



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)

ปริญญา

คหกรรมศาสตร์

คหกรรมศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

Development of Healthy Snack Product from Mushrooms

نامผู้วิจัย นางสาวจันทร์กานต์ ทรงเดช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ศิริพร เรียบร้อย, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ นื่องนุช ศิริวงศ์, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ปณิดา บรรจงสินศิริ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ, ประ.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

Development of Healthy Snack Product from Mushrooms

โดย

นางสาวจันทรกานต์ ทรงเดช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จันทรานต์ ทรงเดช 2555: การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด ปริญญาวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์) สาขาคหกรรมศาสตร์ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศิริพร เรียบร้อย, ประ.ด. 148 หน้า

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารว่าง
เพื่อสุขภาพจากเห็ดหอม (*Lentinus edodes*, LM) เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*, VM) และเห็ดนางฟ้า
(*Pleurotus sajor-caju*, PM) พบว่า ปริมาณโปรตีนและใยอาหารหยาบเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของ PM เพิ่มขึ้น
ขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง ($p < 0.05$) ตัวอย่างสูตรที่มีอัตราส่วนของ VM และ PM เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า
 L^* a^* และ b^* สูงขึ้น ($p < 0.05$) ตัวอย่างสูตรที่มีอัตราส่วนของ LM:VM:PM เท่ากับ 50:25:25 (CMS-4) ได้
คะแนนการยอมรับด้านความชอบรวมมากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาค่าผลของการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งต่อ
สมบัติทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของตัวอย่างสูตร CMS-4 ซึ่งเห็ดแห้งแต่ละชนิดมีอัตราการผลิตน้ำคั้น
แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสด ($p < 0.05$) เมื่อทำการทดแทนเห็ดอบแห้ง
เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลงและใยอาหารหยาบเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้น
ของค่าความแข็งและความกรอบ ($p < 0.05$) สำหรับการทดสอบการยอมรับ ตัวอย่างสูตรที่มีอัตราส่วนของเห็ด
สด:เห็ดอบแห้ง เท่ากับ 75:25 (CMD-2) ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านสูงสุด ($p < 0.05$) และไม่แตกต่างจาก
สูตร CMS-4 สำหรับคุณค่าทางโภชนาการและฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และ CMD-2 นั้นมี
สารอาหารหลักและสารอาหารรองใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ตัวอย่างสูตร
CMD-2 ให้พลังงานต่ำและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายน้อยกว่า CMS-4 เมื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลง
ทางเคมี จุลชีววิทยา และกายภาพของทั้งสองสูตรที่บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์และเติมก๊าซไนโตรเจน (N_2) หรือ
บรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) ระหว่างการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ระหว่างการเก็บรักษา
ตัวอย่างชุดควบคุมมีปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และปริมาณ thiobarbituric acid reactive
substances เพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่บรรจุด้วย N_2 ($p < 0.05$) ตัวอย่างทั้งสองสูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ($p > 0.05$) แต่มีจำนวนยีสต์และราทั้งหมดเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและชุด
ควบคุมของทั้งสองสูตรเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดที่บรรจุด้วย N_2 รวมทั้งการลดลงของค่าความแข็งและความกรอบ
($p < 0.05$) นอกจากนี้ตัวอย่างชุดควบคุมได้รับคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะลดลงเช่นกัน ($p < 0.05$) จาก
ผลการศึกษาความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอกติวิตีและการออกซิเดชัน
ของไขมันส่งผลต่อกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความกรอบของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น อาหารว่างเพื่อสุขภาพ
สามารถผลิตได้จากเห็ด (ทั้งในรูปแบบสดและแห้ง) รวมทั้งการบรรจุด้วย N_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเห็ด
แผ่นอบกรอบได้

Chantarakan Songdach 2012: Development of Healthy Snack Product from Mushrooms.

Master of Science (Home Economics), Major Field: Home Economics, Department of Home Economics. Thesis Advisor: Ms. Siriporn Riebroy, Ph.D. 148 pages.

Chemical composition, color, textural properties and acceptability of the healthy snack product from different ratios of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*, LM) straw mushroom (*Volvariella volvacea*, VM) and oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*, PM) were studied. The results showed that the protein and crude fiber content increased with the increase of PM ratios, whereas carbohydrate content decreased ($p < 0.05$). While the VM and PM ratios increased, L^* , a^* and b^* values increased ($p < 0.05$). Mushroom sheet product from LM: VM: PM at the ratio of 50:25:25 (CMS-4) showed a greatest acceptability ($p < 0.05$). Dried mushroom replacement affecting on chemical, physical and sensorial properties of CMS-4 was investigated. Different dried mushrooms had a slightly different rehydration ratios and a lower moisture content compared with fresh mushroom ($p < 0.05$). As dried mushroom replacement increased, resulting in increasing in crude fiber and decreasing of moisture content ($p < 0.05$). Based on the results, an increase in hardness and crispness of samples were obtained. Regarding acceptability test, sample with a ratio of fresh to dried mushroom at 75:25 (CMD-2) had the highest liking score for all attributes ($p < 0.05$) and no difference between CMD-2 and CMS-4 in acceptability was noticeable. All macro- and micronutrients of both samples were similar, especially protein and carbohydrate content. Moreover, the CMD-2 had lower calorie and essential amino acids compared with CMS-4. Changes in chemical, microbiological and physical properties of both CMS-4 and CMD-2 packed in aluminum foil bag and flushed with nitrogen (N_2) or atmospheric air (control) during 14 -week storage at ambient temperature were studied. The moisture content, water activity (a_w) as well as Thiobarbituric acid reactive substances were higher than that of samples packed under N_2 . No change in total viable count in both samples throughout the storage period ($p > 0.05$), whereas yeast and mold count increased during storage time and the rate of increase was more pronounced in the control ($p < 0.05$). In addition, the control showed greater decreases in hardness and crispness than did packed with N_2 ($p < 0.05$). Additionally, lower acceptabilities in all attributes was found in the control ($p < 0.05$). The results revealed that increases in lipid oxidation and water activity occurred in samples affecting on rancid flavor and texture, particularly crispness. It was concluded that a healthy snack could be produced from mushroom (both fresh and dried forms) and the N_2 flushing packaging could be used to extend the shelf-life of crispy mushroom sheet.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิริพร เรียบร้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.น้องนุช ศิริวงศ์ และอาจารย์ ดร.ปนิดา บรรจงสินศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และคุณกฤตลักษณ์ ปะสะกะวี นักวิจัย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการศึกษาค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สิริพันธุ์ จุลรังคะ ประธานกรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร.วันดี ไทยพานิช ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาคหกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณโครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย สำหรับเงินทุนสนับสนุนค่าวัสดุ อุปกรณ์ และการวิเคราะห์ผลทางโภชนาการและกรดอะมิโนในการค้นคว้าวิจัย

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่คุณแม่ ผู้ให้การสนับสนุนให้การศึกษา พร้อมทั้งมอบความรัก ความห่วงใย และให้กำลังใจเสมอมา

จันทรกานต์ ทรงเดช

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	98
สรุป	98
ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	100
ภาคผนวก	116
ภาคผนวก ก คำวอเตอร์แอนด์วิดีโอของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ	
จากเห็ด	117
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี	120
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	129
ภาคผนวก ง แบบทดสอบการยอมรับ	132
ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง 2553)	135
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	141
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	8
2	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (กรัม/100 กรัมของโปรตีนทั้งหมด)	10
3	ชนิดและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (ร้อยละของกรดไขมันเมธิลเอสเทอร์ทั้งหมด)	12
4	Monosaccharides และ Disaccharides ที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเห็ด)	14
5	วิตามินซีและวิตามินบีรวมในเห็ด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนัก เห็ด)	16
6	ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่พบในเห็ด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักเห็ด)	16
7	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนอิสระของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (มิลลิกรัม/1กรัมของน้ำหนักแห้ง)	18
8	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างกระบวนการอบแห้ง	28
9	ปฏิกิริยาที่มีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของอาหารแห้ง	29
10	การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและสารระเหยเมื่อทำการอบแห้ง	37
11	ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์จากเห็ด	43
12	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด (กรัม/100 กรัมโดยน้ำหนักเห็ดแห้ง)	56
13	ค่าคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	58
14	คะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	59
15	ปริมาณความชื้นของเห็ดสด และเห็ดแห้งภายหลังการดูดน้ำคืน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักเห็ด)	61
16	องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดสดและเห็ดแห้ง (กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	63
17	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง (กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ค่าคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง	69
19	คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง	70
20	คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดต่อ 100 กรัมบริโภค	73
21	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	77
22	ต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	78
23	ผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์	95
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด	118
ก2	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง	119

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของเห็ด	6
2 ปริมาณความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเห็ดกระดุม (<i>Agaricus bisporus</i>)	22
3 อัตราการดูดน้ำคืนของเห็ดอบแห้ง	24
4 การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในไปสู่ภายนอกผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง	27
5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์	30
6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)	31
7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน	33
8 Characteristic jagged force-deformation curve of a crispy product	35
9 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และความคงตัวของอาหาร	39
10 อัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio) ของเห็ดหอมแห้ง เห็ดฟางแห้ง และเห็ดนางฟ้าแห้ง	61
11 ค่าสี L^* a^* และ b^* ของเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้าในรูปเห็ดสด เห็ดแห้ง และเห็ดภายหลังการดูดน้ำคืน	65
12 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4	74
13 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMD-2	75
14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	81
15 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	82
16 การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นับได้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	87
18	การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และราทั้งหมดที่นับได้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	88
19	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	90
20	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	92
21	การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบ (Number of force peaks) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ฉ1	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-1 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0)	142
ฉ2	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-2 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:45:5)	142
ฉ3	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-3 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:35:15)	143
ฉ4	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:25:25)	143
ฉ5	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-5 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:15:35)	144
ฉ6	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-6 (อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:45:5)	144
ฉ7	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง สูตร CMD-1 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0)	145
ฉ8	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง สูตร CMD-2 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 75:25)	145
ฉ9	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง สูตร CMD-3 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 50:50)	146
ฉ10	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง สูตร CMD-4 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 25:75)	146
ฉ11	ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง สูตร CMD-5 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 0:100)	147

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

Development of Healthy Snack Product from Mushrooms

คำนำ

อาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยว (Snack food) จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มักรับประทานระหว่างมื้ออาหารหลัก สามารถหาซื้อและพกพาสะดวก ทำให้เป็นที่นิยมขึ้นชอบของผู้บริโภคทุกวัย ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจึงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของมูลค่าทางการตลาดอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2553 ถึง 16,600 ล้านบาท (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2553) กระบวนการผลิตอาหารว่างสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้ง การอบ การทอด การเอกซ์ทรูชัน เป็นต้น กระบวนการผลิตเหล่านี้มักใช้ความร้อนจึงทำให้มีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัส สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ส่งผลถึงความพึงพอใจของผู้บริโภค นอกจากนี้กระบวนการเตรียมและความร้อนยังมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย โดยทั่วไปอาหารว่างมักมีแป้ง ไขมันและน้ำตาล เป็นส่วนประกอบหลัก แต่ก็มีโปรตีน ในอาหาร และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบบพหุหลายพันธะปริมาณน้อยมาก (Mccoy *et al.*, 1986; Han *et al.*, 2010) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง แต่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ อีกทั้งผู้บริโภคมักเพลิดเพลินกับการรับประทานอาหารว่างจึงทำให้มีการบริโภคปริมาณมากต่อครั้ง ส่งผลกระทบต่อความสมดุลของการได้รับสารอาหารของร่างกายผู้บริโภคแต่ละวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัยเด็ก วัยรุ่น วัยผู้ใหญ่ตอนต้น (ธีรวัฒน์, 2545; Sebastian *et al.*, 2008; Zizza *et al.*, 2001) รวมทั้งวัยสูงอายุ (Bellisle *et al.*, 2003; Garriguet, 2006; Howarth *et al.*, 2007; Summetbell *et al.*, 1995) ทั้งนี้ผู้บริโภคได้รับพลังงานจากการบริโภคอาหารว่างคิดเป็นร้อยละ 25 ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากอาหารต่อวัน (Garriguet, 2006; Kerver *et al.*, 2006; Ovaskainen *et al.*, 2006) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอาหารว่างเหล่านั้นมีพลังงานสูง ส่งผลกระทบต่อการได้รับพลังงานเกินความต้องการของร่างกายผู้บริโภคและอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะการขาดสารอาหาร เช่น การขาดโปรตีนในวัยเด็ก ส่งผลให้ร่างกายมีการเจริญเติบโตช้าลง ความสามารถในการเรียนและการทำงานลดน้อยลง และมีความต้านทานโรคต่ำ (Prabhavat *et al.*, 1995) การได้รับปริมาณไขมันเกินความต้องการของร่างกายวัยผู้ใหญ่ ส่งผลทำให้หัวใจและไตทำงานหนักขึ้น และอาจเป็นผลทำให้โปตัสเซียมถูกขับออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสนับสนุนการเกิดภาวะความดันโลหิตสูง (สิริพันธุ์, 2553) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพฤติกรรมการ

บริโภคอาหารของผู้บริโภคได้เริ่มสนใจอาหารที่ดีต่อสุขภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการรับรู้ข้อมูลข่าวสารและความเข้าใจเกี่ยวกับด้านโภชนาการเพิ่มขึ้น เช่น อาหารที่ควรบริโภคควรมีไขมันน้อยหรือพลังงานต่ำ และการเลือกบริโภคอาหารที่มีสารอาหารบางชนิดสูง เช่น โปรตีน ใยอาหาร วิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม เป็นต้น (ธีรวัฒน์, 2545)

เห็ด เป็นอาหารที่มีรสชาติอร่อยและมีกลิ่นรสเฉพาะตัว ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเห็ดนั้นเป็นที่นิยมของผู้บริโภคจึงทำให้เห็ดเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญ และมีการเพาะปลูกปริมาณมาก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2549) อ้างโดย ทวีทอง (2549) รายงานว่าการเพาะเห็ดเศรษฐกิจของไทยมีปริมาณผลผลิตรวม 121,900 ตันต่อปี ส่วนใหญ่เป็นการบริโภคภายในประเทศ และมีการส่งออกเพียงร้อยละ 3 โดยทั่วไปเห็ดเศรษฐกิจมีหลายชนิดและนำมาใช้ประโยชน์ทั้งด้านการผลิตอาหารและยา เนื่องจากเห็ดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยใยอาหาร แร่ธาตุ วิตามิน กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน รวมทั้งมีปริมาณไขมันต่ำ (Manzi *et al.*, 2001 และ Mattila *et al.*, 2000) นอกจากนี้เห็ดยังมีสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน แต่อาจเป็นสารตั้งต้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์และมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ (Zaidman *et al.*, 2005) เห็ดเศรษฐกิจของประเทศไทยมีหลายชนิดที่นิยมบริโภค เช่น เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju*) เห็ดเหล่านี้มีรสชาติดีและนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้เห็ดเศรษฐกิจเหล่านี้ยังมีการจำหน่ายทั้งในรูปแบบสดและแบบแห้ง ซึ่งเห็ดที่ผ่านการทำแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นแต่อาจมีผลกระทบกับคุณลักษณะอาหาร เช่น สี เนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการ ปัจจุบันการบริโภคเห็ดมีทั้งรูปแบบนำมาประกอบอาหารและรูปแบบเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เห็ดอบแห้ง เห็ดบรรจุกระป๋อง คุกกี้เห็ด แหนมเห็ด เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2548)

การผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพได้รับความสนใจศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลการศึกษาวิจัยโดยการนำเห็ดเศรษฐกิจมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ ดังนั้น การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดเศรษฐกิจ 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) และเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju*) เป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับการผลิตอาหารว่าง ซึ่งเห็ดเศรษฐกิจเหล่านี้มีการเพาะปลูกปริมาณมากและมีรายงานเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนและใยอาหาร รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ อย่างไรก็ตาม เห็ดเศรษฐกิจเหล่านี้มักถูกนำมาผ่าน

กระบวนการทำเหมืองเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา การผลิตอาหารจากเห็ดแห้งจึงควรคำนึงถึงกระบวนการเตรียมที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทั้งในรูปแบบสดและแบบแห้ง ข้อมูลด้านโภชนาการ รวมทั้งความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้น สามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด และเป็นแนวคิดสำหรับการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์จากเห็ดเศรษฐกิจซึ่งเป็นผลิตผลจากการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด และการเติมเห็ดแห้งทดแทนเห็ดสด
2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ การจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด และการประเมินต้นทุนการผลิต
3. เพื่อศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

เห็ด

เห็ด เป็นสิ่งมีชีวิตจำพวกรา (Fungi) ที่มีการเจริญเติบโตเป็นเส้นใย โดยผนังเซลล์ (Cell wall) ของเห็ดประกอบขึ้นจากสารประกอบไคติน (Chitin) ซึ่งแตกต่างจากผนังเซลล์ของพืชที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพวกลูโลส (Cellulose) (Miles and Chang, 1997) เห็ดอาจมีลักษณะภายนอกแตกต่างกันออกไป เช่น รูปร่างของดอกเห็ด ซึ่งบางชนิดมีรูปร่างคล้ายร่มกาง บางชนิดเหมือนปะการัง หรือบางชนิดเหมือนรังนก และมีขนาด สี และกลิ่นแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเห็ดราและสภาพแวดล้อม (Zawirska-wojtasiak *et al.*, 2009) แหล่งกำเนิดของเห็ดแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน เช่น บริเวณป่าบนภูเขา บนพื้นดินในทุ่งนา บนต้นไม้ บนพืชหรือบนเห็ดด้วยกัน (Chang and Miles, 1992; De Pinho *et al.*, 2008)

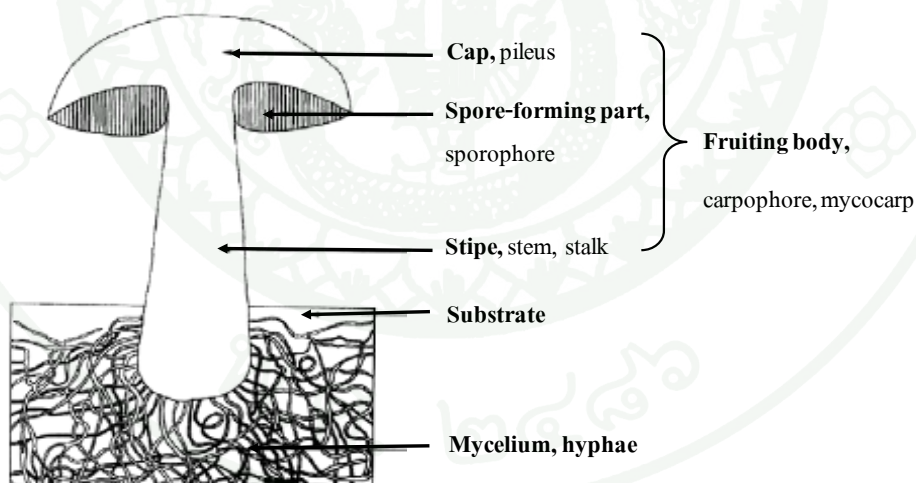
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2546) ได้แบ่งเห็ดตามความเป็นอยู่เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทกินอยู่กับอินทรีย์วัตถุ (Saprophytes) คือ ดำรงชีวิตอยู่กับสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว เป็นพวกย่อยสลายซากพืช เช่น เห็ดหูหนู (*Auricularia* spp.) เห็ดแครงหรือเห็ดตีนตุ๊กแก (*Schizophyllum commune* Fr.) เห็ด Marasmius และเห็ดถั่ว (Cookeina sulcipes (Berk.) Kntz.) เป็นต้น
2. ประเภทกินอยู่กับต้นพืชและแมลง (Parasites) คือ ดำรงชีวิตอยู่กับสิ่งมีชีวิตที่มีชีวิตอยู่ เป็นเห็ดพวกกาฝากที่ขึ้นหากินอยู่กับต้นไม้ดำรงอยู่ได้ด้วยการดูดกินสารอาหารจากพืชโดยตรงทำให้ต้นไม้อ่อนแอและแห้งตายในที่สุด เช่น เห็ดหิงชนิดต่างๆ เห็ดหลินจือ (*Ganoderma* sp.) เห็ด Cordyceps เป็นต้น
3. ประเภทอาศัยอยู่กับรากพืช (Mycorrhizae) คือ ดำรงชีวิตอยู่กับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ซึ่งเห็ดราในกลุ่มนี้อาจจะเป็นเห็ดกินได้ (Edible mushrooms) เช่น เห็ดหล่มหมวกเขียว (*Russula aeruginea* Lindbl.) เห็ดระโงกขาว (*Amanita princeps* Corner and Bas.) เห็ดกินไม่ได้ (Non-edible mushrooms) เห็ดพิษ (Poisonous mushrooms) เช่น เห็ดกระดองตีนดำ

(*Chlorophyllum molybdites* (Meyerex. Fr.) Mass.) และเห็ดสมุนไพร (Medicinal mushrooms) เช่น เห็ดตับเต่า (*Boletus colossus* Heim) เห็ดตีนแรด หรือเห็ดจั่น (*Tricoloma crassum* (Berk.) Sacc.) เป็นต้น

ลักษณะทางชีววิทยาของเห็ด

โดยทั่วไป เห็ด มีลักษณะหรือรูปร่างคล้ายกับร่ม แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนของหมวกเห็ด (Cap, pileus) และส่วนของลำต้น (Stipe, stem, stalk) เช่น เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) และบางสายพันธุ์อาจมีส่วนโครงสร้างส่วนของวงแหวน (Annulus, ring) เช่น เห็ดกระดุม (*Agaricus biosporus*) หรืออาจมีโครงสร้างส่วนที่คล้ายถ้วย (Cup) เช่น เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) หรืออาจมีทั้งส่วนที่เป็นวงแหวนและถ้วยเป็นโครงสร้าง เช่น เห็ดสายพันธุ์ *Amanita phalloides* เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างของเห็ดทั้งหมด เรียกว่า Fruiting body โดยส่วนที่ทำให้เห็ดเจริญเติบโต จะเรียกว่า Mycelium ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใต้ดิน หรือเกาะบนต้นไม้ หรือวัสดุที่ใช้ในการเจริญเติบโต (Chang and Miles, 2004; Chang, 2008)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเห็ด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kalac (2009)

ปัจจุบันการเพาะเห็ดที่สามารถบริโภคได้มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งการเพาะเห็ดเป็นอาชีพเสริมและการเพาะเห็ดเชิงการค้า เนื่องจากประเทศมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเห็ด รวมทั้งความต้องการทางการตลาดสูง เพื่อนำเห็ดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ และนำไปใช้ประโยชน์สำหรับทางการแพทย์ เห็ดที่นิยมเพาะปลูกและบริโภคในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดหูหนู เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดแชมปิญอง เห็ดหลินจือ เห็ดโคน เป็นต้น (ชานาญ, 2551)

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเห็ด

เห็ดจัดเป็นอาหารจำพวกผัก มนุษย์นิยมบริโภคเห็ดโดยนำมาประกอบเป็นอาหาร หรือ วัตถุประสงค์อาหาร (Mattila *et al.*, 2000) เนื่องจาก เห็ดมีกลิ่นและรสชาติที่น่ารับประทาน ทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสารอาหารหลากหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ (Tsai *et al.*, 2009)

ปัจจุบันการศึกษาวิจัยองค์ประกอบทางเคมี ชนิดและปริมาณสารอาหาร รวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเห็ดที่สามารถบริโภคได้นั้นได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เห็ดสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 (Kurtzman, 1997; Kalac, 2009) มีปริมาณใยอาหารสูง เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพ และมีปริมาณไขมันค่อนข้างต่ำ (ดวงจันทร์, 2548 ; Bano and Rajarathnam, 1988) องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) แสดงดังตารางที่ 1 โดยเห็ดมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน (Chang and Miles, 2004; Kalac, 2009) Manzi *et al.* (1999) ได้ศึกษาปริมาณสารอาหารในเห็ดนางรมสด (*Pluerotus ostreotus*) และเห็ดหอมสด (*Lentinus edodes*) พบว่า เห็ดนางรมและเห็ดหอมสดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 85.24-94.70 และร้อยละ 90.0 ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.18-4.92 และร้อยละ 1.53 ถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.52-1.15 และร้อยละ 0.71 อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบทางเคมีของเห็ด อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของวิธีการถนอมอาหาร สภาพวะของการเก็บรักษา และความแตกต่างระหว่างกระบวนการประกอบอาหาร (Manzi *et al.*, 2004)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

Species	Moisture	Crude Protein (N x 4.38)	Crude Fat	Carbohydrate		Crude fiber	Ash	Energy value (Kcal/100 g.)
				Total	N-free			
<i>Agaricus bisporus</i>	78.3-90.5	23.9-34.8	1.7-8.0	51.3-62.5	44.0-53.5	8.0-10.4	7.7-12.0	328-368
<i>Agaricus campestris</i>	89.7	33.2	1.9	56.9	48.8	8.1	8.0	354
<i>Auricularia</i> sp. (Philippine var.)	89.1	4.2	8.3	82.8	63.0	19.8	4.7	351
<i>Boletus edulis</i>	87.3	29.7	3.1	59.7	51.7	8.0	7.5	362
<i>Flammulina velutipes</i>	89.2	17.6	1.9	73.1	69.4	3.7	7.4	378
<i>Lentinula edodes</i>	90.0-91.8	13.4-17.5	4.9-8.0	67.5-78.0	59.5-70.7	7.3-8.0	3.7-7.0	387-392
<i>Pleurotus eous</i>	92.2	25.0	1.1	59.2	-	12.0	9.1	261
<i>Pleurotus florida</i>	91.5	27.0	1.6	58.0	-	11.5	9.3	265
<i>Pleurotus ostreatus</i>	73.7-90.8	10.5-30.4	1.6-2.2	57.6-81.8	48.9-74.3	7.5-8.7	6.1-9.8	345-367
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	90.1	26.6	2.0	50.7	-	13.3	6.5	300
<i>Volvariella diplasia</i>	90.4	28.5	2.6	57.4	40.0	17.4	11.5	304
<i>Volvariella volvacea</i>	89.1	25.9	2.4	-	45.3	9.3	8.8	276

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chang and Miles (2004)

โปรตีนและกรดอะมิโน

เห็ดที่สามารถบริโภคได้แต่ละชนิดมีปริมาณโปรตีนและชนิดของกรดอะมิโนแตกต่างกัน Chang and Miles (2004) รายงานว่า เห็ดที่สามารถบริโภคได้นั้นมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของเห็ด ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 19-35 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับเห็ดหอม (*Lentinus edodes*) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.4-17.5 ต่อน้ำหนักแห้ง เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju*) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 26.6 ต่อน้ำหนักแห้ง และเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 25.9 ต่อน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ ปริมาณโปรตีนในโครงสร้างส่วนต่างๆ ทั้งหมดของเห็ด (Fruiting body) จะมีปริมาณแตกต่างกันออกไปตามระยะการเจริญเติบโตของเห็ด Vetter and Rimoczi (1993) รายงานว่า เห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) ที่เจริญเติบโตจนเห็ดมีขนาดอยู่ในช่วง 5-8 เซนติเมตร จะมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ส่วนของเห็ดและส่วนของลำต้นจะมีปริมาณโปรตีนที่พบแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 36.4 และร้อยละ 11.8 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนที่แสดงโดยสัดส่วนของน้ำหนักแห้งของเห็ดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนที่ระดับ 40 องศาเซลเซียส หรือเห็ดแช่เยือกแข็ง (-20 องศาเซลเซียส) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนที่แสดงโดยสัดส่วนของน้ำหนักสด (Barros *et al.*, 2007b)

สำหรับชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ แสดงดังตารางที่ 2 โดย Chang and Miles (2004) รายงานว่า เห็ด เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพ เนื่องจากมีกรดอะมิโนเกือบทุกชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของเห็ด โดยเฉพาะกรดอะมิโนชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้แต่มีความสำคัญต่อร่างกาย เช่น ไลซีน ลูซีน เมไทโอนีน ทรีโตนเฟน ทรีโอนีน วาลีน ไอโซลิวซีน และฟีนอลานีน ซึ่งเห็ดส่วนใหญ่มีกรดอะมิโนชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ไก่ ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนและกรดอะมิโน

ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเห็ดที่สามารถบริโภคได้ (กรัม/100 กรัมของโปรตีนทั้งหมด)

Amiono Acids	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>Pleurotus florida</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Pleurotus sajor-caju</i>	<i>Volvariella diplasia</i>	<i>Volvariella volvacea</i>	Hen's Egg ^a
Leucine	7.5	7.9	7.5	6.8	7.0	5.0	4.5	8.8
Isoleucine	4.5	4.9	5.2	4.2	4.4	7.8	3.4	6.6
Valine	2.5	3.7	6.9	5.1	5.3	9.7	5.4	7.3
Tryptophan	2.0	Nd	1.1	1.3	1.2	1.5	1.5	1.6
Lysine	9.1	3.9	9.9	4.5	5.7	6.1	7.1	6.4
Threonine	5.5	5.9	6.1	4.6	5.0	6.0	3.5	5.1
Phenylalanine	4.2	5.9	3.5	3.7	5.0	7.0	2.6	5.8
Methyionine	0.9	1.9	3.0	1.5	1.8	1.2	1.1	3.1
Histidine	2.7	1.9	2.8	1.7	2.2	4.2	3.8	2.4
Total essential amino acids ^b	38.9	36.0	46.0	33.4	37.6	48.5	32.9	47.1

^a สำหรับการเปรียบเทียบกับไข่ไก่

^b ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายทั้งหมดไม่รวมอาร์จินีนและซิสทีน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bano and Rajarathnam (1982) และ Li and Chang (1982)

ไขมัน

เห็ดมีปริมาณไขมันต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งกรดไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 77.2-85.4 ของปริมาณไขมันทั้งหมด และจะพบสูงในเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) รองลงมา คือ เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) (Huang *et al.*, 1989) ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่พบในเห็ดหอมประกอบด้วย Linoleic acid (C18 : 2) ร้อยละ 72.8 Palmitic acid (C16 : 0) ร้อยละ 14.7 Oleic acid (C18 : 1) ร้อยละ 3.0 Tetradecenoic acid (C14 : 1) ร้อยละ 1.6 Stearic acid (C18 : 0) ร้อยละ 0.9 และ Myristic acid (C14 : 0) ร้อยละ 0.1 (Mizuno, 1995) นอกจากนี้ Kavishree *et al.* (2008) รายงานว่า เห็ดที่สามารถนำมาบริโภค ได้ 23 ชนิดของประเทศอินเดียมีปริมาณไขมันทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.6-4.7 ซึ่งเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) singer) มีปริมาณไขมันร้อยละ 0.8 และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว อยู่ในช่วงร้อยละ 52-87 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 3) โดยแบ่งเป็น กรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดพันธะเดี่ยว (Monounsaturated Fatty acid; MUFA) ได้แก่ Oleic acid (C18 : 1) และกรด ไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated Fatty acid; PUFA) ได้แก่ Linoleic acid (C18 : 2) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Hugaes, 1962)

ตารางที่ 3 ชนิดและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (ร้อยละของกรดไขมันเมธิลเอสเทอร์ทั้งหมด)

Fatty acids	<i>Auricularia</i> <i>Polytricha</i>	<i>Boletus</i> <i>edulis</i>	<i>Helvella</i> <i>Crispa</i>	<i>Lentinus</i> <i>sajor-caju</i>	<i>Morchella conica</i>	<i>Pleurotus djamor</i>	<i>Pleurotus</i> <i>sajor-caju</i>
<C14:0	12.6	1.7	Nd	2.3	1.4	4.5	3.9
C14:0	0.8	Nd	Nd	2.0	Nd	1.6	0.6
C15:0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.4	1.5
C16:0	11.2	21.6	10.6	15.4	8.5	15.8	13.9
C17:0	Nd	Nd	0.7	Nd	Nd	Nd	Nd
C18:0	10.2	9.1	Nd	Nd	5.4	Nd	3.4
C20:0	1.0	Nd	0.4	Nd	0.6	0.2	0.6
C22:0	2.0	1.0	0.1	0.2	0.7	1.4	1.3
C24:0	2.0	Nd	1.0	0.1	1.9	1.2	1.9
Total saturated	39.8	33.4	12.8	20.0	18.5	25.1	27.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kavishree *et al.* (2008)

ตารางที่ 3 ชนิดและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (ร้อยละของกรดไขมันเมธิลเอสเทอร์ทั้งหมด) (ต่อ)

