รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ

Product Development of Crispy Sajor-caju Mushroom

(*Pleurotus Sajor-caju*)

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร.จินดามณี แสงกาญจนวนิช	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี
2. ดร.นรินทร บุญพราหมณ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี
3. นางสาวเปรมวดี ขัตตะโล	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี
4. นางสาวภัทราพร จุลราช	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากจังหวัดอุบลราชธานี

ประจำปีงบประมาณ 2548 .

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อบ.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะทำงานขอขอบคุณจังหวัดอุบลราชธานีในการให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย ประจำปี 2548 และขอขอบคุณนักวิชาการเกษตร นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่สำนักงานเลขานุการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ

จินดามณี แสงกาญจนวนิช นรินทร บุญพราหมณ์ เปรมวดี ขัตตะโล ภัทราพร จุลราช*

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 160°C และ 180°C และใช้เวลาในการทอด 3 ระดับคือ 5, 6 และ 7 นาที จากนั้นนำมาอบเพื่อไล่น้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์โดยการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิและเวลา 2 ระดับคือ อบที่ 90°C เป็นเวลา 50 นาที และอบที่ 110°C เป็นเวลา 30 นาที และทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์โดยใช้ผลการทดสอบการยอมรับ พบว่าเห็ดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 7 นาที และอบที่ 90°C เป็นเวลา 50 นาที ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด เวลาที่ใช้ในการทอด รวมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ มีผลต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความกรอบ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างในด้านรสชาติ จากนั้นนำเห็ดทอดกรอบที่สภาวะดังกล่าวมาทำการทดลองหาวิธีการบรรจุที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบไว้ได้นาน โดยบรรจุในถุงลามิเนตฟอยล์ที่ใช้สภาวะการบรรจุที่แตกต่างกันคือเติมก๊าซไนโตรเจน หรือใส่ซองดูดความชื้น หรือเติมก๊าซไนโตรเจนร่วมกับการใส่ซองดูดความชื้น ทำการทดลองโดยเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่าค่า A_w ของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใส่ซองดูดความชื้นร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนมีค่า Hardness ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงได้ว่ารักษาความกรอบได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: การแปรรูปเห็ด เห็ดทอดกรอบ เห็ดกรอบ การทอด

* ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Abstract

Product Development of Crispy Sajor-caju Mushroom (*Pleurotus Sajor-caju*)

Jindamanee Sangkarnjanawanich, Narintorn Boonbrahm, Premwadee kattalo, Patraporn Julrat*

Product development of crispy Sajor-caju mushroom (*Pleurotus Sajor-caju*) by frying the mushrooms at 160°C and 180°C, for 5, 6 and 7 mins long. Then bake the samples in a hot air oven to get rid of the excess oils at either 90°C for 50 mins or at 110°C for 30 mins. Finally, select the samples according to an acceptance test. It is found that the samples fried at 180°C for 7 mins, and baked at 90°C for 50 mins receive the highest score for overall acceptance. Moreover, except the taste, the results indicate that appearance, color, flavor, crispiness, texture, and overall acceptance are significantly affected by frying time and temperature ($p<0.05$). Then find the optimum packing system for the selected sample by packing the samples in laminated foil bags at 3 conditions—flush with nitrogen gas, pack with silica gel sachet, or flush with nitrogen gas and pack with silica gel sachet. Keeps all treatments at 25°C for 3 weeks. The results illustrate that A_w of all samples get higher, and the lowest Hardness is obtained from the sample flushed with nitrogen gas and packed with silica gel sachet, which imply that it can keep the sample crisp for the longest period of time.

Key word: mushroom processing, fried mushroom, crispy mushroom, frying

*Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ผลงานและ/หรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
เห็ดนางฟ้า	3
-ลักษณะทางชีววิทยาของเห็ดนางฟ้า	3
-วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้า	5
-การเพาะเห็ดนางฟ้า	6
-คุณค่าทางโภชนาการ	10
-ข้อควรระวัง	13
การทำให้อาหารกรอบและแห้ง	14
-การทอด (Frying)	14
การทอดแบบใช้น้ำมันน้อย	15
การทอดแบบใช้น้ำมันมาก	15
น้ำมันสำหรับทอด	16
ผลของความร้อนในการทอด	19
ปัจจัยที่ทำให้อาหารอมน้ำมันขณะทอด	20
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
-การอบ (Baking)	22
หลักการ	22
ผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส	23
ผลต่อลักษณะสี กลิ่น และรสชาติ	23
การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)	24
การปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์	26

ก๊าซไนโตรเจน 28
สารดูดความชื้น 29
อุปกรณ์และวิธีการ 31
วัตถุดิบ 31
อุปกรณ์ 31
สารเคมี 32
วิธีการ 33
-วิธีการเตรียมแป้งชุบทอด 33
-วิธีการทดลอง 34
การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเห็ดนางฟ้าสด 34
การศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสม 34
การศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสม 36
การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 37
ทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ 37
ทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี 38
ทดสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ 38
ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส 38
การวางแผนการทดลอง 38
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล 39
ผลการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสม 39
ผลการศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสม 47
สรุปผลการทดลอง 58
ข้อเสนอแนะ 59
เอกสารอ้างอิง 60
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ 64
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี 71
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ 78
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส 81
ภาคผนวก จ รวมภาพจากการทดลอง 89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบทางอาหารจากเห็ด 100 กรัม	10
2	เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเห็ดกับอาหารชนิดอื่นใน 100 กรัม	11
3	ดรรชนีของกรดอะมิโนจำเป็นของเห็ดนางฟ้าเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์	11
4	องค์ประกอบทางอาหารของเห็ดเฉพาะส่วนที่กินได้	12
5	แสดงชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์	17
6	แสดงองค์ประกอบของชนิดกรดไขมัน ไวตามินอีในน้ำมันพืชแต่ละชนิด	18
7	แสดงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์	40
8	แสดงผลทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์	44
9	แสดง % Yield และ % Weight loss ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์	46
10	แสดงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเห็ดนางฟ้าสดและผลิตภัณฑ์	47
11	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา3 สัปดาห์	49
12	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน	50
13	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่าง	54
14	ผลการวิเคราะห์เชื้อ Total bacteria ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน	56
15	ผลการวิเคราะห์เชื้อยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน	57

ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบที่มีต่อค่าสี L	65
2	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบที่มีต่อค่าสี *a*	66
3	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบที่มีต่อค่าสี *b*	67
4	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบที่มีต่อค่า Hardness (N)	67
5	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุและระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25°C ที่มีต่อค่า L	68
6	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25°C ที่มีต่อค่า *a*	68
7	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25°C ที่มีต่อค่า *b*	69
8	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษา	69

	ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีต่อค่า Hardness (N)	
9	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีต่อค่า a_w	70
10	ผลการวิเคราะห์ผลของสภาวะบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีต่อความชื้น	77
11	ผลการวิเคราะห์เชื้อ Total bacteria ในผลิตภัณฑ์	79
12	ผลการวิเคราะห์เชื้อยีสต์และราในผลิตภัณฑ์	80
13	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ	82
14	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี	83
15	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น	84
16	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ	85
17	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ	86
18	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส	87
19	ผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ ที่มีต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม	88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพเห็ดนางฟ้าและเห็ดนางรม	3
2	วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้า	5
3	แสดงค่า L *a b* ของผลิตภัณฑ์	41
4	แสดงค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์	42
5	แสดงผลิตภัณฑ์ใน Treatment ต่างๆ จากซ้ายไปขวา	45
6	แสดงค่าสี L ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	51
7	แสดงค่าสี *a* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	51
8	แสดงค่าสี *b* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	52
9	แสดงค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	53
10	แสดงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ทำเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	53
11	แสดงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์	55

ภาพผนวกที่

1	ภาพเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี	89
2	ภาพเครื่องมือวัดค่าทางกายภาพ	90
3	ภาพเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต	91
4	ส่วนผสมต่างๆ ของแป้งชุบทอด	92
5	ภาพวิธีการผสมแป้งชุบทอด	93
6	ภาพวิธีการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบ	94

ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากเห็ดนางฟ้า

Snack Food Product Development from Sajor-caju Mushroom (*Pleurotus Sajor-caju*)

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ และมีภูมิประเทศที่แตกต่างกันในหลายพื้นที่ จึงทำให้สามารถเพาะปลูกเห็ดได้หลากหลายชนิดตามแต่สภาพอากาศ เห็ดที่คนไทยนิยมรับประทานกันมาก ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดนางรมขาว เห็ดนางรมทอง เห็ดนางนวล เห็ดหูหนู เห็ดหอม เห็ดขอนขาว เห็ดฟาง เป็นต้น เมื่อเห็ดมีบทบาทด้านอาหารมากขึ้น การเพาะเห็ดจึงขยายออกไปในวงกว้าง ทำให้มีผลผลิตเห็ดเป็นปริมาณมาก และเข้าสู่กระบวนการทางการค้า อย่างไรก็ตาม เห็ดสดยังมีข้อจำกัดในด้านการตลาด การขนส่ง และการเก็บรักษา ดังนั้น ในปัจจุบันเราจึงพบเห็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่เกิดจากการแปรรูปเห็ด ไม่ว่าจะเป็นอาหารขบเคี้ยว ทอฟฟี่ อาหารเสริม หรือแม้กระทั่งยาเม็ด (นิรนาม ก, 2547)

ส่วนในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีนั้น สวนเห็ดตระการ ตำบลขามเปี้ย อำเภอตระการพืชผล ได้มีการเพาะเห็ดนางฟ้าในชุมชนเป็นจำนวนมาก ทางกลุ่มผู้เพาะเห็ดจึงได้มีความคิดที่จะแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเห็ดนางฟ้าออกสู่ตลาด และนอกจากนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเห็ดนางฟ้ายังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับคนในชุมชนได้อีกด้วย และเนื่องจากในสภาวะปัจจุบันนี้ผู้บริโภคให้ความสนใจต่ออาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น จึงทำให้คุณค่าทางด้านโภชนาการของเห็ดนางฟ้า เช่น มีโปรตีน เส้นใยจากเห็ดและมีเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย รวมทั้งรสชาติและเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์นั้น ซึ่งเป็นจุดเด่นของเห็ดชนิดนี้ (นิรนาม ก, 2547) ดังนั้น การผลิตผลิตภัณฑ์จากเห็ดนางฟ้าเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายด้วยนี้ น่าจะมีแนวโน้มที่ดีทางด้านการตลาด

ผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบจัดได้ว่าเป็นอาหารขบเคี้ยว (Snack foods) ที่มีส่วนประกอบของเห็ด แป้งชุบทอด และเครื่องเทศ เช่น กระเทียม พริกไทย เป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจในการเข้าสู่ตลาดอาหารขบเคี้ยว เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความกรอบเหมือนอาหารขบเคี้ยวทั่วไป จึงน่าจะมีศักยภาพที่จะสามารถทดแทนอาหารขบเคี้ยวอื่นๆ ได้ เห็ดนางฟ้าทอดกรอบนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคนผลิตบ้างแล้ว แต่ไม่สามารถเก็บรักษาให้คงความกรอบไว้ได้นาน เนื่องจากเห็ดนางฟ้าเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง มีครีบดอกที่สามารถอมน้ำมันได้ดีในการทอด ซึ่งหลังจากทอดเสร็จใหม่เห็ดจะมีความกรอบมาก เมื่อเก็บไว้ไม่นานเห็ดก็จะหายกรอบและเนื้อเห็ดก็จะเหนียวนุ่มขึ้น ดังนั้น โครงงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นถึงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

จากเห็ดนางฟ้าที่สามารถรักษาความกรอบได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยอาศัยกระบวนการผลิตร่วมกับเทคโนโลยีการบรรจุ

<u>วัตถุประสงค์ของโครงการ</u>

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ โดยศึกษาถึง
   1.1 อุณหภูมิในการทอด 2 ระดับ คือ 160°C และ 180°C
   1.2 เวลาในการทอด 3 ระดับ คือ 5, 6 และ 7 นาที
   1.3 การอบหลังการทอดที่อุณหภูมิและเวลา 2 ระดับ คือ ที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลาอบ 50 นาที และที่อุณหภูมิ 110°C ใช้เวลาอบ 30 นาที
2. เพื่อศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบ

<u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

1. ทราบถึงกระบวนการที่เหมาะสมในการทอดและการอบ ในการผลิตผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ
2. ได้วิธีการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบ และสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการส่งเสริมกลุ่มผู้ผลิตสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นได้
3. ได้ผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบที่คงความกรอบ มีรสชาติอร่อย และมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยอาศัยกระบวนการผลิต (ด้านเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดและการอบ) และเทคโลโลยีการบรรจุ

ผลงานและ/หรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เห็ดนางฟ้า (Sajor-caju Mushroom)

เห็ดนางฟ้ามีรูปร่างลักษณะคล้ายคลึงกับเห็ดนางรม เห็ดทั้งสองชนิดนี้จัดอยู่ในวงศ์ (Family) เดียวกัน ชื่อ "เห็ดนางฟ้า" เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นในเมืองไทย คนไทยบางคนเรียกว่าเห็ดแขก เนื่องจากมีผู้พบเห็นเห็ดชนิดนี้ครั้งแรกที่ประเทศอินเดีย โดยพบขึ้นตามธรรมชาติบนตอไม้เนื้ออ่อนที่กำลังผุ ในแถบเมืองแจมมู (Jammu) บริเวณเชิงเขาหิมาลัย และอีกสายพันธุ์หนึ่งเรียกว่า เห็ดนางฟ้าภูฐาน เนื่องจากนำเข้ามาจากประเทศภูฐาน นอกจากนั้นเห็ดนางฟ้าแต่ละสายพันธุ์ชอบอุณหภูมิในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน บางสายพันธุ์ชอบอุณหภูมิในฤดูร้อน บางสายพันธุ์ชอบอุณหภูมิในฤดูหนาว ส่วนลักษณะของดอกเห็ดนางฟ้านั้น มีลักษณะคล้ายกันกับดอกเห็ดนางรมและดอกเห็ดเป๋าฮือ แต่เห็ดนางฟ้าจะมีสีอ่อนกว่าและมีครีบอยู่ชิดกันมากกว่า ด้านบนของดอกจะมีสีนวลๆ ถึงสีน้ำตาลอ่อน ดอกเห็ดมีขนาดตั้งแต่ 5-14 เซนติเมตร และจะมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 30-120 กรัม (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538; วัลลภ, 2542) ซึ่งดอกเห็ดนางฟ้าและเห็ดนางรมนั้น มีลักษณะดังภาพที่ 1

(ก) (ข)

ภาพที่ 1 ภาพ (ก) เห็ดนางฟ้า และ (ข) เห็ดนางรม
ที่มา: ปรีชา (2547)

ลักษณะทางชีววิทยาของเห็ดนางฟ้า

1. การจำแนกเห็ดนางฟ้า (Taxonomy) (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538) ดังนี้

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Pleurotus Sajor-caju* (*Fr.*) *Sing*
ชื่อสามัญ	เห็ดนางฟ้า หรือ *Sajor-caju*
Class	Basidiomycetes
Subclass	Holobasidiomycetidae
Order	Agaricales
Family	Tricholomataceae
Genus	Pleurotus
Species	Sajor-caju

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เห็ดนางฟ้าจัดเป็นเห็ดที่อยู่ในสกุลเดียวกับเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อ แต่เห็ดนางฟ้าจะมีหมวกดอกหนาและเนื้อแน่นกว่าเห็ดนางรม ลักษณะของดอกทั่วๆ ไป ประกอบด้วยส่วนต่างๆ (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538) ดังนี้

1) หมวกดอก (Cap) จะมีเนื้อแน่น และมีสีคล้ำคล้ายเห็ดเป๋าฮื้อ แต่สีของหมวกดอกจะจางกว่า หมวกดอกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-6 นิ้ว ดอกอาจจะออกมาเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือเป็นกระจุกก็ได้

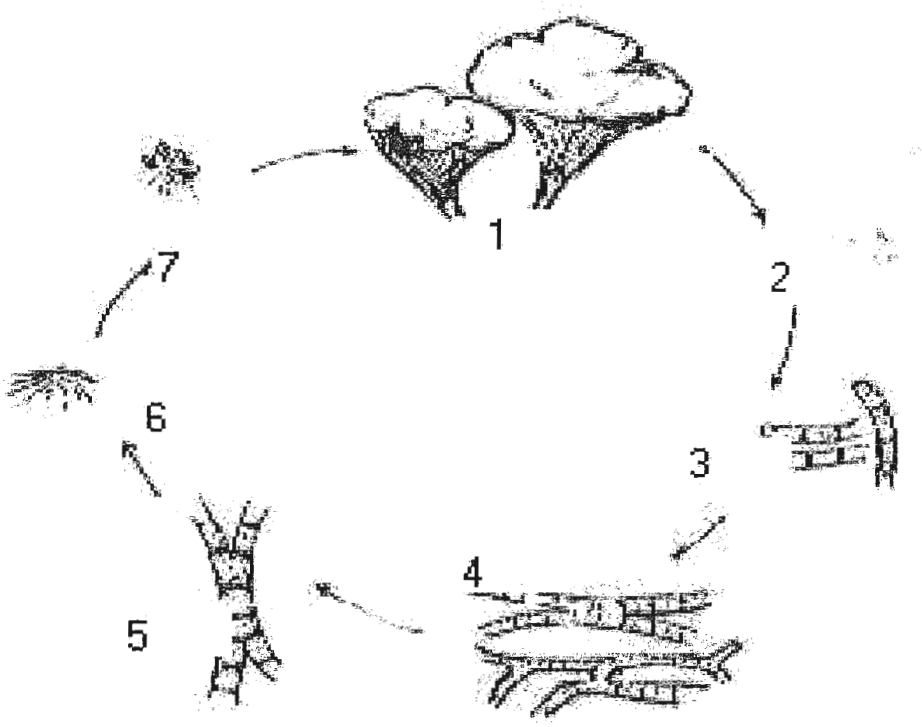
2) ก้านดอก (Stalk) ของเห็ดนางฟ้าจะเป็นเนื้อเดียวกับมวกดอก คล้ายเห็ดนางรม แต่มีเนื้อแน่นสีขาว และไม่มีวงแหวนรอบก้านดอก ถ้าเห็ดนางฟ้าเจริญเติบโตในสภาพธรรมชาติตามขอนไม้ ดอกเห็ดจะมีลักษณะเรียงรายลดหลั่นกันเป็นชั้นๆ ก้านดอกจะสั้นมาก

3) ครีบดอก (Gills) ของเห็ดนางฟ้าจะมีสีขาว ยาวตลอด และบริเวณครีบดอกจะเป็นแหล่งสร้างสปอร์ของเห็ดนางฟ้า

4) เส้นใยของเห็ดนางฟ้า (Mycelium) จะมีลักษณะค่อนข้างละเอียด และมีสีขาวมากกว่าเห็ดนางรมเล็กน้อย การเจริญเติบโตของเส้นใยจะมีลักษณะคล้ายเห็ดนางรม

วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้า

วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับเห็ดทำลายไม้ทั่วๆ ไป คือมีชีวิตอยู่ข้ามฤดู อัตคัดด้วยคลามีโดสปอร์ในท่อนไม้ พอถึงฤดูชุ่มชื้นก็งอกออกมาเป็นเส้นใย แล้วสร้างดอกเห็ดขึ้น ปล่อยสปอร์ลอยไป สปอร์งอกเป็นเส้นใยแล้วเจริญไปบนวัสดุที่เห็ดใช้เป็นอาหารได้ ก็จะเกิดเป็นดอกเห็ด วนเวียนไปเป็นวงจรชีวิต (นิรนาม ข, 2547) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้า
ที่มา: นิรนาม ข (2547)

จากภาพที่ 1 หมายเลขที่กำกับไว้ในวงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้านั้นสามารถอธิบายได้ (นิรนาม ข, 2547) ดังนี้

1. ดอกเห็ดนางฟ้าเมื่อโตเต็มที่จะสร้างสปอร์ที่บริเวณครีบ โดยการปล่อยสปอร์เมื่อแก่ออกมาเป็นระยะๆ
2. เมื่อดอกเห็ดปล่อยสปอร์ออกมาแล้ว สปอร์จะปลิวไปตามกระแสลม

3. เมื่อสปอร์ปลิวไปตกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สปอร์จะสามารถงอกออกมาเป็นเส้นใยขั้นต้นซึ่งมีเพียง 1นิวเคลียส

4. เมื่อเส้นใยขั้นที่ 1 เจริญเต็มที่แล้ว ก็จะมารวมตัวกัน (ซึ่งอาจมาจากต่างสปอร์กัน) การรวมตัวของเส้นใยขั้นที่ 1 นี้ เป็นการเชื่อมกันของเส้นใยแล้วถ่ายทอดนิวเคลียสให้มาอยู่ในเซลล์เดียวกันกลายเป็นเส้นใยขั้นที่ 2

