วิธีการทอด ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีไขมันน้อยกว่า และมีราคาใกล้เคียงกับข้าวแต๋นที่ผ่านการทอดที่จำหน่ายในปัจจุบัน

3.12. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) กับประชาชนในเขตพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 500 คน ซึ่งมีชายร้อยละ 32.80 หญิงร้อยละ 67.2 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีอายุในช่วง 20-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 47.60 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีการศึกษาระดับปริญญาตรีคิดเป็นร้อยละ 47.20 เป็น

กลุ่มบุคคลที่มีอาชีพพนักงานบริษัทเอกชนเป็นส่วนใหญ่ร้อยละ 37.20 รายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่คือมากกว่า 10,000 บาทคิดเป็นร้อยละ 21.60 ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

ข้อมูล	ร้อยละ
1. เพศ	
ชาย	32.80
หญิง	67.20
2. อายุ	
น้อยกว่า 20 ปี	14.00
20-30 ปี	47.60
31-40 ปี	22.00
41-50 ปี	12.80
มากกว่า 50 ปี	3.60
3. ระดับการศึกษา	
ประถมศึกษาหรือต่ำกว่า	16.80
มัธยมศึกษา/ปวช.	20.00
ปวส.	13.60
ปริญญาตรี	47.20
สูงกว่าปริญญาตรี	2.40
4. อาชีพ	
นักเรียน/นักศึกษา	27.20
รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	5.60
พนักงานบริษัทเอกชน	37.20
ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	8.80
เกษตรกร	6.80
แม่บ้าน	5.20
อื่นๆ (รับจ้างทั่วไป และว่างงาน)	9.20

ตารางที่ 38 (ต่อ)

ข้อมูล	ร้อยละ
5. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	
น้อยกว่า 2,000 บาท	20.00
2,000-4,000 บาท	19.20
4,001-6,000 บาท	12.80
6,001-8,000 บาท	15.60
8,001-10,000 บาท	10.80
มากกว่า 10,000 บาท	21.60

ตอนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

ข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นผลปรากฏว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นร้อยละ 98.40 ความถี่ในการรับประทาน ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นส่วนใหญ่รับประทานนานๆครั้งร้อยละ 83.81 ชนิดของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่เคย รับประทานมากที่สุดคือข้าวแต๋นไม่แต่งหน้า/ราดน้ำตาลร้อยละ 31.08 โอกาสที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ จะรับประทานข้าวแต๋นคือเมื่อรู้สึกอยากรับประทานร้อยละ 40.10 เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อ ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นของคนส่วนใหญ่คือรสชาติร้อยละ 28.49 สถานที่ส่วนใหญ่ที่ผู้บริโภคเลือกซื้อคือ ร้านขายของฝาก/ที่ระลึกร้อยละ 36.73 และในด้านปัญหาที่ผู้บริโภคประสบในการบริโภค ข้าวแต๋นมากที่สุดคือมีกลิ่นและรสหืนร้อยละ 53.72 ดังตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

ข้อมูล	ร้อยละ
6. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหรือไม่	
เคย	98.40
ไม่เคย	1.60
7. ความถี่ในการรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น	
ทุกวัน	0.40
2-3 วันครั้ง	2.02
สัปดาห์ละครั้ง	7.29
เดือนละครั้ง	6.48
นานๆ ครั้ง	83.81

ตารางที่ 39 (ต่อ)

ข้อมูล	ร้อยละ
8. ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ท่านเคยรับประทาน	
ข้าวแต๋นหน้าธัญพืช	16.02
ข้าวแต๋นน้ำพริกเผาหน้าหมูหยอง	23.55
ข้าวแต๋นไม่แต่งหน้าหรือราคน้ำตาล	31.08
ข้าวแต๋นราคน้ำด้วยน้ำตาลโรยงา	24.90
อื่นๆ (ข้าวแต๋นน้ำแดงโม)	4.45
9. ท่านจะบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในโอกาสใดบ้าง	
เมื่อรู้สึกอยากรับประทาน	40.10
ระหว่างการเดินทาง	12.85
ระหว่างมื้ออาหาร	3.08
รับประทานเล่นเมื่อมีเวลาว่าง	27.51
เวลาดูหนังสือ	7.71
รับประทานแทนอาหารมื้อหลัก	1.29
อื่นๆ (ช่วงเทศกาล และมีคนมาฝาก)	7.46
10. เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น	
รสชาติ	28.49
ราคา	17.05
สะดวก หาซื้อง่าย	17.05
รูปแบบหลากหลาย	9.69
คุณค่าทางโภชนาการ	7.37
เป็นขนมประจำท้องถิ่น	17.64
อื่นๆ (เป็นของฝาก และเมื่ออยากรับประทาน)	2.71
11. สถานที่ที่ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น	
ร้านค้าปลีก	27.99
ร้านขายของฝาก/ที่ระลึก	36.73
ตลาดสด	22.16
ซูเปอร์มาร์เก็ต	8.75
อื่นๆ (สถานที่ผลิต)	4.37

ตารางที่ 39 (ต่อ)

ข้อมูล	ร้อยละ
12. ปัญหาที่ท่านประสบในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น	
มีกลิ่นและรสหืน	53.72
อมน้ำมัน	16.50
ไม่มีความกรอบ	23.63
อื่นๆ (แข็ง พองตัวน้อย และรสชาติไม่อร่อย)	6.15

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

จากการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 84.80 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคร้อยละ 15.20 ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีขนาดเล็ก ลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งกว่าข้าวแต๋นที่ทอด ไม่ชอบหนึ่ราคน้ำอ้อย และกลิ่นไม่หอมเหมือนข้าวแต๋นที่ทอด และถ้ามีผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกวางจำหน่ายผู้บริโภคร้อยละ 69.20 จะซื้อผลิตภัณฑ์ ไม่แน่ใจว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องพิจารณาถึงความสะดวกในการซื้อร้อยละ 22.4 ไม่ซื้อร้อยละ 8.40 เนื่องจากไม่ชอบกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ และเหตุผลที่ผู้บริโภคจะซื้อมากที่สุดคือ ไม่มีกลิ่นน้ำมัน รองลงมาคือ เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ ใช้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน ตามลำดับ ดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

ข้อมูล	คะแนนเฉลี่ย
13. คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟ	
ลักษณะปรากฏ	3.56
การพองตัว	3.58
ความกรอบ	3.96
ความชอบรวม	3.80

ตารางที่ 40 (ต่อ)

ข้อมูล	ร้อยละ
14. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟนี้หรือไม่	
ยอมรับ	84.80
ไม่ยอมรับ	15.20
15. ถ้ามีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟนี้ ท่านจะซื้อหรือไม่	
ซื้อ	69.20
ไม่แน่ใจ	22.40
ไม่ซื้อ	8.40
16. เหตุผลที่ท่านซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟ	
เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่น่าสนใจ	11.62
รสชาติดี	9.92
ไม่มีกลิ่นน้ำมัน	13.83
ไม่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน	9.12
เป็นข้าวแต๋นเพื่อสุขภาพ	4.81
สะดวกในการรับประทาน	10.02
สะดวกในการพกพา, เดินทาง	6.01
ใช้เป็นของฝาก	10.42
สามารถอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟที่บ้านได้	8.02
ปริมาณน้ำมันในข้าวแต๋นน้อยกว่าการทอด	9.22
ทันสมัยกับแม่บ้านยุคใหม่	6.61
อื่นๆ (มีรูปร่างน่ารัก)	0.40

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

สถานะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ คือ การใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ขึ้นตอนการลดความชื้นในข้าวแต๋นใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที และนำข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปจำนวน 6 ชิ้นต่อครั้ง อบในเตาไมโครเวฟที่ความร้อน 900-1,000 วัตต์ เป็นเวลา 30-35 วินาที จากการเปรียบเทียบคุณภาพข้าวแต๋นจากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดจำนวน 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง พบว่าข้าวแต๋นที่ผลิตได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีปริมาณไขมันเฉลี่ยร้อยละ 0.35 ซึ่งมีปริมาณไขมันน้อยกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และจากการสืบค้นซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 14.68-33.08 และผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟร้อยละ 84.80 และมีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีจำหน่ายในท้องตลาดร้อยละ 69.20 โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคจะซื้อ คือ ไม่มีกลิ่นน้ำมัน เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ ใช้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน

ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนการผลิตประมาณ 3.71 บาทต่อ 100 กรัม จากการทำนายพบว่าข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้นาน 950 วัน และเก็บอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ได้นาน 193 วัน

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ. 2548. คู่มือปฏิบัติงานการทดลองคุณภาพเมล็ดพันธุ์ สำนักงานขยายเมล็ดพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร, เชียงใหม่.
- ขนิษฐา อุ่มอารีย์. 2549. ผลของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของขนมอบพองจากข้าวเหนียวหัก. การค้นคว้าอิสระปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คู่มือเตาอบไมโครเวฟ. 2532. หนังสือคู่มือไมโครเวฟ. สำนักพิมพ์อุดมศึกษา, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2531. คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสถาบันวิจัยข้าว. เอกสารการประกอบบรรยายเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 94-101 น.
- . 2538. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสารเพื่อบริโภคและส่งออก. เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี. สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- . 2541. ผลิตภัณฑ์ข้าว, น. 45-90. เอกสารการสอนวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร. หน่วยที่ 1-7. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- . 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- จุลจันทร์ นันทมาลา. 2545. ข้าวเด่น. ในสกุลไทย. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.sakulthai.com/Dsakulcolumndetailsql.asp?stcolumnid=1550&stiss>. (27 ตุลาคม 2550)
- ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ. ม.ป.ป. การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (browning). [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.sc.chula.ac.th/clubs/FoodClub/page_120.htm. (15 มกราคม 2551)
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนภาคเหนือ. ม.ป.ป. ข้าวแต่น.

[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา

www.dental.anamai.moph.go.th/oralhealth/kanom/sweets_detail.php?id_sweets=10025

(13 เมษายน 2551)

ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2535. การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดฟรีเจลาติน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิคม คำก่อ และอริสา มะโนคำ. 2547. การศึกษาอุณหภูมิการอบของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นจากข้าวกล้อง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง, ลำปาง.

นิธิยา รัตนพานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2540. บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป: ฟาสต์ฟู้ดแบบไทย. สรุปข่าวธุรกิจธนาคารกสิกรไทย 19 (3):8-18.

_____. 2545. ความปลอดภัยในการใช้ไมโครเวฟ. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา

http://www.expert2you.com/view_article.php?art_id=807. (30 พฤษภาคม 2552)

_____. 2549. ยุทธศาสตร์สิบแปดปี 2547-2551. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา

<http://www.Lampang.doac.go.th/menn.22htm> (22 มกราคม 2549.)

_____. 2550. ข้าวแต่นน้ำแดงโม. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา

www.scrapbook.diaryise.com/?20071205. (12 ธันวาคม 2550)

นิตา ศรีภัทรชยากร และสุภาพร จิตรประภากรณ์. 2538. การศึกษาคุณสมบัติของข้าวเจ้าและ

ข้าวเหนียวเพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรู.

ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

บริษัท กรุงไทยการไฟฟ้า จำกัด. ม.ป.ป. เคล็ดลับการปรุงอาหารด้วยเตาไมโครเวฟชาร์ป.

บุญธรรม กิจปรีชาบริสุทธิ์. 2537. เทคนิคการสร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย.

พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยมหิดลศาลายา, นครปฐม.

ประชา บุญญศิริกุล และจุฬาลักษณ์ จารุณข. 2542. การพัฒนาอาหารเข้าธัญชาติพร้อมบริโภคที่มีปลายข้าวเจ้าเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดฟอง. เกษตรศาสตร์(วิทย). 33(3) : 415-429.

พันธิพา จันทวัฒน์, ณรงค์ นิยมวิทย์ และธนศ แก้วกำเนิด. 2532. ผลของความชื้น การกระจาย

ความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของแคบหมู. อาหาร. 19(2) : 79-88

- เพลงพิน ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- เพลินใจ ดังคณะกุล. 2546. การทำข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพ. อาหาร. 33 : 90-93.
- พรชนก โชติช่วง ศศิธร สุดไกรไทย และสุนทร ทองอิม. 2546. ผลของปัจจัยกระบวนการผลิตข้าวแต๋นต่อคุณภาพข้าวแต๋นน้ำแดงโม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- มานะ จิงตระกูล. 2531. การพัฒนาถั่วลิสงแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เมทนี นพคุณ และแสงเดือน หมั่นสอน. 2550. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวแต๋น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ลำปาง.
- ละมุล วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- รัชนิ ดันทะพานิชกุล. 2537. เคมีอาหาร. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- รัตนันท์ พรธมนารุโณทัย. ม.ป.ป. Water Activity Theory. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.decagon.com (20 มกราคม 2551)
- รุจิพร จารุงศ์. 2545. ข้าวพันธุ์ดี. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- รุ่งนภา วิสิฐอุดการ. 2540. เอกสารคำสอนการประเมินอายุการเก็บของอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2543. การวิเคราะห์กระบวนการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันที่มีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว. รายงานผลการวิจัย โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เรณู ปิ่นทอง. 2546. บทปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหารขั้นสูง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, เชียงใหม่.
- วัชรินทร์ ปิยะรัตน์. 2531. การให้ความร้อนในระบบไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหาร. อาหาร. 18(1) : 41-47.
- วาณี เอี่ยมศรีทอง และประหยัด สายวิเชียร. 2538. อาหารล้านนา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วารสารจารย์พา. 2545. บทบาทของ Water Activity (a_w) ในอุตสาหกรรมอาหาร.

[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.phtnet.org/article/ViewArticle.aspx?id=12>

(15 มกราคม 2551)

วิไลสนา โพธิ์ศรี. 2540 คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจากแหล่งปลูกที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วิไล ปาละวิสุทธิ. 2549. เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเชิงพาณิชย์. กิจรุ่งเรือง. พิมพ์ครั้งที่ 2. เอกสารวิชาการศูนย์พันธุ์ข้าวพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ เสรีรัตน์, สมชาย หิรัญกิตติ, จิรศักดิ์ จิระจันทร์, ชวลิต ประภวนนท์, ณา จันทรสม และวลัยลักษณ์ อัครวิวงศ์. 2540. การวิจัยตลาดฉบับมาตรฐาน. อ้างโดย ชีรวัฒน์ เทพใจกาศ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากแป้งมันเทศและเนื้อปลาป่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริเพ็ญ มีแก้ว และสุวรรณี ถนอมรัตนกุล. 2546. การหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแต๋นน้ำจิง. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในบรมราชูปถัมภ์. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.agri.vru.ac.th/research_sfood/student_2.htm. (13 เมษายน 2551)

ศิราพร วิเศษสุรการ, เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์ และโสภา อิทธิวงษ์. 2534. การใช้ปลายข้าวเจ้าในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้า. อาหาร. 21 (1) : 74-81.

ศูนย์รวมข้อมูลคุณภาพเพื่อสุขภาพคุณ. 2552. แม่ครัวยุคใหม่ใช้ไมโครเวฟอย่างไรให้ปลอดภัย.

[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://healthy.in.th/categories/prevention/news/55>.

(30 พฤษภาคม 2552)

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรม-เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานข้าวแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. “ตารางแสดงคุณลักษณะทางกายภาพเคมีและโภชนาการของข้าวพันธุ์ต่างๆที่นิยมปลูกในประเทศไทยในปัจจุบัน”.

[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.moac.go.th/builder/rice (3 ตุลาคม 2549)

สันติ ทิพยงค์. 2534. ภาชนะสำหรับเตาอบไมโครเวฟ. อาหาร. 21(3) : 213-214.

- สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2550. คุณภาพข้าว. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี
สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, ปทุมธานี.
- สุดาตวง เรืองรุจิระ. 2540.ระเบียบวิจัยตลาดเบื้องต้น. อ้างโดย ชีรวัฒน์ เทพใจกาศ. การพัฒนา
ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากแป้งมันเทศและเนื้อปลาป่น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุบลรัตน์ พรหมพิง. 2549. ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเสริมใยอาหารจากสับปะรดและการยอมรับของ
ผู้บริโภค : กรณีศึกษาในเขตจังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอกสวณ ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร,
กรุงเทพฯ.
- องค์การบริหารส่วนตำบลพระบาท. มปป. ผลิตภัณฑ์ของตำบล.[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :
<http://www.prabatwangtuang.ob.tc/otop.htm>. (2 มิถุนายน 2550)
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical
Chemists. Washington D.C.
- Arambula-Villa, G., Gomez-Hernandez, J., and C.A. Ordaz-Falomit. 2001.
Physicochemical, structural and textural properties of torillas from extruded instant
corn flour supplemented with various type of corn lipids. J. of Cereal Science. 33 :
245-252.
- Beachell, H.M. 1967. Breeding for accepted cooking eating quality. Intern Rice Comm.
Newsletter (Spec. issue): 161 p.
- Beynum, G.M.A. Van and J.A. Roels. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Decker, Inc.,
New York.
- Cagampang, G.B., C.M. Perez, and B.O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating
quality of rice. J. Science Food Agriculture. 24 : 1589-1594.
- Chrastil. 1994. Study on sugar profile of rice during ageing by capillary electrophoresis with
electrochemical detection. [Online]. Available
: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T6R-4BHJX203&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d73f49a447e61e760eb2b299e62536f8. (15 October 2007).
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch-based snack. Cereal Sci. Today. 4 : 211-215.

- Fellow, P.J. 1990. Food Processing Technology principle and practice. Ellis Horwood Limited. 505 p.
- Fu, Y.C., Yang, B.B., Chen, C.J., and Sheen, S.S. 2005. An apparatus for on-line measuring electric field intensity during microwave heating: a theoretical consideration. International Journal of Food Science and Technology, 40, 743-757.
- Funebo, T., Ahrne, L., Prothon, F., Kidman, S., Langton, M., and Skjoldebrand C. 2002. Microwave and convective dehydration of ethanol treated and drying kinetics. International Journal of Food Science and Technology, 37, 603-614.
- Garrick, P. 1967. Recent advances in the use of microwave energy in the food industry. Food Trade Rev. Jan. 36-39.
- Goldblith, S.A. 1966. Basic principles of microwave and recent development. Advances in Food Res. 15: 277-301.
- Goodman, D.E. and R.M. Rao. 1984. Amylose content and puffed volume of Gelatinized rice. J. Food Sci. 49 : 1204-1205.
- James, C.S. 1992. Analytical Chemistry of food. Blackie Academic & Professional, Glasgow. 178 p.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today, 16 : 334-338.
- King, W.R. 1989. Listeria and Salmonella in Perspective. Proceedings of Microwave Technical Association Conference, London.
- Labuza, T.P. 1982 Moisture gain and loss in packaged foods. Food Tech. 36(4) : 92-94.
- Labuza, C., and Kreisman, L. (No date). Application of open dating to specific foods. [Online]. Available : <http://www.foodmarketexchange.com> (15 August 2004).
- Lawless, H.T. 1998. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Chapman & Hall, Inc., New York. 819 p.
- Leszkowiat, M.J. Barichell, V. Yada, R.Y., Coffin, R.H., Loughheed, E.C., and Stanley, D.W. 1990. Contribution of sucrose to nonenzymatic browning in potato chips. J. Food Sci. 55(1) : 281-282, 284.
- Little, R.R., G.B. Hilder and E.H. Dawson. 1958. Differential of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chem. 35 : 111-126.