Fatty acids	<i>Auricularia polytricha</i>	<i>Boletus edulis</i>	<i>Helvella Crispa</i>	<i>Lentinus sajor-caju</i>	<i>Morchella conica</i>	<i>Pleurotus djamor</i>	<i>Pleurotus sajor-caju</i>
C14:1	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
C16:1	Nd	Nd	Nd	0.1	1.4	Nd	Nd
C18:1 cis-9	27.1	31.1	22.7	23.5	11.3	28.8	16.4
C18:1 isomer	Nd	Nd	0.4	Nd	Nd	Nd	Nd
C20:1 cis-11	Nd	Nd	1.1	1.5	0.2	0.6	2.7
Total	27.1	31.1	24.2	25.1	12.9	29.4	19.1
Monounsaturated							
C18:2	29.5	33.8	62.7	54.9	68.6	45.5	53.8
C18:3	3.6	1.7	0.3	Nd	Nd	Nd	Nd
Total	33.1	35.5	63.0	54.9	68.6	45.5	53.8
polyunsaturated							
UFA:SFA ratio	1.51	1.99	6.81	4.00	4.40	2.98	2.69
Linoleic:oleic ratio	1.08	1.08	2.76	2.33	6.07	1.57	3.28

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kavishree *et al.* (2008)

คาร์โบไฮเดรต

เห็ด มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเป็นองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 1) ซึ่งประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ไดแซคคาไรด์ (Disaccharides) และโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharides) โดยโมโนแซคคาไรด์ที่พบในเห็ดส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำตาลและน้ำตาลแอลกอฮอล์ คือ กลูโคส (Glucose) แมนนิทอล (Mannitol) และ Trehalose (Kalac, 2009) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharides) และ ไดแซคคาไรด์ (Disaccharides) ที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักเห็ด)

Varieties	Ribose	Xylose	Fructose	Mannose	Glucose	Sucrose	Trehalose	Total
<i>Pleurotus ostreatus</i>	0.85	Nd	Nd	10.55	14.29	Nd	3.03	28.72
<i>Agaricus bisporus</i>	Nd	1.45	Nd	84.61	4.68	Nd	nd	90.74
<i>Flammulina velutipes</i>	11.47	51.56	Nd	7.51	11.34	Nd	2.33	84.22
<i>Pleurotus eryngii</i>	5.02	1.55	Nd	13.58	27.81	Nd	7.15	55.10
<i>Lentinus edodes</i>	2.40	7.98	Nd	23.12	36.27	2.33	2.55	74.64

Nd หมายถึง ตรวจไม่พบโมโนแซคคาไรด์หรือไดแซคคาไรด์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kim *et al.* (2009)

สำหรับประเภทของสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ส่วนใหญ่ที่พบในเห็ด คือ กลูแคน (glucans) ซึ่งอาจมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง แตกต่างกันตามประเภทของพันธะ glucosidic เช่น (1→3) (1→6)- β -glucans และ (1→3)- α -glucans นอกจากนี้ glucans อาจมีส่วนประกอบของ arabinose mannose fucose galactose xylose glucose และ glucuronic acids อยู่บริเวณ side chain ได้ สารโพลีแซคคาไรด์ชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ในเห็ดมีปริมาณแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมี และกลุ่มของ β -glucans (Wasser, 2002) โดยทั่วไปเห็ดสายพันธุ์ *Pleurotus* spp. มี β -glucans อยู่ในช่วงร้อยละ 2.2-5.3 ของน้ำหนักแห้ง และเห็ดหอม (*Lentinula edodes*) มี β -glucans อยู่ประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง

(Manzi and Pizzoferrato, 2000) โดยพบว่า เลนตินแนน (Lentinan) จัดเป็นสาร β -glucan ชนิดหนึ่งนั้นพบเฉพาะในเห็ดหอม (*Lentinus edodes*) (Franka *et al.*, 2006)

นอกจากนี้ เห็ดยังมีสารโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ คือ ไคติน (Chitin) โดยพบมากบริเวณผนังเซลล์ของเห็ดและมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 80-90 ของน้ำหนักแห้ง ไคตินจัดเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่มีในโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างเห็ด (Vetter, 2007) ทั้งนี้ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยไคตินได้ (Bauer-Petrovska *et al.*, 2001; Kalac, 2009)

สารโพลีแซคคาไรด์จากเห็ดมีผลต่อการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค เช่น สามารถส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (Zaidman *et al.*, 2005) ลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ ลดการสะสมของไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ และโคเลสเตอรอลในร่างกาย (Vetter, 2003 ; Guillaumon *et al.*, 2010) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด (Jeong *et al.*, 2010) และต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Franka *et al.*, 2006)

วิตามินและแร่ธาตุ

เห็ดอุดมไปด้วยวิตามินบีรวม วิตามินซี และวิตามินดี รวมทั้งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และแคลเซียม (ตารางที่ 5) (Kurtzman, 1997; Çaglarimak, 2007) Furlani and Godoy (2008) ได้ศึกษาปริมาณวิตามินบี1 และวิตามินบี2 ในเห็ดกระดุม (*Agaricus bisporus*) เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) และเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) ที่เพาะปลูกในประเทศบราซิล พบว่า เห็ดทั้งสามชนิดมีปริมาณวิตามินบี1 อยู่ในช่วง 0.004-0.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เห็ดนางรมมีวิตามินบี 1 มากที่สุด สำหรับวิตามินบี2 อยู่ในช่วง 0.04-0.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และพบมากในเห็ดกระดุม

ตารางที่ 5 วิตามินซีและวิตามินบีของเห็ดชนิดต่าง (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเห็ด)

Species	Vitamin C	Folic acid (µg/100 g)	Thiamin (B1)	Riboflavin (B2)	Niacin
<i>Lentinus edodes</i>	13.73-15.45	59.33-90.0	0.04-0.17	0.07-0.22	1.95-3.23
<i>Pleurotus ostreatus</i>	3.38	9.08	0.15	0.21	4.44
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	16.01	42.00	0.14	0.12	2.96
<i>Volvariella volvacea</i>	18.00	-	0.14	0.61	3.40

ที่มา: ดัดแปลงจาก Verma (2002) และ Çaglarımak (2007)

ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่พบในเห็ดแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 6 โดยแร่ธาตุที่พบในเห็ด จะมีปริมาณของโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส (Kurtzman, 1997 ; Kalac, 2009) จากการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในเห็ดนางรมสด (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดหอมสด (*Lentinus edodes*) โดย Manzi *et al.* (1999) พบว่า เห็ดนางรมและเห็ดหอมสดมีแร่ธาตุ ซึ่งได้แก่ โซเดียม (Na) อยู่ในช่วงร้อยละ 1.3-20.1 และร้อยละ 10.11 โพแทสเซียม (K) อยู่ในช่วงร้อยละ 182.5-395.9 และร้อยละ 264.7 แมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วงร้อยละ 8.6-24.5 และร้อยละ 11.6 แคลเซียม (Ca) อยู่ในช่วงร้อยละ 1.4-3.9 และร้อยละ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ชนิดและปริมาณแร่ธาตุของเห็ดชนิดต่างๆ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเห็ด)

Species	Na	K	Ca	Fe	P
<i>Agaricus bisporus</i>	3.9 - 15.0	322.0 - 414.0	1.5 - 9.3	0.2 - 1.2	71.3 - 124.4
<i>Lentinus edodes</i>	8.25	229.5	1.1	0.39	57.5
<i>Pleurotus ostreatus</i>	8.21	301.9	0.4	0.89	117.8
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	26.8	628.0	2.8	0.89	149.0
<i>Grifola frondosa</i>	7.83	291.7	1.7	0.55	101.5
<i>Volvariella volvacea</i>	51.3	251.0	12.1	0.5	160.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kurtzman (1997) และ Ukoima *et al.* (2009)

สารประกอบให้กลิ่น/กลิ่นรส และรสชาติ

เห็ด มีสารประกอบที่สามารถระเหยได้ (Maga, 1981) และไม่สามารถระเหยได้ (Litchfield, 1967) โดยสารประกอบที่สามารถระเหยได้ ประกอบด้วย โครงสร้างที่เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของ octane และ octenes, benzaldehyde, terpenes, สารประกอบซัลเฟอร์ และอื่นๆ (Gross and Asther, 1989 ; Maga, 1981) โดยกลุ่มอนุพันธ์ของ octane, 1-octene และ 2-octene, แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Jong and Birmingham, 1993) และคีโตน ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากเห็ดที่มีความสำคัญต่อสารประกอบให้กลิ่น คือ กลุ่มกรดไขมันที่ประกอบด้วยคาร์บอน 8 อะตอม (series of eight carbon atoms) (Mau *et al.*, 1997) จัดเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการผลิต 1-octen-3-ol (Kalac, 2009) ซึ่งเป็นสารประกอบให้กลิ่นที่พบในเห็ด แต่สารประกอบนี้อาจลดลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา และกระบวนการแปรรูปต่างๆ (Lee *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม Chen *et al.* (1986) รายงานว่า ระหว่างกระบวนการอบแห้งเห็ดหอม ความร้อนมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสของเห็ดซึ่งได้แก่ สารประกอบโครงสร้างแหวนและมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (cyclic sulphur compounds) เช่น Lenthionine ซึ่งสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่พบเฉพาะในเห็ดหอม

สำหรับสารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้นั้น ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระ (Free amino acids) 5'-นิวคลีโอไทด์ (5'-nucleotides) น้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble sugars) และโพลีออล (Polyols) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีผลต่อการเกิดรสชาติของเห็ด (Chiang *et al.*, 2006; Mau *et al.*, 2001; Tseng and Mau, 1999 ; Yang *et al.*, 2001) โดยกรดอะมิโนอิสระ (ตารางที่ 7) ที่พบปริมาณมากในเห็ดหอม และเห็ดฟาง คือ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) และไลซีน (Lysine) ตามลำดับ (Chiang *et al.*, 2006 ; Yang *et al.*, 2001) ซึ่งกรดอะมิโนอิสระแต่ละชนิดที่มีปริมาณแตกต่างกันของเห็ด ส่งผลต่อรสชาติเฉพาะตัวของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ (Komata, 1969) Yamaguchi (1979) รายงานว่า รสอูมามิ (Umami taste) เป็นรสชาติที่มีความโดดเด่นมากที่สุดของเห็ด ซึ่งเป็นรสของโมโนโซเดียม กลูตาเมต-ไลค์ (Monosodium glutamate-like; MSG-like) ซึ่งเป็นสารประกอบของกรดอะมิโนอิสระ 2 ชนิด คือ กรดกลูตามิก และกรดแอสพาร์ติก ร่วมกับ 5'-nucleotides โดย Lin (1998) รายงานว่า เห็ดหอม มีสารประกอบ MSG-like อยู่ในช่วง 3.75 ถึง 9.06 มิลลิกรัม/กรัม และมี 5'-nucleotides ที่ให้กลิ่นรสอยู่ในช่วง 1.73 ถึง 3.67 มิลลิกรัม/กรัม

ตารางที่ 7 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนอิสระของเห็ดที่สามารถบริโภคได้
(มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้ง)

กรดอะมิโน	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Volvariella volvacea</i>	<i>Lentinus edodes</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
L-Alanine ^b	6.70	6.41	4.72	2.13
L-Arginine ^c	3.44	1.77	0.47	0.08
L-Aspartic acid ^a	2.46	0.47	2.00	0.13
L-Cysteine	1.03	0.63	8.42	Nd
L-Glutamic acid ^a	8.25	0.54	15.68	0.71
L-Histidine ^c	Nd	0.18	0.23	0.12
L-Isoleucine ^c	0.81	0.46	0.27	0.19
L-Leucine ^c	1.34	0.55	Nd	Nd
L-Lysine ^d	11.6	10.9	1.35	0.19
L-Phenylalanine ^c	0.54	0.41	0.05	0.19
L-Serine ^b	0.71	0.87	1.63	Nd
L-Threonine + glycine ^b	0.68	0.30	3.48	0.12
L-Tryptophan + L-methionine + L-valine ^c	1.17	1.09	0.53	0.20
L-Tyrosine ^d	2.75	1.25	0.22	0.02
α -Aminobutyric acid	1.38	1.31	0.12	Nd
Total	42.8	27.2	39.2	4.1

Nd หมายถึง ตรวจไม่พบกรดอะมิโนอิสระ

^aMonosodium glutamate-like (MSG-like); Asp + Glu

^bSweet; Ala + Gly + Ser + Thr

^cBitter; Arg + His + Ile + Leu + Met + Phe + Trp + Val

^dTasteless; Lys + Tyr.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kim *et al.* (2009) และ Yang *et al.* (2001)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเห็ด

เห็ดหลายชนิดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารเหล่านี้อยู่ในกลุ่มของสารประกอบที่มีสรรพคุณทางยา โดยช่วยป้องกันหรือบำบัดโรค และช่วยในการสร้างเสริมสุขภาพของผู้บริโภค (Çaglarirmak, 2007; Elmastas *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2007; Barros *et al.*, 2008; Hearst *et al.*, 2009; Guillamon, 2010)

Cheung (1996) และ Jeong *et al.* (2010) ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเห็ดด้านการลดระดับคอเลสเตอรอล พบว่า เห็ดฟางและเห็ดกระดุมสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลกลุ่ม Low-Density Lipoprotein (LDL) และไตรกลีเซอไรด์ได้โดยสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในเห็ด ทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณระดับคอเลสเตอรอลกลุ่ม High-Density Lipoprotein (HDL) ในพลาสมาอีกด้วย

Cheung *et al.* (2003) Tsai *et al.* (2009) และ Vidovic *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของเห็ดหอม พบว่า เห็ดหอมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูง และสามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยทั่วไปเห็ดหอมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดประมาณ 41.82 มิลลิกรัม gallic acid equivalent ต่อกรัม โดยน้ำหนักแห้งของสารสกัดจากเห็ดหอม

Guillamon *et al.* (2010) รายงานว่า เห็ดกระดุม เห็ดหอม และเห็ดนางรม มีปริมาณของโซเดียมต่ำ แต่มีสารประกอบเอริทาเดนิน (eritadenine) สารประกอบฟีนอล สเตอรอล (sterols) เช่น เออร์โกสเตอรอล (ergosterol) ไคโตแซน (chitosan) และไตรเทอร์ปีนส์ (triterpenes) สูง ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ

การเสื่อมเสียคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว การทำแห้ง และการคั้นรูปของเห็ด

เห็ดเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่เสื่อมคุณภาพและเน่าเสียได้ง่าย โดยทั่วไปเห็ดสดจะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และจะมีอายุการเก็บรักษา ประมาณ 3 วันที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส ภายหลังการเก็บเกี่ยว (San and Fordyce, 1972; Briones *et al.*, 1992; Walde *et al.*, 2006; Kotwaliwale *et al.*, 2007; Giri and Prasad, 2007)

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพของเห็ด ได้แก่ สี ความแน่นเนื้อ และรสชาติ โดยสีของเห็ดที่มีคุณภาพดี ควรมีสีตรงตามพันธุ์ เช่น เห็ดฟาง ดอกมีสีขาวครีมหรือสีขาวอมเทา ส่วนดอกเห็ดที่เสื่อมคุณภาพ สีของดอกเห็ดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เป็นต้น (พรณี, 2551) Burton *et al.* (1995) รายงานว่า การเกิดสีน้ำตาลในเห็ด เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO) นอกจากนี้ Cho *et al.* (1982) ได้รายงานเพิ่มเติมอีกว่า การเกิดสีน้ำตาลของเห็ด ยังมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำตาลด้วย แต่การเกิดสีน้ำตาลจากการสูญเสียน้ำตาลมักเกิดขึ้นน้อยและช้ากว่าการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ส่วนความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของเห็ด กล่าวคือ เมื่อเห็ดสูญเสียน้ำ ความเต่งของเซลล์ลดลง ขาดแรงยึดเกาะซึ่งกันและกัน ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อเห็ด (autolysis) ทำให้เห็ดมีความแน่นเนื้อลดลง (McGarry and Burton, 1994) นอกจากนี้ การลดลงของไคตินในระหว่างเก็บรักษา เนื่องจากพันธะ β (1-4) ของไคตินถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไคติเนส (chitinase) เป็น N-acetylglucosamine (Neil *et al.*, 2001) จึงอาจส่งผลต่อความแน่นเนื้อของเห็ด

สำหรับการเปลี่ยนแปลงรสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของเห็ด เกิดจากกระบวนการทางชีวเคมี เช่น กระบวนการหายใจ ที่มีการใช้อาหารสะสมภายในผลิตผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของเห็ดลดลง และอาจทำให้รสชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงไป (Leguijt *et al.*, 1996) Hammond (1980) รายงานว่า เห็ดกระดุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ น้ำตาล mannitol ลดลงจากร้อยละ 1.8 เหลือร้อยละ 0.7 น้ำตาล trehalose ลดลงจากร้อยละ 6.5 เหลือร้อยละ 3.7 ในขณะที่ไคตินมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.9 เป็นร้อยละ 7.2 ส่วนปริมาณโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเห็ด

การนำเห็ดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่เห็ดได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเห็ดส่วนใหญ่ นิยมแปรรูปเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป หรืออาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค เช่น mushroom soup powder (Singh, 1996), นักเก็ตเห็ด, กว๊ายเตี๋ยเห็ด และแกงกะหรี่เห็ดพร้อมบริโภค (Joshi *et al.*, 1991; Chandrasekar *et al.*, 2001) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวจากเห็ดได้อีก เช่น ลูกอมเห็ด, ลูกก๊ี้เห็ด Sharma *et al.* (1991) และ Mushroom chips (Rai and Arumuganathan, 2008) ทั้งนี้ คุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเห็ด จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเห็ดสดก่อนนำมาแปรรูป (Walde *et al.*, 2006) หรือคุณภาพของเห็ดภายหลังผ่านกระบวนการถนอมอาหารด้วยวิธีต่างๆ เช่น การบรรจุกระป๋อง การดอง และการทำแห้ง เป็นต้น

การทำแห้งเห็ด

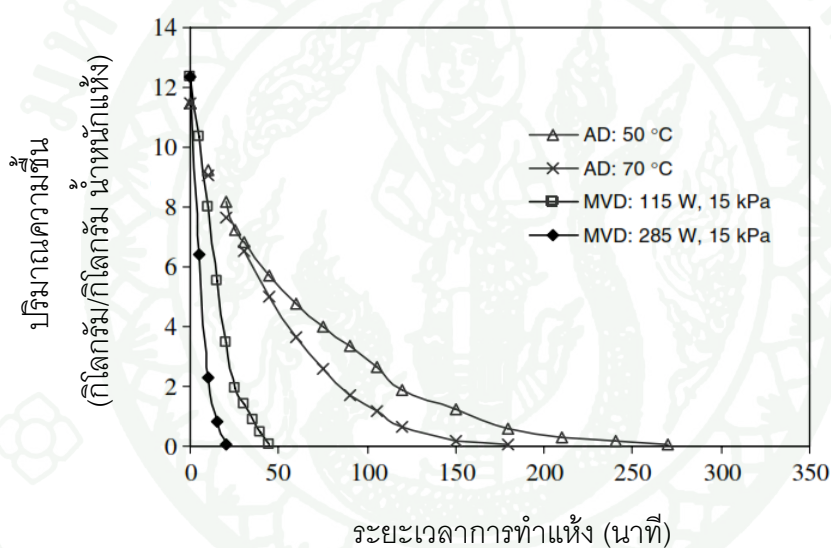
การทำแห้ง เป็นวิธีถนอมอาหารวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญและนิยมใช้กันมากในการยืดอายุการเก็บรักษาเห็ด (Walde *et al.*, 2006; Kotwaliwale *et al.*, 2007; Giri and Prasad, 2007) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ, ขนาด/ความหนาของเห็ด, วิธีการอบแห้ง และการแพร่ของความชื้น (Yapar *et al.*, 1990)

สำหรับขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการเตรียมเห็ดก่อนการผลิตเห็ดอบแห้ง สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเห็ดภายหลังการอบแห้งได้ โดย Singh *et al.* (2001) รายงานว่า การล้างเห็ดด้วยน้ำสะอาดก่อนอบแห้ง สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction), ช่วยเพิ่มกลิ่นรส และรักษาคุณสมบัติของลักษณะเนื้อสัมผัสได้ ส่วนการลวกเห็ดก่อนการอบแห้ง จะมีผลต่อเนื้อเยื่อของเห็ดทำให้เกิดการนิ่มและจัดเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการลวกเห็ดก่อนการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม คืออุณหภูมิที่ระดับ 90- 100 องศาเซลเซียส (Ahmed *et al.*, 2003)

ทั้งนี้ Gormley and O'Riordain (1976) และ Kurtzman and Zadrazil (1982) ได้ทำการศึกษา คุณภาพของเห็ดนางรมที่ผ่านการแปรรูป โดยเปรียบเทียบการสูญเสียกลิ่นรสของเห็ดที่ใช้วิธีการต้มและการลวกโดยไอน้ำร้อน พบว่า เห็ดที่ผ่านการลวกโดยไอน้ำร้อนจะสูญเสียกลิ่นรสเพียงเล็กน้อยซึ่งแตกต่างจากการต้มที่มีการสูญเสียกลิ่นรสมากกว่า

การทำแห้งเห็ดหอม เป็นผลิตภัณฑ์เห็ดอบแห้งที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากการทำแห้งเห็ดหอม สามารถช่วยรักษาหรืออาจมีผลต่อการเพิ่มกลิ่นรสของเห็ดหอมให้มีกลิ่นรสที่ดี ซึ่งการทำแห้งเป็นการลดปริมาณความชื้น (ประมาณร้อยละ 8-15) และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของเห็ดลง ($a_w < 0.7$) ส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ จึงทำให้เห็ดหอมแห้งมีอายุการเก็บรักษาได้นาน โดยทั่วไประดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตเห็ดหอมอบแห้ง คือ อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส นาน 12-18 ชั่วโมง นอกจากนี้ การทำแห้งยังนิยมใช้ในการแปรรูปเห็ดอีก

หลายชนิด เช่น เห็ดกระดุม เห็ดนางรม เห็ดฟาง เป็นต้น (Chang and Miles, 2004) Giri and Prasad (2007) ทำการศึกษาปริมาณความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเห็ดกระดุม (*Agaricus bisporus*) ด้วยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟ-สุญญากาศ (microwave-vacuum drying; MVD) ที่ใช้ระดับพลังงานแตกต่างกัน และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (hot-air drying; AD) ที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ภาพที่ 2) พบว่า การอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟ-สุญญากาศ โดยใช้พลังงานระดับ 115 W และ 285 W จะทำให้ปริมาณความชื้นของเห็ดกระดุม ลดลงจากร้อยละ 92 เหลือร้อยละ 6 ภายหลังจากการอบแห้งเป็นเวลา 45 และ 20 นาที ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน ที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 270 และ 180 นาที เพื่อให้ปริมาณความชื้นของเห็ดลดลง



ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเห็ดกระดุม (*Agaricus bisporus*)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Giri and Prasad (2007)

Kurtzman and Zadrazil (1982) และ Giri and Prasad (2007) ได้รายงานว่าคุณภาพของเห็ดอบแห้งที่ใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน (conventional hot-air drying) โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ และ/หรือการทำ pretreatment ก่อนการอบแห้ง ซึ่งระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเห็ด โดยมากจะใช้เวลา 50-70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการอบแห้งเป็นระยะเวลานาน และการใช้ความร้อนที่สูงเกินไปในระหว่างการอบแห้ง อาจส่งผลต่อคุณภาพของเห็ดอบแห้งได้เช่นกัน โดยอาจทำให้เห็ดอบแห้งมีสีเข้มมากยิ่งขึ้น, เกิดการสูญเสียกลิ่นรส และสูญเสีย

ความสามารถในการดูดน้ำคืนลดลง ซึ่งการอบแห้งเห็ดโดยใช้ตู้อบลมร้อน มีผลทำให้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของเห็ด เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น เกิดการหดตัวของโครงสร้างทำให้รูพรุนมีขนาดลดลง และไม่สม่ำเสมอ ส่งผลทำให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับคืนของเห็ดเป็นไปได้ยาก และทำให้น้ำหนักและปริมาณความชื้นของเห็ดภายหลังการคั้่นรูป มีค่าลดลง

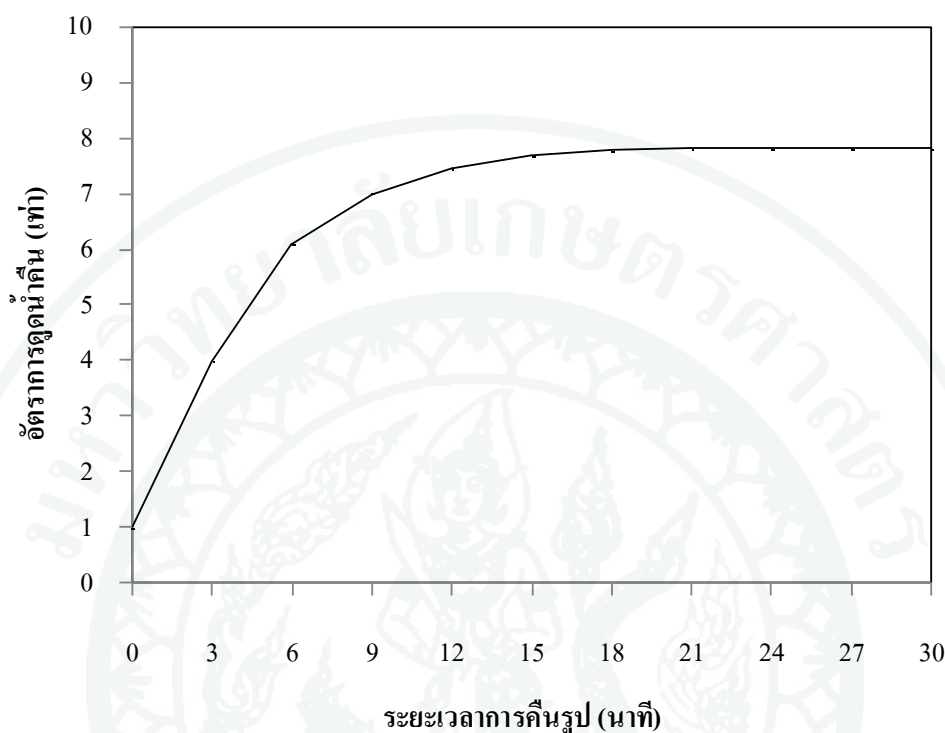
การอบแห้งด้วยลมร้อน ที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งแตกต่างกัน (50, 55, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และการลวกเห็ดก่อนการอบแห้งเห็ดนางรม (*Pleurotus* sp.) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัส โดยในระหว่างการอบแห้งค่า hardness และ chewiness ของเห็ดนางรมมีการเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ค่า cohesiveness และ springiness จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการอบแห้ง และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ขั้นสุดท้ายของการอบแห้ง ซึ่งค่า hardness ของเห็ดนางรมจะมีค่ามากขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ค่า cohesiveness ของเห็ดนางรมจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ การลวกก่อนการอบแห้ง จะทำให้เห็ดนางรมอบแห้งมีค่า hardness มากกว่าเห็ดนางรมอบแห้งที่ไม่ได้ลวกก่อนการอบแห้ง สำหรับการเปลี่ยนแปลงในด้านสีของเห็ดนางรมระหว่างการอบแห้ง พบว่า ระหว่างการอบแห้งเห็ดนางรมมีค่า whiteness index ลดลง ขณะที่ค่า yellowness index จะมีการเพิ่มสูงมากขึ้น (Kotwaliwale et al., 2007)

การคั้่นรูปเห็ดอบแห้ง

การคั้่นรูปเห็ดอบแห้ง คือการนำเห็ดอบแห้งมาแช่น้ำ เพื่อให้เห็ดดูดน้ำคืนจนกว่าจะมีน้ำหนักและปริมาณความชื้นสูงที่สุด โดยความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ใช้แช่เห็ดจะมีผลต่อการดูดน้ำคืนของเห็ด ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการดูดน้ำคืนของเห็ดอบแห้ง ตั้งแต่เริ่มต้นการคั้่นรูป จนกระทั่งสมบูรณ์ใช้ระยะเวลาแตกต่างกันไป โดยการคั้่นรูปจะใช้ระยะเวลาลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น (Kotwaliwale et al., 2007) นอกจากนี้ เห็ดอบแห้งแต่ละชนิดอาจมีความสามารถในการดูดน้ำคืนไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างของเห็ดที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงไปของโครงสร้างเห็ดภายหลังการอบแห้ง (Giri and Prasad, 2007)

ความสามารถในการดูดน้ำคืนของเห็ดอบแห้ง แสดงได้จาก อัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio; RR) (ภาพที่ 3) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) (Kotwaliwale et al., 2007; Giri and Prasad, 2007)

$$\text{อัตราการดูดน้ำคืน} = \frac{\text{น้ำหนักเห็ดภายหลังการคืนรูป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเห็ดก่อนการคืนรูป (กรัม)}} \times 100 \text{ สมการที่ (1)}$$



ภาพที่ 3 อัตราการดูดน้ำคืนของเห็ดอบแห้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Giri and Prasad (2007)

อาหารว่าง

อาหารว่างหรืออาหารขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่รับประทานระหว่างมื้ออาหารหลัก เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานได้โดยง่าย สามารถรับประทานได้ทันทีหรือไม่ต้องเสียเวลาจัดเตรียมมากนัก ผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิดและมีรูปแบบที่หลากหลาย (Sajilata and Singhal, 2005) มีน้ำหนักเบา เก็บรักษาง่าย และสะดวกในการพกพา (สัมพันธ์, 2547) ปัจจุบันขนมขบเคี้ยวได้มีการพัฒนาให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ เช่น ไขมันต่ำ แคลอรีน้อย โดยใช้วิธีการอบแทนการทอด และมีใยอาหารสูง โดยการใช้ข้าวเจ้า ข้าวสาลีเต็มเมล็ด และผักต่างๆเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (Mazumder et

al., 2007) รูปแบบขนมขบเคี้ยวที่วางจำหน่ายมีหลายชนิด เช่น ขนมอบ แครกเกอร์ คุกกี้ มีทสแนค (meat snack) ป๊อปคอร์น เอกทวูดชีส เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผัก

ผัก เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีใยอาหารเป็นองค์ประกอบหลัก และมีส่วนประกอบของสารต่อต้านอนุมูลอิสระอยู่มาก (Middleton et al., 2000; Lee et al., 2003; Pelucchi et al., 2004; Seeram et al., 2005) การนำผักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว จึงสามารถช่วยในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย (วัฒน์, 2548; Sun-Waterhouse et al., 2010)

Konopacka et al. (2010) ได้พัฒนาขนมขบเคี้ยวจากผัก โดยนำ winter squash มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งในรูปแบบแผ่น (chips) และ และชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์กรอบ (crispy cubes) โดยทำการวิเคราะห์ค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ก่อนและหลังการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ในด้านความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ และวิเคราะห์ปริมาณแคลโรทีนอยด์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะของสีและรสชาติที่ดี มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 3.2-7.1 นิวตัน มีค่าความกรอบ ซึ่งนับจากจำนวน force peaks อยู่ในช่วง 2.6-8.5 ซึ่งผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแผ่นจะมีค่าความแข็งน้อยกว่าและมีค่าความกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบยังมีแคลโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงอีกด้วย

อนุวัตร (2547) ได้ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่น พบว่า ค่ะน้ำแผ่นที่ผลิตได้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีเขียว ค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 39.40, -12.40 และ 16.90 ตามลำดับ มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี เท่ากับ 0.26 ปริมาณร้อยละความชื้น ไขมัน เส้นใย โปรตีน แล้และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 5.46, 3.23, 15.97, 16.54, 10.31 และ 48.49 ตามลำดับ

วัฒน์ (2548) ได้ทำการศึกษาพัฒนาผักแผ่นจากคะน้ำและตำลึงโดยใช้ตู้อบลมร้อน พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผักคะน้ำและผักตำลึง คือ 75 : 25 โดยไม่ต้องเติมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส มีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบกดทับ พบว่า ผักแผ่นที่เติมแป้งสาลีร้อยละ 5 เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด และจากการ

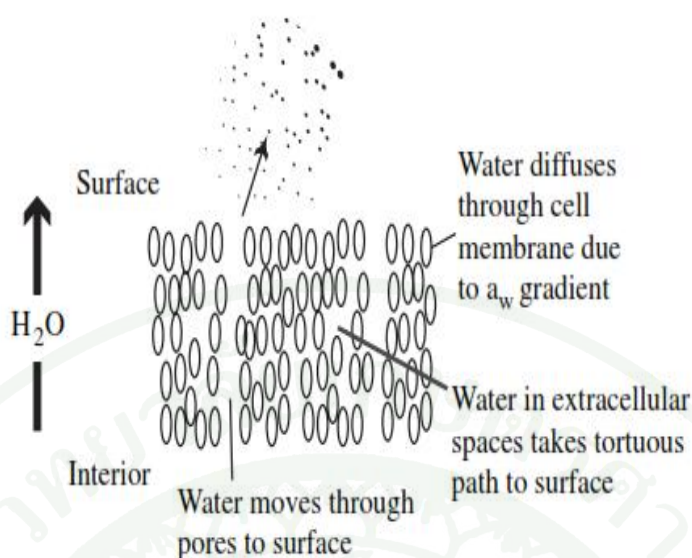
ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์ผักแผ่น เนื่องจาก ต้องการให้ผักแผ่นมีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายสาหร่ายแผ่นปรุงรส และยินดีซื้อผลิตภัณฑ์ผักแผ่นที่ราคา 3 บาท/5 แผ่น อีกทั้งร้านสะดวกซื้อเป็นสถานที่ที่ผู้บริโภคสะดวกในการซื้อผักแผ่นมากที่สุด

