ผลของอบเชยต่อคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็ง

นางสาวศิริพร น่าชม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF CINNAMON ON QUALITY OF FROZEN GROUND MACADAMIA FILLING

Miss Siriporn Nachom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอบเชยต่อคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็ง
โดย	นางสาวศิริพร น่าชม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริพร น่าชม: ผลของอบเชยที่มีต่อคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็ง
EFFECT OF CINNAMON ON QUALITY OF FROZEN GROUND MACADAMIA FILLING. อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์ และ ผศ.ดร. วรภา คงเป็นสุข, 159 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชย (Cinnamon spp.) และการนำไปใช้ในไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งโดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการทดสอบสมบัติต้านอนุมูล DPPH และวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Folin-Ciocalteu method) โดยแปรอัตราส่วนของอบเชยผงต่อปริมาตรเมทานอล (1:20 และ 1:50, w/v) และเวลาการสกัด (4-10 ชั่วโมง) ของอบเชยเทศ อบเชยจีน อบเชยชวา และสารกันหืนสังเคราะห์ BHA และศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดอบเชยที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุดในตัวทำละลายเมทานอล และ BHA ในน้ำมันแมคาเดเมีย (MO) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ (RSO) ที่ความเข้มข้น 120 mg/kg โดยวิธี Rancimat® พบว่าภาวะการสกัดที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนอบเชยผงต่อปริมาตรเมทานอล 1:50 (w/v) เวลาการสกัด 8 ชั่วโมง โดยอบเชยเทศมีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุด ($p\leq0.05$) และไม่แตกต่างกับ BHA ($p>0.05$) และพบว่าใน RSO สารสกัดอบเชยและ BHA มีค่า Protection Factor (PF) 1.04 และ 1.08 ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และ BHA มีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันใน MO ดีกว่าสารสกัดอบเชย (PF 1.14 และ 0.89) อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ส่วนที่ 2 เป็นการนำอบเชยเทศผงไปใช้ในไส้แมคาเดเมียบดที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม โดยแปรปริมาณอบเชยเทศผงที่ 0.5-1.5 % (w/w) พบว่าสูตรไส้แมคาเดเมียที่พัฒนาได้ประกอบด้วยแมคาเดเมียบด 40% แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 5%, กลูโคสซีรัป 25%, น้ำตาลไอซิ่ง 10%, น้ำ 19.5% และอบเชย 0.5% (w/w) สมบัติทางเคมีของแมคาเดเมียบด พบว่ามีปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 12.15%, 74.75% และ 0.16% ตามลำดับ สมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย พบว่ามีปริมาณความชื้น ไขมันทั้งหมด และกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 27.74%, 1.11% และ 0.14% ตามลำดับ มีลักษณะเนื้อสัมผัสคือ มีค่า hardness 21.74 g_f, cohesiveness 0.69, adhesiveness 60.00 g_f-mm, springiness 0.31, gumminess 14.91 g_f และ chewiness 4.66 g_f มีค่าความสว่าง (L*) 31.18, ความเป็นสีแดง (a*) 9.13, ความเป็นสีเหลือง (b*) 20.87 และค่า a_w เท่ากับ 0.822 ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิค (อุณหภูมิ -20 และ -30 °C) พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C นาน 102.6 วินาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไส้แมคาเดเมียบด และส่วนที่ 4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาที่ -18 °C เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งยังไม่เกิดการหืน ลักษณะเนื้อสัมผัส และสีไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างเริ่มต้น ($p>0.05$) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย และยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ศิริพร น่าชม
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

#4972502523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : CINNAMON / QUALITY / FROZEN / MACADAMIA / FILLING

SIRIPORN NACHOM : EFFECT OF CINNAMON ON QUALITY OF FROZEN GROUND MACADAMIA FILLING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph. D., THESIS CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. NINNART CHINPRAHAST, Ph. D., AND ASST. PROF. VARAPHA KONGPENSOOK, Ph. D., 159 pp.

The objectives of this research were to study the antioxidant capacities (AOC) of cinnamon extract (*Cinnamon spp.*) and use it in frozen ground macadamia filling (GMF). The experiments were divided into 4 parts. Firstly, the AOC by DPPH° method and total phenolic contents (Folin-Ciocalteau method) of 3 varieties of cinnamon *(C. zeylanicum, C. cassia,* and *C. burmanni)* extracts were determined by varying the solid:liquid ratio (cinnamon powder : absolute methanol) at 1:20 and 1:50 (w/v) and extraction time (4-10 hour) and compared with the synthetic antioxidant BHA. The oxidative stability in macadamia oil (MO) and refined soybean oil (RSO) by Rancimat® method of the cinnamon extract having the best AOC (120 mg/kg) was compared with BHA. The results showed that the best extraction condition was the solid:liquid ratio of 1:50 (w/v) for 8 h. *C. zeylanicum* had the highest AOC and was not significantly different from the BHA ($p>0.05$). The protection factor (PF) of cinnamon extract and BHA in RSO (1.04 และ 1.09) were not significantly different ($p>0.05$), while in MO BHA (PF 1.14) was found to stabilize better than the extract (PF 0.89). Secondly, the formulation of the GMF was developed and was found to consist of 40% ground macadamia(GM), 5% modified starch, 25% glucose syrup, 10% icing sugar, 19.5 % water, and 0.5 % cinnamon powder. The moisture content, free fatty acid and total fat of GM were 12.15%, 74.75%, and 0.16% while those of GMF were 27.74%, 1.11%, and 0.14% respectively. The textural properties of GMF were hardness 21.74 g_f, cohesiveness 0.69, adhesiveness 60.00 g_f-mm, springiness 0.31, gumminess 14.91 g_f and chewiness 4.66 g_f. The color values (L*, a*, and b*) were 31.18, 9.13 and 20.87 and a_w was 0.822. Thirdly, the optimum of temperature of cryogenic freezing (-20 and -30 °C) GMF were determined and the best condition was freezing at -20 °C for 102.6 sec. Finally, the changes in chemical, physical, microbiological, and sensory properties of the GMF during storage at -18 °C for 6 months were studied. It was found that no rancidity was detected, TPA and color were not singnificantly different from the fresh GMF and the total aerobic plate count , yeast and mould were conform with in the standard of Thai dessert, and sensory quality was accepted.

Department : Food Technology Student's Signature Siriporn Nachom

Field of Study : Food Technology Advisor's Signature S. Chaiwanichsiri

Academic Year : 2009 Co-Advisor's Signature Ninnart Chinprahast

Co-Advisor's Signature Varapha kongpensook

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือของหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์ และผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อชี้แนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาในการวิจัยตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล สำหรับคำแนะนำที่ดีและการประสานงานกับทางไร่เพื่อขอแมคาเดเมียในแต่ละครั้ง

ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้การสนับสนุนในด้านต่างๆของงานวิจัยนี้ดังต่อไปนี้ ได้แก่ โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.ร่วมกับอุตสาหกรรม (สสว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทุนอุดหนุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย คุณประพัทธ์ พิมประโพธ สำหรับแมคาเดเมียซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในงานวิจัย คุณมิน และคุณเอมใจ คำแสง ที่ให้ความอนุเคราะห์อบเชยผงทางการค้า บริษัท เอเซียโมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลังดัดแปร บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ไนโตรเจนเหลว บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (M-tec) สำหรับการใช้เครื่อง Rancimat® ห้องปฏิบัติการวิจัยและบริการ ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย รวมทั้งนักวิจัยทุกท่านวารสารวิชาการทุกฉบับ และหนังสือทุกเล่ม สำหรับความรู้ที่ได้รับสำหรับใช้ในการอ้างอิงในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้อง ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ และกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว และญาติพี่น้องทุกคน ที่สนับสนุนการศึกษา การเงิน คำแนะนำ คำปรึกษา กำลังใจ ความห่วงใย และความช่วยเหลือทุกๆอย่างเป็นอย่างดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ฐ

บทที่

1 บทนำ.....1

2 วารสารปริทัศน์.....3

2.1 แมคาเดเมีย.....3

2.2 ไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย.....17

2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน.....18

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร.....20

2.5 การตรวจสอบความหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....21

2.6 สารต้านออกซิเดชัน.....22

2.7 กลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน.....29

2.8 การทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระ.....30

2.9 การศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....34

2.10 อบเชย.....35

2.11 การแช่เยือกแข็ง.....39

3 วิธีการทดลอง.....41

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....41

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....42

4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....52

4.1 การศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย.....52

4.2 ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันพืช.....54

4.3 การพัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด.....57

4.4 ศึกษาภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม.....68

บทที่ หน้า

4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี สมบัติกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส……72
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ……79
รายการอ้างอิง……81
ภาคผนวก……91
ภาคผนวก ก……92
ภาคผนวก ข……116
ภาคผนวก ค……144
ภาคผนวก ง……157
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……159

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณค่าทางโภชนาการของแมคาเดเมียดิบ.....5

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ).....11

2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดได้จากนัต 5 ชนิด.....12

2.4 ข้อมูลรายละเอียดพันธุ์แมคาเดเมีย.....13

2.5 องค์ประกอบกรดไขมันของแมคาเดเมีย (*Macadamia* spp.).....14

2.6 สมบัติกายภาพของ Butylated Hydroxyanisole (BHA).....24

4.1 ผลของอัตราส่วนการสกัดและเวลาต่อ % Yield และสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย.....53

4.2 สมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยกับสารกันหืนสังเคราะห์ BHA.....54

4.3 เปรียบเทียบร้อยละองค์ประกอบกรดไขมัน, ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ, PV, AV และ totox value ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง.....56

4.4 ค่า Induction time และค่า Protection Factor ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง.....57

4.5 สมบัติทางเคมีของแมคาเดเมียบด.....57

4.6 สูตรที่พัฒนาได้จาก Mixture Design.....59

4.7 คะแนนการทดสอบการยอมรับของการพัฒนาสูตรของไส้แมคาเดเมียบด.....60

4.8 ค่าสีและค่า a_w ของไส้แมคาเดเมียบด.....60

4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบด.....61

4.10 ผลของปริมาณอบเชยต่อคะแนนความชอบของไส้แมคาเดเมียบด.....63

4.11 ผลของปริมาณอบเชยต่อค่าสีและ a_w ของไส้แมคาเดเมียบด.....63

4.12 องค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันในแมคาเดเมียบด กะทิสำเร็จรูป และไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ.....66

4.13 สมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดสูตรที่ใส่กะทิและสูตรที่ไม่ใส่กะทิ.....67

4.14 สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดสูตรที่ใส่กะทิและสูตรที่ไม่ใส่กะทิ.....67

4.15 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ.....69

ตารางที่ หน้า

4.16 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็งและร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็งของไส้แมคาเดเมียบด.....71
4.17 สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยหลังการละลายน้ำแข็ง.....71
4.18 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....73
4.19 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....74
4.20 ค่าสีของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....75
4.21 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และรา ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....77
4.22 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาและคะแนนการยอมรับ (9-point hedonic scale) ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....78
ก.1 สมการและค่าเฉลี่ย EC_{50} (µg/µg DPPH) ของอบเชยเทศชนิดต่างๆ และ BHA.....96
ก.2 ระดับความเข้มข้น และ % DPPH radical scavenging ของ อบเชยเทศ และ BHA จาก 3 ซ้ำที่มีต่อค่า EC_{50} (µg/µg DPPH).....97
ก.3 สมการและค่าเฉลี่ย EC_{50}(µg/ml) ของอบเชยเทศชนิดต่างๆ และ BHA.....98
ก.4 ระดับความเข้มข้น และ % DPPH radical scavenging ของอบเชยชนิดต่างๆ และ BHA จาก 3 ซ้ำ ที่มีต่อค่า EC_{50}(µg/ml).....99
ก.5 ตรวจสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์.....115
ข.1 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์.....117
ข.2 แจกแจงความถี่การบริโภคผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย.....118
ข.3 แจกแจงความถี่ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยที่ผู้บริโภคเคยรับประทาน.....120
ข.4 แจกแจงความถี่ต่อของความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์.....121
ข.5 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์.....128
ข.6 แจกแจงความถี่ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยที่ผู้บริโภคเคยรับประทาน.....130
ข.7 ระดับความเข้มด้านและระดับคะแนนของลักษณะประสาทสัมผัสต่างๆ.....138
ข.8 การแปรสูตรไส้แมคาเดเมียบดสำหรับใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง.....139

ตารางที่ หน้า

ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการแปรอัตราส่วนอบเชยเทศผงต่อปริมาณเมทานอลและเวลาในการสกัดต่อ Yield (%) และสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย……..144

ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปรียบเทียบ Yield (%) และ Total phenolic contents ของสารสกัดอบเชย……..…….144

ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยและสารกันหืนสังเคราะห์ BHA (EC_{50}หน่วย µg/ml)……145

ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Induction Time ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง……145

ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Protection Factor ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง……..145

ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าลักษณะเนื้อสัมผัสจากการพัฒนาสูตร 5 สูตร……146

ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีและค่า a_w ของการพัฒนาสูตร 5 สูตร……..146

ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของ 5 สูตร……...147

ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีและค่า a_w ของการหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม……...147

ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติคะแนนความชอบจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดโดยการแปรปริมาณอบเชย 3 ระดับ……..148

ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางเคมีของสูตรที่ใส่กะทิและไม่ใส่กะทิ...148

ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางกายภาพของสูตรที่ใส่กะทิและไม่ใสกะทิ……149

ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนความชอบจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสแมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิและสูตรไม่ใสกะทิ……..150

ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเวลาการแช่เยือกแข็ง, Freezing loss (%) และ Thawing loss (%)……..……151

ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีหลังการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม……..……152

ตารางที่ หน้า

ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเนื้อสัมผัส
หลังการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม.....152
ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเนื้อสัมผัสหลังการละลายน้ำแข็ง
ที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม.....153
ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของ
ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ – 18 °C นาน 6 เดือน.....154
ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบด
แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....154
ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่าสีของของไส้แมคาเดเมียบด
แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....155
ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส
เชิงพรรณา และคะแนนการยอมรับ (9-point hedonic scale) ของไส้แมคาเดเมียบด
ผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน.....156

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะผลของแมคาเดเมีย	4
2.2	โครงสร้าง Butylated Hydroxyanisole (BHA) (a) 3-BHA (b) 2-BHA	23
2.3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล DPPH กับสารต้านออกซิเดชัน (AH)	31
2.4	Gallic acid	34
4.1	Mixture Design ของไส้แมคาเดเมียบด	59
4.2	ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในแต่ละระดับของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย รสหวาน ความเหนียว ความเนียนและความเป็นน้ำมันในปาก	62
4.3	ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในแต่ระดับพอดีของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และ รสหวาน	64
4.4	ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในระดับพอดีของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวาน ของไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ และสูตรไม่ใส่กะทิ	68
4.5	Freezing curve ของไส้แมคาเดเมียบดรูปทรงกลมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร	69
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้น ของสารสกัดจากอบเชยเทศ	94
ก.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของ BHA	95
ก.3	กราฟมาตรฐานของ Gallic acid	101
ก.4	เครื่อง Rancimat® (Metrohm, รุ่น 743 Rancimat®, Switzerland)	108
ก.5	เครื่องวัด a_w	111
ง.1	อบในตู้อบ tray dryer ที่ 50 °C นาน 48 ชั่วโมง	157
ง.2	กะเทาะกะลาเพื่อเอาเมล็ดเนื้อใน	157
ง.3	เนื้อในแมคาเดเมีย	157
ง.4	ล้างน้ำ	157
ง.5	สะเด็ดน้ำ	157

รูปที่ หน้า

ง.6 เตรียมนำไปนึ่ง.....157
ง.7 บดหยาบ (บดครั้งที่ 1).....158
ง.8 บดละเอียด (บดครั้งที่ 2).....158
ง. 9 กวนขณะให้ความร้อน.....158
ง.10 ขึ้นรูปเป็นทรงกลม.....158
ง.11 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาเวลาแช่เยือกแข็ง.....158
ง.12 วางตัวอย่างบนตะแกรงเพื่อรอการแช่เยือกแข็ง.....158
ง.13 การแช่เยือกแข็งโดยวิธีไคโอจินิค.....158

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

แมคาเดเมีย (macadamia) เป็นพืชประเภทนัต (nut) ที่มีรสชาติดี มีต้นกำเนิดมาจากประเทศออสเตรเลีย และรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นแหล่งปลูกแมคาเดเมียเชิงอุตสาหกรรมที่ใหญ่ที่สุดของโลก ในประเทศไทยแมคาเดเมียสามารถปลูกได้ในบางพื้นที่เท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่ปลูกได้ผลผลิตดีทางภาคเหนือ ในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 700 เมตรขึ้นไป (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536) ปัจจุบันแมคาเดเมียมีบทบาทด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เนื่องจากแมคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้นที่สามารถให้ผลผลิตยาวนาน และเป็นที่ต้องการของตลาดสูง สามารถจำหน่ายได้หลายรูปแบบทั้งเนื้อในกะลา เนื้อดิบ กะลาเผาเป็นถ่านได้ (ทีปภาชน์ เพ็ญสุภา, 2548; ผู้จัดการออนไลน์, 2550) และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ แมคาเดเมียเคลือบช็อคโกแลต แมคาเดเมียอบแห้งปรุงรสในแบบต่างๆ ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ ซึ่งมีแนวโน้มความต้องการทางตลาดมากขึ้น แมคาเดเมียอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย เกลือแร่ วิตามิน และมีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก (USDA, 2008) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและสารประกอบพฤกษเคมี (Phytochemical) เช่น Phytosterols Tocopherols และ Squalene ที่เป็นองค์ประกอบในแมคาเดเมีย มีผลช่วยลดระดับปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด (Plasma total cholesterol) และ Low-Density Lipoprotein Cholesterol (LDL) และเพิ่มปริมาณ High-density Lipoprotein holesterol (HDL) จึงลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ (Garg, Blake, and Wills, 2003; Maguire *et al*., 2004) นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ในแมคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549)