5. หลังจากเส้นใยขั้นที่ 1 รวมตัวกันเป็นเส้นใยขั้นที่ 2 แล้ว เห็ดจะเจริญเติบโตและสร้างเส้นใยเห็ดแทนเส้นใยขั้นที่ 1 อย่างรวดเร็วบนวัสดุที่เห็ดใช้เป็นอาหาร

6. เมื่อเส้นใยขั้นที่ 2 เจริญบนวัสดุที่เห็ดใช้เป็นอาหารและโตเต็มที่แล้ว จะสะสมอาหารแล้วรวมตัวกันอีกครั้งเพื่อสร้างดอกเห็ด

7. ดอกเห็ดนางฟ้าที่เกิดจากการรวมตัวของเส้นใยเห็ดขั้นที่ 2 แล้วจะเจริญเติบโตขึ้นและเข้าสู่วงจรชีวิตใหม่ต่อไป

<u>การเพาะเห็ดนางฟ้า</u>

เห็ดนางฟ้าถูกนำไปเลี้ยงในอาหารวุ้นเป็นครั้งแรกโดย Jandaik ในปี ค.ศ. 1947 ต่อมา Rangaswami และ Nadu แห่ง Agricultural University, Coimbattore ในอินเดียเป็นผู้นำเชื้อบริสุทธิ์ของเห็ดนางฟ้าเข้ามาฝากไว้ที่ American Type Culture Collection (ATCC) ในอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1975 (นิรนาม ข, 2547) และเมื่อ พ.ศ. 2518 เห็ดนางฟ้าได้ถูกนำเข้ามาทดลองเพาะในประเทศไทย โดย ดร. ศิริพงศ์ บุญหลง โดยได้นำเห็ดนางฟ้าไปทำการเพาะเลี้ยงที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย แล้วพบว่า เห็ดชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศของประเทศไทย และในปี พ.ศ. 2520 กองวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร ได้นำมาทำการทดลองพบว่าเห็ดชนิดนี้เจริญเติบโตได้ดี เพาะง่ายและให้ผลผลิตเร็ว จึงมีการเพาะกันอย่างแพร่หลายในทางการค้ามากขึ้น (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538)

จากผลการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเห็ดสกุลนางรม (*Pleurotus* sp.) ได้แก่ เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมภูฐาน เห็ดนางรมฮังการี และเห็ดเป๋าฮื้อ พบว่าเห็ดสกุลนางรมนี้บางชนิดและบางสายพันธุ์มีความแปรปรวนสูง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความอ่อนแอของสายพันธุ์เห็ด หรือจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาสายพันธุ์ใหม่ๆ เพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2544) จึงมีการคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดนางรมภูฐานที่ให้ผลผลิตสูงเหมาะสมกับฤดูกาลและท้องถิ่น โดยการรวบรวมสายพันธุ์เห็ดจากแหล่งต่างๆ นำมาทดลองในห้องปฏิบัติการ และเพาะเปรียบเทียบสภาพธรรมชาติในฤดูกาลต่างๆ ผลการทดลองในฤดูร้อนใน

จังหวัดเชียงราย พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 24-34°C คัดเลือกได้สายพันธุ์เห็ดนางรมภูฐาน 3 สายพันธุ์ ที่ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน คือ สายพันธุ์เบอร์ 2, 4 และ 8 ซึ่งมีลักษณะการออกดอกเป็นกลุ่ม โดยเฉพาะชุดแรกจะออกดอกพร้อมกันและสม่ำเสมอ สีดอกเห็ดเป็นสีครีม ระยะการเจริญของใยเห็ดใกล้เคียงกัน คือ 27-32 วัน ส่วนสายพันธุ์อื่นๆ โดยเฉพาะที่มีดอกสีดำ การเจริญของเส้นใยค่อนข้างช้า และให้ผลผลิตเห็ดต่ำ ส่วนการทดลองในฤดูฝน พบว่า การเจริญของเส้นใยเห็ดหลายสายพันธุ์ผิดปกติและค่อนข้างช้า เกิดการปนเปื้อนสูงในช่วงหลังของการเปิดถุงเห็ดให้ออกดอก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ได้ผลผลิตต่ำ (กรมวิชาการเกษตร, 2544) สำหรับการรวบรวมและคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดสกุลนางรมจากธรรมชาติ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นพันธุ์เพื่อการค้านั้น ได้ทำการออกสำรวจและเก็บตัวอย่างเห็ดสกุลนางรมที่ขึ้นตามธรรมชาติ ในปี พ.ศ. 2544 รวม 5 ครั้ง ได้ตัวอย่างเห็ดสกุลนางรม 5 ตัวอย่าง ทำการแยกเชื้อบริสุทธิ์และเลี้ยงเส้นใยในอาหารวุ้น PDA (Potato dextrose agar) และเก็บรักษาไว้เพื่อศึกษา และพัฒนาการเพาะต่อไป สำหรับอาหารเสริมหรือวัสดุเพื่อเพิ่มธาตุอาหารเฉพาะที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใยนั้น ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นธาตุอาหารไนโตรเจนเป็นหลัก ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ เช่น แคลเซียม หรือซิลิกาที่อยู่ในรูปปูนชนิดต่างๆ เป็นอาหารเสริมอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยปรับสภาพอาหารเพาะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ โดยเสริมสร้างความแข็งแรงของเส้นใยเห็ด และโครงสร้างของดอกเห็ด ส่งผลให้ให้ดอกเห็ดมีคุณภาพดีขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเห็ดนางฟ้า

จากการที่เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดในสกุลเดียวกับเห็ดนางรม ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าจึงคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ

1. อุณหภูมิ (Temperature) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเป็นดอกเห็ดนางฟ้า คือ อุณหภูมิประมาณ 25°C เห็ดนางฟ้าจะไม่ออกดอกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15°C และสูงกว่า 35°C และการให้ก้อนเชื้อได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 20°C ในระยะเวลาสั้นๆ จะช่วยชักนำการออกดอกได้ดีขึ้น การที่ก้อนเชื้อได้รับอุณหภูมิต่ำในช่วงเวลากลางคืนก็เพียงพอที่จะช่วยชักนำการออกดอกของเห็ดนางฟ้าได้ดีขึ้น (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538)

2. ความชื้น (Humidity) เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่ต้องการสภาพความชื้นของอากาศค่อนข้างสูง สภาพของโรงเรือนมีความชื้น (Relative humidity) ไม่ต่ำกว่า 80-85% เพราะสภาพความความชื้น (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538)

3. ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุเพาะ นับว่ามีความสำคัญต่อการ เพิ่มผลผลิตเห็ดนางฟ้า มาจากการทดลองเพิ่มปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) สามารถเพิ่มไนโตรเจนในดอกเห็ดได้ 5.32% และสามารถทำให้เห็ดนางฟ้ามีผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 50% ถ้าใช้ถั่ว Alfalfa และถั่วเหลือง

จะเพิ่มธาตุไนโตรเจนประมาณ 5.46% และ 8.80% และสามารถเพิ่มผลผลิตเห็ดนางฟ้าได้ประมาณ 300% (ปัญญา และ กิติพงษ์, 2538)

การเพาะเห็ดนางฟ้ามีระบบการผลิตแยกชัดเจนได้เป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน (วัลลภ, 2542) คือ

1) การผลิตเชื้อวุ้น
2) การทำหัวเชื้อเห็ด
3) การผลิตเชื้อถุงหรือก้อนเชื้อ
4) การเพาะให้เกิดเป็นดอกเห็ด

เห็ดนางฟ้าเติบโตดีที่ pH 5-5.2 (คือเป็นกรดเล็กน้อย) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยคือ 32°C และสร้างดอกเห็ดได้ดีที่ 25°C เส้นใยมีสีขาวบริสุทธิ์และมีความสามารถเชื่อมต่อเส้นใยได้ดี สำหรับการดูดซึมอาหารนั้น ใช้น้ำตาลในแง่ของอาหารคาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยวได้ดีกว่าพวกโพลีแซคคาไรด์หรือคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (ปรีชา, 2547)

สูตรอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า

สูตร 1 การเพาะเห็ดโดยใช้ขี้เลื่อยประกอบด้วยวัสดุต่างๆ (ปรีชา, 2547) ดังนี้

1) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา หรือไม้เนื้ออ่อน 100 กิโลกรัม
2) รำละเอียด 5 กิโลกรัม
3) ดีเกลือ 0.2 กิโลกรัม
4) ปูนขาว 1 กิโลกรัม
5) น้ำ 80%

สูตร 2 การเพาะเห็ดโดยใช้ฟางหมักประกอบด้วยวัสดุต่างๆ (ปรีชา, 2547) ดังนี้

1) ฟางหมัก 100 กิโลกรัม
2) รำละเอียด 5 กิโลกรัม
3) น้ำ 75-80%

วิธีการเตรียมฟางหมักตามขั้นตอน (ปรีชา, 2547) ดังต่อไปนี้

1. นำฟางแห้งมาสับยาวประมาณ 4-6 นิ้ว และแช่ฟางให้ชื้นหมาดๆ นำปุ๋ยยูเรียมาใส่ผสมให้เข้ากันแล้วหมักในแบบพิมพ์หรือตั้งกองเป็นรูปฝาชีสูงประมาณ 1.20 เมตร ขึ้นไป แล้วคลุมกองด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของความชื้น แล้วหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน

2. เมื่อหมักครบ 3 วัน ให้ทำการกลับกองหรือกระจายกองฟาง เพื่อระบายก๊าซแอมโมเนียม และใช้ปูนขาว 1 กิโลกรัม ผสมลงไปเพื่อปรับสภาพอาหารหรือฟางหมักและคลุมกองฟางด้วยพลาสติก โดยให้เหลือส่วนปลายของกองไว้ประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องระบายอากาศ แล้วหมักเป็นเวลา 3 วัน

3. กระจายกองฟางอีกรอบเพื่อระบายความร้อนและเติมดีเกลือลงไป 0.2 กิโลกรัม หมักต่อเป็นเวลา 3 วัน

4. กระจายกองฟางอีกเป็นครั้งสุดท้าย เพื่อระบายอากาศ โดยไม่ต้องเติมอะไรลงไปอีก เมื่อฟางหมักเย็นตัวดีแล้ว จึงทำการกองฟางเป็นรูปฝาชีเหมือนเดิมและคลุมด้วยพลาสติก ทิ้งไว้อีก 3 วัน จึงนำไปใช้ได้

วิธีการเพาะเห็ดนางฟ้า มีขั้นตอน (ปรีชา, 2547) ดังนี้

1. ผสมวัสดุเพาะทั้งหมดเข้าด้วยกัน และทดสอบความชื้นให้พอเหมาะโดยควรมีความชื้นประมาณ 75-80%

2. บรรจุวัสดุเพาะลงในถุง ถ้าวัสดุเพาะเป็นขี้เลื่อยให้ใช้ถุงขนาด 6.5x12.5 นิ้ว โดยแต่ละถุงจะมีน้ำหนักประมาณ 600-800 กรัม และถ้าวัสดุเพาะเป็นฟางหมักควรใช้ถุงขนาด 7x13 นิ้ว จากนั้นอัดวัสดุให้แน่น แล้วใส่คอขวดรัดด้วยยางรัดและปิดด้วยจุกสำลี

3. นำถุงก้อนเห็ดที่บรรจุแล้วไปนึ่งฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่ง 2 แบบ (ปรีชา, 2547) คือ

3.1 การนึ่งในหม้อนึ่งไม่อัดความดัน หรือหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแบบลูกทุ่ง โดยใช้ถัง 200 ลิตร บรรจุครั้งละ 100 ถุง นึ่งนาน 1.5-2 ชั่วโมง หรือหม้อนึ่งที่ประกอบด้วยเหล็กแผ่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมบรรจุถุงได้ตั้งแต่ 500-5,000 ถุง โดยใช้ระยะเวลาในการนึ่งประมาณ 4-10 ชั่วโมง

3.2 การนึ่งในหม้อนึ่งแบบมีความดัน จะเป็นถังที่สามารถทนความร้อนสูงได้ถึง 121°C และมีความดันประมาณ 15-18 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้เวลาในการนึ่งประมาณ 2-3 ชั่วโมง

การปลูกเชื้อเห็ดลงถุง

เปิดจุกสำลีออกแล้วใช้เชื้อเห็ดในเมล็ดธัญพืชหยอดลงไปประมาณ 20 เมล็ด แล้วปิดด้วยกระดาษ นำไปบ่มให้เส้นใยเห็ดเดินต่อไป สำหรับระยะเวลาการบ่มเส้นใยนั้น เห็ดนางรมจะใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน ส่วนเห็ดนางฟ้าและเห็ดเป๋าฮื้อจะใช้เวลา ประมาณ 45-50 วัน (ปรีชา, 2547)

การเปิดดอก

เมื่อเส้นใยเห็ดเดินเต็มถุงหรือใช้เวลาในการบ่มได้ที่แล้ว นำถุงก้อนเชื้อเห็ดเข้าในโรงเรือนเปิดดอกและดึงกระดาษที่ปิดหน้าถุงออก เพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนให้ถึงประมาณ 80-85% โดยการฉีดพ่นน้ำเป็นละอองฝอยวันละ 2-3 ครั้ง จากนั้นประมาณ 7-10 วัน เห็ดก็จะเริ่มออกดอกและเก็บได้ ก่อนเก็บผลผลิตควรงดการให้น้ำ เพราะเห็ดจะเปียกชื้นไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (ปรีชา, 2547)

การเก็บเกี่ยว

ทำการดึงดอกเห็ดที่ออกจากหน้าถุงเมื่อโตเต็มที่อยู่ในระยะที่ยังไม่บาน โดยสังเกตจากขอบดอกเห็ดยังงุ้มอยู่ ดึงดอกเห็ดให้หลุดออกจากถุงทั้งกลุ่มไม่ให้เหลือโคนติดที่ถุง เพราะจะทำให้หน้าถุงเน่าทำให้มีเชื้อราอื่นหรือมีแมลงหวี่เข้าทำลาย (ปรีชา, 2547)

ผลการค้นคว้าวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของเห็ดสกุลนางรม โดยศึกษาวิธีการบรรจุหีบห่อเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเห็ดเป๋าฮื้อให้คงคุณภาพ ผลจากการทดลองเก็บรักษาดอกเห็ดเป๋าฮื้อพันธุ์ก้านยาวไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 2 วัน โดยการบรรจุเห็ดในตะกร้าพลาสติกแล้วคลุมด้วยถุงพลาสติก PE ดอกเห็ดมีสภาพพอใช้ ครีบสีขาวนวล ขอบดอกแตกบ้างในดอกที่บานมาก ก้านดอกนิ่ม มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 3% และการเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5°C และ 10°C ดอกเห็ดยังคงสภาพสดอยู่ได้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เห็ดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ครีบดอกมีสีขาวนวลคงเดิม แต่ก้านดอกจะนิ่มลง ส่วนที่อุณหภูมิ 5°C ก้านดอกแน่นและมีความสดมากกว่าแต่ครีบดอกมีสีคล้ำลง และจากการทดลองบรรจุเห็ดเป๋าฮื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ ในถุงพลาสติกทนร้อนน้ำหนักบรรจุประมาณ 800 กรัม และในถาดพลาสติกที่หุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC น้ำหนัก 200-300 กรัม แบบที่มีจำหน่ายตามซุปเปอร์มาร์เก็ต โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6-7°C พบว่า สามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 2 สัปดาห์ โดยเห็ดเป๋าฮื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ยังคงสภาพทั่วไป มีความสด หมวกดอกมีสภาพดี (สามารถจำหน่ายได้ดี) มีกลิ่นเห็ด และก้านดอกนิ่มลงเล็กน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

คุณค่าทางด้านโภชนาการ

ในด้านโภชนาการถือว่าเห็ดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งองค์ประกอบทางอาหารของเห็ดสดนั้น ได้แสดงในตางที่ 1 และการเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเห็ดกับอาหารชนิดอื่นใน 100 กรัม แสดงในตารางที่ 2 (ยงยุทธ และ นันทิยา, 2547)

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบทางอาหารจากเห็ดชนิดต่างๆ (ซึ่งมีน้ำหนัก 100 กรัม เท่ากัน)

ชนิดเห็ด	พลังงาน (แคลอรี่)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	เส้นใย (กรัม)
เห็ดหอม	21.55	0.04	2.95	2.34	1.31
เห็ดนางรม	32.39	0.04	5.67	2.13	0.40
เห็ดนางฟ้า	33.32	0.07	4.79	3.36	0.47
เห็ดโคน	48.72	0.28	5.28	6.27	1.96
เห็ดฟาง	32.38	0.07	4.75	3.16	0.60

ที่มา: ยงยุทธ และ นันทิยา (2547)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของเห็ดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่น (ซึ่งมีน้ำหนัก 100 กรัม เท่ากัน)

ชนิดเห็ด	พลังงาน (แคลอรี่)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ความชื้น (กรัม)	เกลือแร่ (กรัม)
เห็ดทั่วไป	25	0.3	4.5	3.5	92	1.0
นม	62	3.7	4.8	3.5	87	0.7
มันฝรั่ง	85	0.1	21.0	2.0	75	1.1
เนื้อ	189	13.0	0.5	18.0	68	0.5

ที่มา: ยงยุทธ และ นันทิยา (2547)

สำหรับโปรตีนจากเห็ดนั้น เป็นโปรตีนที่สมบูรณ์มีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ครบ คือ มีดรรชนีกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acid index) เท่ากับ 72-98% ของเนื้อสัตว์ มีกรดนิวคลีอิกค่อนข้างสูง และให้พลังงานน้อยเพียง 60-90 แคลอรี่/ปอนด์ น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเห็ดมีหลายชนิด ความหวานของเห็ดเนื่องจากมีน้ำตาลพิเศษ เช่น α, α-trehalose ซึ่งถูกเรียกเฉพาะว่าเป็นน้ำตาลเห็ด (Mushroom sugar) น้ำตาลนี้จะพบมากในเห็ดอ่อน เมื่อเห็ดโตเต็มที่น้ำตาล Trehalose นี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคสที่มีรสหวานลดลง เห็ดทั่วไปมีไขมันต่ำมาก อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่ดีของไวตามิน B1, B2, niacin, biotin, C และ D บางชนิดจะมีเบต้า-คาโรทีน (β-carotene) ด้วย ดังนั้น ในปัจจุบันนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันว่าเห็ดเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพราคาถูก มีกลิ่นและรสดี จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะเป็นแหล่งของโปรตีนและเป็นเสมือนสารชูรสในอาหารมังสวิรัติและอาหารเจ เพราะความหวานจากน้ำตาลพิเศษดังกล่าวของเห็ดชนิดนี้ รวมทั้งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิดด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเห็ดนางฟ้ากับเนื้อสัตว์ (หมู ไก่ และวัว) พบว่าดรรชนีของกรดอะมิโนจำเป็นและดรรชนีทางโภชนาการใกล้เคียงกัน (ศิริวรรณ และ ไมตรี, 2547) (ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4)

ตารางที่ 3 ดรรชนีของกรดอะมิโนจำเป็นและดรรชนีทางโภชนาการของเห็ดตระกูลนางฟ้าหรือนางรมเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ต่างๆ

ชนิดอาหาร	Essential amino acid index	Amino acid scores	Nutritional indexes
หมู, ไก่, เนื้อวัว	100	100	59
เห็ดตระกูลนางฟ้า/นางรม	72-98	32-89	5-28

ที่มา: ศิริวรรณ และ ไมตรี (2547)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางอาหารของเห็ดเฉพาะส่วนที่กินได้ (เทียบจากปริมาณ 100 กรัม)

ชื่อ	พลังงาน (Kcal)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	แป้งและน้ำตาล (กรัม)	Ca (มก.)	P (มก.)	Fe (มก.)	Vit. B_1 (มก.)	Vit. B_2 (มก.)	Niacin (มก.)	Vit. C (มก.)
เห็ดโคน	38	7.2**	-	5.4	9	6	1.6	0.12	0.35	-	9
เห็ดฟาง	43	3.0	1.8	3.8	8	20	1.1	0.16	0.25	13.7**	2
เห็ดหูหนู	-	1.4	0.1	9.1	60	Tr.	6.1	0.04	0.71**	2.8	21
เห็ดนางรม	-	2.1	0.3	4.3	4	61	0.3	0.02	0.13	2.7	21
เห็ดเป๋าฮื้อ	-	3.4	0.2	3.2	-	18	22.2**	9.7**	0.47	3.0	7
เห็ดขมิ้น	-	2.7	0.5	2.3	2	17	1.6	0.03	0.44	3.7	7
เห็ดเผาะ	-	2.2	0.4	6.3	39	85**	3.6	0.04	0.03	0.7	12
เห็ดลม	-	2.0	0.1	16.7	541**	7	6.0	0.24	0.02	1.2	7