ผลของการทำแห้งต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่าง

การทำแห้ง (Drying) คือ การลดปริมาณความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.7 ความชื้นในอาหารแห้งมีค่าประมาณร้อยละ 5 – 25 ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยการทำแห้งอาหารจะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (วัฒนนา, 2548; Mujumdar, 2000; Kerr, 2007; Chong *et al.*, 2008) ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยวต่างๆ อาหารแห้งกึ่งสำเร็จรูป และผลไม้แห้ง เป็นต้น (Krokida *et al.*, 2003)

กลไกการอบแห้ง

Wang *et al.* (2011) รายงานว่า การอบแห้ง คือ กระบวนการที่น้ำถูกดึงออกจากวัตถุดิบที่มีความชื้น โดยการใช้พลังงานความร้อน ซึ่งกลไกของการอบแห้ง (ภาพที่ 4) มีความซับซ้อนและมีความเกี่ยวข้องกันระหว่างความร้อนกับการถ่ายโอนมวลทางชีวภาพในอาหาร โดยทั้งสองกลไกจะต้องเกิดขึ้นร่วมกัน ทั้งนี้ การอบแห้ง เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง เนื่องจากจะต้องมีความร้อนแฝงเพียงพอที่จะทำให้ความชื้นในอาหารระเหยออกไป



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในไปสู่ภายนอกผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kerr (2007)

Krokida *et al.* (2003) รายงานว่า ผลของตัวแปรต่อการอบแห้ง ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อบแห้ง ความเร็วลม และขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้ง จะส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยอุณหภูมิอากาศ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่ออัตราการอบแห้ง

Krokida *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของสภาวะบรรยากาศต่อการทำแห้งผัก 10 ชนิด (มันฝรั่ง, แครอท, พริกไทย, กระเทียม, เห็ด, ข้าวโพด, ถั่วเขียว, หัวหอมใหญ่, พักทอง และมะเขือเทศ) ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน, ความเร็วลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ และขนาดชิ้นของตัวอย่างผัก โดยใช้ตู้อบลมร้อน พบว่า ผักที่มีขนาดชิ้นเล็กจะแห้งได้เร็วกว่า และอุณหภูมิลมร้อนเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำให้ผักแห้งมากที่สุด นอกจากนี้ Kerr (2007) ได้รายงานไว้ว่า ธรรมชาติของอาหารแต่ละชนิด เช่น ขนาดรูพรุน โครงสร้าง และความหนาแน่นของอาหาร เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งอาหารเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารระหว่างการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการอบแห้งพร้อม ๆ กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงของอาหารที่เกิดขึ้น ได้แก่ การหดตัว การเปลี่ยนสี การเกิดเปลือกแข็ง การเสียความสามารถในการคั้นสภาพ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและสารระเหย (ตารางที่ 8 และ 9) และเสถียรภาพในการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง และการยอมรับของผู้บริโภค (Nijhuis *et al.*, 1998; Leeratanarak *et al.*, 2006; Pimpaporn *et al.*, 2007)

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

Chemical	Physical	Nutritional
Browning reactions	Rehydration	Vitamin loss
Lipid oxidation	Solubility	Protein loss
Colour loss	Texture	Microbial survival
	Aroma loss	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heldman (1992)

ตารางที่ 9 ปฏิกริยาที่มีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของอาหารแห้ง

ปฏิกริยา	ตัวอย่างและผลที่เกิดจากปฏิกริยา
Physical	<i>Moisture movement</i> , causing drying and toughening of texture, hydration and softening of texture, aggregation
Chemical	<i>Oxidation</i> , causing oxidative rancidity, loss of colour <i>Maillard reactions</i> , causing discolouration, change in texture
Enzymatic	<i>Polyphenoloxidase</i> , causing enzymic browning <i>Lipoxygenase</i> , causing oxidative rancidity <i>Lipase</i> , causing lipolytic rancidity <i>Protease</i> , causing gelation and flavour and texture changes
Microbial	<i>Growth of spoilage organisms</i> , causing quality deterioration <i>Growth of toxigenic organisms</i> , causing food poisoning <i>Presence of infectious organisms</i> , causing food poisoning

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gould (1995)

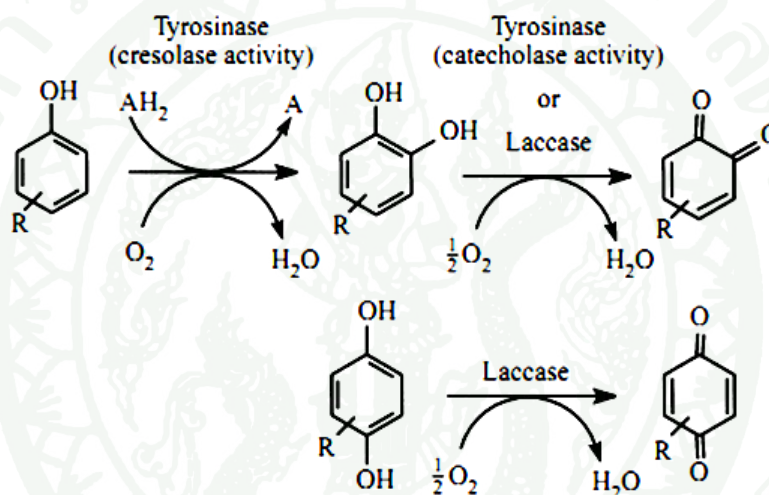
โดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงของอาหารที่เกิดขึ้นเป็นอันดับแรกในระหว่างการอบแห้ง คือ โครงสร้างทางกายภาพ โดยก่อนการอบแห้ง โครงสร้างของเซลล์ยังคงมีความยืดหยุ่นอยู่ และในระหว่างการอบแห้งโครงสร้างของเซลล์ จะสามารถหดตัวเข้าไปแทนที่ในช่องว่างส่วนของน้ำที่เคลื่อนย้ายออกไป (Chua *et al.*, 2000; Mayor and Sereno, 2004)

Krokida and Maroulis (2001) รายงานว่า การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน เป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารแห้ง โดยทั่วไปโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อบแห้ง จะมีลักษณะรูพรุนต่ำและมีความหนาแน่นสูงผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจน และผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยลง

1. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารระหว่างกระบวนการอบแห้ง

1.1 การเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล (Browning reaction)

Lee (1983) กล่าวว่า รูปแบบของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบ คือ การเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์ (Enzymatic browning) และการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เอนไซม์ (Non-enzymatic browning: Maillard reactions, caramelization, ascorbic acid oxidation) โดยการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์นั้น (ภาพที่ 5) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ของสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) ที่มีในอาหาร ถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase; PPO) เป็นสารโอบเควโนน (o-benzoquinones) และทำให้เกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Hidalgo and Zamora, 2000; Jolivet *et al.*, 1998)

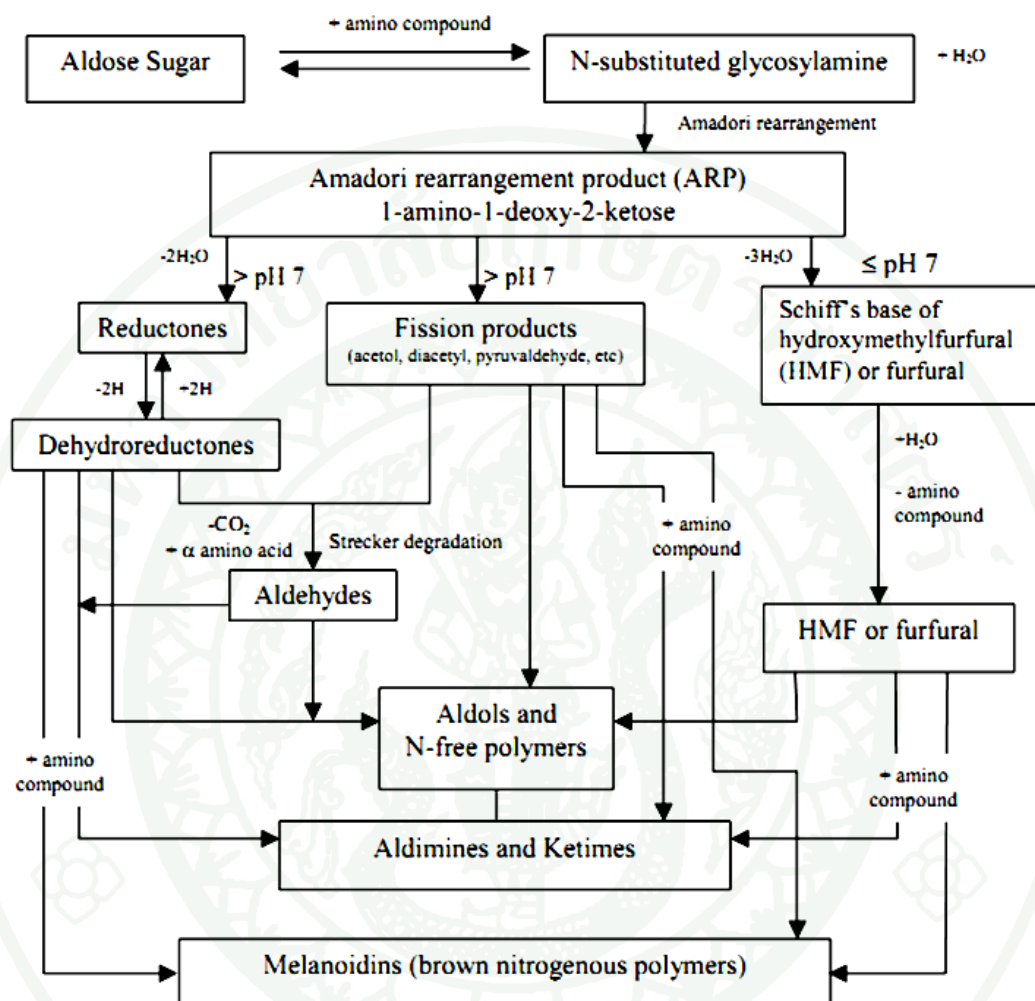


ภาพที่ 5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jolivet *et al.* (1998)

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีหมู่ที่เป็นอัลดีไฮด์ และคีโตนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจน เช่น เอมีน โปรตีน เกิดเป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) (ภาพที่ 6) โดยกรดอะมิโนที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากที่สุด คือ ไลซีน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของโปรตีน ส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงสมบัติทางหน้าที่และทางกายภาพของอาหารได้ (นิธิยา, 2545; Labuza and Baisier, 1992; van Boekel, 1998)



ภาพที่ 6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Martins (2003)

การเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ และปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลทำให้อาหารแห้งเกิดสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น โดยการเกิดสีน้ำตาลนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของอาหารแต่ละชนิด อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งอาหาร รวมถึงขั้นตอนการเตรียมอาหารก่อนการ

อบแห้ง เช่น การล้าง การลวก เป็นต้น (Pimpaporn *et al.*, 2007; Kotwaliwale *et al.*, 2007; Nath and Chattopadhyay, 2007; Mohapatra *et al.*, 2008; Andrade *et al.*, 2010)

Eskin *et al.* (1971) รายงานว่า การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ซึ่งอัตราของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการอบแห้ง พีเอชและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการได้รับความร้อน และความเข้มข้นของสารตั้งต้นในอาหาร โดยอัตราของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ สำหรับอาหารที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากการลดลงของสัดส่วนของอาหาร ส่วนอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 30 การลดลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เกิดขึ้นจากการลดลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในอาหาร

Kerr (2007) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบใช้ลมร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงของสี โดยเกิดสีที่เข้มมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในระหว่างการอบแห้งมี ความร้อนสูง และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (Maillard reaction) การเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน การเสียสภาพหรือการสลายของพันธะ โปรตีน และการเกิด pyrosis นอกจากนี้ การอบแห้ง ยังอาจทำให้มีการสูญเสียหรือเกิดการเสียสภาพของรงควัตถุได้ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น

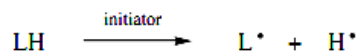
1.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation)

Gould (1995) รายงานว่า การออกซิเดชันของไขมัน มีผลทำให้เกิดกลิ่นหืน เกิดการเปลี่ยนแปลงของรสชาติ และสูญเสียวิตามินและรงควัตถุต่างๆที่ละลายได้ในไขมัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ชนิดของกรดไขมัน อุณหภูมิ ส่วนประกอบที่เป็นสารโลหะ สารต้านอนุมูลอิสระ กิจกรรมของเอนไซม์ แสง ปริมาณโปรตีน ปริมาณกรดอะมิโน และปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ซึ่งปริมาณความชื้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

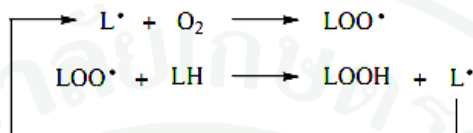
Shahidi and Zhong (2005) กล่าวว่า การออกซิเดชันของไขมันมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและกลิ่นรสของอาหาร โดยกลไกการออกซิเดชันของไขมันแสดงดังภาพที่ 7 ซึ่ง

ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน คือ อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน สารประกอบให้กลิ่นที่สามารถระเหยได้ และ epoxy compound

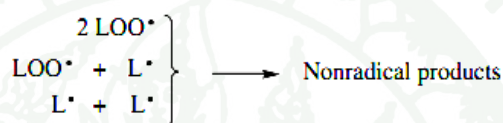
Initiation:



Propagation:



Termination:



ภาพที่ 7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Shahidi and Zhong (2005)

2. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารระหว่างกระบวนการอบแห้ง

2.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

Kerr (2007) รายงานว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแห้งเป็นผลมาจาก วิธีการอบแห้ง และสภาวะการอบแห้ง โดยการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน จะทำให้โครงสร้างเกิดการหดตัว ไม่สามารถคืนรูปได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นการทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัส คือ มีการสูญเสีย differential permeability ใน protoplasmic membrane สูญเสีย turgor pressure ภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน หรือเกิดผลึกของเซลลูโลส มีการสลายพันธะไฮโดรเจนของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ และการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลน้ำในอาหารระหว่างการอบแห้ง ทำให้อาหารเหี่ยวและมีปริมาตรลดลง ดังนั้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของผักอบแห้งด้วยลมร้อนจะเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการตัดสินคุณภาพ หรือความชอบของผลิตภัณฑ์อาหาร (Luyten *et al.*, 2004; Rojo and Vincent, 2009) Bourne (2002) รายงานว่า คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหาร จัดเป็นคุณลักษณะทางกายภาพ ที่เกิดขึ้นจากส่วนที่เป็นโครงสร้างของอาหาร และ Vliet *et al.* (2009) ได้รายงานเพิ่มเติมอีกว่า องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์รวมถึงลักษณะของโครงสร้าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการบดเคี้ยว ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

Jeon *et al.* (1975) และ Barrett *et al.* (1994) ได้ให้คำนิยามของลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความกรอบว่า เป็นการใช้แรงกดลงบนตัวอย่าง ซึ่งแรงที่ใช้มีความสัมพันธ์กันระหว่างความกรอบและความแข็งของตัวอย่าง

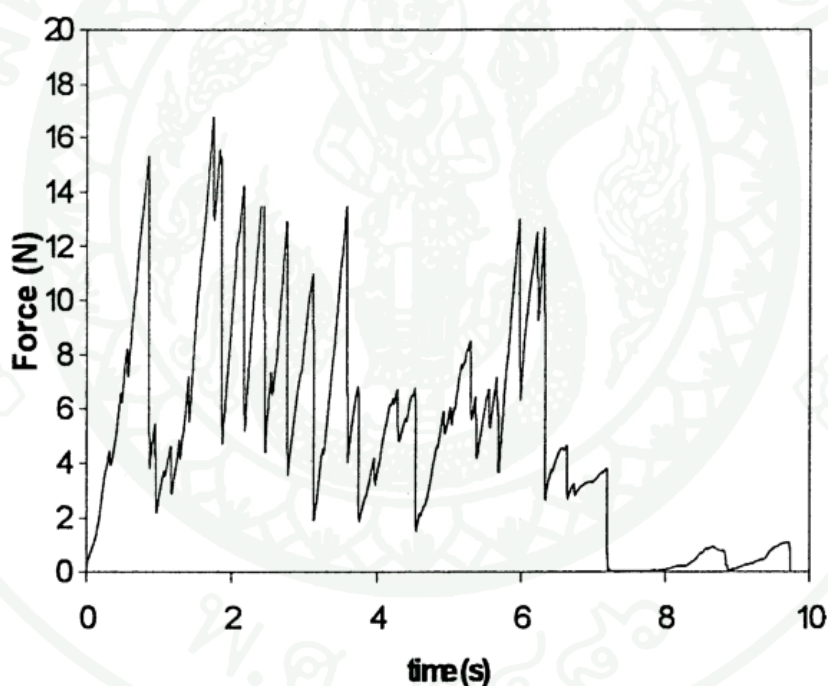
Desrumaux *et al.* (1999) รายงานว่า คุณสมบัติของวัตถุดิบในเชิงโครงสร้างของเซลล์ เช่น ความหนาแน่น ความบางของผนังเซลล์ ขนาดเซลล์ และจำนวนเซลล์ เป็นปัจจัยในการควบคุมความกรอบของผลิตภัณฑ์

Kawas and Moreira (2001) ศึกษาการพัฒนาความกรอบระหว่างกระบวนการทำแห้ง พบว่า ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเพิ่มขึ้น และมีปริมาณความชื้นลดลง

Roudaut *et al.* (2002) Mazumder *et al.* (2007) และ Vliet *et al.* (2009) รายงานว่า ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะโครงสร้างของวัตถุดิบ (ขนาดเซลล์และความหนาแน่นของวัตถุดิบ) ความหนาบางของผลิตภัณฑ์ เครื่องปรุงที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำตาลซูโครส (ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มมากขึ้นของความกรอบ) และปริมาณน้ำในอาหาร (ปริมาณความชื้นและค่า Water activity) เมื่อปริมาณความชื้นลดลงจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิด plasticizer ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่กรอบ โดยส่วนมากความกรอบของผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากใยอาหารและโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบ ซึ่งโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และน้ำมีหน้าที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนไขมันจะช่วยควบคุมความกรอบในส่วนที่มีแบ่งเป็นโครงสร้าง สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.7 ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะกรอบ

ความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำหรือค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ซึ่งจากการศึกษาของ Martinez-Navarraete *et al.* (2004); Heidenreich *et al.* (2004) และ Katz and Labuza (1981) พบว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.05-0.65 เป็นค่าที่กำหนดความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบ

Vickers and Bourne (1976) รายงานว่า การนำแรงมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยความกรอบของผลิตภัณฑ์สามารถแสดงได้จากค่า force-deformation curve (ภาพที่ 8) เนื่องจากแรงที่ใช้กับผลิตภัณฑ์จะทำให้โครงสร้างเกิดการแตกหัก และเกิดเส้นจากการแตกหักของโครงสร้างนั้น ซึ่งสามารถทำให้รับรู้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 8 Characteristic jagged force-deformation curve of a crispy product

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roudaut *et al.* (2002)

2.2 การสูญเสียกลิ่นรส (Aroma loss)

Kerr (2007) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิสูง จะส่งผลต่อการลดลงของกลิ่นรส เนื่องจากลมร้อนในกระบวนการอบแห้ง จะเป็นตัวพาให้สารประกอบให้กลิ่นที่สามารถระเหยได้ ระเหยออกไป นอกจากนี้ การออกซิเดชันของไขมัน thermal decomposition หรือการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง มีผลทำให้เกิด rancidity หรือ cooked flavor ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์

3. การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารระหว่างกระบวนการอบแห้ง

Kerr (2007) รายงานว่า โดยทั่วไปการอบแห้งจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โยอาหาร และพลังงานในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อย่างไรก็ตาม การอบแห้งจะมีผลทำให้องค์ประกอบดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการลดลงของปริมาณความชื้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงวิตามินและแร่ธาตุในระหว่างการอบแห้ง สามารถเกิดขึ้นได้จากขั้นตอนการแช่ หรือการทำ pretreatment ต่างๆ (ตารางที่ 10) ซึ่งขั้นตอนดังกล่าว จะส่งผลต่อการสูญเสียแร่ธาตุ ทั้งนี้ ระหว่างการอบแห้งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่อการสลายตัวของแร่ธาตุ ส่วนวิตามินจะมีการสูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนการเตรียมก่อนการอบแห้ง รวมทั้งการทำ pretreatment นอกจากนี้ การสูญเสียวิตามินเนื่องมาจากกรรมวิธีการอบแห้ง และสภาวะการอบแห้งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการตอบสนองที่รวดเร็วต่อความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้งของวิตามิน เช่น วิตามินซี จะเกิดการตอบสนองต่อความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้งได้รวดเร็วมากที่สุด อย่างไรก็ตาม อาจมีการสูญเสียวิตามินปริมด้วยในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

Fellows (1990) รายงานว่า วิตามินที่มีการสูญเสียมาก เนื่องจาก กระบวนการทำแห้ง ได้แก่ วิตามินซี และวิตามินบี 1 ซึ่งจะมีการสูญเสียตั้งแต่วัตถุดิบ การหั่น การลอก จนกระทั่งการระเหยนํ้าออกจากอาหาร ส่วนวิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และเค) พบว่าค่อนข้างจะคงสภาพได้ดีอาหารที่ผ่านการทำแห้ง

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและสารระเหยเมื่อทำการอบแห้ง

สารอาหาร/สารระเหย	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
โปรตีน แป้ง และไขมัน	มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำหนัก
สารระเหย	ลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิมเนื่องจากความร้อน
สารประกอบ Fiber	ไม่เปลี่ยนแปลง
ปริมาณแคลอรี	ไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณมวลของอาหารลดลง เนื่องจาก การนำความชื้นออกจากอาหาร
วิตามิน เอ	ขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุมความร้อนในกระบวนการทำแห้ง
วิตามิน ซี	ถูกทำลายไปในระหว่างการลวกและการทำแห้ง
เกลือแร่	สูญเสียไปบ้างระหว่างการ Dehydration แต่ธาตุ เหล็ก ไม่ถูกทำลายโดยการทำแห้ง
Thiamin, Riboflavin, Niacin	สูญเสียไปเล็กน้อยระหว่างการลวก

ที่มา: ดัดแปลงจากวัฒนา (2548)

4. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ วิธีการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากการอบแห้งจะดึงน้ำออกจากอาหาร ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ และกิจกรรมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อปริมาณน้ำในอาหารลดลง จะแสดงถึงการลดลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ด้วย โดยค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ควรมีค่าต่ำกว่า 0.6 (Jayaraman and Das Gupta, 2006)

Sheneman (1973) ศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์หัวหอมอบแห้งที่เดิมวัตถุดิบปรุงแต่งกลิ่นรส และไม่มีการลวกหัวหอมก่อนการอบแห้ง พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100,000 โคโลนีต่อกรัมในร้อยละ 76 ของหัวหอมสไลด์ที่อบแห้งโดยใช้ belt dryer และร้อยละ 52 ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์หัวหอมอบแห้ง

การเก็บรักษาอาหารแห้ง

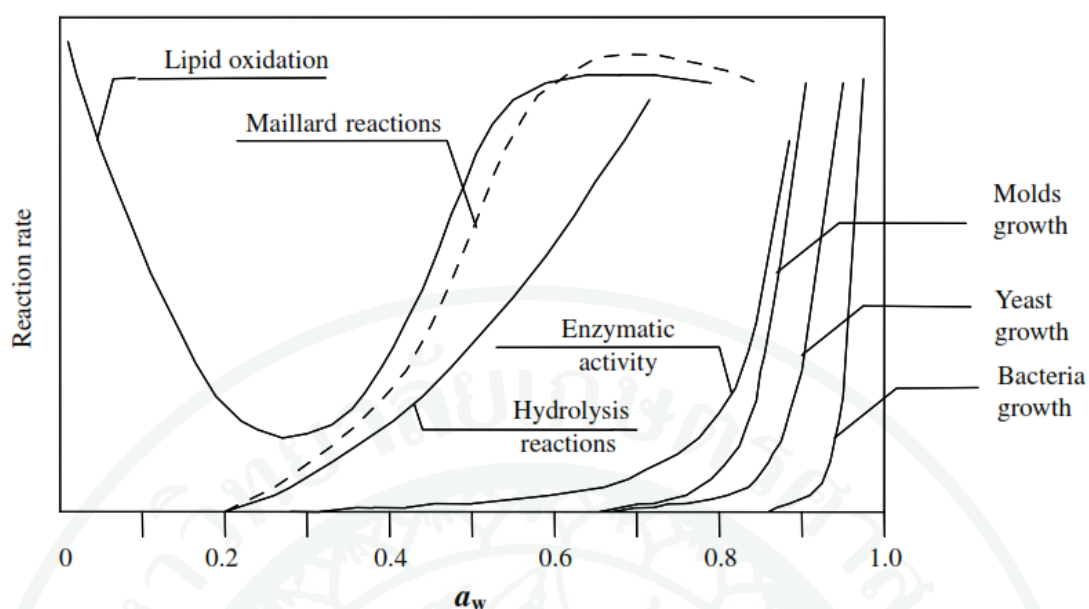
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารระหว่างการเก็บรักษา

Villota *et al.* (1980) ได้รวบรวมข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งและสรุปผลการรวบรวมข้อมูลว่า ปัจจัยหลักที่มีผลทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา ออกซิเจน และแสง

นิธิยา (2544) และ Jayaraman และ Das Gupta (2006) รายงานว่า ความชื้นในอาหารแห้งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญรองลงมาจากความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิจะเร่งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของอาหารแห้งให้เกิดเร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การออกซิเดชันของไขมัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน เป็นต้น แสงมีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารแห้ง เนื่องจากแสงทำให้สารสีถูกทำลาย เช่น คลอโรฟิลล์และแคโรทีน และสามารถทำลายวิตามินบางชนิดได้ เช่น วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินเอ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้ง

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆของอาหารแห้งระหว่างการเก็บรักษา โดยทั่วไปมีผลมาจากปริมาณวอเตอร์แอกติวิตีที่มีในผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าวอเตอร์แอกติวิตี คือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งระหว่างการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และการควบคุมอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งได้โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 9) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีน้อยกว่า 0.5 จะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่สภาวะของอุณหภูมิห้องได้ นอกจากนี้ ปริมาณความชื้น องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ยังสามารถส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Diebel *et al.*, 2004; Labuza *et al.*, 2004; Bonazzi and Dumonoulin, 2011)



ภาพที่ 9 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และความคงตัวของอาหาร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Labuza *et al.* (1970)

การเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์อาหารแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง อาจมีผลกระทบที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความแตกต่างกันมากของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซออกซิเจน และความเข้มแสง (Yang, 1998)

Bonazzi and Dumonlin (2011) รายงานว่า ปัญหาสำคัญในการเก็บรักษาอาหารแห้ง คือ การดูดซับความชื้น ซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นผิวของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับสภาวะบรรยากาศแวดล้อม การดูดซับความชื้นของอาหารแห้งในสภาวะอุณหภูมิห้องมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้บนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำจะแพร่ผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความสามารถในการเป็นตัวพาและตัวทำละลายของน้ำ จะส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลิตภัณฑ์ เช่น การลดลงของความกรอบ

อาหารแห้ง มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี และชีวภาพระหว่างการเก็บรักษา ปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่แตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

Labuza *et al.* (1970) รายงานว่า เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.65 อัตราการเจริญของยีสต์และราจะเพิ่มสูงขึ้น และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มากกว่า 0.80 จุลินทรีย์ทั้งหมดจะสามารถเจริญได้ (ภาพที่ 9) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนยีสต์รา และจุลินทรีย์ทั้งหมด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเสื่อมเสีย เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ

Rayman *et al.* (1979) ทำการศึกษา death kinetic of several microorganism ระหว่างการเก็บรักษาเส้นพาสต้าแห้ง (ปริมาณความชื้นร้อยละ 12) ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า *D* value สำหรับ vegetative cells ของ *Saccharomyces* และ conidiospore ของ *Penicillium expansum* อยู่ในช่วง 40-54 และ 130-160 วัน ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงของไขมัน

2.1 การเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิส (Lipolysis)

นิธิยา (2544) กล่าวว่า ปฏิกิริยาไลโปไลซิส เป็นปฏิกิริยาแบบไฮโดรไลซิส ส่งผลต่อการแตกสลายของโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้คือ การแตกของพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ไลเปส หรือเร่งโดยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปแบบเอสเทอร์ของกลีเซอรอล

2.2 การออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (oxidative rancidity)

Perera (2005) กล่าวว่า การออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (oxidative rancidity) เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสลายตัวไปเป็นสารที่ระเหยง่าย ทำให้มีการเกิดกลิ่นรสผิดปกติ (Off-flavour) ในอาหาร การเกิดอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการ autocatalytic ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆที่ไม่ต้องการด้วย เช่นการสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนสี โดยอัตราการออกซิเดชันของไขมันมีผลมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิภายนอก การมีออกซิเจนในบริเวณที่ใกล้

อาหาร และการมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ต่ำมาก (น้อยกว่า 0.2) ทำให้อัตราการออกซิเดชันสูงขึ้น ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศ และเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือมีการเติมสารกันหืนลงไป

Yang (1998) รายงานว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ salted potato chip และผลิตภัณฑ์ tortilla chip จากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส โดยการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาของการเก็บรักษา ส่งผลทำให้ไขมันเกิดการออกซิเดชันเพิ่มขึ้นและทำให้การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์ salted potato chip และผลิตภัณฑ์ tortilla chip สามารถเก็บรักษาได้นาน 10 และ 12 สัปดาห์ ตามลำดับ

3. การเกิดสีน้ำตาล

Labuza *et al.* (1970) ได้ศึกษาความสำคัญของปริมาณน้ำและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่อการเกิด Maillard reaction ในอาหาร พบว่า น้ำมีอิทธิพลต่อการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (ภาพที่ 9) โดยอัตราการเกิด Maillard reaction มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดเมื่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตีอยู่ในช่วง 0.65-0.70 ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงประมาณ 80-130 องศาเซลเซียส (Labuza and Saltmarch, 1981) และเมื่อปริมาณน้ำและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น อัตราการเกิด Maillard reaction จะลดลง

4. การสูญเสียความกรอบ

คุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือ ความกรอบ การสูญเสียความกรอบ ส่งผลต่อการลดลงของคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร (Nielsen, 1979)

Katz and Labuza (1981) รายงานว่า ความกรอบของผลิตภัณฑ์เกิดจากการลดลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบอบกรอบ จะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีอยู่ในช่วง 0.35-0.50 และเมื่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตีสูงขึ้น (มากกว่า 0.50) ส่งผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง

5. การเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส

Mitchell (1995a) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มันฝรั่งอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 ปี ในอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ผู้บริโภคจะยอมรับผลิตภัณฑ์เป็นเวลาสูงสุด 8 เดือน โดยไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับคูกี้ที่ผู้บริโภคมักจะยอมรับผลิตภัณฑ์เป็นเวลาสูงสุด 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

บรรจุภัณฑ์และการบรรจุเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง

ภายหลังจากกระบวนการทำแห้ง ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งควรจะบรรจุในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากออกซิเจน น้ำ หรือปัจจัยอื่นๆที่จะทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง

Yang (1998) รายงานว่า การบรรจุอาหารที่มีความไวต่อออกซิเจนและน้ำ โดยการดึงออกซิเจนออกและ/หรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นโลหะ เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ จะสามารถป้องกันการออกซิเดชันและการเสื่อมเสียของไขมันและน้ำมัน ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ รวมถึงสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (รา และจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ)

นิธิยา (2544) รายงานว่า การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุโดยการเก็บรักษาในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน จะยืดอายุการเก็บรักษาหรือรักษาความคงตัวของผักหรือผลไม้ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งได้นานขึ้น

นุติ (2544) ศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เห็ดหอยจากเห็ดนางฟ้าที่มีค่าออกซิเจนอิสระ 0.324 ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.58 โดยบรรจุผลิตภัณฑ์เห็ดหอยจากเห็ดนางฟ้าที่พัฒนาแล้วในถุงพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (OPP) แบบสภาวะบรรจุก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บได้นาน 5 สัปดาห์ และมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

Arumuganathan and Rai (2004) ได้ศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารจากเห็ด โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน คือ polythene, polypropylene, lug bottles, laminated pouches, PVC wrapped trays, plastic jars และ tin cans ซึ่งความแตกต่างของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แสดงถึงความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ที่ควรใช้กับผลิตภัณฑ์จากเห็ดในรูปแบบต่างๆ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์จากเห็ด

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์จากเห็ด	ระยะเวลาการเก็บรักษา
Polythene bag	Dried Mushroom	2 เดือน
	Mushroom Powder	2 เดือน
Polypropylene	Mushroom Candy	6 เดือน
	Mushroom Soup Powder	6 เดือน
	Mushroom Powder	6 เดือน
	Dried Mushroom	3 เดือน
Lug bottles	Mushroom Chips	3 เดือน
	Mushroom Pickles	1 ปี
PET jar	Mushroom biscuits	3 เดือน
	Mushroom Candy	6 เดือน
Butter Paper	Mushroom Candy	3 เดือน
	Mushroom biscuits	2 เดือน
PVC wrapped trays	Mushroom Nuggets	1 เดือน
Laminated pouches	Mushroom curry	1 ปี
Tin Cans	Canned Mushroom	1 ปี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rai and Arumuganathan (2008)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 เห็ดหอมสด (*Lentinus edodes*) เห็ดฟางสด (*Volvariella volvacea*) และเห็ดนางฟ้าสด (*Pleurotus sajor-caju*) จากตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร

1.2 เครื่องปรุงรสสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด ประกอบด้วย น้ำตาลทรายขาว (ตรามิตรผล) พริกไทยขาวป่น (ตรามือที่ 1) เกลือป่น (ตราปทุมทิพย์) และซอสถั่วเหลือง (ตราทาคุมิ อายิ)

1.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์โปรตีน ประกอบด้วย กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดบอริก (H_3BO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

1.4 สารเคมีและวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ปิโตรเลียม อีเทอร์ และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

1.5 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารป้องกันการเกิดโฟม

1.6 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ได้แก่ กรดไธโอบาบิทูริก (thiobarbituric acid) และ tetraethoxy propane

1.7 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบด้วย

1.7.1 อาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ Plate count agar (PCA) (Hi Media, Thailand)

1.7.2 อาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อยีสต์และรา คือ Potato dextrose agar (PDA) (Hi Media, Thailand)

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์สำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

2.1.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) (Eureka, Thailand)

2.1.2 เครื่องปั่นผสม (TSK-9355B, Buono Buo, Thailand)

2.1.3 เครื่องชั่ง 1 กิโลกรัม (UC-400, Yamato, Japan)

2.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) (EP214C, Ohaus, Switzerland)

2.1.5 เครื่องรีดเส้นก๋วยเตี๋ยว

2.1.6 ถาดอลูมิเนียมขนาด 12 x 12 นิ้ว

2.1.7 ถังพลาสติกขนาด 12 x 18 นิ้ว

2.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

2.2.1 เครื่องวัดสี ตามระบบ CIE $L^*a^*b^*$ (ColorFlex, HunterLab, U.S.A.)