ในประเทศไทยผลิตภัณฑ์จากแมคาเดเมียยังเป็นที่ต้องการในตลาด การแปรรูปเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์จากแมคาเดเมีย งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดแนวทางแปรรูปแมคาเดเมียเป็นไส้ (Filling) แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็ง เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต เพิ่มรายได้ให้กับภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร แต่ปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์จากแมคาเดเมีย คือ การเกิดการหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย คือ ไส้ขนมที่มีแมคาเดเมียบดเป็นวัตถุดิบหลัก และมีกลูโคสซีรัป น้ำตาลไอซิ่ง แป้งมันสำปะหลังดัดแปร น้ำหรือกะทิ และอบเชย เป็นส่วนผสมเตรียมโดยกวนให้เป็นเนื้อเดียวขณะให้ความร้อน

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อบเชย (Cinnamon) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรและเครื่องเทศที่มีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีสมบัติต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant activity) (Chipault *et al.*, 1952; Madsen and Bertelsen, 1995; Mathew and Abraham, 2006a and 2006b) และมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ (Singh *et al.,* 2007) โดยศึกษาภาวะการสกัดด้วยสารละลายเมทานอลที่เหมาะสม เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันระหว่างอบเชย 3 ชนิด และสารกันหืนสังเคราะห์ BHA รวมทั้งศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารสกัดอบเชยที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันสูงที่สุดกับ BHA ในน้ำมันแมคาเดเมีย และน้ำมันถั่วเหลือง พัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจินิก ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 6 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 แมคาเดมีย (Macadamia)

2.1.1 ประวัติ

แมคาเดมีย มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศออสเตรเลีย โดยพบบริเวณป่าที่มีฝนตกชื้นชายทะเล (Coastal rain forest) ทางใต้ของรัฐควีนส์แลนด์ (Queensland) และทางเหนือของรัฐนิวเซาท์เวลส์ (New South Wales) ในระหว่างเส้นรุ้งใต้ที่ 25°-32° (Latitude 25°-32° South) และรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นพืชในวงศ์ Proteaceae มีทั้งหมดประมาณ 10 สปีชีส์ แต่มีเพียง 2 สปีชีส์ ที่รับประทานได้ และใช้ปลูกเพื่อเชิงพาณิชย์ ได้แก่ *Macadamia intergrifolia* กะลามีผิวเรียบ และ *Macadamia tetraphylla* กะลามีผิวหยาบหรือขรุขระ ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถผสมข้ามสายพันธุ์กันได้ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536) สำหรับในประเทศไทยแมคาเดมียได้เริ่มมีการวิจัยศึกษาอย่างจริงจัง ตั้งแต่ พ.ศ. 2527 เป็นต้นมา เนื่องจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเล็งเห็นความสำคัญของแมคาเดเมียที่จะสามารถพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจได้ในอนาคต กรมวิชาการเกษตรได้เริ่มวิจัยทดลองแมคาเดเมียในสถานีทดลองการเกษตรในภูมิภาคต่างๆ 15 แห่ง ทั่วประเทศ ผลการวิจัยพบว่าแมคาเดเมียให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 700 เมตรขึ้นไป และแมคาเดเมียได้ถูกจัดเป็นพืชตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) และกรมวิชาการเกษตรได้วิจัยและพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แมคาเดเมีย มีลำต้นตั้งตรง ลักษณะเป็นทรงพุ่มแน่น คล้ายพีรามิด ใบมีลักษณะคล้ายหอกหัวกลับ (oblanceolate) ขอบใบมีหนามเล็กน้อย (slight thorn) ใบอ่อนหรือยอดอ่อน เป็นสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวอมแดง ใบแก่มีสีเขียวเข้ม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536) เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ ผลจะร่วงลงบนพื้นดิน ผลมีเปลือกลักษณะเป็นกากแข็งหนาสีเขียว (husk) แต่เมื่อเก็บไว้นานจะมีสีน้ำตาลถึงสีดำ จะแตกออก และพบว่ามีเปลือกแข็งอีกชั้นหนึ่งสีน้ำตาลอ่อนหุ้มเนื้อใน เรียกว่า กะลา (seed coat) ในกะลามีเมล็ดเนื้อแน่น สีขาวครีม (รูปที่ 2.1)

ก) เปลือกและกะลา

ข) กะลาและเนื้อ

รูปที่ 2.1 ลักษณะผลของแมคาเดเมีย

ที่มา: Armstrong (2006)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมี

USDA (2008) ได้รายงานคุณค่าทางโภชนาการของแมคาเดเมีย *M. integrifolia* และ *M. tetraphylla* 100 กรัม จะให้พลังงาน 718 กิโลแคลอรี (3,004 กิโลจูล), โปรตีน 7.91 กรัม, ไขมันทั้งหมด 75.77 กรัม (แบ่งเป็น monounsaturated 58.88 กรัม, polyunsaturated 1.50 กรัม, และ saturated fatty acid 12.06 กรัม), คาร์โบไฮเดรต 7.90 กรัม, Dietary Fiber 6.4 กรัม รวมทั้งวิตามิน แร่ธาตุต่างๆ สารพฤกษเคมี กรดไขมัน และกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของแมคาเดเมียดิบ

Nutrient	Amount per 100 gram	
Proximates		
Water	1.36 ± 0.07	g
Energy	718.00	kcal
Energy	3004.00	kJ
Protein	7.91 ± 0.35	g
Total lipid (fat)	75.77 ± 1.15	g
Ash	1.14 ± 0.03	g
Carbohydrate, by difference	13.82	g
Fiber, total dietary	8.60 ± 0.91	g
Sugar, total	4.57 ± 0.18	g
Sucrose	4.43 ± 0.18	g
Glucose (dextrose)	0.07 ± 0.00	g
Fructose	0.07 ± 0.00	g
Starch	1.05 ± 0.02	g
Minerals		
Calcium, Ca	85.00 ± 11.27	mg
Iron, Fe	3.69 ± 0.73	mg
Magnesium, Mg	130.00 ± 50.74	mg

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของแมคาเดเมียดิบ (ต่อ)

Nutrient	Amount per 100 gram	
Potassium, K	368.00 ± 10.07	mg
Phosphorus, P	188.00 ± 11.57	mg
Sodium, Na	5.00 ± 1.07	mg
Zinc, Zn	1.30 ± 0.09	mg
Copper, Cu	0.76 ± 0.23	mg
Manganese, Mn	4.13 ± 4.20	mg
Selenium, Se	3.60	mg
Vitamins		
Vitamin C, total ascorbic acid	1.20 ± 0.26	mg
Thiamin	1.20 ± 0.26	mg
Riboflavin	0.16 ± 0.32	mg
Niacin	2.47 ± 0.34	mg
Pantothenic acid	0.76 ± 0.08	mg
Vitamin B-6	0.28 ± 0.03	mg
Folate, total	11.00 ± 1.43	µg
Folate, food	11.00 ± 1.43	µg
Folate (Dietary Folate Equivalent; DFE)	11.00	µg DFE
Vitamin E (alpha-tocopherol)	0.54 ± 0.09	mg
Lipid		
Fatty acids, total saturated	12.06	g
16:1 undifferentiated	12.98 ± 0.68	g
18:1 undifferentiated	43.76 ± 1.25	g
20:1	1.89 ± 0.05	g
22:1 undifferentiated	0.23 ± 0.02	g
24:1	0.02 ± 0.01	g
Fatty acids, total polyunsaturated	12.06	g
18:2 undifferentiated	1.30 ± 0.09	g
18:3 undifferentiated	0.21 ± 0.02	g

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของแมคาเดเมียดิบ (ต่อ)

Nutrient	Amount per 100 gram	
Cholesterol	0.0	mg
Phytosterols	116.00	mg
Stigmasterol	0.00	mg
Campesterol	8.00	mg
Beta-sitosterol	108.00	mg
Amino acids		
Tryptophan	0.07	g
Threonine	0.37	g
Isoleucine	0.31	g
Leucine	0.60	g
Lysine	0.02	g
Methionine	0.23	g
Cystine	0.01	g
Phenylalanine	0.67	g
Tyrosine	0.51	g
Valine	0.36	g
Arginine	1.40	g
Histidine	0.20	g
Alanine	0.39	g
Aspartic acid	1.10	g
Glutamic acid	2.27	g
Glycine	0.45	g
Proline	0.47	g
Serine	0.42	g

ค่าเฉลี่ย ± S.D. (3 ซ้ำ)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โดยแหล่งอาหารสำคัญที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงและกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ ได้แก่ Canola oil, Olive oil, Safflower oil (high oleic >70%), Sunflower oil (high oleic >70%), Mixnut, Almonds, Cashews, Hazelnuts, Macadamia nuts, Peanut, Peanut Butter, Pistachios, Pecans, Walnuts, Sesame seed, Sesame butter (tahini), Avocado และ Olives (Kris-Etherton,1999)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในแมคาเดเมีย ช่วยลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) โดยลดปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด, ลด low-density lipoprotein cholesterol (LDL) และ เพิ่ม high-density lipoprotein cholesterol (HDL) (Garg *et al*., 2003) Garg และคณะ (2003) ได้ให้อาสาสมัครเพศชายที่มีภาวะคอเลสเตอรอลสูง อายุเฉลี่ย 54 ปี จำนวน 17 คน รับประทานแมคาเดเมีย จำนวน 40-90 กรัม ต่อวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด (plasma total cholesterol) และ LDL ลดลงร้อยละ 3.0 และ 5.3 ตามลำดับ ส่วน HDL เพิ่มขึ้น 7.9 % แสดงว่าแมคาเดเมียสามารถช่วยลดระดับปริมาณคอเลสเตอรอล และเพิ่ม HDL ได้ ไม่ใช่เพียงกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเท่านั้นที่ช่วยลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ Maguire และคณะ (2004) อธิบายเพิ่มเติมว่า tocopherols squalene และ phytosterols ที่พบในแมคาเดเมียช่วยลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ

Tocopherols และ squalene ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน หรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและป้องกันระบบเซลล์ในร่างกายไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วน phytosterols ทำหน้าที่ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและ LDL ในซีรัม (Maguire *et al*., 2004; Australian Macadamia Society, 2006) นอกจากจะพบ phytosterols ในนัตแล้วยังสามารถพบได้ในผัก, เมล็ดพืช, พืชตะกูลถั่ว (legumes) และน้ำมัน พืชที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการ (unrefined vegetable oils) (Maguire *et al*., 2004)

Kaijser, Dutta และ Savage (2000) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแมคาเดเมียที่ปลูกในประเทศนิวซีแลนด์ และพบว่ามี α-tocopherol 0.80-1.10 µg/g, δ-tocopherol 3.50-4.80 µg/g, α-tocotrienol 12.50-48.40 µg/g และพบ phytosterol ประกอบด้วย sitosterol 901-1354 µg/g, Δ5-Avenasterol 82-207 µg/g, campesterol 61-112 µg/g และ stigmasterol 8-19 µg/g รวมมี total desmethylsterols 1117-1549 µg/g

Maguire และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณ tocopherols, squalene และ phytosterol ในเฮเซลนัต (hazelnut), แมคาเดเมีย, ถั่วลิสง (peanut), วอลนัต (waltnut), และอัล-

มอนด์ (almond) พบว่า phytosterols ที่พบในแมคาเดเมีย ได้แก่ campesterol, stigmasterol และ β-sitosterol

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของแมคาเดเมีย

แมคาเดเมียประกอบด้วย โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, เส้นใย, วิตามินบี (ไทอะมีน (B_1) ไรโบฟลาวิน (B_2) ไนอะซิน (B_5) วิตามินอี และโฟเลต), แร่ธาตุ (แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก แมกนีเซียม สังกะสี ทองแดง และ โพแทสเซียม), สารประกอบพฤกษเคมี (phytochemicals) เช่น tocopherols, tocotrienol, squalene และ phytosterols และไม่มีคอเลสเตอรอล และมีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก (Weinert, 1993; เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549; Australian Macadamia Society, 2006)

องค์ประกอบของไขมัน/น้ำมัน

แมคาเดเมียมีไขมันเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 59.20-78.84 (Weinert, 1993; Kaijser *et al*., 2000; Maguire *et al*., 2004; ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ, จุฑาทิพย์ ศุภชัยวีรกุล และ ศจีนา วัฒนบุตรสิริ, 2549; เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549) โดยส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว คิดเป็นร้อยละ 78.69-82.40 ได้แก่ oleic acid ร้อยละ 40.55-65.44 และ palmitoleic acid ร้อยละ 13.83-33.75 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (Weinert, 1993; Kaijser *et al*., 2000; Maguire *et al*., 2004; ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ, จุฑาทิพย์ ศุภชัยวีรกุล และ ศจีนา วัฒนบุตรสิริ, 2549; เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549) vaccenic acid ร้อยละ 2.64 - 3.62, eicosenic acid ร้อยละ1.36 - 2.63 และ erucic acid ร้อยละ 0.07 - 0.24 (Kaijser *et al*., 2000)

นอกจากแมคาเดเมียแล้วยังพบว่าน้ำมันจากพืชชนิดอื่นที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำมันมะกอก (olive oil) น้ำมันคาโนลา (canola oil) น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอยชนิด oleic acid สูง (high oleic acid safflowerseed oil) และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันชนิด oleic acid สูง (high oleic acid sunflowerseed oil) (ตารางที่ 2.2)

เมื่อเปรียบเทียบกับพืชตระกูลนัตพบว่าแมคาเดเมียมีไขมันเป็นองค์ประกอบมากที่สุด Kornsteiner, Wangner และ Elmadfa (2006) พบว่า แมคาเดเมียมีไขมันเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (ร้อยละ 76.20) โดยมีไขมันมากกว่า พีแคน (pecan) (ร้อยละ 71.80), ไพน์ (pines) (ร้อยละ 62.90), บราซิลนัต (brazil nuts) (ร้อยละ 68.30), วอลนัต (ร้อยละ 64.20), ฮาเซลนัต (ร้อยละ 60.20), อัลมอนด์ (ร้อยละ 56.70), ฟิสตาชีโอ (pistachios) (ร้อยละ 52.80), ถั่วลิสง (ร้อยละ 51.60) และ มะม่วงหิมพานต์ (cashews) (ร้อยละ 47.10)

Maguire และคณะ (2004) พบว่า แมคาเดเมียมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวมากกว่า ฮาเซลนัต (hazelnuts) อัลมอนด์ (almonds) ถั่วลิสง (peanuts) และ วอลนัต (walnuts) ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3)

2.1.5 แมคาเดเมียในประเทศไทย

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 เป็นต้นมากรมวิชาการเกษตรได้เริ่มต้นงานวิจัยอย่างจริงจัง โดยพันธุ์ที่ปลูกในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่แนะนำจากมหาวิทยาลัยฮาวาย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536)

สำหรับพันธุ์แมคาเดเมีย ได้แก่ พันธุ์ดอยสะเก็ด 344 ดอยสะเก็ด 800 โป่งแยง 344 โป่งแยง 508 โป่งแยง 660 และโป่งแยง 741 (รายละเอียดพันธุ์แสดงดังตาราง 2.4) มีไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 78.05, 73.09, 72.66, 72.55, 74.65 และ 74.03 ตามลำดับ และมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 81.71, 81.97, 81.97, 82.17, 81.65 และ 82.35 ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วย oleic acid ร้อยละ 62.46 - 65.44, palmitoleic acid ร้อยละ 13.83 - 16.52, eicosenic acid ร้อยละ 2.46-2.95 และ erucic acid ร้อยละ 0.19-0.31 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (ตารางที่ 2.5) (ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ และคณะ, 2549) แมคาเดเมียพันธุ์โป่งแยง 741 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวมากที่สุดจึงนำมาใช้ในขั้นตอนการพัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด, การแช่เยือกแข็ง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่ -18 °C นาน 6 เดือน

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง (2549) พบว่าแมคาเดเมียพันธุ์ 344 และพันธุ์เชียงใหม่ 400 (รายละเอียดพันธุ์แสดงดังตาราง 2.4) มีไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 77.86 และร้อยละ 77.71 ตามลำดับ โดยที่แมคาเดเมียพันธุ์ 344 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 81.00 และพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 79.50 ซึ่งพันธุ์ 344 มี oleic acid ร้อยละ 55.70, พันธุ์เชียงใหม่ 400 มี oleic acid ร้อยละ 56.50, พันธุ์ 344 มี palmitoleic acid ร้อยละ 23.00, พันธุ์ เชียงใหม่ 400 มี palmitoleic acid ร้อยละ 22.50, พันธุ์ 344 มี myristoleic acid ร้อยละ 1.70 แต่ไม่พบ myristoleic acid ในพันธุ์เชียงใหม่ 400, พันธุ์ 344 มี erucic acid ร้อยละ 0.6, พันธุ์เชียงใหม่ 400 พบ erucic acid ร้อยละ 0.5 และพบ docosahexaenoic acid (C22:6, n-3) (ร้อยละ 0.20), myristoleic acid (C14:1) (ร้อยละ 1.70) ในพันธุ์ 344 และพบ eicosatrienoic acid (C 20:3, n-6; cis-8, 11, 14-eicosatrienoic acid) และ eicosatrienoic acid (C 20:3, n-3; cis-11, 14, 17-eicosatrienoic acid) (Scottish Crop Research Institute, 2009) ในพันธุ์เชียงใหม่ 400 ร้อยละ 2.1 และร้อยละ 2.3 ตามลำดับ และในพันธุ์ 344 ร้อยละ 2.2 และร้อยละ 2.3 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ)

ชนิดน้ำมัน	palmitoleic acid (C16:1)	heptadecenoic acid (C17:1)	oleic acid (C18:1)	eicosenic acid (C20:1)	erucic acid (C22:1)	selacholeic acid (C24:1)	กรดมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวทั้งหมด
น้ำมันมะกอก[1]	0.50-1.80	-	65.00-79.40	0.30-0.40	-	-	68.20-80.20
น้ำมันมะกอก[2]	0.30-3.50	< 0.60	55.00-83.00	-	-	-	55.3-86.50
น้ำมันคาโนลา[1]	0.26-0.36		64.08-65.68	-	1.21-1.65	-	61.68-66.28
น้ำมันคาโนลา[2]	0.20	-	58.30	1.80	0.70	-	64.60
น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย[1]	0.10	-	77.30	0.30	-	-	77.70
น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย[2]	nd-0.2	nd-0.1	70.00-83.70	0.10-0.50	nd-0.3	nd-0.3	70.10-85.10
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน[1]	0.1	-	79.40	0.30	-	-	79.80
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน[2]	nd-0.1	nd-0.10	75.00-90.70	0.10-0.50	nd-0.30	-	75.10-91.50