- Liu, C. M., Wang, Q. Z., and Sakai, N. 2005. Power and temperature distribution during microwave thawing, simulated by using Maxwell's equations and Lambert's law. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 9-21.
- Matrid, N., Gulum S., and Levent, B. 1998. Differential scanning calorimetry determination of gelatinization rates in different starches due to microwave heating. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/science>. (15 August 2004).
- Matz, S.A. 1959. *The Chemistry and Technology of Cereal as Food and Feed*. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. 732 p.
- . 1970. Manufacture of breakfast cereal. อ้างโดยพันธุ์พา และคณะ. ผลของความชื้นการกระจายความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของแคบหมู. *อาหาร*. 19(2) : 79-88
- Matz, S.M. 1984. *Snack Food Technology*. 2nd ed., AVI Publishing Co., Inc., Connecticut.
- Miller, R.A., and Hosney, R.C.(1997). Method to measure microwave-induced toughness of bread. *Journal of Food Science*, 62 (6), 1202-1204.
- Pokorny, J. 1999. Chang of Nutrients at Frying Temperature, pp 69 103. In *Frying of food : oxidation, nutrient and non nutrient antioxidant' biologically active compounds and high temperatures*. Technomic Publishing Lancaster. 276 p.
- Reberts, R.L., A.L. Potter, E.B. Kester and K.K. Keneaster. 1954. Effect of processing conditions on the expanded volume, color, and soluble starch of parboiled rice. *Cereal Chem*. 31:121-129.
- Safety Health Environment. 2007. ไมโครเวฟคืออะไรและทำงานได้อย่างไร. [Online]. Available <http://she.cpportal.net/หน้าแรก/บทความวิชาการ/tabid/460/articleType/ArticleView/articleId/29/.aspx> . (30 พฤษภาคม 2522).
- Shibuya. N and T.Iwasaki, 1982. effect of enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinized properties of aged and unaged rice flour. *Starch/Staerke*. 34, : 300-303.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์อัตราการพองตัว

อุปกรณ์

1. ถ้วยปากเรียบ
2. กระจกบอทวง (cylinder)
3. สเปคทูลา (spectula)

วิธีการดัดแปลงจากอุบลรัตน์ (2549)

1. นำเมล็ดงาเทลงในถ้วยปากเรียบให้เต็มและปาดให้เรียบ นำไปวัดปริมาณโดยใช้กระจกบอทวง (ปริมาตรของเมล็ดงา)
2. นำข้าวแต๋นก่อนอบจำนวน 1 ช้อน ใสลงในถ้วยใบเดิม นำเมล็ดงาใส่ไปจนเต็ม และปาดให้เรียบ แยกเอาข้าวแต๋นก่อนอบออกก่อน จากนั้นนำเมล็ดงาไปวัดปริมาณโดยใช้กระจกบอทวงนำปริมาตรที่วัดได้ลบกับปริมาตรของเมล็ดงา จะได้เป็นปริมาตรของข้าวแต๋นก่อนอบ
3. ปริมาตรของข้าวแต๋นหลังมีวิธีการทำเช่นเดียวกันกับข้อ 2 เพียงแต่เปลี่ยนจากข้าวแต๋นก่อนอบเป็นข้าวแต๋นที่ผ่านการอบแล้ว
4. คำนวณหาอัตราการพองตัว

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\text{ปริมาตรข้าวแต๋นหลังอบ}}{\text{ปริมาตรข้าวแต๋นก่อนอบ}}$$

ภาคผนวก ข

ใบประเมินผลการทดสอบ Hedonic Scaling 9 Point

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : ข้าวแต๋น

คำอธิบาย : ทดสอบชิมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบคุณลักษณะของตัวอย่างตามคำอธิบาย
คะแนนความชอบ และกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

คะแนน

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 9 = ชอบมากที่สุด | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย |
| 8 = ชอบมาก | 3 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 7 = ชอบปานกลาง | 2 = ไม่ชอบมาก |
| 6 = ชอบเล็กน้อย | 1 = ไม่ชอบมากที่สุด |
| 5 = ไม่สามารถบอกได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | |

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ						
การพองตัว						
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)						
รสชาติรวม						
ความชอบรวม						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

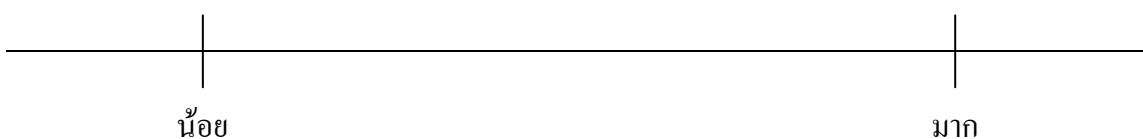
ขอบคุณค่ะ

แบบรายงานผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ
ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป

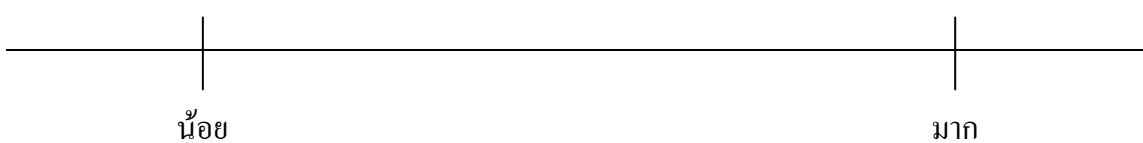
ชื่อผู้ทดสอบ.....เลขที่.....วันที่.....ครั้งที่.....รหัสตัวอย่าง.....

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

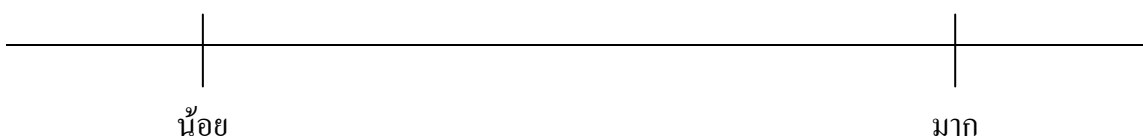
1. กลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์



2. ความกรอบของผลิตภัณฑ์



3. กลิ่นรสหืนของผลิตภัณฑ์



คะแนนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยรวม เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reject		Unacceptable			Acceptable			Match	
(ไม่ยอมรับมากที่สุด)		(ไม่ยอมรับ)			(ยอมรับ)			(ยอมรับมากที่สุด)	

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง : แบบสอบถามชุดนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในงานวิจัยโครงการ การผลิตข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ข้อมูลที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้และจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้

คำถามในแบบสอบถามนี้แบ่งเป็น 3 ตอนคือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่ง

สำเร็จรูป

ขอขอบพระคุณที่เสียสละเวลาในการตอบแบบสอบถามนี้

ผู้วิจัย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ

() น้อยกว่า 20 ปี

() 20-30 ปี

() 31-40

() 41-50 ปี

() มากกว่า 50 ปี

3. ระดับการศึกษา

- () ประถมศึกษาและต่ำกว่า () มัธยมศึกษา/ปวช.
 () ปวส. () ปริญญาตรี
 () สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

- () นักเรียน / นักศึกษา () ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ
 () พนักงานบริษัทเอกชน () ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว
 () เกษตรกร () แม่บ้าน
 () อื่นๆ ระบุ.....

5. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

- () น้อยกว่า 2,000 บาท () 2,000-4,000 บาท
 () 4,001-6,000 บาท () 6,001-8,000 บาท
 () 8,001-10,000 บาท () มากกว่า 10,000 บาท

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

6. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหรือไม่ (หากไม่เคยข้ามไปข้อ 13)

- () เคย () ไม่เคย

7. ความถี่ในการรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

- () ทุกวัน () 2-3 วันครั้ง
 () สัปดาห์ละครั้ง () เดือนละครั้ง
 () นานๆ ครั้ง

8. ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ท่านเคยรับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () ข้าวแต๋นหน้ารัฐพีช () ข้าวแต๋นน้ำพริกเผาหน้าหมูหยอง
 () ข้าวแต๋นไม่แต่งหน้าหรือราดน้ำตาล () ข้าวแต๋นราดหน้าด้วยน้ำตาลโรยงา
 () อื่นๆ ระบุ.....

9. ท่านจะบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในโอกาสใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () เมื่อรู้สึกอยากรับประทาน () ระหว่างการเดินทาง
 () ระหว่างมื้ออาหาร () รับประทานเล่นเมื่อมีเวลาว่าง
 () เวลาดูหนังสื่อ () รับประทานแทนอาหารมื้อหลัก
 () อื่นๆ ระบุ.....

10. เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ท่านพิจารณาอะไรบ้าง(ตอบได้มากกว่า 1ข้อ)

- | | |
|--|---|
| ☐ รสชาติ | ☐ ราคา |
| ☐ สะดวก หาซื้อง่าย | ☐ รูปแบบหลากหลาย |
| ☐ คุณค่าทางโภชนาการ | ☐ เป็นขนมประจำท้องถิ่น |
| ☐ อื่นๆ ระบุ..... | |

11. สถานที่ที่ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

- | | |
|--|---|
| ☐ ร้านค้าปลีก | ☐ ร้านขายของฝาก/ที่ระลึก |
| ☐ ตลาดสด | ☐ ซูเปอร์มาร์เก็ต |
| ☐ อื่นๆ ระบุ..... | |

12. ปัญหาที่ท่านประสบในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

- | | |
|--|--|
| ☐ มีกลิ่นและรสหืน | ☐ อดน้ำมัน |
| ☐ ไม่มีความกรอบ | ☐ อื่นๆ ระบุ..... |

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

13. โปรดทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหลังอบด้วยเตาไมโครเวฟ แล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะของข้าวแต๋น โดยให้คะแนนตามคำอธิบายสเกลความชอบ

สเกลความชอบ

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 2 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 3 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 4 = ชอบปานกลาง |
| 5 = ชอบมากที่สุด | |

คุณลักษณะ

คะแนนความชอบ

ลักษณะปรากฏ	
การพองตัว	
ความกรอบ	
ความชอบรวม	

14. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟหรือไม่

() ยอมรับ

() ไม่ยอมรับ เพราะ.....

15. ถ้ามีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟนี้ท่านจะซื้อหรือไม่

() ซื้อ

() ไม่แน่ใจ เพราะ.....

() ไม่ซื้อ เพราะ.....

16. เหตุผลที่ท่านซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบพองตัวด้วยไมโครเวฟ (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

() เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่น่าสนใจ

() รสชาติดี

() ไม่มีกลิ่นน้ำมัน

() ไม่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน

() เป็นข้าวแต๋นเพื่อสุขภาพ

() สะดวกในการรับประทาน

() สะดวกในการพกพา, เดินทาง

() ใช้เป็นของฝาก

() สามารถอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟที่บ้านได้

() ปริมาณน้ำมันในข้าวแต๋นน้อยกว่าการทอด

() ทนสมัยกับแม่บ้านยุคใหม่

() อื่นๆ ระบุ.....

ข้อเสนอแนะและวิจารณ์

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ 1 คุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบให้พองตัวในเตาไมโครเวฟ

คุณภาพ	ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	87.91±0.00
โปรตีน (ร้อยละ)	6.46±0.57
ไขมัน (ร้อยละ)	0.35±0.01
เถ้า (ร้อยละ)	1.45±0.01
เส้นใย (ร้อยละ)	0.99±0.00
ความชื้น (ร้อยละ)	2.84±0.08

ภาคผนวก ง

การสุ่มทดสอบการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในเตาไมโครเวฟทั่วไป

1. ไมโครเวฟยี่ห้อ Samsung

รุ่น MS103HCE

ความจุ 1.0 ลบ.ฟุต

ขนาดภายนอก 517 (W) x 297 (H) x 379 (D)

ขนาดภายในเตาอบ 336 (W) x 241 (H) x 349 (D)

กำลังคลื่นไมโครเวฟ 1,000 วัตต์

ความถี่ของเครื่องขณะทำงาน 2,450 MHz

วิธีใช้ ใช้ระดับไฟ (Power) 900-1,000 วัตต์ เป็นเวลา 30-40 วินาที

หมายเหตุ เครื่องนี้เป็นเครื่องที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยนี้

2. ไมโครเวฟยี่ห้อ Electrolux

รุ่น EMM 2450

ความจุ 24 ลิตร

ขนาด (ล x ก x ส) 407 x 520 x 299 มิลลิเมตร

กำลังคลื่นไมโครเวฟ 900 วัตต์

แรงดันไฟฟ้า/ความถี่ 200 – 230 V/50 Hz

วิธีใช้ ใช้ระดับไฟ (Power) 900 วัตต์ เป็นเวลา 37±2 วินาที

3. ไมโครเวฟยี่ห้อ Electrolux

รุ่น EMS2820S

ความถี่ของเครื่องขณะทำงาน 2,450 MHz

กำลังไฟ 900 วัตต์

วิธีใช้ ใช้ระดับไฟ (Power) 900 วัตต์ เป็นเวลา 35±2 วินาที

4. ไมโครเวฟยี่ห้อ Sanyo

รุ่น EM – X667W

แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ใช้เฉพาะกระแสสลับ

ความถี่ 2,450 MHz

กำลังไฟ 910 วัตต์

วิธีใช้ ใช้ระดับไฟ ไฟแรง (High) เป็นระยะเวลา 55 วินาที

ภาคผนวก ง

บทความวิจัยฉบับรวมสำหรับการเผยแพร่

(บทความสำหรับเผยแพร่ตามวารสาร ผู้วิจัยจัดแบ่งเนื้อหาเป็นฉบับย่อยส่งตามความเหมาะสม)

ข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

Microwavable Crispy Rice Snack (Kao-tan)

อรรถัย บุญทะวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ เพื่อลดขั้นตอนทอดข้าวแต๋น และข้าวแต๋นสามารถพองตัวจากการอบในเตาไมโครเวฟ จากการวิจัยพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จากนั้นนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที เมื่อนำข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปอบในเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900-1,000 วัตต์ เป็นเวลา 30-35 วินาที จะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีลักษณะการพองตัวมากที่สุด โดยมีปริมาณไขมันเฉลี่ยร้อยละ 0.35 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพข้าวแต๋นจากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดจำนวน 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง พบว่า ข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีปริมาณไขมันน้อยกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และจากการสืบค้น ซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 14-33 จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 500 คน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 84.80 และมีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีจำหน่ายในท้องตลาดร้อยละ 69.20 โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคต้องการซื้อ เนื่องจากไม่มีกลิ่นน้ำมัน เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ น่าสนใจ ไร้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ จากการทำนายอายุการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 950 วัน และหากเก็บอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) สามารถเก็บได้ 193 วัน

Abstract

This research aims to study the process of the microwavable crispy rice snack (Kao-tan) in order to decrease its frying process and Kao-tan could be swollen by waving in microwave. Sticky rice RD6 was found to be suitable for this research. To reduce the moisture content in sticky rice, it was dried at a temperature of 60 °C for 160 minutes. The microwavable crispy rice snack, by far the best quality, was waved at 900-1,000 watts for 30-35 seconds with 0.35 % of fat content, whereas other 10 commercial rice snack (Kao-tan) products contain fat between 14-33%. The percentages of 500 favoured consumers were evaluated and were expected to buy were 84.8 and 69.2 respectively. This microwavable crispy rice snack was attractive to consumers as it has no oily smell. In addition, it is the new product which easily to eat, and can be used as a souvenir For preservation of the product, it can be stored at 5 °C for 950 days and at room temperature (28 °C) for 193 days.