2.2.2 เครื่องวัดค่า Water activity (RS-232, HygroLab, Switzerland)

2.2.3 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-Xtplus, Stable Micro System, U.K.)

2.2.4 ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า (Hot air oven) (FD-115, WTB binder, Germany)

2.2.5 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (DK6, VELP Scientifica, Italy)

2.2.6 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (SER148 Solvent extraction, VELP Scientifica, Italy)

2.2.7 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (FIWE extractor, VELP Scientifica, Italy)

2.2.8 เตาเผา (2/01/294, Lenton furnaces, U.K.)

2.2.9 ตู้บ่ม (Incubator) (BE 500, Memmert, Germany)

2.2.10 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) (HIRAKAWA SEISAKUSHO, LS-2D, Taiwan)

2.2.11 เครื่องปั่นผสม (homogenizer) (T25basic, IKA, Germany)

2.2.12 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (SWB1-30, Wellab, Thailand)

2.3 อุปกรณ์สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส

2.3.1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale

2.3.2 ปากกา/ดินสอ

2.3.3 ถังซิปสำหรับใส่ตัวอย่าง

2.3.4 แก้วน้ำพลาสติก

วิธีการ

1. ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และเห็ดนางฟ้าสด สำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพ

ทำการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และเห็ดนางฟ้าสด ตามวิธีการดัดแปลงจากวัฒนา (2548) ทั้งนี้จากการทดลองเบื้องต้นได้ทำการปรับส่วนผสม และเครื่องปรุงรส และทำการทดสอบการกรรรมวิธีผลิต โดยนำไปอบและทอดแล้ว พบว่า วิธีการอบ ด้วยตู้อบลมร้อนได้รับคะแนนความชอบมากกว่าวิธีการทอด จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบสำหรับ ข้อ 1.1 โดยนำเห็ดสดที่ทำการตัดแต่งแล้วมาล้างทำความสะอาด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเห็ดสด ทั้ง 3 ชนิดเพื่อผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพด้วยอัตราส่วนของ เห็ดหอม: เห็ดฟาง: เห็ดนางฟ้า ที่ แตกต่างกัน 6 ระดับ ดังนี้ 100:0:0 (CMS-1) 50:45:5 (CMS-2) 50:35:15 (CMS-3) 50:25:25 (CMS-4) 50:15:35 (CMS-5) และ 50:5:45 (CMS-6) ทำการลวกเห็ดสดด้วยน้ำเดือด (95-100 องศาเซลเซียส) นาน 3 นาที จากนั้นนำเห็ดที่ผ่านการลวกแล้วไปปั่นผสมกับน้ำสะอาด (225 กรัม) และเครื่องปรุงรส ได้แก่ น้ำตาลทรายขาว (ร้อยละ 9) เกลือป่น (ร้อยละ 0.525) ซอสถั่วเหลือง (ร้อยละ 5.25) และพริกไทยขาวป่น (ร้อยละ 0.3) ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วระดับ 1 นาน 1 นาที จากนั้นเทส่วนผสมที่ปั่นแล้ว (390 กรัม) ลงบนถาดอลูมิเนียมขนาด 12×12 ตารางนิ้ว นำไปอบที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งค่าวอเตอร์แอคทีวิตีเหลือน้อยกว่า 0.6 ความหนาของ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดอยู่ในช่วง 0.48-0.50 มิลลิเมตร และตัดตัวอย่าง เป็นชิ้นขนาด 3×3 ตารางเซนติเมตร ทำการบรรจุตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และ นำไปวิเคราะห์ดังนี้

1.1.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

1.1.1.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 1)

1.1.1.2 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 2)

1.1.1.3 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 3)

1.1.1.4 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 4)

1.1.1.5 ปริมาณกากใย (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 5)

1.1.1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 6)

1.1.1.7 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข 7)

1.1.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1.1.2.1 ค่าสี

ทำการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด ด้วยระบบ CIE (angle 10° , illuminant D65) ค่า L^* a^* และ b^* บ่งบอกถึง ความสว่าง ความเป็นสีแดง/สีเขียว และความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน ตามลำดับ

1.1.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) และความกรอบ (Crispness) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ตามวิธีการของ Salvador *et al.* (2009) และ Troncoso *et al.* (2009) ทำการตรวจวัดด้วยการวางตัวอย่างบนชุดสำหรับวางตัวอย่าง HDP/90 Heavy Duty Platform และหัววัด (probe) ชนิดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร (2 mm cylindrical stainless steel probe) และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการตรวจวัด ดังนี้ Pre-test speed เท่ากับ 1 มิลลิเมตร/วินาที Test speed เท่ากับ 1 มิลลิเมตร/วินาที และ Post-test speed เท่ากับ 10 มิลลิเมตร/วินาที บันทึกค่าจากกราฟแรง-ระยะทาง (Force-Distance curve) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Texture Exponent 32 (Micro Stable, Surrey, U.K.) ซึ่งค่า Hardness และค่า Number of force peak บ่งบอกถึงความแข็งและความกรอบของตัวอย่าง ตามลำดับ

1.1.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินทางประสาทสัมผัสตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดด้วยวิธีการทดสอบการยอมรับแบบ 9-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด) ตามวิธีการของ Chamber IV and Wolf (1996) โดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสระดับห้องปฏิบัติการที่มีความคุ้นเคยกับอาหารว่างแบบอบกรอบ จำนวน 30 คน ทำการบรรจุตัวอย่างลงในถุงพลาสติกและติดรหัสสามตัวจากการสุ่มและเสิร์ฟให้กับผู้ทดสอบ ระหว่างการประเมินทางประสาทสัมผัสในแต่ละตัวอย่างนั้นมีการล้างปากด้วยน้ำสะอาด คุณลักษณะที่ทำการประเมินทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม (ภาคผนวก ง)

ทำการคัดเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ได้รับคะแนนความชอบด้านความชอบรวมสูงสุด เพื่อนำไปทำการศึกษาในขั้นต่อไป

1.2 การศึกษาการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งต่อ องค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

1.2.1 การศึกษาอัตราการดูดน้ำคืน องค์ประกอบทางเคมี และค่าสีของเห็ดที่ผ่านการทำแห้ง

1.2.1.1 การผลิตเห็ดอบแห้ง

ทำการอบเห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และเห็ดนางฟ้าสด ตามวิธีการของ Kotwaliwale *et al.* (2007) ด้วยการนำเห็ดสดทั้งสามชนิดมาตัดแต่ง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปริมาณความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 12 (ประมาณ 8 ชั่วโมง)

1.2.1.2 การศึกษาอัตราการดูดน้ำคืน

ทำการศึกษาอัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio) ของเห็ดที่ผ่านการทำแห้งแล้วตามวิธีการของ Kotwaliwale *et al.* (2007) และ Giri and Prasad (2007) ด้วยการนำเห็ดที่ผ่านการทำแห้งแล้วมาต้มในน้ำเดือด (95-100 องศาเซลเซียส) และเก็บตัวอย่างทุก 3

นาที่ เพื่อทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเห็ด จนกระทั่งน้ำหนักเห็ดคงที่ จากนั้นคำนวณอัตราการดูดน้ำ
คืน ดังสมการที่ 1

$$\text{อัตราการดูดน้ำคืน} = \frac{\text{น้ำหนักเห็ดภายหลังการคืนรูป}}{\text{น้ำหนักเห็ดแห้งเริ่มต้น}} \dots\dots\dots \text{สมการที่ (1)}$$

1.2.1.3 ค่าสีและองค์ประกอบทางเคมี

ทำการตรวจวัดค่าสีของตัวอย่างเห็ดทั้งในรูปแบบสด อบแห้ง และ
ภายหลังการคืนรูปตามข้อ 1.1.2.1 และทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน เกลืออาหาร และ
คาร์โบไฮเดรตของเห็ดสดและเห็ดที่ผ่านการทำแห้งเพื่อศึกษาการสูญเสียปริมาณสารอาหารบาง
ชนิด นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเห็ดสดและเห็ดภายหลังการคืนรูปตาม
วิธีการของข้อ 1.1.1.1 ถึง 1.1.1.7

1.2.2 การศึกษาผลการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งต่อองค์ประกอบทางเคมี
คุณลักษณะทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ
จากเห็ด

ทำการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดตามสูตรที่ได้รับคัดเลือกจากข้อ 1.1
และทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งของเห็ดทั้ง 3 ชนิด (เห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า)
ด้วยอัตราส่วนของเห็ดสด: เห็ดแห้งแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ดังนี้ 100:0 (CMD-1) (ชุดควบคุมเต็ม
เห็ดสดทั้ง 3 ชนิด ร้อยละ 100) 75:25 (CMD-2) 50:50 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100
(CMD-5) ทั้งนี้ทำการคืนรูปเห็ดแห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด
จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดไปวิเคราะห์ ดังนี้

1.2.2.1 การวิเคราะห์ทางเคมี (ตามข้อ 1.1.1)

1.2.2.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ (ตามข้อ 1.1.2)

1.2.2.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส (ตามข้อ 1.1.3)

ทำการคัดเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการทดแทน
เห็ดสดด้วยเห็ดแห้งที่ได้รับคะแนนความชอบด้านความชอบรวมสูงสุด เพื่อนำไปศึกษา
เปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1.1
ในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ การจัดทำข้อมูลตามฉลากโภชนาการ และการ ประเมินต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

2.1 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และการจัดทำข้อมูลตามฉลากโภชนาการ

ทำการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดตามสูตรที่ได้รับคัดเลือกจากข้อ 1.1 (เห็ด
สด) และ 1.2 (เห็ดสดที่ทดแทนด้วยเห็ดแห้ง) และส่งตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เพื่อทำการ
วิเคราะห์ ดังนี้ ค่าพลังงาน (AOAC, 2000) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ปริมาณโปรตีน
(AOAC, 2000) ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2000) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) วิตามิน
(วิตามินเอ วิตามินบีหนึ่ง และวิตามินบีสอง) (AOAC, 2000) แร่ธาตุ (โซเดียม แคลเซียม และ
เหล็ก) (AOAC, 2000) ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน (AOAC, 2000) จากนั้นจัดทำข้อมูลฉลาก
โภชนาการตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2553)

2.2 การประเมินต้นทุนการผลิต

ทำการประเมินต้นทุนการผลิตเฉพาะส่วนของวัตถุดิบและส่วนผสมสำหรับการ
ผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด และรายงานต้นทุนการผลิตส่วนของวัตถุดิบและส่วนผสม
สำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้าย เท่ากับ 10 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

3. การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษา

ทำการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดตามสูตรที่ได้รับคัดเลือกจากข้อ 1.1 (เห็ดสด) และ 1.2 (เห็ดสดที่ทดแทนด้วยเห็ดแห้ง) และบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน คือ 1) บรรจุธรรมดา และ 2) บรรจุแบบมีก๊าซไนโตรเจน (N_2) จากนั้นทำการปิดผนึกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 - 34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์ ทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ และนำไปวิเคราะห์ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.1.1 ปริมาณความชื้น (ตามข้อ 1.1.1.1)

3.1.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (ตามข้อ 1.1.1.7)

3.1.3 การออกซิเดชันของไขมันด้วยค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (Buege and Aust, 1978) (ภาคผนวก ข 8)

3.2 การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

3.2.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นับได้ (Total viable count) (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค 1)

3.2.1 จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (Total yeast and mold count) (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ค 2)

3.3 การวิเคราะห์ทางกายภาพ (ตามข้อ 1.1.2)

3.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (ตามข้อ 1.1.3)

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) และสำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Rang Test และ Paired t-test (Steel and Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS version 12.0)

ผลและวิจารณ์

1. สูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

1.1 องค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพและการยอมรับของอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และเห็ดนางฟ้าสดด้วยอัตราส่วนแตกต่างกัน 6 สูตร พบว่า โดยทั่วไปตัวอย่างอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทั้ง 6 สูตรมีโปรตีนร้อยละ 20.71 ถึง 23.62 ไขมันร้อยละ 0.21 ถึง 0.28 เกลือร้อยละ 6.62 ถึง 8.43 โยอาหารหยาบร้อยละ 9.96 ถึง 11.45 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 57.39 ถึง 62.49 โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และน้อยกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้อาหารว่างแบบอบแห้งควรมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 (Vliet *et al.*, 2009) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพทุกสูตรนั้นมีค่าคอเลสเตอรอลน้อยกว่า 0.3 (ภาคผนวก ก) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างที่มีสัดส่วนเห็ดนางฟ้าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป (CMS-3 CMS-4 CMS-5 และ CMS-6) นั้นมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น Chang and Miles (2004) รายงานว่า เห็ดนางฟ้ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 26.6 โดยน้ำหนักแห้ง ขณะที่เห็ดหอมมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 13.4 ถึง 17.5 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ เห็ดต่างชนิดกันยังมีชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนแตกต่างกันด้วย (Bano and Rajarathnam, 1982; Li and Chang, 1982) จากผลการทดลอง ความแตกต่างของปริมาณโปรตีนอาจเป็นผลมาจากชนิดของเห็ดแตกต่างกันมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างแต่ละสูตรมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่มีสัดส่วนของเห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็ดนางฟ้า มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนอย่างชัดเจน

สำหรับปริมาณไขมันนั้นทุกตัวอย่างมีปริมาณไขมันแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้สูตรที่มีการเติมเห็ดฟางร้อยละ 45 (CMS-2) มีปริมาณไขมันถึงร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักแห้ง โดยทั่วไปเห็ดมีปริมาณไขมันต่ำและส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) (Huang *et*

al., 1989) Kavishree *et al.* (2008) รายงานว่า กรดไขมันของเห็ดนางฟ้า ประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 27.1 กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบพันธะคู่เพียงพันธะเดียว (Monounsaturated Fatty acid) ร้อยละ 19 กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบพันธะคู่หลายพันธะ (Polyunsaturated Fatty acid) ร้อยละ 53.8 ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ C18:1 cis-9 C20:1 cis-11 C18:2 และ C18:3 (ตารางที่ 4) กรดไขมันไม่อิ่มตัวจากเห็ดนั้น เป็นสารต้นตอสำหรับการผลิต 1-octen-3-ol ซึ่งจัดเป็น เห็ดแอลกอฮอล์ (mushroom alcohol) (Grosch and Wurzenberger, 1984; Mau *et al.*, 1992; Tressl *et al.*, 1982; Wurzenberger and Grosch, 1982) ซึ่งสารประกอบ 1-octen-3-ol นั้น สามารถจับกับ C₈ ketone (1-octen-3-one, 3-octanone) จัดเป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ และมีผลต่อการเกิดกลิ่นเฉพาะตัวของเห็ด (Cronin and Ward, 1971; Maga, 1981; Pysalo, 1976) อย่างไรก็ตาม ปริมาณไขมันของตัวอย่างทุกชุดการทดลองนั้นน้อยกว่าร้อยละ 0.3 จากผลการทดลองอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสามารถจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำ (French *et al.*, 2001)

สูตรที่มีอัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง: เห็ดนางฟ้า เท่ากับ 50:45:5 (CMS-2) นั้นมีปริมาณเถ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$) ซึ่งแตกต่างจากสูตร CMS-1 ที่ผลิตจากเห็ดหอมสดเพียงชนิดเดียวและมีปริมาณเถ้าต่ำสุด ($p < 0.05$) เห็ดสดแต่ละชนิดมีปริมาณเถ้าแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น การเพาะปลูก แหล่งอาหาร การเก็บรักษา เป็นต้น (Vetter, 2007) Chang and Miles (2004) รายงานว่า ปริมาณเถ้าของเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า เท่ากับร้อยละ 3.7 ถึง 7.0 ร้อยละ 8.8 และร้อยละ 6.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณเถ้าของเห็ดที่แตกต่างกัน สามารถบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเห็ดได้ (Mattila *et al.*, 2002) โดยทั่วไป แร่ธาตุที่พบในเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า (ตารางที่ 6) คือ โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และฟอสฟอรัส (P) ซึ่งโพแทสเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบในเห็ดทั้งสามชนิดปริมาณสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็ดนางฟ้า อย่างไรก็ตาม เห็ดหอมนั้นมีปริมาณแร่ธาตุทั้ง 5 ชนิดน้อยกว่าเห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า ขณะที่เห็ดฟางมีปริมาณโซเดียม และแคลเซียมสูงกว่าเห็ดหอม และเห็ดนางฟ้าอย่างชัดเจน (Kurtzman, 1997; Ukoima *et al.*, 2009) จากผลการทดลอง ปริมาณเถ้าของสูตร CMS-2 มากกว่าสูตรอื่นๆ อาจเป็นผลมาจากอัตราส่วนของเห็ดฟางที่มีในสูตร CMS-2 สูงสุด

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดมีกากใย (Crude fiber) เพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนเห็ดนางฟ้าสดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12) สูตรที่มีการเติมเห็ดนางฟ้าสดสูงสุดร้อยละ 45

(CMS-6) นั้นมีปริมาณกากใยมากที่สุด ($p < 0.05$) โดยทั่วไปเห็ดจัดเป็นแหล่งอาหารที่มีใยอาหารปริมาณมาก Chang and Miles (2004) รายงานว่า เห็ดนางฟ้ามีปริมาณกากใยเท่ากับ ร้อยละ 17.4 โดยน้ำหนักแห้ง ขณะที่เห็ดหอมและเห็ดฟางมีปริมาณกากใยร้อยละ 17.5 และ 9.3 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ กากใยของเห็ดประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ เช่น ไคติน เบต้า-กลูแคน และเฮมิ-เซลลูโลส (เช่น แมนแนน ไสแลน และกาแลกแตน) โพลีแซคคาไรด์ที่พบในเห็ดอาจอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 90 โดยน้ำหนักแห้ง (Wasser, 2002) ซึ่งเห็ดหอมมีปริมาณไคตินอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 9 โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ไคตินจากเห็ดจัดเป็นพรีไบโอติกที่มีผลดีต่อสุขภาพผู้บริโภค (Jiang *et al.*, 2010)

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (ตารางที่ 12) ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพสูตรที่มีการเติมเห็ดหอมสดร้อยละ 100 (CMS-1) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด (ร้อยละ 62.5) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีการลดปริมาณเห็ดหอมสดและเพิ่มปริมาณเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้านั้นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง ทั้งนี้สูตร CMS-2 CMS-3 CMS-4 CMS-5 และ CMS-6 นั้นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันเล็กน้อยในทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตของทุกสูตรที่กล่าวมาข้างต้นนั้นประมาณร้อยละ 57 โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม สูตร CMS-1 ซึ่งผลิตจากเห็ดหอมเพียงชนิดเดียวมีคาร์โบไฮเดรตถึงร้อยละ 62.49 โดยน้ำหนักแห้ง และมากกว่าสูตรอื่นๆ ($p < 0.05$) Chang and Miles (2004) รายงานว่า คาร์โบไฮเดรตจากเห็ดนั้นมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลเพนโตส น้ำตาลเฮกโซส เมทิลเพนโตส (methylpentose) และน้ำตาลไดแซคคาไรด์ น้ำตาลอะมิโน (amino sugar) และน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) นอกจากนี้ Aida *et al.* (2009) รายงานว่า เห็ดมีโอลิโกแซคคาไรด์หลายชนิด ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันของโมโนแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ เช่น ฟรุคโตส กาแลกโตส กลูโคส และ/หรือไซโลส ซึ่งโอลิโก-แซคคาไรด์เหล่านี้มีความสำคัญต่อภาวะโภชนาการ (Quigley *et al.*, 1999; Roberfroid, 2000) นอกจากนี้ระดับความยาวของสายโมโนแซคคาไรด์ของโอลิโกแซคคาไรด์นั้นยังมีผลต่อความหวานด้วย

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด
(กรัม/100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)

สูตร*	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	กากใย	คาร์โบไฮเดรต
CMS-1	6.36 ^a	20.71 ^c	0.21 ^{bc}	6.62 ^e	9.96 ^f	62.49 ^a
CMS-2	6.50 ^a	23.32 ^b	0.28 ^a	8.43 ^a	10.42 ^e	57.54 ^c
CMS-3	6.48 ^a	23.42 ^{ab}	0.22 ^{abc}	7.77 ^b	10.63 ^d	57.95 ^b
CMS-4	6.45 ^a	23.49 ^{ab}	0.27 ^{ab}	7.75 ^b	10.81 ^c	57.61 ^{bc}
CMS-5	6.41 ^a	23.55 ^a	0.21 ^c	7.20 ^d	11.12 ^b	57.91 ^b
CMS-6	6.47 ^a	23.62 ^a	0.21 ^{bc}	7.37 ^c	11.45 ^a	57.39 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-f} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

*อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0 (CMS-1) 50:45:5 (CMS-2) 50:35:15 (CMS-3) 50:25:25 (CMS-4) 50:15:35 (CMS-5) และ 50:5:45 (CMS-6)

คุณลักษณะทางกายภาพ

ค่าสี

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดมีน้ำตาล ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพสูตรที่มีการเติมเห็ดหอมสดร้อยละ 100 (CMS-1) มีค่า L^* a^* และ b^* ต่ำสุด ($p < 0.05$) เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้ามีผลทำให้ค่า L^* a^* และ b^* เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13) ค่า b^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มของสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ (Andrade *et al.*, 2010; Nath and Chattopadhyay, 2007) จากผลการทดลองนั้นบ่งบอกถึงผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการผสมเห็ดทั้งสามชนิดด้วยกัน มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความเข้มของสีน้ำตาลลดลง (สว่างขึ้น) ทั้งนี้การเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของสีธรรมชาติของเห็ดสดเริ่มต้น ซึ่งความแตกต่างของชนิดและสายพันธุ์เห็ดนั้น สีของเห็ดสดแตกต่างกัน นอกจากนี้อุณหภูมิและออกซิเจนระหว่างกระบวนการเตรียมและกระบวนการอบแห้งอาจมีผลทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบอาศัยเอนไซม์และไม่

อาศัยเอนไซม์ กระบวนการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์นั้นเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในสภาวะที่มีออกซิเจน (Andrade *et al.*, 2010; Mohapatra *et al.*, 2008) Choi *et al.* (2006) รายงานว่า เห็ดหอมมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลประมาณ 29 มิลลิกรัมของ gallic acid equivalents (GEA)/100 กรัม ส่วนเห็ดนางฟ้ามีปริมาณของสารประกอบฟีนอลอยู่ในช่วง 7.4 ถึง 14.3 มิลลิกรัม/กรัม (Puttaraju *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานสารประกอบฟีนอลในเห็ดฟาง นอกจากนี้การให้ความร้อนระหว่างการอบแห้งสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้ เนื่องจากเห็ดและส่วนผสมอื่นๆ เป็นแหล่งของสารตั้งต้นที่มีหมู่ของปฏิกิริยาดังกล่าว เช่น น้ำตาลรีดิวซ์ หมู่เอมีน และหมู่คาร์บอนิล (Lee, 1983)

ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ผลิตจากเห็ดหอมสดร้อยละ 100 (CMS-1) มีความแข็งและความกรอบสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ($p < 0.05$) การผสมเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้าสดด้วยอัตราส่วนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแข็งและความกรอบลดลง ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-2 CMS-3 และ CMS-4 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการเติมเห็ดฟางสดร้อยละ 45 35 และ 25 นั้นมีค่าความแข็งและความกรอบไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองค่าดังกล่าวนี้ต่ำกว่าสูตรอื่น ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมเห็ดนางฟ้าสดเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 และร้อยละ 45 ค่าความแข็งและค่าความกรอบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12)

ลักษณะความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะโครงสร้างของวัตถุดิบ และปริมาณน้ำในอาหาร (Roudaut *et al.*, 2002; Mazumder *et al.*, 2007) ซึ่งหากอาหารมีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีที่ลดลง อาหารจะมีความกรอบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนและใยอาหารมีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นทั้งปริมาณน้ำในอาหาร โปรตีน และใยอาหารมีส่วนต่อการเกิดความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง จากผลการทดลองผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการผสมเห็ดทั้งสามชนิดนั้นมีความแข็งและความกรอบลดลง เมื่อทำการผสมเห็ดฟางสดและเห็ดนางฟ้าสดเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ปริมาณของโปรตีนและใยอาหารหยาบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12) อย่างไรก็ตาม เนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลงแต่มีความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความแข็งแรงของโครงสร้างเห็ดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ภายหลังกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 โครงสร้างของเห็ดมีความแข็งแรงลดลงและมี
แนวโน้มเกิดความกรอบร่วนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 13 ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

สูตร [†]	ค่าสี			ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส	
	L*	a*	b*	ความแข็ง (N)	ความกรอบ
CMS-1	27.18 ^b	3.81 ^c	6.68 ^d	4.47 ^a	6.07 ^a
CMS-2	30.99 ^a	5.16 ^{ab}	11.88 ^{ab}	2.15 ^c	3.73 ^{bcd}
CMS-3	30.85 ^a	5.13 ^{ab}	11.22 ^{bc}	1.85 ^c	3.13 ^{cd}
CMS-4	31.00 ^a	4.71 ^b	10.60 ^c	1.79 ^c	2.93 ^d
CMS-5	30.87 ^a	5.02 ^{ab}	10.95 ^{bc}	2.43 ^{bc}	4.53 ^b
CMS-6	31.47 ^a	5.55 ^a	12.51 ^a	2.82 ^b	4.00 ^{bc}

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมี
นัยสำคัญ ($p < 0.05$)

[†]อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0 (CMS-1) 50:45:5 (CMS-2)
50:35:15 (CMS-3) 50:25:25 (CMS-4) 50:15:35 (CMS-5) และ 50:5:45 (CMS-6)

การยอมรับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 14 แสดงคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ กลิ่นรส
รสชาติ และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และ
เห็ดนางฟ้าสดด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน จากผลการทดลองผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ
จากเห็ดทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติไม่แตกต่างกัน
($p > 0.05$) และอยู่ในระดับชอบปานกลาง ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ผลิตจาก
เห็ดหอมสดร้อยละ 100 (CMS-1) ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมา
จากกลิ่นเฉพาะตัวของเห็ดหอม แต่เมื่อผลิตด้วยการเติมเห็ดหอมสดเพียงร้อยละ 50 และเติมเห็ด
ฟางสด และเห็ดนางฟ้าสดแต่ละชนิดร้อยละ 25 (CMS-4) ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบด้าน
กลิ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากผลการทดสอบการยอมรับ พบว่า กลิ่นของผลิตภัณฑ์นั้นมีผลกระทบมา

จากกลิ่นเฉพาะตัวของเห็ดหอมสด เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 CMS-5 และ CMS-6 นั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามทั้ง 3 สูตรดังกล่าวมีค่าความแข็งและความกรอบน้อยกว่าสูตร CMS-1 (ตารางที่ 13) จากผลการทดลองความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์เช่นกัน สำหรับคะแนนความชอบรวม ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-1 CMS-3 CMS-4 CMS-5 และ CMS-6 นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้น คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น และเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ส่งผลกระทบบต่อคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 เป็นสูตรที่ได้รับการคัดเลือกเพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ และความชอบรวมสูงกว่าสูตร CMS-1 CMS-2 และ CMS-3 นอกจากนี้ยังเป็นสูตรที่ได้คะแนนความชอบด้านความกรอบโดยไม่มีข้อคิดเห็นจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสว่ามีความแข็งร่วมกับความกรอบดังสูตร CMS-5 และ CMS-6

ตารางที่ 14 คะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

สูตร*	คุณลักษณะ						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
CMS-1	7.27 ^a	7.07 ^a	6.70 ^c	6.57 ^{cd}	6.90 ^a	6.83 ^a	6.83 ^{ab}
CMS-2	7.60 ^a	7.60 ^a	6.97 ^{abc}	6.27 ^d	6.93 ^a	6.87 ^a	6.37 ^b
CMS-3	7.10 ^a	7.10 ^a	6.90 ^{bc}	6.83 ^{bcd}	7.07 ^a	6.97 ^a	7.13 ^a
CMS-4	7.13 ^a	7.13 ^a	7.40 ^a	7.70 ^a	7.27 ^a	7.17 ^a	7.40 ^a
CMS-5	7.27 ^a	7.27 ^a	7.03 ^{abc}	7.40 ^{ab}	7.17 ^a	7.10 ^a	7.03 ^a
CMS-6	7.10 ^a	7.10 ^a	7.37 ^{ab}	7.33 ^{abc}	7.03 ^a	6.93 ^a	6.90 ^{ab}

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

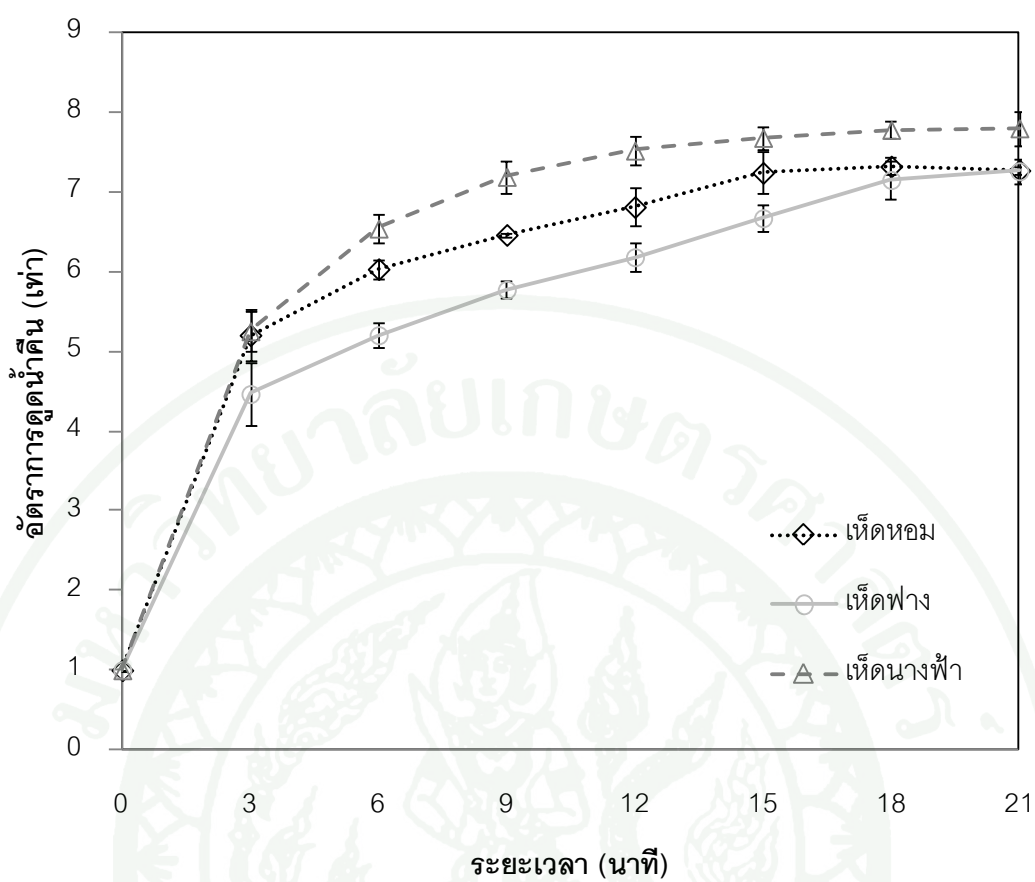
*อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0 (CMS-1) 50:45:5 (CMS-2) 50:35:15 (CMS-3) 50:25:25 (CMS-4) 50:15:35 (CMS-5) และ 50:5:45 (CMS-6)