น้ำมันมะกอก[1] (Satue, Huang and Frankel, 1995), น้ำมันมะกอก[2] (CODEX Alimentarius, 2001), น้ำมันคาโนลา[1] (Farhoosh and Pazhouhanmehr, 2009), น้ำมันคาโนลา[2] (Frankel, 1993), น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย[1] (Frankel, 1993), น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย[2] (CODEX Alimentarius, 2003), น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน[1](Frankel, 1993) น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน[2] (CODEX Alimentarius, 2003)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดได้จากนัต 5 ชนิด

	ร้อยละปริมาณกรดไขมัน											
Nut	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:3	C20:5	C22:0	C22:6
Hazelnut	0.13	5.82	0.29	2.74	79.30	10.39	0.46	0.16	ND	ND	ND	ND
Macadamia	0.95	8.37	17.28	3.17	65.15	2.31	0.06	2.28	0.01	ND	0.20	0.27
Peanut	0.03	11.08	0.15	2.66	38.41	44.60	0.58	1.57	0.02	0.02	0.10	0.75
Walnut	0.13	6.70	0.23	2.27	21.00	57.46	11.58	0.08	ND	0.06	0.07	ND
Almond	0.06	6.85	0.63	1.29	69.24	21.52	0.16	0.16	ND	ND	0.05	ND

C14:0 = Myristic acid, C16:0 = Palmitic acid, C16:1 = Palmitoleic acid, C18:0 = Stearic acid, C18:1 = Oleic acid, C18:2 = Linoleic acid, C18:3 = Linolenic acid, C20:0 = Arachidic acid, C20:3 = Eicosatrienoic acid, C20:5 = Eicosapentaenoic acid, C22:0 = Behenic acid และ C22:6 = Docosahexaenoic acid

ที่มา : Maguire และคณะ (2004)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลรายละเอียดพันธุ์แมคาเดเมีย

พันธุ์	พื้นที่เพาะปลูก	HAES[a] No.	สายพันธุ์[b] (cultivar)
ดอยสะเก็ด 344	ต.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	344	Kau
ดอยสะเก็ด 800	ต.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	800	Makai
โป่งแยง 344	ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	344	Kau
โป่งแยง 508	ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	508	Kakea
โป่งแยง 660	ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	660	Keaau
โป่งแยง 741	ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	741	Mauka
344	สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง อ.แม่แจ่ม จ. เชียงใหม่	344	Kau
เชียงใหม่ 400	สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง อ.แม่แจ่ม จ. เชียงใหม่	660	Keaau

[a] Hawaii Agricultural Experiment Station

ที่มา : [b] Aradhya *et al*. (1998); ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ และคณะ (2549); เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง (2549)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบกรดไขมันของแมคาเดเมีย (*Macadamia* spp.)

พันธุ์	ปริมาณกรดไขมัน (% from fat 100 g)																	
	C 12:0	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1 (ω 7)	C18:0	C18:1 (ω 9)	C18:1 (ω 7)	C18:2 (ω 6)	C18:3 (ω 3)	C20:3 (ω 6)	C20:3 (ω 3)	C20:0	C20:1 (ω 9)	C22:0	C22:1	C22:6 (ω 3)	C24:0
ดอยสะเก็ด 344	0.06	0.58	-	8.07	16.52	3.59	62.46	-	1.41	0.10	-	-	3.02	2.49	0.92	0.24	-	0.39
ดอยสะเก็ด 800	0.04	0.36	-	7.12	16.35	4.27	62.68	-	1.44	0.08	-	-	3.33	2.69	0.86	0.26	-	0.30
โป่งแยง 344	0.06	0.38	-	7.05	15.11	3.82	53.60	-	1.74	0.12	-	-	3.32	2.95	0.97	0.31	-	0.35
โป่งแยง 508	0.06	0.51	-	7.69	14.87	3.76	64.64	-	1.46	0.11	-	-	3.02	2.47	0.84	0.19	-	0.29
โป่งแยง 660	0.04	0.34	-	7.55	13.83	3.99	64.89	-	1.55	0.11	-	-	3.31	2.69	0.89	0.24	-	0.34
โป่งแยง 741	0.05	0.43	-	7.32	14.24	3.96	65.44	-	1.40	0.13	-	-	3.17	2.46	0.79	0.22	-	0.31
ค่าเฉลี่ย[1]	0.05 ±0.01	0.43 ±0.09	-	7.47 ±0.38	15.15 ±1.09	3.90 ±0.23	62.29 ±4.42	-	1.50 ±0.13	0.11 ±0.02	-	-	3.20 ±0.15	2.63 ±0.19	0.88 ±0.06	0.24 ±0.04	-	0.33 ±0.04

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบกรดไขมันของแมคาเดเมีย (*Macadamia* spp.) (ต่อ)

พันธุ์	ปริมาณกรดไขมัน (% from fat 100 g)																	
	C 12:0	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1 (ω 7)	C18:0	C18:1 (ω 9)	C18:1 (ω 7)	C18:2 (ω 6)	C18:3 (ω 3)	C20:3 (ω 6)	C20:3 (ω 3)	C20:0	C20:1 (ω 9)	C22:0	C22:1	C22:6 (ω 3)	C24:0
เชียงใหม่ 400	0.20	1.40	-	9.00	22.50	3.60	56.50	-	1.40	0.10	2.10	2.30	0.20	-	-	0.50	-	-
344	0.20	0.10	1.70	9.10	23.00	3.40	55.70	-	1.40	0.10	2.20	2.30	0.20	-	-	0.60	0.20	-
ค่าเฉลี่ย	0.20 ±0.00	0.75 ±0.92	-	9.05 ±0.07	22.75 ±0.35	3.50 ±0.14	56.10 ±0.57	-	1.40 ±0.00	0.10 ±0.00	2.15 ±0.07	2.30 ±0.00	0.20 ±0.00	-	-	0.55 ±0.07	-	-

C12:0 = Lauric acid, C14:0 = Myristic acid, C14:1 = Myristoleic acid, C16:0 = Palmitic acid, C16:1 = Palmitoleic acid, C18:0 = Stearic acid, C18:1 (ω 9) = Oleic acid, C18:1 (ω 7) = Vaccenic acid, C18:2 = Linoleic acid, C18:3 = Linolenic acid, C20:3 (ω 3) (cis-11, 14, 17-eicosatrienoic acid) และ C20:3 (ω 6) (cis-8, 11, 14-eicosatrienoic acid) = Eicosatrienoic acid, C20:0 = Arachidic acid, C20:1 = Eicosenic acid, C22:0 = Behenic acid, C22:1 = Erucic acid, C22:6 (ω 3) = Docosahexaenoic acid และ C24:0 = Lignoceric acid

ที่มา : ขวัญแก้ว และคณะ (2549) และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง (2549)

ค่าเฉลี่ย[1] เป็นค่าเฉลี่ยของแมคาเดเมียพันธุ์ดอยสะเก็ด 344 ดอยสะเก็ด 800 โป่งแยง 344 โป่งแยง 508 โป่งแยง 660 และพันธุ์โป่งแยง 741 (ขวัญแก้ว และคณะ, 2549)

ค่าเฉลี่ย[2] เป็นค่าเฉลี่ยของแมคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 400 และ พันธุ์ 344 (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549)

2.1.6 ข้อมูลทางเศรษฐกิจของแมคาเดเมีย

แมคาเดเมียมีต้นกำเนิดอยู่ในประเทศออสเตรเลียและรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1996 ประเทศออสเตรเลียและรัฐฮาวาย จัดเป็นแหล่งปลูกแมคาเดเมียเชิงอุตสาหกรรมที่ใหญ่ที่สุดของโลก โดยให้ผลผลิตมากกว่าร้อยละ 40 ของผลผลิตโลก รองลงมาได้แก่ เคนยา แอฟริกาใต้ มาลาวี กัวเตมาลา คอสตาริก้า บราซิล และซิมบับเว ตามลำดับ ด้านการตลาดสหรัฐอเมริกาเป็นตลาดแมคาเดเมียที่ใหญ่ที่สุดในโลก นอกจากนี้ตลาดอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ ออสเตรเลีย กลุ่มประเทศยุโรป และตลาดในเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น ฮ่องกง จีน เกาหลีใต้ และไต้หวัน เป็นต้น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

สำหรับประเทศไทย กรมวิชาการเกษตรได้ศึกษาวิจัยและคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์แมคาเดเมียเพื่อปลูกในตอนบนของประเทศ และขยายไปสู่จังหวัดต่างๆ โดยส่งเสริมให้เกษตรกรและชาวเขาปลูกเพื่อสร้างรายได้ โดยแมคาเดเมียอบแห้งกะเทาะเปลือกแล้วจำหน่ายกิโลกรัมละ 1,200 บาท และเมล็ดสดยังไม่อบกิโลกรัมละ 250-300 บาท (หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2551) นอกจากนี้สามารถแปรรูปแมคาเดเมียเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นสินค้าเพิ่มมูลค่า เช่น แมคาเด-เมียอบปรุงรสต่างๆ แมคาเดเมียเคลือบช็อคโกแลต ฉาบน้ำตาล ไอศกรีม เนยถั่ว และมีการนำเมล็ดที่ไม่ได้คุณภาพไปสกัดน้ำมันเพื่อใช้รับประทาน และใช้เป็นส่วนประกอบเครื่องสำอาง

2.1.7 การเก็บรักษาและแปรรูปแมคาเดเมีย

แมคาเดเมียเป็นพืชที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง (Kaijser *et al*., 2000) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย ฉะนั้นการป้องกันการเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ (off-flavour) จึงมีความสำคัญมากต่อกระบวนการแปรรูปแมคาเดเมีย

ผลแมคาเดเมียสุกการเก็บเกี่ยวจะใช้รถหรือเครื่องมือทุ่นแรงเขย่าให้ผลร่วง ผลที่เก็บหุ้มด้วยเปลือกสีเขียว (husk) ในกรณีที่ผลสุกเป็นเวลานานแล้วเปลือกจะมีสีน้ำตาลถึงสีดำ เมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้วนำมาอบแห้ง (drying) โดยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง

บัญชา พิชัยบัณฑิตกุล และวิทวัส ไชยวงศ์ (2549) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแมคาเดเมียที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C โดยเครื่องอบแห้งแบบถาด พบว่าเข้าสู่สมดุลที่ 2.17 % dry basis ใช้เวลาการอบ 48 ชั่วโมง

2.2 ไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย (Ground Macadamia Nut Filling)

ไส้แมคาเดเมียบด ทำมาจากแมคาเดเมียที่ผ่านการบด และผสมกับส่วนผสม กวนให้เป็นเนื้อเดียวกันขณะให้ความร้อน ไส้แมคาเดเมียบดมีลักษณะหนืดติดกัน แต่ไม่เหนียว สามารถรับประทานได้โดยตรง หรือใช้เป็นไส้ขนมต่างๆ ได้ เช่น ขนมปังอบ ขนมโมจิ ขนมไหว้พระจันทร์ ขนมเปี๊ยะ หรือสามารถใช้เป็นสเปรด (spread) ทาลงบนขนมปังหรือแครกเกอร์ได้

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ แมคาเดเมียบด กลูโคสซีรัป น้ำตาลไอซิ่ง แป้งมันสำปะหลังดัดแปร น้ำหรือกะทิ และผงอบเชย โดยองค์ประกอบแต่ละชนิดมีหน้าที่ดังนี้

แมคาเดเมียบด เป็นวัตถุดิบหลักช่วยให้เกิดการเป็นเนื้อ (body) กลิ่นรส และรสชาติ

กลูโคสซีรัป เป็นสารให้ความข้นหนืด ให้เนื้อ ให้ความชุ่มชื้น ความแวววาว ความหวาน และเป็นตัวกลางนำพากลิ่นรส (Jackson and Howling, 1995)

น้ำตาลไอซิ่ง มีหน้าที่ให้ความหวานที่น้อย และสามารถละลายน้ำได้เร็ว

แป้งมันสำปะหลังดัดแปร มีชื่อว่า Acetylated distarch phosphate (E1414) เป็นการดัดแปรเพื่อผลิตสตาร์ชฟอสเฟตโดยใช้ acetic anhydride (substitute method) เพื่อทำให้เกิด Acetylation ซึ่ง acetylated starch มี granular starch ester ซึ่งจะเริ่มมี CH_3CO group และที่อุณหภูมิต่ำ acetylated starch จะปรับเปลี่ยนสมบัติสตาร์ชไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้มีความคงตัวและทนต่อการเกิด retrogradation เพิ่มความข้นหนืด การละลาย ค่ากำลังการพองตัว (swelling factor) ความแข็ง, cohesiveness, adhesiveness และ translucency ของเจล แต่ลดอุณหภูมิ gelatinization ไปจากเดิม (Mirmoghtadaie, Kadivar, and Shahedi, 2009) โดยพันธะเชื่อมข้าม(cross-link) ที่เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ ทำให้เม็ดสตาร์ชทนความร้อน ความเย็น แรงเฉือนสูง (วรรณา ตุลยธัญ, 2549) วัตถุประสงค์หลักของการใช้คือเพื่อให้ตัวอย่างสามารถทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งได้ดี (freezing-thaw stability)

น้ำหรือกะทิ ทำหน้าที่ในการละลายส่วนผสม โดยเฉพาะกะทิช่วยเพิ่มกลิ่น-รส แต่อาจเกิดการหืนได้เร็ว ปริมาณที่ใช้คือร้อยละ 19 และร้อยละ 19.50 ของส่วนผสมทั้งหมด

ผงอบเชย ช่วยปรุงแต่งกลิ่นรส ใช้เพียงร้อยละ 0.50-1.00 ของส่วนผสมทั้งหมด ก่อนนำมาใช้ต้องร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช หน้าที่หลักของอบเชยในงานวิจัยนี้คือใช้เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย

ในการผลิตไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

การทำความสะอาดเมล็ดเนื้อในแมคาเดเมีย ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ในอัตราส่วนเนื้อในแมคาเดเมีย 300 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที หลังจากนั้นนำมา สะเด็ดน้ำ

การนึ่ง เพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดออกซิเดชัน และเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนที่สุด (Schweiggert, Schieber, and Carle, 2005) โดยนึ่งให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเนื้อในเท่ากับ 90 °C นาน 15 นาที และตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเชิงคุณภาพ (Pearson, 1976) หลังจากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็น (8-10 °C) นาน 1-2 นาที และนำไปสะเด็ดน้ำ

การบด บดแมคาเดเมียให้ละเอียด โดยครั้งแรกเป็นการบดหยาบ (Moulinex รุ่น Moulinex Delicio 2 DFB 2, France, speed maximum) และบดให้ละเอียด (Phillip, รุ่น HR1757 Cucina Blender, UK, speed maximum)

การกวน กวนส่วนผสมให้เข้ากันขณะให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลาง 70 °C นานประมาณ 2 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และจุลินทรีย์เป็นพิษในอาหาร (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ และสุดสาย ตรีวานิช, 2546)

2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation)

ปฏิกิริยาเคมีที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารที่มีน้ำมัน หรือไขมันเป็นส่วนประกอบมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาสลายพันธะเอสเทอร์ของไขมัน ในสภาวะที่มีน้ำ และมีตัวกระตุ้นปฏิกิริยาได้แก่ จุลินทรีย์ เอนไซม์ไลเปส หรือสภาวะที่มีความร้อนและความชื้นสูง ทำให้เกิดกลีเซอรอล, โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ กรดไขมันจากการแตกตัวที่ถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดกลิ่นรสหืน (rancid flavour) และกลิ่นคล้ายสบู่ (Hamilton, 1983) ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารอีกแบบหนึ่งคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน หรือเรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (autoxidation) Jadhav และคณะ (1996) อธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบนี้ไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation) มีอนุมูลอิสระ (free radicals) เกิดขึ้นจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่มีหมู่เมทธิลีนที่ว่องไวในโมเลกุล (allylic methylene group) การเกิดอนุมูลอิสระของไขมัน ($R^{\bullet}$) ดังปฏิกิริยาที่ 2.1 มักเกิดได้เมื่อมี trace metals หรือ การฉายรังสี แสงและความร้อน

นอกจากนี้ยังเกิดได้เมื่อมีไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides, ROOH) เกิดเล็กน้อยก่อนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดย ROOH เกิดการแตกตัวได้อนุมูลของอัลคอกซี (alkoxy radical, $RO^{\cdot}$) และอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radicals, $ROO^{\cdot}$) ดังปฏิกิริยาที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่ง ROOH เกิดขึ้นได้จากหลายทางรวมทั้งปฏิกิริยาของ singlet oxygen กับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) หรืออาจเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (lipoxygoenase) ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid)

$$RH \longrightarrow R^{\cdot} + H^{\cdot} \qquad (2.1)$$

$$ROOH \longrightarrow RO^{\cdot} + HO^{\cdot} \qquad (2.2)$$

$$2ROOH \longrightarrow RO^{\cdot} + ROO^{\cdot} + H_2O \qquad (2.3)$$

2. ปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่อง (propagation) อนุมูลอิสระจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนุมูลอื่นๆ และลักษณะเด่นของปฏิกิริยาคือ เป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ (chain reaction) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นนี้จะมีการใช้ออกซิเจนและเกิดอนุมูลอิสระใหม่ขึ้น คือ $ROO^{\cdot}$ (ปฏิกิริยาที่ 2.4) หรือเกิด ROOH และอนุมูลไขมันอื่น ($R^{\cdot}$) (ปฏิกิริยาที่ 2.5) $ROO^{\cdot}$ สามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่กับโมเลกุลของกรดไขมันอื่นได้ ROOH และ $R^{\cdot}$ โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดซ้ำ หลายๆ ครั้งทำให้เกิด ROOH เพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาในขั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดอย่างต่อเนื่อง (ปฏิกิริยาที่ 2.4 และ 2.5) ซึ่ง ROOH ที่เกิดขึ้นอาจถูกสลายได้โดยโลหะ ความร้อน รังสี หรือเอนไซม์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งเป็นผลให้อัตราเร็วของการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น $R^{\cdot}$ ที่เกิดขึ้นรวมทั้ง ROOH จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปให้ผลผลิตเป็นกรดไฮดรอกซี กรดคีโต และแอลดีไฮด์ ซึ่งมีโมเลกุลเล็กลงและเป็นตัวการที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน

$$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot} \qquad (2.4)$$

$$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot} \qquad (2.5)$$

3. ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด (termination) โดยอิเลกตรอนโมเลกุลเดี่ยว (unpaired electron)ของอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาลูกโซ่ทำปฏิกิริยากันเอง เกิดสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ (non radical) มีความเสถียรมากขึ้นจึงทำให้เกิดการชะงักของปฏิกิริยาลูกโซ่ในขั้นต่อเนื่องและหน่วงเหนี่ยวการเกิด autoxidation ได้ ตัวอย่างดังปฏิกิริยาที่ 2.6, 2.7 และ 2.8

$$R^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow R\text{-}R \qquad (2.6)$$

$$ROO^{\cdot} + ROO^{\cdot} \longrightarrow ROOR + O_2 \qquad (2.7)$$

$$ROO^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow ROOR \qquad (2.8)$$