หมายเหตุ Ca = แคลเซียม; P = ฟอสฟอรัส; Fe = เหล็ก; Vit. B_1 = ไวตามินบี 1; Vit. B_2 = ไวตามินบี 2; Vit. C = ไวตามินซี; Tr. = น้อยมาก

** = ค่าปริมาณสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดทั้งหมดในตาราง

ที่มา: ศิริวรรณ และ ไมตรี (2547)

ส่วนประโยชน์ในทางตัวยานั้นพบว่าเห็ดนางฟ้าหรือเห็ดนางรมนั้นมีประโยชน์คือ ช่วยลดไขมันในเลือดได้ โดยสารสกัดจากเห็ดชนิดนี้และเห็ดอีกหลายชนิด เช่น เห็ดฟางและเห็ดหอม ที่มีฤทธิ์ทางนี้ (ยกเว้นเห็ดหูหนูสายพันธุ์ที่มีขน และเห็ดเข็มทอง) ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยในการลดไขมัน โดยกลไกการลดไขมันอาจเกิดจากสารจำพวกเส้นใยที่มีปริมาณสูงในเห็ดช่วยดูดซับและขัดขวางการดูดซึมไขมันในทางเดินอาหาร นอกจากนี้ ยังพบในหนูทดลองอีกว่าสารสกัดจากเห็ดบางชนิดช่วยเพิ่มการนำสารไขมันบางชนิดไปใช้ อีกทั้งยังช่วยในการต่อต้านมะเร็ง ซึ่งสรรพคุณนี้อาจเนื่องมาจากเห็ดมีสารช่วยป้องกันมะเร็ง จึงทำให้เกิดกลไกในการเพิ่มภูมิคุ้มกัน นอกจากเห็ดนางฟ้าหรือเห็ดนางรมแล้ว ยังมีเห็ดอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น เห็ดหลินจือ เห็ดหอม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดเข็มทอง เห็ดหูหนู เห็ดแชมปิยอง เห็ดตับเต่า และเห็ดจั่น ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ด้วย และนอกจากนั้นยังมีประโยชน์อีกหลายอย่าง เช่น การต่อต้านไวรัสบางชนิด การลดความดันโลหิต และประโยชน์อื่นๆ อีกมากมาย (ศิริวรรณ และ ไมตรี, 2547)

<u>ข้อควรระวัง</u>

การนำเห็ดมารับประทาน หรือนำมาปรุงเป็นอาหารนั้น ผู้บริโภคจะต้องรู้จักชนิดของเห็ดและวิธีการปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีระบบการย่อยอาหารไม่ดีนั้น ควรระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากเห็ดบางชนิดย่อยยาก และไม่ควรกินเห็ดร่วมกับเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เพราะแอลกอฮอล์สามารถทำให้อัลบูมินในเห็ดแข็งตัว ซึ่งเป็นผลให้ย่อยยากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่ามีอาการแพ้เห็ดในผู้บริโภคบางคน โดยผู้ที่แพ้เห็ดนั้นจะเกิดผื่นคันและมีอาการท้องเสีย นอกจากนั้นผู้ป่วยบางโรคก็ควรงดการบริโภคเห็ดด้วย เช่น ผู้ป่วยโรคเกาต์ (Guot) เนื่องจากเห็ดมีกรดนิวคลีอิกและสารพิวรีนสูง โดยสารพิวรีนจะเปลี่ยนเป็นกรดยูริกซึ่งเป็นสาเหตุและเพิ่มความรุนแรงของโรคเกาต์ได้ และในประเทศจีนได้มีการห้ามเด็กที่เป็นอีสุกอีใสรับประทานเห็ดทุกชนิด แต่ยังไม่มีคำอธิบายว่าทำไมจึงมีข้อห้ามเช่นนั้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากเห็ดบางชนิดนั้น อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการแพ้และอาจรบกวนระบบภูมิคุ้มกันในเด็กได้ ส่วนการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยาควรระมัดระวังในการรับประทานให้มากยิ่งขึ้น โดยผู้บริโภคควรปรึกษาแพทย์หรือเภสัชกรก่อน เพราะอาจทำให้เกิดอันตรายได้ง่าย เช่น สารบางชนิดในสารสกัดเห็ดหอมอาจจะทำให้การหยุดไหลของเลือดช้าลงกว่าปกติ แม้ไม่มีพิษเฉียบพลันจากการใช้สารสกัดในปริมาณสูงมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อวัน นาน 1 สัปดาห์ก็ตาม (ศิริวรรณ และ ไมตรี, 2547)

การทำให้อาหารกรอบและแห้ง

การทอด (Frying)

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคอาหารและมีวัตถุประสงค์รองคือการถนอมอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร ถ้าเป็นการทอดอาหารชิ้นหนาๆ ความชื้นของอาหารหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุผลิตภัณฑ์ของอาหาร ซึ่งมีความชื้นอยู่ภายใน เช่น โดนัท ปลา เนื้อไก่ชุบแป้งหรือชุบขนมปังป่นทอดนั้น อายุการเก็บรักษาจะสั้นเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา จึงไม่นิยมผลิตอาหารเหล่านี้ในระดับอุตสาหกรรมและกระจายไปยังร้านค้าย่อย แต่นิยมผลิตในร้านค้าย่อยมากกว่า อาหารเหล่านี้สามารถเก็บรักษาโดยการแช่เย็นได้นานหลายวัน อาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่ง อาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษาถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และรักษาคุณภาพได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วิไล, 2546; Anonymous, 2004)

หลักการ ในการทอด

เมื่อนำชิ้นอาหารวางลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง การระเหยจะเคลื่อนเข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิข้างในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100°C ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหารและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อบเชย, 2540)

เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อแคปิลารี่ขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้น (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; Anonymous, 2004)

เวลาที่ใช้ในการทอดให้สมบูรณ์ขึ้นอยู่กับปัจจัย (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อบเชย, 2540) ดังต่อไปนี้

1) ชนิดของอาหาร อาหารที่มีน้ำตาลมากจะดูดซับน้ำมันมาก
2) อุณหภูมิของน้ำมัน
3) วิธีทอดว่าเป็นแบบน้ำมันน้อย (Shallow frying) หรือน้ำมันมาก (Deep-fat frying)
4) ความหนาของชิ้นอาหาร
5) ความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค

อาหารซึ่งมีความชื้นอยู่ภายในจะถูกทอดจนกว่าจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารจะได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนหรือเพียงพอที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสได้ตามที่ต้องการ วิธีทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี ซึ่งจำแนกโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนได้เป็นการทอดแบบใช้น้ำมันน้อย (Shallow frying) และน้ำมันมาก (Deep-fat frying) (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อบเชย, 2540; Anonymous, 2004) ดังนี้

1. การทอดแบบใช้น้ำมันน้อย

การทอดแบบใช้น้ำมันน้อยเหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งการทอดแบบนี้ไม่ต้องการความกรอบ เช่น การทอดเบคอน ไข่ และพายชนิดต่างๆ (วิไล, 2546; อบเชย, 2540) ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆ ไปยังอาหารความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวของร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดโดยใช้น้ำมันน้อย มีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามวิธีทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง (200-450 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน) (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อบเชย, 2540; Anonymous, 2004)

2. การทอดแบบใช้น้ำมันมาก

การถ่ายเทความร้อนในการทอดแบบน้ำมันมากเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร ผิวอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดในน้ำมันมากเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปร่าง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยเท่ากับ 250-300 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 (200-450 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน) เนื่องจากเกิดเทอร์บุแลนซ์ของไอที่หนีออกจากอาหาร ถ้ามีอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวของอาหารทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อบเชย, 2540; Anonymous, 2004)

น้ำมันสำหรับทอด

น้ำมันสำหรับทอดอาหารควรเป็นน้ำมันที่บริโภคได้ โดยน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันพืช และน้ำมันจากสัตว์ ซึ่งน้ำมันดังกล่าวนี้ เป็นสารประกอบเชิงอินทรีย์เคมีที่พืชและสัตว์สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดคาร์บอซิลิค (Carboxylic acid) หรือกรดไขมันหลายโมเลกุล โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรีน (Glycerine) เป็นตัวเชื่อม กรดไขมันแต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างของตัวเองโดยเฉพาะ และยังแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยได้แสดงชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ไว้ในตารางที่ 5 สำหรับการทอดในลักษณะที่ใช้น้ำมันมากความร้อนสูง (Deep-fat frying) เช่น การทอดไก่ กล้วยแขก ปาท่องโก๋ โดนัท ควรใช้น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ น้ำมันที่ควรเลือกใช้ก็คือ น้ำมันปาล์มโอเลอีน แต่หากจะใช้น้ำมันถั่วเหลืองจะต้องคอยดูแลให้น้ำมันในกระทะให้ไหลเวียนดี และไม่ควรใช้น้ำมันเก่าที่เคยใช้แล้วเพราะการทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ ขณะที่ในอาหารมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยจะทำให้มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น น้ำมันประเภทที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดเป็นควันได้ง่าย น้ำมันเหม็นหืนและทำให้เกิดความหนืดขึ้นเนื่องมาจากมีพอลิเมอร์เกิดขึ้น น้ำมันจะเปลี่ยนสีและอาจมีฟอง หากจะแก้ไขต้องเติมสารพวกซิลิโคนลงไปนิดหน่อยเพื่อป้องกันฟองและป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระทางอ้อมได้ด้วย (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546; อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546; อบเชย และ ขนิษฐา, 2547)

ตารางที่ 5 แสดงชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์

น้ำมัน	กรดไขมันอิ่มตัว			กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว		กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	
	ทั้งหมด	ลอริก	ปาล์มิติก	ทั้งหมด	โอเลอิก	ทั้งหมด	ไลโนเลอิก
ดอกคำฝอย	9	-	8	13	13	76	76
วอลนัท	11	-	7	19	19	69	60
เมล็ดทานตะวัน	10	-	7	22	22	66	65
จมูกข้าวสาลี	17	-	12	16	16	61	61
ข้าวโพด	13	-	11	28	28	58	56
ถั่วเหลือง	13	-	11	23	23	63	54
เมล็ดฝ้าย	26	-	23	19	18	53	52
งา	15	-	9	41	41	42	42
ถั่วลิสง	19	-	11	50	50	30	29
มะกอก	14	-	12	75	74	11	10
ปาล์มโอเลอีน	48	-	45	39	38	12	11
มะพร้าว	86	46	8	6	6	2	2
น้ำมันหมู	43	-	27	48	44	11	11
ไขมันไก่	34	-	28	48	40	14	13
ไขมันวัว	44	-	27	48	42	3	3

ที่มา: อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์ (2546)

น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติที่แตกต่างกันนี้สามารถศึกษาได้จากองค์ประกอบของชนิดกรดไขมัน ไวตามินอีหรือสารโทโคฟีรอล และปริมาณโคเลสเตอรอลที่มีอยู่ในน้ำมันพืชแต่ละชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 6) โดยไวตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอลนี้ ทำหน้าที่เป็นสารกันหืนโดยธรรมชาติรวมทั้งป้องกันและต่อต้านการเกิดมะเร็ง ส่วนไวตามินอีกลุ่มโทโคไตรอีนอลจะช่วยป้องกันหรือลดการสะสมโคเลสเตอรอลในตับและในซีรั่ม (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546)

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบของชนิดกรดไขมัน และไวตามินอีในน้ำมันพืชแต่ละชนิด

ชนิด	องค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว	องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว		ปริมาณไวตามินอี
		เชิงเดี่ยว	เชิงซ้อน	
น้ำมันถั่วเหลือง	ปาล์มิติก และสเตียริก ประมาณ 20%	มีกรดโอเลอิก ประมาณ 20%	กรดไลโนเลอิก มีสูงถึง ประมาณ 60%	มีไวตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล ประมาณ 400 mg/kg
น้ำมันปาล์มโอเลอีน		มีกรดโอเลอิก ประมาณ 45%	กรดไลโนเลอิก ประมาณ 45%	มีไวตามินอี โดยเฉพาะกลุ่มโทโคไตรอีนอลนั้นมีประมาณ 500-600 mg/kg
น้ำมันข้าวโพด		มีกรดโอเลอิก ประมาณ 30%	กรดไลโนเลอิก มีประมาณ 60%	พบเฉพาะไวตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอลประมาณ 800 mg/kg
น้ำมันทานตะวัน		มีกรดโอเลอิก ประมาณ 20%	กรดไลโนเลอิก มีประมาณ 60%	มีไวตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล ประมาณ 350 mg/kg

ที่มา: อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์ (2546)

น้ำมันปาล์มนิยมใช้ในการทอดอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ ทำให้อาหารที่ทอดนั้นกรอบและเกิดกลิ่นหืนได้ช้า เพราะน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวในสัดส่วนที่สูง ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้มีคุณสมบัติทนความร้อน หรือคงสภาพได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนสูงได้ไม่นานก็จะถึงจุดเกิดควัน และแตกตัวสร้างอนุมูลอิสระที่ไม่ดีต่อสุขภาพออกมาปะปนกับอาหารได้ (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546)

น้ำมันปาล์มสกัดได้จาก 2 แหล่ง (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546) คือ

1. จากเมล็ด (Kernel) น้ำมันที่ได้จะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนน้ำมันมะพร้าวมาก และมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาปรุงอาหาร โดยเฉพาะผู้ที่ต้องการควบคุมระดับโคเลสเตอรอล

2. จากเนื้อ (Mesocarp) น้ำมันปาล์มส่วนที่สกัดจากเนื้อเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอีน (Palm olein from mesocarp) ที่ได้ชื่อเช่นนี้เพราะมีกรดโอเลอิก (Oleic acid) สูงมาก ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้ไม่มีผลในการเพิ่มโคเลสเตอรอลเหมือนน้ำมันจากสัตว์ น้ำมันมะพร้าวและเมล็ดปาล์ม

สำหรับไวตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอีนนั้นพบไวตามินอีกลุ่มโทโคไตรอีนอลมากกว่าในน้ำมันพืชชนิดอื่น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาอันเกิดจากโคเลสเตอรอลในเลือดสูงและลดการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำมันพืชขณะปรุงอาหารได้เป็นอย่างดี (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546) เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของน้ำมันปาล์มโอเลอีนนี้มีมาก เหมาะสำหรับการทอดแบบใช้น้ำมันมาก และราคาก็ไม่แพง ดังนั้น น้ำมันปาล์มโอเลอีนจึงน่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีในการเลือกซื้อน้ำมันสำหรับทอดอาหารให้กรอบที่ต้องใช้น้ำมันมาก (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546)

ผลของความร้อนในการทอด

ในการทอดอาหารให้กรอบแบบใช้น้ำมันมากนั้น ความร้อนที่ใช้ในการทอดจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันและอาหาร (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546) ดังนี้

1. ผลของความร้อนต่อน้ำมัน

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันได้เนื่องจากมีความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหารระหว่างการทอด นอกจากนั้น ยังเกิดสารระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตน และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นหืน โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจน และให้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลสูงหรือให้สารประกอบไซคลิกทำให้น้ำมันมีความหนืดสูง ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้น การออกซิไดซ์ไวตามินที่ละลายได้ในไขมัน ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น เรตินอล แคโรทีนอยด์ และโทโคฟีรอลจะถูกทำลายไปและทำให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไป แต่ข้อดีของการที่โทโคฟีรอลถูกออกซิไดซ์คือสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

2. ผลของความร้อนต่ออาหาร

วัตถุประสงค์หลักของการทอด คือ การปรับปรุงสี กลิ่น และรสในเปลือกนอกของอาหารโดยอาศัยปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการดูดซับสารระเหยจากน้ำมัน สำหรับปัจจัยหลักๆ ที่ควบคุมการเปลี่ยน แปลงสีและกลิ่น (นิธิยา, 2544) ได้แก่

1) ชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด
2) อายุและความทนต่อความร้อนของน้ำมัน
3) อุณหภูมิและเวลาในการทอด
4) ขนาดและลักษณะผิวหน้าของอาหาร
5) การจัดการหลังการทอด (Post-frying treatment)

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ ผล

ของการทอดต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของกรรมวิธีที่ใช้ การใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแข็งตัวของเปลือกนอก (Crust formation) อย่างรวดเร็ว ปิดกั้นผิวหน้าของอาหารไว้และลดการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายในชิ้นอาหาร ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยลงและยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ทำให้มีสารอาหารเหลืออยู่มาก การทอดให้อาหารแห้งเพื่อถนอมรักษาอาหารจะทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะไวตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น ไวตามินอี ซึ่งถูกดูดซับในน้ำมันระหว่างการทอดจะถูกออกซิไดซ์ในระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2544)

ปัจจัยที่ทำให้อาหารอมน้ำมันขณะทอด (นิธิยา, 2544; อบเชย, 2540) ได้แก่

1. เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานาน ยิ่งทอดนานอาหารก็จะยิ่งอมน้ำมันไว้มาก ภาชนะที่ทอดควรเป็นภาชนะที่นำความร้อนได้ดี ไม่ควรทอดอาหารทีละหลายๆ ชิ้น เพราะจะทำให้อุณหภูมิของน้ำมันต่ำลง ทำให้อาหารอมน้ำมันได้มากขึ้น

2. พื้นผิวของอาหารที่สัมผัสกับน้ำมัน อาหารชิ้นเล็กจะอมน้ำมันน้อยกว่าชิ้นใหญ่ อาหารที่มีพื้นผิวสัมผัสมากจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีพื้นผิวสัมผัสน้อย

3. จุดเกิดควัน (Smoke point) ของน้ำมัน อาหารอมน้ำมันมากเมื่อใช้น้ำมันที่มีจุดเกิดควันต่ำ

4. ส่วนประกอบของอาหาร อาหารที่มีน้ำตาลและไขมันมากจะอมน้ำมันมาก

สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอดนั้น Wikipedia (2004) ได้ทำการทดลองการทอดเทมปุระแล้วพบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดที่ดีที่สุดโดยตรวจวัดจากคะแนนความกรอบ การระเหยของน้ำ และแรงตัด ซึ่งคะแนนความกรอบสัมพันธ์กับการระเหยของน้ำซึ่งเป็นดัชนีสำหรับประเมินค่าความกรอบของการทอดผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้ง

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Houhoula and Oreopoulou (2004) ได้ศึกษาความคงตัวของมันฝรั่งทอดในระหว่างการเก็บรักษา โดยการใช้น้ำมันที่มีการทอดต่อเนื่อง แล้วทำการตรวจวัดค่าเปอร์ออกไซด์ และ Conjugated dienes ของน้ำมันที่ถูกดูดซับในมันฝรั่งทอด โดยใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 155°C ถึง 195°C ผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ และ Conjugated dienes มีค่าสูงขึ้น โดยแปรผันตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงกว่า และทอดเป็นเวลานานกว่าจะทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ และ Conjugated dienes นั้นมีค่าสูงกว่า ซึ่งผลการวิจัยนี้ได้ผลเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Augustin and Berry (1984) ซึ่งได้ทำการศึกษาความคงตัวของน้ำมันที่ใช้ทอดมันสำปะหลังแล้วนำกลับมาใช้ทอดมันสำปะหลังใหม่ และศึกษาความคงตัวหลังการฟอกขาวและลดกลิ่นน้ำมันลง (Refined bleached and deodorized; RBD) โดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีนที่เก็บเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 60°C โดยผลการทดลองพบว่า น้ำมันที่เก็บไว้เป็นเวลามากกว่า 43 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์

จะเพิ่มขึ้นจาก 4.6 ถึง 79 meq/kg ส่วนการศึกษาการเกิดออกซิเดชันของมันฝรั่งขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55°C ด้วยการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณออกซิเจนและจำนวนของ Volatile compounds ผลการทดลองพบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0 ถึง 34.9 meq/kg นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น มีสาเหตุมาจากปริมาณออกซิเจนที่ลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของจำนวน Volatile compounds (Min and Schweizer, 1983) และเมื่อทำการศึกษาอายุการเก็บมันฝรั่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันดอกทานตะวัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 14 วัน พบว่ามีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 12 meq/kg เป็น 532 meq/kg ส่วนการใช้น้ำมันที่มีกรดโอเลอิกสูงนั้นค่าเปอร์ออกไซด์จะเกิดได้ช้ากว่า ซึ่งมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 8 meq/kg เป็น 108 meq/kg เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน (Marquez *et al.*, 1999) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกันกับผลการทอลองของ Augustin and Berry (1984) ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีนในการทอดมันฝรั่งข้างต้น ซึ่งน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีกรดโอเลอิกสูง จึงทำให้เกิดค่าเปอร์ออกไซด์ได้ช้ากว่า