1.2 ผลของการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดอบแห้งต่อสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

1.2.1 อัตราการดูดน้ำคืน องค์ประกอบทางเคมี และค่าสีของเห็ดที่ผ่านการทำแห้ง

อัตราการดูดน้ำคืน

เมื่อนำเห็ดอบแห้งทั้ง 3 ชนิดมาทำการดูดน้ำคืน พบว่า ระยะเวลาการดูดน้ำคืนของเห็ดหอมแห้ง เห็ดฟางแห้ง และเห็ดนางฟ้าแห้ง จนกระทั่งน้ำหนักเห็ดที่ดูดน้ำคืนไม่เปลี่ยนแปลงนั้น เท่ากับ 15 นาที 18 นาที และ 12 นาที ตามลำดับ เห็ดนางฟ้าอบแห้งสามารถดูดน้ำคืนได้เร็วที่สุด รองลงมาคือเห็ดหอม และเห็ดฟาง ตามลำดับ สำหรับอัตราการดูดน้ำคืนนั้นแบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่เห็ดแห้งดูดคืนได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเห็ดแห้งเริ่มต้น เห็ดนางฟ้าอบแห้งมีอัตราการดูดน้ำคืนมากที่สุด (7.81 เท่า) เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดหอมอบแห้ง (7.28 เท่า) และเห็ดฟางอบแห้ง (7.27 เท่า) (ภาพที่ 10) อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นของเห็ดอบแห้งทั้งสามชนิดภายหลังการดูดน้ำคืนแตกต่างกัน ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เห็ดอบแห้งทั้งสามชนิดที่ผ่านการดูดน้ำคืนแล้วมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสดเริ่มต้น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 15) เห็ดนางฟ้าอบแห้งที่ผ่านการคืนรูปมีปริมาณความชื้นสูงสุด รองลงมาได้แก่ เห็ดหอม และเห็ดฟาง ตามลำดับ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับอัตราการดูดน้ำคืนของเห็ดทั้งสามชนิด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากระหว่างกระบวนการอบแห้ง ความร้อนมีผลทำให้โครงสร้างและผนังเซลล์ของเห็ดถูกทำลาย เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์รวมทั้งการยุบตัวของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังทำให้โครงสร้างส่วนรูพรุนของเห็ดเกิดการยุบตัวและขยายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งผลกระทบต่อส่วนของโพลีแซคคาไรด์ เช่น เพคติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (Chang *et al.*, 2006; Femenia *et al.*, 1999) จนทำให้เห็ดอบแห้งไม่สามารถจับกับน้ำ (water imbibitions) ได้ดีและสมบูรณ์ระหว่างการดูดน้ำคืน (Garcia-Segovia *et al.*, 2011; Krokida and Marinos-Kouris, 2003) จากผลการทดลอง การอบแห้งเห็ดนั้น มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความสามารถการดูดน้ำคืน และส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นของเห็ดที่ผ่านการดูดน้ำคืนน้อยกว่าเห็ดสดเริ่มต้น



ภาพที่ 10 อัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio) ของเห็ดหอมแห้ง เห็ดฟางแห้ง และเห็ดนางฟ้าแห้ง

ตารางที่ 15 ปริมาณความชื้นของเห็ดสด และเห็ดแห้งภายหลังการดูดน้ำคืน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักเห็ด)

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น	
	เห็ดสด	เห็ดแห้งภายหลังการดูดน้ำคืน
เห็ดหอม	90.50 ^{A b}	84.32 ^{B b}
เห็ดฟาง	89.14 ^{A c}	81.63 ^{B c}
เห็ดนางฟ้า	91.19 ^{A a}	86.05 ^{B a}

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{A-B} ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันและตัวอักษร ^{a-c} ที่แตกต่างกันคอลัมน์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

องค์ประกอบทางเคมี

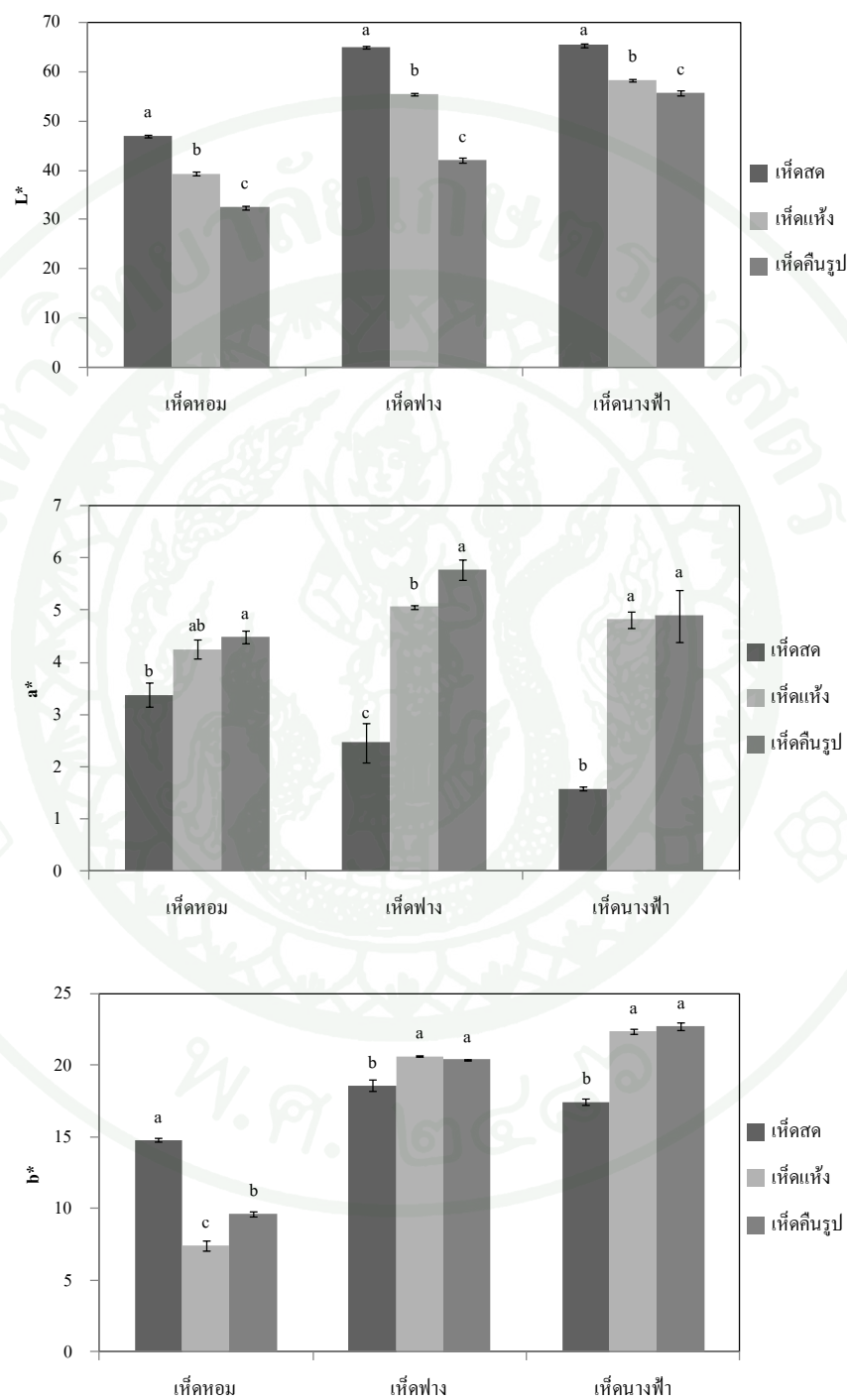
เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเห็ดทั้งสามชนิดในรูปแบบสด และแห้ง พบว่า การอบแห้งไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า กากใย และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 16) อย่างไรก็ตาม เห็ดหอมมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้า ($p < 0.05$) ขณะที่เห็ดฟางและเห็ดนางฟ้ามีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ส่วนปริมาณไขมันของเห็ดหอมทั้งในรูปแบบสดและแห้งนั้นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และมีปริมาณมากกว่าเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้า ($p < 0.05$) ซึ่งไขมันจากเห็ดหอมนั้นมียับยั้งการเกิดกลีเซอรอล (Chen *et al.*, 1986) เห็ดฟางมีปริมาณเถ้ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ เห็ดหอมและเห็ดนางฟ้า ตามลำดับ ทั้งในรูปแบบสดและแห้ง ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เห็ดทั้งสามชนิดมีปริมาณกากใยแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยเห็ดนางฟ้ามีปริมาณกากใยสูงสุด รองลงมาได้แก่ เห็ดฟาง และเห็ดหอม ตามลำดับ ส่วนคาร์โบไฮเดรตของเห็ดทั้งสามชนิดนั้น พบว่า เห็ดหอมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนเห็ดฟางและเห็ดนางฟ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากผลการทดลองนั้น การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเป็นวิธีทั่วไปสำหรับการอบแห้งวัตถุดิบอาหารนั้นไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดทั้งสามชนิด (เห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า) มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โปรตีน ไขมัน เถ้า และกากใย

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า ในรูปแบบสดและแห้ง (กรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

ตัวอย่าง	โปรตีน		ไขมัน		เถ้า		กากใย		คาร์โบไฮเดรต	
	เห็ดสด	เห็ดอบแห้ง	เห็ดสด	เห็ดอบแห้ง	เห็ดสด	เห็ดอบแห้ง	เห็ดสด	เห็ดอบแห้ง	เห็ดสด	เห็ดอบแห้ง
เห็ดหอม	18.90 ^{Ab}	18.72 ^{Ab}	5.69 ^{Aa}	5.58 ^{Aa}	5.79 ^{Ac}	5.81 ^{Ac}	9.00 ^{Ac}	8.71 ^{Ac}	69.61 ^{Aa}	69.91 ^{Aa}
เห็ดฟาง	28.28 ^{Aa}	28.82 ^{Aa}	2.12 ^{Ab}	2.52 ^{Ab}	10.12 ^{Aa}	9.84 ^{Aa}	10.77 ^{Ab}	10.50 ^{Ab}	56.14 ^{Ab}	58.82 ^{Ab}
เห็ดนางฟ้า	28.15 ^{Aa}	29.34 ^{Aa}	2.31 ^{Ab}	2.29 ^{Ab}	7.87 ^{Ab}	7.89 ^{Ab}	14.18 ^{Aa}	14.56 ^{Aa}	61.72 ^{Ab}	60.47 ^{Ab}

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

เดือดนั้นมึผลกระทบต่อค่าสีท้ง L^* a^* และ b^* ซึ่อาจมึผลต่อสีเรืมนต้นของเห็ดสําหรบการนําไปใช้เป็นวัตถุดิบสําหรบการผลิตอาหารว่างเพือสุขภาพต่อไป



ภาพที่ 11 ค่าสี L^* a^* และ b^* ของเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้าในรูปสด (■) แห้ง (■) และเห็ดภายหลังการดุน้ำคั้น (■)

1.2.2 ผลการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งต่อ องค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ เห็ดสด: เห็ดแห้ง เท่ากับ 100:0 (CMD-1) 75:25 (CMD-2) 50:50 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100 (CMD-5) สำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดตามสูตร CMS-4 (อัตราส่วนน้ำหนักของเห็ดหอม: เห็ดฟาง: เห็ดนางฟ้า เท่ากับ 50: 25: 25) ซึ่งได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1.1 นั้น พบว่าสูตร CMD-1 และ CMD-2 มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้นการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งเพียงร้อยละ 25 (CMD-2) นั้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งตั้งแต่ร้อยละ 50 75 และ 100 มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดมีปริมาณความชื้นลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเห็ดแห้งที่ผ่านการคั่วรูปมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสด (ตารางที่ 15) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนด้วยเห็ดแห้งมีปริมาณความชื้นลดลงด้วย อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทุกสูตรมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับผลการทดลองในข้อ 1.1 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนด้วยเห็ดแห้งทุกสูตรมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้นการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งที่ผ่านการคั่วรูปแล้วนั้นไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบดังกล่าว สำหรับปริมาณกากใยนั้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งแล้วพบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดมีปริมาณกากใยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งที่ผ่านการคั่วรูป ซึ่งเห็ดที่ผ่านการคั่วรูปมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสด นั่นคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) มากกว่าเห็ดสด จึงอาจทำให้มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากผลการทดลอง การทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดอบแห้งสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพนั้น มีผลกระทบต่อปริมาณความชื้นอย่างเด่นชัด เนื่องจากเห็ดสดและเห็ดแห้งที่ผ่านการคั่วรูปแล้วมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อค่าเพิ่มขึ้นของปริมาณกากใยเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นและปริมาณกากใยของผลิตภัณฑ์ยังคงใกล้เคียงกับผลการทดลองจากข้อ 1.1 (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

สูตร*	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	กากใย	คาร์โบไฮเดรต
CMD-1	6.36 ^a	24.39 ^a	0.30 ^a	8.25 ^a	11.52 ^d	67.06 ^a
CMD-2	6.40 ^a	24.43 ^a	0.30 ^a	8.26 ^a	11.58 ^c	67.01 ^a
CMD-3	6.15 ^b	24.37 ^a	0.30 ^a	8.24 ^a	11.62 ^{bc}	67.09 ^a
CMD-4	6.16 ^b	24.40 ^a	0.30 ^a	8.26 ^a	11.66 ^{ab}	67.04 ^a
CMD-5	6.17 ^b	24.43 ^a	0.30 ^a	8.26 ^a	11.70 ^a	67.02 ^a

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

*อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0 (CMD-1) 75:25 (CMD-2) 50:50 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100 (CMD-5)

คุณลักษณะทางกายภาพ

ค่าสี

ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดอบแห้งปริมาณแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 18 เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งเพิ่มขึ้น พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพนั้นมีค่า L^* ลดลง ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากค่า L^* เริ่มต้นของเห็ดอบแห้งที่ผ่านการคั่วแล้วนั้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดสดแต่ละชนิด (ภาพที่ 11) อย่างไรก็ตาม ทุกสูตรนั้นมีค่า a^* ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับค่า b^* สูตรที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง (CMD-2 ถึง CMD-5) นั้น มีค่า b^* ต่ำกว่าสูตรที่มีการเติมเห็ดสดร้อยละ 100 (CMD-1) ($p < 0.05$) แต่ทั้ง 4 สูตร (CMD-2 ถึง CMD-5) มีค่า b^* ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากผลการทดลอง การทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งที่ระดับเพียงร้อยละ 25 ของน้ำหนักเห็ดสด มีผลทำให้ค่า b^* ลดลงถึง 1.9 เท่า แม้ว่าเห็ดแห้งที่ผ่านการคั่วแล้วนำมาทดแทนเห็ดสดนั้นจะมีค่า b^* สูงกว่าเห็ดสด (ภาพที่ 11) ซึ่งค่า b^* สามารถบ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นต้องอาศัยสารตั้งต้น ได้แก่ น้ำตาลรีดิวซ์ กรดอะ

มิ-โน และหมู่คาร์บอนิลจากสารประกอบต่างๆ (นิธิยา, 2545; Labuza and Baisier, 1992; van Boekel, 1998) ดังนั้น ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการทดแทนด้วยเห็ดแห้งนั้นมีค่า b^* ลดลง อาจเป็นผลมาจากกระบวนการทำแห้งและการคืนรูปเห็ดแห้งก่อนนำมาทำผลิตภัณฑ์นั้นอาจมีผลทำให้ปริมาณสารตั้งต้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นลดลง

ลักษณะเนื้อสัมผัส

ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ผลิตจากเห็ดสดร้อยละ 100 (CMD-1) และสูตรที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดอบแห้งสูตร CMD-2 และ CMD-3 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 75 (CMD-4) และร้อยละ 100 (CMD-5) ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ($p < 0.05$) (ตารางที่ 18) สำหรับค่าความกรอบนั้น สูตรที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งปริมาณเพิ่มขึ้น มีค่าความกรอบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นและการเพิ่มขึ้นของกากใย (ตารางที่ 17) จากผลการทดลองข้อ 1.1 ความแตกต่างของค่าความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์นั้น มีผลกระทบมาจากองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เช่น โปรตีน กากใย แม้ว่าปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดนั้น เห็ดแห้งที่ผ่านการคืนรูปด้วยน้ำเดือดมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสด (ตารางที่ 15) จึงอาจมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (โปรตีน ไขมัน และกากใย) มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อทำการชั่งน้ำหนักเห็ดเท่ากันระหว่างเห็ดสดและเห็ดแห้ง นอกจากนี้ ขนาดและสภาพธรรมชาติโครงสร้างกากใยของเห็ดอาจมีผลกระทบมาจากกระบวนการอบแห้งเห็ด การคืนรูปรวมทั้งการนำเห็ดเข้าอบด้วยความร้อนอีกครั้งระหว่างการผลิต จากผลการทดลอง การทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งตั้งแต่ร้อยละ 75 ขึ้นไป มีผลกระทบต่อค่าความแข็งและค่าความกรอบเพิ่มขึ้นซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของปริมาณกากใย

ตารางที่ 18 ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง

สูตร*	ค่าสี			ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส	
	L*	a*	b*	ความแข็ง (N)	ความกรอบ
CMD-1	33.11 ^a	5.65 ^a	8.88 ^a	1.98 ^b	3.67 ^{bc}
CMD-2	29.73 ^b	5.45 ^a	4.65 ^b	1.90 ^b	3.40 ^c
CMD-3	28.50 ^c	5.42 ^a	4.55 ^b	2.09 ^b	3.93 ^{bc}
CMD-4	26.57 ^d	5.29 ^a	4.54 ^b	3.08 ^a	4.60 ^{ab}
CMD-5	25.49 ^e	5.41 ^a	4.49 ^b	3.11 ^a	5.27 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-e} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

*อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0 (CMD-1) 75:25 (CMD-2) 50:50 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100 (CMD-5)

การยอมรับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 19 แสดงคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดอบแห้งปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMD-1 ซึ่งผลิตจากเห็ดสดร้อยละ 100 นั้น คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ และกลิ่นรส ของสูตร CMD-2 และ CMD-3 ไม่แตกต่างจากสูตร CMD-1 ($p > 0.05$) เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 75 (CMD-4) และร้อยละ 100 (CMD-5) คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ และกลิ่นรสลดลง ($p < 0.05$) จากการสังเกตลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สูตร CMD-4 และ CMD-5 นั้น พบว่า พื้นผิวมีความขรุขระและมีความแห้ง (ภาคผนวก ข) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร มีปริมาณความชื้นต่ำและการมีปริมาณกากใยมากกว่าสูตรอื่น (ตารางที่ 17) เห็ดที่ผ่านการอบแห้งแล้วนำมาคั้นรูปนั้น มีความสามารถในการจับกับน้ำลดลง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพโดยผ่านกระบวนการอบแห้งอีกครั้ง จึงทำให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างเด่นชัด กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อลักษณะปรากฏของบริเวณพื้นผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์

การอบแห้งส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน อาจมีผลทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สุดท้ายแตกต่างกัน เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($p < 0.05$) สูตร CMD-3 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงกว่าสูตร CMD-4 และ CMD-5 ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการอบแห้งและการดูดน้ำคืนมีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบที่มีบทบาทต่อการเกิดรสชาติที่ดีของเห็ด เช่น กรดอะมิโนกลูตามิก และกรดอะมิโนแอสพาร์ติก รวมทั้งสารตัวอื่นด้วย เช่น นิวคลีโอไทด์ (Kim *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2001) อีกทั้งยังอาจมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จนกระทั่งเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ ความแตกต่างของคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น ค่าสี ความแข็ง และความกรอบของผลิตภัณฑ์ อาจเป็นผลทำให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง (Nijhuis *et al.*, 1998; Leeratanarak *et al.*, 2006; Pimpaporn *et al.*, 2007) ส่งผลให้คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบต่ำ จากผลการทดลอง ผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ซึ่งมีการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งร้อยละ 25 ได้รับคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกับสูตร CMD-1 ซึ่งผลิตจากเห็ดสดร้อยละ 100 จึงได้รับคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 19 คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง

สูตร*	คุณลักษณะ						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
CMD-1	7.53 ^a	7.60 ^a	7.40 ^a	8.27 ^a	7.93 ^a	7.73 ^a	8.13 ^a
CMD-2	7.40 ^a	7.47 ^a	7.33 ^a	8.07 ^{ab}	7.40 ^a	7.33 ^{ab}	7.60 ^a
CMD-3	7.27 ^a	7.40 ^a	7.20 ^{ab}	7.93 ^{abc}	7.40 ^a	6.93 ^b	6.93 ^b
CMD-4	6.20 ^b	6.07 ^b	6.87 ^{bc}	7.53 ^c	6.60 ^b	6.27 ^c	6.33 ^{bc}
CMD-5	6.67 ^{ab}	6.07 ^b	6.53 ^c	7.73 ^{bc}	6.00 ^c	5.73 ^c	5.73 ^c

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

*อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0 (CMD-1) 75:25 (CMD-2) 50:50 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100 (CMD-5)

2. คุณค่าทางโภชนาการ และการประเมินต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

2.1 คุณค่าทางโภชนาการ และจัดทำข้อมูลตามฉลากโภชนาการ

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัมบริโภคของ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 โดยผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และ CMD-2 มีปริมาณพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 355.77 กิโลแคลอรี และ 352.02 กิโลแคลอรี ตามลำดับ ซึ่งปริมาณพลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร ส่วนใหญ่มาจากองค์ประกอบที่เป็น คาร์โบไฮเดรต (265.20 กิโลแคลอรี และ 265.68 กิโลแคลอรี) รองลงมาคือโปรตีน (71.04 กิโลแคลอรี และ 70.32 กิโลแคลอรี) และมีพลังงานจากไขมันเพียง 19.53 กิโลแคลอรี และ 16.02 กิโลแคลอรี ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 17.76 และ 17.58 กรัม มีปริมาณใยอาหาร 25.51 และ 23.94 กรัม มีปริมาณไขมันทั้งหมดเท่ากับ 2.17 และ 1.78 กรัม โดยมีไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 0.34 และ 0.28 กรัมตามลำดับ และตรวจไม่พบคอเลสเตอรอลในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และ ผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 มีวิตามินบี 1 เท่ากับ 0.112 และ 0.39 มิลลิกรัม และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.034 และ 0.28 มิลลิกรัมตามลำดับ ส่วนปริมาณแร่ธาตุที่พบในผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และ ผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ได้แก่ โซเดียมเท่ากับ 1407.56 และ 1098.99 มิลลิกรัม แคลเซียมเท่ากับ 36.59 และ 27.53 มิลลิกรัม และเหล็กเท่ากับ 5.68 และ 5.94 มิลลิกรัมตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพเห็ด สูตร CMS-4 และ CMD-2 นั้นแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรจัดเป็นแหล่งของใยอาหารและ โปรตีน อีกทั้งยังมีปริมาณไขมันและโซเดียมน้อย ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทั้งนี้คุณค่า ทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างทั้งสองสูตรอาจเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์อาหารว่างทั้ง สองสูตรนั้นผลิตจากเห็ดหอม เห็ดฟาง และเห็ดนางฟ้า Manzi *et al.* (1998) รายงานว่า โดยทั่วไป เห็ดที่สามารถบริโภคได้มีผลต่อการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากเห็ดเป็นอาหารที่มี พลังงานต่ำ และมีปริมาณโซเดียม ไขมัน และคอเลสเตอรอลน้อย ขณะที่โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใยอาหารของเห็ด ซึ่งมีผลต่อการป้องกันหรือบำบัดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังของผู้บริโภคได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง เป็นต้น ((Rostagno *et al.*, 2009; Tong *et al.*, 2009)

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (10 กรัม) ของผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ซึ่งแสดงเป็นร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) (กระทรวงสาธารณสุข, 2553) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี แสดงดังภาพที่ 12 และ 13 ตามลำดับ โดยคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (10 กรัม) ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร มีปริมาณพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 35 กิโลแคลอรี และไม่มีพลังงานจากไขมัน ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 มีปริมาณโปรตีนต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับ 2 กรัม มีใยอาหารต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับร้อยละ 12 และร้อยละ 8 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) และมีปริมาณโซเดียมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเพียงร้อยละ 6 และร้อยละ 5 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI)

ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีพลังงานต่ำ ปราศจากไขมันและคอเลสเตอรอล และมีโซเดียมต่ำ โดยจากการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการต่อหน่วยการบริโภค 10 กรัม กับผลิตภัณฑ์อาหารวางในท้องตลาดที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น สหรัยอบกรอบทางการค้า (มีใยอาหารประมาณ 1 ถึง 1.25 กรัมต่อ 10 กรัม มีปริมาณโซเดียมประมาณ 190 ถึง 210 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัม) พบว่า ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 นั้น มีปริมาณใยอาหารมากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารวางในท้องตลาด ซึ่งใยอาหารมีประโยชน์ต่อการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค เช่น ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรยังมีปริมาณโซเดียมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อาหารวางในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม ปริมาณโซเดียมที่ควรได้รับในหนึ่งวันตามปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) จะได้รับจากการบริโภคอาหารมื้อหลักเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงควรบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารวางในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการได้รับโซเดียมมากเกินไป

ตารางที่ 20 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดต่อ 100 กรัม
บริโภค

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัมบริโภค*	CMS-4	CMD-2
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	355.77	352.02
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	19.53	16.02
พลังงานจากโปรตีน (กิโลแคลอรี)	71.04	70.32
พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (กิโลแคลอรี)	265.20	265.68
ความชื้น (กรัม)	5.77	4.95
โปรตีน (กรัม)	17.76	17.58
เถ้า (กรัม)	8.00	9.27
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	2.17	1.78
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	66.30	66.42
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม)	33.06	32.78
ใยอาหาร (กรัม)	25.51	23.94
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	0.34	0.28
โคเลสเตอรอล (กรัม)	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.112	0.39
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.034	0.28
โซเดียม (มิลลิกรัม)	1407.56	1098.99
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	36.59	27.53
เหล็ก (มิลลิกรัม)	5.68	5.94

*ทดสอบโดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์, ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



ฉลากโภชนาการ		คำขอบริการที่ 26-55/0206		
ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร		พ.ชจ. 0285/55		
ตัวอย่าง : เห็ดแผ่นอบกรอบ				
น้ำหนักสุทธิ : 10 กรัม				
ข้อมูลโภชนาการ				
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 ถูง (10 กรัม)				
จำนวนหน่วยบริโภคต่อถูง : 1				
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค				
พลังงานทั้งหมด 35 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 0 กิโลแคลอรี)				
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน*				
ไขมันทั้งหมด	0	ก.	0 %	
ไขมันอิ่มตัว	0	ก.	0 %	
โคเลสเตอรอล	0	มก.	0 %	
โปรตีน	2	ก.		
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	7	ก.	2 %	
ใยอาหาร	3	ก.	12 %	
น้ำตาล	3	ก.		
โซเดียม	140	มก.	6 %	
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน*				
วิตามินเอ	0	%	วิตามินบี 1	0 %
วิตามินบี 2	0	%	แคลเซียม	0 %
เหล็ก	4	%		
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี				
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้				
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า	65	ก.	
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า	20	ก.	
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า	300	มก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด		300	ก.	
ใยอาหาร		25	ก.	
โซเดียม	น้อยกว่า	2,400	มก.	
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม : ไขมัน = 9 ; โปรตีน = 4 ; คาร์โบไฮเดรต = 4				

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์/สอบเทียบ นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น
การนำรายงานผล/ใบรับรองนี้ไปโฆษณาและการคัดลอกหรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากศูนย์ฯ การ วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

FM.BL.MTC.001 Rev.2

ภาพที่ 12 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4



ฉลากโภชนาการ คำขอใบการที่ 26-55/0312
ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร พ.ชอ. 0526/55
ตัวอย่าง : เห็ดแผ่นอบกรอบ(เห็ดแห้ง 25 %)
น้ำหนักสุทธิ : 10 กรัม

ข้อมูลโภชนาการ				
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 ถุง (10 กรัม)				
จำนวนหน่วยบริโภคต่อถุง : 1				
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค				
พลังงานทั้งหมด 35 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 0 กิโลแคลอรี)				
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้บริโภค*				
ไขมันทั้งหมด	0	ก.	0	%
ไขมันอิ่มตัว	0	ก.	0	%
โคเลสเตอรอล	0	มก.	0	%
โปรตีน	2	ก.		
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	7	ก.	2	%
ใยอาหาร	2	ก.	8	%
น้ำตาล	3	ก.		
โซเดียม	110	มก.	5	%
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้บริโภค*				
วิตามินเอ	0	%	วิตามินบี 1	2 %
วิตามินบี 2	0	%	แคลเซียม	0 %
เหล็ก	4	%		
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดย คิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี				
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการ พลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้				
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า	65	ก.	
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า	20	ก.	
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า	300	มก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด		300	ก.	
ใยอาหาร		25	ก.	
โซเดียม	น้อยกว่า	2,400	มก.	
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม : ไขมัน = 9 ; โปรตีน = 4 ; คาร์โบไฮเดรต = 4				

ผลการทดสอบวิเคราะห์/สอบเทียบ นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างรายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น
 การนำรายงานผลไปรับรองนี้ไปโฆษณาและการคัดลอกหรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) FM.BL.MTC.001 Rev.2

ภาพที่ 13 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMD-2

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 จะมีปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดเท่ากับ 83.84 มิลลิกรัม/กรัม และ 163.55 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ CMS-4 มีปริมาณกรดกลูตามิกมากที่สุด รองลงมา คือ ฟีนิลอะลานีน ส่วนผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 มีปริมาณไทโรซีนมากที่สุด รองลงมา คือ กรดกลูตามิก ซึ่งกรดอะมิโนซิสทีน เมทไธโอนีน และทรีปโตเฟน จะพบในปริมาณน้อยที่สุดในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

สำหรับกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร มีกรดอะมิโนธีโอนีน วาลีน เมทไธโอนีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ฟีนิลอะลานีน ฮิสติดีน ไลซีน อาร์จินีน และทรีปโตเฟน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบทั้ง 10 ชนิด โดยผลิตภัณฑ์ CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 จะมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายเท่ากับ 43.38 มิลลิกรัม/กรัม และ 32.49 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ฟีนิลอะลานีนปริมาณสูงที่สุด รองลงมา คือ ลิวซีน ซึ่งกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้ มีความสำคัญต่อร่างกาย โดยเป็นกรดอะมิโนตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอื่นที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เอง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในด้านการเป็นสารสื่อประสาทอีกด้วย

ตารางที่ 21 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด*

กรดอะมิโน	CMS-4		CMD-2	
	มล./ก. (น้ำหนักแห้ง)	ร้อยละของปริมาณ กรดอะมิโนทั้งหมด	มล./ก. (น้ำหนักแห้ง)	ร้อยละของปริมาณ กรดอะมิโนทั้งหมด
Aspartic acid (Asp)	8.37	9.98	12.81	7.83
Threonine (Thr) ^A	3.69	4.40	5.35	3.27
Serine (Ser)	4.52	5.39	7.17	4.38
Glutamic acid (Glu)	19.39	23.13	28.72	17.56
Proline (Pro)	3.55	4.23	5.02	3.07
Glycine (Gly)	4.35	5.19	6.32	3.86
Alanine (Ala)	4.84	5.77	8.53	5.21
Cystine (Cys)	Nd	Nd	0.92	0.56
Valine (Val) ^A	2.34	2.79	3.84	2.35
Methionine (Met) ^A	0.72	0.86	1.22	0.75
Isoleucine (Ile) ^A	1.70	2.03	2.54	1.55
Leucine (Leu) ^A	4.64	5.53	7.28	4.45
Tyrosine (Tyr)	2.43	2.90	40.93	25.03
Phenylalanine (Phe) ^A	13.35	15.92	15.51	9.48
Histidine (His) ^A	2.32	2.77	6.59	4.03
Lysine (Lys) ^A	3.75	4.47	4.46	2.73
Arginine (Arg) ^A	2.91	3.47	5.23	3.20
Tryptophan (Try) ^A	0.96	1.14	1.11	0.68
กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อ ร่างกายทั้งหมด	43.38	51.74	32.49	19.86
กรดอะมิโนทั้งหมด	83.84	100	163.55	100