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551)

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหารมีหลากหลายชนิดที่มีความแตกต่างกัน ทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนั้นส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารอาจร่วมออกซิไดส์ (cooxidize) หรือทำปฏิกิริยากับลิพิด (lipid) ที่ถูกออกซิไดส์แล้ว หรือผลผลิต (product) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของลิพิด จึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างซับซ้อน มีรายละเอียด ดังนี้

1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ดังนี้ arachidonic acid : linolenic acid : linoleic acid : oleic acid = 40 : 20 : 10 : 1 กรดไขมันที่อยู่ในรูป cis isomer เกิดออกซิไดส์ได้ไวกว่า trans isomer และตำแหน่งที่เป็น conjugated bond เกิดได้ไวกว่า nonconjugated double bond การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้อง กรดไขมันอิ่มตัวจะไม่เกิดออโตออกซิเดชัน จะเกิดเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวเท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิสูงกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอาจเกิด autoxidation ได้บ้าง

2. กรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูป ester และ glycerol

3. ความเข้มข้นของออกซิเจน ในภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดออกซิเดชันจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตามผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวสัมผัสกับออกซิเจน

4. อุณหภูมิ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิมีผลต่อความดันย่อยของออกซิเจนด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนความดันย่อยออกซิเจนจะมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะการละลายของออกซิเจนในลิพิดและน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

5. พื้นที่ผิว อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวของลิพิดที่สัมผัสอากาศ

6. ความชื้น อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่า water activity (a_w) อาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก (a_w น้อยประมาณ 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 0.3 จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดให้เกิดน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามเมื่อค่า a_w เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ catalyst และออกซิเจน

7. การเกิดอิมัลซิฟิเคชัน (emulsification) ในอาหารที่เป็น emulsion ชนิดน้ำมันในน้ำ หดน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังหยดน้ำมันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำ และน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของ emulsifying agent ขนาดของอนุภาคหยดน้ำมัน พื้นที่ผิวของ interface ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าพีเอช ส่วนประกอบและ porosity ของตัวกลาง

8. Pro-oxidant แร่ธาตุหรืออโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล มีสมบัติเป็น pro-oxidants ได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แร่ธาตุหรืออโลหะเหล่านี้ได้มาจากดินที่ปลูกพืช และปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันพืช หรือมาจากสัตว์ และอุปกรณ์โลหะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา

9. Radiant energy แสงและรังสีต่างๆ เช่น visible light แสงอัตราไวโอเลต และ gamma radiation มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดขึ้นเร็วขึ้น

10. สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งได้แก่สารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช

2.5 การตรวจสอบความหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การตรวจสอบความหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แบ่งได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีแรกเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงในระยะเริ่มแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (primary changes) ขณะที่วิธีที่ 2 วัดการเปลี่ยนแปลงในระยะที่สอง (secondary changes) วิธีที่นิยมใช้วัดการเปลี่ยนแปลงในระยะแรกได้แก่ การวัดค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV)

PV วัดปริมาณที่เกิดขึ้นได้โดยใช้ความสามารถของ peroxide (ROOH) ในการ oxidize iodide (I^-) ที่ได้จาก potassium iodide (KI) ที่มากเกินพอให้ได้เป็นไอโอดีน (I_2) ปฏิกิริยาที่ 2.9 (Pegg, 2005)

$$ROOH + 2I^- + 2H^+ \longrightarrow ROH + I_2 + H_2O \qquad (2.9)$$

แล้วหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$) ดังปฏิกิริยาที่ 2.10 (Pike, 2003; Pegg, 2005)

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 + \text{starch} \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI + \text{starch} \quad (2.10)$$

(blue) (colorless)

PV แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของออกซิเจนต่อน้ำหนักของไขมันหรือน้ำมันหนึ่งกิโลกรัม (meq. O_2/kg) (Nawar, 1996)

การวัดการเปลี่ยนแปลงในระยะที่สอง ทำได้หลายวิธีเช่น การวัดค่าไดอีนคอนจูเกชัน (diene conjugation value) ค่าการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมัน ค่าไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric value, TBA) ค่าแอนิซิดีน (*p*-Anisidine value, AV)

การวัดค่า AV เป็นการวัดค่า 2-alkenals และ 2,4-dienals ซึ่งเป็น secondary oxidation product ของไขมันและน้ำมัน (Pike, 2003) โดยให้สารละลาย *p*-anisidine ใน acetic acid ทำปฏิกิริยากับ aldehydes เกิดเป็นสีเหลือง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร โดยจะเพิ่มการดูดกลืนแสงมากขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับ double bond ของ aldehydes (Nawar, 1996)

ค่า totox หรือ total oxidation value ซึ่งนิยมใช้วัดการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน โดยคำนวณได้ จากค่า PV และ AV (Hamilton, 1983; Nawar, 1996; Pike, 2003) ดังสมการที่ 1

$$\text{totox value} = 2\,PV + AV \quad (1)$$

นอกจากนี้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบอกกลิ่นหืน หรือลักษณะของอาหารที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคได้ โดยอาศัยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี หรือกายภาพ สามารถนำมาเทียบเคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้อีกด้วย (Civille and Dus, 1992)

2.6 **สารต้านออกซิเดชัน** (Antioxidants)

สารต้านออกซิเดชัน สามารถชะลอหรือป้องกันการเกิดกลิ่นหืน หรือการเสื่อมเสียกลิ่นรสอื่นๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารเหล่านี้ไปทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain breaking) ในขั้นเริ่มต้น หรือขั้นต่อเนื่อง (St. Angelo, 1996) สารกันหืนมีหลายชนิด และแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (Jadhav *et al.*,1996) คือ

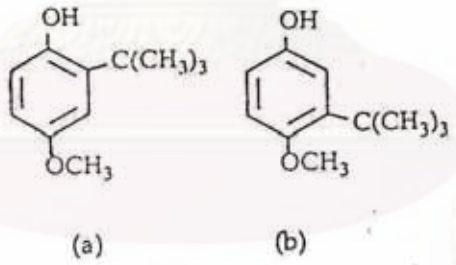
2.6.1 **สารกันหืนสังเคราะห์** (synthetic antioxidants) เช่น บิวทิเลทไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT) บิวทิเลทไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole, BHA) โพรพิลแกลเลต (propyl gallate, PG) และ เทอร์เชียรี่บิวทิลไฮโดรควินโนน หรือทีบีเอชคิว (tert-butyl hydroquinone, TBHQ) เป็นต้น ถึงแม้สารกันหืนสังเคราะห์ส่วนใหญ่นิยมใช้ใน

อุตสาหกรรมอาหาร แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มมีความสนใจสารกันหืนจากธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากสารกันหืนสังเคราะห์อาจก่อให้เกิดสารพิษสะสมและเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ (Branen,1974; Madhavi and Salunkhe, 1996b)

Butylated hydroxyanisole (BHA ; *tert*-butyl-4-hydroxyanisole)

เป็นสารกันหืนชนิดหนึ่งที่นิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้ในไขมัน น้ำมัน อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ และวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์อาหาร (Madhavi and Salunkhe, 1996a)

BHA ทางการค้าประกอบด้วย BHA 2 ไอโซเมอร์ผสมกัน คือ 2-*tert*-4-hydroxyanisole (2-BHA) และ 3-*tert*-4-hydroxyanisole (3-BHA) โดยมีส่วนของ 3-BHA ประมาณร้อยละ 90 ของ 2 ไอโซเมอร์ที่ผสมกัน ซึ่งเป็นส่วนที่มีสมบัติเป็นสารกันหืนมากกว่า 2-BHA โครงสร้าง BHA 2 ไอโซเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.2 BHA สามารถละลายในไขมันและน้ำมันได้เป็นอย่างดี แต่ไม่ละลายในน้ำ มีจุดหลอมเหลวต่ำ ระเหยเป็นไอได้ง่ายเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูง BHA มีคุณสมบัติ carry-through effect ที่ดีมากในผลิตภัณฑ์ขนมอบและอาหารทอด (ตารางที่ 2.6)



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง Butylated Hydroxyanisole (BHA) (a) 3-BHA (b) 2-BHA

ที่มา: Madhavi และคณะ (1996a)

ตารางที่ 2.6 สมบัติกายภาพของ Butylated Hydroxyanisole (BHA)

สมบัติ	ค่า
น้ำหนักโมเลกุล	180
จุดเดือด	สีขาว ลักษณะเป็นเม็ดขี้ผึ้ง
จุดหลอมเหลว	264-270 °C
สมบัติ carry-through	48-65 °C
การละลาย (% w/v, 25 °C)	
น้ำ	ไม่ละลาย
ไขมันและน้ำมัน	30-50%
เอทธิลแอลกอฮอล์	มากกว่า 50%
propylene glycol	70%
glyceryl monooleate	50%

ที่มา : Madhavi และคณะ (1996a) และ Coppen (1994)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ. 2543 (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) ได้กำหนดให้ใช้ BHA ได้ไม่เกิน 120 mg/kg และ Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives (2005) อนุญาตให้ใส่ BHA ลงในน้ำมัน หรือไขมันได้ไม่เกิน 200 mg/kg

2.6.2 **สารกันหืนจากธรรมชาติ (natural antioxidants)** เช่น โทโคฟีรอล (tocopherols), สารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compounds) ที่พบในสารสกัดจากพืช สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อพืชหรือเนื้อเยื่อสัตว์ ในผลิตภัณฑ์หมักจากจุลินทรีย์ และในเครื่องเทศและสมุนไพร เป็นต้น (Jadhav *et al*., 1996)

Shahidi และ Naczk (1995) อธิบายว่าสารประกอบฟีนอลิก เป็นองค์ประกอบที่พบในพืชทั่วไป โดยมีองค์ประกอบเป็น aromatic ring มี hydroxyl group 1 ตำแหน่งหรือมากกว่า รวมทั้งอนุพันธุ์ สารประกอบฟีนอลิกเป็น polymeric และ insoluble lignins พบใน vascular plant สามารถละลายได้ในน้ำ หรือ ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) โดยในพืชแต่ละชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกัน ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ที่พบในพืชได้แก่ phenolic acid, flavonoids, lignans, stilbenes, coumarins และ tannins ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีความสำคัญต่อความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stability) และหน่วงเหนี่ยวหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกในอาหารที่มีความสำคัญต่อ biological activity โดยมีสมบัติยับยั้งสารก่อการกลายพันธุ์ (mutagenesis) และสมบัติยับยั้งสารก่อมะเร็ง (carcinogenesis) โดยมีสารประกอบ flavonoids หลายชนิด รวมทั้ง quercetin, quercetrin, rutin, kaempferol และ D-catechin มีความสามารถในการยับยั้ง mutagenesis ซึ่ง mutagenesis เหนี่ยวนำก่อให้เกิด carcinogen ชนิด *N*-methyl-*N'*- nitro-*N*-nitrosoguanidine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

สารสกัดจากพืช (plant extracts)

สามารถใช้เมทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว (polarity) เพื่อสกัดสารประกอบฟีนอลิกที่มีสภาพขั้วได้ (Suhaj, 2006) ตัวทำละลาย (solvent) จึงมีความสำคัญต่อการสกัด (extraction) ซึ่งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของพืช

Suhaj (2006) อธิบายว่าการสกัดและการแยก (isolation) องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันจากเครื่องเทศ เช่น basil, black pepper, cinnamon, nutmeg, oregano, parsley, rosemary, sage, allspice, clove, ginger, turmeric, cayenne pepper, thyme, green tea, spice mixture ซึ่งนิยมใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย

Wang, Cao และ Prior (1996) ศึกษาเวลาในการสกัดที่มีผลต่อสมบัติต้านออกซิเดชันของ strawberry, white grape และ orange โดยศึกษาเวลาการสกัดที่เวลา 2 นาที เปรียบเทียบกับที่เวลาการสกัด 30 นาที, 1 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง พบว่าเวลาการสกัด 30 นาทีมีสมบัติต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกับที่เวลา 1 และ 4 ชั่วโมง

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล (2546) ศึกษาเวลาในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณผลผลิต (%Yield) ในใบติ้ว (*Cratoxylum formosum* Dryer.) ใบกระโดนบก (*Careya sphaerica* Roxb.) และใบผักหวานบ้าน (*Sauropus andrugynus* Merr.) โดยสกัดด้วยเอทานอล ในอัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:8.3 (w/v) เป็นเวลานาน 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4.5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 1 วัน, 2 วัน, 4 วัน และ 7 วัน พบว่าเวลาที่ดีที่สุด

คือ 4.5 ชั่วโมง และถ้าใช้เวลาในการสกัดนานเกินไปสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง เนื่องจากเกิดการออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

Maisuthisakal, Suttajit และ Pongsawatmanit (2007) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูล DPPH ของพืชพื้นเมืองไทย พบว่าพืชกลุ่ม Berries และ Fruits ได้แก่ เมล็ด (seed) มะเม่าควาย (*Antidesma velutinum* Tulas.) เมล็ดมะเกี๋ยง (*Cleistocalyx operculatus* var. *paniala* (Roxb.)) ทั้งผล (whole fruit), เนื้อ (fruit flesh) และ fruit peel ของพลับ (*Diospyros kaki* L.) เมล็ดชมพู่น้ำ (*Eugenia siamensis* Craib.) fruit peel มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) เมล็ดมะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) fruit peel และเมล็ดเงาะ (*Nephelium lappaceum* Linn.) ทั้งผลคอแลน (Nephelium hypoleucum Kurz) เมล็ดพริกไทย (*Piper nigrum* Linn.) fruit flesh และเมล็ดมะกอก (*Spondias pinnata* Kurz) เมล็ด และ skin seed ของมะขาม (*Tamarindus indica* Linn.) และเมล็ดกระถิน (*Leucaena glauca* Benth.) มีค่า EC_{50} 0.07-7.01 µg/µg DPPH (2, 2 – diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของพืชกลุ่มนี้ อยู่ในช่วง 12.90-180.50 mg gallic acid equivalents (mg GAE)/g dry weight (dw) กลุ่มพืชผักและสมุนไพร ได้แก่ ยอด (bud) ผักปรัง (*Basella alba* Linn.) ยอดกระโดน (*Basella alba* Linn.) ยอดผักติ้ว (*Cratoxylum formosum* Dyer.) ยอดตับเต่านา (*Hydrocharis dubia (Bl.)* Back.) ยอดกระถิน (*Leucaena glauca* Benth.) ยอดและใบมะระขี้นก (*Momordica charantia* Linn.) ดอก (flower) แค (*Sesbania grandiflora* Desv.) ยอดมะกอกป่า (*Spondias pinnata* Kurz) ยอดผักเม็ก (*Syzygium gratum* (Wight) S.N.Mitra var.gratum) มีค่า EC_{50} 0.23-1.48 µg/µg DPPH ส่วนยอดปอผี (*Hydrolea zeylanica (L.)* Vahl.) ยอดและดอกตาลปัตรฤาษี (*Limnocharis flava* Buch.) และยอดผักหนาม (*Lasia spinosa* Thw.) มีค่า EC_{50} 6.14, 7.42 และ 7.49 µg/µg DPPH ตามลำดับ โดยที่กลุ่มพืชผักและสมุนไพรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 5.4-63.4 mg GAE/g dw และพืชกลุ่ม Chewing plant ได้แก่ เปลือก (bark) สีเสียด (*Acacia catechu* (L.F.) Willd.) ทั้งผลและเนื้อใน (kernel) หมาก *(Areca catechu* Linn.) steam core ของคูน (*Cassia fistula* Linn.) และใบทองพันชั่ง (*Piper betel* Linn.) มีค่า EC_{50} 0.05-0.47 µg/µg DPPH และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 52.5 – 177.7 mg GAE/g dw

พรชัย เปรมไกรสร (2552) ได้ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูล DPPH และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลสดและเมล็ดมะขามป้อมอบแห้ง (Malacea Fruits and Dried Seeds) ใบหว้าสด (Jambolan Plum Leaves) และใบแก่ต้นหูกวาง (Bengal Almond Dried Leaves) พบว่าผลสดมะขามป้อม มีสมบัติการต้านอนุมูล DPPH สูงที่สุด 24.00 µg/ml ตามด้วย ใบหว้าสด (58.18 µg/ml) ใบแก่ต้นหูกวาง (82.30 µg/ml) และเมล็ดมะขามป้อมอบแห้ง

(359.60 µg/ml) และมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลลิก 5.64, 2.56, 2.39 และ 0.32 mg GAE/100 mg dw ตามลำดับ

เครื่องเทศ (spices)

เครื่องเทศ ตามความหมายของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 หมายถึง ของหอมและเม็ดร้อนที่ได้จากต้นไม้สำหรับทำยาและปรุงอาหาร โดยธรรมชาติแล้วพืชเครื่องเทศมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นส่วนสำคัญในเครื่องเทศแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิด ส่วนของพืช และฤดูกาล (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540)