บทนำ

ข้าวแต๋น เป็นขนมพื้นบ้านหรือเป็นอาหารว่างของชาวภาคเหนือในประเทศไทย ที่แสดงถึงเอกลักษณ์และภูมิปัญญาพื้นบ้านที่แสดงถึงวัฒนธรรมของชาวพื้นเมืองที่บริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก และนำมาทำเป็นขนมพื้นบ้านเพื่อถนอมอาหาร โดยการนำข้าวเหนียวหนึ่ง เอมาคดใส่พิมพ์แล้วเอาไปตากแดดให้แห้ง แล้วนำไปทอด จากนั้นราดด้วยน้ำอ้อยนำมาบริโภค และใช้ในเทศกาลงานบุญ ข้าวแต๋นเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานง่ายและกรอบอร่อย ที่สำคัญไม่มีโคเรสเตอรอล มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และโซเดียมที่จำเป็นต่อร่างกาย (จุลจันทร์, 2545) โดยทั่วไปการทำข้าวแต๋นต้องผ่านการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันที่ใช้ทอดเสื่อมคุณภาพเร็ว เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ มีความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีกลิ่น และสีเปลี่ยนไป ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยและเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนั้นน้ำมันยังสลายตัวได้เป็นอะครีลีน (acrolein) ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดกลุ่มควันสีน้ำเงินขึ้นบริเวณเหนือผิวหน้าน้ำมันขณะทอด และทำให้เกิดมลภาวะของอากาศได้ และมักมีกลิ่นหืนในขณะการเก็บรักษาได้ง่าย (นิธิยา, 2544) แต่ในการทอดข้าวแต๋นผู้ขายมักนำน้ำมันที่ใช้แล้วนำมาใช้ซ้ำ และมีการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปทดแทนเรื่อยๆ โดยไม่ได้นำน้ำมันเก่าที่ใช้แล้วทิ้งไป ดังนั้นเพื่อให้ข้าวแต๋นเป็นอาหารที่ถูกสุขลักษณะต่อสุขภาพมากขึ้นเมื่อบริโภคแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญที่จะทำการวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพสินค้าให้พัฒนาขึ้น โดยทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวแต๋นโดยไม่ใช้วิธีการทอด โดยศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในลักษณะกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค หากต้องการรับประทานเพียงนำเข้าไปอบในเตาไมโครเวฟไม่กี่นาทีก็สามารถรับประทานได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาและช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคได้

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคและผู้ประกอบการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

1.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ประชาชนในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 300 คน เพื่อทราบถึงความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ลักษณะและชนิดของข้าวแต๋นที่ต้องการบริโภค ปัญหาที่พบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น และราคาของผลิตภัณฑ์ที่สามารถซื้อได้

1.2 ด้านผู้ประกอบการ โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 10 ราย เพื่อทราบถึงวิธีการในการผลิตข้าวแต๋น รวมทั้งปัญหาที่พบในการผลิต และความต้องการของผู้ประกอบการในด้านการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแต๋น

1.3 ศึกษาการpongตัวของข้าวแต๋นแบบทอดด้วยน้ำมันและแบบอบด้วยเตาไมโครเวฟของผู้ประกอบการ โดยการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจากผู้ประกอบการจำนวน 10 ผู้ประกอบการ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทอด และอบด้วยเตาไมโครเวฟ และหาอัตราการpongตัวของข้าวแต๋นโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

2. คัดเลือกพันธุ์ข้าว และศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

2.1 การคัดเลือกพันธุ์ข้าว ด้านพันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกในภาคเหนือ โดยศึกษาจากการตรวจเอกสาร การสัมภาษณ์ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋น และร้านจำหน่ายข้าวสาร เกี่ยวกับรายละเอียดของพันธุ์ข้าวเหนียวในภาคเหนือ

2.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต๋นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในข้าวแต๋น 2 ระดับ คือ 50 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากขนิษฐา, 2549) และ 60 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากอุบลรัตน์, 2549)

โดยเตรียมข้าวเหนียวโดยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ แล้วเติมส่วนผสมของน้ำเชื่อม (จากการผสมน้ำ น้ำตาลปี๊บ และเกลือป่น คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน) ลงในส่วนของข้าวเหนียวที่นึ่งสุก คลุกให้ข้าวกระจายตัว (ไม่จับกันเป็นก้อน) แล้วนำไปกดลงพิมพ์กลม การศึกษาจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่างวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity ; a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ GBX รุ่น FA-st/1 และหาค่าอัตราการpongตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2.3 ศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวหนึ่งสุกต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยเตรียมข้าวเหนียวด้วยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ เติมน้ำผสมของน้ำเชื่อมหรือน้ำ นำไปคลุกกับข้าวเหนียวที่นึ่งสุก ในอัตราส่วนน้ำเชื่อมต่อข้าวเหนียวหนึ่งสุกคิดเป็นร้อยละดังนี้ คือ

1. น้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวหนึ่งสุก (อุบลรัตน์, 2549)
2. น้ำเชื่อมร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียวหนึ่งสุก (พรชนก และคณะ, 2546)
3. น้ำเปล่าร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวหนึ่งสุก
4. น้ำเปล่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักข้าวเหนียวหนึ่งสุก

นำตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนทีงา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.4 ศึกษาสถานะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวแต่นึ่งที่ผ่านการคลุกผสมน้ำเชื่อม จากนั้นกดลงพิมพ์กลมนำไปแช่แข็ง (ดัดแปลงขนิษฐา, 2549) เปรียบเทียบกับข้าวแต่นึ่งที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนทีงา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.5 ศึกษาผลของลักษณะเมล็ดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคัดพิเศษเมล็ดเต็มร้อยละ 100 และข้าวคัดทั่วไป (มีข้าวหักผสมประมาณร้อยละ 10) นำมาผลิตเป็นข้าวแต่นึ่งตามกระบวนการที่ได้คัดเลือกจากข้อ 2.2 -2.4 ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ใน

การอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

2.6 ศึกษาขนาดของข้าวแต๋นที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวแต๋นกลดพิมพ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ พิมพ์ข้าวแต๋น ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 4 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที โดยเริ่มเก็บตัวอย่างชุดแรกเมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และหาค่าอัตราการพองตัวโดยวิธีการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549)

วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

3. ศึกษาความหนาและขนาดของข้าวแต๋นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

3.1 ศึกษาความหนาของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกลดพิมพ์พลาสติกที่มีความหนาต่างกัน 2 ระดับ คือ 3 และ 6 มิลลิเมตร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

3.2 ศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกลดพิมพ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 2 และ 4 เซนติเมตร ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง และบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

3.3 ศึกษาระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.1 และ 4.2 ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 120, 130, 140, 150, 160, 170 และ 180 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง วัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) วัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยกำหนดใช้แรงกดแบบแทงทะลุ หัวเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4

มิลลิเมตร กำหนด Test Speed เท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการวัดค่าความแข็ง (hardness) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4. ศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

4.1 ศึกษาชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ น้ำตาล 5 ชนิด คือ น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง น้ำเชื่อมฟรุคโตส และกลูโคส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ปริมาณน้ำตาล 5 ระดับ คือร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดค่าสี L^* a^* b^* และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.3 ศึกษาปริมาณน้ำมันพืชที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ ปริมาณน้ำมันพืชทดแทนปริมาณน้ำในสูตร 9 ระดับ คือร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 ของน้ำหนักน้ำในสูตร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ช่วยในการขึ้นฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

4.4.1 ศึกษาปริมาณผงฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ผงฟู 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD และตรวจสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี DMRT และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน ใช้การประเมินผลแบบ Hedonic scaling 9 point ทางด้านการพองตัวและความเนียน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.4.2 ศึกษาปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้ยีสต์ 5 ระดับ คือ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.4.3 ศึกษาปริมาณเบกิ้งโซดาที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยใช้เบกิ้งโซดา 5 ระดับ คือ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมาวัดอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

4.5 สัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปด้านการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ โดยสัมภาษณ์ผู้บริโภคทั่วไปในเขตภาคเหนือจำนวน 200 คน

5. ศึกษาวิธีการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

5.1 ศึกษาสภาวะการอบโดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวแต๋นที่อบแห้งแบบใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นตรวจสอบคุณภาพด้านปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

5.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์หลังการอบแห้งที่เหมาะสม โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าวแต๋นที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 3 เวลา คือ 140 150 และ 160 นาที นำผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปตรวจสอบคุณภาพด้านปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

6. ศึกษาภาระสำหรับการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปในเตาไมโครเวฟ

โดยศึกษาภาระที่ใช้อบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ 5 ชนิด คือ งานไมโครเวฟ งานเซรามิก ถุงกระดาศเคลือบไข ก่องพลาสติก และถาดพลาสติกแบบมีรู จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

7. ศึกษาจำนวนของข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปสำหรับอบในเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม

โดยศึกษาจำนวนข้าวแค้นถึงสำเร็จรูป 6 ระดับ คือ 1 3 6 9 12 และ 15 ขึ้นต่อครั้งการอบ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นตรวจสอบคุณภาพด้านอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และค่าสี L^* a^* b^* วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

8. ศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูป

8.1 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 40 43 45 47 และ 50 วินาที

8.2 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 35 37 40 43 และ 45 วินาที

8.3 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 33 35 38 40 และ 42 วินาที

8.4 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 28 30 33 35 และ 38 วินาที

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ได้จากการอบโดยเตาไมโครเวฟจากข้อ 9.1-9.4 ตรวจสอบคุณภาพด้านค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer อัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) และวัดส่วนที่ไม่พองตัวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

9. เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป

นำผลิตภัณฑ์มาทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ คือ ค่าสี L^* a^* b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer และอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) คุณภาพทางเคมีโดยมีการตรวจสอบความชื้น และไขมัน (AOAC, 2000) วางแผนการทดลองแบบ CRD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT และคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scaling 9 Point โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ตรวจสอบคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ การพองตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความกรอบ ความเปราะ หรือการแตกหัก) รสชาติ และความชอบรวม วางแผนการทดลองแบบ RCBD นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี DMRT

10. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

การศึกษาอายุการเก็บรักษา จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยวิธีการเร่งสภาวะ (Accelerated Shelf-life Testing ; ASLT) โดยการเก็บตัวอย่างข้าวแต๋น ถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิเร่ง 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างควบคุมที่ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างมาศึกษาคุณภาพ โดยมีปัจจัยคุณภาพที่ตรวจสอบดังนี้

10.1 คุณภาพทางกายภาพ ทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer วัดค่าสี L^* a^* b^* ทุก 2 สัปดาห์ และวัดค่าอัตราการพองตัวโดยการแทนที่งา (อุบลรัตน์, 2549) ทุกสัปดาห์

10.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยเครื่องวัด a_w ยี่ห้อ Testo 650 ทุก 2 สัปดาห์

10.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ คือปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ทุก 1 เดือน

10.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 15 คน ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีให้คะแนนความเข้ม (Intensity) ของคุณลักษณะทางด้านกลิ่น หิน ความกรอบ และกลิ่นรสหินของผลิตภัณฑ์ ทุกสัปดาห์ ใช้สเกลเส้นตรงที่มีความยาว 15 เซนติเมตร ร่วมกับการยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ด้วยวิธี Overall quality rating (Lawless, 1998) โดยคะแนน 1 และ 2 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด คะแนน 3 4 และ 5 หมายถึง ไม่ยอมรับ คะแนน 6 7 และ 8 หมายถึง ยอมรับได้ และคะแนน 9

และ 10 หมายถึง ขอมรับมากที่สุด โดยระดับการขอมรับเพิ่มขึ้น เมื่อค่าคะแนนมากขึ้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละคุณลักษณะในระหว่างการเก็บรักษา จากนั้นจึงทำนายอายุการเก็บรักษาของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป ตามวิธี ASLT

11. ศึกษาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

โดยใช้ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรม รวบรวมโดยศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย (นิรนาม, 2540) ซึ่งแบ่งสัดส่วนต้นทุนดังนี้ คือจากต้นทุนทั้งหมด 100 ส่วน คิดเป็นค่าวัตถุดิบร้อยละ 68.6 ค่าแรงงานร้อยละ 5.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 12.1 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรร้อยละ 4.5 และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 9.2 ในการคำนวณต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

12. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 500 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถาม (Questionnaire) โดยแบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ (Checklist question)

ตอนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

ตอนที่ 3 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ (Checklist question) (บุญธรรม, 2537)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยสำรวจและเชิงทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานผู้บริโภคต่อกระบวนการในการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทุกขั้นตอนมาตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล ทำการวิเคราะห์ และประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ข้อมูลพื้นฐานของผู้บริโภคในเขตจังหวัดภาคเหนือนำเสนอด้วยคำร้อยละ
2. กระบวนการตัดสินใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป นำเสนอด้วยคำร้อยละ
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลลักษณะพื้นฐานของผู้บริโภคต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปโดยใช้สถิติไค-สแควร์

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาถึงพฤติกรรมผู้บริโภคและผู้ประกอบการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

1.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ผลการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น โดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการสัมภาษณ์ประชาชนในเขตจังหวัดภาคเหนือ จำนวน 300 คน ซึ่งมีชายร้อยละ 41 หญิงร้อยละ 59 ผลของความคิดเห็นทั่วไปเกี่ยวกับข้าวแต๋น พบว่า ความถี่ในการรับประทานส่วนใหญ่รับประทานข้าวแต๋นนานๆครั้งร้อยละ 79 ชนิดของข้าวแต๋นที่ชอบรับประทานมากที่สุด คือข้าวแต๋นราดน้ำอ้อยร้อยละ 35 รองลงมาคือข้าวแต๋นไม่ราดน้ำ และข้าวแต๋นหน้าต่างๆ ร้อยละ 22 และ 20 ตามลำดับ เหตุผลสำคัญในการตัดสินใจซื้อข้าวแต๋น ผู้บริโภคให้ความสำคัญด้านรสชาติมากที่สุด รองลงมาคือ ชนิดของข้าวแต๋น ราคา ความสะดวกในการหาซื้อ และด้านรูปร่าง/สีสันทของข้าวแต๋น ตามลำดับ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า ควรอยู่ในระดับ 1 บาท/ชิ้น รองลงมาราคา 2 บาท/ชิ้น ในด้านปัญหาที่ผู้บริโภคประสบในการบริโภคข้าวแต๋นมากที่สุดคือ ข้าวแต๋นมีกลิ่นหืน รองลงมา คือ ข้าวแต๋นเกิดการแตกหักเสียหาย ความกรอบลดลง อมน้ำมัน ม่พองตัวมากนัก รสชาติไม่อร่อย และข้าวแต๋นแข็งมากเกินไป ตามลำดับ

1.2 ด้านผู้ประกอบการ ผลการสอบถามผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋นจำนวน 10 ราย ในจังหวัดลำปาง ระยะเวลาประกอบกิจการผลิตข้าวแต๋น 1 - 5 ปี และ 11 - 15 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาประกอบกิจการเป็นระยะเวลา 6 - 7 ปี และ มากกว่า 15 ปี คิดเป็นร้อยละ 10 ตามลำดับ รายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,000 - 10,000 บาทมากที่สุด รองลงมาอยู่ในช่วง 10,001 - 20,000 และ มากกว่า 20,000 บาท ตามลำดับ ผลการสอบถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวแต๋นก่อนทอดใช้เวลาในการเก็บ 1 วันคิดเป็นร้อยละ 80 และใช้เวลาในการเก็บ 2 และ 8 วัน ร้อยละ 10 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษา หลังทอดใช้เวลาในการเก็บรักษา 3 เดือนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80 และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ร้อยละ 20 ลักษณะการเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง คิดเป็นร้อยละ 100 และบรรจุโดยใช้ถุงพลาสติกร้อยละ 70 รองลงมาบรรจุด้วยถุงแก้วร้อยละ 20 และบรรจุแบบถาดโฟมร้อยละ 10 ส่วนวิธีการทำข้าวแต๋นส่วนมากผู้ประกอบการคิดสูตรขึ้นมาเอง คิดเป็นร้อยละ 80 ที่เหลือได้จากการฝึกอบรมจากเกษตรกรตำบล ด้านลักษณะเมล็ดข้าวที่นิยมนำมาผลิตเป็น ข้าวแต๋น มีทั้งข้าวเมล็ดสมบูรณ์และข้าวหัก ผู้ประกอบการนิยมใช้ข้าวเมล็ดสมบูรณ์ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ ข้าวแต๋นที่ผลิตจะมีลักษณะปรากฏที่ดี ด้านการใช้น้ำมันที่ทอดข้าวแต๋นผลิตโดยไม่มีการทิ้งแต่มีการเติมใหม่เรื่อยๆคิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาเป็นการทอดซ้ำ 1- 3 ครั้งแล้วทิ้ง ร้อยละ 40 ปัญหาที่ผู้ประกอบการพบในการผลิตข้าวแต๋นมากที่สุด คือ สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการตากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น คิดเป็นร้อยละ 80 รองลงมาต้นทุนการผลิตสูง ร้อยละ 20 ส่วนปัญหาที่พบในขณะทอด ข้าวแต๋น ส่วนมากไม่พบปัญหา คิดเป็นร้อยละ 70 และข้าวแต๋นทอดไม่พองตัว

ร้อยละ 20 และเกิดการแตกหัก ร้อยละ 10 ชนิดข้าวแต๋นที่ผู้ประกอบการจำหน่าย มีตั้งแต่ 1 - 7 ชนิด เช่น ข้าวแต๋นไม่ราดหน้า (ข้าวแต๋นคำเดียว) ข้าวแต๋นราดน้ำอ้อย ข้าวแต๋นหน้าธัญพืช ด้านขนาดของข้าวแต๋นมีทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ราคาขายอยู่ในช่วง 12 - 25 บาทต่อถุง หรือ 100 บาทต่อกิโลกรัม แหล่งจำหน่ายมีการจำหน่ายภายในจังหวัดไปจนถึงส่งออกต่างประเทศ ผู้ประกอบการมีความพอใจกับการผลิตข้าวแต๋นเพราะช่วยสร้างรายได้ และต้องการให้มีการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแต๋นให้มีคุณภาพ

1.3 ผลการศึกษาการพองตัวของข้าวแต๋นแบบทอดด้วยน้ำมันและแบบอบด้วยเตาไมโครเวฟของผู้ประกอบการ

ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต๋นจำนวน 10 ราย ในจังหวัดลำปางโดยการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจากผู้ประกอบการที่ยังไม่ผ่านการทอด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทอด และอบด้วยเตาไมโครเวฟ และหาอัตราการพองตัวของข้าวแต๋น พบว่าข้าวแต๋นที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันมีอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 1.66 – 4.62 เท่า และข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีอัตราการพองตัวอยู่ในช่วง 1.40 – 2.74 เท่า ทั้งนี้ค่าการพองตัวที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสม และกระบวนการผลิต ข้าวแต๋นที่แตกต่างกันในแต่ละผู้ประกอบการ อีกทั้งลักษณะของข้าวแต๋นที่ผ่านการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีอัตราการพองตัวที่ต่ำกว่าวิธีการทอดด้วยน้ำมันตามวิธีการผลิตเดิม และมีลักษณะการพองตัวไม่เต็มที่ พองตัวเป็นจุดๆ ไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่น และเกิดการไหม้ตรงกลางทุกชิ้น

2. ผลการศึกษาพันธุ์ข้าว และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

2.1 ผลการคัดเลือกพันธุ์ข้าว ตามลักษณะของพื้นที่ปลูกข้าวสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 3 ชนิด คือข้าวไร่ ข้าวนาสวน ข้าวนาเมืองหรือข้าวฟางลอย โดยข้าวไร่เป็นข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีน้ำท่วมไม่ถึง ข้าวชนิดนี้ปลูกกันมากทางภาคเหนือบนภูเขาสูง เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์จิ่วแม่จัน ข้าวนาสวนเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำไม่เกิน 80 เซนติเมตร ข้าวนาสวนเหมาะสำหรับนาปีภาคเหนือ เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ส่วนข้าวนาเมืองหรือข้าวฟางลอยเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป จนถึง 3 - 4 เมตร เนื่องจากลำต้นสามารถปรับให้มีความยาวตามระดับน้ำได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์นางฉลอง (ณรงค์, 2538 และเอกสวณ, 2544)