^A กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย

*ทดสอบโดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์, ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2.2 การประเมินต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 22 แสดงต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด โดยใน 1 ซองบรรจุภัณฑ์ จะมีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด เท่ากับ 10 กรัม และเมื่อทำการคำนวณต้นทุนการผลิต พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด มีราคาต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตเท่ากับ 9.01 บาท ทั้งนี้ ไม่รวมค่าแรงทางตรง (ค่าจ้างงาน)

ตารางที่ 22 ต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด (10 กรัม)

ลำดับที่	รายการ(ส่วนผสม)	ราคา (บาท) ต่อ หน่วย(กิโลกรัมหรือลิตร)	ต้นทุนวัตถุดิบสำหรับ การผลิต
1	เห็ดหอม	160.00	16.00
2	เห็ดฟาง	65.00	2.60
3	เห็ดนางฟ้า	41.00	2.05
4	น้ำตาลทราย	21.50	0.19
5	เกลือป่น	18.00	0.01
6	พริกไทยขาวป่น	820.00	0.25
7	ซอสถั่วเหลือง	56.00	0.30
8	น้ำดื่ม	1.00	0.22
รวมเงิน (บาท) ต่อ 1 ซองบรรจุภัณฑ์			9.01

3. ความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษา

3.1 การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

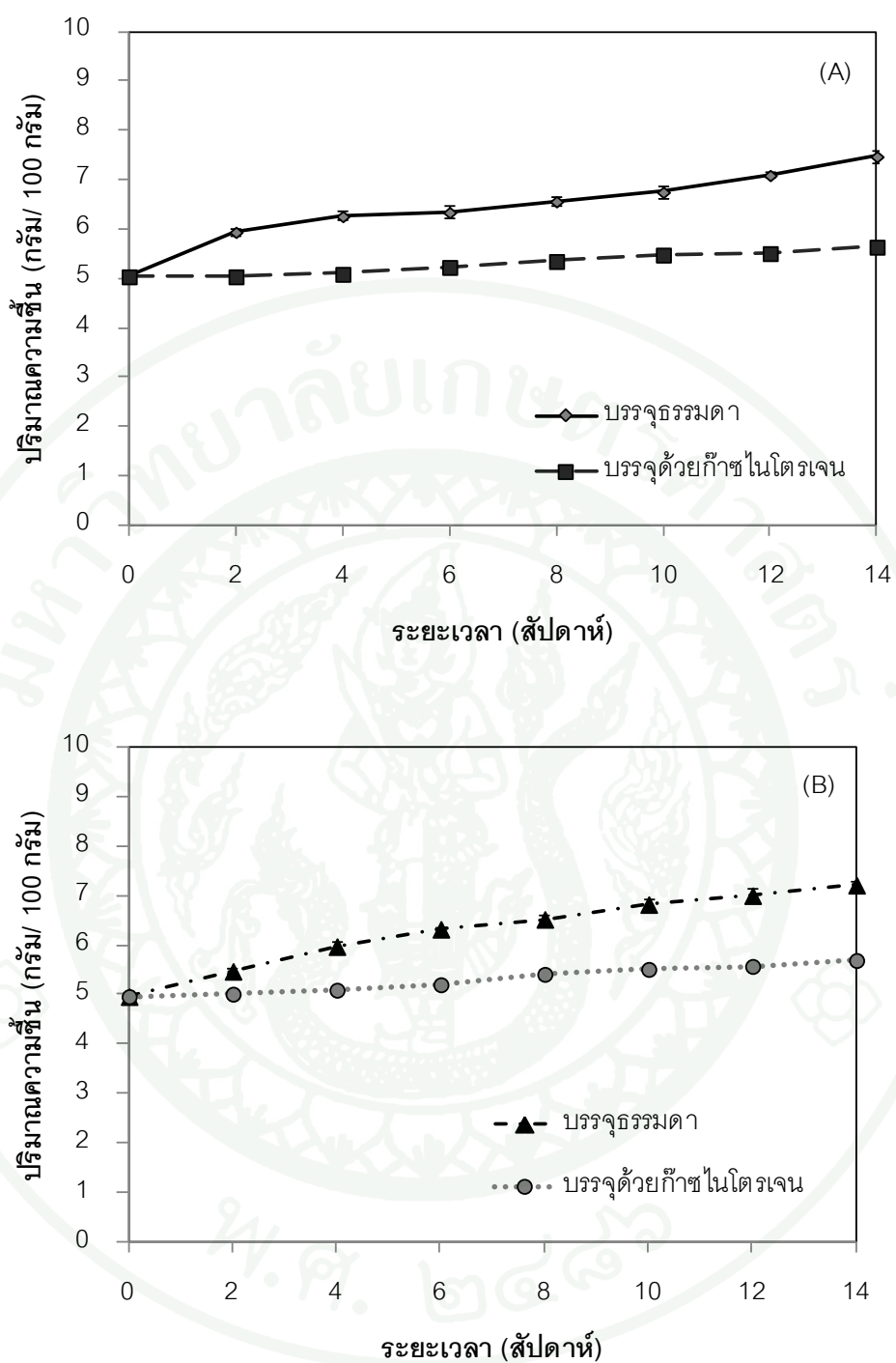
3.1.1 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ที่บรรจุแบบธรรมดา และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทุกชุดการทดลอง มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และอยู่ในช่วงร้อยละ 4.96 ถึง 5.05 สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทั้งสองสูตรที่มีการบรรจุแบบธรรมดามีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบธรรมดานั้น มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุแบบธรรมดา มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.48 และ 7.21 สำหรับสูตร CMS-4 และ CMD-2 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลอง พบว่า สัปดาห์ที่ 0 นั้น ทุกชุดการทดลองมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเริ่มต้นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สัปดาห์ที่ 2 มีการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุแบบธรรมดา ($p < 0.05$) และมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ($p < 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่ง 14 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลอง มีการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ($p < 0.05$) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเป็นค่าที่บ่งบอถึงสมบัติเทอร์โมไดนามิกของอาหาร (Rahman and Labuza, 1999) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ด้วยสาเหตุจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีนี้สามารถบ่งบอกถึง การควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ กิจกรรมของเอนไซม์ และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ (Shivhare *et al.*, 2004)

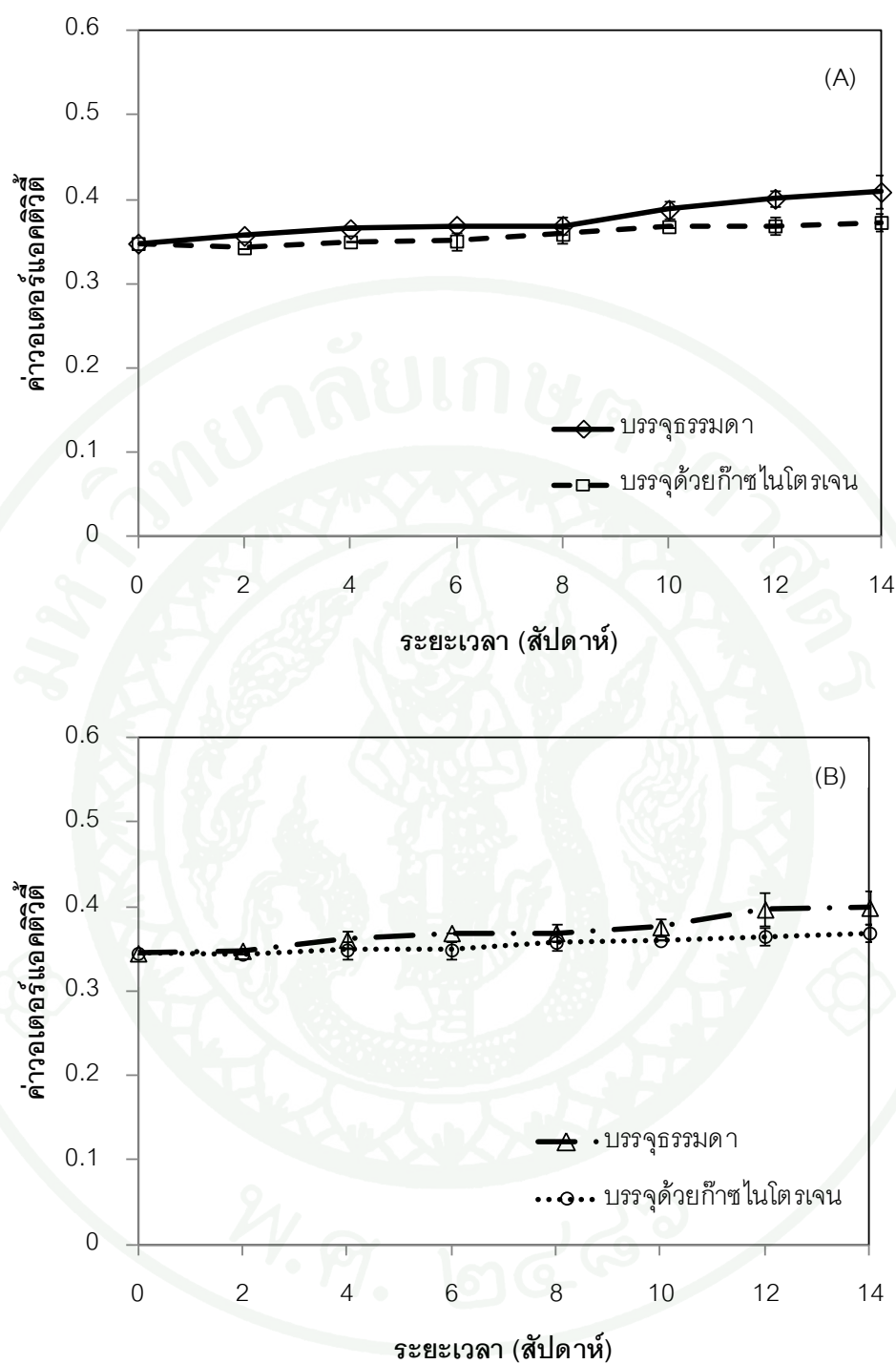
Bonazzi and Dumonlin (2011) รายงานว่า ในการเก็บรักษาอาหารแห้งควรคำนึงถึงการดูดซับความชื้น ซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นผิวของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับสภาวะบรรยากาศแวดล้อม การดูดซับความชื้นของอาหารแห้งในสภาวะอุณหภูมิห้องมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำจะแพร่ผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ และเพิ่ม

ความสามารถในการเป็นตัวพาและตัวทำลายของน้ำ จะส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลิตภัณฑ์ เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การเกิดสีน้ำตาล และการลดลงของความกรอบ Labuza *et al.* (1970) รายงานว่า ปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี้ที่มีในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งระหว่างการเก็บรักษา โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 9) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้น้อยกว่า 0.5 จะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่สภาวะของอุณหภูมิห้องได้ อย่างไรก็ตาม การควบคุมปริมาณความชื้นจะสามารถควบคุมค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งได้ และยังส่งผลต่อการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (Brody *et al.*, 2008) Yang (1998) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง จะมีความไวต่อออกซิเจนและน้ำ ซึ่งการดึงออกซิเจนออกและ/หรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นโลหะ เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ จะสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากออกซิเจน น้ำ หรือปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งได้

จากผลการทดลอง ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบธรรมดา ($p < 0.05$) ดังนั้น การบรรจุด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความขึ้นของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุกรวมดาและบรรจูด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์



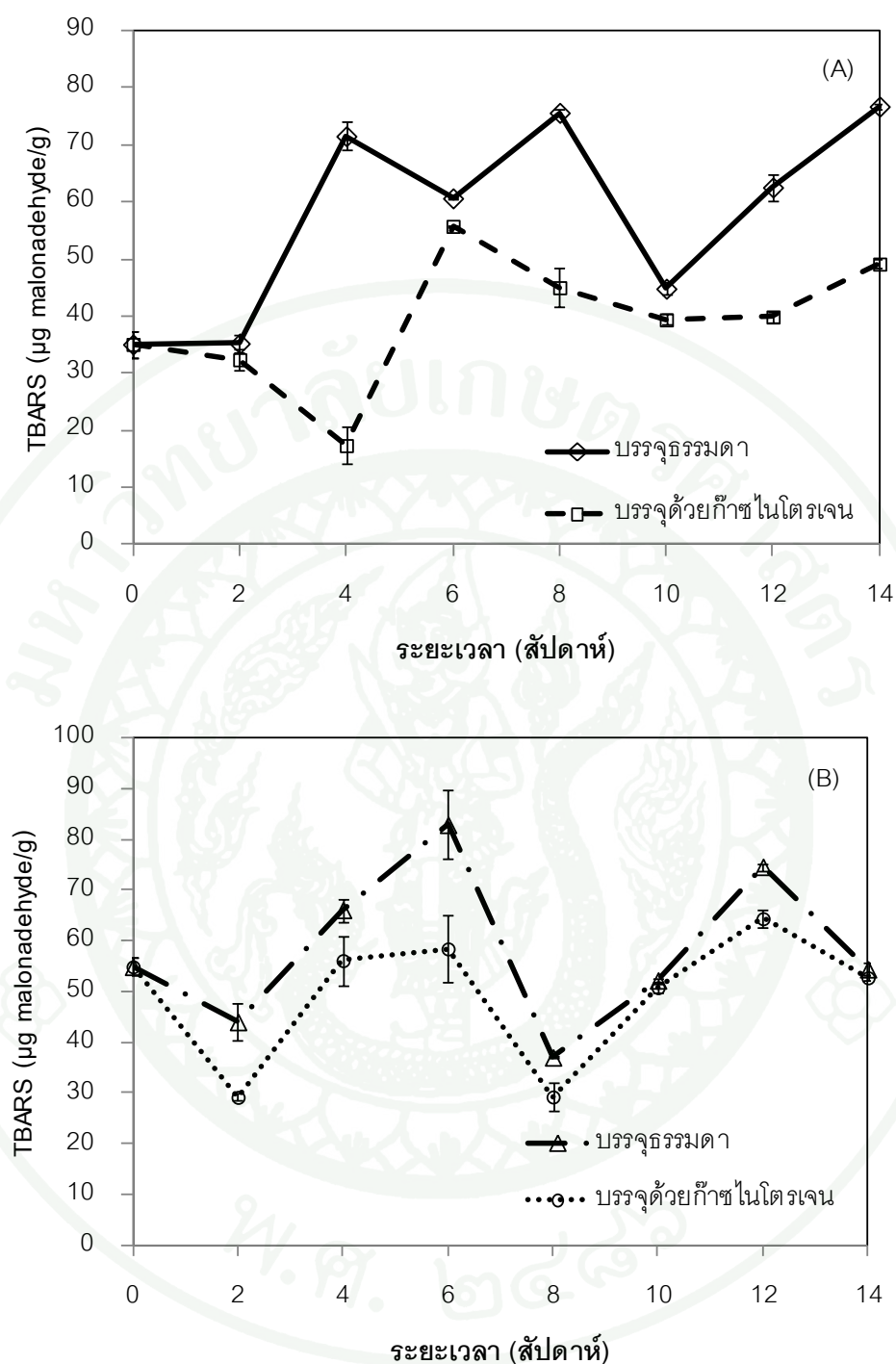
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าออกเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด
สูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุกรรรมดาและบรรจู้ด้วยก๊าซไนโตรเจน
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

ภาพที่ 16 แสดงผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ โดยระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุรวมดา ($p < 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance เพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 4 6 และ 12 ($p < 0.05$) โดยปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 20.97 ถึง 82.91 $\mu\text{g malonaldehyde/g}$ ของตัวอย่าง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นผลมาจากค่าออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันในผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมัน โดยปฏิกิริยาไลโปไลซิส (Lipolysis) และปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) โดยนิธิยา (2545) กล่าวว่า ปฏิกิริยาไลโปไลซิส ส่งผลต่อการแตกของพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์หรือลิพิด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ไลเปส หรือเร่งโดยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปแบบเอสเทอร์ของกลีเซอรอล และค่าออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นนั้น มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยผลิตภัณฑ์อาหารแห้งซึ่งมีค่าออกซิเดชันต่ำจะเกิดการออกซิเดชันของไขมันได้ง่าย และผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน คือ อัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร (Kane, 2002; Shahidi and Zhong, 2005) นอกจากนี้ Perera (2005) รายงานว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ สามารถมีผลมาจากปัจจัยอื่นๆได้อีก เช่น อุณหภูมิภายนอก และการมีออกซิเจนในบริเวณที่ใกล้อาหาร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีค่าออกซิเดชันอยู่ในช่วง 0.3-0.4 (ภาพที่ 15) ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันต่ำที่สุด (Labuza *et al.*, 1970; Fonatana, 2000)

จากผลการทดลองปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance ที่มีปริมาณ
 มากน้อยแตกต่างกันของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษานาน 14
 สัปดาห์ อาจเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณอัลดีไฮด์ จากการเกิดปฏิกิริยาลิ
 โฟไลซิส และปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร และจากการเพิ่มขึ้นของค่า
 วอเตอร์แอคทีวิตีของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน



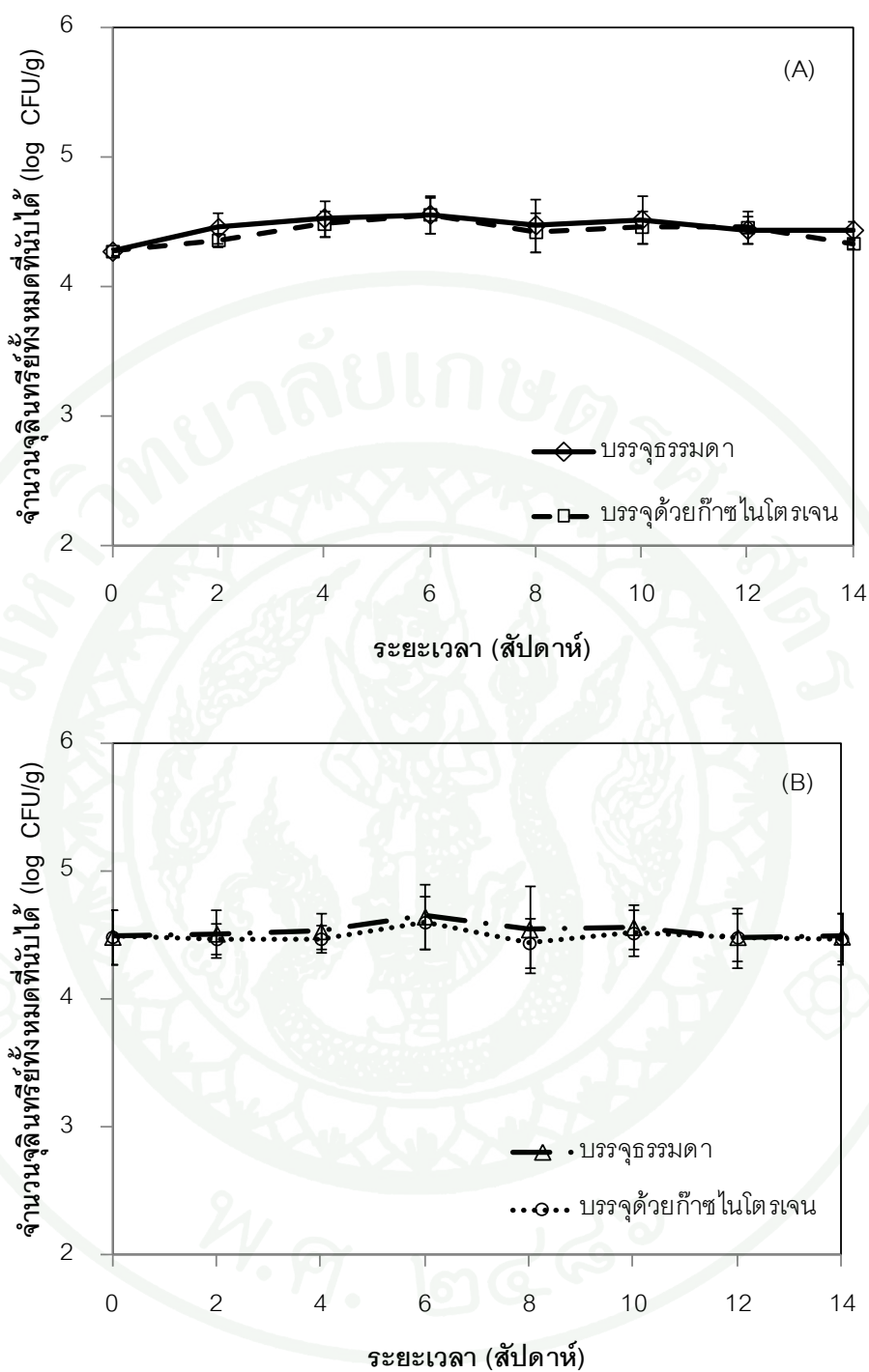


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

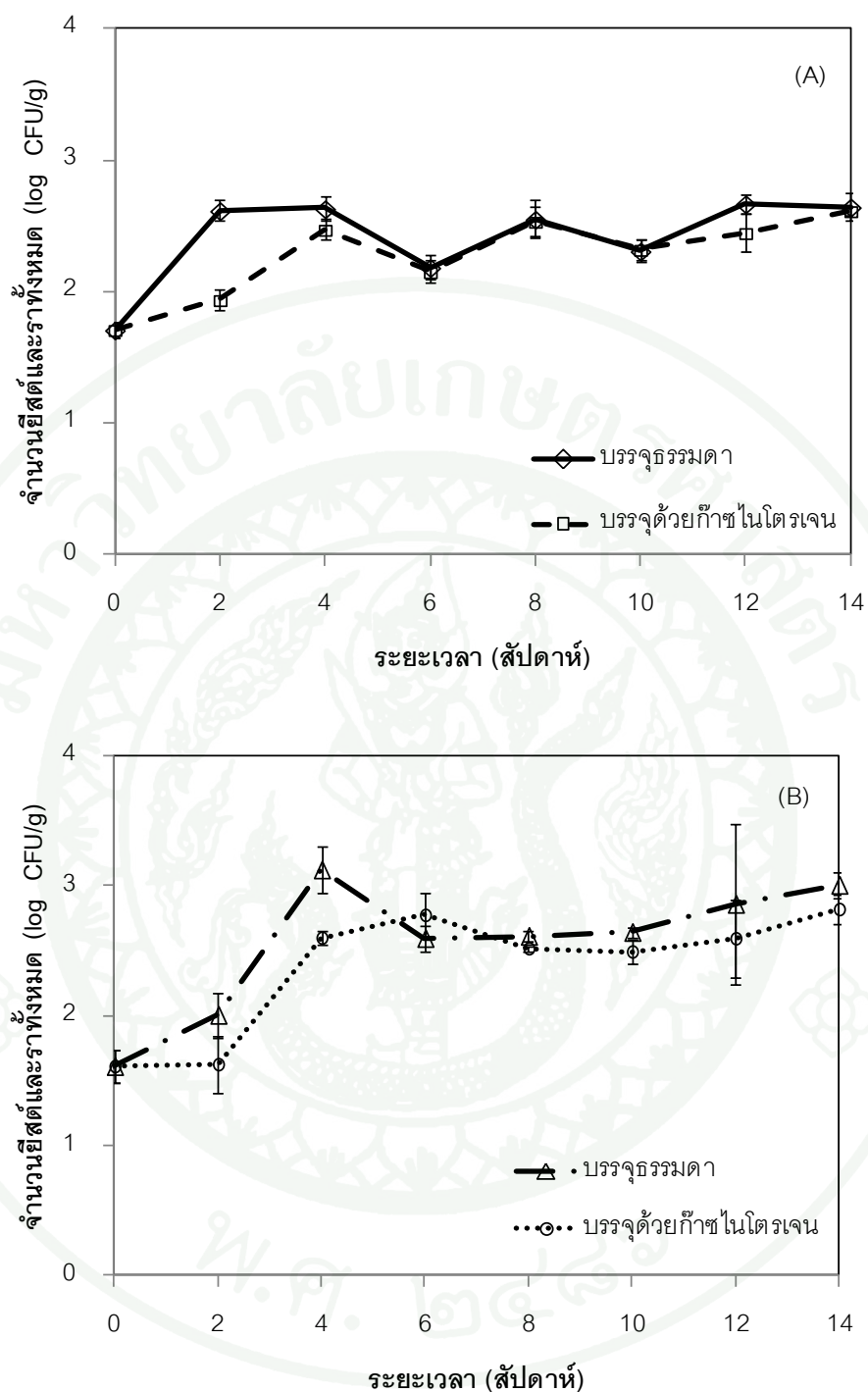
3.2 การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

ภาพที่ 17 แสดงผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อความคงตัวด้านจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 0 ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และสูตร CMD-2 มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $\log 4.28$ colony forming unit/g (CFU/g) และ $\log 4.49$ CFU/g และสัปดาห์ที่ 14 ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $\log 4.44$ CFU/g ถึง $\log 4.49$ CFU/g ซึ่งจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนในระหว่างการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และสูตร CMD-2 ที่บรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน มีจำนวนยีสต์และราเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 18) โดยในสัปดาห์ที่ 0 ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และสูตร CMD-2 มีจำนวนยีสต์และราเท่ากับ $\log 1.71$ CFU/g และ $\log 1.61$ CFU/g และสัปดาห์ที่ 14 ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีจำนวนยีสต์และราอยู่ในช่วง $\log 2.62$ CFU/g ถึง $\log 3.01$ CFU/g ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และสูตร CMD-2 ที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เริ่มมีจำนวนยีสต์และราเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ($p < 0.05$)

สำหรับความคงตัวด้านจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และรา ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชุดการทดลอง อาจเป็นผลมาจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆจะมีการเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่แตกต่างกัน เช่น การมีก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ จะทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตมีมากกว่าในบรรจุภัณฑ์ที่ควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ระหว่างการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ยังคงมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.6 ซึ่งสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์และราได้ (Fontana, 2000) จากผลการทดลองความคงตัวด้านจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ อาจเป็นผลมาจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นับได้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ จากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

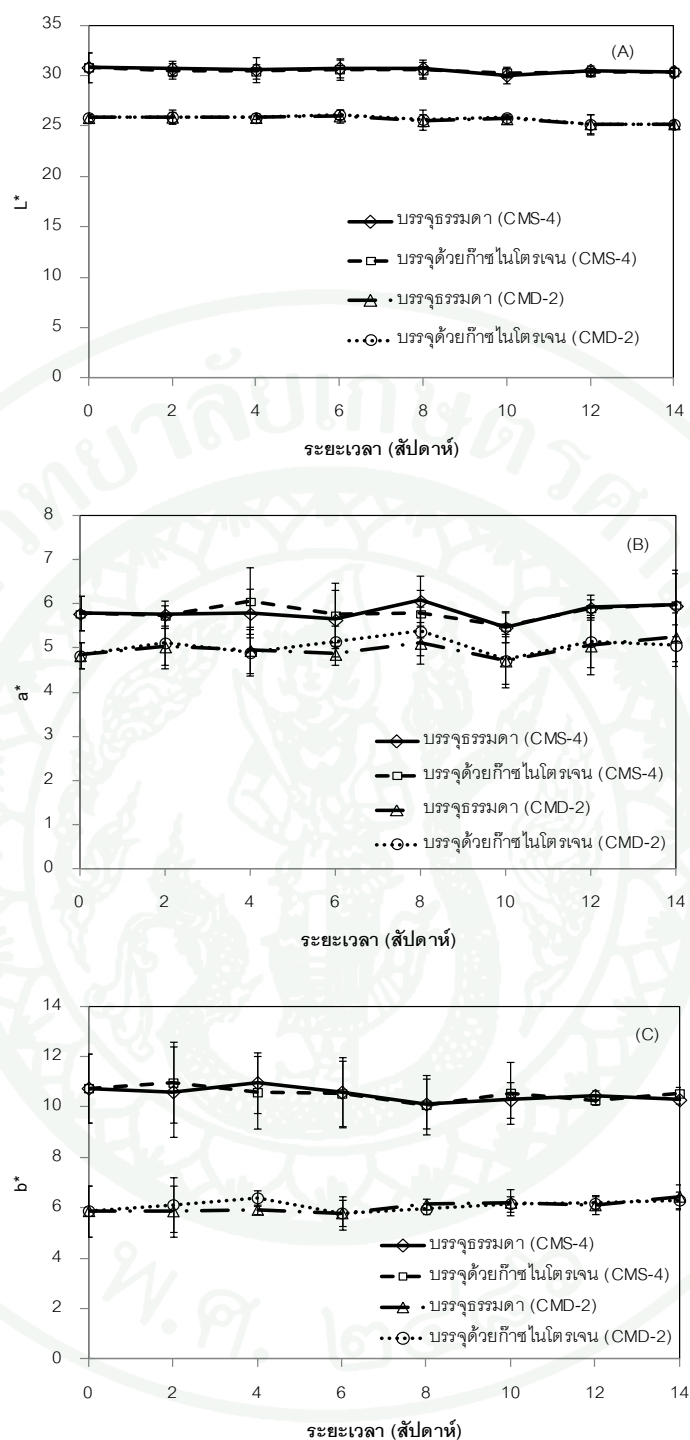


ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และราทั้งหมดที่นับได้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

3.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ภาพที่ 19 แสดงผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อความคงตัวด้านสีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 ที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีค่า L^* สูงกว่าผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 สอดคล้องกับตารางที่ 18 ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 มีค่า L^* ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สูตร CMD-1 (CMS-4) และในระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน อยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.4 ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาลจะมีต่ำที่สุด (Fonatana, 2000; Kane, 2002) แม้ว่าในระหว่างการเก็บรักษา จะมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้เพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมของทั้งสองสูตรก็ตาม

จากผลการทดลองการบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความคงตัวด้านสีของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์