Chipault และคณะ (1952) พบว่าเครื่องเทศได้แก่ allspice, aniseed, basil leaves, bay leaves, cardamom, caraway, cassia, celery seed, chilli, cinnamon, cloves, coriander, cumin, dill, fennel, fenugreek, ginger, mace, marjoram, mustard, nutmeg, oregano, paprika, black pepper, red pepper, white pepper, poppy seed, rosemary, sage, savory, thyme และ turmeric ในรูปเครื่องเทศบด (ground spices), petroleum ether soluble fraction และ alcohol soluble fraction ละเมื่อทดสอบโดย active oxygen method ที่อุณหภูมิ 98.6 °C ในไขมันหมู (lard) เปรียบเทียบเวลาการเกิดออกซิเดชันในไขมันหมูที่ใส่และไม่ใส่เครื่องเทศบด และสารสกัดจากเครื่องเทศดังกล่าวจนถึงมีค่า PV 20 meq. O_2/kg พบว่า cinnamon มีสมบัติต้านการเกิดออกซิเดชันค่อนข้างต่ำ และเมื่อนำเครื่องเทศบดดังกล่าวมาทดสอบความคงตัวในผลิตภัณฑ์ขนมอบ หรือเปลือกกรอบของพาย (pie crust) โดยใช้เตรียมเป็นส่วนผสมและทดสอบโดย active oxygen method เช่นเดียวกับการทดลองขั้นต้น พบว่า oregano, rosemary, sage และ thyme มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยเรียงจากมากไปน้อย แต่ cardamom, cassia, cinnamon, coriander, dill, fennel, fenugreek, red pepper และ poppy seed มีค่าความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันลดลง โดยต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติม เครื่องเทศบด เนื่องจากสารออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันดังกล่าวไม่ทนความร้อนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

Shobana และ Naidu (2000) ได้ศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันจากปฏิกิริยา lipid peroxidation ของสารสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและเอทานอลด้วยอัตราส่วน 1 : 1 จากเครื่องเทศ ได้แก่ garlic, ginger, onion, mint, cloves, cinnamon และ pepper เปรียบเทียบกับสารกันหืนสังเคราะห์ BHA และ BHT โดยวัดการลดลงของการดูดกลืนแสงจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดและเอนไซม์ไลปอกซิจิเนสของถั่วเหลือง (soybean lipoxygenase) และกับ linoleic acid พบว่าสารสกัดจาก cloves มีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุด ตามด้วย cinnamon,

pepper, ginger, garlic, mint และ onion ซึ่งสารสกัดดังกล่าวมีสมบัติต้านออกซิเดชันน้อยกว่า BHA และ BHT

Murcia และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของการฉายรังสีที่ระดับ 1-10 kGy ต่อสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากเครื่องเทศ 7 ชนิด ได้แก่ anise, cinnamon, ginger, licorice, mint, nutmeg และ vanilla เปรียบเทียบกับ BHA, BHT และ propyl gallate พบว่า mint และ cinnamon มีสมบัติต้านอนุมูลเปอร์ออกซี ($LOO^{\cdot}$) จากปฏิกิริยา lipid peroxidation assay มากกว่าสารสกัดเครื่องเทศชนิดอื่น และมากกว่า BHA BHT และ propyl gallate จากการศึกษาสมบัติอนุมูลไฮดรอกซี ($OH^{\cdot}$) ด้วย deoxyribose assay พบว่า nutmeg, anise และ licorice มีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุด สารสกัดจาก vanilla มีสมบัติต้านอนุมูลเปอร์ออกซีดีที่สุด และถือว่า licorice, cinnamon, mint และ ginger มีสมบัติต้านออกซิเดชันดี คือมีฤทธิ์มากกว่าสารกันหืนสังเคราะห์ ในปฏิกิริยา peroxidase-based assay (H_2O_2) และเมื่อศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดดังกล่าวโดยเครื่องแรนซิแมท (Rancimat®) ที่อุณหภูมิ 110 °C ในตัวอย่างน้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันมะกอก เนยเหลว และมาการีน พบว่า nutmeg, propyl gallate, ginger และ licorice มีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันดี จากปฏิกิริยาของอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) พบว่า cinnamon มีสมบัติต้านอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ดีที่สุด และเมื่อศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันจากอนุมูล 2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radicals anion ในรูปของ Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) พบว่าสมบัติต้านออกซิเดชันของชุดการทดลองไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และ cinnamon และ propyl gallate มีสมบัติต้านอนุมูล ABTS ดีที่สุด โดยสรุปพบว่า licorice, anise, cinnamon และ mint มีสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระสูง ในขณะที่ nutmeg, vanilla และ ginger มีสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านอนุมูลอิสระต่ำ

Su และคณะ (2007) ได้ศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันใน black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon และ oregano leaf พบว่าสารสกัดจากเครื่องเทศเหล่านี้มีสมบัติต้านออกซิเดชันที่ดี โดยที่ cinnamon มีสมบัติต้านอนุมูล ABTS ($ABTS^{\cdot}$-scavenging ability), อนุมูล DPPH ($DPPH^{\cdot}$ - scavenging activity) และอนุมูลไฮดรอกซี ($OH^{\cdot}$-scavenging activity) ดีที่สุด และมีสมบัติต้านออกซิเดชันโดย ORAC assay (Oxygen radical absorbance capacity) ซึ่งเป็นการวัดอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) ดีที่สุด และสารสกัด cinnamon ใน 50% acetone มีสมบัติ chelating activity ดีที่สุด และสารสกัด cinnamon ด้วย 50% acetone และ 80% methanol มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดที่ 18.56 และ 14.82 mg GAE/g dw

Siripongvutikorn และคณะ (2009) ได้ศึกษาสมบัติต้านอนุมูล DPPH และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสมุนไพร และเครื่องเทศในเครื่องต้มยำซึ่งได้แก่ ข่าอ่อน ข่าแก่ ใบมะกรูด พริก ตะไคร้ หอมแดง รากผักชี กระเทียม และส้มแขก (garcinia) พบว่ามี EC_{50} 0.19-21.62 mg/ml และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.19-3.16 g GAE/100 g dw โดยที่ข่าอ่อน มีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุด คือมี EC_{50} 0.19 mg/ml ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 3.16 g GAE/100 g dw และส้มแขกมีสมบัติต้านออกซิเดชันน้อยที่สุดคือมี EC_{50} 21.62 mg/ml ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 0.19 g GAE/100 g dw และในเครื่องต้มยำแห้งผสมส้มแขกสำเร็จรูปชนิดไม่ใส่ใบมะกรูดมี EC_{50} 7.64 mg/ml ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.69 g GAE/100 g dw ส่วนเครื่องต้มยำแห้งผสมส้มแขกสำเร็จรูปชนิดใส่ใบมะกรูดมี EC_{50} 5.86 mg/ml ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.99 g GAE/100 g dw ขณะที่เครื่องต้มยำแห้งสำเร็จรูปทางการค้ามีสมบัติต้านออกซิเดชันต่ำกว่า คือมีค่า EC_{50} 33.40 mg/ml และมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.15 g GAE/100 g dw

2.7 **กลไกการทำงานของสารต้านออกซิเดชัน** (Frankel, 2005)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant, AH) โดยทั่วไปเป็นสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก เมื่อเติมลงไปในไขมันหรือน้ำมันหรืออาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ จะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ เช่น $ROO^{\cdot}$, $R^{\cdot}$ โดยจะให้โปรตอน ($H^{\cdot}$) แก่อนุมูลอิสระ และตัวมันเองกลายเป็นอนุมูลอิสระแทน ($A^{\cdot}$) ดังนี้

$$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot} \qquad (2.11)$$

$$RO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROH + A^{\cdot} \qquad (2.12)$$

$$R^{\cdot} + AH \longrightarrow RH + A^{\cdot} \qquad (2.13)$$

เมื่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชัน (AH) ที่เติมลงไปจะได้อนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน ($A^{\cdot}$) (ปฏิกิริยาที่ 2.11-2.13) ที่มีความเสถียรสูงกว่าอนุมูลของกรดไขมัน ($R^{\cdot}$) มาก เมื่อ $A^{\cdot}$ ทำปฏิกิริยากับ peroxyl radicals ($ROO^{\cdot}$) และกับ $A^{\cdot}$ เองจะได้เป็นสารประกอบที่มีความคงตัว ไม่เป็นอนุมูลอีกต่อไป (ปฏิกิริยาที่ 2.14 และ 2.15) ฉะนั้นเมื่ออนุมูลของกรดไขมันในปฏิกิริยาลูกโซ่มีน้อยลง เกิดอนุมูล

ของสารต้านออกซิเดชันมากขึ้น จนกระทั่งเกิดสารที่มีความคงตัวมากขึ้น จึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดชะงักไม่สามารถเข้าสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ได้

$$ROO^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow ROOA \qquad (2.14)$$

$$A^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow A\text{-}A \qquad (2.15)$$

จากกลไกดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้สารต้านออกซิเดชันสามารถชะลอหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดในไขมันหรือน้ำมันหรืออาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบได้

Narwa (1996) อธิบายว่าประสิทธิภาพของ antioxidant ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งรวมทั้ง activation energy, rate constants, oxidation reduction potential ซึ่งจะกล่าวถึงสองปฏิกิริยาคือ inhibitor reaction (ปฏิกิริยาที่ 2.16) และ chain propagation reaction (ปฏิกิริยาที่ 2.17)

$$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot} \qquad (2.16)$$

$$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot} \qquad (2.17)$$

ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาเป็น exothermic ซึ่ง activation energy จะมากขึ้นเมื่อ A-H bond และ R-H bond มี dissociation energy เพิ่มขึ้น กล่าวคือประสิทธิภาพของ antioxidant จะเพิ่มขึ้น เมื่อ A-H bond มีความแข็งแรงลดลง อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของ hydrogen หรือ electron donor และโครงสร้างที่เสถียรของการเกิดรีโซแนนซ์ของสารประกอบฟีนอลิก นอกจากนี้ Frankel (2005) อธิบายว่าการเกิดรีโซแนนซ์ของอนุมูลฟีนอลิกจะเกิดได้ดีเมื่อมี hydroxyl group 2 โมเลกุล ในตำแหน่งแทนที่ ortho- และ para-

2.8 การทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการตรวจสอบความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant capacity) ของ antioxidant มีหลายวิธี เช่น Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP), Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC), β-carotene blenching, HPLC, Total phenols และ radical-scavenging method (Roginsky and Lissi, 2005) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดบางวิธีดังนี้

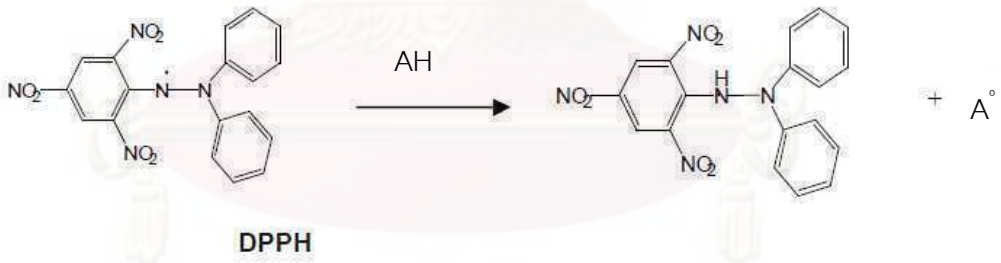
2.8.1 การทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยอนุมูล DPPH (DPPH assay)

เป็นการวัดความสามารถของ antioxidant ในการรีดิวซ์อนุมูล DPPH ซึ่งวิธีนี้จัดเป็น single electron transfer reactions หรืออาจกล่าวได้ว่าจัดเป็น direct reduction via electron transfers หรือ radical quenching via hydrogen atom transfer (Prior, Wu, and Schaich, 2005) และการทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยอนุมูล DPPH เป็นวิธีทดสอบที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และรวดเร็ว (Prior *et al*., 2005)

การทดสอบสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยอนุมูล 2,2 –Diphenyl-1-picrylhydrazyl ($DPPH^{\circ}$) ในสารละลายเมทานอล (ดังรูป 2.3) โดยเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของ $DPPH^{\circ}$ กับ antioxidant (AH) หรือ a radical spices ($R^{\cdot}$) (ปฏิกิริยา 2.18 และ 2.19) (Brand-Williams, Cuvelier and Berset, 1995) เกิดเป็นอนุมูลที่เสถียรไม่มีอนุมูลอิสระอีกต่อไป (ดังรูป 2.3) ทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงลดลง โดยวัดด้วยวิธี spectrophotometry ที่ความยาวคลื่น 515 (Brand-Williams *et al*., 1995) หรือ 517 nm (Masuda *et al*., 1999) หลังทำปฏิกิริยา

$$DPPH^{\circ} + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A^{\cdot} \qquad (2.18)$$

$$DPPH^{\circ} + R^{\cdot} \longrightarrow DPPH\text{-}R \qquad (2.19)$$



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล DPPH กับสารต้านออกซิเดชัน (AH)
ที่มา: Prior และคณะ (2005)

สามารถคำนวณ % $DPPH^{\circ}$ ที่เหลืออยู่ที่ภาวะ steady state ได้จาก สมการที่ 2 (Prior *et al*., 2005) หรือคำนวณจาก % DPPH radical scavenging activity สมการที่ 3 (Masuda *et al*., 1999)

$$\%\ DPPH^{\circ}_{\text{ที่เหลืออยู่}} = [DPPH^{\circ}_{\text{ที่เหลืออยู่}}]/[DPPH^{\circ}_{T=0}] \times 100 \qquad (2)$$

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [A_0 - (A_1 - A_s)]/A_0 \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (อนุมูล DPPH ละลายในเมทานอล), A_1 คือค่าการดูดกลืนแสงของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH และ A_s คือค่าการดูดกลืนแสงของสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

นำ DPPH radical scavenging activity (%) มาพล็อตกราฟกับความเข้มข้นของสารสกัด (µg (dry mass)/µg DPPH; µg/ml) จะสามารถคำนวณค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้ โดยที่ EC_{50} (Efficiency concentration) คือ ความเข้มข้นของ antioxidant ที่สามารถลดความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลงได้ 50% ณ เวลาการทำปฏิกิริยาที่ภาวะ steady state (Prior *et al*., 2005) และสามารถคำนวณค่ากำลังการต้านอนุมูลอิสระ (antiradical power) โดยคำนวณเป็น $1/EC_{50}$ (Brand-Williams *et al*., 1995)

โดยปกติแล้ว antioxidant จะสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH ได้เร็วหรือช้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจลนพลศาสตร์ของ antioxidant แต่ละชนิด (Prior *et al*., 2005) Brand-Williams และคณะ (1995) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลลิก จำนวน 20 ชนิด จาก DPPH assay โดยศึกษาจากปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ของ antioxidant แต่ละชนิดที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH จนถึงภาวะ steady state โดยที่ยังคงมีค่าการดูดกลืนแสงไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ทำปฏิกิริยา พบว่าสามารถแบ่งความเร็วในการทำปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกกับอนุมูล DPPH ได้ 3 ประเภท ซึ่งประเภทแรกสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH ได้อย่างรวดเร็ว steady state ใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที ได้แก่ isoeugenol, ascorbic acid และ isoascorbic acid ประเภทที่สองทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH ใช้เวลาปานกลาง steady state ใช้เวลา 5-30 นาที ได้แก่ δ-tocopherol และ rosmarinic acid และประเภทสุดท้ายสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH ได้ช้าใช้เวลาถึง steady state 1-6 ชั่วโมง ได้แก่ phenol, coumaric acid, vanillin, vanIlic acid, γ-resorcylic acid, ferulic acid, eugenol, zingerone, guaiacol, BHA, BHT, protocatechuic acid, caffeic acid, gentisic acid และ gallic acid นอกจากนั้น Sánchez-Moreno และคณะ (1998) พบว่าช่วงเวลาที่เกิด steady state ของ rutin 23.5-60 นาที quercetin 6-75 นาที และ BHA 19.5-119.5 นาที แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกใน DPPH assay 30 นาที (Mathew and Abraham, 2006a and 2006b; Maisuthisakul *et al*., 2007)

2.8.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

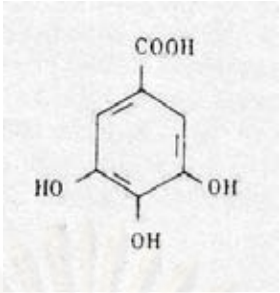
Folin-Ciocalteu assay เป็นวิธีการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ที่ง่าย ไวต่อการทำปฏิกิริยา และมีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเกิดได้ช้าในภาวะเป็นกรด (Prior *et al.*, 2005) ขาดความจำเพาะและจะประเมินทั้ง monophenolics และ polyphenolics (Roginsky and Lissi, 2005)

Singleton และ Rossi (1965) กล่าวว่า Folin-Ciocalteu reagent เป็นสารละลายกรดสีเหลืองประกอบด้วย complex polymeric ions form จาก phosphomolybdic และ phosphotungstic heteropoly acids ซึ่งในสารละลายนี้ประกอบด้วย polymeric series ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในรูปที่มี tetrahedral phosphate unit อยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วย octahedral molybdenum oxy-acid unit ซึ่งโครงสร้างของ tungsten สามารถเข้าแทนที่ใน molybdenum ได้อย่างอิสระ สารละลายนี้จะออกซิไดซ์ phenolate และ heteropoly acid ให้อยู่ในรูปแบบรีดิวซ์บางส่วนจาก +6 เป็น +6 และ +5 valence states จึงทำให้เกิดเป็น complex molybdenum - tungsten blue ที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

Sodium carbonate เป็น alkali ที่นิยมใช้ในวิธีวิเคราะห์นี้มากกว่า alkali ชนิดอื่น เช่น sodium cyanide (NaCN) และ sodium hydroxide (NaOH) เนื่องจากทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีฟ้าได้เร็วกว่า NaCN และ NaOH (Singleton และ Rossi,1965)