จากการสอบถามผู้ประกอบการเปิดร้านค้าจำหน่ายข้าวเหนียวทางภาคเหนือ พบว่ามีการจำหน่ายข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ข้าวเหนียวพันธุ์เขียว ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง ข้าวเหนียวพันธุ์จิ่วแม่จัน ซึ่งบางร้านมีการนำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ผสมกับข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง หรือผสมข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กับข้าวเหนียวพันธุ์เขียว โดยส่วนมากข้าว-

เหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง นิยมนำไปผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียวมากกว่านำมาบริโภคโดยตรง ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์เขียว และข้าวเหนียวพันธุ์ผิวแม่จันเป็นข้าวพันธุ์ท้องถิ่น เป็นข้าวไร่ที่นิยมปลูกบนภูเขาสูง (เอกสงวน, 2544) ซึ่งจะมีปริมาณน้อยในการจำหน่าย หาซื้อได้ยาก ส่วนข้าวเหนียวที่ผู้ประกอบการเกือบทุกร้านมีจำหน่าย คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 ผู้ประกอบการผลิตข้าวแต่น ไม่นิยมนำมาผลิตเป็นข้าวแต่นทั้งนี้เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแต่นที่แข็งแรงเกินไปเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

ดังนั้นจึงเลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ทั้งนี้สามารถหาซื้อได้ง่าย และไม่มีพันธุ์ข้าวเหนียวอื่นปลอมปน อีกทั้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหในแป้งยึดติดกันอย่างหลวมๆ ส่งผลให้ข้าวมีการพองตัวที่ดี (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) และยังมีกลิ่นหอม (วิไล, 2549) เนื่องจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้จากพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีกลิ่นหอม อาบรังสีแกมมา ขนาด 20 กิโลแตร (รุจิพร, 2545) โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีคุณภาพทางกายภาพและเคมีดังนี้ คือ ความชื้นร้อยละ 13.16 โปรตีนร้อยละ 5.66 เส้นใยร้อยละ 0.88 เถ้าร้อยละ 0.36 แป้ง (starch) ร้อยละ 83.1 อะไมโลสร้อยละ 0 – 2 และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.622 (กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ, 2548 และสำนักงานข้าวแห่งชาติ, 2548)

2.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต่นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในข้าวแต่น 2 ระดับ คือ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวแต่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสให้อัตราการพองตัวของข้าวแต่นสูงที่สุด คือ 3.04 เท่า สูงกว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้อัตราการพองตัวของข้าวแต่นสูงที่สุด คือ 2.94 เท่า (ตารางที่ 1) ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถใช้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยเฉพาะน้ำอิสระระเหยกลายเป็นไอและถูกกำจัดออกไปในตอนแรก (นิธิยา, 2544) ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเหมาะสมในการเกิดการพองตัวด้านระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระยะเวลาของอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีแนวโน้มลดลงโดยอัตราการพองตัวของข้าวแต่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือการอบแห้งที่ 6.5 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบถึง 7 - 7.5 ชั่วโมง เนื่องจากเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นจนระดับความชื้นเริ่มลดลงเรื่อยๆ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อยลง เมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟความชื้นที่เหลืออยู่ เมื่อถูกคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกันเป็นความร้อน(บริษัทกรุงเทพการไฟฟ้า

จำกัด, ม.ป.ป.) ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่ (พันธิพา และคณะ, 2532) การพองตัวของผลิตภัณฑ์จึงมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาในการอบนานขึ้น

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำอิสระ(a_w)และอัตราการพองตัวของอุณหภูมิตามระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่แตกต่างกัน

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส		อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	
	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	อัตราการพองตัว (เท่า)
1	0.89 ± 0.02	ไม่เกิดการพองตัว	0.82 ± 0.02	1.65 ± 0.29^d
1.5	0.88 ± 0.04	ไม่เกิดการพองตัว	0.78 ± 0.01	1.79 ± 0.30^d
2	0.85 ± 0.03	ไม่เกิดการพองตัว	0.72 ± 0.01	1.88 ± 0.29^d
2.5	0.80 ± 0.01	2.74 ± 0.15^c	0.70 ± 0.02	2.73 ± 0.30^{bc}
3	0.76 ± 0.01	2.79 ± 0.10^{bc}	0.67 ± 0.03	2.72 ± 0.21^c
3.5	0.77 ± 0.02	2.83 ± 0.09^{bc}	0.66 ± 0.04	2.92 ± 0.22^{abc}
4	0.74 ± 0.01	2.84 ± 0.15^b	0.66 ± 0.04	2.89 ± 0.15^{abc}
4.5	0.73 ± 0.01	2.87 ± 0.19^{ab}	0.63 ± 0.01	2.96 ± 0.29^{abc}
5	0.69 ± 0.02	2.88 ± 0.15^{ab}	0.62 ± 0.01	2.99 ± 0.21^{ab}
5.5	0.69 ± 0.03	2.89 ± 0.18^{ab}	0.61 ± 0.02	2.99 ± 0.20^{ab}
6	0.69 ± 0.01	2.91 ± 0.44^a	0.61 ± 0.03	3.05 ± 0.20^a
6.5	0.66 ± 0.02	2.93 ± 0.12^a	0.59 ± 0.03	3.07 ± 0.16^a
7	0.65 ± 0.01	2.94 ± 0.10^a	0.59 ± 0.02	3.04 ± 0.18^a
7.5	0.64 ± 0.01	2.84 ± 0.15^b	0.59 ± 0.01	2.93 ± 0.19^{abc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3 ผลการศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ผสมข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยเตรียมข้าวเหนียวด้วยการนำไปนึ่งด้วยไอน้ำแล้วเติมส่วนผสมของน้ำเชื่อมหรือน้ำที่นำไปคลุกกับข้าวเหนียวที่นึ่งสุก อัตราส่วนน้ำเชื่อมต่อข้าวคิดเป็นร้อยละ คือ น้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าวเหนียวนึ่งสุก (อุบลรัตน์, 2549) น้ำเชื่อมร้อยละ 40

ของน้ำหนักร้าวเหนียวหนึ่งสูก (พรชนก และคณะ, 2546) และน้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40 พบว่าอัตราการฟองตัวของข้าวเหนียวหนึ่งสูกที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 และ 40 และคลุกผสมกับน้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40 ในกระบวนการผลิตข้าวแค้น ส่งผลให้อัตราการฟองตัวที่ต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแค้นที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ให้อัตราการฟองตัวสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวแค้นที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 40 และข้าวแค้นที่ผสมคลุกกับน้ำเปล่าร้อยละ 40 และ 23 ดังตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาจากเวลาการอบแห้งที่ผ่านไปกับปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ข้าวแค้นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกที่ผสมกับน้ำเปล่า มีปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีน้ำตาลและเกลือเข้าจับกับโมเลกุลของน้ำ เมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณน้ำอิสระระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การฟองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และฟองตัวได้อย่างเต็มที่ ส่วนข้าวแค้นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 40 มีปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างช้าๆ และมีค่ามากที่สุด แต่ให้อัตราการฟองตัวน้อยกว่าข้าวแค้นที่เตรียมจากข้าวเหนียวหนึ่งสูกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ทั้งนี้เนื่องจากผลของน้ำตาลและเกลือที่ใส่เป็นส่วนผสมของน้ำเชื่อมเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์ (ศิริพร และคณะ, 2534) ทำให้การระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ส่งผลให้มีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มาก เมื่อนำมาอบในเตาไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์ฟองตัวโดยน้ำบางส่วนที่มีอยู่ภายในโครงสร้าง เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและฟองตัว แต่น้ำอีกส่วนยังคงเหลืออยู่ ส่งผลให้ยังคงมีส่วนของน้ำเหลืออยู่ในตัวของเมล็ดข้าว จึงทำให้โครงสร้างไม่สามารถฟองตัวได้เต็มที่ ส่วนข้าวแค้นที่คลุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ให้อัตราการฟองตัวมากที่สุดทั้งนี้เพราะระดับความชื้นอยู่ในสภาวะเหมาะสมในการฟองตัว เมื่อได้รับความร้อนความชื้นในผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นไอน้ำเกิดความดันทำให้น้ำของข้าวขยายตัวเป็นโพรงหรือรูพรุน (เพลินใจ, 2546)

ตารางที่ 2 อัตราการพองตัวของข้าวแค้นที่ทำจากข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมน้ำเชื่อมร้อยละ 23 40 และ น้ำเปล่าร้อยละ 23 และ 40

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการพองตัว (เท่า)			
	น้ำเชื่อมร้อยละ 23	น้ำเชื่อมร้อยละ 40	น้ำเปล่าร้อยละ 23	น้ำเปล่าร้อยละ 40
1	1.34 ± 0.20^f	1.65 ± 0.29^d	1.01 ± 0.21^d	ไม่เกิดการพองตัว
1.5	1.68 ± 0.51^e	1.79 ± 0.30^d	1.12 ± 0.09^c	2.34 ± 0.16^c
2	3.30 ± 0.18^{bc}	1.88 ± 0.29^d	1.56 ± 0.18^a	2.59 ± 0.18^a
2.5	3.77 ± 0.22^a	2.73 ± 0.30^{bc}	1.32 ± 0.11^b	2.45 ± 0.11^b
3	3.59 ± 0.48^{ab}	2.72 ± 0.21^c	ไม่เกิดการพองตัว	2.38 ± 0.22^{bc}
3.5	3.49 ± 0.57^{abc}	2.89 ± 0.15^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	2.33 ± 0.12^c
4	3.33 ± 0.56^{bc}	2.92 ± 0.22^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
4.5	3.22 ± 0.22^c	2.99 ± 0.21^{ab}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
5	2.85 ± 0.41^d	3.05 ± 0.20^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
5.5	2.85 ± 0.35^d	3.07 ± 0.16^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
6	2.69 ± 0.43^d	3.04 ± 0.18^a	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
6.5	2.60 ± 0.59^d	2.99 ± 0.20^{ab}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
7	2.60 ± 0.65^d	2.96 ± 0.29^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว
7.5	2.56 ± 0.35^d	2.93 ± 0.19^{abc}	ไม่เกิดการพองตัว	ไม่เกิดการพองตัว

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.4 ศึกษาสถานะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแค้น
 กึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ จากการนำข้าวเหนียวหนึ่งสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 นำมาคลึงพิมพ์
 กลม จากนั้นนำไปแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการ
 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศา-
 เซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ผ่านการแช่แข็งและอบแห้งนาน 2.5 ชั่วโมง มีอัตราการพองตัว
 มากที่สุด คือ 3.77 เท่า มากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง และอบแห้งนาน 3.5 ชั่วโมง
 ซึ่งมีอัตราการพองตัว 3.63 (ตารางที่ 3) เนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่พบอยู่น้อยในข้าวเหนียว
 ร้อยละ 0-2 ทำให้ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพคตินอยู่สูง (กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ, 2548) ซึ่ง
 อะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งก้านมากเกิดการจัดเรียงตัวของผลึกแบบ Crystalline
 Region ได้น้อย ทำให้เกิดการเกาะกันอย่างหลวมๆของพันธะไฮโดรเจนกับอะไมโลเพคติน (ณรงค์,

2538 และวิไลศนา, 2540) เมื่อนำข้าวเหนียวไปแช่แข็ง จะทำให้เกิดผลึกของน้ำแข็งภายในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2544) ช่วยเพิ่มความพรุนของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่น ทำให้อิโนน้ำสามารถดันตัวให้ผลิตภัณฑ์พองได้มากขึ้นส่งผลให้ข้าวเหนียวเกิดการพองตัวที่ดี มีผลทำให้เม็ดข้าวเกิดการพองตัว เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นไอน้ำเกิดความดัน ทำให้เนื้อของข้าวขยายตัวเป็นโพรงหรือรูพรุน (เพลินใจ, 2546) ได้ง่าย

ตารางที่ 3 ผลของสภาวะของการเตรียมข้าวก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ

เวลาอบ (ชม.)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		อัตราการพองตัว (เท่า)	
	แช่แข็ง	ไม่แช่แข็ง	แช่แข็ง	ไม่แช่แข็ง
1	0.84 ± 0.02	0.84 ± 0.01	1.34 ± 0.20^f	1.40 ± 0.15^d
1.5	0.78 ± 0.03	0.80 ± 0.01	1.68 ± 0.51^e	1.84 ± 0.46^{cd}
2	0.71 ± 0.02	0.75 ± 0.03	2.60 ± 0.65^d	2.35 ± 0.27^{bc}
2.5	0.66 ± 0.01	0.69 ± 0.02	3.77 ± 0.22^a	3.41 ± 0.48^a
3	0.62 ± 0.01	0.66 ± 0.08	3.59 ± 0.48^{ab}	3.52 ± 1.12^a
3.5	0.58 ± 0.02	0.60 ± 0.01	3.49 ± 0.57^{abc}	3.63 ± 0.41^a
4	0.56 ± 0.02	0.58 ± 0.07	3.30 ± 0.18^{bc}	3.52 ± 0.44^a
4.5	0.53 ± 0.03	0.55 ± 0.06	3.33 ± 0.56^{bc}	3.43 ± 0.12^a
5	0.52 ± 0.03	0.53 ± 0.01	3.22 ± 0.22^c	3.41 ± 0.43^a
5.5	0.51 ± 0.01	0.52 ± 0.01	3.23 ± 0.76^c	3.21 ± 0.51^a
6	0.46 ± 0.01	0.51 ± 0.01	2.85 ± 0.35^d	3.25 ± 0.40^a
6.5	0.45 ± 0.02	0.49 ± 0.03	2.85 ± 0.41^d	3.23 ± 0.89^a
7	0.43 ± 0.03	0.47 ± 0.05	2.69 ± 0.43^d	3.18 ± 0.37^a
7.5	0.43 ± 0.03	0.466 ± 0.01	2.60 ± 0.59^d	2.89 ± 0.16^{ab}
8	0.42 ± 0.01	0.460 ± 0.01	2.56 ± 0.35^d	2.35 ± 0.33^{bc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.5 ศึกษาผลของลักษณะเม็ดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต่นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 และข้าวคัดทั่วไป (มีข้าวหักผสมประมาณร้อยละ 10) มาล้างสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าว นำไปกดลงพิมพ์กลม แช่แข็งเป็น

เวลา 1 ก็น ก่อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการพองของข้าวแค้นที่ทำจากข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษมีอัตราการพองตัวสูงที่สุด คือ 3.77 สูงกว่าอัตราการพองตัวของข้าวคัดทั่วไป ดังตารางที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน การปนกันระหว่างข้าวต่างพันธุ์หรือต่างชนิดกัน เมื่อนำไปหุงต้มทำให้มีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน (สุนันทา, 2550) ส่งผลให้เมื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นทำให้มีอัตราการพองตัวที่ต่างกัน ดังนั้นข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 จึงให้ผลอัตราการพองตัวของข้าวแค้นดีที่สุด

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นที่ทำจากข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษกับข้าวคัดทั่วไป

เวลาอบ (ชม.)	ค่าปริมาตรน้ำอิสระ (a_w)		อัตราการพองตัว (เท่า)	
	ข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษ	ข้าวคัดทั่วไป	ข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษ	ข้าวคัดทั่วไป
1	0.84 ± 0.01	0.87 ± 0.01	1.34 ± 0.20^f	1.60 ± 0.19^c
1.5	0.78 ± 0.02	0.78 ± 0.02	1.68 ± 0.51^e	1.78 ± 0.30^{bc}
2	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.01	2.60 ± 0.65^d	3.08 ± 1.25^{ab}
2.5	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.03	3.77 ± 0.22^a	3.38 ± 1.04^a
3	0.62 ± 0.03	0.61 ± 0.04	3.69 ± 0.48^{ab}	3.61 ± 0.54^a
3.5	0.58 ± 0.05	0.59 ± 0.01	3.49 ± 0.57^{abc}	3.71 ± 0.64^a
4	0.56 ± 0.02	0.55 ± 0.01	3.30 ± 0.18^{bc}	3.36 ± 0.66^a
4.5	0.53 ± 0.06	0.54 ± 0.03	3.33 ± 0.56^{bc}	3.18 ± 0.50^{ab}
5	0.52 ± 0.04	0.49 ± 0.01	3.22 ± 0.22^c	3.11 ± 0.04^{ab}
5.5	0.50 ± 0.03	0.47 ± 0.01	3.23 ± 0.76^c	2.96 ± 1.20^{abc}
6	0.46 ± 0.06	0.46 ± 0.04	2.85 ± 0.35^d	2.90 ± 0.30^{abc}
6.5	0.45 ± 0.05	0.43 ± 0.02	2.85 ± 0.41^d	2.86 ± 1.51^{abc}
7	0.43 ± 0.08	0.41 ± 0.02	2.69 ± 0.43^d	2.63 ± 1.83^{abc}
7.5	0.43 ± 0.04	0.41 ± 0.03	2.60 ± 0.59^d	2.97 ± 0.25^{abc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.6 ศึกษาขนาดของข้าวแต๋นที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยนำข้าวคัดเมล็ดเต็มพิเศษร้อยละ 100 มาหนึ่งสุกผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 23 ของน้ำหนักข้าว นำไปกดลงพิมพ์กลม ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 4 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ นำไปแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบในเตาไมโครเวฟ พบว่าข้าวแต๋นขนาดเล็กมีอัตราการพองตัวมากที่สุด คือ 4.96 รองลงมาเป็นข้าวแต๋นขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีอัตราการพองตัว 4.56 และ 2.72 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กเมื่อนำไปอบให้พองด้วยเตาไมโครเวฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถกระจายไปทั่วผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่า (สมบัติ, 2529) จึงส่งผลให้ข้าวแต๋นขนาดเล็กมีการพองตัวมากที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นขนาดเล็กและขนาดกลางให้อัตราการพองตัวดีที่สุดในช่วงเวลาการอบแห้งที่ 2.5 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก เมื่อได้รับความร้อนปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จึงเกิดการระเหยได้เร็วและดีกว่า ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น (สมบัติ, 2529) เมื่อเทียบผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นขนาดใหญ่ซึ่งให้อัตราการพองตัวที่ดีเมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไป 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