Math *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาสภาวะในการทอดที่มีผลต่อความชื้น ไขมัน และความหนาแน่นของ Papad ซึ่งเป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปของโด โดยส่วนผสมสำคัญของ Papad นั้น มีส่วนผสมของแป้ง เกลือ และเครื่องเทศ สำหรับวิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนการทอดคล้ายกับวิธีการทำข้าวเกรียบ คือ หั่นให้มีความหนาประมาณ 0.3-2.0 มิลลิเมตร ทำให้แห้งจนมีความชื้นอยู่ที่ 14-15% ก่อนนำไปรับประทานต้องนำมาทอดก่อน ซึ่งผลจากการวิจัยนี้พบว่ากลไกการถ่ายเทความชื้นนั้นเกิดจากการแพร่และการดูดซับน้ำมันขณะทอด Papad ซึ่งมี Initial moisture content (IMC) 24.8% ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อนำ Papad มาทอดที่อุณหภูมิ 165°C, 175°C, 180°C และ 185°C เป็นเวลา 20 วินาที จะเกิดการแพร่ของความชื้นที่ 2.83, 3.65, 3.87 และ 5.03 m^2/s ตามลำดับ และพบว่าอุณหภูมิในการทอดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ Papad สามารถขยายตัวได้สูงถึง 46.4% คือที่อุณหภูมิ 185°C ใช้เวลาในการทอด 20 วินาที โดย Papad ที่ได้จะมีความชื้นเพียง 1.2% มีการดูดซับน้ำมัน 47.3% และมีความหนาแน่น 377 kg/m^3

Krokida *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างการทอด French fries โดยทำการทอดที่อุณหภูมิ 150°C, 170°C หรือ 190°C. ทอดเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 10, 13, 15 และ 20 นาที และวัดการเปลี่ยนแปลงของสีขณะทำการทอด พบว่าค่าสีที่วัดโดยเครื่องวัดสี (Hunter lab SAV colorimeter) โดยแสดงค่าสีเป็นสีแดง สีเหลือง และค่าความสว่าง ซึ่งค่าสีที่วัดได้นี้จะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการทอด และผลการทดลองที่ได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีนั้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด ชนิดน้ำมัน และความหนาของตัวอย่าง โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้นที่เวลาเดียวกันจะส่งผลให้ค่าความสว่าง L มีค่าลดลง และมันฝรั่งที่บางจะมีค่าความสว่างน้อยกว่ามันฝรั่งที่หนา และที่อุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น

ค่า a จะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ทอดในเวลาเดียวกัน และมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี b จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยอัตราคงที่เมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น และตัวอย่างมีความหนาน้อยลง สรุปคือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการทอด ความหนาของตัวอย่างมีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอดนั้น Wikipedia (2004) ได้ทำการทดลองการทอดเทมปุระแล้วพบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดที่ดีที่สุดโดยตรวจวัดจากคะแนนความกรอบ การระเหยน้ำ และแรงตัด ซึ่งคะแนนความกรอบสัมพันธ์กับการระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นดรรชนีสำหรับประเมินค่าความกรอบของการทอดผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้ง

<u>การอบ (Baking)</u>

การอบทั้งวิธี Baking และ Roasting เป็นหน่วยปฏิบัติการที่เหมือนกัน คือ เป็นการใช้ประโยชน์จากอากาศร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร คำว่า Baking จะหมายถึงการอบผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งหรือผลไม้ ส่วน Roasting จะใช้เมื่ออบอาหารประเภทเนื้อสัตว์ นัท และผัก แต่ภาษาไทยนิยมใช้คำว่า "การอบ" แทนคำทั้งสองนี้ (นิธิยา, 2544)

วัตถุประสงค์ของการอบคือ เป็นการใช้ลมร้อนหรืออากาศร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร และเป็นการถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายจุลินทรีย์และลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ผิวนอกอาหาร (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546)

หลักการในการอบ

ในการอบนั้นอาหารจะได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีจากผนังเครื่องอบ การพาความร้อนจากอากาศที่หมุนเวียนและการนำความร้อนผ่านถาดที่มีอาหารวางอยู่ ความร้อนส่วนใหญ่จะถ่ายเทไปยังอาหารโดยการนำความร้อน ส่วนอากาศ ก๊าซอื่นๆ และไอน้ำภายในเตาอบจะถ่ายเทความร้อนโดยการพา การนำความร้อนผ่านจานอบซึ่งสัมผัสกับแหล่งให้ความร้อนกับตู้อบ หรือบนสายพานจะเพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิที่ด้านล่างของอาหารทำให้เกิดอัตราการอบแตกต่างกัน อาหารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ และมีผลมากต่อเวลาที่ใช้ในการอบ ส่วนขนาดของชิ้นอาหารนั้นจะเป็นตัวกำหนดเวลาและระยะทางในการให้ความร้อนของอาหารจากผิวนอกเข้าสู่ใจกลางอาหารเพื่อให้เกิดการอบอย่างเพียงพอ (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546)

ความชื้นที่ผิวหน้าจะระเหยและจะถูกกำจัดออกไปด้วยความร้อนเมื่ออาหารวางอยู่ในตู้อบ โดยอากาศในตู้อบซึ่งมีความชื้นต่ำ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ และทำให้ความชื้นเคลื่อนที่จากใจกลางอาหารออกมายังที่ผิวหน้าของอาหาร คุณสมบัติของอาหารและอัตราการให้

ความร้อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความชื้นที่เสียไป เมื่ออัตราการสูญเสียความร้อนสูงกว่าอัตราการเคลื่อนที่ ความชื้นจากภายในจะทำให้แนวของการระเหยเคลื่อนที่เข้าไปภายในอาหาร ทำให้ผิวของอาหารแห้งและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงอุณหภูมิของลมร้อน (110-240°C) จึงเกิดเปลือกด้านนอกขึ้น ทั้งนี้ อุณหภูมิภายในอาหารจะไม่เกิน 100°C เนื่องจากการอบเกิดขึ้นที่ความดันบรรยากาศและความชื้นจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารอย่างอิสระ (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546)

พลังงานที่ใช้ในระหว่างการอบประมาณ 450-650 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของอาหาร โดยความร้อนส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำให้อาหารร้อน เพื่อระเหยน้ำที่ผิวนอกออกไปจนเกิดเป็นเปลือกแข็งทำให้น้ำภายในชิ้นอาหารกลายเป็นไอผ่านเปลือกผิวนอกออกมาและทำให้ผิวนอกแห้งสนิท (นิธิยา, 2544)

การอบนอกจากจะเป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของอาหาร เพิ่มกลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแล้ว การอบยังเป็นการทำลายเอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื่องจากสามารถลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของอาหารได้ในระดับหนึ่ง ผลของการอบต่ออาหาร (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546) มีดังนี้

1. ผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่ออาหารได้รับความร้อนไขมันและน้ำภายในอาหารจะไหลออกมาและถูกกำจัดออกไปทำให้อาหารหดตัวและแข็งขึ้น หากเป็นการให้ความร้อนอย่างช้าๆ จะทำให้ความชื้นหนีออกมาจากผิวหน้าของอาหารได้มากก่อนที่จะถูกปิดกั้นด้วยเปลือกแข็ง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำเกิดความแตกต่างกันไม่มากนัก และทำให้ด้านในของอาหารแห้งกว่าการใช้ไอน้ำ การอบทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี เช่น ความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งเซลลูโลส สตาร์ช และเพกทิน ซึ่งจะผันแปรตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบ (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546)

2. ผลต่อสี กลิ่น และรสชาติ

กลิ่นที่ได้จากการอบเป็นลักษณะเฉพาะด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญของการอบ การได้รับความร้อนสูงของผิวอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน สีน้ำตาลทองที่เกิดขึ้นในอาหารอบเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดคาราเมลของน้ำตาลและเด็กทรินซ์ ซึ่งอยู่ในอาหารหรือเกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งเป็นเฟอร์เฟอราล (Furfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์เฟอราล (Hydroxymethyl furfural) การเกิดคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) ของน้ำตาล ไขมัน และโปรตีน (นิธิยา, 2544; วิไล, 2546)

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

คำนิยามของคำว่า "การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)" สถาบันของนักเทคโนโลยีทางด้านอาหาร (The Institute of Food Technologists; IFT) ในหน่วยของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้วัดค่า วิเคราะห์ และสรุปผลจากปฏิกิริยาต่างๆ ต่อผลิตภัณฑ์ ที่ได้รับจากความรู้สึกของมนุษย์ในแง่การมองเห็น การได้รับกลิ่น รสชาติ การสัมผัส และการได้ยิน เป็นต้น ผลของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ และการรับรู้ผลิตภัณฑ์ ว่ามีความเป็นเอกภาพและมีความสำคัญต่อการยอมรับได้ ปฏิกิริยาของมนุษย์ต่อผลิตภัณฑ์สามารถที่จะอธิบายได้ในลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี กายภาพ และ/หรือทางด้านชีวภาพของผลิตภัณฑ์ และคำนิยามดังกล่าวยังรวมถึงความจำเป็นที่ต้องใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อการฝึกปฏิบัติการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสด้วย (ไพโรจน์, 2545)

ความสำคัญและการใช้การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

ในปัจจุบันเป็นที่แน่ชัดว่าความสำคัญของการใช้ประสาทสัมผัสเป็นสิ่งที่ปฏิเสธไม่ได้ ในแง่ที่เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วัดลักษณะของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีความสนใจเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการตลาดของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องตรวจวิเคราะห์ลักษณะของผลิตภัณฑ์และระดับของคุณภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับระดับความชอบของผู้บริโภค ในงานหลายชิ้นได้ทำการศึกษาวิธีที่ดีที่สุด และการนำวิธีการทดสอบดังกล่าวไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ในสาขาต่างๆ เช่น นักจิตวิทยา นักเคมี นักฟิสิกส์ วิศวกร นักเทคโนโลยีอาหาร นักพัฒนาผลิตภัณฑ์ และนักสถิติ จึงได้ร่วมมือกันศึกษา และพยายามสืบค้นความเข้าใจของมนุษย์ให้ดีขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวัดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และความสัมพันธ์ของลักษณะผลิตภัณฑ์กับการยอมรับของมนุษย์ รวมทั้งวิธีการใช้ด้วย การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสนี้ได้รับการพิจารณาเข้าสู่ระบบทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น กล่าวคือ เป็นการทดสอบที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวัดสิ่งที่มนุษย์สามารถพิจารณาถึงระดับความเชื่อมั่น และมีเหตุผลต่อผลิตภัณฑ์ (ไพโรจน์, 2545)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส ลักษณะที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยส่วนใหญ่ที่ทำการทดสอบ (ไพโรจน์, 2545) มีดังนี้

1. สี คือ ลักษณะที่ปรากฏด้านสีของผลิตภัณฑ์จะเป็นลักษณะแรกที่ผู้บริโภคให้ความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์ ความผันแปรของสีในผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ และการยอมรับของผู้บริโภคจะขึ้นอยู่กับรสนิยมของผู้บริโภคแต่ละคน ความเบี่ยงบนของสีที่ปรากฏตามที่คาดหวังของผู้บริโภคอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาปฏิเสธจากผู้บริโภค และไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ ดังนั้นลักษณะสีที่ปรากฏของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ จึงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญยิ่งต่อปฏิกิริยาเบื้องต้นของผู้บริโภค

2. เนื้อสัมผัส คือ ลักษณะที่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะปรากฏและปัจจัยการสัมผัสได้โดยอาจเกี่ยวกับความต้านทานเพื่อดันหรือใช้กด เช่น ความแข็ง (Hardness) ความเปราะ และแตกง่าย (Brittleness) หรืออาจเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสหลังการชิมโดยอาจเป็นลักษณะความเป็นเม็ดทราย (Graininess) เป็นต้น

3. ลักษณะปรากฏ คือ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะทางกายภาพซึ่งรวมทั้ง สี ขนาด และรูปร่างในเบื้องต้น เป็นปฏิกิริยาเริ่มแรกของผู้สังเกตที่มีต่อผลิตภัณฑ์ด้วยการสังเกตด้วยตาเป็นหลัก

4. กลิ่น คือ กลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบได้ดมกลิ่นและคาดหวังว่าผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งๆ จะมีกลิ่นที่เฉพาะตัว ถ้าเกิดความเบี่ยงเบนของกลิ่นตามความคาดหวังของผู้บริโภคอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาปฏิเสธจากผู้บริโภค และไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้

5. รสชาติ คือ สิ่งที่ผู้ทดสอบหรือผู้บริโภครับรู้ได้ด้วยปุ่มรับรสชาติที่อยู่บริเวณของลิ้น ซึ่งเป็นความรู้สึกส่วนบุคคลที่ไม่สามารถเข้าใจได้อย่างถ่องแท้จึงมีวามยากในการประเมิน และพบว่าความแตกต่างของพื้นที่ทางภูมิศาสตร์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการรับรสชาติได้

6. ความกรอบ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ที่มีลักษณะเปราะ แตกง่าย (Brittleness) และไม่มีความหยาบ (Coarseness)

<u>การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development)</u>

แนวความคิดผลิตภัณฑ์ใหม่นี้อาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น แนวคิดดังกล่าวอาจมาจากส่วนการตลาด และการจำหน่ายของบริษัท หรืออาจมาจากส่วนของพนักงานบริษัทที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์โดยตรงกับผู้บริโภค หรืออาจมาจากแหล่งข้อมูล หรือในส่วนของกระบวนการผลิตก็เป็นได้ ซึ่งเหตุผลต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเร่งให้เกิดแนวความคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นมา และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ก็เป็นงานหลักอันหนึ่งในส่วนของงานวิจัยและพัฒนาในโรงงานอุตสาหกรรม การศึกษาพื้นฐาน

เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาจเริ่มโดยฝ่ายอุตสาหกรรม หรือนักวิจัยประยุกต์ที่ทำการวิจัยในสถาบันวิจัยและพัฒนาวิชาการ เมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว การพัฒนาผลิตภัณฑ์จะรวมถึงการนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาแล้วนั้นเข้าสู่สภาพผลิตได้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้ได้มีการนำวิธีประเมินทางด้านประสาทสัมผัสเข้ามาใช้ เพื่อวัดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภคได้ (ไพโรจน์, 2545)

การปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์

การเก็บรักษาอาหารภายใต้การปรับแต่งบรรยากาศ คือ การกำจัดหรือลดปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศรอบๆ อาหาร (ภายในภาชนะบรรจุ) ให้น้อยลง โดยการใช้สารเคมีหรือวิธีการทางกายภาพเพื่อเปลี่ยนส่วนผสมของก๊าซออกซิเจนและ/หรือก๊าซไนโตรเจน และ/หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีสัดส่วนที่แน่นอนและเหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บของอาหารนั้น (ปราณี, 2547) โดยการเก็บรักษาอาหารที่มีปริมาณไขมันสูงเมื่อทำการเก็บรักษาโดยการปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการเหม็นหืน (Rancidity) ในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมากไม่ให้เสื่อมเสีย (จรีงแท้, 2538)

สำหรับผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้งกรอบ และต้องการรักษาความแห้งกรอบนี้ไว้ตลอดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะของอาหารแห้ง คือ เป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น หรือค่า a_w ให้อยู่ระดับที่ต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์เจริญได้ ทำให้อาหารแห้งมีอายุการเก็บรักษานานกว่าอาหารสด นอกจากนั้นการทำแห้งยังช่วยลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหาร เป็นการช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งที่เก็บรักษาทั้งไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากมีค่า a_w ต่ำ อาหารแห้งจึงไวต่อความชื้นมากเมื่อการเก็บรักษาไม่ถูกต้อง เช่น เก็บไว้ในที่มีความชื้นสูง หรือการบรรจุและภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสม อาหารแห้งซึ่งมักมีพื้นที่ผิวมากและโครงสร้างมีรูพรุน ซึ่งสามารถดูดซับความชื้นเข้ามา ทำให้คุณภาพเสื่อมเสียได้เร็วยิ่งขึ้น (จิติมา และคณะ, 2538)

1. การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารแห้ง

ความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้น เมื่อสูงเพียงพอ (สูงกว่า 0.6) จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตทำให้อาหารเน่าเสียได้ นอกจากนั้น ความชื้นที่สูงขึ้นนี้จะทำให้อาหารจับตัวกันเป็นก้อน สำหรับอาหารที่เป็นผงจะทำให้การละลายยากขึ้น การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารแห้งมีลักษณะ (จิติมา และคณะ, 2538) ดังนี้

1.1 ทำให้ความกรอบลดลง เนื้อสัมผัสจะมีคุณลักษณะที่ไม่ดี

1.2 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และวิตามินได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้อาหารเหม็นหืน และสีซีดจางเร็วยิ่งขึ้น

1.3 โดยปกติอาหารแห้งจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) อยู่แล้ว แต่เกิดช้าๆ เมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเร็วมาก ทั้งประเภทใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ ทำให้อาหารมีสีเข้ม และไม่ได้รับการยอมรับด้านคุณภาพจากผู้บริโภค

2. **อาหารแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามความไวต่อความชื้น** (จิติมา และคณะ, 2538) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 อาหารที่มีความชื้นต่ำมาก ประมาณ 1-3% เช่น เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผง นมผง และผงช็อกโกแลต เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 อาหารที่มีความชื้นประมาณ 2-8% เช่น ผัก เครื่องเทศ ปลา อาหารเช้าจากธัญชาติ ซุปผง และขนมปังกรอบ เป็นต้น

กลุ่มที่ 3 อาหารที่มีความชื้นประมาณ 6-30% เช่น ผลไม้แห้ง ธัญชาติ แป้ง และขนมอบบางชนิด เป็นต้น

กลุ่มที่ 4 อาหารที่มีความชื้นประมาณ 25-40% ส่วนใหญ่เป็นผลไม้แห้งแช่อิ่ม แยม เจลลี่ ลูกกวาด และปลาเค็ม

3. **อาหารแห้งและอาหารที่ไวต่อความชื้นมีความต้องการทางการบรรจุ** (จิติมา และคณะ , 2538) ดังนี้

3.1 การป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ระดับการป้องกันจะแตกต่างกันตามความไวต่อความชื้น โดยอาหารกลุ่มที่ 1 และ 2 จะไวต่อความชื้นมากกว่ากลุ่ม 3 และ 4 จึงต้องการภาชนะการบรรจุที่ต้องการการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาก เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.2 ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน อาหารแห้งที่มีไขมันสูงจะเหม็นหืนได้ง่ายหากสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากไขมันจะถูกออกซิไดซ์ การบรรจุอาหารเหล่านี้จึงต้องกำจัดออกซิเจนออกไปก่อนปิดผนึกภาชนะ และวัสดุบรรจุที่ใช้ต้องป้องกันการซึมผ่านเข้ามาของก๊าซออกซิเจนได้ดีด้วย

3.3 ทึบแสง เนื่องจากแสงช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการเหม็นหืน และการทำลายวิตามิน หากไม่มีข้อจำกัดทางการตลาดที่ต้องการให้เห็นผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุทึบแสงจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารแห้งได้ดีกว่าภาชนะบรรจุโปร่งแสง

3.4 ต้านทานต่อการซึมผ่านของไขมันได้ดี เพื่อป้องกันคราบน้ำมันบนภาชนะบรรจุ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดคิดว่าเป็นของเก่า ไขมันที่ซึมผ่านออกมาอาจจะละลายหมึกพิมพ์ทำให้ดูสกปรก นอกจากนี้อาจทำให้เกิดการลอกชั้นของฟิล์มที่ประกบติดกันได้

3.5 ป้องกันการซึมผ่านของกลิ่น อาหารที่มีไขมันสูงจะดูดซับกลิ่นจากภายนอกได้ดี ภาชนะบรรจุที่ใช้จะต้องไม่มีกลิ่น และช่วยป้องกันกลิ่นจากภายนอกได้ดี

3.6 ทนทานต่อรอยขูดขีดได้ดี อาหารแห้งบางชนิดมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมหรือมุมแหลมคมที่สามารถขูดขีดหรือทิ่มภาชนะบรรจุได้ ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการป้องกันไอน้ำ ก๊าซ และกลิ่น อาหารจะเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น ถึงแม้รอยขูดขีดมิได้ทำให้ภาชนะรั่วแต่อาจทำให้เป็นรอยดูเก่าผู้บริโภคไม่ยอมรับได้

3.7 ป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นชิ้นบางๆ และกรอบ ภาชนะบรรจุจะต้องมีความแข็งแรงและเพียงพอที่จะป้องกันแรงต่างๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกหัก โดยทั่วไปใช้ภาชนะคงรูป เช่นกล่องกระดาษ กระป๋องโลหะ และกระป๋องกระดาษหลายชั้น

3.8 เหมาะสมกับการบรรจุด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ สำหรับอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมใหญ่ การบรรจุจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ การเลือกวัสดุบรรจุจะต้องให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรด้วย

3.9 การออกแบบความสวยงามและอำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภค อาหารแห้งบางชนิด เช่น อาหารว่าง จะมีการแข่งขันสูงจึงต้องพยายามออกแบบภาชนะบรรจุให้มีความโดดเด่นและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้ ภาชนะบรรจุจะต้องเปิดออกง่ายหรือสามารถปิดได้อีกเมื่อใช้ครั้งเดียวไม่หมดเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภคในการใช้งานและการเก็บรักษา

<u>ก๊าซไนโตรเจน (N_2)</u>

เป็นก๊าซเฉื่อยทางชีวภาพที่มีอยู่มากในบรรยากาศทั่วไป (~78%) ใช้ได้ทั้งในสถานะของเหลวและก๊าซ เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น และมีความสามารถในการละลายน้ำและไขมันได้ต่ำ สามารถใช้แทนที่ก๊าซออกซิเจน เพื่อป้องกันการออกซิเดชันและป้องกันการหืนในอาหารที่มีไขมัน โดยก๊าซไนโตรเจนจะเข้าไปห่อหุ้มโมเลกุลของน้ำมันทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเหม็นหืนได้ และยังมีผลทางอ้อมกับจุลินทรีย์ในอาหารที่เสื่อมเสียง่าย โดยไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ การพ่นก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเพื่อไล่อากาศในภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกมันฝรั่งทอดและขนมขบเคี้ยวต่างๆ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันหรือลดการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ได้

(Parry, 1993) นอกจากนี้ การบรรจุด้วยวิธีนี้จะทำให้รูปร่างของภาชนะบรรจุโดยเฉพาะถุงและถาดกึ่งคงรูป (Semi-rigid tray) ไม่ยับ หรือผิดรูปเหมือนการบรรจุภายใต้สุญญากาศ ถุงที่พองจะทำหน้าที่ป้องกันแรงกระทำจากภายนอกจึงเหมาะกับอาหารที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ เปราะแตกง่าย หรือมีมุมแหลมคม หรือมีเนื้อนุ่ม อาหารที่บรรจุโดยวิธีนี้ มักเป็นอาหารที่ไวต่อความชื้น และมีไขมันสูง เช่น อาหารขบเคี้ยวทุกชนิด ถั่วทอด ถั่วอบเนย อาหารเช้าจากธัญพืชที่มีไขมันสูง (จิตติมา, 2538)

<u>สารดูดความชื้น (Moisture absorber)</u>

สารดูดความชื้นนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันสินค้าจากความชื้นที่มาจากแหล่งความชื้นทั้ง 3 ลักษณะ (ตัวสินค้า อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และอากาศแวดล้อม) การใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ดีย่อมลดหรือขจัดแหล่งความชื้นจากอากาศแวดล้อมได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม แหล่งความชื้นจากตัวสินค้าเองและอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการบรรจุนั้นเป็นสิ่งที่ต้องกำจัด หรือจำกัดด้วยสารดูดความชื้นชนิดต่างๆ เพื่อรักษาคุณภาพของสินค้าให้สมบูรณ์อยู่เสมอ (นิรนาม ค, 2547) เช่น ซิลิกาเจล เป็นต้น

ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นสารสังเคราะห์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide, SiO_2) ที่มีพื้นที่ผิวมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อ 1 กรัม การดูดความชื้นของซิลิกาเจล เป็นลักษณะทางกายภาพ (Physical adsorption) โดยกักเก็บความชื้นไว้ที่โพรงโครงสร้างด้านใน ได้มีการใช้ซิลิกาเจลกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในบรรจุภัณฑ์ยาและอาหาร โดยปรกติซิลิกาเจลสามารถดูดความชื้นได้ระหว่าง 24-40% ของน้ำหนักตัวเอง และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นจะลดลงไปเรื่อยๆ และมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกจากตัวเองเช่นกัน โดยเหตุนี้การใช้ซิลิกาเจลกับประเทศร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทย จึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้างของบรรจุภัณฑ์สินค้า นอกจากนี้ การใช้ซิลิกาเจลในระหว่างการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่มีความผันผวน หรือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยและประเทศปลายทาง ย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อการดูดและคายความชื้นของซิลิกาเจลเป็นอย่างยิ่ง (นิรนาม ค, 2547)

ซิลิกาเจลที่ใช้งานอยู่ทั่วๆ ไปมี 2 ชนิด คือ เม็ดสีใสๆ ขนาด 2-5 มิลลิเมตร และเม็ดสีน้ำเงิน (Indicating silica gel) ขนาดเท่าๆ กัน คุณสมบัติของซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิดนี้ แตกต่างกันตรงที่มีการเติม Cobalt chloride ลงไป ทำให้มีสีน้ำเงินบนเม็ดซิลิกาเจลสีน้ำเงินนี้จะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีชมพู เมื่อความชื้นสัมพัทธ์รอบข้างสูงขึ้นมากกว่า 40% ซิลิกาเจลชนิดนี้มีประโยชน์ในการสังเกตได้โดยง่ายว่าสินค้ามีโอกาสเสี่ยงต่อความชื้นมากน้อยเพียงไร หากซิลิกาเจลที่ใช้ยังคงมีสีน้ำเงินหรือยังไม่เปลี่ยนสี

มากนัก แสดงว่าความชื้นรอบข้างถูกซิลิกาเจลดูดไว้และมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากสีของซิลิกาเจลเปลี่ยนเป็นสีชมพู แสดงว่าความชื้นรอบข้างนั้นมีปริมาณที่สูงเกินกว่าที่ซิลิกาเจลจะดูดและควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้ อย่างไรก็ตาม ควรระมัดระวังการใช้งานซิลิกาเจลชนิดสีน้ำเงินนี้เป็นอย่างยิ่ง เพราะหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสุขอนามัยระดับโลกบางแห่ง เช่น European Commission และ International Agent for Research on Cancer ได้จัด Cobalt chloride ไว้อยู่ในประเภทของสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) หากสูดดมเข้าไปและอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (นิรนาม ค, 2547)

Silva *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาการบรรจุแบบดัดแปลงสภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันขณะทำการเก็บรักษา พบว่าเมื่อนำตัวอย่างมันฝรั่งที่มีแตกต่างกัน คือ

1. ตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันมะกอก
2. ตัวอย่างที่ทอดในน้ำมันพืช
3. ตัวอย่างที่มีไขมันน้อยกว่า 30%
4. ตัวอย่างที่ทำจาก Potato paste

นำตัวอย่างดังกล่าวมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 เดือน โดยเก็บในที่ไม่มีแสง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อกรดไขมัน (Fatty acid) พบว่ามันฝรั่งที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า 30% มีการเกิดออกซิเดชันต่ำที่สุด และเมื่อนำมันฝรั่งที่ทอดในน้ำมันมะกอกมาทำการเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้อง โดยเก็บในที่ไม่มีแสงภายใต้สภาวะการบรรจุที่แตกต่างกัน คือ P_1: Air, P_2: Vacuum, P_3: Oxygen scavenger และ P_4: Nitrogen พบว่าสภาวะที่มีผลในการลดการเกิดการออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง คือ สภาวะที่มีการเติมสารดูดออกซิเจน (Oxygen scavenger) (Silva *et al.*, 2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

1.1 เห็ดนางฟ้า

1.2 แป้งชุบทอด ประกอบด้วย

1.2.1 แป้งข้าวเจ้า

1.2.2 แป้งสาลี

1.2.3 ปูนขาว (แคลเซียมคาร์บอเนต)

1.2.4 เกลือ

1.2.5 น้ำตาล

1.2.6 โมโนโซเดียมกลูตาเมต

1.2.7 ไข่ไก่

1.2.8 น้ำปลา

1.2.9 พริกไทยผง

1.2.10 กระเทียมผง

1.3 น้ำมันปาล์มโอเลอีน

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องมือวิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1.1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, LLOYD Model CR Series)

2.1.2 เครื่องวิเคราะห์ค่า a_w (Novasina) (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 2)

2.1.3 เครื่องวัดสี (Minolta chroma meter) (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 2)

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี

2.2.1 ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjedahl apparatus) (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 1)

2.2.2 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Fat extraction) (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 1)

2.2.3 เครื่องวิเคราะห์หาเส้นใย (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 1)

2.2.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (ยี่ห้อ Binder, รุ่น FED 240, ประเทศเยอรมนี)

2.2.5 เตาเผา (Muffle fernance) (ยี่ห้อ Canbotite, รุ่น CWF 11/13/201, ประเทศอังกฤษ)

2.2.6 อุปกรณ์ชุดเครื่องแก้ว

2.2.7 Hot plate

2.2.8 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius model BP 221 S, Scientific Promotion CO., LTD, Thailand)

2.2.9 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible) (Gooch)

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

2.3.1 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

2.3.2 ตะเกียงบุนเซ่น

2.3.3 เครื่องตีปั่นตัวอย่าง (Stomacher)

2.3.4 อุปกรณ์ชุดเครื่องแก้ว

2.3.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต

2.4.1 กระทะไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิ (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 3)

2.4.2 ชุดเครื่องครัว

2.4.3 ตู้อบลมร้อน (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 3)

2.4.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 3)

2.5 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุ

2.5.1 เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum packaging) (ภาพในภาคผนวก จ. ภาพที่ 3)

2.5.2 ถุง Laminate foil

2. <u>สารเคมี</u>

3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

3.1.1 Tartaric acid

3.1.2 Phosphate buffer

3.1.3 Sodium chloride

3.1.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

3.1.4.1 D-glucose

3.1.4.2 Potato infusion from

3.1.4.3 Agar

3.1.4.4 Tryptone

3.1.4.5 Yeast extract

3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 Sulfuric acid (H_2SO_4)

3.2.2 Sodium hydroxide (NaOH)

3.2.3 Methanol 95%

3.2.4 Potassium iodide

3.2.5 Sodium thiosulphate

3.2.6 Starch soluble

3.2.7 Acetic acid

3.2.8 Chloroform

3.2.9 ใยแก้ว

3.3 สารเคมีสำหรับใช้ในการบรรจุ

3.3.1 สารดูดความชื้น (Silica gel)

3.3.2 ก๊าซไนโตรเจน

4 วิธีการ

4.1 วิธีการเตรียมแป้งชุบทอด

สูตรแป้งชุบทอด (ภาพส่วนประกอบแสดงในภาคผนวก จ. ภาพที่ 4)

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (%)	น้ำหนัก (กรัม)
1. แป้งข้าวเจ้า	32.47	6.494
2. แป้งสาลี	8.03	1.606
3. เกลือ	1.71	0.342
4. น้ำตาลทราย	2.73	0.546
5. น้ำปูนใส (แคลเซียมคาร์บอเนต)	17.10	3.420
6. น้ำเปล่า	23.94	4.780
7. ไข่ไก่	6.84	1.368
8. กระเทียมผง	1.71	0.342
9. พริกไทยผง	5.13	1.026
10. โมโนโซเดียมกลูตาเมท	0.34	0.068
รวม	100.00	20.000

4.1.1 วิธีทำ (ภาพวิธีการผสมแป้งชุบทอดแสดงในภาคผนวก จ. ภาพที่ 5)

4.1.1.1 นำส่วนผสมแห้งที่ชั่งน้ำหนักแล้วตามสูตรมาผสมกันโดยเทแป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี พริกไทยผง กระเทียมผง เกลือ และโมโนโซเดียมกลูตาเมทลงในตะแกรงร่อนแล้วร่อนใส่ชามเพื่อให้ส่วนผสมแห้งผสมกันดี แล้วผสมน้ำตาลทรายลงไปคนให้เข้ากัน

4.1.1.2 เทส่วนผสมที่เป็นของเหลว คือ น้ำปูนใส น้ำเปล่า และไข่ไก่ลงไปในส่วนผสมแห้งและตีส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน

2. วิธีการทดลอง

2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเห็ดนางฟ้าสด

ตรวจสอบลักษณะทางเคมี โดยการตรวจวัดหาปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเส้นใย ของเห็ดนางฟ้าที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.) โดยทำการวัดค่าอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของการทอดเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิ 160°C และ 180°C ร่วมกับการศึกษาเวลาในการอบหลังการทอดที่อุณหภูมิ 90°C และ 110°C ในการผลิตผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ

การศึกษากระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบด้วยวิธีการทอดร่วมกับการอบ โดยมีวิธีการและขั้นตอน ดังนี้ (ภาพวิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก จ. ภาพที่ 6)

2.2.1 นำเห็ดนางฟ้ามาทำการคัดขนาดโดยเห็ดนางฟ้าที่มีขนาดเล็กเกินไปจะไม่นำมาใช้ในการทดลอง

2.2.2 ตัดแต่งเห็ดโดยตัดส่วนก้านออกให้เหลือแต่ส่วนดอกและล้างให้สะอาด (ในระหว่างนี้ทำการเปิดตู้อบลมร้อนให้อุณหภูมิถึงตามที่กำหนดคือ 90°C หรือ 110°C)

2.2.3 พักเห็ดสักครู่ให้สะเด็ดน้ำ (ในระหว่างนี้ทำการเตรียมแป้งชุบทอด และเปิดกระทะไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาคือ 160°C หรือ 180°C)

2.2.4 เตรียมแป้งชุบทอด

2.2.5 นำดอกเห็ดคลุกกับแป้งชุบทอด โดยใช้อัตราส่วนเห็ดนางฟ้า 150 กรัม ต่อแป้ง 20 กรัม

2.2.6 แล้วทำการทอดเห็ดนางฟ้าชุบแป้ง โดยศึกษาอุณหภูมิในการทอด 2 ระดับ คือ 160°C และ 180°C ศึกษาเวลาในการทอด 3 ช่วงเวลา (5, 6 และ 7 นาที) เมื่อถึงเวลาที่กำหนดตัก

เห็ดขึ้นมาซับน้ำมันบนกระดาษซับมันประมาณ 3 นาที แล้วนำมาเรียงใส่ถาดรอเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

2.2.7 นำเห็ดที่ผ่านการทอดจากข้อ 6 เข้าตู้อบลมร้อน โดยศึกษาอุณหภูมิในการอบ 2 ระดับ คือ 90°C เป็นเวลา 50 นาที และ 110°C เป็นเวลา 30 นาที เมื่ออบครบกำหนดเวลาจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเตาอบ พักให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัส (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. และ ง.)

2.2.8 ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1-7 อีก 2 ซ้ำ โดยทำการทดลองทีละอุณหภูมิและเวลาในการทอด และทีละอุณหภูมิและเวลาในการอบ ดังนี้

2.2.8.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด

2.2.8.1.1 180°C ทำการทอดเป็นเวลา 5, 6 และ 7 นาที

2.2.8.1.2 160°C ทำการทอดเป็นเวลา 5, 6 และ 7 นาที

2.2.8.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ

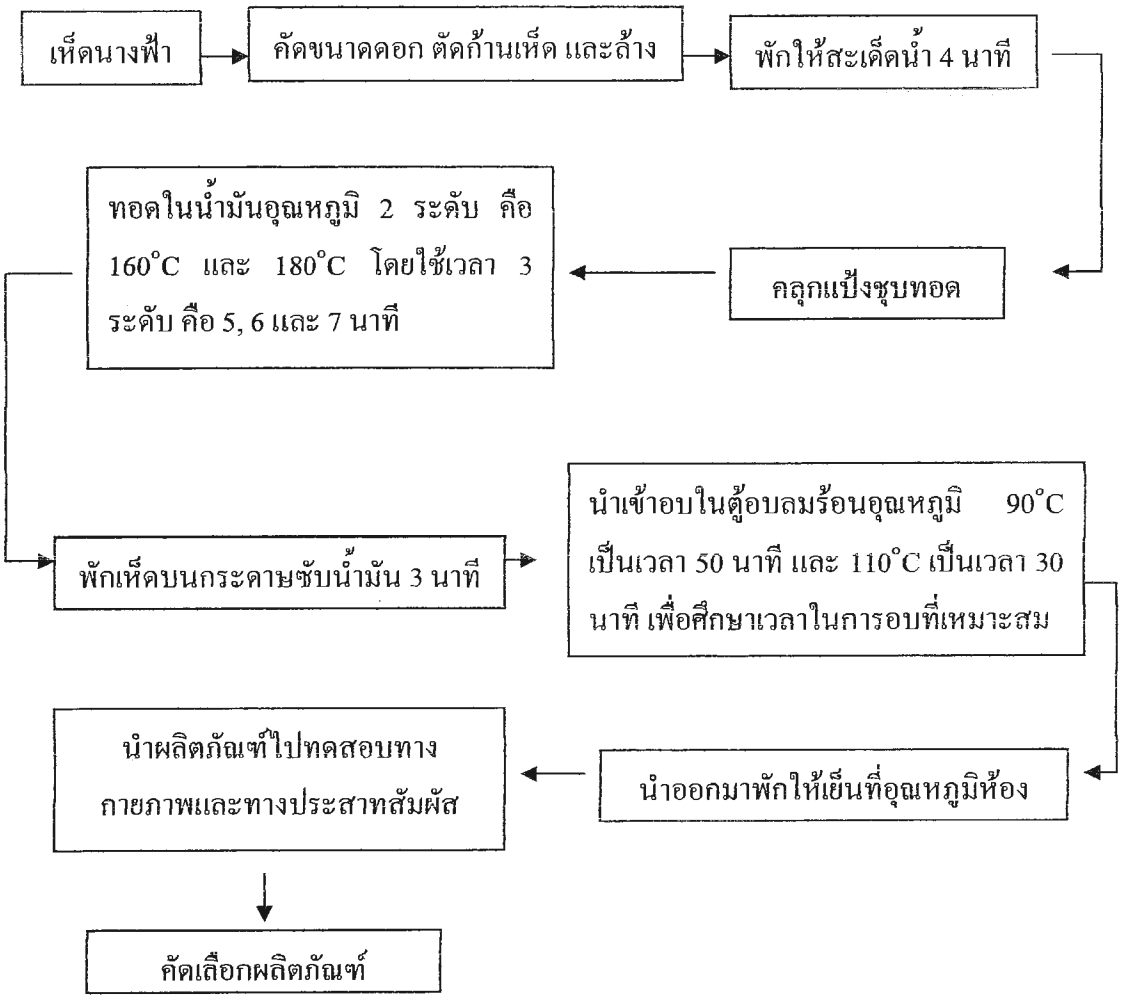
2.2.8.2.1 90°C อบเป็นเวลา 50 นาที

2.2.8.2.2 110°C อบเป็นเวลา 30 นาที

โดยกำหนดให้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอด และอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบอยู่ใน Treatment ต่างๆ ดังนี้

Treatment	อุณหภูมิทอด (°C)	เวลาทอด (นาที)	อุณหภูมิอบ (°C)	เวลาอบ (นาที)
1	160	5	90	50
2	160	6	90	50
3	160	7	90	50
4	160	5	110	30
5	160	6	110	30
6	160	7	110	30
7	180	5	90	50
8	180	6	90	50
9	180	7	90	50
1	180	5	110	30
11	180	6	110	30
12	180	7	110	30

<u>กระบวนการผลิต</u>



2.3 การศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบ

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบที่ต้องการแล้ว จึงทำการศึกษาสภาวะในการบรรจุโดยใช้ถุง Laminate foil ศึกษาที่ 3 สภาวะ คือ

P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen

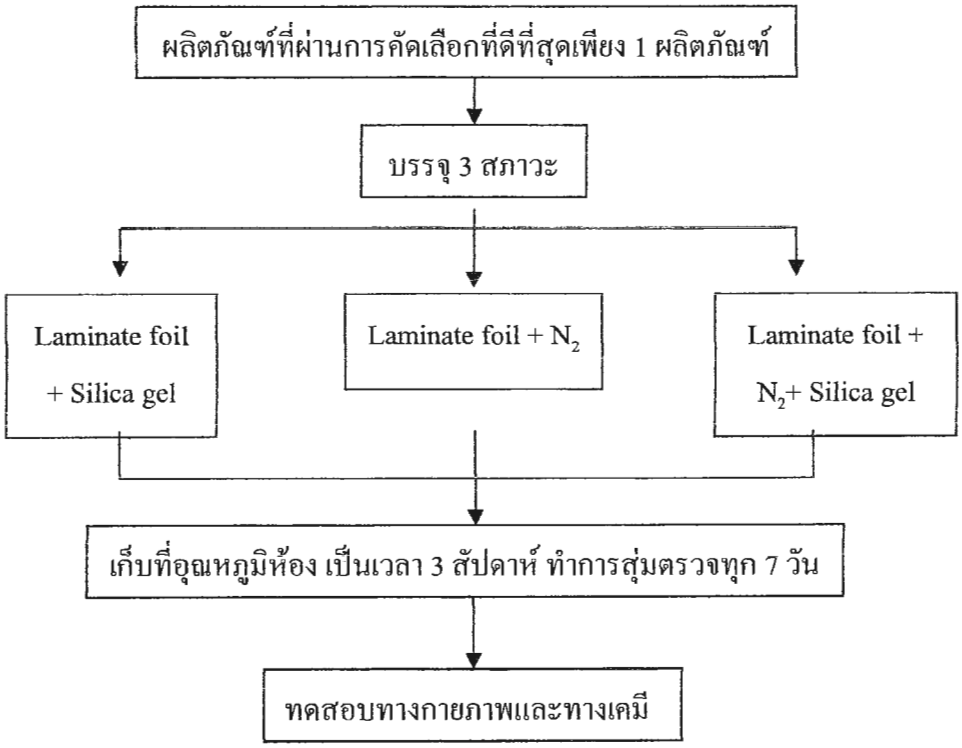
P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen

P_3: Laminate foil + Silica gel

หลังจากทำการบรรจุเสร็จแล้วทำการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25°C) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางกายภาพโดยการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, LLOYD Model CR Series)

ทำการวิเคราะห์หาค่า Peroxide value (P.V.) วิเคราะห์หาค่าความชื้น และ a_w (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

Flow chart แสดงการศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบ



การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1. ทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ

1.1 เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูปจะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่

1.1.1 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta chroma meter) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

1.1.2 วัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, LLOYD Model CR Series) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

1.1.3 เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบแล้ว จะนำมาทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ คือ

1.1.3.1 การวัดค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w (Novasina) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

1.1.3.2 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta chroma meter) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

1.1.3.3 วัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, LLOYD Model CR Series) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

2. ทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี

หลังจากที่ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจึงทำการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย ความชื้น a_w (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำและจะทำการวิเคราะห์หาค่า Peroxide value (P.V.) หลังจากทำการทดสอบที่สภาวะการบรรจุต่างๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของไขมันในผลิตภัณฑ์ว่ามีการหืนที่เกิดจากการออกซิเดชันหรือไม่ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

3. ทดสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

หลังจากที่ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจึงจะทำการทดสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ โดยทำการตรวจแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate count) ยีสต์และรา (Yeast and mold) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

4. ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยการทดสอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส ความกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธี Hedonic scoring test (ตัวอย่างแบบประเมินอยู่ในภาคผนวก ง.) ซึ่งใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คน (แสดงในภาคผนวก ง. เช่นกัน) โดยทำการทดสอบวัดค่า 3 ซ้ำ

<u>การวางแผนการทดลอง</u>

วางแผนการทดลองการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ เป็นจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน และทดสอบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้คะแนนความชอบแบบ 9-Point hedonic scale การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทดสอบความแปรปรวนและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

1. <u>การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของการทอดเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิ 160 °C และ 180 °C ร่วมกับการศึกษาเวลาในการอบหลังการทอดที่อุณหภูมิ 90 °C และ 110 °C ในการผลิตผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ</u>

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ โดยใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 160 °C และ 180 °C เวลาทอดที่ 5, 6 และ 7 นาที ใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบที่ 90 °C เป็นเวลา 50 นาที และ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7 พบว่า ค่า L ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความสว่าง และค่า *b* ซึ่งเป็นค่าสีช่วงสีเหลือง (+) ถึงช่วงสีน้ำเงิน (-) ซึ่งในสภาวะที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าเวลาทอด อุณหภูมิทอดและเวลาอบมีผลต่อค่า *a* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกช่วงสีแดง (+) ถึงช่วงสีเขียว (-) พบว่าทุกสภาวะการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นร่วมกับการใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้นส่งผลให้ค่า *a* เพิ่มสูงขึ้น (ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 3) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีค่า *a* ที่สูงขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาด (Mailard reaction) ของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ชิงในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากันได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) โดยจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล (นิธิยา, 2544)

ตารางที่ 7 แสดงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน

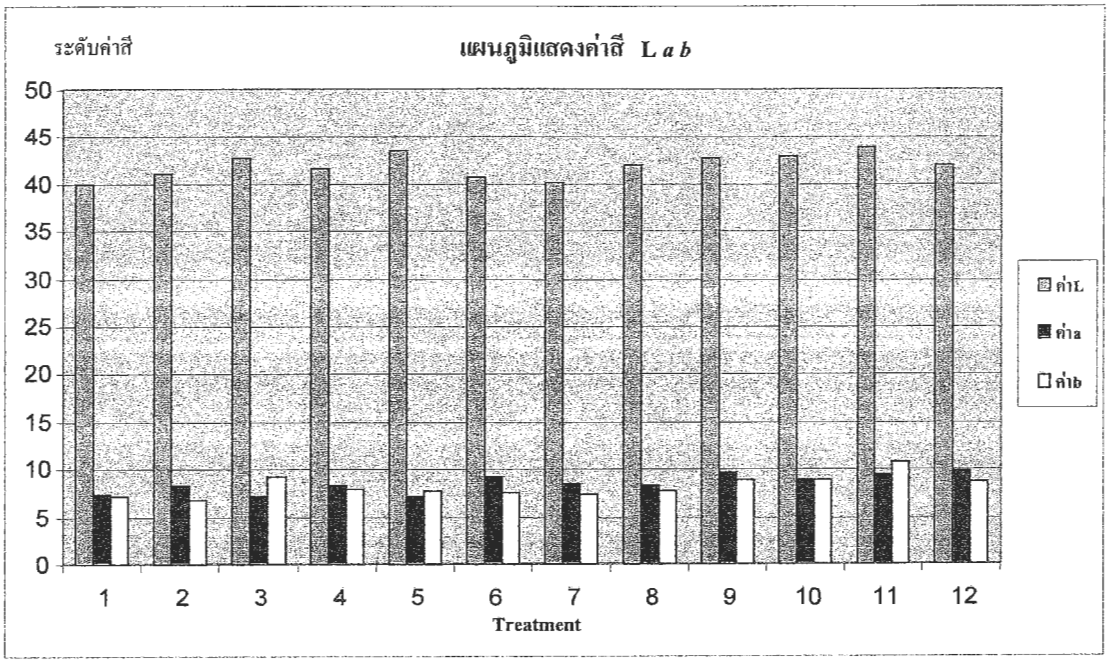
Treatment	ลักษณะทางกายภาพ			
	ค่าสี			Hardness (N)
	L^{ns}	*a*	b^{ns}	
1	39.887±5.38	7.303±1.20^{b}	7.105±5.13	28.736±25.464^{abc}
2	41.100±4.30	8.417±3.98^{ab}	6.835±3.23	29.363±20.456^{ab}
3	42.808±2.95	7.255±2.58^{b}	9.288±2.94	23.862±15.491^{abcd}
4	41.670±2.64	8.386±0.57^{ab}	7.938±2.05	35.070±29.472^{a}
5	43.538±4.22	7.182±1.86^{b}	7.740±3.59	19.815±12.325^{bcd}
6	40.728±3.27	9.354±0.87^{a}	7.563±3.59	24.586±10.911^{abcd}
7	40.071±4.64	8.547±1.07^{ab}	7.390±3.27	18.583±13.188^{bcd}
8	42.029±4.76	8.289±1.51^{ab}	7.821±5.35	23.461±18.830^{abcd}
9	42.719±2.34	9.737±1.41^{a}	8.895±3.05	15.880±3.810^{cd}
10	43.042±3.57	8.854±0.42^{ab}	8.958±4.40	30.234±28.995^{ab}
11	43.845±3.21	9.534±1.16^{a}	10.712±3.88	15.713±11.940^{cd}
12	42.084±2.27	9.812±1.02^{a}	8.781±3.20	12.168±3.308^{d}

หมายเหตุ $^{a-d}$ ในคอลัมน์เดียวกันบอกความแตกต่างโดยตัวอักษรที่ระดับความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p> 0.05$)

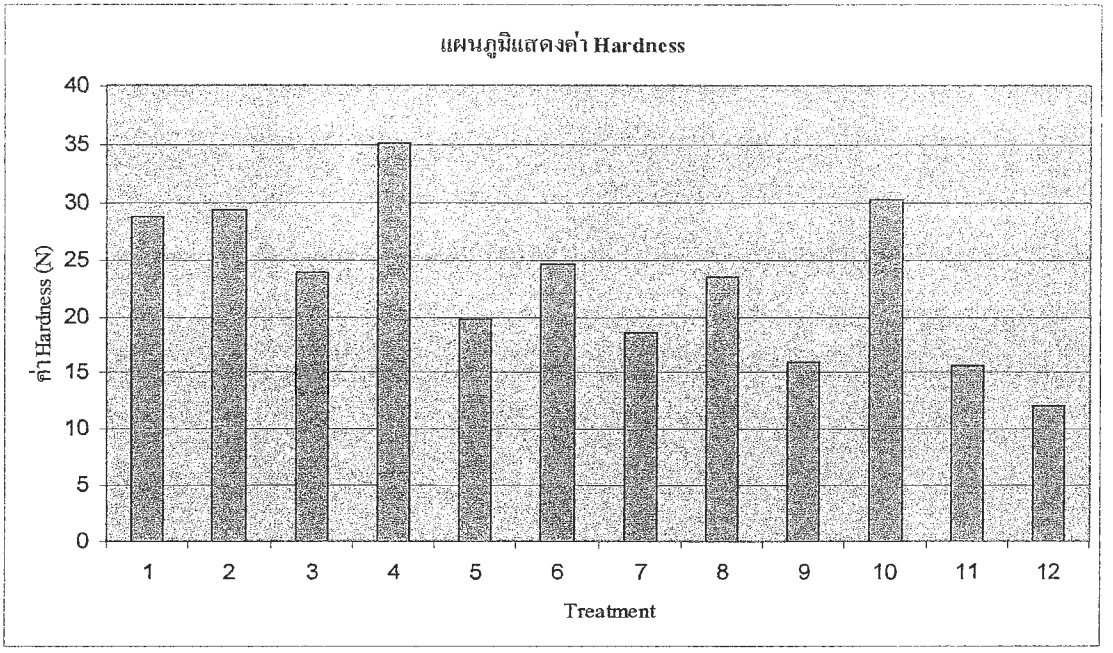
จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสจะแสดงในรูปของค่าความแข็ง (Hardness) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) โดยทำการวัดค่าร่วมของแรงกดกับแรงเฉือน ซึ่งเลียนแบบการกัดอาหารของฟันที่จะกัดอาหารก่อนที่จะเคี้ยว หัวที่ใช้ทำการวัดคือ Volodkevitch bite set โดยใช้ตัวอย่างที่มีความหนาประมาณ 2 mm จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิอบและเวลาอบ มีผลต่อค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ดังตารางที่ 7) โดยพบว่าที่อุณหภูมิการทอดสูงขึ้น ค่า Hardness มีค่าลดลง เมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น ค่า Hardness มีค่าลดลง รวมทั้งเมื่อใช้อุณหภูมิอบที่สูง ค่า Hardness จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน (ดังแสดงด้วยกราฟใน

ภาพที่ 4) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 7 นาทีร่วมกับการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเปราะ แตกหักได้ง่าย ทำให้มีค่า Hardness เท่ากับ 12.168 N ซึ่งเป็นค่า Hardness ที่ต่ำที่สุด เนื่องจากการเกิดลักษณะที่เป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลมาจากการระเหยออกของน้ำและไอน้ำในขั้นตอนการทอดทำให้น้ำมันแทนที่ภายในผิว ส่งผลให้เกิดความร้อนทั่วถึงและเกิดการถ่ายเทความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเปราะและกรอบ (นิธิยา, 2544)



ภาพที่ 3 แสดงค่าสี L *a b* ของผลิตภัณฑ์

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด และอุณหภูมิและเวลาในการอบสูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า *a* เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความเข้มของสีแดงมากขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาด (Mailard reaction) จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาล ส่วนค่า L และค่า *b* ในสภาวะที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4 แสดงค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์

จากภาพที่ 4 จะพบว่าเมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มที่ค่า Hardness ต่ำลง ในทำนองเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิทอด อุณหภูมิอบและเวลาอบสูงขึ้นค่า Hardness ก็มีแนวโน้มต่ำลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากเมื่อใช้ระยะเวลาในการทอดที่นาน โอกาสที่น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์มีการระเหยได้มากกว่าการทอดที่ใช้ระยะเวลาสั้น

จากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส (ดังตารางที่ 8) พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าอุณหภูมิทอด เวลาทอด อุณหภูมิและเวลาอบ มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม แต่ไม่มีผลต่อรสชาติ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น จะส่งผลต่อลักษณะปรากฏ โดยปรากฏผลตามคะแนนความชอบต่ำเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบต่ำ และเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบต่อลักษณะสีลดลง ทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ยอมรับเนื่องจากมีสีน้ำตาลเข้มเกินไปจึงทำให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏลดลงไปด้วย ซึ่งลักษณะสีน้ำตาลที่ปรากฏในผลิตภัณฑ์สามารถดูได้จากค่า a (ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 3) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a สูงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มมีสีน้ำตาลเข้มกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a ต่ำ ส่วนคะแนนความชอบต่อลักษณะกลิ่นจะพบว่าเวลาในการทอดและอุณหภูมิในการอบมีผลต่อความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในทอดที่สั้นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบสูงกว่าการใช้ระยะเวลาทอดที่เวลานานกว่า เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการทอดสั้นผลิตภัณฑ์จะเกิดลักษณะที่มีกลิ่นหอม

ทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นที่สูง แต่เมื่อใช้ระยะเวลาในการทอดที่นานทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นไหม้ส่งผลให้มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสต่ำ

คะแนนความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบพบว่า เมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น จะทำให้ค่าคะแนนความชอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงขึ้น และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้นสูงผลให้ความชอบทางประสาทสัมผัสสูงขึ้นเช่นกัน ดังเช่นผลที่ทดสอบได้ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสที่พบว่าถ้าใช้เวลาในการทอดนานขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากทำให้ค่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบสูงด้วย ซึ่งค่า Hardness ที่วัดได้มีค่าต่ำ (ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 4) เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นกลับทำให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสลดลง ซึ่งส่งผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมเป็นผลมาจากการความร้อนที่ใช้ในการอบและการทอดสูงมีผลต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความชื้น ไขมัน ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต (นิธิยา, 2544) จากการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส (ดังภาพที่ 5) พบว่าตัวอย่างที่ 12 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดที่ 180 °C เป็นเวลา 7 นาที อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที มีคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด ส่วนตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ 9 คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดที่ 180 °C เป็นเวลา 7 นาที อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 50 นาที มีค่า Hardness ที่ต่ำ และมีความกรอบสูงรองจากตัวอย่างที่ 12 โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ 9 มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สูงที่สุด ดังนั้น จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ในตัวอย่างที่ 9 ที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และมีค่า Hardness ที่ต่ำ มาเพียงตัวอย่างเดียวมาทำการเก็บรักษาต่อเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาโดยที่ยังสามารถคงความกรอบและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ขณะทำการเก็บรักษา

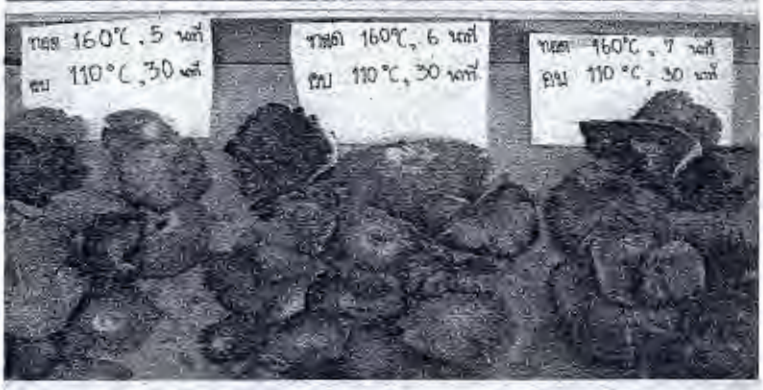
ตารางที่ 8 แสดงผลทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน

	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
Treatment	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความกรอบ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.067±1.43 ^{def}	6.000±1.47 ^{bc}	6.100±1.20 ^{abc}	6.667±1.27 ^{ab}	5.733±1.79 ^{cd}	5.733±1.60 ^{de}	6.033±1.24 ^{cd}
2	6.733±1.25 ^{abcd}	6.700±1.39 ^{abc}	6.200±1.42 ^{abc}	6.567±1.37 ^{ab}	6.600±1.96 ^{b}	6.300±1.57 ^{bcde}	6.733±1.28 ^{bc}
3	6.167±1.55 ^{def}	6.233±1.57 ^{bcd}	6.667±1.24 ^{ab}	6.700±1.39 ^{ab}	7.267±1.57 ^{ab}	6.800±1.39 ^{abc}	6.933±1.27 ^{ab}
4	7.167±1.06 ^{abc}	7.267±1.10 ^{a}	6.800±1.9 ^{a}	6.867±1.14 ^{ab}	7.300±1.18 ^{ab}	7.067±1.29 ^{ab}	6.933±1.07 ^{ab}
5	7.267±1.21 ^{ab}	6.900±1.28 ^{ab}	6.433±1.31 ^{abc}	6.833±1.42 ^{ab}	6.433±1.47 ^{bc}	6.833±1.32 ^{abc}	6.900±1.15 ^{ab}
6	6.567±1.32 ^{bcd}	6.700±1.41 ^{abc}	6.167±1.36 ^{abc}	6.133±1.58 ^{ab}	6.933±1.28 ^{ab}	6.467±1.17 ^{bcd}	6.233±1.16 ^{bcd}
7	6.467±1.40 ^{cde}	6.100±1.47 ^{bc}	6.000±1.40 ^{bc}	6.400±1.50 ^{ab}	6.567±1.56 ^{b}	6.200±1.37 ^{cde}	6.333±1.46 ^{bcd}
8	6.233±1.36 ^{de}	5.750±1.53 ^{d}	6.300±1.27 ^{abc}	6.467±1.49 ^{ab}	6.667±1.28 ^{b}	6.400±1.29 ^{bcd}	6.400±1.41 ^{bcd}
9	7.367±1.14 ^{a}	7.267±1.30 ^{a}	6.800±1.20 ^{a}	7.467±1.25 ^{ab}	7.667±1.79 ^{a}	7.433±1.43 ^{a}	7.567±1.28 ^{a}
10	5.800±1.34 ^{ef}	6.033±1.38 ^{bc}	6.133±1.16 ^{abc}	6.400±1.15 ^{ab}	5.333±1.88 ^{d}	5.600±1.38 ^{e}	5.967±1.23 ^{d}
11	5.467±1.49 ^{f}	5.700±1.48 ^{d}	5.900±1.22 ^{c}	6.500±1.25 ^{ab}	6.733±1.32 ^{b}	6.167±1.24 ^{cde}	6.500±1.11 ^{bcd}
12	6.033±1.32 ^{def}	6.300±1.35 ^{bcd}	6.467±1.16 ^{abc}	8.210±7.41 ^{a}	7.200±1.20 ^{ab}	6.167±1.22 ^{cde}	6.600±1.20 ^{bcd}

หมายเหตุ ค่า $^{a-f}$ ในคอลัมน์เดียวกันบอกความแตกต่างโดยตัวอักษรที่ระดับความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

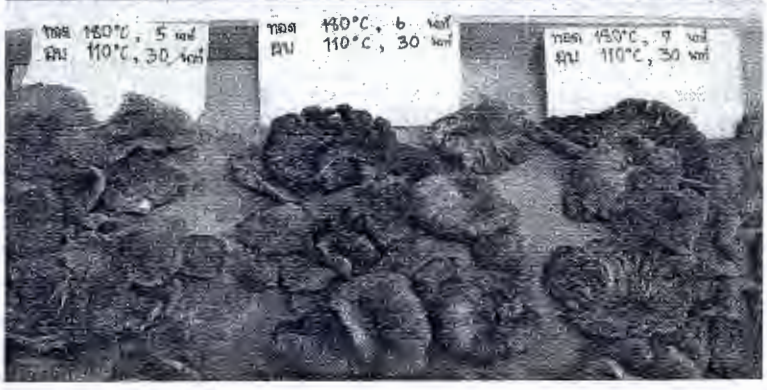
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



<u>ภาพที่ 5</u> ผลิตภัณฑ์ใน Treatment ต่างๆ จากซ้ายไปขวา ดังนี้ (ก) Treatment ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ข) Treatment ที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ (ค) Treatment ที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ และ (ง) Treatment ที่ 10, 11 และ 12 ตามลำดับ

จากภาพที่ 5 จะพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 12 Treatment เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกันจะพบว่าในทุกสภาวะจะมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกันกับการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสคะแนนที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกันทุกผลิตภัณฑ์ จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์โดยดูค่าจากตารางที่ 8 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ 9 ค่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.367, 7.267, 6.800, 7.667, 7.433 และ 7.567 ตามลำดับ ส่วนคะแนนความชอบทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ 12 มีค่าสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 8.210 จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ 9 ที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดนำไปทำการเก็บรักษาต่อ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด

ตารางที่ 9 แสดง % Yield และ % Weight loss ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิต	น้ำหนัก (กรัม)	% Yield	% Weight loss
เห็ดเริ่มต้น	4000.000	100.000	0.000
หลังตัดขาเห็ดออก	2603.400	65.050	34.952
หลังล้างน้ำ	3909.230	97.730	2.269
หลังทอด	856.320	21.410	78.590
หลังอบ	764.050	9.110	80.890

เมื่อนำเห็ดนางฟ้ามาผ่านกระบวนการแปรรูปจะได้ %Yield เท่ากับ 19.11% (ดังตารางที่ 9) ซึ่งน้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของน้ำในตัวอย่างในระหว่างการทอดและการอบซึ่งจะมีการระเหยของน้ำออกมามากทำให้มี %Yield ต่ำ โดยพบว่าเห็ดสดมีปริมาณความชื้นอยู่ถึง 89.760% จึงทำให้น้ำหนักลดลงมากถึง 80.890% และพบว่าขั้นตอนการนำเห็ดไปอบหลังจากการทอดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แห้งขึ้นและไม่อมน้ำมัน เนื่องจากความร้อนในระหว่างการอบจะช่วยให้น้ำมันถูกขับออกมาเมื่อมีกระดาษวางไว้ที่ด้านล่างของถาดอบทำให้กระดาษมีการดูดซับน้ำมันได้ดียิ่งขึ้น ทำให้น้ำมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ออกมา ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะที่แห้งขึ้นและไม่อมน้ำมัน

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบของเห็ดนางฟ้าสด (ส่วนที่กินได้) และผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ				
		องค์ประกอบ			
	a_w	ปริมาณความชื้น (%)	โปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	เส้นใย (% โดยน้ำหนักแห้ง)
เห็ดนางฟ้า	NA	89.762±6.846	26.075±1.209	0.869±0.152	30.000
เห็ดกรอบ	0.327±0.005	1.499±0.026	11.903±0.142	39.2195±0.520	29.550

หมายเหตุ NA คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ โดยทำการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ความชื้น และ a_w พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน 11.903% ไขมัน 39.219% เส้นใย 29.550% ความชื้น89.762% และค่า a_w เท่ากับ 0.327 โดยพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนลดลง แต่มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น (ดังตารางที่ 10) เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของโปรตีนที่ถูกทำลายด้วยความร้อนจึงทำให้มีปริมาณโปรตีนที่ลดลง และผลิตภัณฑ์มีการดูดซับน้ำมาทำให้มีปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจาก 0.869% เป็น 39.219% จึงพบว่าผลิตภัณฑ์เห็ดทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ (1.499%) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เห็ดกรอบเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากความชื้นได้ง่าย โดยสามารถดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไปทำให้ความกรอบลดลง ในขณะที่ความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

2. ผลการศึกษาวิธีการบรรจุที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้ากรอบให้คงความกรอบ

จากผลการศึกษาสภาวะบรรจุของผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ โดยการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) โดยทำการเก็บในสภาวะที่ต่างกันพบว่าระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษามีผลต่อค่า L (ดังในตารางที่ 11 และกราฟในภาพที่ 6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความสว่างมีค่าลดลง อาจเกิดเนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลง ส่งผลให้ค่า L มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงค่าความสว่างลดลง และความเข้มของสีแดงมีการลดลงเล็กน้อย ดังในค่า

a แต่ที่สภาวะบรรจุที่แตกต่างกันค่า L และ *b* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ดังในตารางที่ 12 และกราฟในภาพที่ 6) แต่พบว่าค่า *b* มีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นโดยมีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ส่วนในสัปดาห์ที่ 3 มีค่าลดลงเป็นผลเนื่องจากในช่วง 2 สัปดาห์ผลิตภัณฑ์มีค่า *a* ที่ลดลงส่งผลให้ ทำให้ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 8)

เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยค่า Hardness เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 17.447 N พบว่าสภาวะการเก็บรักษาที่มีเติม Silica gel มีค่า Hardness สูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 (ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 9) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 13 และกราฟในภาพที่ 11) ทำให้มีลักษณะที่เหนียวและแข็ง ค่า Hardness ที่ได้จึงเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่สภาวะที่มีการเติม Silica gel ร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนมีค่า Hardness ต่ำที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 18.161 N แสดงให้เห็นว่ามีผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีการเติมSilica gel ร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนมีความกรอบมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

ค่า a_w ของตัวอย่างที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าในทุกสภาวะการเก็บรักษามีแนวโน้มค่า a_w เพิ่มขึ้น (แสดงด้วยกราฟในภาพที่ 10) แต่เมื่อดูค่า a_w จากตารางที่ 11 พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ทุกสภาวะการเก็บรักษามีค่า a_w ลดลงจากค่า a_w ในสัปดาห์ที่ 0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.325 โดยในสภาวะการเก็บรักษาต่างๆ คือ สภาวะที่มีการเติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจน สภาวะที่มีการเติมเฉพาะก๊าซไนโตรเจน และสภาวะที่มีการเติมเฉพาะ Silica gel ในสัปดาห์ที่ 1 มีค่า a_w เท่ากับ 0.324, 0.302 และ 0.302 ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 2 มีค่า a_w เท่ากับ 0.333, 0.283 และ 0.272 ตามลำดับ ซึ่งเกิดเนื่องจากมีการปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เกิดสมดุลความชื้นจึงออกจากผลิตภัณฑ์สู่บรรยากาศภายในถุงที่เก็บรักษาส่งผลให้ค่า a_w ลดลง และในสัปดาห์ที่ 3 มีค่า a_w สูงที่สุด (ดังในตารางที่ 11) โดยในสัปดาห์ที่ 3 มีค่า a_w เท่ากับ 0.264, 0.401 และ 0.359 ตามลำดับ ซึ่งในสัปดาห์ที่ 3 พบว่าค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะที่เติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจนและสภาวะที่มีการเติมเฉพาะ Silica gel มีค่า a_w ต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่เติมเฉพาะก๊าซไนโตรเจน (ดังในตารางที่ 12 และดังแสดงด้วยกราฟในตารางที่ 10) เนื่องจาก Silica gel มีความสามารถในการดูดความชื้นในบรรจุภัณฑ์และอาหารได้จึงส่งผลให้ค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะดังกล่าวมีค่า a_w ต่ำ แต่ที่สภาวะการเก็บโดยการเติมเฉพาะก๊าซไนโตรเจน มีค่า a_w สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 นั่นคือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการบรรจุมีผลต่อค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก ผลิตภัณฑ์มีความแห้งจึงมีความสามารถในการดูซึมความชื้นจากอากาศได้สูง ดังนั้น อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเมื่อได้รับ

ความชื้นเพิ่มขึ้นดูดซับเข้าไปในรูเล็กๆ และช่องว่าง capillary ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ น้ำจะถูกจับอยู่ในอาหาร โดยทางกลทำให้อาหารมีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น (นิธิยา, 2544)

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน (P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen, P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen, P_3: Laminate foil + Silica gel) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C

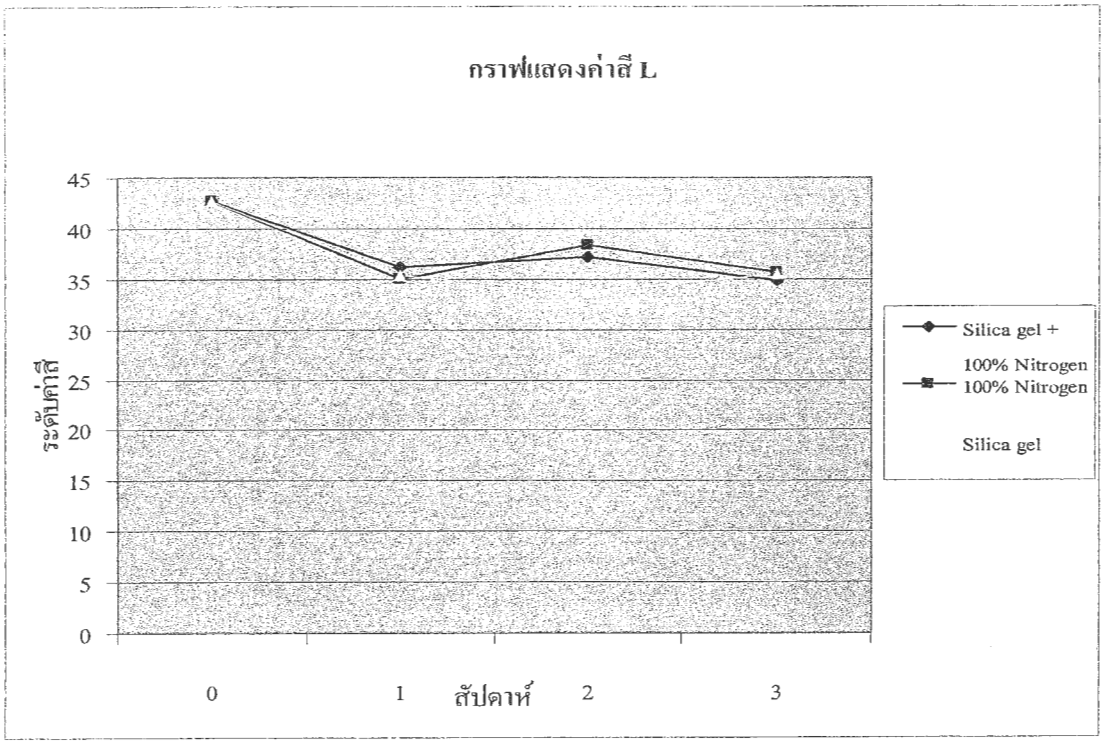
สัปดาห์ที่	สภาวะบรรจุ	คุณสมบัติทางกายภาพ				
		ค่าสี			Hardness (N)	ค่า a_w
		L	*a*	*b*		
0		42.719±2.336^{a}	9.737±1.418^{a}	8.895±3.052^{b}	17.447±5.607^{b}	0.325±0.006^{b}
1	P_1	36.127±3.077^{b}	8.898±1.569^{ab}	13.172±2.959^{a}	21.466±7.344^{b}	0.324±0.005^{c}
	P_2	34.975±5.357^{b}	9.015±1.350^{ab}	12.364±4.848^{a}	16.855±4.424^{b}	0.302±0.016^{c}
	P_3	35.310±5.084^{b}	9.278±1.382^{ab}	10.967±4.621^{a}	18.161±4.914^{b}	0.302±0.002^{c}
2	P_1	37.211±4.519^{b}	8.846±1.699^{b}	14.074±4.023^{a}	14.728±5.408^{a}	0.333±0.008^{d}
	P_2	38.358±4.035^{b}	7.811±2.200^{b}	13.567±3.430^{a}	22.667±17.777^{a}	0.283±0.005^{d}
	P_3	33.588±4.812^{b}	9.557±1.619^{b}	10.627±4.477^{a}	37.491±23.196^{a}	0.272±0.002^{d}
3	P_1	34.749±3.513^{b}	9.416±0.820^{a}	10.461±3.032^{b}	16.161±3.576^{b}	0.264±0.001^{a}
	P_2	35.613±3.021^{b}	9.473±1.433^{a}	9.658±2.885^{b}	23.008±7.584^{b}	0.401±0.001^{a}
	P_3	35.405±2.404^{b}	9.813±0.964^{a}	10.518±2.604^{b}	19.401±3.377^{b}	0.359±0.001^{a}

หมายเหตุ $^{a-c}$ ในคอลัมน์เดียวกันบอกความแตกต่างโดยตัวอักษรที่ระดับความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

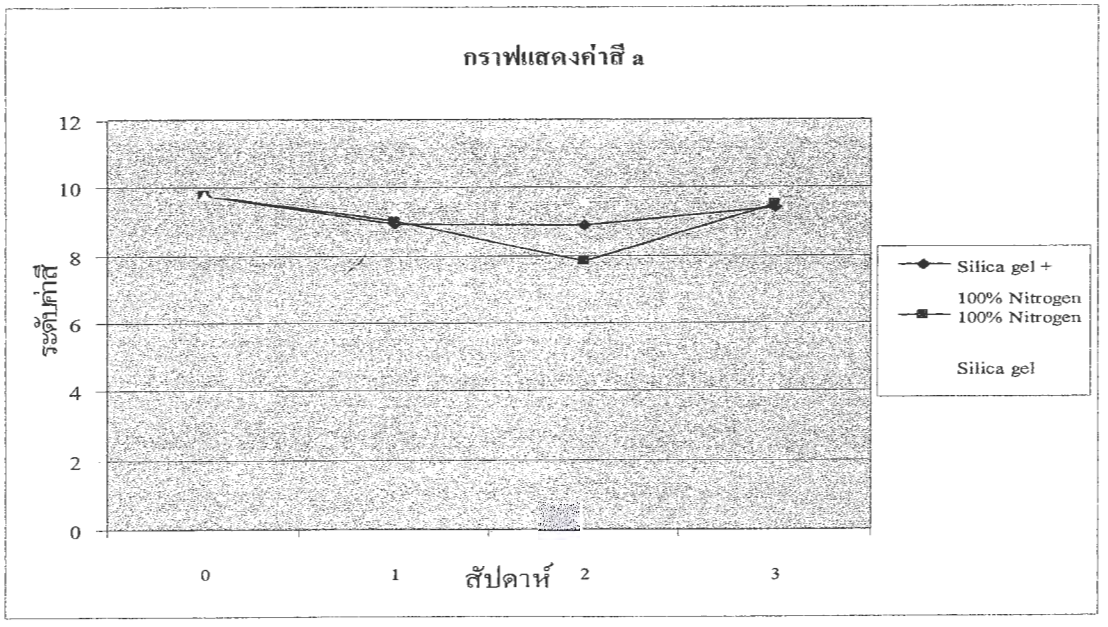
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน (P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen, P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen, P_3: Laminate foil + Silica gel) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

สภาวะบรรจุ	สัปดาห์ที่	คุณสมบัติทางกายภาพ				
		ค่าสี			Hardness (N)	ค่า a_w
		L^{ns}	a^{ns}	b^{ns}		
	0	42.719±2.336	9.737±1.418	8.895±3.052	17.447±5.607^{a}	0.325±0.006^{b}
P_1	1	36.127±3.077	8.898±1.569	13.172±2.959	21.466±7.344^{b}	0.324±0.005^{b}
	2	37.211±4.519	8.846±1.699	14.074±4.023	14.728±5.408^{b}	0.333±0.008^{b}
	3	34.749±3.513	9.416±0.820	10.461±3.032	16.161±3.576^{b}	0.264±0.001^{b}
P_2	1	34.975±5.357	9.015±1.350	12.364±4.848	16.855±4.424^{ab}	0.302±0.016^{a}
	2	38.358±4.035	7.811±2.200	13.567±3.430	22.667±17.777^{ab}	0.283±0.005^{a}
	3	35.613±3.021	9.473±1.433	9.658±2.885	23.008±7.584^{ab}	0.401±0.001^{a}
P_3	1	35.310±5.084	9.278±1.382	10.967±4.621	18.161±4.914^{a}	0.302±0.002^{b}
	2	33.588±4.812	9.557±1.619	10.627±4.477	37.491±23.196^{a}	0.272±0.002^{b}
	3	35.405±2.404	9.813±0.964	10.518±2.604	19.401±3.377^{a}	0.359±0.001^{b}

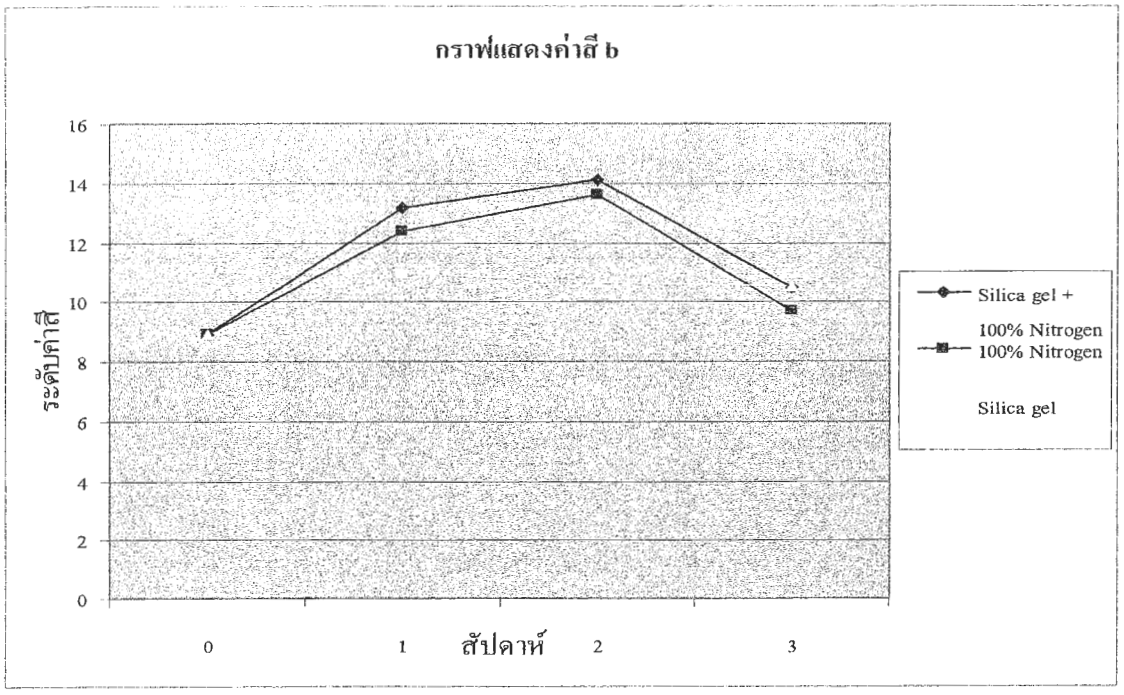
หมายเหตุ $^{a-c}$ ในคอลัมน์เดียวกันบอกความแตกต่างโดยตัวอักษรที่ระดับความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 6 แสดงค่าสี ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์



ภาพที่ 7 แสดงค่าสี *a* ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

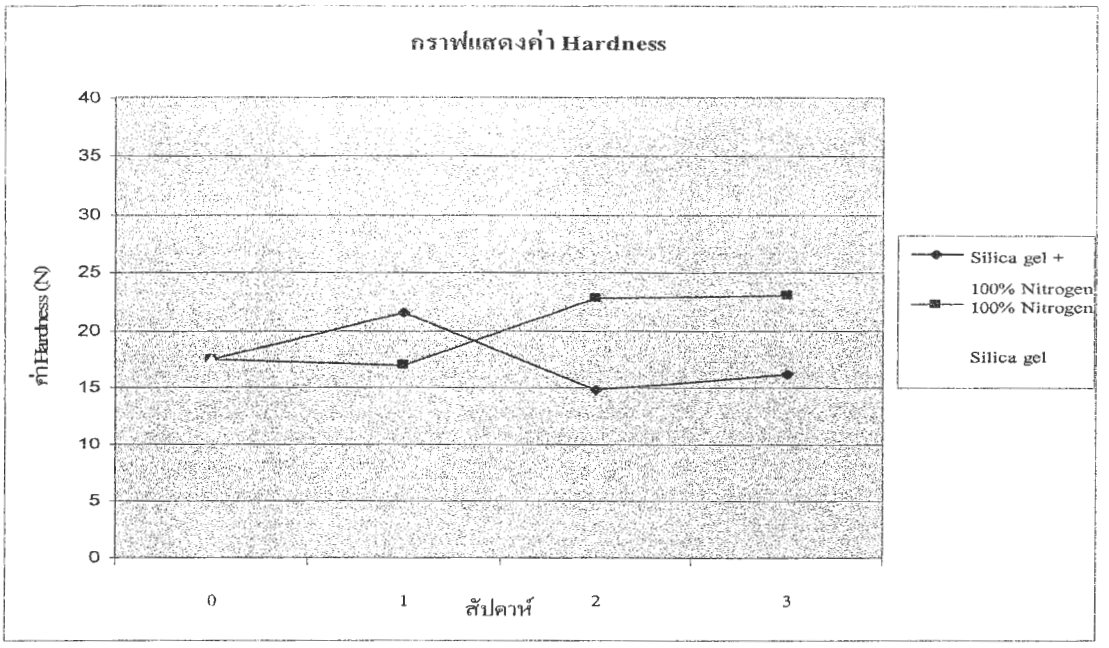


ภาพที่ 8 แสดงค่าสี *b* ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

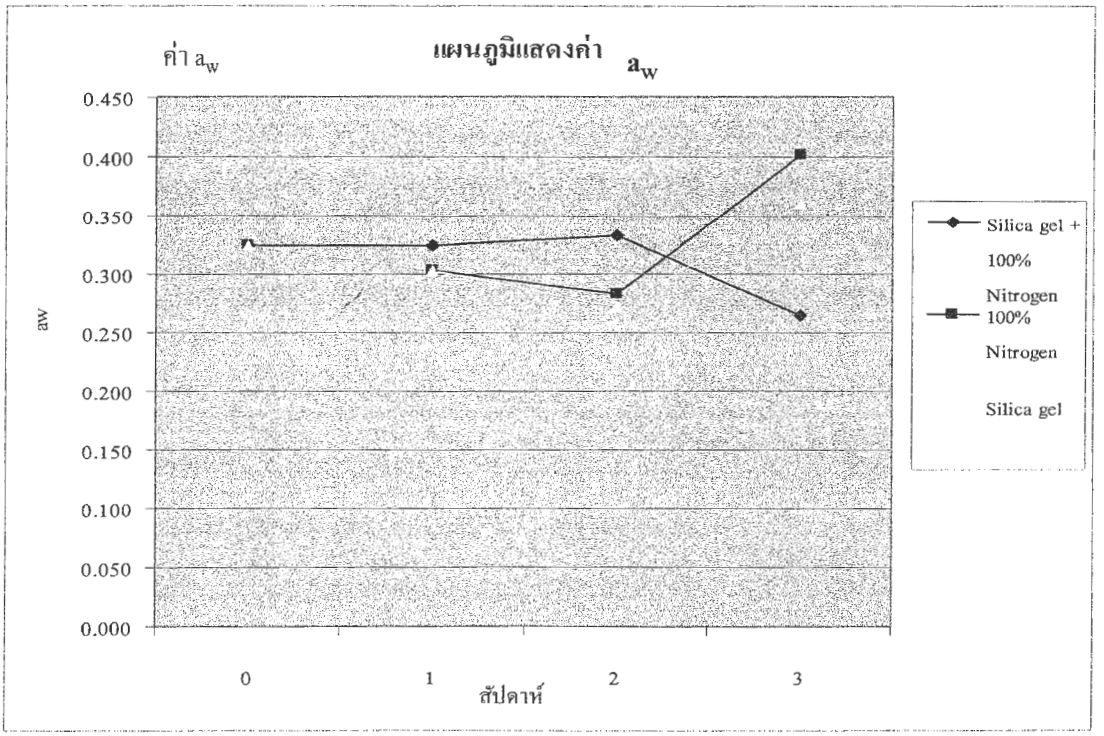
จากภาพที่ 6 พบว่าค่า L ของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C มีแนวโน้มลดลงในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสภาวะ เนื่องจากเมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มขึ้น ค่าความสว่างจึงลดลง