Prior และคณะ (2005) อธิบายว่า Singleton และ Rossi (1965) ได้ปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ molybdotungstophosphoric heteropolyanion reagent ดังนี้ $3H_2O$-P_2O_5-$13WO_3$-$5MoO_3$-10 H_2O และ $3H_2O$-P_2O_5-$14WO_3$-$4MoO_3$-10 H_2O ซึ่งรีดิวซ์สารประกอบฟีนอลิกแบบจำเพาะเจาะจงมากขึ้นที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยที่มีการควบคุม อัตราส่วนของ alkali ต่อ Folin-Ciocalteu reagent เวลาที่เหมาะสมและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสี และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน Roginsky และ Lissi (2005) อธิบายว่า Folin-Ciocalteu assay เป็นระบบของ tungstate และ molybdate ใน highly basic medium (5-10% aqueous Na_2CO_3) โดยที่สารประกอบฟีนอลิกจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วใน basic medium ก่อให้เกิด $O_2^{\bullet-}$ ซึ่ง $O_2^{\bullet-}$ ทำปฏิกิริยากับ molybdate เกิดเป็น molybdenum oxide (MoO^{4+}) สามารถวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียง 750 นาโนเมตร

Gallic acid (3, 4, 5-Trihydroxybenzoic acid; $C_7H_6O_5$) นิยมใช้เป็นสารมาตรฐานของสารประกอบฟีนอลิกได้ดี เนื่องจากมีราคาไม่แพงในรูปสารบริสุทธิ์ มีความคงตัวในรูป dry form และเป็นสารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลเดี่ยว (รูปที่ 2.4) (Waterhouse, 2005)



รูปที่ 2.4 Gallic acid

ที่มา: Merck (1989)

2.9 การศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stability)

การศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้เครื่อง Rancimat® ตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนที่คงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่งในรีแอคชันเวสเซล (reaction vessel) อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 100-140 °C และอากาศถูกเป่าเข้าไปในอัตราที่คงที่ เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดสารระเหยโมเลกุลเล็ก ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็น formic acid และถูกดักจับด้วยน้ำกลั่นวัดค่าการนำ ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป (electrical conductivity) และคำนวณเวลา (ชั่วโมง) ในการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (induction time) ซึ่ง induction time คือ เวลาในการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Frankel, 2005) และนำค่า induction time มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมบัติต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารกันหืน โดยคำนวณเป็นค่าดัชนีการป้องกันการหืน (protection factor) โดยนำค่า induction time ของตัวอย่างที่ใส่สารกันหืน หารด้วยค่า induction time ของตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่สารกันหืนหรือตัวอย่างควบคุม

Farhoosh (2007) ได้ศึกษาผลของ operation parameter ของ Rancimat® method ที่มีต่อ oxidative stability และทำนายอายุการเก็บรักษาน้ำมันถั่วเหลือง operation parameter ของ Rancimat® method ได้แก่ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน, air flow rate(L/h) และอุณหภูมิ พบว่า operation parameter ที่เหมาะสมต่อ oxidative stability และทำนายอายุการเก็บรักษาน้ำมันถั่วเหลือง คือ ตัวอย่างน้ำหนัก 3 g : air flow rate 10 และ 15 L/h อุณหภูมิ 100 และ 110 °C และตัวอย่างน้ำหนัก 6 g : air flow rate 10 และ 20 L/h และ อุณหภูมิ 100 °C

Quinn และ Tang (1996) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันแมคาเดเมีย (Refined macadamia nut oil) ได้พบสารประกอบฟีนอลิกจำพวก catechol, phrogallol และ 3,4,5-trihydroxy phenolic compounds เป็นองค์ประกอบ และเมื่อจำแนกได้สารประกอบฟีนอลิก 4 ชนิด คือ 2,6-dihydroxybenzoic acid, 2'-hydroxy-4'-methoxyacetophenone, 3'-5'-

dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone และ 3-5-dimethoxy4-hydroxycinnamic acid ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวมีผลทำให้น้ำมันแมคาเดเมียมีความคงตัวสูง

Kaijser และคณะ (2000) ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันแมคาเดเมียในประเทศนิวซีแลนด์ โดยวิธี Rancimat® ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C พบว่ามี induction time 3.59-19.75 ชั่วโมง และน้ำมันแมคาเดเมียประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ดังต่อไปนี้ α-tocopherol 0.80-1.10 ug/g, δ-tocopherol 3.50-4.80 ug/g, α-tocotrienol 12.50-48.40 ug/g และพบ phytosterol ประกอบด้วย Sitosterol 901-1354 ug/g, Δ5-Avenasterol 82-207 ug/g, Campesterol 61-112 ug/g และ Stigmasterol 8-19 ug/g รวมแล้วมี Total desmethylsterols 1117-1549 ug/g ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ Kornsteiner และคณะ (2006) พบว่าแมคาเดเมียมีสารประกอบฟีนอลิก 45-46 mg GAE/100 g (wb)

2.10 **อบเชย** (Cinnamon)

อบเชยเป็นทั้งพืชเครื่องเทศและสมุนไพร อยู่ในวงศ์ Lauraccae และสกุล *Cinnamomum* ซึ่งพืชในวงศ์นี้ประกอบด้วย 32 สกุล และ 2,000-2,500 ชนิด ส่วนมากเป็นไม้ขนาดใหญ่ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534) ส่วนที่ใช้ประโยชน์คือ เปลือกของลำต้น ใบ และกิ่งก้าน มีกลิ่นหอมฉุน และรสหวาน (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540)

อบเชยที่ซื้อขายในตลาดโลกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อบเชยเทศ (Ceylon cinnamon) และแคสเซีย ได้แก่ อบเชยญวน อบเชยจีน และอบเชยชวา ซึ่งแคสเซียเป็นชื่อสปีชีส์ของอบเชยไม่เกี่ยวข้องกับจีนัส *Cassia* ในวงศ์ Cesalpiniaceae (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534; Dao, 2004) เมื่อพิจารณาถึงแหล่งผลิตและคุณภาพ อบเชยแยกเป็น 5 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีชื่อสามัญและชื่อวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534 และ กระทรวงอุตสาหกรรม, 2537) ดังนี้

<u>อบเชยเทศ</u> (Sri Lanka cinnamon หรือ Ceylon cinnamon)

อบเชยเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ ได้แก่ *Cinnamomum zeylanicum* Nees (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2537), *Cinnamomum verum* J. Presl และ *Laurus cinnamomum* L. (Barceloux, 2009) มีปลูกมากในศรีลังกา อินเดีย เซเชลล์ และสาธารณรัฐประชาธิปไตยมาลากาซี ทั้งนี้ผลผลิตอบเชยจากศรีลังกาเป็นที่ยอมรับว่ามีคุณภาพดีที่สุด (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534)

Jayaprakasha, Ohnishi-Kameyama และ Ono (2006) กล่าวว่า ส่วนเปลือกของอบเชยเทศมี oligomeric proanthocyandins with doubly linked bis-flavan-3-ol unit ปริมาณมากกว่า dimeric และ trimeric

Mathew และ Abraham (2006a; 2006b) นำส่วนเปลือกและส่วนใบของอบเชยเทศ สกัดด้วยเมทานอล ที่อัตราส่วนปริมาณของแข็งต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:100 (w/v) โดยการเขย่าที่อุณหภูมิห้องนาน 5 ชั่วโมง กรองและระเหยตัวทำละลายที่ภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 °C ทำแห้ง (freeze dried) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 °C พบว่าสารสกัดจากส่วนเปลือกและส่วนใบอบเชยเทศมีสมบัติต้านออกซิเดชันดี โดยสารสกัดส่วนเปลือกและใบมีค่า EC_{50} ที่วิเคราะห์จาก % $DPPH_{remain}$ เท่ากับ 4.21 µg/ml ขณะที่ BHA 5.79 µg/ml สารสกัดส่วนใบมีค่า EC_{50} เท่ากับ 22.4 µg/ml ขณะที่ BHA 2.46 µg/ml , สารสกัดส่วนเปลือกและใบมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 289 และ 116 mg GAE/g นอกจากนี้มีสมบัติ ABTS radical cation, hydroxyl ($^{\cdot}OH$) radical, superoxide radicals ($O^{\cdot}_2$), reducing power, metal chelating activity, total antioxidant ที่วิเคราะห์จาก linoleic acid emulsion system

Al-Numair และคณะ (2007) วิเคราะห์ปริมาณและชนิดของสารประกอบฟีนอลิก พบว่าอบเชยเทศ และอบเชยจีน ประกอบด้วย rutin (0.896, 0.672 mg/100 g), quercetin (0.550, 0.172 mg/100 g), kaempferol (0.492, 0.0016 mg/100 g), isorhamentin (0.113, 0.103 mg/100 g) และ catechin (2.30, 1.90 mg/100 g)

Singh และคณะ (2007) พบว่าน้ำมันหอมระเหย (volatile oils) ของอบเชยเทศ ประกอบด้วย (E)-cinnamaldehyde (97.7%) เป็นองค์ประกอบหลัก, δ-cadinene (0.9%), α-copaene (0.8%) และ α-amorphene และส่วนเปลือกของอบเชยเทศ ประกอบด้วย (E)-cinnamaldehyde เป็นองค์ประกอบหลัก (50.0%), coumarin (16.6%), δ-cadinene (7.8%), α-copaene (4.6%), α-muurolene (4.4%), cadina-1(2), 4-diene (1.8%), (Z)-cinnamaldehyde (1.5%), ortho-methoxy cinnamaldehyde (1.5%), β-bisabolene (1.4%), β-caryophyllene (1.0%), cubenol (0.5%), 1-nonadecene (0.4%), 1-heptadecene (0.2%), nonacosane (0.2%), terpinen-4-ol (0.1%), tetracosane (0.1%) และ octacosane (0.1%) มีสมบัติต้านการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี ferric thiocyanate method, reducing power, chelating และสมบัติต้านอนุมูล 1,1'-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และอนุมูลไฮดรอกซี เมื่อทดสอบกับระบบอาหารในน้ำมันมาสตาร์ด พบว่า มีสมบัติต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นต้น (primary oxidation) และขั้นที่สอง (secondary oxidation) โดยวิเคราะห์ PV, TBA, AnV, และ carbonyl value นอกจากนี้พบว่าใบและเปลือกของอบเชยเทศ เมื่อใช้เตรียมน้ำมันหอมระเหยย และสารสกัด มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial) ได้แก่ *Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Aspergillus ochraceus, Fusarium graminearum, Fusarium moniliforme, Penicillium citrinum*, *Penicillium viridicatum* และ *Aspergillus terreus* โดยพบว่าใบและเปลือกในรูปน้ำมันหอมระเหยมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ทุกชนิดยกเว้น *A. ochraceus* สารสกัดจากใบมีฤทธิ์ต้าน *P.*

citrinum เท่านั้น ขณะที่สารสกัดจากเปลือกมีฤทธิ์ต้าน *Aspergillus flavus, Aspergillus ochraceus, Aspergillus niger, Aspergillus terreus, Penicillium citrinum, Penicillium viridicatum* และ พบว่าน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากใบมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากเปลือก และสารต้านจุลินทรีย์ทางการค้า

อบเชยญวน (Saigon or Vietnam cassia)

ในอดีตมีการอ้างว่า อบเชยญวนมีชื่อวิทยาศาสตร์เป็น *Cinnamomum loureirii* Nees แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการตรวจสอบและศึกษาเพิ่มมากขึ้น ก็อาจสรุปได้ว่าอบเชยญวนก็คืออบเชยจีนที่ปลูกและใช้ประโยชน์ทางการค้าในประเทศเวียดนาม ซึ่ง Dao (2004) อธิบายว่าจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อจำแนกชนิดของ *Cinnamomum* จากทางเหนือถึงทางใต้ของเวียดนาม ได้ข้อสรุปว่า Vietnam cassia เป็นพันธุ์ที่หายากมากส่วนใหญ่พบในป่า(ศิริพงษ์ พัฒน-วิบูลย์, 2534) และไม่ได้พบได้ทั่วไปในเวียดนาม และแทบจะกล่าวได้ว่าไม่มี *C. loureirii* ทางการค้า หรืออาจกล่าวได้ว่า *C. loureirii* คือ *C. cassia* เนื่องจากรัฐบาลเวียดนามจำแนกชื่อวิทยาศาสตร์ผิดโดยที่ไม่ได้อ้างอิงจากถิ่นฐานดั้งเดิม (regional origin) และไม่ได้อ้างอิงจากแหล่งข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ (botanical source) หรือ official grades ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทางการค้าอบเชยญวน ก็คือ *C. cassia*

สารสกัด (oleoresins) ด้วยเบนซินจากส่วนของราก เปลือก และ heartwood ของอบเชยญวนมี cinnamic aldehyde เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสารสกัดของรากและเปลือก โดยมีมากกว่า 70% (Senanayake and Wijesekera, 2004) ส่วนเปลือกของอบเชยญวน ประกอบด้วย coumarin, cinnamaldehyde, cinnamic acid, cinnamyl alcohol, cinnamyl acetate และ eugenol (Dao, 2004) น้ำมันหอมระเหยจากใบบ ประกอบด้วย linalool (40%), aldehyde (27%) (mainly citral) และ cineole และน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก ประกอบด้วย cinnamaldehyde (80%), camphene, linalool และ cineole (Dao, 2004)

อบเชยจีน (Chinese cassia หรือ Cassia Lignea)

อบเชยจีนมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cinnamomum cassia* Nees มีการปลูกมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พม่า สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เวียดนาม และสาธาณรัฐประชาชนจีน และได้ใช้เป็นชื่อทางการค้า (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534; Dao, 2004)

Dao (2004) อธิบายว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดส่วนเปลือกประกอบด้วย coumarin, cinnamaldehyde, cinnamic acid, cinnamyl alcohol, cinnamyl acetate, eugenol, β-sitosterol, choline, protocatechuic acid, vanillic acid และ syringic acid และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากส่วนใบและเปลือก เปรียบเทียบกับน้ำมัน

หอมระเหยทางการค้า พบว่า องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ประกอบด้วย cinnamaldehyde (69.6, 87.0 และ 77.2% ตามลำดับ) และ coumarin (8.06, 0.28 และ 15.3% ตามลำดับ)

Jang และคณะ (2007) พบว่าสารสกัดอบเชยจีนที่สกัดด้วยอะซีโตน (acetone) และเมทานอล 24 ชั่วโมง และน้ำร้อน 8 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนของแข็งต่อสารละลาย เท่ากับ 1 : 22.5 w/v มี cinnamaldehyde เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดอบเชยจีนที่สกัดด้วยอะซีโตน เมทานอล และน้ำร้อน เท่ากับ 1911, 1496 และ 1426 mg/l ตามลำดับ และผลสดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 9.62, 7.14 และ 2.52 mM GAE/l ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าอบเชยจีนมีสมบัติต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วย % DPPH radical scavenging assay, Ferric-reducing antioxidant power assay (FRAP) และ Ferric thiocyanate assay (FTC) สูงกว่าขมิ้น (*Curcuma longa*) และ golden thread *(Coptidis rhizome)*

<u>อบเชยชวา</u> (Batavia or Indonesia cinnamon, Indonesian cassia,Java cassia, Fagot cassia, Padang cinnamon, Batavia cassia, Korintji cassia และ cassia vera) (Hasanah *et al*., 2004)

อบเชยชวามีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cinnamomum burmanni* Nees ex Blume มีปลูกมากในมาเลซีย และอินโดนีเซีย โดยการปลูกเพื่อการค้ามีมากใน หมู่เกาะสุมาตรา (Sumatera Islands) หมู่เกาะชวา (Java Islands) หมู่เกาะ Jambi (Jambi Islands) และขยายไปยังติเมอร์ (Timor) (Hasanah *et al*., 2004) อบเชยชวา ที่สำคัญมี 2 ชนิด Cassia Vera และ Korintji cassia ซึ่ง Cassia Vera มีอีกชื่อหนึ่งว่า Padang cassia เพราะส่งออกมากที่เมืองท่า Padang ในเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ส่วน Korintji cassi ปลูกมากที่บริเวณภูเขาโครินจิ

ศูนย์กลางการเพาะปลูกอยู่ในหมู่เกาะ Jambi และทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา มีพื้นที่ 59,490 hectare และ 28,893 hectare ตามลำดับ โดยมีผลผลิตของส่วนเปลือก 20,185 และ 18,525 ตัน ประเทศที่นำเข้าอบเชยชวาที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี และเนเธอร์แลนด์ และพบว่าประมาณ ร้อยละ 85-90 ของผลิตภัณฑ์การส่งออกของอินโดนีเซียมาจากทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา (Hasanah *et al*., 2004)

Hasanah และคณะ (2004) อธิบายว่าน้ำมันหอมระเหยจากส่วนเปลือกมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับอบเชยเทศ และอบเชยจีน โดยมี cinnamic aldehyde และ eugenol เป็นส่วนประกอบหลัก และน้ำมันหอมระเหยจากส่วนใบพบว่ามี safrole เป็นองค์ประกอบร้อยละ 96.28-99.70 และมีรายงานพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกและใบมี 1,8-cineole เป็นส่วนประกอบร้อยละ 51.4 และ 28.5 ตามลำดับ

อบเชยไทย

อบเชยไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cinnamomum inner* Blume มีคุณภาพไม่ดีพอ มีเนื้อไม้หนา กลิ่นอ่อน และไม่มีกระขาวขึ้นที่ผิวนอกเหมือนอบเชยจากต่างประเทศ ส่วนมากอบเชยไทยจะพบตามป่าในภาคเหนือ เช่น จังหวัดพิษณุโลก และบางจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534)

อบเชยสามารถใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารชนิดต่างๆ ได้ทั้งของคาวและของหวาน ได้แก่ ไส้กรอก เบคอน หรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ต่างๆ ผักดอง ซ้อส คุกกี้ เค้ก แยม เครื่องพะโล้ ผงกะหรี่ และใช้ผสมในเครื่องดื่มประเภทโคคาโคล่า ส่วนในด้านการแพทย์ รสหวานของอบเชยมีคุณสมบัติทำให้สดชื่น แก้อ่อนเพลีย บำรุงธาตุ ขับลม แก้จุกเสียด แน่นท้อง ท้องร่วง ขับลมในลำไส้ ผสมยาอมมีกลิ่นหอม (ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์, 2534 และรุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540) นอกจากนี้มีงานวิจัยทางการแพทย์ของ Subash Babu, Prabuseenivasan และ Ignacimuthu (2007) ที่พบว่า cinnamaldehyde ซึ่งเป็นสารสกัดบริสุทธิ์ของอบเชยเทศมีสมบัติต้านการเป็นโรคเบาหวาน (antidiabetic agent) และสามารถลด glycosylated hemoglobin (HbA_{1c}), serum total cholesterol, triglyceride level และเพิ่ม plasma insulin, hepatic glycogen และ HDLcholestrol ในหนูทดลอง