เวลาอบ (ชม.)	อัตราการพองตัว (เท่า)		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
1	2.09± 0.03 ^f	1.35 ±0.20 ^d	ไม่เกิดการพองตัว
1.5	2.60±0.21 ^{cf}	1.68±0.51 ^d	ไม่เกิดการพองตัว
2	4.17 ±0.29 ^b	3.49 ± 0.57 ^a	2.02±0.23 ^c
2.5	4.96±0.52 ^a	4.56± 0.85 ^a	2.08±0.33 ^c
3	3.88±0.17 ^{bc}	2.85±0.35 ^{bc}	2.20 ± 0.24 ^{bc}
3.5	3.25±0.08 ^d	3.59 ± 0.48 ^a	2.30±0.21 ^{bc}
4	3.91 ±0.11 ^{bc}	3.30 ± 0.18 ^{ab}	2.25 ± 0.16 ^{bc}
4.5	3.88± 0.61 ^{bc}	3.22±0.22 ^{ab}	2.40±0.14 ^{abc}
5	3.67 ± 0.06 ^{bcd}	2.85±1.41 ^{bc}	2.44± 0.36 ^{abc}
5.5	3.43±0.42 ^{cd}	2.56 ± 0.35 ^c	2.58±0.38 ^{ab}
6	2.69±0.05 ^c	2.60±0.65 ^c	2.72± 0.42 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการศึกษาความหนาและขนาดของข้าวแต่นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

3.1 ผลการศึกษาความหนาข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต่นทดลองพิมพ์ที่มีความหนาต่างกัน 2 ระดับ คือ พิมพ์ข้าวแต่นหนา 3 และ 6 มิลลิเมตร พบว่าความหนาของข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปมีผลต่อการพองตัวของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6) โดยข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่หนา 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัวของข้าวแต่นสูงที่สุด คือ 4.38 เท่า สูงกว่าข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่หนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งให้อัตราการพองตัวของข้าวแต่นสูงที่สุด คือ 4.11 เท่า เนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดจะมีการเคลื่อนที่ภายในโมเลกุลมากกว่าวัตถุดิบชนิดหนึ่ง เราเรียกลักษณะนี้ว่า ความหลวม (lossy) ระดับความหลวมจะแปรผันกับคลื่นความถี่ อุณหภูมิและลักษณะของวัตถุ ถ้าวัตถุดิบมีความหลวมมาก วัตถุนั้นจะสามารถดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้มาก นั่นคือพลังงานความร้อนจะได้ออกมา (Goldblith, 1966) และความหนาของอาหารจะมีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟ โดยอาหารที่มีลักษณะหนามากๆ การดูดซับไมโครเวฟจะเกิดได้เฉพาะผิวหน้า และความร้อนจะเข้าสู่ชั้นอาหารได้ทั่วถึงด้วยการนำหรือการพา ซึ่งใช้เวลานานกว่าอาหารที่บางกว่าซึ่งเนื้ออาหารจะโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบจะระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วกว่า (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) จึงส่งผลให้ข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่หนา 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัวดีกว่าข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปหนา 6 มิลลิเมตร ด้านระยะเวลาการอบแห้งพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาการอบแห้งส่งผลให้อัตราการพองตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแต่นที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงการอบแห้งที่ 3 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งที่ 4-7 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การพองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่ (พันธิพา และคณะ, 2532) ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการฟองตัวหลังการอบโดยเตาไมโครเวฟของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหนา 3 และ 6 มิลลิเมตร

เวลาอบ (ชั่วโมง)	อัตราการฟองตัว (เท่า)	
	ความหนา 3 มิลลิเมตร	ความหนา 6 มิลลิเมตร
1	3.37 ± 0.37^{bcd}	3.31 ± 0.78^b
2	4.29 ± 0.37^a	3.37 ± 0.58^b
3	4.38 ± 0.61^a	4.11 ± 0.52^a
4	3.89 ± 0.35^{ab}	3.72 ± 0.27^{ab}
5	3.52 ± 0.44^{bc}	3.40 ± 0.36^b
6	3.17 ± 0.38^{cd}	3.40 ± 0.26^b
7	2.76 ± 0.58^d	3.49 ± 0.39^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลการศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต๋นกดลงพิมพ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ระดับ คือ 2 และ 4 เซนติเมตร พบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของข้าวแต๋นมีผลต่อการฟองตัวของข้าวแต๋นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 7) โดยข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร มีอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.62 เท่า สูงกว่าข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ซึ่งมีอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.47 เท่า เนื่องจากขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการอบแห้ง โดยอาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ส่งผลให้ข้าวแต๋นที่มีขนาดเล็กกว่ามีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การฟองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ด้านระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระยะเวลาของข้าวแต๋นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการฟองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงการอบแห้งที่ 3 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งที่ 4-7 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหลืออยู่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเกินไปเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อย ทำให้การฟองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลืออยู่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และฟองตัวได้อย่างเต็มที่

(พันธิพา และคณะ, 2532) ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ระยะเวลาอบแห้งที่ 2 และ 3 ชั่วโมง เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 4 เซนติเมตร

เวลาอบ (ชั่วโมง)	อัตราการพองตัว (เท่า)	
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร
1	3.42 ± 0.42^{bc}	3.37 ± 0.17^b
2	4.47 ± 0.18^a	4.56 ± 0.40^a
3	4.23 ± 0.54^{ab}	4.62 ± 0.16^a
4	3.71 ± 0.99^{abc}	4.14 ± 0.48^a
5	3.51 ± 0.15^{bc}	4.16 ± 0.51^a
6	3.28 ± 0.48^{bc}	4.02 ± 0.64^{ab}
7	3.07 ± 0.24^c	3.90 ± 0.18^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูป โดยนำข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1 และ 3.2 มาสุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 120 130 140 150 160 170 และ 180 นาที พบว่าระยะเวลาการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการพองตัว และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 8) แต่มีผลต่อปริมาณความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้นปริมาณความชื้นลดลง และลักษณะเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน เนื่องจากข้าวแต่นึ่งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งนานขึ้น เมื่ออบพองด้วยไมโครเวฟแล้วจะมีลักษณะเบา กรอบ เปราะมากขึ้น ตามระยะเวลาการอบแห้ง เนื่องจากได้สูญเสียหน้าที่เหลืออยู่มากขึ้น ดังนั้นเมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกได้ จึงส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต่นึ่งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งนานขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อพิจารณาในด้านการพองตัวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทอบ พบว่า ที่ระยะการอบแห้งข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปนาน 160 นาที ให้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 4.57 เท่า และเมื่อพิจารณาด้านปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูป ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เพราะ

เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่จำกัด โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 0.7 (วารสารจารย์พา, 2545) พบว่าข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งนาน 160 นาที นั้นมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.69 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ได้ ส่วนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งนาน 160 นาทีก็มีลักษณะไม่แข็งมากเกินไป และไม่เปราะแตกง่ายเกินไป จะมีค่าในระดับปานกลาง ดังนั้นจึงคัดเลือกข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งเป็นระยะเวลา 160 นาที เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 8 คุณภาพของข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปหนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตรที่อบแห้งระยะเวลาแตกต่างกัน

เวลาอบ (นาที)	อัตราการรอดตัว ^{ns} (เท่า)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าปริมาณน้ำอิสระ ^{ns} (a_w)	ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) (นิวตัน)
120	3.58± 0.01	10.44±0.07 ^a	0.74±0.02	0.54±0.01 ^a
130	4.36±0.38	10.08±0.28 ^{ab}	0.73±0.01	0.47±0.13 ^{ab}
140	4.44±0.29	9.90±0.31 ^{bc}	0.72±0.01	0.35±0.02 ^{bc}
150	4.47±0.89	9.60±0.05 ^c	0.71±0.02	0.33±0.01 ^{bc}
160	4.57±0.05	9.11±0.15 ^d	0.69±0.01	0.37±0.11 ^{bc}
170	4.37±0.33	8.76±0.05 ^d	0.69±0.06	0.23±0.02 ^c
180	4.07±0.63	8.71±0.21 ^d	0.68±0.03	0.25±0.05 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4. ผลการศึกษาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

4.1 ผลการศึกษานิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป
จากการใช้น้ำตาล 5 ชนิด คือ น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง น้ำเชื่อมฟรุคโตส และกลูโคส พบว่าชนิดของน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 9) แต่มีผลต่ออัตราการรอดตัว และค่าสีเหลือง (b^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นที่ใช้น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลทรายแดง และน้ำตาลทรายขาว มีอัตราการรอด

ตัวสูงสุดไม่ต่างกัน คือ 4.48 4.64 และ 4.62 เท่า ตามลำดับ ด้านค่าสีเหลือง (b^*) พบว่าข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้น้ำตาลทรายแดง และน้ำเชื่อมฟรุคโตสให้ค่าสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกัน คือ 9.64 และ 9.53 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายขาว และกลูโคส คือ 7.62 6.39 และ 7.18 ตามลำดับ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลทรายแดง และน้ำเชื่อมฟรุคโตสมีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้มกว่าข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายขาว และกลูโคส ซึ่งจะมีสีค่อนข้างขาวกว่า ดังนั้นสามารถใช้น้ำตาลในการผลิตข้าวแต่นได้ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำตาลปีบ น้ำตาลทรายแดง และน้ำตาลทรายขาว แต่จะเลือกใช้น้ำตาลทรายขาวเพื่อพัฒนาต่อไป เนื่องจากผู้วิจัยต้องการที่จะสังเกตเห็นการเกิดลักษณะสีน้ำตาลบริเวณตรงกลางแผ่นข้าวแต่นหลังการอบด้วยไมโครเวฟได้ชัดเจนเมื่อเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นกับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าสีและอัตราการพองตัวของข้าวแต่นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้น้ำตาลแตกต่างกัน

ชนิดของน้ำตาล	ค่าสี			อัตราการพองตัว (เท่า)
	L^* (ns)	a^* (ns)	b^*	
น้ำตาลปีบ	37.74 ± 0.36	1.73 ± 0.93	7.62 ± 0.48^b	4.48 ± 0.21^a
น้ำตาลทรายแดง	40.82 ± 0.16	1.17 ± 0.03	9.64 ± 0.69^a	4.64 ± 0.12^a
น้ำตาลทรายขาว	43.81 ± 0.35	0.61 ± 0.65	6.39 ± 0.43^b	4.62 ± 0.33^a
น้ำเชื่อมฟรุคโตส	39.64 ± 0.38	1.47 ± 1.01	9.53 ± 0.49^a	3.53 ± 0.18^b
กลูโคส	38.11 ± 0.61	1.70 ± 0.28	7.18 ± 0.81^b	2.71 ± 0.30^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมต่อคุณภาพข้าวแต่นกึ่งสำเร็จรูป จากการใช้ปริมาณน้ำตาล 5 ระดับ คือร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าสีแดง (a^*) ของข้าวแต่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่ออัตรา การพองตัว ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 10 5 และ 15 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว มีอัตราการพองตัวของข้าวแต่นสูงที่สุด คือ 4.68 4.63 และ 4.31 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 10) โดยปริมาณน้ำตาลที่สูงมากกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว อัตราการพองตัวจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลจะจับตัวกับโมเลกุลของน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่จะเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดแป้งในระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชันลดน้อยลง จึงส่งผลให้อัตราการพองตัวต่ำลง (เพลินใจ, 2546) ในด้านค่าสีเมื่อปริมาณน้ำตาล

เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบสีคาราเมล (caramel) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิด เป็นสารเฟอร์ฟิวราลที่มีสีน้ำตาล (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ, ม.ป.ป.) ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง แต่ค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาระดับปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับน้ำตาลปริมาณที่มากที่สุดที่จะสามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปได้ โดยที่เมื่อนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟจะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเกิดสีน้ำตาลไหม้เข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคจะยอมรับ จากตารางที่ 10 จะเห็นว่าที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 10 และ 15 เป็นระดับที่ข้าวแต๋นมีอัตราการพองตัวมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาด้านค่าความสว่าง (L^*) พบว่าข้าวแต๋นที่ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 และ 10 มีค่ามาก ส่วนค่าสีเหลืองมีค่าน้อย แสดงว่าข้าวแต๋นที่ได้นั้นมีสีที่ไม่เข้มมาก จากการทดสอบชิมเบื้องต้นพบว่ารสชาติของข้าวแต๋นที่ใช้ระดับน้ำตาลร้อยละ 5 นั้นมีรสชาติจัดไม่หวานซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภค ส่วนใหญ่ไม่ชอบ เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่จะชอบรสหวานโดยเฉพาะหวานแบบน้ำตาล โดยสาเหตุที่คนส่วนใหญ่ชอบรับประทานน้ำตาลเพราะร่างกายจำเป็นต้องใช้น้ำตาลหรือสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นแหล่งพลังงานโดยเฉพาะส่วนของสมองที่ต้องใช้พลังงานมาก ในขณะที่ลิ้นของคนจะชอบรับรสหวาน (สุรพจน์, 2551) ดังนั้นจึงคัดเลือกปริมาณน้ำตาลที่ระดับร้อยละ 10 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากมีอัตราการพองตัวสูง และสีของข้าวแต๋นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบอัตราการพองตัว และค่าสีของข้าวแต๋นที่ใช้ปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
5	4.63±0.30 ^a	42.06±0.13 ^a	1.11±0.02 ^c	7.44±0.16 ^c
10	4.68±0.29 ^a	40.89±0.95 ^{ab}	1.50±0.54 ^b	7.84±0.40 ^c
15	4.31±0.26 ^a	39.81±0.11 ^b	1.60±0.45 ^b	8.62±0.13 ^b
20	3.33±0.34 ^b	38.13±0.42 ^c	1.74±0.17 ^a	9.19±0.01 ^a
25	2.98±0.28 ^b	35.45±0.47 ^d	1.74±0.11 ^a	9.46±0.06 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันพืชที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นสำเร็จรูป
จากการใช้ปริมาณน้ำมันพืชทดแทนปริมาณน้ำในสูตร 9 ระดับ คือร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 และ 80 ของน้ำหนักน้ำในสูตร พบว่าน้ำมันพืชมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวแต๋นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 11) โดยข้าวแต๋นที่ไม่ใส่น้ำมันพืชให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.71 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันพืชมากขึ้นส่งผลให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากไขมันสามารถรวมตัวกับอะมิโนเพคตินและอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ จึงมีผลยับยั้งการพองตัว และการเกิดเจลลิตีในเซชัน (Arambula-Villa *et. al.*, 2001) อีกทั้งอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะดูดซับกลิ่นโมโรเวฟได้ต่ำกว่าอาหารที่มีไขมันและน้ำมันอยู่น้อย จึงทำให้ความร้อนที่ได้รับไม่สูงพอที่ทำให้น้ำกลายเป็นไอออย่างรวดเร็ว การพองตัวจึงเกิดได้น้อยลง(คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่เติมน้ำมันพืช เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นที่ใส่ปริมาณน้ำมันพืชแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำมันพืช (ร้อยละของน้ำหนักน้ำในสูตร)	อัตราการพองตัว (เท่า)
0	4.71±0.10 ^a
10	4.50±0.69 ^a
20	4.25±0.35 ^{ab}
30	4.03±0.51 ^{abc}
40	3.70±0.10 ^{bcd}
50	3.65±0.43 ^{bcd}
60	3.45±0.24 ^{cd}
70	3.41±0.34 ^{cd}
80	3.17±0.39 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ช่วยในการขึ้นฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูป

4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณผงฟูที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปจากการใช้ผงฟู 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณผงฟูไม่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพด้านอัตราการพองตัว และทางประสาทสัมผัสด้านความเนียน แต่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยข้าวแต๋นที่เติมปริมาณผงฟูร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 7.00 ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณผงฟูร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบคุณภาพทางกาย และทางประสาทสัมผัสของข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้ปริมาณผงฟูแตกต่างกัน

คุณภาพ	ปริมาณผงฟู (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)				
	0	0.1	0.3	0.5	1.0
ทางกายภาพ					
อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	4.45±0.30	4.70±0.46	4.81±0.40	4.72±0.28	5.00±0.46
ทางประสาทสัมผัส					
การพองตัว	5.94±1.77 ^b	6.25±1.57 ^{ab}	6.63±1.02 ^{ab}	6.63±1.15 ^{ab}	7.00±0.89 ^a
ความเนียน ^{ns}	5.81±1.60	6.19±1.47	6.38±1.63	6.31±1.49	6.50±1.55

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4.2 ผลการศึกษาปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปจากการใช้ปริมาณยีสต์ 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณยีสต์มีผลต่ออัตราการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 13) โดยข้าวแต๋นกิ่งสำเร็จรูปที่ไม่ใส่ยีสต์ให้อัตราการพองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.52 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณยีสต์มากขึ้นอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งเกิดกลิ่นหมักจากการทำงานของยีสต์ ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่ใส่ยีสต์ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใส่ปริมาณยีสต์แตกต่างกัน

ปริมาณยีสต์ (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)	อัตราการฟองตัว (เท่า)
0	4.52 ± 0.18^a
0.5	3.45 ± 0.88^b
1.0	3.29 ± 0.93^b
1.5	3.36 ± 0.87^b
2.0	3.07 ± 0.71^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3 ผลการศึกษาปริมาณเบกิ้งโซดาที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป จากการใช้ปริมาณเบกิ้งโซดา 5 ระดับ คือร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักข้าวสารเหนียว พบว่าปริมาณเบกิ้งโซดามีผลต่ออัตราการฟองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 14) โดยข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ไม่ใส่เบกิ้งโซดาให้อัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นสูงที่สุด คือ 4.33 เท่า จากการเติมเบกิ้งโซดามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีออกเหลือง เนื้อสัมผัสมีลักษณะที่ค่อนข้างแข็ง ไม่กรอบ และมีกลิ่นรสแปลกจากข้าวแต๋นทั่วไป ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่ไม่ใส่เบกิ้งโซดาเพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

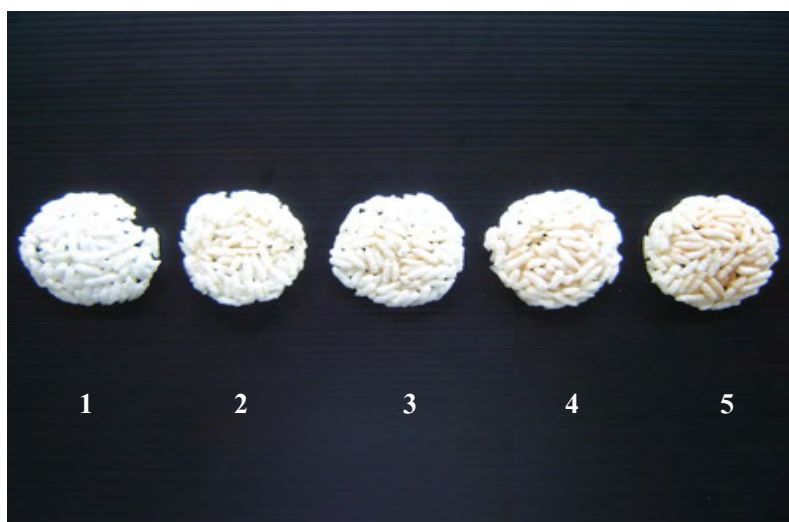
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบอัตราการฟองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ใส่ปริมาณเบกิ้งโซดาแตกต่างกัน