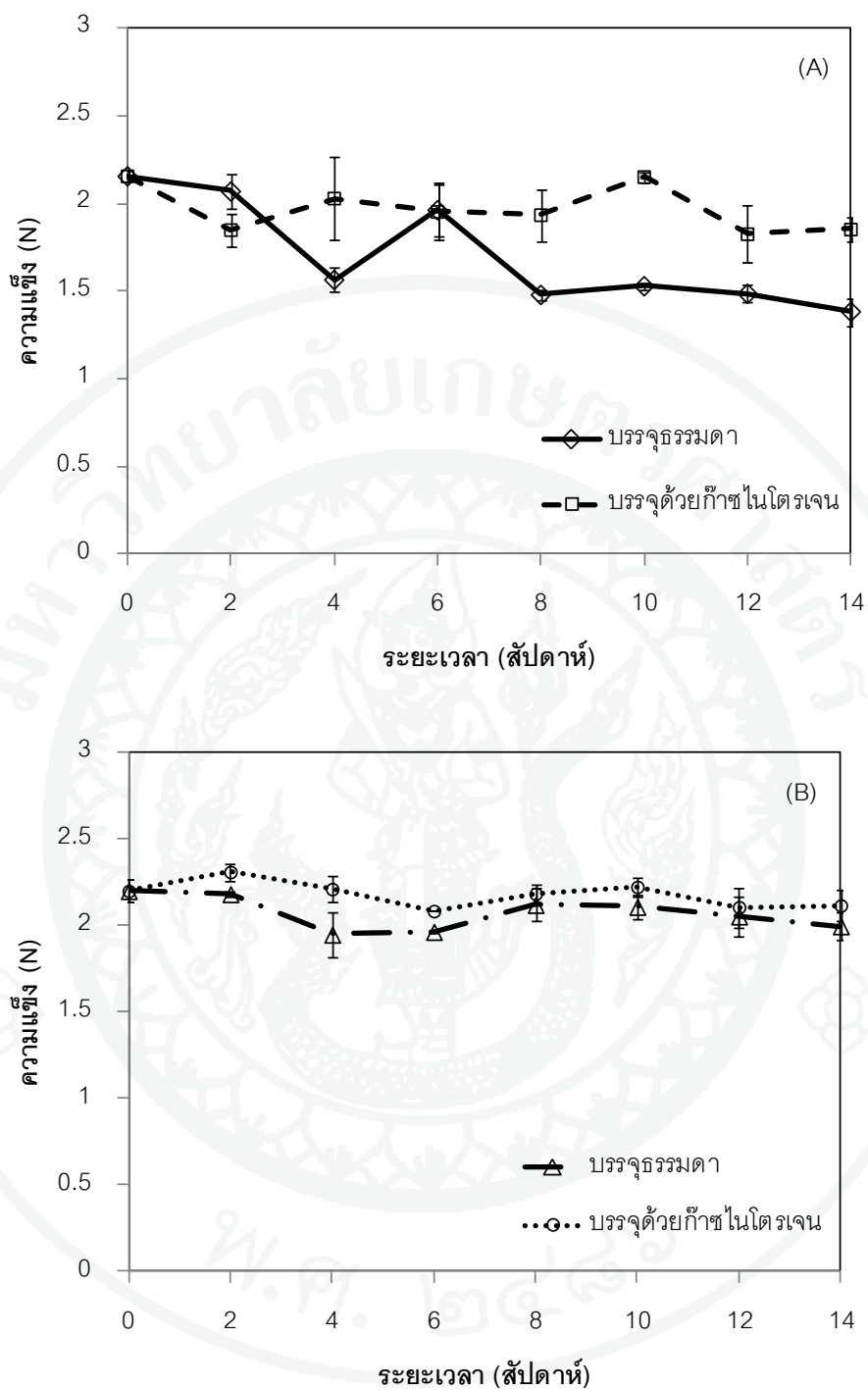


ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

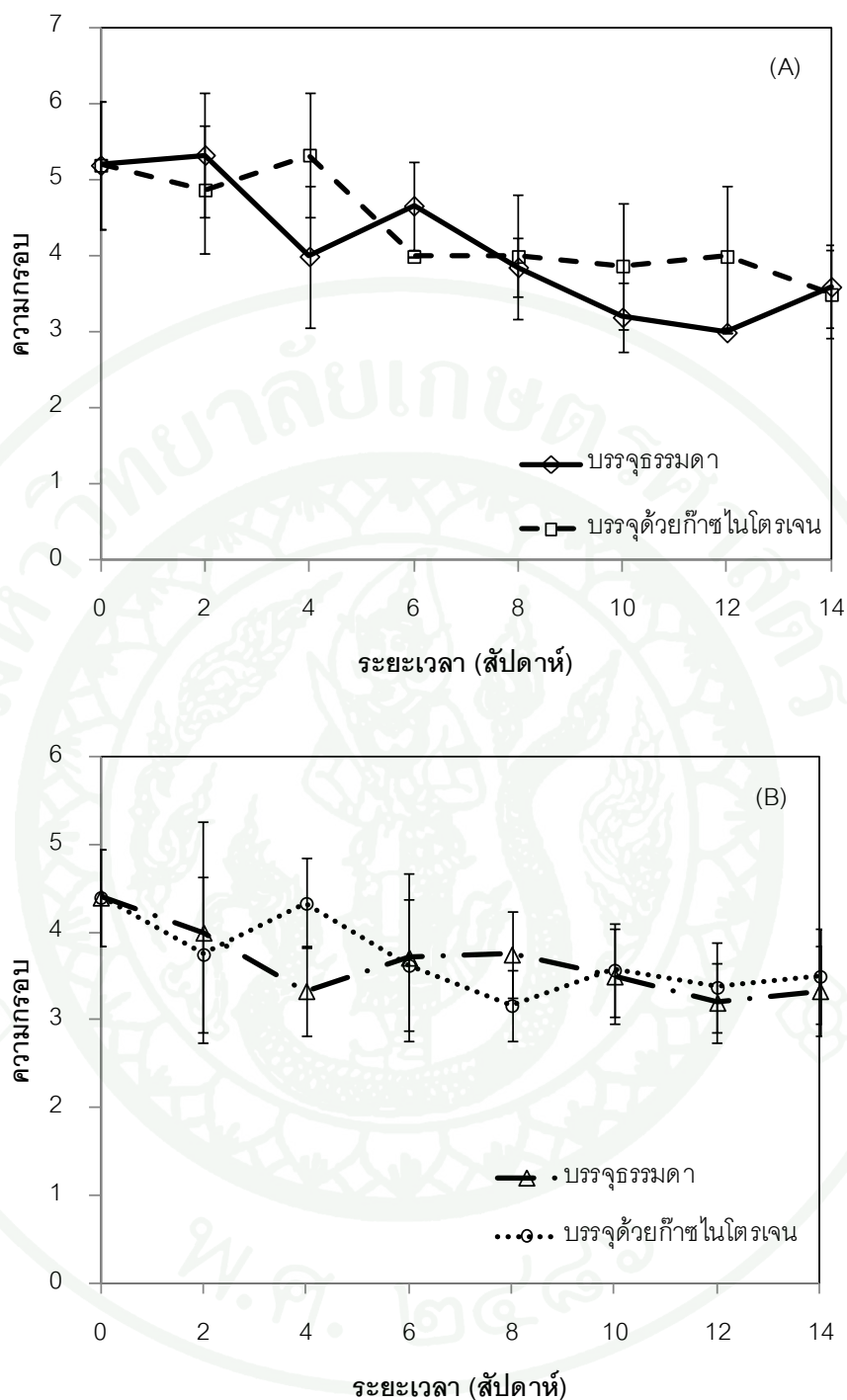
ผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อความคงตัวด้านความแข็ง (Hardness) (ภาพที่ 20) และความกรอบ (Number of force peaks) (ภาพที่ 21) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ โดยระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีค่าความแข็งและความกรอบลดลง ($p < 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีค่าความแข็งและความกรอบลดลงน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมของทั้งสองสูตร ($p < 0.05$) และในระหว่างการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2 ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 มีค่าความแข็งลดลงมากกว่า ผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ($p < 0.05$)

การลดลงของความแข็งและความกรอบในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุรวมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่เพิ่มมากขึ้นแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำหรือค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Martinez-Navarraete *et al.*, 2004; Heidenreich *et al.*, 2004) โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ในช่วง 0.35-0.5 ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้ความกรอบในผลิตภัณฑ์มีความคงตัว แต่หากค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มมีการสูญเสียความกรอบไป (Nielsen, 1979; Katz and Labuza, 1981) Brody *et al.* (2008) รายงานว่า ปริมาณความชื้นที่มีแตกต่างกันในบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบ จะส่งผลต่อการลดลงของความกรอบ โดยน้ำจะแพร่ผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความสามารถในการเป็นตัวพาและตัวทำลายของน้ำ ทำให้น้ำสามารถกลับเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็ว (Bonazzi and Dumonlin, (2011) นอกจากนี้ ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบ เป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการลดลงของความกรอบในระหว่างการเก็บรักษา จะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่สั้นยิ่งขึ้น (Brody *et al.*, 2008)

จากผลการทดลองความคงตัวด้านความแข็งและความกรอบที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ อาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่เพิ่มมากขึ้นภายใต้สภาวะการบรรจุที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจาก
 เหน็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่ปรจจรรรรมดาและปรจจรรรรมดาด้วยก๊าซไนโตรเจน
 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบ (Number of force peaks) ของผลิตภัณฑ์อาหารว่าง เพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (A) และ CMD-2 (B) ที่บรรจจธรรมดาและบรรจด้วย ก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

3.4 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 23 แสดงผลของการบรรจุภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ โดยระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์สูตร CMS-4 และผลิตภัณฑ์สูตร CMD-2 ที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆลดลงในสัปดาห์ที่ 4 ($p < 0.05$) และในสัปดาห์ที่ 14 ผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมของทั้งสองสูตร จะมีคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่น ความกรอบ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม ลดลงมากกว่าในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนของทั้งสองสูตร ($p < 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เริ่มมีคะแนนการยอมรับลดลง ($p < 0.05$) และในสัปดาห์ที่ 14 ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดา มีคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่น ความกรอบ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม ลดลงมากกว่าในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ($p < 0.05$)

คะแนนการยอมรับด้านความกรอบที่ลดลงนั้น อาจเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่บรรจุธรรมดาและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตีเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 14 และภาพที่ 15) จึงส่งผลต่อการลดลงของความแข็งและความกรอบ (ภาพที่ 20 และภาพที่ 21) ซึ่งความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการตัดสินคุณภาพ หรือความชอบของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (Luyten *et al.*, 2004; Rojo and Vincent, 2009; Vliet *et al.*, 2009) นอกจากนี้ ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา อาจส่งผลต่อการลดลงของคะแนนการยอมรับได้ Gould (1995) และ Eskin *et al.* (1971) รายงานว่า ในระหว่างการเก็บรักษาสามารถเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ทำให้เกิด rancidity ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส และรสชาติของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งได้

จากผลการทดลองคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ระหว่างการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ อาจเป็นผลมาจากสภาวะการบรรจุที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

ตารางที่ 23 คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ที่บรรจุธรรมดา (ชุดควบคุม) และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์

เวลา (สัปดาห์)	สูตร	สูตร	คุณลักษณะ						
			ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
0	CMS-4	ชุดควบคุม	8.17 ^a	8.10 ^a	7.93 ^a	8.47 ^a	7.93 ^a	8.23 ^a	8.07 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.97 ^a	8.17 ^a	7.67 ^a	8.30 ^a	7.83 ^a	8.37 ^a	8.07 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.33 ^b	7.30 ^b	7.10 ^b	7.53 ^b	6.93 ^b	7.23 ^b	7.00 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.43 ^b	7.50 ^b	7.23 ^b	7.63 ^b	6.93 ^b	7.33 ^b	7.30 ^b
2	CMS-4	ชุดควบคุม	7.97 ^a	7.87 ^a	7.50 ^{ab}	8.00 ^{ab}	7.67 ^a	7.60 ^{ab}	8.00 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.77 ^{ab}	7.83 ^a	7.67 ^a	8.30 ^a	7.90 ^a	7.83 ^a	8.10 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.40 ^b	7.40 ^b	6.97 ^b	7.33 ^c	6.67 ^b	7.17 ^{bc}	7.37 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.47 ^b	7.37 ^b	7.00 ^b	7.67 ^{bc}	6.80 ^b	7.07 ^c	7.43 ^b
4	CMS-4	ชุดควบคุม	7.63 ^a	7.57 ^a	7.37 ^a	7.83 ^{ab}	7.43 ^a	7.23 ^a	7.57 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.63 ^a	7.60 ^a	7.23 ^a	8.00 ^a	7.43 ^a	7.53 ^a	7.60 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.30 ^a	7.33 ^a	7.00 ^a	7.57 ^b	6.90 ^{ab}	7.23 ^a	7.20 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.43 ^a	7.43 ^a	7.03 ^a	7.63 ^{ab}	6.87 ^b	7.37 ^a	7.37 ^a

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

ตารางที่ 23 คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ที่บรรจุธรรมดา (ชุดควบคุม) และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์ (ต่อ)

เวลา (สัปดาห์)	สูตร		คุณลักษณะ						
			ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
6	CMS-4	ชุดควบคุม	7.67 ^a	7.47 ^a	7.10 ^a	7.60 ^a	7.60 ^a	7.27 ^a	7.60 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.40 ^{ab}	7.47 ^a	7.30 ^a	7.83 ^a	7.80 ^a	7.50 ^a	7.60 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.23 ^b	7.03 ^a	6.97 ^a	7.13 ^b	6.60 ^b	7.00 ^a	7.17 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.43 ^{ab}	7.23 ^a	7.07 ^a	7.47 ^{ab}	6.90 ^b	7.10 ^a	7.37 ^{ab}
8	CMS-4	ชุดควบคุม	7.60 ^a	7.60 ^{ab}	7.27 ^a	7.77 ^a	7.23 ^a	7.47 ^{ab}	7.83 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.57 ^a	7.77 ^a	7.40 ^a	7.83 ^a	7.27 ^a	7.77 ^a	7.90 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.30 ^a	7.17 ^c	6.83 ^a	6.87 ^b	6.60 ^b	7.00 ^b	7.13 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.43 ^a	7.27 ^{bc}	6.93 ^a	7.53 ^a	6.87 ^{ab}	7.13 ^b	7.40 ^b
10	CMS-4	ชุดควบคุม	7.63 ^{ab}	7.60 ^a	7.33 ^{ab}	7.83 ^a	7.43 ^{ab}	7.43 ^a	7.70 ^a
		ก๊าซไนโตรเจน	7.80 ^a	7.70 ^a	7.50 ^a	7.80 ^a	7.57 ^a	7.57 ^a	7.80 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	7.03 ^c	7.03 ^b	6.97 ^b	6.87 ^b	6.73 ^c	6.83 ^b	7.10 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.33 ^{bc}	7.37 ^{ab}	7.07 ^{ab}	7.63 ^a	7.00 ^{bc}	7.17 ^{ab}	7.00 ^b

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

ตารางที่ 23 คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 และ CMD-2 ที่บรรจุรวมดา (ชุดควบคุม) และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30-34 องศาเซลเซียส) นาน 14 สัปดาห์ (ต่อ)

เวลา		สูตร	คุณลักษณะ						
(สัปดาห์)			ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
12	CMS-4	ชุดควบคุม	7.60 ^a	7.13 ^{ab}	7.27 ^a	7.07 ^b	6.90 ^{ab}	7.07 ^b	7.23 ^{ab}
		ก๊าซไนโตรเจน	7.77 ^a	7.37 ^a	7.13 ^a	7.67 ^a	7.30 ^a	7.50 ^a	7.53 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	6.90 ^b	6.63 ^b	6.50 ^b	6.50 ^c	6.70 ^b	6.83 ^b	6.60 ^c
		ก๊าซไนโตรเจน	7.40 ^a	6.87 ^{ab}	6.97 ^b	7.43 ^{ab}	6.57 ^b	7.00 ^b	6.93 ^{bc}
14	CMS-4	ชุดควบคุม	7.10 ^{ab}	7.03 ^b	7.20 ^{ab}	6.97 ^c	6.97 ^b	7.03 ^b	7.03 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.53 ^a	7.77 ^a	7.47 ^a	8.00 ^a	7.63 ^a	7.93 ^a	8.03 ^a
	CMD-2	ชุดควบคุม	6.93 ^b	6.80 ^b	6.70 ^b	6.80 ^c	6.53 ^b	6.90 ^b	6.73 ^b
		ก๊าซไนโตรเจน	7.13 ^{ab}	6.97 ^b	6.80 ^b	7.50 ^b	6.97 ^b	6.73 ^b	6.83 ^b

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

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสามารถผลิตได้จากเห็ดสามชนิด ได้แก่ เห็ดหอมสด เห็ดฟางสด และเห็ดนางฟ้าสด ด้วยอัตราส่วน 50: 25: 25 (น้ำหนัก: น้ำหนัก: น้ำหนัก) (CMS-4) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบางสีน้ำตาลและมีความกรอบ เมื่อทำการทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสามารถทดแทนได้เพียงร้อยละ 25 (CMD-2) และยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้เห็ดแห้งทดแทนจำเป็นต้องมีกระบวนการคืนรูปเห็ดก่อนผลิต ซึ่งทำให้เห็ดคืนรูปมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเห็ดสด

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่มีไขมันน้อย จึงทำให้เมื่อพิจารณาถึงการทำข้อมูลฉลากโภชนาการแล้วจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่มีพลังงานจากไขมัน นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดยังเป็นแหล่งโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน และเป็นแหล่งของใยอาหาร อย่างไรก็ตามเมื่อทำการผลิตอาหารว่างด้วยการทดแทนเห็ดแห้งร้อยละ 25 อาจมีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ เช่น กรดกลูตามิก วาลีน ฟีนอลอะลานีน ไลซีน แต่ในทางกลับกันกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ ไทโรซีน และฮิสติดีน มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อทำการประเมินต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (10 กรัม) มีค่าวัตถุดิบ เท่ากับ 9.01 บาท

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดทั้ง CMS-4 และ CMD-2 ที่บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ภายใต้สภาวะเติม N_2 และบรรยากาศปกติ ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 14 สัปดาห์นั้น มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้สภาวะการเติม N_2 สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าออกซิเจนเปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามค่าออกซิเจนเปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 0.5 สำหรับการออกซิเดชันของไขมันตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดระหว่าง 2 ถึง 4 สัปดาห์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามไม่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นับได้ ขณะที่มีการเพิ่มจำนวนของยีสต์และราทั้งหมดโดยเฉพาะในช่วง 2 ถึง 6 สัปดาห์ของการ

เก็บรักษา สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* และ b^* ของทุกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายใต้การบรรจุทั้งสองสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่มีแนวโน้มการลดลงของความแข็งและความกรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMD-2 ซึ่งเป็นผลมาจากการทดแทนด้วยเห็ดแห้งร้อยละ 25 อย่างไรก็ดีตามทั้ง CMS-4 และ CMD-2 สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 14 สัปดาห์และยังคงได้รับคะแนนความชอบ

ข้อเสนอแนะ

กระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งและการคั้นรูปเห็ดอาจส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น ค่าสี และความแข็ง รวมทั้งปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ดังนั้น กระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งสมัยใหม่ เช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ซึ่งควรเป็นกระบวนการอบแห้งที่ยังคงรักษาโครงสร้างของเห็ดเพื่อคุณภาพที่ดีของเห็ดเมื่อทำการคั้นรูปก่อนการผลิต ควรได้รับการศึกษาต่อไป

การผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดนั้น ควรมีการศึกษาการเพิ่มสัดส่วนของเห็ดชนิดอื่น เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตแต่ยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็ดนางฟ้า ซึ่งมีราคาถูกกว่าเห็ดชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีปริมาณโปรตีนสูง นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดกับผลิตภัณฑ์อาหารว่างทางการค้าที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น สหรัยอบกรอบทางการค้า เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชำนาญ พิทักษ์ทอง. 2551. **เห็ดเศรษฐกิจ**. เกษตรสยามบุ๊คส์, กรุงเทพฯ.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2548. เห็ดสุดยอดแห่งรสอาหาร...ของขวัญจากธรรมชาติ. **วารสาร อาหาร**.
ปีที่ 35. ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2548. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์. 2549. **ตำรับเห็ด : รสเด็ดสรรพคุณเพียบ**. สำนักพิมพ์แสงแดด, กรุงเทพฯ.

ธีรวัฒน์ เทพไฉกาศ. 2545. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการ
จากแป้งมันเทศและเนื้อมะเขือเทศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นุติ เปาทอง. 2544. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดหอยจากเห็ดนางฟ้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนา ดำรงรัตน์กุล. 2548. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2546. **เห็ดเมืองหนาว**. พันธุ์ พับบลิช
ซิ่ง, กรุงเทพฯ.

สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. 2553. **อุตสาหกรรมผลิตขนม**.
แหล่งที่มา : <http://cms.sme.go.th>. 22 เมษายน 2553.

อนุวัตร แจ่มชัด. 2547. **โครงการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผักแผ่นและผลไม้แผ่น**.
กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Ahrné, L., F. Prothon, and T. Funebo. 2003. Comparison of drying kinetics and texture effects of two calcium pretreatments before microwave-assisted dehydration of apple and potato. **International Journal of Food Science and Technology**. 38:411–420.
- Aletor, V. A. 1995. Compositional studies on edible tropical species of mushrooms. **Food Chemistry**. 54:265–268.
- Andrade, C. D., I. Seiquer, A. Haro, R. Castellano, and M.P. Navarro. 2010. Development of the maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. **Food Chemistry**. 122 : 145-153.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. **The Association of Official Analytical Chemists**. Code 941.25.
- Arumuganathan, T. and R.D. Rai. 2004. Suitable packaging materials for mushroom products. **Beverage and Food World**. 31(10): 46.
- Bano, Z., and S. Rajarathnam. 1988. Pleurotus mushrooms Part II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation and role as human foods. **CRC Critical Review in Food Science and Nutrition**. 27(2):87–158.
- Bano, Z., S. Rajarathnam and M.N. Shashirekha. 1992. Mushrooms-Unconventional single cell Protein for a conventional consumption. **Indian Food Packer**. 46: 20-31.
- Barros, L., Baptista, P., Correia, D. M., Casal, S., Oliveira, B., Ferreira, I. C. F. R., 2007. Fatty acid, sugar compositions and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal. **Food Chemistry**. 105:140–145.

- Barros, L., P. Baptista., D. M. Correia., S. Casa., B. Oliveira., and I. C. F. R. Ferreira. 2007a. Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal. **Food Chemistry**. 105:140–145.
- Barros, L., P. Baptista., D. M. Correia., J. S. Morais., and I. C. F. R. Ferreira. 2007b. Effects of conservation treatment and cooking on the chemical composition and antioxidant activity of Portuguese wild edible mushrooms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55:4781–4788.
- Barros, L., T. Cruz, P. Baptista, L. M. Estevinho, and I. C. F. R. Ferreira. 2008. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. **Food and Chemical Toxicology**. 46 : 2742–2747.
- Bauer-Petrovska, B., B. Jordanoski, V. Stefov., and S. Kulevanova. 2001. Investigation of dietary fibre in some edible mushrooms from Macedonia. **Nutrition and Food Science**. 31:242–246.
- Bourne, M. C. 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement, 2nd ed., New York State Agricultural Experiment Station and Institute of Food Science. Cornell University, Geneva, New York, pp. 171–189.
- Briones, G. L., P. Varoquaux, J. Chambroy, G. Bouquant, G. Bureau and B. Pascat. 1992. Storage of common mushroom under controlled atmospheres. **International Journal of Food Science and Technology**. 27:493-505.
- Buege, J. A., and S. D. Aust. 1978. Microsomal lipid peroxidation. **Methods of Enzymology**. 52:302–304.
- Burton, K. S., S. Sreenivasaprasad, T. Rama, C. E. Evered and A. McGarry. 1995. Mushroom quality and senescence. **Mushroom Science**. 14(2): 687-693.

- Çaglarımak, N. 2007. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus species*) and an estimated approach to the volatile compounds. **Food Chemistry**. 105 : 1188–1194.
- Carbonero, E.R., A.H.P. Gracher., D.L. Komura., R. Marcon., C.S. Freitas., C.H. Baggio., G. Torri., P.A.J. Gorin., M. Iacomini., and A.R.S. Santos. 2008. *Lentinus edodes* heterogalactan: Antinociceptive and anti-inflammatory effects. **Food Chemistry**. 111: 531–537.
- Chang, S.T., and P.G.Miles. 2004. **Mushrooms : cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact**. Boca Raton, Fla. : CRC Press.
- Cheung, P.C.K. 1996. The hypocholesterolemic effect of extracellular polysaccharide from the submerged fermentation of mushroom. **Nutrition Research**. 16 : 1953–1967.
- Cheung, L.M., P.C.K. Cheung, and V.E.C. Ooi. 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. **Food Chemistry**. 81 : 249–255.
- Cho, K.Y., K.H. Yung and S.T. Chang. 1982. Preservation of cultivation methods. pp. 63–86. In S.T. Chang and T.H. Quimio, eds. **Tropical Mushrooms: Biological Nature and Cultivation Methods**. The Chinese University Press, Hong Kong.
- Chong, C. H., C. L. Law., M. Cloke., C. L. Hii., L. C. Abdullah., and W. R. W. Daud. 2008. Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. **Journal of Food Engineering**. 88: 522–527.
- Chua, K.J., A.S. Mujumdar., S.K. Chou., J.C. Ho., and M.N.A. Hawlader. 2000. Principles, applications and potential of heat pump drying systems. In: Mujumdar, A.S., editors. **Drying technology in agriculture and food sciences**. Enfield (NH): Science Publisher. p.213–51.

- Diebel, P., J. Gordon., N. Hamburg., and Kitchener. 2004. Shelf stable, dehydrated, heat-treated meat protein product and method of preparing same. **Patent Application Publication.**
- Diéz, A. A., and A. Alvarez. 2001. Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain. **Food Chemistry.** 75:417–422.
- Elmastas, M., O. Isildak., I. Turkekul, and N. Temur. 2007. Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. **Journal of Food Composition and Analysis.** 20:337–345.
- Eskin, N. A. M., H. M. Henderson., and R. J. Townsend. 1971. **Biochemistry of foods.** New York: Academic Press. p. 33.
- Follows, P. 1990. **Food Processing Technology.** England : Dllis Horwood Limited.
- Franka, J. A., R. Xiaoa, S. Yua, M. Fergusona, L. J. Henningsc, P. M. Simpsond, M. J. J. Ronisa, N. Fanga, T. M. Badgera, and F. A. Simmena,. 2006. Effect of Shiitake mushroom dose on colon tumorigenesis in azoxymethane-treated male Sprague-Dawley rats. **Nutrition Research.** 26 : 138– 145.
- Furlani, R.P.Z., and H.T.Godoy. 2008. Vitamins B1 and B2 contents in cultivated mushrooms. **Food Chemistry.** 106 : 816–819.
- Gallagher, A.M., P.R.Flatt, G.Duffy, and Y.H.A.Abdel-Wahab. 2003. The effects of traditional antidiabetic plants on in vitro glucose diffusion. **Nutrition Research.** 23 : 413–424.

- Giri, S.K., and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**. 78, 512–521.
- Gormley, T.R., and F. O'Riordain. 1976. Quality Evaluation of Fresh and Processed Oyster Mushrooms *Pleurotus-ostreatus*. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**. 9:75-8.
- Guillamón, E., A. García-Lafuente., M. Lozano., M. D'Arrigo., M. A. Rostagno., A. Villares., and J. A. Martínez. 2010. Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. **Fitoterapia**. (in press).
- Hammond, J.B.W. 1980. The composition of fresh and stored oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **Phytochemistry**. 19 (12): 2565-2568.
- Han, W., K. Chen, R.D. Yang, F. Yang, C. Zhao, and W. Gao. 2010. Utilization of Bagasse Fiber for Preparation of Biodegradable Flame Retarding Composite (BFRCS). **BioResources**. 5(3):1605-1617.
- Hatvani, N. 2001. Antibacterial effect of the culture fluid of *Lentinus edodes* mycelium grown in submerged liquid culture. **International Journal of Antimicrobial Agents**. 17:71–74.
- Hearst, R., D. Nelson., G. McCollum., B. Cherie Millar., Y. Maeda., C. E. Goldsmith., P. J. Rooney., A. Loughrey., J.R. Rao., and J. E. Moore. 2009. An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. **Complementary Therapies in Clinical Practice**. 15: 5–7.

Huang, B.H., K.H. Yung, and S.T. Chang, 1989. Fatty acid composition of *Volvariella volvacea* and other edible mushroom. **Mushroom Science**. 12.

Jeon, I. J., W. M. Breene., and S. T. Munson. 1975. Texture of fresh-pack whole cucumber pickles: correlation of instrumental and sensory measurements. **Journal of Texture Studies**. 5:399–409.

Jeong, S.C., Y.T.Jeong, B.K.Yang, R.Islam, S.R.Koyyalamudi, G.Pang, K.Y.Cho, and C.H.Song. 2010. White button mushroom (*Agaricus bisporus*) lowers blood glucose and cholesterol levels in diabetic and hypercholesterolemic rats. **Nutrition Research**. 30 : 49–56.

Kalac, P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. **Food Chemistry**. 113 : 9–16.

Katz, E. E., T. P. Labuza. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. **Journal of Food Science**. 46, 403–409.

Kavishree, S., J. Hemavathy, B.R. Lokesh, M.N. Shashirekha, and S. Rajarathnam. 2008. Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. **Food Chemistry**. 106 : 597–602.

Kawas, M.L., and R. G. Moreira. 2001. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. **Journal of Food Engineering**. 47:97–107.

Kerr, W. L. 2007. Food Drying and evaporation processing operations. **Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery**. 303–340. University of Georgia, Athens, GA, USA.

- Konopacka,D., A.Seroczynska, A.Korzeniewska, K. Jesionkowska, K.Niemirowicz-Szczytt, and W.Pocharski. 2010. Studies on the usefulness of *Cucurbita maxima* for the production of ready-to-eat dried vegetable snacks with a high carotenoid content. **LWT - Food Science and Technology**. 43 : 302–309.
- Kotwaliwale, N., P. Bakane, and A. Verma. 2007. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. **Journal of Food Engineering**. 78 :1207-1211.
- Krokida, M. K., V. Oreopolou., Z. B. Maroulis., and D. Marinos-Kouris. 2001. Deep fat frying of potato strips-quality issues. **Drying Technology**. 19:879–935.
- Krokida, M.K., V.T. Karathanos, Z.B. Maroulis, and D. Marinos-Kouris. 2003. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**. 59 : 391–403.
- Kurtzman, R.H., and F. Zadrazil. 1982. Physiological and taxonomic considerations for cultivation of *Pleurotus* mushrooms. In Chang ST, Quimio TH (Eds.) **Tropical Mushrooms: Biological Nature and Cultivation Methods**. Chinese University Press. Hong Kong, China. pp.299-348.
- Kurtzman, R. H. 1997. Nutrition from mushrooms, understanding and reconciling available data. **Mycoscience**. 38: 247-253.
- Labuza, T.P., S.R. Tannenbaum., and M. Karel. 1970. Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. **Food Technology**. 24:543–50.
- Labuza, T. P., and M. Saltmarch. 1981. The nonenzymatic browning reaction as affected by water in foods. In **Water activity: Influence on food qualities**. Academic Press. pp. 605–650.

Labuza, T., K. Roe., C. Payne., F. Panda., T. J. Labuza., P. S. Labuza., and L. Krusch. 2004. Storage stability of dry food systems: Influence of state changes during and storage. **Drying 2004**. Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). Sao Paulo, Brazil, 22-25 August 2004. A:48-68.

Lee, S. K., R. E. Voung., P. M. Schiffman., and C. W. Coggins. 1983. Maturity studies of arocade fruit based on picking dates and dry weight. **Journal of the American Society of Agricultural Science**. 180:390–394.

Lee, K., Y. Kim., D. Kim., H. Lee., and C. Lee. 2003. Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51:6516–6520.

Lee, J.S. 2005. Effects of fomes fomentarius supplementation on antioxidant enzyme activities, blood glucose, and lipid profile in streptozotocin-induced diabetic rats. **Nutrition Research**. 25 : 187–195.

Leeratanarak, N., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2006. Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques. **Journal of Food Engineering**. 77:635–643.

Leguijt, T., D. Yuksel, R. van der V. de Vries, M. Eillebrecht, N. Muskens, H. van der Valk, M. Sanders, T. de Rijk and H. Wichers. 1996. Flavor and texture of the common mushroom, *Agaricus bisporus*. pp. 515-523. In D.J. Royse, ed. **Mushroom Biology and Mushroom Products**. The Pennsylvania State University, Pennsylvania, U.S.A.

Li, G. S. F., and S. T. Chang. 1985. Determination of vitamin C (ascorbic acid) in some edible mushrooms by differential pulse polarography. **Mushroom Newsletters for Tropics**. 5:11–16.

- Lo, K. M., and P. C. K. Cheung. 2005. Antioxidant activity of extracts from the fruiting bodies of *Agrocybe aegerita* var. *alba*. **Food Chemistry**. 89:533–539.
- Luyten, H., J.J. Plijter., and T.V. Vliet. 2004. Crisp/crunchy crusts of cellular foods: a literature review with discussion. **Journal of Texture Studies**. 35 (5):445–492.
- Manzi, P., and L. Pizzoferrato. 2000. Beta-glucans in edible mushrooms. **Food Chemistry**. 68:315–318.
- Manzi, P., S. Marconi, A. Aguzzi, and L. Pizzoferrato. 2004. Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking. **Food Chemistry**. 84 : 201–206.
- Martinez-Navarraete, N., G. Moragu., P. Talens., and A. Chiralt. 2004. Water sorption and the plasticization effect in wafers. **International Journal of Food Science and Technology**. 39:555–562.
- Mattila, P., K. Suonpaa., and V. Piironen. 2000. Functional properties of edible mushroom. **Nutrition**. 16:694–696.
- Mazumder, P., B.S. Roopa, and S. Bhattacharya. 2007. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**. 79:511–516.
- Mccoy, H., N.A. Kenney, A. Kirby, J. Clark, G. Dione, F.C. Ercanli, E. Clover, M. Kurslung, H. Lewis, M. Liboman, S. Moak, S. Stallings, T. Wakefield, P. Schilling and S.J. Ritchey. 1986. Nutrient intakes of female adolescent from eight southern states. **Journal of the American Dietetic Association**. 84(10) : 1,453-1,460.
- McGarry, A. and K.S. Burton. 1994. Mechanical properties of mushroom, *Agaricus bisporus*. **Mycological Research**. 98: 241-245.

Middleton, E., C. Kandaswami., and T. C. Theoharides. 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammations, heart disease, and cancer. **Pharmacology Reviews**. 52:673–751.

Miles, P.G., and S.T. Chang. 1997. **Mushroom Biology: Concise Basics and Current Developments**. Singapore: World Scientific.

Mohapatra, D., J.M. Frias., F.A.R. Oliveira., Z.M. Bira., and J. Kerry. 2008. Development and validation of a model to predict enzymatic activity during storage of cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus* spp.). **Journal of Food Engineering**. 86 : 39-48.

Mujumdar, A. S. 2000. **Drying Technology in Agriculture and Food Sciences**. Enfield, NH: Science.

Nath, A., and P.K. Chattopadhyay. 2007. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**. 80 : 1282-1292.

Neil, D. B., M. Duxbury and N. Sharpe. 2001. The determination of chitinase activity of grapes: an introductory enzyme assay. **Biochemistry and Molecular Biology Education**. 29: 144-146.

Nielsen, A.C. Company. 1979. **Product and package performance: The consumers view**. A.C. Nielsen Co . IL.

Nijhuis, H.H., H.M. Torringa, S. Muresan, D. Yuksel, C. Leguijt, and W. Kloek. 1998. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**. 9:13-20.