2.11 **การแช่เยือกแข็ง** (Freezing)

การแช่เยือกแข็ง เป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งที่สามารถชะลอปฏิกิริยาชีวเคมี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่เนื้อเยื่อของอาหารยังคงสมบัติต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับของสดไว้ได้ โดยอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ที่ -18 °C หรือต่ำกว่า การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิกเป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงสุดจัดอยู่ในขั้น ultra rapid freezing rate สารไครโอเจนที่นิยมใช้ ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์แข็งหรือเหลว ข้อดีของการแช่เยือกแข็งแบบไครโอ-จินิกโดยใช้ไนโตรเจนเหลว คือตัวกลางถ่ายโอนความร้อนที่ใช้จะทำให้การแช่เยือกแข็งเกิดได้เร็วกว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ มีอัตราการมีการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์น้อยมาก ออกซิเจนถูกกำจัดออกระหว่างการแช่เยือกแข็ง มีการทำลายเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้อย (สายสนม ประดิษฐสุดวง, 2546)

อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ สามารถเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ ถึงแม้ใช้การแช่เยือกแข็งเพื่อแปรรูปและเก็บรักษา และมีการใช้เครื่องเทศ และสารกันหืน เพื่อลดปฏิกิริยาดังกล่าวที่เกิดขึ้นระหว่างแช่เยือกแข็ง งานวิจัยของ Georgantelis และคณะ (2007) ซึ่งใช้ rosemary extract, chitosan, α-tocopherol และของผสมระหว่างสารทั้ง 3

ชนิด เพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันเบอร์เกอร์เนื้อวัว โดยสามารถลดค่า PV และ conjugated dienes และให้ความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์ ระหว่างการเก็บรักษาโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 6 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

3.1.1 แมคาเดเมีย (Macadamia)

แมคาเดเมียพันธุ์โป่งแยง 741 ใช้สำหรับการพัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด การศึกษาภาวะการแช่เยือกแข็ง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน ส่วนแมคาเดเมียคละพันธุ์ระหว่างพันธุ์โป่งแยง 741, โป่งแยง 344, โป่งแยง 508, โป่งแยง660, ดอยสะเก็ด 800 และดอยสะเก็ด 344 ใช้สำหรับบีบน้ำมันเพื่อศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งได้รับแมคาเดเมียจากไร่คุณประพัทธ์ พิมพ์ประโพธ ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ แมคาเดเมียทั้งเนื้อในและกะลาถูกบรรจุใส่ลังกระดาษขนส่งด้วยรถบรรทุกส่งมาที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนำไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาด (บริษัท เหยี่ยวเฮง จำกัด รุ่น HA-100S, ประเทศไทย) อุณหภูมิ 50 °C นาน 48 ชั่วโมง จนความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 2 (dry basis) (บัญชา พิชัยบัณฑิตกุล และวิทวัส ไชยวงศ์, 2549) หลังจากนั้นนำไปกะเทาะเปลือก ก่อนเก็บในถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE หนา 100 ไมครอน) บรรจุถุงละ 500 กรัม ปิดผนึกในภาวะสุญญากาศ (WEBOMETIC®, รุ่น Hansastr. 119 D-44866 Bochum, Germany) ก่อนเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 °C เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.1.2 แมคาเดเมียบด

การผลิตแมคาเดเมียบดใช้เฉพาะพันธุ์โป่งแยง 741 เท่านั้น เนื่องจากแมคาเดเมียพันธุ์โป่งแยง 741 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวมากที่สุด นำแมคาเดเมียไปละลายน้ำแข็งที่ อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลาข้ามคืน (12 ชั่วโมง) และล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อเมล็ดเนื้อใน เท่ากับ 10 ต่อ 3 สะเด็ดน้ำจนแห้ง นึ่งในลังถึงจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเนื้อในแมคาเดเมียเป็น 90 °C นาน 15 นาที หรือจนกระทั่งกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในตัวอย่างถูกยับยั้งจนหมด (Pearson, 1976) และล้างด้วยน้ำเย็น (8 ± 1 °C) สะเด็ดน้ำจนแห้ง ก่อนบดลดขนาดอย่างหยาบในครั้งแรก (Moulinex รุ่น Moulinex Delicio 2 DFB 2, France) และบดละเอียดในครั้งที่ 2 (Phillip, รุ่น HR1757 Cucina Blender, UK) จนได้แมคาเดเมียเนื้อละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไส้แมคาเดเมียบด ต่อไปเรียกว่าแมคาเดเมียบด

3.1.3 น้ำมันแมคาเดเมีย

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของแมคาเดเมียทั้ง 6 พันธุ์ ไม่แตกต่างกัน (ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ และคณะ, 2549) และมีวัตถุดิบในแต่ละพันธุ์ในปริมาณไม่มาก จึงใช้แมคาเดเมียทั้ง 6 พันธุ์ ไปผลิตน้ำมันแมคาเดเมียผสม โดยนำวัตถุดิบ ข้อ 3.1.1 ไปละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลาข้ามคืน (12 ชั่วโมง) ก่อนนำไปบีบอัดแยกน้ำมันด้วยเครื่อง hydraulic press (บริษัท เพชรเกษมจักรกลซีรามิค จำกัด รุ่น serial No. 0-1, ประเทศไทย) ที่ความดัน 250 kg/cm^2 นาน 5 นาที

3.1.4 อบเชยผง

อบเชยผง (*Cinnamomum spp.*) 3 พันธุ์ ได้แก่ อบเชยเทศ (*C. zeyaniticum*) อบเชยจีน *(C. cassia)* ซื้อจากร้านเจ้ากรมเป๋อ ที่เป็นร้านขายยาสมุนไพรแผนโบราณ แถวสำเพ็ง ในกรุงเทพฯ และอบเชยชวา *(C. burmanni)* ได้จากบริษัทเทคนิฟู้ดอินเตอร์เนชั่นแนล กรุงเทพฯ นำอบเชยแต่ละชนิดมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) บรรจุในขวดแก้วสีชา และเก็บในตู้เย็น (8-10 °C)

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาภาวะการสกัดที่มีต่อสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย

ศึกษาภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดอบเชยเทศผงด้วยเมทานอล (absolute methanol, 99.9%) โดยดัดแปลงวิธีของพิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล (2546) และ Mathew และ Abraham (2006a; 2006b)

แปรอัตราส่วนอบเชยเทศผง (ส่วนเปลือก) ต่อปริมาณเมทานอลที่ 1:20 และ 1:50 (w/v) เขย่าในที่มืด ความเร็วรอบ 150 rpm อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลานาน 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยง (Rotanta 460 R, Hettich Zentifugen, Germany) ที่ความเร็วรอบ 10,000 × g นาน 20 นาที ก่อนนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และระเหยตัวทำละลายที่ภาวะสุญญากาศด้วยเครื่องระเหย (N-N-Series, EYELA, Japan) ที่อุณหภูมิ 65 °C และอบที่อุณหภูมิ 105 °C ชั่งน้ำหนักสารสกัดแห้งและคำนวณร้อยละปริมาณผลผลิตของสารสกัดตามสมการที่ 3.1, เก็บตัวอย่างที่ได้โดยละลายสารสกัดแห้งในเมทานอล 20 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติต้านออกซิเดชันต่อไป

$$\% \text{ Yield (dry basis)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดแห้งที่ได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของอบเชยผง (กรัม)}} \times 100 \qquad (3.1)$$

(1) สมบัติต้านออกซิเดชันด้วยอนุมูล DPPH (2,2-diphenyl-1-picryhydrazyl radical-scavenging activity)

โดยดัดแปลงตามวิธีของ Jayaprakasha และคณะ(2006) และ Masuda และคณะ (1999) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.2) แสดงผลในค่า EC_{50} แสดงถึงปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่สามารถลดอนุมูล DPPH เริ่มต้นลงได้ 50% (Brand-Williams *et al*., 1995) ค่า EC_{50} มีหน่วย µg (dry mass) / µg DPPH

(2) ค่ากำลังการต้านอนุมูล DPPH (Anti-radical power, ARP) โดยคำนวณจากสมการที่ (3.2) (Brand-Williams *et al*., 1995)

$$ARP = 1/EC_{50} \qquad (3.2)$$

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Experiment with Completely Randomized Design (CRD) ขนาด 2 × 4 ทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำต่อ 1 การทดลอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Cochran and Cox,1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแสดงรายละเอียดดัง ตารางที่ ค.1

(3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents, TPC) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2) โดยใช้ Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2005) แสดงผลในหน่วย mg equivalents of Gallic acid (mg GAE)/ g (dry mass) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Experiment with CRD ขนาด 2 × 4 ทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ ต่อ 1 การทดลอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Cochran and Cox,1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.2.2 เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยกับสารกันหืนสังเคราะห์ BHA

สกัดอบเชยเทศ อบเชยจีน และอบเชยชวา โดยใช้ภาวะการสกัดที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 คำนวณ % Yield (dry basis) โดยทดลอง 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่าง และ TPC เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1

เปรียบเทียบ % Yield และ TPC ของอบเชยเทศ อบเชยจีน และอบเชยชวา

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย วิธี DMRT (Cochran and Cox,1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยเทศ อบเชยจีน อบเชยชวา และ BHA โดยวิเคราะห์สมบัติต้านออกซิเดชันด้วยอนุมูล DPPH ในค่า EC_{50} และค่า ARP

- แสดงผลสมบัติต้านออกซิเดชันด้วยอนุมูล DPPH ในหน่วย µg (dry mass) / µg DPPH และ µg (dry extract)/ ml

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Cochran and Cox,1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.2.3 ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันพืช

ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารสกัดอบเชยที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันสูงที่สุด เปรียบเทียบกับ BHA

(1) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืช

- องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันแมคาเดเมีย (Macadamia Oil; MO) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ (Refined Soybean Oil; RSO) (Sample No. TVOP No. 134/2009, บริษัทธนาการผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จ.สมุทรปราการ) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography ใช้ Flame-Ionization Detector (GC/FID) ตามวิธีของ Lepage และ Roy (1986)

- ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.C.S. (1998) section Ab 5-49 และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2005) section 936.16

- ปริมาณเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) (meq.O_2 /kg) ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.C.S. (1998) section Cd 8-53 และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ตามวิธีของ Pegg (2005)

- ปริมาณแอนิซิดีน (*p*-Anisidine value, AV) ตามวิธีของ A.O.C.S. (1998) Cd section 18-90

- ปริมาณการเกิดออกซิเดชันทั้งหมด หรือ totox value (Hamilton, 1983) โดยคำนวณดังนี้

$$\text{totox value} = 2\,PV + AV$$

(2) ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเครื่อง Rancimat® (Metrohm, Rancimat® model 743, Switzerland) โดยใช้อุณหภูมิ 110 °C, air flow rate 15 L/h (รายละเอียดแสดงในภาคผนวกที่ ก.13) ตัวอย่างน้ำมันพืชที่ใช้ทดลอง ได้แก่

- น้ำมันแมคาเดเมีย
- น้ำมันแมคาเดเมียผสมสารสกัดอบเชย 120 mg/kg
- น้ำมันแมคาเดเมียผสม BHA 120 mg/kg
- น้ำมันถั่วเหลือง
- น้ำมันถั่วเหลืองผสมสารสกัดอบเชย 120 mg/kg
- น้ำมันถั่วเหลืองผสม BHA 120 mg/kg

บันทึกเวลาที่ตัวอย่างมีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสูงสุดของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นค่า Induction Time (IT) และคำนวณค่า Protection Factor (PF) ของแต่ละตัวอย่าง จากสมการ 3.2

$$PF = \frac{\text{IT of oil blend with cinnamon and BHA (h)}}{\text{IT of oil control (h)}} \qquad (3.2)$$

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ และ วัด 3 ซ้ำ ต่อทรีตเมนต์ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Cochran and Cox, 1992)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 พัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด

3.2.4.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

นำแมคาเดเมียบดมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมันทั้งหมด (A.O.A.C., 1995), ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ, ค่า PV, ค่า AV และ ค่า totox

3.2.4.2 พัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด

ดัดแปลงจากสูตรไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาว (เฉลิมพล ถนอมวงค์, 2547)

ผสมแมคาเดเมียบดกับส่วนผสมต่างๆ ในกะทะทองเหลือง คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนกวนขณะให้ความร้อนบนเตา (hot plate) (Framo.-Ger.tetechnik, รุ่น M 21/1, Thailand) จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเท่ากับ 70 ± 1 °C นาน 2 นาที จากนั้นยกลงจากเตา และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ภาคผนวก ง) แปรส่วนผสมหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แมคาเดเมียบดละเอียด 40-60% (w/w) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 5-10% (w/w) และกลูโคสซีรัป 5-25% (w/w) และกำหนดสูตรด้วย Mixture design โดยกำหนดส่วนผสมอื่นๆให้คงที่ได้แก่ น้ำตาลไอซิ่ง 10% (w/w) กะทิสำเร็จรูป 19% (w/w) และอบเชยผง (พันธุ์คัดเลือกจากข้อ 3.2.2) 1% (w/w) ขึ้นรูปไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร น้ำหนัก 8 กรัม เพื่อใช้วัดสมบัติต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Instron Universal Materials Testing Machine (Instron Corporation, รุ่น 5565, Massachusetts, USA)
- ค่าสี (L*, a*, b*) ใช้เครื่อง Color Flex (HunterLab Reston, รุ่น 45/0, Virginia, USA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมการมอง 10°
- ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ใช้เครื่องวัด a_w (Decagon Devices, รุ่น AquaLab series 3.0, Washington D.C., USA)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทดสอบการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ 9-Point Hedonic Scale และสเกลวัดระดับความพอดี (Just About Right, JAR scale) (Meilgaard, Civille, and Carr, 2007) ของลักษณะต่างๆในด้าน สี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย รสหวาน ความเหนียว ความเนียน และความเป็นน้ำมันในปาก โดยแสดงจำนวนร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในแต่ละระดับ ใช้ผู้

ทดสอบทั่วไป จำนวน 50 คน เสิร์ฟตัวอย่างทีละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 8 กรัม ระหว่างตัวอย่างให้รับประทานแครกเกอร์ตามด้วยการกลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนทุกครั้ง (แบบทดสอบในภาคผนวก ข.1)

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

หาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไส้แมคาเดเมียบด โดยเลือกสูตรที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด เพื่อใช้ศึกษาปริมาณอบเชยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

3.2.4.3 การหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม

แปรปริมาณอบเชยในสูตรที่เลือกได้ข้อ 3.2.4.2 เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1 และ 1.5% (w/w) โดยปรับส่วนผสมกะทิสำเร็จรูป เป็น 19.5, 19 และ 18.5% (w/w) ตามลำดับ เพื่อให้ส่วนผสมอื่นคงที่ ขึ้นรูปไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยที่เป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร น้ำหนัก 8 กรัม เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างดังนี้

- วัดค่าสี และ ค่า a_w

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 4 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

- ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย โดยทดสอบการยอมรับด้าน ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยใช้ 9-Point Hedonic Scale และสเกลวัดระดับความพอดี (Meilgaard *et al.*, 2007) โดยแสดงจำนวนร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในแต่ละระดับของลักษณะต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวาน ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน เสิร์ฟทีละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 8 กรัม โดยให้ทาตัวอย่างลงบนขนมปังแผ่นตัดขอบหนา 1 เซนติเมตร ขนาด 4×4 เซนติเมตร ผู้ทดสอบกลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนทุกครั้ง ระหว่างทดสอบแต่ละตัวอย่าง (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.2)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Cochran and Cox, 1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

หาปริมาณของอบเชยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสูตรที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด เพื่อใช้ศึกษาการพัฒนาสูตรที่ไม่ใส่กะทิในขั้นตอนต่อไป

3.2.4.4 พัฒนาสูตรที่ไม่ใส่กะทิ

เปรียบเทียบสูตรที่พัฒนาได้จากข้อ 3.2.4.3 ซึ่งใช้กะทิสำเร็จรูปเป็นส่วนผสม กับสูตรที่ใช้น้ำแทนกะทิ เพื่อลดไขมันและลดการหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ

เปรียบเทียบสมบัติทางเคมี, ลักษณะเนื้อสัมผัส, ค่าสี, ค่า a_w และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างดังนี้

(1) องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid profile) ของแมคาเดเมียบด, กะทิสำเร็จรูป และไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography ใช้ Flame-Ionization Detector (GC/FID)

(2) สมบัติทางเคมี ได้แก่

- ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมันทั้งหมด (A.O.A.C., 1995) และปริมาณกรดไขมันอิสระ ดัดแปลงจาก A.O.C.S (1998) section Ab 5-49

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test (Cochran and Cox, 1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

(3) ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Instron Universal Materials Testing Machine

(4) ค่าสี L*, a*, b*

(5) ค่า a_w

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test (Cochran and Cox, 1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

(6) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแมคาเดเมียบดสูตรไม่ใส่กะทิเปรียบเทียบกับสูตรใส่กะทิ เช่นเดียวกับข้อ 3.2.4.3

วางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test (Cochran and Cox, 1992) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

นำสูตรไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยที่พัฒนาได้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป คือศึกษาภาวะการแช่เยือกแข็ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน

3.2.4.5 การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการใช้ในผลิตภัณฑ์

สำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการบริโภคของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยรวบรวมข้อมูลที่ได้มาประเมินผลแบบแจกแจงความถี่ และร้อยละ (%) เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (แสดงรายละเอียดแบบสอบถาม ข.1)

3.2.5 ศึกษาภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

โดยหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยที่มีลักษณะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร ดังนี้