ปริมาณเบกิ้งโซดา (ร้อยละของน้ำหนักข้าวสารเหนียว)	อัตราการฟองตัว (เท่า)
0	4.33 ± 0.36^a
0.1	2.88 ± 0.30^b
0.3	2.85 ± 0.48^b
0.5	2.84 ± 0.22^b
1.0	3.05 ± 0.42^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ผลการสัมภาษณ์ผู้บริโภครวมไปด้านการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภคในเขตภาคเหนือจำนวน 200 คน ซึ่งมีชายร้อยละ 36 หญิงร้อยละ 64 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี 41-50 ปี และมากกว่า 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 28, 28 และ 22 ตามลำดับ และผู้บริโภครวมไปด้านอาชีพรับจ้าง ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว และนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 20, 20 และ 19.5 ตามลำดับ

ข้อมูลทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภครวมไป จากภาพที่ 1 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟหมายเลข 4 และ 5 มากที่สุด คือร้อยละ 46 และ 20.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ลักษณะสีของข้าวแต๋นหลังการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

5. ผลการศึกษาวิธีการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับเตาไมโครเวฟ

ในการศึกษาการกระจายความชื้นที่เหมาะสมต่อคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเมื่อนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ พบว่าเกิดการพองตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นจะมีบริเวณขอบของข้าวแต๋นที่ยังมีเม็ดข้าวที่พองตัวได้ไม่หมด โดยเกิดจากบริเวณขอบนอกของแผ่นข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปมีลักษณะแห้งกว่าบริเวณตรงกลางแผ่นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เนื่องจากในขั้นตอนของการอบแห้งข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพื่อลดความชื้นนั้น บริเวณขอบของข้าวแต๋นเป็นพื้นที่ได้รับความร้อนก่อนจึงทำให้น้ำระเหยได้มากกว่าส่งผลให้ความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าส่วนตรงกลางแผ่น เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่

อบแห้งทุกชนิด ถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้การพองตัวน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจึงมีน้ำเหลือในโครงสร้างการพองตัวจึงไม่ดี (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นที่น้อยเกินไป ก็จะส่งผลให้เกิดการพองตัวน้อยเช่นเดียวกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำน้อยทำให้การพองตัวน้อยลง (Matz, 1970) ดังนั้นเมื่อนำไปอบในเตาไมโครเวฟ ความชื้นที่เหลือน้อยเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดเป็นความร้อน ส่งผลให้เกิดไอน้ำได้เล็กน้อยไม่สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่

5.1 ผลการศึกษาสถานะการอบโดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวแค้นที่อบแห้งแบบใส่ในพิมพ์พลาสติกและอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก จากการศึกษา 2 วิธี คือ อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติก และอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก พบว่าอัตราการพองตัว และปริมาณความชื้นของข้าวแค้นทั้งสำเร็จรูปทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 15) พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวแค้นทั้งสำเร็จรูปที่อบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติกจะน้อยกว่าข้าวแค้นทั้งสำเร็จรูปที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติก เนื่องจากการใส่แม่พิมพ์พลาสติกระหว่างที่อบแห้งนั้น มีผลต่อการระเหยของน้ำภายในโมเลกุลของข้าว โดยเฉพาะบริเวณขอบจึงส่งผลให้ข้าวแค้นทั้งสำเร็จรูปมีความชื้นที่เหลือมากกว่าเมื่อใช้เวลากการอบนานเท่ากัน แต่จะมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติกมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.68 ซึ่งน้อยกว่าข้าวแค้นที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติก ซึ่งเป็นค่าของปริมาณน้ำอิสระที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าต่ำกว่า 0.70 (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) ดังนั้นจึงเลือกวิธีการอบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแค้นทั้งสำเร็จรูปที่อบแห้งโดยใส่ในพิมพ์พลาสติกและที่อบแห้งแบบไม่ใส่พิมพ์พลาสติก

คุณภาพ	วิธีการอบแห้ง	
	ไม่ใส่พิมพ์พลาสติก	ใส่ในพิมพ์พลาสติก
อัตราการพองตัว ^{ns} (เท่า)	5.02 ± 0.10	4.98 ± 0.05
ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	9.11 ± 0.15	9.69 ± 0.18
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.68 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.01 ^a

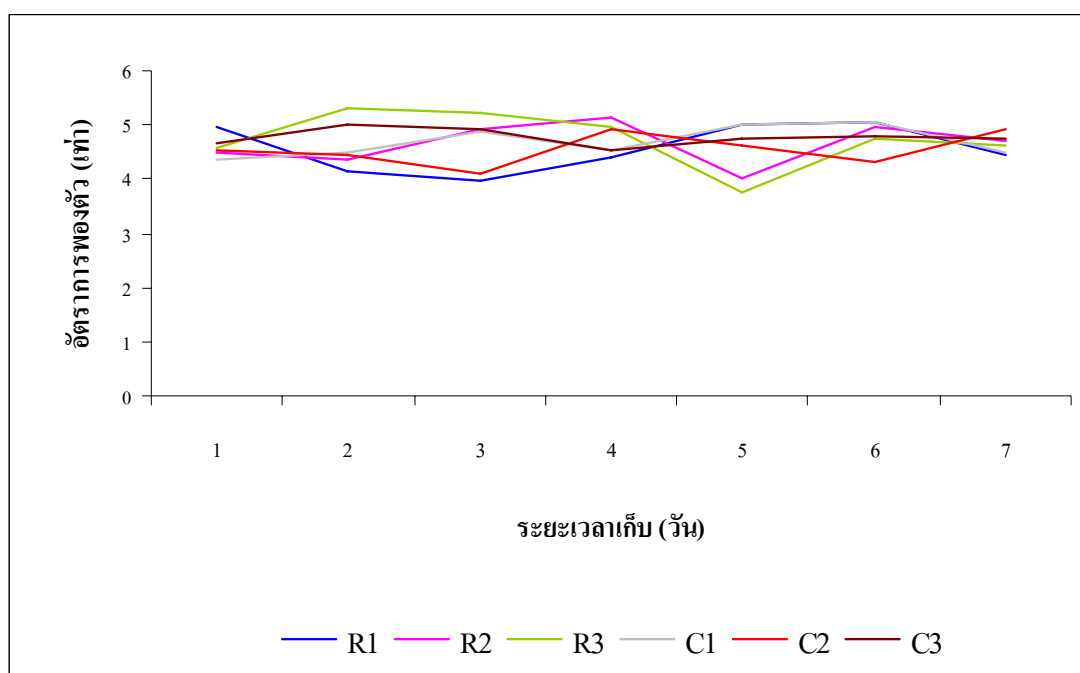
หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^{ns} แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์หลังการอบแห้งที่เหมาะสม

จากการศึกษาการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ก่อนการอบพองเพื่อกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่นข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป โดยแบ่งออกเป็น 2 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง และ อุณหภูมิแช่เย็น และระยะเวลาที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 7 ระดับ คือ 1 2 3 4 5 6 และ 7 วัน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 140 150 และ 160 นาที ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) อัตราการพองตัว และส่วนที่ไม่พองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังภาพที่ 2 แต่จะมีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็นจะมีความชื้นมากกว่าข้าวแต๋นที่เก็บอุณหภูมิห้อง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เย็นจะทำให้ความชื้นกระจายตัวเท่ากันทั้งชิ้นขนม (งามชื่น, 2547) โดยเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นแนวโน้มปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปจะดูดซับความชื้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทำให้ความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านระยะเวลาที่อบแห้งก่อนเก็บที่ 3 ระดับ คือ 140 150 และ 160 นาที ในด้านอัตราการพอง พบว่า ระยะเวลาที่อบแห้ง 160 นาที เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 2 วัน ให้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 5.32 เท่า ดังนั้นจึงเลือกการเก็บข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 12 อัตราการงอกตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บ ณ อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บที่แตกต่างกัน ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

หมายเหตุ : R1 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที
 R2 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที
 R3 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที
 C1 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 140 นาที
 C2 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที
 C3 คือ เก็บ ณ อุณหภูมิแช่เย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที

6. ผลการศึกษาภษณะสำหรับการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปในเตาไมโครเวฟ

จากการใช้ภษณะที่ใช้อบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปให้พองตัวด้วยไมโครเวฟ 5 ชนิด คือ จานไมโครเวฟ จานเซรามิก ถุงกระดาษ กล่องพลาสติก และถาดพลาสติกมีรู พบว่าภษณะสำหรับการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ค่าสี L^* a^* b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 16) แต่มีผลต่ออัตราการงอกตัว และส่วนที่ไม่พองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจานไมโครเวฟเป็นภษณะที่อบข้าวแต๋นได้อัตราการงอกตัวสูงสุด คือ 5.18 เท่า มีส่วนของเมล็ดข้าวที่พองตัวได้ไม่หมดจนน้อยที่สุด 0.56 มิลลิเมตร เนื่องจากขณะเตาไมโครเวฟทำงาน จะส่งคลื่นไมโครเวฟออกมาที่ตัวอาหาร ทำให้โมเลกุลในตัว

อาหารสิ้นสะท้อน เกิดการเสียดสี เกิดความร้อนในตัวของมันและสุกด้วยตัวมันเอง (กลุ่มเฝ้ารอบไมโครเวฟ, 2532) ดังนั้นการที่เราวางอาหารในจานของไมโครเวฟเลยโดยไม่ได้ใส่ในภาชนะใดๆ จะทำให้อาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟโดยตรง และรวดเร็วจึงส่งผลให้การพองพองตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงคัดเลือกจานไมโครเวฟ เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแค้นที่ใช้ภาชนะสำหรับการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่แตกต่างกัน

คุณภาพ	จานไมโครเวฟ	จานเซรามิก	ถุงกระดาษ	กล่องพลาสติก	ถาดพลาสติกมีรู
อัตราการพองตัว (เท่า)	5.18±0.14 ^a	2.89±0.29 ^c	4.69±0.77 ^{ab}	4.21±0.47 ^{ab}	3.71±0.46 ^{bc}
ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ^{ns} (นิวตัน)	0.40±0.07	0.56±0.09	0.48±0.01	0.34±0.02	0.62±0.39
ค่าสี					
L* ^{ns}	40.37±0.53	39.91±0.21	39.56±0.38	39.92±0.16	39.45±0.59
a* ^{ns}	2.59±0.13	2.37±0.56	1.79±1.00	2.50±0.15	2.19±0.17
b* ^{ns}	5.78±0.76	4.44±0.23	5.29±0.52	5.90±0.92	4.54±0.59
ส่วนที่ไม่พองตัว(มิลลิเมตร)	0.56±0.79 ^b	7.83±0.62 ^a	1.47±0.25 ^b	1.92±0.34 ^b	1.68±0.49 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

7. ผลการศึกษาจำนวนของข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปสำหรับอบในเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม

จากการศึกษาจำนวนข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟ คือ 1 3 6 9 12 และ 15 ชิ้นต่อครั้งการอบ พบว่าจำนวนของข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 17) แต่มีผลต่อค่าสีเหลือง (b*) และอัตราการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจำนวนข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟจำนวน 1 3 และ 6 ชิ้นให้อัตราการพองตัวสูงสุด คือ 5.13 5.04 และ 5.02 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของอาหารมีผลต่อเวลาในการแปรรูปอาหารด้วยเตาไมโครเวฟ ถ้าอาหารมีปริมาณที่มากขึ้น จะต้องใช้เวลาในการแปรรูปมากขึ้น (Brown, 1994) ส่งผลให้มีอาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ ช้าลง อัตราการพองตัวจึงลดลง ดังนั้นจึงเลือกจำนวนข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ใช้อบในเตาไมโครเวฟจำนวน 6 ชิ้นต่อภาชนะบรรจุเป็นจำนวนที่เหมาะสมสำหรับอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวแค้นที่ปริมาณการบรรจุที่ใช้อบด้วยเตาไมโครเวฟต่างกัน

ปริมาณการบรรจุ (ชั้น)	อัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าสี		
		L* ^{ns}	a* ^{ns}	b*
1	5.13±0.13 ^a	47.58±0.34	3.49±0.55	8.60±0.09 ^a
3	5.04±0.18 ^a	46.55±0.29	3.68±0.46	8.39±0.24 ^a
6	5.02±0.08 ^a	46.15±0.04	3.00±0.58	8.47±0.35 ^a
9	3.41±0.08 ^b	46.79±0.94	2.89±0.42	7.39±0.45 ^b
12	2.70±0.15 ^c	47.49±0.19	3.09±0.11	7.44±0.45 ^b
15	2.64±0.13 ^c	47.57±0.18	3.05±0.07	7.06±0.09 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดิ่งที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

8. ผลการศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูป

8.1 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 40 43 45 47 และ 50 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงที่เวลา 45 วินาที และมีแนวโน้มลดลงที่เวลา 47-50 วินาที ตามลำดับ ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) พบว่าเมื่อเวลาในการอบข้าวแค้นเพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลาการอบนานขึ้นปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมามากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้กรอบ และแห้งเปราะมากขึ้น ความหนาแน่นน้อยลง เมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แตกออกได้ เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้นผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาอบ 50 วินาที สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 700 วัตต์ นาน 45 ± 2 วินาที

8.2 การอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 35 37 40 43 และ 45 วินาที จากการศึกษาเมื่อเวลาในการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ส่วนที่ไม่พองตัวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นโอกาสที่คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดซับไปยังตัวอาหารก็มีมากด้วย ทำให้ความร้อนกระจายทั่วทั้งชิ้นอาหารดีกว่า จึงส่งผลให้อาหารหลงเหลือส่วนที่ไม่พองตัวน้อยลง เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้นผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแค้นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 800 วัตต์ นาน 40 ± 3 วินาที

8.3 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 33 35 38 40 และ 42 วินาที จากการศึกษาเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น พบว่าอัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนได้กระจายเข้าไปยังโมเลกุลของเม็ดข้าวได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถดันโครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวให้เกิดการขยายตัว และพองตัวได้อย่างเต็มที่มากขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่าเมื่อเวลาอบนานขึ้นผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นจะเกิดสีน้ำตาลไหม้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาอบ 42 วินาที สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 900 วัตต์ นาน 38 ± 2 วินาที

8.4 การอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 ระดับ คือ 28 30 33 35 และ 38 วินาที จากการศึกษาเมื่อเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบสีคาราเมล (caramel) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อน ในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิดเป็นสารเฟอร์ฟิวราลที่มีสีน้ำตาล (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ, ม.ป.ป.) ยิ่งได้รับความร้อนนานขึ้นสีดังกล่าวก็จะเกิดมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่ออบข้าวแต๋นที่เวลา 38 วินาที สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเข้มเกินกว่าที่ผู้บริโภคยอมรับ ดังนั้นจึงเลือกการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่ระดับความร้อน 1,000 วัตต์ นาน 33 ± 2 วินาที

จากการศึกษาระดับความร้อนและช่วงเวลาในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 900 และ 1,000 วัตต์ มีลักษณะการพองตัวมากที่สุด เนื่องจากที่คลื่นความถี่สูงพลังงานความร้อนที่ได้จะมาก (Garrick, 1967) ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปในอาหาร น้ำและสารประกอบที่มีไขมันในอาหาร จะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และปล่อยความร้อนออกมาจึงทำให้อาหารได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ เมื่อเกิดความร้อนจึงส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและพองตัวได้ดีกว่าที่ระดับความร้อนต่ำที่จะเกิดความร้อนได้ช้ากว่า และมีส่วนที่ไม่พองตัวน้อยที่สุด ดังนั้นในการอบข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟควรอบที่ระดับความร้อนตั้งแต่ 900 วัตต์ขึ้นไป

9. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

จากการตรวจคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 18) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 49.58-58.07 ส่วนข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 46.04 และค่าสีแดง (a^*) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 3.96-8.99 ส่วนข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 3.89 และค่าสีเหลือง (b^*) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไป มีค่าอยู่ในช่วง 28.88-31.60 ส่วนข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 8.49 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟนั้นจะมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการทอดจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบ non-enzymatic browning โดยกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีน และเปปไทด์ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง (กลูโคสหรือฟรุคโตส) ที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Leszkowiat และคณะ, 1990) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างรวดเร็วในกระบวนการทอดทำให้เกิดองค์ประกอบสีน้ำตาล (brown-colored macromolecular melanoidins) สีน้ำตาลนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส (Pokorny, 1999) จึงทำให้ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดมีค่าสีเหลือง (b^*) มากกว่า และอัตราการพองตัวมีค่าใกล้เคียงกันโดยข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 4.14-5.08 เท่า ส่วนข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟเท่ากับ 5.00 เท่า และความชื้นข้าวแต๋นมีค่าใกล้เคียงกันโดยข้าวแต๋นจำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.18-2.84 ส่วนข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟเท่ากับร้อยละ 1.37 จะเห็นว่าทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) อัตราการพองตัว และความชื้นนั้นไม่มีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 1.96-3.23 นิวตัน ส่วนข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 0.63 นิวตัน ซึ่งจะน้อยกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟจะมีลักษณะที่บาง อีกทั้งแห้งกว่าเมื่อใช้แรงกดลงบนชิ้นข้าวแต๋นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ข้าวแต๋นแตกออกจากกันได้ ส่วนข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดมีลักษณะของแผ่นที่หนาและแข็งแรงมากกว่าจึงทำให้ได้ค่าที่มากกว่า

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ค่าสี			อัตรา การพองตัว (เท่า)	ลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) (นิวตัน)	ความชื้น (ร้อยละ)
	L*	a*	b*			
1	58.07±1.61	5.56±0.42	29.66±0.69	5.08±0.15	1.96±0.17	2.84±0.39
2	52.84±0.84	8.99±0.35	31.55±1.00	4.14±0.25	2.22±0.55	2.82±0.08
3	49.58±2.28	3.96±0.20	31.60±1.36	4.44±0.35	3.23±0.31	1.18±0.06
4	52.33±1.91	8.87±0.48	28.88±0.65	4.29±0.14	2.25±0.24	2.58±0.10
5	55.95±1.67	5.40±0.34	29.13±0.69	4.41±0.02	2.05±0.21	1.62±0.07
ข้าวแต๋นอบด้วย เตาไมโครเวฟ	46.04±1.08	3.89±0.35	8.49±0.55	5.00±0.04	0.63±0.22	1.37±0.08