- Pedreschi, F., K. Kaack., and K. Granby. 2004. Reduction of acrylamide formation in fried potato slices. **LebensmittelWissenschaft und-Technologie**. 37:679–685.
- Prabhavat, S., S. Reungmanee-paitoon and D. Hengsawadi. 1995. Production of high protein snacks from sweet potato. **Kasetsart Journal**. (Net. Sci.) 29(1) : 131-141.
- Pimpaporn, P., S. Devahastin., and N. Chiewchan. 2007. Effects of combined pretreatments on drying kinetics and quality of potato chips undergoing low-pressure superheated steam drying. **Journal of Food Engineering**. 81 : 318-329.
- Rai, R.D., and T. Arumuganathan. 2008. Post Harvest Technology of Mushrooms. **National Research Centre for Mushroom (ICAR)**. Chambaghat, Solan – 173 213 (HP), INDIA.
- Rama, V. and P. Jacob John. 2000. Effects of methods of drying and pretreatments on quality of dehydrated mushroom. **Indian Food Packer**. 54(5): 59-64.
- Reynolds, S. 1998. **Drying vegetables**. Health goods Healthy products Healthy information. Available. Source:<http://www.healthgoods.com>. 22 May 2010.
- Ribeiro, B., P. Valento., P. Baptista., R.M. Seabra., and P.B. Andrade. 2007. Phenolic compounds, organic acids profiles and antioxidative properties of beefsteak fungus (*Fistulina hepatica*). **Food and Chemical Toxicology**. 45:1805–1813.
- Rojo F.J., and J.F.V. Vincent. 2009. Objective and subjective measurement of the crispness of crisps from four potato varieties. **Engineering Failure Analysis**. 16:2698–2704.

- Roudaut, G., Dacremont, C., Plmies, B. V., Colas, B., Le Meste, M., 2002. Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**. 13, 217–227.
- Sajilata, M.G., and R.S. Singhal. 2005. Specialty starches for snack foods. **Carbohydrate Polymers**. 59:131–151.
- San, A. J. P., and C. Fordyce. 1972. Cultivation of the paddy straw mushroom *Volvariella volvacea* (Bull. ex. Fr.) Sing. **HortScience**. 7:461-464.
- Seeram, N. P., L. S. Adams., S. M. Henning., Y. T. Niu., Y. J. Zhang., and M. G. Nair. 2005. In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. **Journal of Nutritional Biochemistry**. 16:360–367.
- Singh, S. K., M. Narain and B.K. Kumbhar. 2001. Effect of drying air temperatures and standard pretreatments on the quality of fluidized bed dried button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Indian Food Packer**. 55(5): 82-86.
- Smânia, A., Jr., F. D. Monache., E. F. Smânia., M. L. Gil., L. C. Benchetrit., and F. S. Cruz. 1995. Antibacterial activity of a substance produced by the fungus *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. **Journal of Ethnopharmacology, Inglaterra**. 45:177–181.
- Songdach, C., Riebroy, S., Pasakawee, K., Banjongsinsiri, P., Ruangthamsing, R., Siritwong, N., 2011. Proceeding of a Conference on the Texture and color characteristics of crispy healthy snack produced from shiitake, straw, and indian oyster mushrooms. Food Innovations: Key to Creative Economy, The 12th ASEAN Food Conference, June 16-18. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. pp. 722-725.

Steel, R. G. D., Torrie, J. H., 1980. **Principle and procedure of statistics** (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Sun-Waterhouse, D., A. Teoh., C. Massarotto., R. Wibisono., and S. Wadhwa. 2010. Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. **Food Chemistry**. 119: 1369–1379.

Synytsya, A., K.Mickova, A.Synytsya, I.Jablonsky, J.Spevacek, V.Erban, E. Kovarikova, and J.Copikova. 2009. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. **Carbohydrate Polymers**. 76 : 548–556.

Troncoso, E., F. Pedresch., and R.N. Zúñiga. 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. **LWT - Food Science and Technology**. 42: 187–195.

Tsai,S.Y., S.J.Huang, S.H.Lo, T.P.Wu, P.Y.Lian, and J.L.Mau. 2009. Flavour components and antioxidant properties of several cultivated mushrooms. **Food Chemistry**. 113 : 578–584.

Turkoglu, A., M.E. Duru., N. Mercan., I. Kivrak., and K. Gezer. 2007. Antioxidant and antimicrobial activities of *Laetiporus sulphureus* (Bull) Murrill. **Food Chemistry**. 101:267–273.

Vetter, J. 2003. Data on sodium content of common edible mushrooms. **Food Chemistry**. 81 : 589–593.

Vetter, J., 2007. Chitin content of cultivated mushrooms *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes*. **Food Chemistry**. 102: 6–9.

- Vidovic, S. S., I.O. Mujic., Z. P. Zekovic., Z. D. Lepojevic., V. T. Tumbas., and A. I. Mujic. 2010. Antioxidant properties of selected boletus mushrooms. **Food Biophysics**. 5:49–58.
- Vickers, Z.M., and M.C. Bourne. 1976. A psychoacoustical theory of crispness. **Journal of Food Science and Technology**. 41: 1158-1164.
- Vliet, T., T.A. Aken, H.H.J. Jongh, and R.J. Hamer. 2009. Colloidal aspects of texture perception. **Advances in Colloid and Interface Science**. 150 : 27-40.
- Walde, S.G., V. Velu., T. Jyothirmayi., and R.G. Math. 2006. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. **Journal of Food Engineering**. 74 (1):108–115.
- Wasser, S. P., and A. L. Weis. 1999. Medicinal properties of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms: current perspectives (review). **International Journal of Medicinal Mushrooms**. 1:31– 62.
- Wasser, S. P. 2002. Medicinal mushroom as a source of antitumor and immunomodulation polysaccharides. **Applied Microbiology and Biotechnology**. 60:258–274.
- Wong, J.Y., and F.Y. Chye. 2009. Antioxidant properties of selected tropical wild edible mushrooms. **Journal of Food Composition and Analysis**. 22:269–277.
- Yapar, S., S.S. Helvaci, and S. Peker. 1990. Drying behaviour of mushroom slices. **Drying Technology**. 8(1): 77-99.

Zaidman, B. Z, M. Yassin, J. Mahajna, and S. P. Wasser. 2005. Medicinal mushroom modulators of molecular targets as cancer therapeutics. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 67: 453–468.





ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

สูตร [†]	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)
CMS-1	0.396 ^a
CMS-2	0.392 ^a
CMS-3	0.394 ^a
CMS-4	0.394 ^a
CMS-5	0.396 ^a
CMS-6	0.392 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

[†]อัตราส่วนของเห็ดหอม:เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0 (CMS-1) 50:45:5 (CMS-2) 50:35:15 (CMS-3) 50:25:25 (CMS-4) 50:15:35 (CMS-5) และ 50:5:45 (CMS-6)

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทน
เห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง

สูตร*	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w)
CMD-1	0.374 ^a
CMD-2	0.368 ^c
CMD-3	0.370 ^b
CMD-4	0.366 ^d
CMD-5	0.366 ^d

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

*อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0 (CMD-1) 75:25 (CMD-2) 50:05 (CMD-3) 25:75 (CMD-4) และ 0:100 (CMD-5)



วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า (Electric oven)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = 100 \times \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อย
2. อุปกรณ์การกลั่น
3. อุปกรณ์การไตเตรท

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลาย NaOH 40%
3. สารละลายบอริก 4%
4. คะตะลิสต์ ประกอบด้วย K_2SO_4 98% และ $CuSO_4$ 2%
5. สารละลายอินดิเคเตอร์ เมธิลเรด
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N

วิธีวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างมาประมาณ 0.5 – 1.0 กรัม อย่างละเอียดใส่ลงในหลอด
ย่อย

2. ใส่กะตะลิสต์ ประมาณ 10 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบาๆ

การย่อย

4. เปิดเครื่องย่อย แล้วตั้งหลอดย่อยในเครื่อง สวมเครื่องดักจับไอนกรดลงบนส่วนบนของหลอดย่อย และเปิด Power ของเครื่องดักจับไอนกรด โดยทำการย่อยในตู้ดูดควัน
5. กดปุ่ม Start ที่เครื่องย่อย เมื่ออุณหภูมิได้ 420 องศาเซลเซียสแล้ว เครื่องจะทำการย่อยต่อไปอีก 1 ชั่วโมง จนตัวอย่างเป็นสารละลายสีเขียวใส (หากเมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วยังไม่เป็นสีเขียวใสให้ทำการย่อยต่อ)
6. ยกหลอดย่อยออกมาตั้งพักไว้ให้เย็น
7. ปิด Power เครื่องย่อย แต่ยังคงเปิดเครื่องดักจับไอนกรดไว้เพื่อดักจับไอนกรดที่ยังคงเหลืออยู่

การกลั่น

8. เปิด Power เครื่องหล่อเย็น แล้วเปิดเครื่องกลั่นทำการล้างระบบด้วยการล้างน้ำกลั่น
9. ตวงกรดบอริก 4% 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร พร้อมหยดอินดิเคเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้กลายเป็นสารละลายสีแดงออกชมพู
10. นำหลอดย่อยประกอบเข้ากับเครื่องกลั่น และวางไว้บริเวณ Platform ให้แท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้กรดบอริก
11. ปิด Safety door ลง เครื่องกลั่นจะทำการกลั่นเป็นเวลาประมาณ 4 นาที
12. เมื่อกลั่นเสร็จแล้ว เอาขวดรูปชมพู่ และหลอดย่อยออกจากเครื่อง
13. นำสารละลายในขวดรูปชมพู่ไปไทเทรตกับสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อน
14. คำนวณผลการวิเคราะห์ดังนี้

การคำนวณ

$$\% \text{Nitrogen} = \frac{\text{N HCl} \times \text{Corrected acid volume} \times 14 \times 100}{\text{Weight of sample (g)} \times 1000}$$

$$\% \text{Protein} = \% \text{N} \times \text{Conversion factors}$$

3. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. เครื่องสกัดไขมันแบบ soxhlet
3. ปีโตรเลียมอีเทอร์
4. ตัวอย่างอาหาร
5. สำลี
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. โถดูดความชื้น
8. กระดาษกรองเบอร์ 1

วิธีวิเคราะห์

1. อบ Extraction cup สำหรับหาปริมาณไขมันในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัมบนกระดาษกรอง (จดน้ำหนักที่แน่นอน) แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง (Extraction thimble) คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Extraction cup
4. เติมปีโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดสำหรับสกัดไขมัน 70 มิลลิลิตร จากนั้นนำทิมเบิลใส่ลงไป
5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น และเปิดสวิทช์ให้ความร้อน
6. กดปุ่ม Set และกดลูกศรขึ้นหรือลงเพื่อเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (105 องศาเซลเซียส) เวลาที่ใช้ในการสกัด (Extraction time) (45 นาที) เวลาสำหรับการล้าง (washing time) (30 นาที) และเวลาสำหรับการระเหยตัวทำละลาย (30 นาที)
7. นำ Extraction cup ออกจากเครื่องสกัด ทิ้งให้ตัวทำละลายระเหยออกให้หมดในตู้ควบ
8. นำ Extraction cup อบในตู้ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

9. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่ง ผลต่างของ น้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

10. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. Hot plate
6. ถังมือกันร้อน
7. ตู้อบไฟฟ้า

วิธีวิเคราะห์

1. เมาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาเสถียรลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. เมาซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้คว้นจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผา ตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1

4. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้าคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} - \text{ก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5. การวิเคราะห์หาปริมาณการใย (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวิเคราะห์หาใยอาหารหยาบ
3. Fritted glass crucible
4. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า
5. เตาเผา
6. โถดูดความชื้น
7. สารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 1.25
8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 1.25

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันแล้ว ใส่ลงใน Fritted glass crucible นำไปวางที่เครื่อง

วิเคราะห์หาใยอาหารหยาบ

2. เติมสารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 1.25 ประมาณ 150 มิลลิลิตร ปรับความร้อนจนสารละลายกรดเดือด เพื่อย่อยตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที
3. ถ่ายสารละลายกรดออก จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน ประมาณ 150 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 1.25 ประมาณ 150 มิลลิลิตร ปรับความร้อนจนสารละลายต่างเดือด เป็นเวลา 30 นาที
5. ถ่ายสารละลายต่างออก จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน ประมาณ 150 มิลลิลิตร 3 ครั้ง

6. นำ Fritted glass crucible ไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นประมาณ 45 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักและจดบันทึก

7. นำ Fritted glass crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเตาเผา รอให้ Fritted glass crucible มีอุณหภูมิลดลงประมาณ 150-200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นประมาณ 45 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักและจดบันทึก (ส่วนของใยอาหารหยาบคือส่วนที่ถูกเผาหายไป)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกากใย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

6. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

วิธีการ

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{ใยอาหารหยาบ})$$

7. การวิเคราะห์หาปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (Buege and Aust, 1978)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองพร้อมฝาเกลียว
2. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เครื่องเหวี่ยงแยก

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 25 มิลลิลิตร และไฮโมจิเนสเป็นเวลา 1 นาที
2. เทตัวอย่างลงในหลอดทดลอง นำไปวางที่อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที
3. ทำให้เย็นโดยนำหลอดทดลองไปไหลผ่านน้ำเป็นเวลา 2 นาที
4. นำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 5500 x g นาน 20 นาที
5. นำสารละลายใสที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 532 นาโนเมตร
6. เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยใช้ TEP ที่ความเข้มข้นจาก 0 ถึง 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดังรูปผนวกที่ 1 และแสดงผลค่า TBARS ในรูปของมาโลอัลดีไฮด์/มิลลิกรัมของตัวอย่าง

8. การวิเคราะห์ค่าออกเตอรแอกติวิตี้ (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าออกเตอรแอกติวิตี้

วิธีการ

1. ตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดค่าออกเตอรแอกติวิตี้ให้ได้ 25 องศาเซลเซียส
2. บดตัวอย่างและบรรจุลงในตลับพลาสติกให้ได้ปริมาตรประมาณร้อยละ 80-90
3. นำตลับตัวอย่างใส่ลงใน Measuring chamber
4. บันทึกค่าออกเตอรแอกติวิตี้ เมื่อค่าที่เครื่องวัดคงที่



วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

1. การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (PCA)
2. สารละลายเปปโตเน เข้มข้นร้อยละ 0.1

อุปกรณ์

1. เครื่องตีปั่นไฟฟ้า (Stomacher)
2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 10 กรัม โดยปราศจากเชื้อ (aseptic technique) เติมสารละลายเปปโตเน เข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง เท่ากับ 10^{-1} จากนั้นนำไปทำการเจือจางจนได้ระดับความเจือจางที่ต้องการ
2. ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Pour plate method โดยการปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ที่ระดับความเจือจางที่ต้องการลงในจานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว
3. เททับด้วยอาหาร PCA ประมาณ 15 มิลลิลิตร
4. หมุนจานเพาะเชื้อเบาๆ แล้วตั้งทิ้งให้อาหารแข็งตัวประมาณ 15 นาที
5. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเพาะเชื้อ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง
6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30-300 โคโลนี คูณด้วยค่า dilution factor ของระดับความเจือจางที่นับได้ และรายงานผลเป็นจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่อหนึ่งกรัม (CFU/g)

2. การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (AOAC, 2000)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Potato dextrose agar (PDA)
2. สารละลายเปปโตเน เข้มข้นร้อยละ 0.1

อุปกรณ์

1. เครื่องตีปั่นไฟฟ้า (Stomacher)
2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 10 กรัม โดยปราศจากเชื้อ (aseptic technique) เติมสารละลายเปปโตเน เข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ฆ่าเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง เท่ากับ 10^{-1} จากนั้นนำไปทำการเจือจางจนได้ระดับความเจือจางที่ต้องการ
2. ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Pour plate method โดยการปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ที่ระดับความเจือจางที่ต้องการลงในจานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว
3. เททับด้วยอาหาร PDA ประมาณ 15 มิลลิลิตร
4. หมุนจานเพาะเชื้อเบาๆ แล้วตั้งทิ้งให้อาหารแข็งตัวประมาณ 15 นาที
5. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเพาะเชื้อ เป็นระยะเวลา 7 วัน
6. ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30-300 โคโลนี คูณด้วยค่า dilution factor ของระดับความเจือจางที่นับได้ และรายงานผลเป็นจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่อหนึ่งกรัม (CFU/g)



**แบบทดสอบการยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ เห็ดแผ่นอบกรอบ**

ชื่อ-นามสกุล.....

วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนการยอมรับ

ตัวอย่าง ในแต่ละปัจจัยที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

กำหนดให้

9 = ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
8 = ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
7 = ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก
6 = ชอบน้อย	1 = ไม่ชอบมากที่สุด
5 = เฉยๆ	

คะแนนการยอมรับ/ความชอบ

คุณลักษณะ/ตัวอย่าง						
ลักษณะปรากฏ						
สี						
กลิ่น						
ความกรอบ						
กลิ่นรส						
รสชาติ						
ความชอบรวม						

คำแนะนำ/ลักษณะต่างๆ เพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....ขอขอบคุณค่ะ

**แบบทดสอบการยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ เห็ดแผ่นอบกรอบ**

ชื่อ-นามสกุล.....

วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนการยอมรับ

ตัวอย่าง ในแต่ละปัจจัยที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

ผลิตภัณฑ์เห็ดแผ่นอบกรอบ มีจำนวน 2 ชุด โดยในการทดสอบตัวอย่าง ควรให้คะแนน

ในแต่ละชุดตามความรู้สึกของท่าน โดยไม่นำทั้ง 2 ชุดมาเปรียบเทียบกัน

กำหนดให้

9 = ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
8 = ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
7 = ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก
6 = ชอบน้อย	1 = ไม่ชอบมากที่สุด
5 = เฉยๆ	

คะแนนการยอมรับ/ความชอบ

คุณลักษณะ/ตัวอย่าง	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2	
					
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่น					
ความกรอบ					
กลิ่นรส					
รสชาติ					
ความชอบรวม					

คำแนะนำ/ลักษณะต่างๆ เพิ่มเติม

.....

.....

.....ขอขอบคุณค่ะ



บัญชีหมายเลข 3

แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541

สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

(THAI RECOMMENDED DAILY INTAKES-THAI RDI)

“มาตรการสำคัญในการดำเนินการปรับปรุงและส่งเสริมให้ประชาชนมีภาวะโภชนาการที่ดีสามารถดำรงสุขภาพอนามัยอย่างสมบูรณ์ คือ การวางแผนจัดการด้านอาหารบริโภค โดยมุ่งให้ประชาชนส่วนรวมของประเทศได้รับอาหารบริโภคประจำวันซึ่งประกอบด้วยสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการอย่างเหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ซึ่งความต้องการอาหารและโภชนาการในระดับบุคคล กลุ่มบุคคล หรือชุมชน จะเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมและองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ประเทศต่าง ๆ จะต้องจัดให้มีแนวทางหรือหลักการในการแนะนำอาหารบริโภคสำหรับประชาชนในประเทศของตน ให้บริโภคอาหารมีคุณค่าสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับความต้องการด้านโภชนาการอย่างแท้จริง...”

กรมอนามัยได้จัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย (Recommended Daily Dietary Allowances for Healthy Thais) ซึ่งใช้ชื่อย่อว่า RDA ขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2532 บัญชี RDA นี้กำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทยไว้ รวม 17 ชนิด โดยแบ่งกลุ่มคนไทยเป็นกลุ่มใหญ่ 8 กลุ่มตามอายุและเพศ และเนื่องจากความต้องการสารอาหารบางชนิดแตกต่างกันตามอายุ แต่ละกลุ่มจึงยังมีการแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามระดับอายุอีกด้วย ข้อกำหนดนี้จึงจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีสารอาหารตามความต้องการสำหรับแต่ละกลุ่มโดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามการจัดทำฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารทั่ว ๆ ไป กำหนดไว้ว่าต้องแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นโดยแจ้งชนิดและปริมาณของสารอาหารที่มี รวมถึงให้แจ้งด้วยว่าปริมาณสารอาหารที่มีนั้นมียูเป็นสัดส่วนเท่าใดของปริมาณที่ผู้บริโภคต้องการต่อวัน และเนื่องจากผู้บริโภคในที่นี้หมายถึงบุคคลทั่วไปตั้งแต่เด็กถึงผู้ใหญ่ จึงจำเป็นจะต้องมีค่าความต้องการสารอาหารต่อวันสำหรับบุคคลทั่วไปนี้เพียงค่าเดียวเป็นค่ากลาง เพื่อใช้สำหรับการคำนวณและเปรียบเทียบ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงได้พิจารณาจัดทำบัญชี**สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes – Thai RDI)** นี้ขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการเป็นค่าอ้างอิงสำหรับคำนวณในแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหาร อย่างไรก็ตามค่า Thai RDI ซึ่งเป็นค่ากลางสำหรับคนไทยทั่วไปนั้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรอาหาร ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการกำหนดนโยบายทางโภชนาการกว้าง ๆ สำหรับบุคคลทั่วไป เช่น การเติมสารอาหาร หรือการประยุกต์ใช้อื่น ๆ ได้ตามความเหมาะสมโดยต้องคำนึงด้วยว่าข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับผู้ที่สุขภาพปกติ (healthy) มิใช่ผู้ป่วย เด็กทารก หญิงมีครรภ์ หรือกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งมีความต้องการทางโภชนาการต่างไปจากกลุ่มบุคคลปกติ นอกจากนั้น**การได้รับสารอาหารต่าง ๆ ตามที่กำหนดนี้ควรได้รับการบริโภคอาหารหลัก 5 หมู่เป็นสำคัญ** เนื่องจากยังมีสารอาหารอื่น ๆ อีกมากในอาหารหลักของเราที่ยังไม่ได้รับการแยกออก และเป็นที่รู้จักเป็นตัวเอง ๆ แต่ก็มี**ความสำคัญและจำเป็นต่อระบบการทำงานตามปกติของร่างกาย**

สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหาร หรือที่เรียกว่า “ฉลากโภชนาการ” (Nutrition Labeling) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากค่า Recommended Daily Dietary Allowances for Healthy Thais (Thai RDA) โดยเลือกค่าสูงสุดจากค่าที่แนะนำสำหรับคนอายุ 20-29 ปี ทั้ง 2 เพศ, ค่า Daily Values (DV), Daily Reference Values (DRV), Reference Daily Intakes (RDI) (หรือค่า US RDA เดิม) ซึ่งกำหนดโดย United States Food and Drug Administration และ ค่า Nutrient Reference Values (NRV) จาก Codex โดยกำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นระดับที่คนไทย (ผู้ใหญ่) ส่วนใหญ่ที่มีสภาวะทางสุขภาพปกติต้องการ เป็นฐานหรือเป็นตัวเลขกลางในการคำนวณ **เพื่อวัตถุประสงค์ในการแสดงฉลากโภชนาการเท่านั้น** ทั้งนี้ความต้องการพลังงานที่แท้จริงต่อวันของแต่ละบุคคลอาจน้อยกว่าหรือมากกว่า 2,000 กิโลแคลอรีได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ เพศ และความแตกต่างของระดับการใช้พลังงานทางกายภาพ (physical activity level) ของแต่ละบุคคล

ลำดับที่ (No.)	สารอาหาร (Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (Thai RDI)	หน่วย (Unit)
1.	ไขมันทั้งหมด (Total Fat)	65*	กรัม (g)
2.	ไขมันอิ่มตัว (Saturated Fat)	20*	กรัม (g)
3.	โคเลสเตอรอล (Cholesterol)	300	มิลลิกรัม (mg)
4.	โปรตีน (Protein)	50*	กรัม (g)
5.	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total Carbohydrate)	300*	กรัม (g)
6.	ใยอาหาร (Dietary Fiber)	25	กรัม (g)
7.	วิตามินเอ (Vitamin A)	800	ไมโครกรัม อาร์ อี ($\mu\text{g RE}$)
8.	วิตามินบี 1 (Thiamin)	1.5	มิลลิกรัม (mg)
9.	วิตามินบี 2 (Riboflavin)	1.7	มิลลิกรัม (mg)
10.	ไนอะซิน (Niacin)	20	มิลลิกรัม เอ็น อี (mg NE)
11.	วิตามินบี 6 (Vitamin B6)	2	มิลลิกรัม (mg)
12.	โฟเลต (Folate)	200	ไมโครกรัม (μg)
13.	ไบโอติน (Biotin)	150	ไมโครกรัม (μg)
14.	กรดแพนโทธีนิก (Pantothenic Acid)	6	มิลลิกรัม (mg)
15.	วิตามินบี 12 (Vitamin B12)	2	ไมโครกรัม (μg)
16.	วิตามินซี (Vitamin C)	60	มิลลิกรัม (mg)
17.	วิตามินดี (Vitamin D)	5	ไมโครกรัม (μg)
18.	วิตามินอี (Vitamin E)	10	มิลลิกรัม แอลฟา-ที อี (mg α -TE)
19.	วิตามินเค (Vitamin K)	80	ไมโครกรัม (μg)
20.	แคลเซียม (Calcium)	800	มิลลิกรัม (mg)
21.	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	800	มิลลิกรัม (mg)

ลำดับที่ (No.)	สารอาหาร (Nutrient)	ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (Thai RDI)	หน่วย (Unit)
22.	เหล็ก (Iron)	15	มิลลิกรัม (mg)
23.	ไอโอดีน (Iodine)	150	ไมโครกรัม (μg)
24.	แมกนีเซียม (Magnesium)	350	มิลลิกรัม (mg)
25.	สังกะสี (Zinc)	15	มิลลิกรัม (mg)
26.	ทองแดง (Copper)	2	มิลลิกรัม (mg)
27.	โพแทสเซียม (Potassium)	3,500	มิลลิกรัม (mg)
28.	โซเดียม (Sodium)	2,400	มิลลิกรัม (mg)
29.	แมงกานีส (Manganese)	3.5	มิลลิกรัม (mg)
30.	ซีลีเนียม (Selenium)	70	ไมโครกรัม (μg)
31.	ฟลูออไรด์ (Fluoride)	2	มิลลิกรัม (mg)
32.	โมลิบดีนัม (Molybdenum)	160	ไมโครกรัม (μg)
33.	โครเมียม (Chromium)	130	ไมโครกรัม (μg)
34.	คลอไรด์ (Chloride)	3,400	มิลลิกรัม (mg)

* ปริมาณของไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ที่แนะนำให้บริโภคต่อวันคิดจากการเปรียบเทียบพลังงานที่ควรได้จากสารอาหารดังกล่าวเป็นร้อยละ 30, 10, 10 และ 60 ตามลำดับของพลังงานทั้งหมดหากพลังงานทั้งหมดที่ควรได้รับต่อวันเป็น 2,000 กิโลแคลอรี (ไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี, โปรตีน 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี, คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี)

หมายเหตุ

- สำหรับน้ำตาลไม่ควรบริโภคเกินร้อยละ 10 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้รับต่อวัน
- คำอธิบายหน่วยของวิตามินเอ ไนอะซิน วิตามินอี และวิตามินดี
 - วิตามินเอ RE = Retinol equivalent
1 RE = 1 μg retinol = 6 μg β -carotene = 3.33 IU
 - ไนอะซิน NE = Niacin equivalent
1 NE = 1 mg niacin = 60 mg tryptophan

2.3 วิตามินอี α -TE = α -Tocopherol equivalent

1 α -TE = 1 mg D- α -tocopherol = 1.5 IU

2.4 วิตามินดีมีหน่วยเป็น ไมโครกรัม โดยคำนวณเป็น cholecalciferol

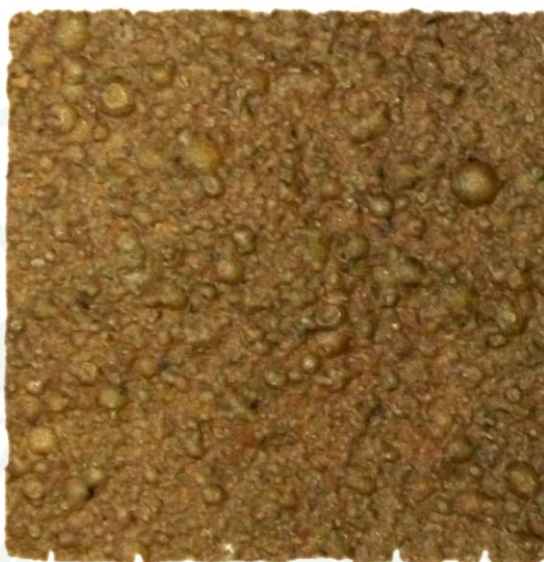
1 μ g = 40 IU





ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด

1. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ด



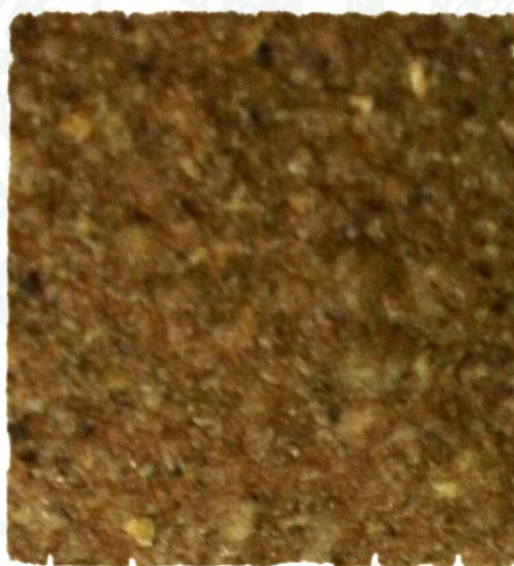
ภาพผนวกที่ ฉ1 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-1 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 100:0:0)



ภาพผนวกที่ ฉ2 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-2 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:45:5)



ภาพผนวกที่ จ3 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-3 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:35:15)



ภาพผนวกที่ จ4 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-4 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:25:25)



ภาพผนวกที่ ฉ5 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-5 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:15:35)



ภาพผนวกที่ ฉ6 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดสูตร CMS-6 (อัตราส่วนของเห็ดหอม: เห็ดฟาง:เห็ดนางฟ้า คือ 50:45:5)

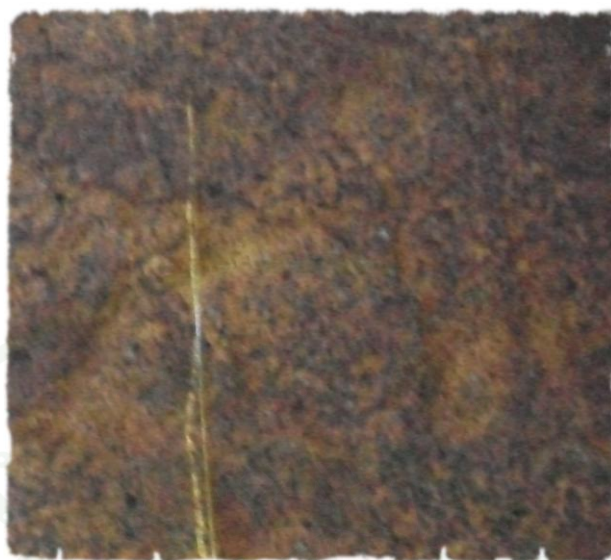
2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้ง



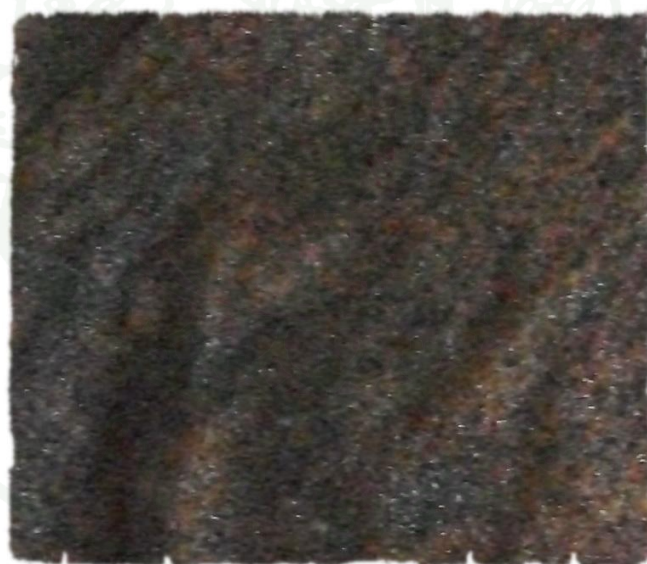
ภาพผนวกที่ ๗ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสูตร CMD-1 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 100:0)



ภาพผนวกที่ ๘ ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสูตร CMD-2 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 75:25)



ภาพผนวกที่ จ9 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสูตร CMD-3 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 50:50)



ภาพผนวกที่ จ10 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสูตร CMD-4 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 25:75)



ภาพผนวกที่ จ11 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพจากเห็ดที่ทดแทนเห็ดสดด้วยเห็ดแห้งสูตร
CMD-5 (อัตราส่วนของเห็ดสด:เห็ดแห้ง คือ 0:100)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจันทรกานต์ ทรงเดช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 มกราคม 2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (คหกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-