จากภาพที่ 7 พบว่าค่า *a* ของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสภาวะ เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง ส่งผลให้มีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นทำให้ค่า *a* มีค่าลดลง

จากภาพที่ 8 พบว่าค่า *b* ของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 และในสัปดาห์ที่ 3 มีค่าลดลง โดยเป็นผลมาจากความชื้นที่มีการลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีที่เข้มขึ้นส่งผลต่อค่า *b* โดยมีค่าอยู่ช่วงที่มีสีน้ำตาลทำให้ค่า *b* มีค่าลดลง



ภาพที่ 9 แสดงค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์



ภาพที่ 10 แสดงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

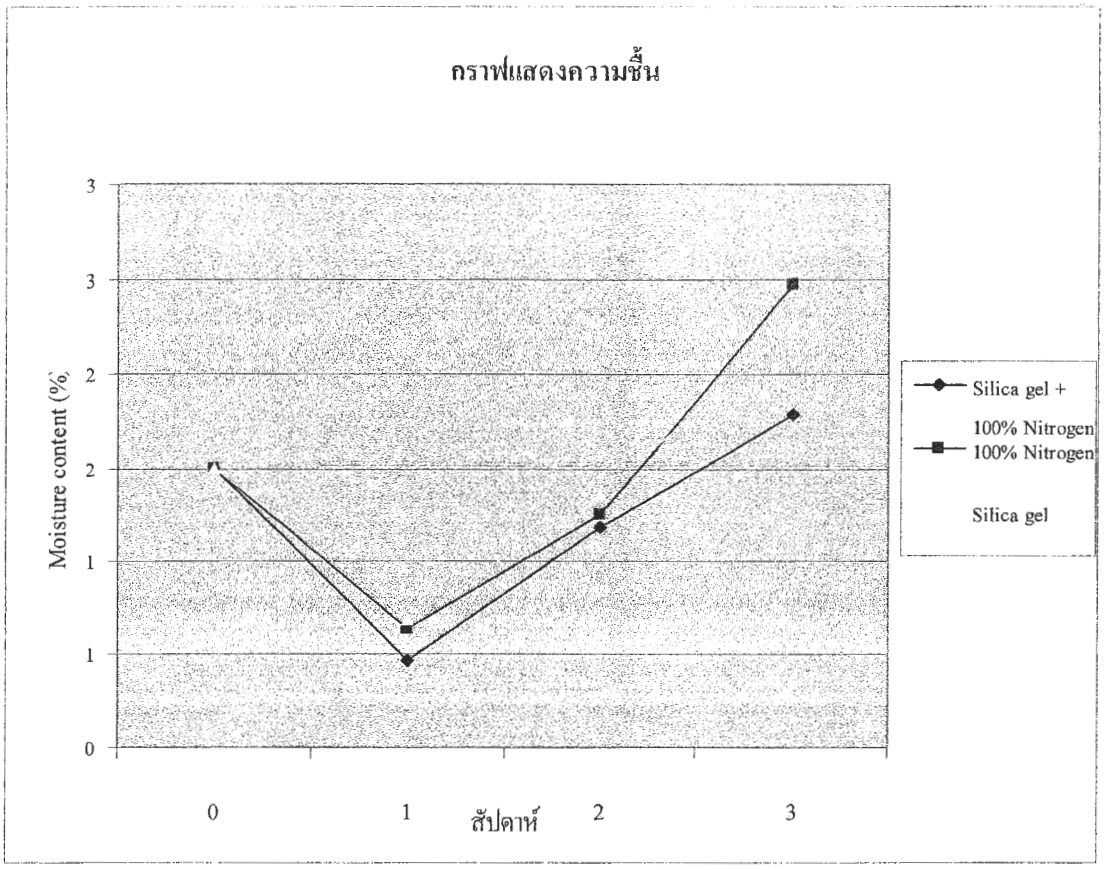
จากภาพที่ 9 พบว่าค่า Hardness ของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C ในตัวอย่างที่เติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง และค่า Hardness ของตัวอย่างที่เติมเฉพาะ Silica gel มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ที่ลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ทำให้ค่า Hardness ลดลง และมีความกรอบเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 10 พบว่าค่า a_w ของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C ในตัวอย่างที่เติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงและค่า a_w ของตัวอย่างที่เติมเฉพาะ Silica gel และเติมเฉพาะไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแห้งจึงมีความสามารถในการดูซึมความชื้นจากอากาศได้สูง ดังนั้น อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นดูดซับเข้าไปในรูเล็กๆ และช่องว่าง capillary ให้อาหารมีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน (P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen, P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen, P_3: Laminate foil + Silica gel) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

สภาวะบรรจุ[ns]	สัปดาห์	คุณสมบัติทางเคมี	
		ความชื้น (%)	ค่า P.V. (mEq/kg)
	0	1.499±0.027[b]	ไม่พบ
P_1	1	0.462±0.008[c]	ไม่พบ
	2	1.172±0.087[b]	ไม่พบ
	3	1.780±0.018[a]	ไม่พบ
P_2	1	0.629±0.232[c]	ไม่พบ
	2	1.248±0.007[b]	ไม่พบ
	3	2.468±0.650[a]	ไม่พบ
P_3	1	0.681±0.054[c]	ไม่พบ
	2	1.356±0.000[b]	ไม่พบ
	3	2.253±0.955[a]	ไม่พบ

หมายเหตุ ค่า [a-b] ในคอลัมน์เดียวกันบอกความแตกต่างโดยตัวอักษรที่ระดับความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรจุต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่ายังไม่พบการหืน (ดังในตารางที่ 13) อาจเนื่องมาจากน้ำมันที่ทอดเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอีน ซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 48 จึงยังไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้มีคุณสมบัติทนความร้อน หรือคงสภาพได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์มีปริมาณน้อยมาก ทำให้ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่ทำให้เกิดเป็นไอโอดีน ดังนั้น จึงไม่สามารถไตเตรทหาปริมาณไอโอดีนได้ และทำให้ไม่สามารถตรวจวัดค่าเปอร์ออกไซด์ได้ โดยไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโมเลกุลมากหรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด Oxidative rancidity ได้ง่ายกว่าไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลสูง (อิฐบูรณ์ และ ทัศนีย์, 2546)

จากภาพที่ 11 พบว่าความชื้นของตัวอย่างเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะเก็บรักษาและในตัวอย่างที่เติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความชื้นต่ำที่สุด โดยมีความชื้นในสัปดาห์ที่ 3 เท่ากับ 0.681%

เมื่อทำการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ (ดังตารางที่ 8 และ 9) ในผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา มีจำนวนน้อยกว่า 30 CFU/g เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการป้องกันการปนเปื้อนจากผู้ทดลองและภาชนะหรืออุปกรณ์เป็นอย่างดี และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยความร้อนสูงที่ทำลายจุลินทรีย์ก่อนนำมาเก็บรักษา ร่วมกับการที่ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำ ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระ (Free water) ที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ได้น้อยทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ แต่ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะที่ใช้ถุง Laminate foil ร่วมกับการเติม Silica gel มีการตรวจพบจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต หรืออาจปนเปื้อนจากภายนอกถุง Silica gel ที่เติมลงไปซึ่งมีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ Silica gel คือ 70°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทนร้อน (Thermophilic bacteria) ส่วนสภาวะที่มีการเติมก๊าซไนโตรเจนไม่พบการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เนื่องจากภายในบรรจุภัณฑ์ไม่มีก๊าซออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในกระบวนการหายใจ

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์เชื้อ Total bacteria ในผลิตภัณฑ์ ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน (P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen, P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen, P_3: Laminate foil + Silica gel) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

สภาวะบรรจุ	สัปดาห์			
	0 (CFU/g)	1 (CFU/g)	2 (CFU/g)	3 (CFU/g)
P_1	<30×10	<30×10	<30×10	<30×10
P_2	<30×10	<30×10	<10	<30×10
P_3	<30×10	<30×10	<30×10	<30×10

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์เชื้อยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ ที่บรรจุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน (P_1: Laminate foil + Silica gel + 100% Nitrogen, P_2: Laminate foil + 100% Nitrogen, P_3: Laminate foil + Silica gel) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

สภาวะบรรจุ	สัปดาห์			
	0 (CFU/g)	1 (CFU/g)	2 (CFU/g)	3 (CFU/g)
P_1	<30×10	<30×10	<30×10	<30×10
P_2	<30×10	<30×10	<10	<30×10
P_3	<30×10	<30×10	<30×10	<30×10

สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดนางฟ้าให้คงความกรอบคือ ทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 7 นาที ร่วมกับการอบที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 50 นาที เนื่องจากจะทำให้ได้ค่า Hardness เท่ากับ 15.880±3.810 N ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบ และได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ยกเว้นคะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 7 นาที ร่วมกับการอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที มีคะแนนสูงที่สุด

เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 7 นาที ร่วมกับการอบที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 50 นาที โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่าค่า L มีค่าลดลงในทุกสภาวะการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 1 โดยในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 มีค่าคงที่ แต่ในแต่ละสภาวะการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ค่า a มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บรักษา และค่า Hardness ในสภาวะการเก็บรักษาที่เติม Silica gel มีค่าสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้น ทำให้มีลักษณะที่เหนียวและแข็ง ค่า Hardness ที่ได้จึงเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่สภาวะที่มีการเติม Silica gel ร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนมีค่า Hardness ต่ำที่สุดแสดงให้เห็นว่ามีความกรอบมากที่สุด

ค่า a_w ของตัวอย่างที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ทุกสภาวะการเก็บรักษามีแนวโน้มค่า a_w เพิ่มขึ้น แต่พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ทุกสภาวะการเก็บรักษามีค่า a_w ลดลงจากค่า a_w ในสัปดาห์ที่ 0 ซึ่งเกิดเนื่องจากมีการปรับสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เกิดสมดุลความชื้นจึงออกจากผลิตภัณฑ์สู่บรรยากาศภายในถุงที่เก็บรักษาส่งผลให้ค่า a_w ลดลง และในสัปดาห์ที่ 3 มีค่า a_w สูงที่สุด ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่าค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาวะที่เติม Silica gel ร่วมกับก๊าซไนโตรเจนและสภาวะที่มีการเติมเฉพาะ Silica gel มีค่า a_w ต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่เติมเฉพาะก๊าซไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ยังไม่พบการหืน เนื่องมาจากน้ำมันที่ทอดเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอีน ซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงจึงยังไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราในผลิตภัณฑ์หลังทำการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ มีการพบน้อยกว่า 30 CFU/g

ผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในสภาวะบรรจุที่ใช้การเติม Silica gel ร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนคาดว่ามีความเหมาะสมต่อการรักษาความกรอบของผลิตภัณฑ์

มากที่สุด เนื่องจากมีค่า Hardness ต่ำที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากที่สุด และมีค่า a_w เท่ากับสภาวะบรรจุที่เติมเฉพาะ Silica gel แต่ต่ำกว่าสภาวะที่มีการเติมเฉพาะก๊าซไนโตรเจน ซึ่งสภาวะที่มีการเติม Silica gel ร่วมกับการเติมก๊าซไนโตรเจนดังกล่าวนี้ส่งผลให้มีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำเนื่องจากมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยภายในบรรจุภัณฑ์ที่เก็บรักษามีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำเนื่องจากมีการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปทำให้มีการยับยั้งการเจริญจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ ซึ่งการบรรจุก๊าซไนโตรเจนที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยเข้าไปในบรรจุภัณฑ์นั้นยังสามารถลดการหืนอันเกิดเนื่องจากการออกซิเดชันได้ อีกทั้ง Silica gel ที่มีการเติมเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ยังช่วยลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ทำให้คงความกรอบของผลิตภัณฑ์ได้นาน ซึ่งเมื่อนำทั้งก๊าซไนโตรเจนและ Silica gel มาใช้ในการบรรจุร่วมกันจะจึงน่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการบรรจุที่ใช้เฉพาะ Silica gel หรือ ก๊าซไนโตรเจนอย่างเดียว จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ความกรอบที่นาน แต่ยังไม่สามารถทราบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการทดลองที่มีจำกัด

ข้อเสนอแนะ

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองอาจทำการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นเห็ดนางรมหรือทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเห็ดนางรมกับเห็ดนางฟ้าเพื่อดูวัตถุดิบว่าวัตถุดิบชนิดใดที่มีความเหมาะสมในการแปรรูป เนื่องจากเห็ดนางฟ้าให้สีของผลิตภัณฑ์ที่เข้มกว่าเห็ดนางรม และเห็ดนางฟ้าขาดง่ายในระหว่างการแปรรูป ส่วนเห็ดนางรมจะมีความเหนียวมากกว่าทำให้รูปร่างเสียหายน้อยกว่า
2. การกำหนดช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาควรทำการศึกษาช่วงที่กว้างกว่าในงานศึกษานี้เพื่อดูความเปลี่ยนแปลง
3. ก่อนนำ Silica gel มาใช้ในการทดลองควรระมัดระวังเรื่องความสะอาด ถ้ามีการเก็บรักษาที่ไม่ดีทำให้มีโอกาสที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากถุง Silica gel ในระหว่างการเก็บรักษา
4. ในการนำไปศึกษาต่อควรจะมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเพื่อให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในขณะทำการเก็บรักษาที่มีระยะเวลานาน เพื่อหาการอายุในการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดและขยายโอกาสการจำหน่ายในสถานที่ที่ต้องใช้เวลาในการขนส่งเป็นระยะเวลานาน
5. การทดสอบทางประสาทสัมผัสควรใช้ผู้ทดสอบจำนวนมากกว่าในงานศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. ผลงานวิชาการประจำปี 2544. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร แห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 251 หน้า.

จิตมา สิงหวนิช, อุมาพาร ศิริพินทุ์ และ รมณี สงวนดีกุล. 2538. วิทยาศาสตร์การอาหารเบื้องต้น. ชวนพิมพ์. นนทบุรี. 408 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 160 หน้า.

นิรนาม ก. 2547. เห็ดอาหารมหัศจรรย์. Post harvest Newsletter ปีที่ 3 (2): หน้า 4-5.

นิรนาม ข. 2547. เห็ดนางฟ้า. [http://www.doae.go.th/library /html/detail/nangfa/nangfa1.htm.]. 11 พฤศจิกายน 2547.

นิรนาม ค. 2547. สารดูดความชื้นชนิดต่างๆ. [http://www.tanapolvanich.com/desiccant.htm]. 11 พฤศจิกายน 2547.

ปราณี วิเศษ. 2547. การบรรจุอาหารภายใต้สภาพปรับแต่งบรรยากาศ. [http://www.dss.go.th/knowledge/controngas/controngas_info.html]. 11 พฤศจิกายน 2547.

ปรีชา รัตนัง. 2547. บทความเรื่องเห็ด. [http://www.champa.kku.ac.th/somphong/doc/mush.htm]. 10 November 2004.

ปัญญา โพธิ์ฐิติรัตน์ และ กิติพงษ์ ศิริวานิชกุล. 2538. พิมพ์ครั้งที่ 2. รั้วเขียว. กรุงเทพฯ. 421 หน้า.

ยงยุทธ ขจรวิทย์ และ นันทิยา ขจรวิทย์. ฟาร์มเห็ด. [http://www.geocities.com/tatlobri/Lopburi/hed.html]. 20 ธันวาคม 2547.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2540. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 227 หน้า.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นอล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 500 หน้า.

วัลลภ พรหมทอง. 2542. พิมพ์ครั้งที่ 4. เห็ดเพาะกินได้ เพาะขายรวย. มติชน. กรุงเทพฯ. 96 หน้า.

ศิริวรรณ สุทธจิตต์ และ ไมตรี สุทธจิตต์. 2547. เห็ดสมุนไพร: จากอดีต สู่ปัจจุบัน และอนาคต (Medicinal Mushrooms: Past, Present and Future). [http://www.thaiagro.com/aticle/mushrooms/47051701.htm]. 10 พฤศจิกายน 2547.

อบเชย อิ่มสบาย. 2547. กับข้าวจานทอด. แสงแดด. กรุงเทพฯ. 128 หน้า.

อบเชย วงศ์ทอง และ ขนิษฐา พูนผลกุล. 2547. พิมพ์ครั้งที่ 2. หลักการประกอบอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 163 หน้า.

อิฐบูรณ์ อ้นวงษา และ ทัศนีย์ แน่นอุดร. 2546. น้ำมันพืชคุณรู้จักดีแค่ไหน. พิมพ์ดี. นนทบุรี. 46 หน้า.

Anonymous. 2004. Frying. [http://en.wikipedia.org/wiki/Frying]. 10 November 2004.

A.O.A.C. 1999. Official methods analysis of association of official analytical chemists, Washington D.C., U.S.A.

Augustin, M.A. and S.K. Berry. 1984. Stability of tapioca chips fried in RBD palm olein treated with antioxidants. Journal of the American Oil Chemists' Society 61: 873–877.

Houhoula, D.P. and V. Oreopoulou. 2004. Predictive study for the extent of deterioration of potato chips during storage. Journal of Food Engineering 65: 427–432.

Krokida, M.K., V. Oreopoulou, Z.B. Maroulis and D. Marinos-Kouris. 2000. Colour changes during deep fat frying. Journal of Food Engineering 48: 219-225.

Marquez Ruiz, G., M.M. Polvillo, N. Jorge, M.V. Ruiz Mendez and M.C. Doabarganes. 1999. Influence of used frying oil quality and natural tocopherol content on oxidative stability of fried potatoes. Journal of the American Oil Chemists' Society 76: 421–425.

Math, G.R., V. Velu, A. Nagender, D.G. Rao. 2003. Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. Journal of Food Engineering 64: 429–434.

Min, D. B. and D. Q. Schweizer. 1983. Lipid oxidation in potato chips. Journal of the American Oil Chemists' Society 60: 1662–1665.

Parry, R. T. 1993. Introduction, pp. 1-17. *In* R. T. Parry, ed. Principles and applications of modified atmosphere packaging of food. St Edmundsbury Press, Suffolk, Great Britain.

Silva, S.A., J.L. Hernández and P.P. Losada. 2004. Modified atmosphere packaging and temperature effect on potato crisps oxidation during storage. Analytica Chimica Acta 524: 185–189.

Wikipedia. 2004. Tempura. [http://en.wikipedia.org/wiki/Tempura]. 1 December 2004.

ภาคผนวก

กิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ณ กลุ่มเพาะเห็ดครบวงจรบ้านนาคิแลน ต.ขามเปี้ย อ.ตระการพืชผล จ.อุบลราชธานี