จากการเปรียบเทียบปริมาณไขมันผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นทอดที่จำหน่ายทั่วไป 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 19) พบว่าไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการทอดมาก เนื่องจากในกระบวนการทอดนั้นน้ำมันในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ออกมา จากนั้นน้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยออก (Fellow, 1990) ส่วนการอบด้วยไมโครเวฟผลิตภัณฑ์จะเกิดการพองตัวโดยน้ำในอาหารเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำดันให้โครงสร้างของเจลในเมล็ดข้าวขยายตัวและพองตัว (เพลินใจ, 2546) จึงส่งผลให้ปริมาณไขมันมีน้อยกว่าการทอด

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีการจำหน่ายทั่วไป จำนวน 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ไขมัน (ร้อยละ)
ข้าวแต๋นอบด้วยเตาไมโครเวฟ	0.35±0.06
ข้าวแต๋นตลาด 1	19.60±0.37
ข้าวแต๋นตลาด 2	17.29±2.73
ข้าวแต๋นตลาด 3	23.91±1.57
ข้าวแต๋นตลาด 4	20.67±0.87
ข้าวแต๋นตลาด 5	33.08±1.11
อุบลรัตน์ (2549) (ข้าวแต๋นใยสับปะรด)	28.46
อุบลรัตน์ (2549) (ข้าวแต๋นต้นแบบ)	23.57
นิคม และอริยสา (2547)	22.00
ศิริเพ็ญ และสุวรรณ (2546)	14.68
เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนภาคเหนือ (ม.ป.ป.)	23.30

จากการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่าการพองตัว เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) รสชาติรวม และความชอบรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 20) ส่วนคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้การที่ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นมีความแตกต่างกันเนื่องจากข้าวแต๋นแต่ละผู้ผลิตมีส่วนผสมที่ต่างกัน รวมไปถึงกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ย พบว่า ข้าวแต๋นที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไป จำนวน 4 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	การพองตัว ^{ns}	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ^{ns}	รสชาติรวม ^{ns}	ความชอบรวม ^{ns}
ข้าวแต๋นอบ เตาไมโครเวฟ	7.24 ± 1.21 ^a	7.19 ± 1.10	7.27 ± 0.99	7.08 ± 1.01	7.11 ± 1.02
ข้าวแต๋นตลาด 1	6.89 ± 1.20 ^{ab}	6.95 ± 0.85	7.19 ± 0.94	7.05 ± 0.97	7.05 ± 0.94
ข้าวแต๋นตลาด 2	6.81 ± 0.94 ^{ab}	6.76 ± 0.89	7.00 ± 1.05	7.08 ± 1.01	6.97 ± 0.99
ข้าวแต๋นตลาด 3	6.95 ± 0.91 ^a	6.97 ± 0.76	7.30 ± 0.91	7.16 ± 0.76	7.08 ± 0.72
ข้าวแต๋นตลาด 4	6.43 ± 1.44 ^b	6.95 ± 1.10	7.00 ± 1.03	7.27 ± 0.90	7.11 ± 1.07
ข้าวแต๋นตลาด 5	7.27 ± 0.87 ^a	7.05 ± 0.66	7.41 ± 0.86	7.16 ± 0.99	7.11 ± 0.97

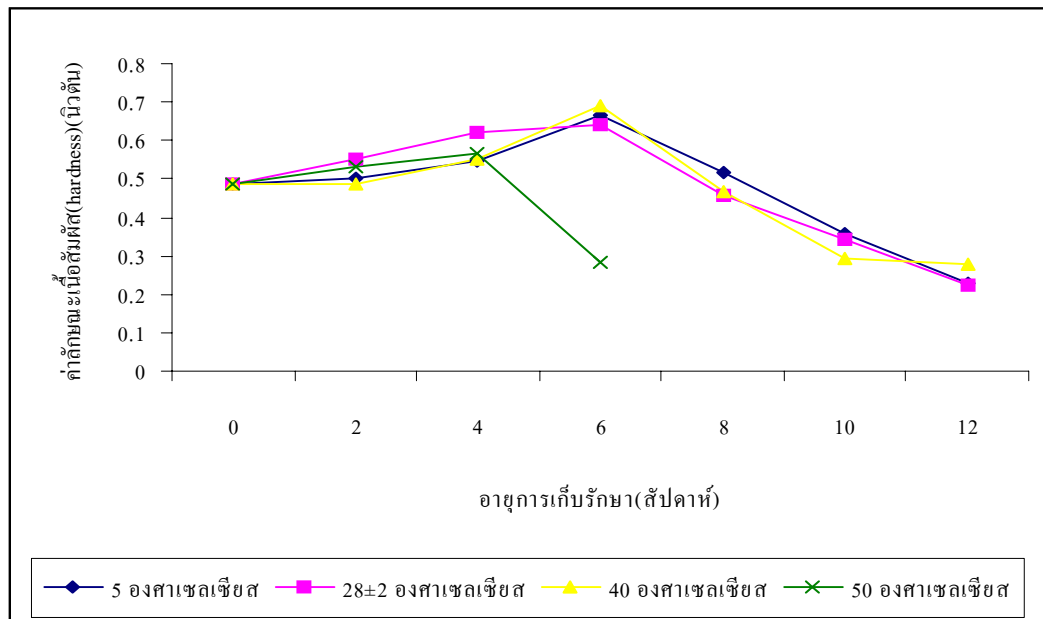
หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวดังที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

10. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น

10.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพด้านค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดจนถึงสัปดาห์ที่ 6 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 3 เนื่องจากเมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้นลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋นจะมีความเปราะมากขึ้น ทำให้เมื่อใช้แรงกดเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ข้าวแต๋นเกิดการแตกหักได้ โดยมีค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.225-0.691 นิวตัน

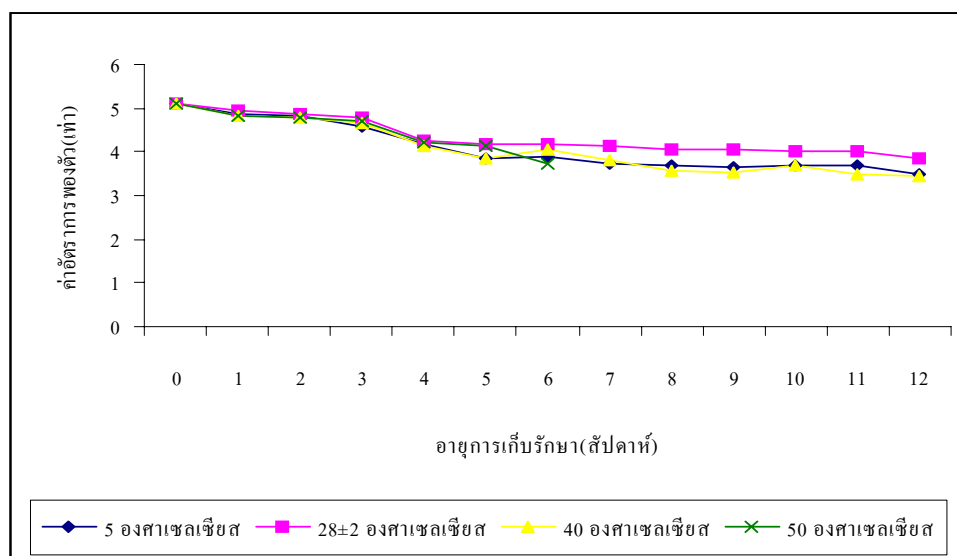


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

ค่าสีของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป เมื่อผ่านการเก็บรักษา 0-12 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงค่า ความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) โดยค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จะลดลงในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ละมุล (2541) เพลงพิน (2541) และ Chrastil (1994) ที่ได้ศึกษาคุณภาพของแป้งข้าวที่พบว่าเมื่อสีเข้มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษา โดยเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning) คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สร้างสารประกอบสีน้ำตาลประเภท เมลานอยดิน (melanoidins) จึงทำให้สีของแป้งเข้มขึ้น (งามชื่น, 2539; Chrastil, 1994) โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.18-42.97 ค่าสีแดง (a^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.52-4.28 และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.78-10.95

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพด้านค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลง ดังภาพที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการพองตัวนั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น โดยเมื่อเก็บ นานขึ้นความชื้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการพองตัวน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำในวัตถุดิบ ไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน จึงมีน้ำเหลือ

ในโครงสร้างการพองตัวจึงไม่ดี (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2542) โดยมีค่าอัตราการพองตัวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.45-5.09 เท่า



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการพองตัวของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

10.2 คุณภาพทางเคมี

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีด้านปริมาณความชื้น ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ จะสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะการเก็บรักษา โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 7.00-8.25

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีด้านปริมาณน้ำอิสระ(a_w) ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้นขณะเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทอากาศระหว่างบรรจุภัณฑ์ โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.658-0.713

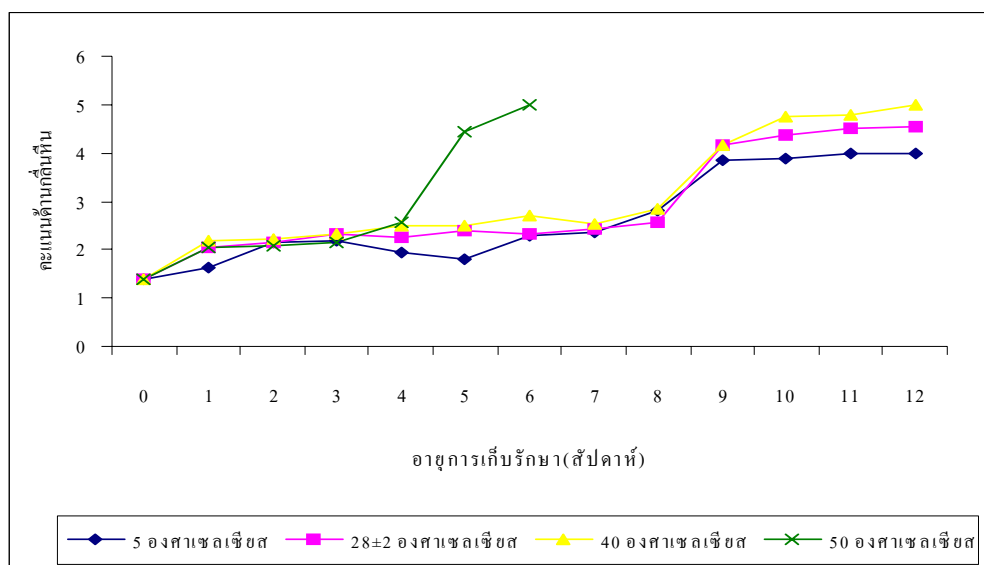
10.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 3 เดือน ในสภาวะอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียสพบว่า ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ในข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บอุณหภูมิ 5 28 40 และ 50 องศาเซลเซียส

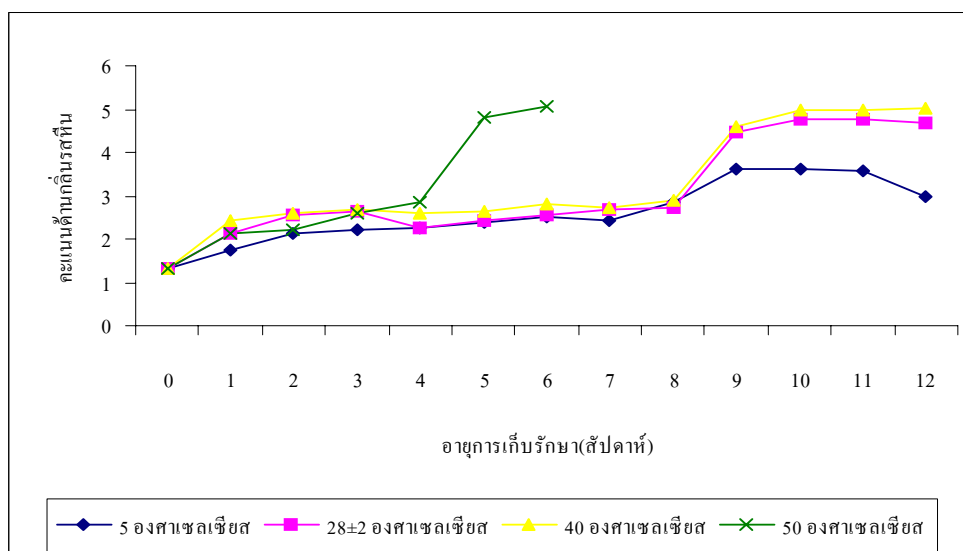
10.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของการทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟในภาชนะบรรจุอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทำการทดสอบจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ทางด้านกลิ่นหืน ความกรอบ และกลิ่นรสหืนของข้าวแต๋นหลังอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ระดับความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นหืน และกลิ่นรสหืน ของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ระดับความเข้มเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นหืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5 และ 6 โดยมีระดับความเข้มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.40-5.01 และ 1.33-5.06 ตามลำดับ เนื่องจากการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ไฮโดรไลซิสเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าวทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ส่วนออกซิเดชันเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) และการสัมผัสกับออกซิเจน จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในข้าว (สุภาวดี, 2542) โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์เป็นสารเปอร์ออกไซด์และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิล ส่วนกรดไขมันอิสระเกิดออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิลเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติ (off-flavor) (สุภาวดี, 2542; อรอนงค์, 2534)

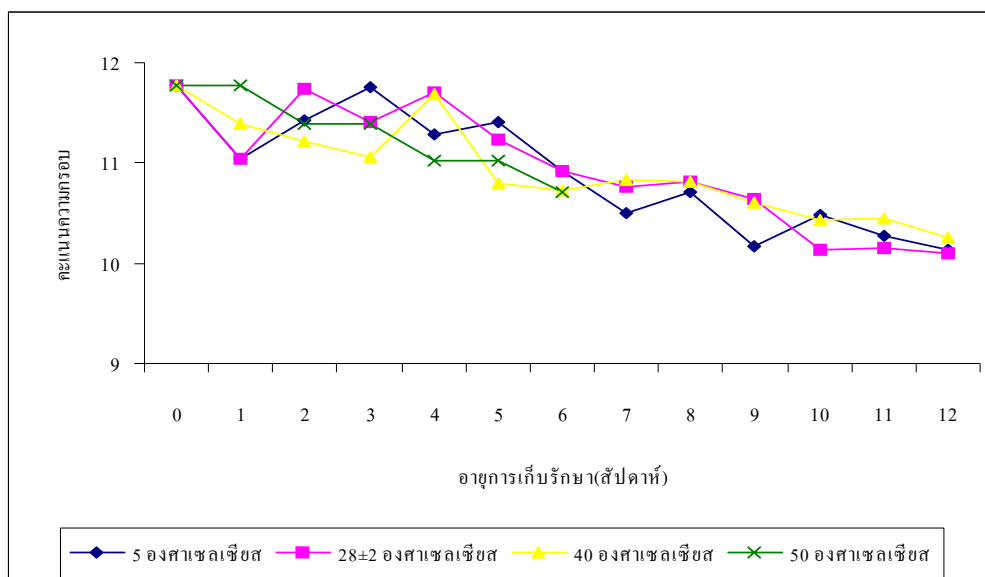


ภาพที่ 5 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ้งขึ้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์



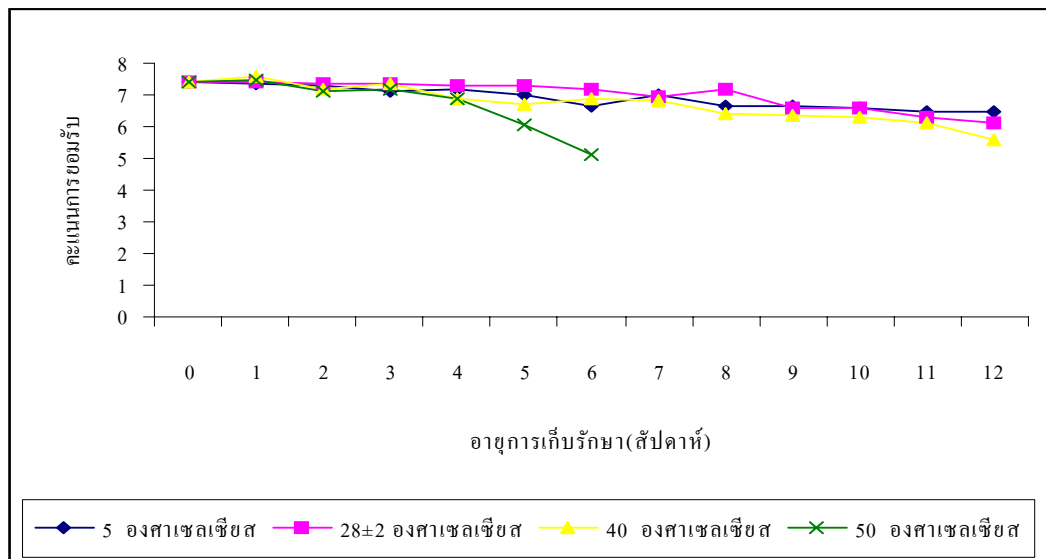
ภาพที่ 6 คะแนนความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ้งขึ้นของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

ระดับความเข้มเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ระดับความเข้มเฉลี่ยคุณลักษณะด้านความกรอบมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 7 โดยมีระดับความเข้มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.10-11.77 เนื่องจากเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานจะสูญเสียความกรอบ เนื่องจากอาจเกิดการดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป



ภาพที่ 7 ความหนาแน่นเฉลี่ยของไข่ของลักษณะด้านความกรอบของไข่แดงถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

การยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวมลดลงจนไม่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดจาก 7.60 – 5.13 ในสัปดาห์ที่ 12 ของการเก็บรักษา การศึกษาอายุการเก็บรักษาไข่แดงถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 อุณหภูมิห้อง (28±2) 40 และ 50 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้นาน 42 วัน และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้นาน 84 วัน ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 คะแนนด้านการยอมรับคุณภาพของข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าว มาทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้สมการของ Labuza (1982) สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น คือ 5 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง คือ 28 องศาเซลเซียส ได้ดังนี้

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_1 (^{\circ}\text{C})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_2 (t_1 + 10) (^{\circ}\text{C})}$$

$$Q_{10}^{\Delta_{10}} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_1 (40^{\circ}\text{C})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } t_2 (50^{\circ}\text{C})}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta = \text{ผลต่าง } t_1 \text{ และ } t_2$$

$$Q_{10} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{84}{42} = 2.0$$

$$= \frac{t_1 \text{ (ทำนาย)}}{t_2}$$

$$\Delta = 40 - 5 = 35 \text{ และ } 40 - 28 = 12$$

$$\text{ดังนั้น} \quad Q_{10}^{\Delta_{10}} = \frac{t_1 (5^\circ\text{C})}{t_2 (40^\circ\text{C})}$$

$$\begin{aligned} t (5^\circ\text{C}) &= Q_{10}^{\Delta_{10}} \times t_2 (40^\circ\text{C}) \\ &= 2.0^{35/10} \times 84 \\ &= 950 \text{ วัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad t (28^\circ\text{C}) &= Q_{10}^{\Delta_{10}} \times t_2 (40^\circ\text{C}) \\ &= 2.0^{12/10} \times 84 \\ &= 193 \text{ วัน} \end{aligned}$$

จากการคำนวณสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ พบว่า เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้ 950 วัน และเก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาได้ 193 วัน โดยข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายทั่วไปและบรรจุในถุง Polyethylene (ที่มีการบรรจุข้าวแต๋นขายในท้องตลาด) มีอายุของผลิตภัณฑ์นานประมาณ 3-6 เดือน (องค์การบริหารส่วนตำบลพระบาทวังดวง, ม.ป.ป)

11. ศึกษาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

โดยใช้ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรม รวบรวมโดยศูนย์วิจัยกสิกรไทย (นิรนาม, 2540) ซึ่งแบ่งสัดส่วนต้นทุนดังนี้ คือจากต้นทุนทั้งหมด 100 ส่วน คิดเป็นค่าวัตถุดิบร้อยละ 68.6 ค่าแรงงานร้อยละ 5.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 12.1 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรร้อยละ 4.5 และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 9.2 พบว่า ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟที่มีปริมาณการบรรจุ 100 กรัม มีต้นทุนการผลิต 3.71 บาท และจากการสำรวจตลาด พบว่า ข้าวแต๋นที่จำหน่ายในตลาดปัจจุบันมีราคาเฉลี่ย 5-12 บาทต่อน้ำหนัก 100 กรัม จากการเปรียบเทียบราคาผลิตภัณฑ์โดยประมาณดังกล่าว พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟมีต้นทุนการผลิต

ต่ำกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายในท้องตลาด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถแข่งขันทางการตลาดกับข้าวแต๋นที่มีจำหน่ายปัจจุบันซึ่งใช้วิธีการทอด ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่มีไขมันน้อยกว่า และมีราคาใกล้เคียงกับข้าวแต๋นที่ผ่านการทอดที่จำหน่ายในปัจจุบัน

12. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูป

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) กับประชาชนในเขตพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 500 คน ซึ่งมีชายร้อยละ 32.80 หญิงร้อยละ 67.2

จากการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ผู้บริโภค ร้อยละ 84.80 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภค ร้อยละ 15.20 ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีขนาดเล็ก ลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งกว่าข้าวแต๋นที่ทอด ไม่ชอบหนึ่รารคน้ำอ้อย และกลิ่นไม่หอมเหมือนข้าวแต๋นที่ทอด และถ้ามีผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกวางจำหน่ายผู้บริโภค ร้อยละ 69.20 จะซื้อผลิตภัณฑ์ ไม่แน่ใจว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องพิจารณาถึงความสะดวกในการซื้อ ร้อยละ 22.4 ไม่ซื้อ ร้อยละ 8.40 เนื่องจากไม่ชอบกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ และเหตุผลที่ผู้บริโภคจะซื้อมากที่สุดคือ ไม่มีกลิ่นน้ำมัน ร่องลงมาคือ เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ ใช้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน

สรุปผลการวิจัย

สถานะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ คือ การใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ขั้นตอนการลดความชื้นในข้าวแต๋นใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 160 นาที และนำข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปจำนวน 6 ชิ้นต่อครั้ง อบในเตาไมโครเวฟที่ความร้อน 900-1,000 วัตต์ เป็นเวลา 30-35 วินาที จากการเปรียบเทียบคุณภาพข้าวแต๋นจากการอบด้วยเตาไมโครเวฟกับข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดจำนวน 5 ตัวอย่าง และจากการสืบค้นอีก 5 ตัวอย่าง พบว่าข้าวแต๋นที่ผลิตได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟมีปริมาณไขมันเฉลี่ยร้อยละ 0.35 ซึ่งมีปริมาณไขมันน้อยกว่าข้าวแต๋นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และจากการสืบค้นซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 14.68-33.08 และผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถึงสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ ร้อยละ 84.80 และมีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีจำหน่ายในท้องตลาด ร้อยละ 69.20 โดยเหตุผลที่ผู้บริโภคจะซื้อ คือ ไม่มีกลิ่นน้ำมัน เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ ใช้เป็นของฝาก และสะดวกในการรับประทาน

ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนการผลิตประมาณ 3.71 บาทต่อ 100 กรัม จากการทำนาย พบว่า ข้าวแต่นึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้นาน 950 วัน และเก็บอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ได้นาน 193 วัน

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มงานควบคุมคุณภาพ. 2548. คู่มือปฏิบัติงานการทดลองคุณภาพเมล็ดพันธุ์ สำนักงานขยายเมล็ดพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร, เชียงใหม่.
- ขนิษฐา อุ่มอารีย์. 2549. ผลของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของขนมอบพองจากข้าวเหนียวหัก. การค้นคว้าอิสระปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คู่มือเตาอบไมโครเวฟ. 2532. หนังสือคู่มือไมโครเวฟ. สำนักพิมพ์อุดมศึกษา, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2531. คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสถาบันวิจัยข้าว. เอกสารการประกอบบรรยายเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 94-101 น.
- . 2538. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสารเพื่อบริโภคและส่งออก. เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี. สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- . 2541. ผลิตภัณฑ์ข้าว, น. 45-90. เอกสารการสอนวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร. หน่วยที่ 1-7. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- . 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- จุลจันทร์ นันทมาลา. 2545. ข้าวแต่น. ในสกุลไทย. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.sakulthai.com/Dsakulcolumndetailsql.asp?stcolumnid=1550&stiss>. (27 ตุลาคม 2550)

- ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ. ม.ป.ป. การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (browning).
[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.sc.chula.ac.th/clubs/FoodClub/page_120.htm.
(15 มกราคม 2551)
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนภาคเหนือ. ม.ป.ป. ข้าวแต่น.
[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
www.dental.anamai.moph.go.th/oralhealth/kanom/sweets_detail.php?id_sweets=10025
(13 เมษายน 2551)
- ธงชัย สุวรรณสิขณ. 2535. การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดฟรีเจลาติน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิคม คำทอง และอริสา มะโนคำ. 2547. การศึกษาอุณหภูมิการอบของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นจากข้าวกล้อง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง, ลำปาง.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอ.เอส. พรินต์ติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2540. บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป: ฟาสต์ฟู้ดแบบไทย. สรุปข่าวธุรกิจธนาคารกสิกรไทย
19 (3):8-18.
- _____. 2545. ความปลอดภัยในการใช้ไมโครเวฟ. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
http://www.expert2you.com/view_article.php?art_id=807. (30 พฤษภาคม 2552)
- _____. 2549. ยุทธศาสตร์ห้าปี 2547-2551. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
<http://www.Lampang.doac.go.th/menn.22htm> (22 มกราคม 2549.)
- _____. 2550. ข้าวแต่นน้ำเตงโม. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
www.scrapbook.diaryise.com/?20071205. (12 ธันวาคม 2550)
- นิตา ศรีภัทรชยากร และสุภาพร จิตรประภากรณ์. 2538. การศึกษาคุณสมบัติของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเพื่อใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรู. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- บริษัท กรุงไทยการไฟฟ้า จำกัด. ม.ป.ป. เคล็ดลับการปรุงอาหารด้วยเตาไมโครเวฟชาร์ป.
- บุญธรรม กิจปรีชาบริสุทธิ์. 2537. เทคนิคการสร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยมหิดลศาลายา, นครปฐม.

- ประชา บุญญศิริกุล และจุฬาลักษณ์ จารุณข. 2542. การพัฒนาอาหารเข้ารักษาติพร้อมบริโภคที่มี
ปลายข้าวเจ้าเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดฟอง. เกษตรศาสตร์(วิทฺย). 33(3) :
415-429.
- พนัธพา จันทวัฒน์, ณรงค์ นัยมวิทฺย และธเนศ แก้วกานัด. 2532. ผลของความชื้น การกระจาย
ความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของเคบหมุ. อาหาร. 19(2) : 79-88
- เพลงพิน ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยแปลง
ปริมาณอะไมโลส คุณสมบัตินทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- เพลินใจ ดังคณะกุล. 2546. การทำข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพ. อาหาร. 33 : 90-93.
- พรชนก โชติช่วง ศศิธร สุดไกรไทย และสุนทร ทองอิม. 2546. ผลของปัจจัยกระบวนการผลิต
ข้าวแต่น้ต่อคุณภาพข้าวแต่น้แดงโม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- มานะ จิงตระกูล. 2531. การพัฒนาถั่วลิสงแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เมทนี นพคุณ และแสงเดือน หมั่นสอน. 2550. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการงอกตัวของข้าวแต่น้.
ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ลำปาง.
- ละมุล วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยแปลงปริมาณไขมัน
คุณสมบัตินทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- รัชณี ดันทะพานิชกุล. 2537. เคมีอาหาร. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- รัตนันท์ พรรณนารุณทัย. ม.ป.ป. Water Activity Theory. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา
www.decagon.com (20 มกราคม 2551)
- รุจิพร จารุพงศ์. 2545. ข้าวพันธุ์ดี. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- รุ่งนภา วิสิฐอุดการ. 2540. เอกสารคำสอนการประเมินอายุการเก็บของอาหาร. ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2543. การวิเคราะห์กระบวนการเจลาตินในเซชันและรีโทรกราเดชันที่มีผล
ต่อการงอกตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว. รายงานผลการวิจัย โครงการวิจัย
ทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เรณู ปิ่นทอง. 2546. บทปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหารขั้นสูง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, เชียงใหม่.

วัชรินทร์ ปิยะรัตน์. 2531. การให้ความร้อนในระบบไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหาร. อาหาร. 18(1)
: 41-47.

วาณี เอี่ยมศรีทอง และประหยัด สายวิเชียร. 2538. อาหารล้านนา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
เชียงใหม่.

วารสารจารย์พา. 2545. บทบาทของ Water Activity (a_w) ในอุตสาหกรรมอาหาร.
[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.phtnet.org/article/ViewArticle.aspx?id=12>
(15 มกราคม 2551)

วิไลสนา โพธิ์ศรี. 2540. คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจากแหล่งปลูกที่สำคัญใน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วิไล ปาละวิสุทธิ. 2549. เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเชิงพาณิชย์. กิรรุ่งเรือง. พิมพ์ครั้งที่ 2.
เอกสารวิชาการศูนย์พันธุ์ข้าวพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบัน เทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ เสรีรัตน์, สมชาย หิรัญกิตติ, จิรศักดิ์ จิระจันทร์, ขวาลิต ประภานนท์, ณา จันทรสัม
และวลัยลักษณ์ อัครีวงศ์. 2540. การวิจัยตลาดฉบับมาตรฐาน. อ้างโดย ชีรวัดน์ เทพใจกาศ
การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากแป้งมันเทศและเนื้อปลาป่น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริเพ็ญ มีแก้ว และสุวรรณี ถนอมรัตน์กุล. 2546. การหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแต๋นน้ำจิง.
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในบรมราชูปถัมภ์. [ระบบ
ออนไลน์] แหล่งที่มา www.agri.vru.ac.th/research_sfood/student_2.htm. (13 เมษายน 2551)

ศิราพร วิเศษสุรการ, เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ และโสภา อิทธิวงษะ. 2534. การใช้ปลายข้าวเจ้าในการ
พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้า. อาหาร. 21 (1) : 74-81.

ศูนย์รวมข้อมูลคุณภาพเพื่อสุขภาพคุณ. 2552. แม่ครัวยุคใหม่ใช้ไมโครเวฟอย่างไรให้ปลอดภัย.
[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://healthy.in.th/categories/prevention/news/55>.
(30 พฤษภาคม 2552)

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรม-
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานข้าวแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. “ตารางแสดงคุณลักษณะทางกายภาพเคมี และโภชนาการของข้าวพันธุ์ต่างๆที่นิยมปลูกในประเทศไทยในปัจจุบัน”.

[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.moac.go.th/builder/rice (3 ตุลาคม 2549)

สันติ ทิพยงค์. 2534. ภาชนะสำหรับเตาอบไมโครเวฟ. อาหาร. 21(3) : 213-214.

สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2550. คุณภาพข้าว. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, ปทุมธานี.

สุดาตวง เรืองรุจิระ. 2540.ระเบียบวิจัยตลาดเบื้องต้น. อ้างโดย ชีรวัฒน์ เทพใจกาศ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากแป้งมันเทศและเนื้อปลาป่น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุบลรัตน์ พรหมพิง. 2549. ผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นเสริมใยอาหารจากสับปะรดและการยอมรับของผู้บริโภค : กรณีศึกษาในเขตจังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

องค์การบริหารส่วนตำบลพระบาท. มปป. ผลิตภัณฑ์ของตำบล.[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :

<http://www.prabatwangtuang.ob.tc/otop.htm>. (2 มิถุนายน 2550)

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. The Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.

Arambula-Villa, G., Gomez-Hernandez, J., and C.A. Ordaz-Falmit. 2001.

Physicochemical, structural and textural properties of torillas from extruded instant corn flour supplemented with various type of corn lipids. J. of Cereal Science. 33 : 245-252.

Beachell, H.M. 1967. Breeding for accepted cooking eating quality. Intern Rice Comm.

Newsletter (Spec. issue): 161 p.

Beynum, G.M.A. Van and J.A. Roels. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Decker, Inc., New York.

Cagampang, G.B., C.M. Perez, and B.O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. J. Science Food Agriculture. 24 : 1589-1594.

- Chrastil. 1994. Study on sugar profile of rice during ageing by capillary electrophoresis with electrochemical detection. [Online]. Available
: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T6R-4BHJX203&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d73f49a447e61e760eb2b299e62536f8. (15 October 2007).
- Feldberg, C. 1969. Extruded starch-based snack. *Cereal Sci. Today*. 4 : 211-215.
- Fellow, P.J. 1990. *Food Processing Technology principle and practice*. Ellis Horwood Limited. 505 p.
- Fu, Y.C., Yang, B.B., Chen, C.J., and Sheen, S.S. 2005. An apparatus for on-line measuring electric field intensity during microwave heating: a theoretical consideration. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 743-757.
- Funebo, T., Ahrne, L., Prothon, F., Kidman, S., Langton, M., and Skjoldebrand C. 2002. Microwave and convective dehydration of ethanol treated and drying kinetics. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 603-614.
- Garrick, P. 1967. Recent advances in the use of microwave energy in the food industry. *Food Trade Rev.* Jan. 36-39.
- Goldblith, S.A. 1966. Basic principles of microwave and recent development. *Advances in Food Res.* 15: 277-301.
- Goodman, D.E. and R.M. Rao. 1984. Amylose content and puffed volume of Gelatinized rice. *J. Food Sci.* 49 : 1204-1205.
- James, C.S. 1992. *Analytical Chemistry of food*. Blackie Academic & Professional, Glassgow. 178 p.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 16 : 334-338.
- King, W.R. 1989. Listeria and Salmonella in Perspective. *Proceedings of Microwave Technical Association Conference*, London.
- Labuza, T.P. 1982 Moisture gain and loss in packaged foods. *Food Tech.* 36(4) : 92-94.
- Labuza, C., and Kreisman, L. (No date). Application of open dating to specific foods. [Online]. Available : <http://www.foodmarketexchange.com> (15 August 2004).

- Lawless, H.T. 1998. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Chapman & Hall, Inc., New York. 819 p.
- Leszkowiat, M.J. Barichell, V. Yada, R.Y., Coffin, R.H., Loughheed, E.C., and Stanley, D.W. 1990. Contribution of sucrose to nonenzymatic browning in potato chips. *J. Food Sci.* 55(1) : 281-282,284.
- Little, R.R., G.B. Hilder and E.H. Dawson. 1958. Differential of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chem.* 35 : 111-126.
- Liu, C. M., Wang, Q. Z., and Sakai, N. 2005. Power and temperature distribution during microwave thawing, simulated by using Maxwell's equations and Lambert's law. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 9-21.
- Matrid, N., Gulum S., and Levent, B. 1998. Differential scanning calorimetry determination of gelatinization rates in different starches due to microwave heating. [Online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/science>. (15 August 2004).
- Matz, S.A. 1959. *The Chemistry and Technology of Cereal as Food and Feed*. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. 732 p.
- . 1970. Manufacture of breakfast cereal. อ้างโดยพันธิพา และคณะ. ผลของความชื้น การกระจายความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของแครกเกอร์. *อาหาร*. 19(2) : 79-88
- Matz, S.M. 1984. *Snack Food Technology*. 2nd ed., AVI Publishing Co., Inc., Connecticut.
- Miller, R.A., and Hoseney, R.C.(1997). Method to measure microwave-induced toughness of bread. *Journal of Food Science*, 62 (6), 1202-1204.
- Pokorny, J. 1999. Chang of Nutrients at Frying Temperature, pp 69 103. In *Frying of food : oxidation, nutrient and non nutrient antioxidant' biologically active compounds and high temperatures*. Technomic Publishing Lancaster. 276 p.
- Reberts, R.L., A.L. Potter, E.B. Kester and K.K. Keneaster. 1954. Effect of processing conditions on the expanded volume, color, and soluble starch of parboiled rice. *Cereal Chem.* 31:121-129.
- Safety Health Environment. 2007. ไมโครเวฟคืออะไรและทำงานได้อย่างไร. [Online]. Available [http://she.cpportal.net/หน้าแรก/บทความวิชาการ/](http://she.cpportal.net/หน้าแรก/บทความวิชาการ/tabid/460/articleType/ArticleView/articleId/29.aspx) tabid/460/articleType/ArticleView/articleId/29.aspx . (30 พฤษภาคม 2522).

Shibuya. N and T.Iwasaki, 1982. effect of enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinized properties of aged and unaged rice flour. *Starch/Staerke*. 34, : 300-303.