3.2.5.1 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง

นำไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยมาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจินิค โดยนำมาแช่เยือกแข็งด้วย Cryo-Test Chamber Nitrogen Freezer ซึ่งประกอบด้วยถังบรรจุไนโตรเจนเหลว (Taylor-Wharton, Model XL-55HP) และ Cryo-Test Chamber (Allentown, Penna, USA, Model F831059E) แปรอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งเป็น 2 ระดับคือ -20 และ -30 °C ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยด้วยสายเทอร์โมคัปเปิล Type-T โดยเสียบเทอร์โมคัปเปิลไปยังบริเวณจุดกึ่งกลางของตัวอย่าง (ภาคผนวกรูปที่ ง.11) บันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Yokogawa, รุ่น LR 4210, Japan) โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยประมาณ 28 °C และเวลาที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางมีค่า -18 °C เพื่อหา freezing curve ของแต่ละอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็ง (วัดซ้ำอุณหภูมิละ 4 จุด)

3.2.5.2 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างบรรจุในถาดหลุมพลาสติกมาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจินิค อุณหภูมิ -20 และ -30 °C ตามเวลาที่ได้จากข้อ 3.2.5.1 บรรจุในถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE หนา 100 ไมครอน) ปิดผนึกแบบสภาวะสุญญากาศบางส่วน (30%) (WEBOMETIC®, รุ่น Hansastr. 119 D-44866 Bochum, Germany) จากนั้นนำมาละลายน้ำแข็งในตู้เย็น (4 °C) นาน 4 ชั่วโมง ตรวจวัดสมบัติและประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

(1) ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing loss) (Campañone *et al.,* 2002)

(2) ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (% Thawing loss) (A.O.A.C., 2005)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test

(3) สีหลังการละลายน้ำแข็ง (L*, a*, b*) เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็ง

(4) ลักษณะเนื้อสัมผัส หลังการละลายน้ำแข็ง เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยใช้เครื่อง Instron Universal Materials Testing Machine

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

(5) คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของไส้แมคาเดเมียบดที่แช่เยือกแข็ง ณ อุณหภูมิต่างๆ กับไส้แมคาเดเมียบดที่ไม่ได้แช่เยือกแข็ง (different from control test) ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย รสหวาน และความเหนียว ใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 36 คน ให้คะแนนของระดับความแตกต่าง 5-Point Scale (Meilgaard *et al.*, 2007)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.3)

คัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยด้วยเพื่อ เพื่อนำไปใช้ศึกษาขั้นตอนต่อไป

3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษา

เตรียมไส้แมคเดเมียบดผสมอย่างไรบรรจุในถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE) เก็บรักษาที่-18 °C เป็นเวลานาน 6 เดือน (สุ่มตัวอย่างทุกเดือน ยกเว้นสมบัติทางเคมี) เพื่อตรวจวัดสมบัติและประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

(1) สมบัติทางเคมี โดยติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแมคาเดเมียบด (วัตถุดิบ) ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งไม่ผสมอบเชย 0 เดือน ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งไม่ผสมอบเชย 3 เดือน ไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็ง 0 เดือน และไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็ง 6 เดือน วิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

- ค่า PV, ค่า AV และ ค่า totox

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูล ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test

(2) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Instron Universal Materials Testing Machine
- ค่าสี (L*, a*, b*)

(3) สมบัติทางจุลินทรีย์ ได้แก่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณยีสต์ และรา โดยใช้ 3M Petrifilm™ (A.O.A.C., 1995; Harrigan and McCance, 1976)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

(4) คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาในด้านระดับสีน้ำตาล ความมันวาว กลิ่นแมคาเดเมีย กลิ่นอบเชย กลิ่นหืน กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย กลิ่นรสหืน กลิ่นรสตกค้าง และความเหนียว โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน (แสดงรายละเอียดการคัดเลือก ในแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ข.4-ข.5 และการฝึกฝนผู้ทดสอบในภาคผนวก ข.3 และตารางภาคผนวก ข.6 และ ข.7)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย

4.1.1 การศึกษาภาวะการสกัดที่มีต่อสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณผลผลิต (%Yield) สมบัติต้านอนุมูล DPPH (EC_{50}) กำลังการต้านอนุมูล DPPH (ARP) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) (ตารางที่ ค.1) พบว่าอัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลาย, เวลาการสกัด และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลายและเวลาการสกัด มีผลต่อค่า EC_{50}, ARP และ TPC ขณะที่อัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลายเท่านั้นที่มีผลต่อ %Yield โดยเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้นทำให้ % Yield, ARP และ TPC มีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ขณะที่ EC_{50} มีค่าลดลง และเมื่อเวลาการสกัดนานขึ้นทำให้ ARP และ TPC มีค่าเพิ่มขึ้น และ EC_{50} มีค่าลดลง (ตารางที่ 4.1)

เมื่อพิจารณาค่า % Yield พบว่าเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่สกัดด้วยอัตราส่วน 1:50 นาน 4-10 ชั่วโมง มี % Yield ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับค่า TPC ที่ช่วงเวลาการสกัดดังกล่าวมีค่า 319.24-322.00 mg GAE/g เมื่อพิจารณาค่า EC_{50} และ ARP พบว่าเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้นและเวลาการสกัดนานขึ้น อัตราส่วน 1:50 เวลาการสกัดที่ 8 ชั่วโมง มีสมบัติต้านออกซิเดชันสูงที่สุด (ตารางที่ 4.1)

การที่สมบัติต้านออกซิเดชันดีขึ้น (EC_{50} ต่ำลง, ARP และ TPC สูงขึ้น) เมื่อปริมาณอัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลายลดลงหรือปริมาณตัวทำละลายมากขึ้น เนื่องจากอัตราของการแพร่ของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากขึ้น (Cacace and Mazza, 2003) และเมื่อเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นเมทานอลมีโอกาสสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาจากตัวอย่างได้มากขึ้น นอกจากนี้สมบัติต้านออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตัวทำละลาย หรืออิทธิพลร่วมของอัตราส่วนของแข็งต่อตัวทำละลาย, เวลา และองค์ประกอบของตัวทำละลาย (Karacabey and Mazza, 2008) รวมถึง rate constants ของสารประกอบฟีนอลิกในการทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH, oxidation-reduction potential, ลักษณะโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก และพลังงานพันธะ O-H (O-H bound dissociation energy) โดยประสิทธิภาพของ antioxidant (AH) จะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานพันธะไฮโดรเจนระหว่าง A-H มีค่าลดลง (Shahidi and Naczk, 1995; Narwa, 1996; Sánchez-Moreno *et al.*,1998) ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดอบเชยคือ อัตราส่วนของอบเชยผงต่อปริมาณเมทานอลที่ 1: 50 เวลาการสกัด 8 ชั่วโมง

4.1.2 เปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยกับสารกันหืนสังเคราะห์ BHA

จากการเปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชย 3 ชนิด ที่สภาวะการสกัดที่ได้จากข้อ 4.1.1 เพื่อวิเคราะห์ค่า %Yield, EC_{50}, ARP และ TPC ของสารสกัดอบเชยดังกล่าวพบว่าอบเชยเทศมี % Yield สูงที่สุด 28.08% ตามด้วยอบเชยชวาและอบเชยจีน (12.01 และ 12.94 %) เมื่อพิจารณาค่า TPC พบว่าอบเชยเทศมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 320.21 mg GAE / g ตามด้วยอบเชยจีนและอบเชยชวา (126.12 และ 137.48 mg GAE / g) และเมื่อพิจารณาสมบัติต้านอนุมูล DPPH (EC_{50} และ ARP) ของอบเชย 3 ชนิด และ BHA พบว่าอบเชยเทศมีสมบัติต้านอนุมูล DPPH ดีที่สุด และไม่แตกต่างกับ BHA ($p > 0.05$) ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยเทศ ได้แก่ Rutin, Quercetin, Kaempferol, Isorhamentin และ Catechin (Al-Numair *et al.,* 2007) และ Cinnamaldehyde (Singh *et al.,* 2007) ดังนั้นอบเชยเทศมีสมบัติต้านออกซิเดชันดีกว่าอบเชยจีน และอบเชยชวา และไม่แตกต่างกับ BHA จึงได้นำอบเชยเทศและ BHA มาศึกษาสมบัติความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันพืชใน ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนการสกัดและเวลาต่อ % Yield และสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย

ของแข็งต่อตัวทำละลาย (w/v)	เวลาการสกัด (ชั่วโมง)	Yield (%)	EC_{50} (µg/ µg DPPH)	ARP (1/ EC_{50})	TPC (mg GAE/g)
1:20	4	$26.46^{b} \pm 0.24$	$5.74^{d} \pm 0.08$	$0.18^{a} \pm 0.01$	$281.51^{a} \pm 5.83$
	6	$24.80^{a} \pm 0.74$	$5.81^{d} \pm 0.42$	$0.17^{a} \pm 0.01$	$278.35^{a} \pm 0.50$
	8	$24.70^{a} \pm 0.88$	$5.04^{c} \pm 0.56$	$0.20^{a} \pm 0.02$	$283.28^{a} \pm 4.86$
	10	$24.76^{a} \pm 0.90$	$4.15^{b} \pm 0.17$	$0.24^{b} \pm 0.01$	$300.67^{b} \pm 0.08$
1:50	4	$27.74^{bc} \pm 0.71$	$4.92^{c} \pm 0.05$	$0.20^{a} \pm 0.00$	$320.86^{c} \pm 4.16$
	6	$27.59^{bc} \pm 0.23$	$4.10^{b} \pm 0.16$	$0.25^{b} \pm 0.01$	$319.24^{c} \pm 7.09$
	8	$27.77^{bc} \pm 0.52$	$3.26^{a} \pm 0.10$	$0.31^{c} \pm 0.01$	$322.00^{c} \pm 1.18$
	10	$28.07^{c} \pm 0.40$	$3.57^{ab} \pm 0.04$	$0.28^{c} \pm 0.00$	$320.18^{c} \pm 0.50$

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 สมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยกับสารกันหืนสังเคราะห์ BHA

	อบเชยเทศ	อบเชยจีน	อบเชยชวา	BHA
Yield (%) (db)	$28.08^{c} \pm 0.53$	$12.01^{a} \pm 0.35$	$12.94^{b} \pm 0.15$	-
EC^{*}_{50}	$3.51^{a} \pm 0.51$	$37.61^{b} \pm 3.65$	$34.93^{b} \pm 4.40$	$0.80^{a} \pm 0.01$
ARP^{*}	$0.29^{b} \pm 0.04$	$0.03^{a} \pm 0.01$	$0.03^{a} \pm 0.00$	$1.24^{c} \pm 0.02$
EC^{**}_{50}	$145.63^{a} \pm 20.99$	$276.88^{b} \pm 26.84$	$316.27^{b} \pm 33.90$	$158.12^{a} \pm 1.82$
ARP^{**}	$0.007^{b} \pm 0.001$	$0.004^{a} \pm 0.001$	$0.003^{a} \pm 0.001$	$0.006^{b} \pm 0.000$
TPC	$320.21^{c} \pm 3.20$	$137.48^{b} \pm 2.39$	$126.12^{a} \pm 2.63$	-

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

EC^{*}_{50} มีหน่วย µg /µg DPPH , ARP^{*} มี Anti-radical power หน่วย $1/EC^{*}_{50}$

EC^{**}_{50} มีหน่วย µg /ml, ARP^{**} มี Anti-radical power หน่วย $1/ EC^{**}_{50}$

TPC มี Total phenolic contents หน่วย mg GAE/g

4.2 ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันพืช

จากการทดสอบความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Rancimat® โดยวิเคราะห์เวลาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุด (Induction time) และคำนวณดัชนีการป้องกันการหืน (Protection factor, PF) ของสารสกัดอบเชยเทศ และ BHA ในน้ำมันถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้น 120 mg/kg (ตารางที่ 4.3) พบว่าสามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เล็กน้อย (PF 1.04 และ 1.09) (p>0.05) และ BHA ในน้ำมันแมคาเดเมียมีสมบัติต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากที่สุด (PF 1.14) ในขณะที่สารสกัดอบเชยในน้ำมันแมคาเดเมียมีสมบัติต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำที่สุด (PF 0.89) และมีสมบัติเป็น Prooxidant (Abdalla and Roozen, 1999) อาจเนื่องจากสารสกัดอบเชยเทศมีความเป็นขั้ว (polarity) น้อยกว่า BHA หรือมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) มากกว่า BHA ทำให้สามารถละลายในน้ำมันได้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Polar paradox” (Frankel *et al*., 1994; Frankel *et al*., 1996) หรืออาจเกิดจาก bulking group ของสารประกอบฟีนอลิกขัดขวางการให้อิเลกตรอนส่งผลให้สมบัติต้านออกซิเดชันลดลง (Murcia *et al.,* 2004) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Murcia และคณะ (2004) ที่พบว่า Induction time ของสารสกัดอบเชยที่สกัดด้วยน้ำมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ดี โดยมีค่า PF ในน้ำมันข้าวโพด และมาการีน 0.96 และ 0.99 ตามลำดับ และมีค่า PF ในน้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะกอก และเนยเหลว เท่ากับ 1.09, 1.03 และ 1.18 ตามลำดับ ซึ่งการที่สารสกัดอบเชยเทศมีสมบัติต้านออกซิเดชันแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมันแต่ละชนิด (Abdalla and Roozen, 1999)

น้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำโดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.03 และร้อยละ 0.15 และ totox value 0.80 และ 3.22 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) เมื่อพิจารณาความคงตัวของน้ำมันพบว่าน้ำมันแมคาเดเมียมีมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.4) โดยน้ำมันแมคาเดเมียมีค่า induction time 23.08 ชั่วโมง ขณะที่น้ำมันถั่วหลืองมีค่า induction time 7.23 ชั่วโมง ซึ่งค่า induction time ของน้ำมันแมคาเดเมียมีค่าสูงกว่า Refined macadamia nut oil และ Commercial oil (0.50 และ 5.48 ชั่วโมง) (Quinn and Tang, 1996) และมี induction time สูงกว่าน้ำมันแมคาเดเมียที่ปลูกในประเทศนิวซีแลนด์ (3.59-19.75 ชั่วโมง) (Kaijser *et al*., 2000) และเมื่อเปรียบเทียบกับ Walnut oil และ Hazelnut oil พบว่าน้ำมันแมคาเดเมียมี induction time มากกว่า Walnut oil (3.9-7.8 ชั่วโมง) (Savage, McNeil, and Dutta, 1997) แต่มี induction time น้อยกว่า Hazelnut oil (25.3 ชั่วโมง) (Savage, McNeil, and Dutta, 1999) อาจเป็นผลมาจากน้ำมันแมคาเดเมียประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวเป็นองค์ประกอบสูง (ร้อยละ 88.47) โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ oleic acid (ร้อยละ 64.94), palmitoleic acid (ร้อยละ 22.33), eicosenoic acid (ร้อยละ 1.20) (ตารางที่ 4.3) นอกจากนี้ในน้ำมันแมคาเดเมียมีสารประกอบฟีนอลิกจำพวก catechol, phrogallol และ 3,4,5-trihydroxy phenolic compounds และเมื่อจำแนกพบสารประกอบฟีนอลิก 4 ชนิด ได้แก่ 2,6-dihydroxybenzoic acid, 2'-hydroxy-4'-methoxyacetophenone, 3'-5'-dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone และ 3-5-dimethoxy-4-hydroxycinnamic acid (Quinn and Tang, 1996) และในน้ำมันแมคาเดเมียยังประกอบด้วย α-tocopherol, δ-tocopherol, α-tocotrienol, squalene และ phytosterols ซึ่ง phytosterols ที่พบได้แก่ Campesterol, Stigmasterol, Δ5-Avenasterol, Sitosterol และ β-Sitosterol และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 45-46 mg GAE/100 g (wb) (Kaijser *et al*., 2000; Maguire *et al*., 2004; Kornsteiner *et al*., 2006)

เมื่อพิจารณาความคงตัวในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลืองเป็นชนิด Refined soybean oil (RSO) ที่ไม่ได้เติมสารกันหืนมีค่า induction time (7.27 ชั่วโมง) ใกล้เคียงกับน้ำมันถั่วเหลืองชนิด Refined, bleached, and deodorized soybean oil (induction time 7.64 ชั่วโมง) (Farhoosh, 2007) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่า น้ำมันแมคาเดเมีย เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบสูง (ร้อยละ 68.09) โดยมี linoleic acid (ร้อยละ 62.83) และ linolinic acid (ร้อยละ 5.26) (ตารางที่ 4.3) โดยในน้ำมัน Refined, bleached and deodorized soybean oil มี α-tocopherol 62 µg/g, β-tocopherol 45 µg/g, γ-tocopherol 774 µg/g, δ-tocopherol 157 µg/g รวมมี total tocopherol 1038 µg/g (Frankel, 1993) มี sterol 9 mg/g (Sabir *et al*., 2003) Farhoosh และคณะ (2009) พบว่า crude oil ของน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณ total

tocopherols 983 mg α-tocopherol/kg oil มากกว่า Canola oil (852 mg α-tocopherol/kg oil) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 79.1 mg GAE/kg

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบร้อยละองค์ประกอบกรดไขมัน, ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ, PV, AV และ totox value ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง

การวิเคราะห์		น้ำมันแมคาเดเมีย	น้ำมันถั่วเหลือง
ชนิดกรดไขมัน (ร้อยละ)			
Saturated fatty acid			
Myristic acid	C14:0	0.57	-
Palmitic acid	C16:0	5.55	7.92
Stearic acid	C18:0	1.63	1.67
Arachidic acid	C20:0	1.77	0.15
Behenic acid	C22:0	0.32	0.14
Lignoceric acid	C24:0	0.13	-
Monounsaturated fatty acid			
Palmitoleic acid	C16:1	22.33	-
Oleic acid	C18:1 n9 cis	64.94	21.93
Eicosenoic acid	C 20:1 n-9	1.20	-
Erucic acid	C22:1n-9	-	0.10
Polyunsaturated fatty acid			
Linoleic acid	C18:2 n6 cis	1.58	62.83
Linolenic acid	C18:3 n3	-	5.26
% Free fatty acid*		0.03 ± 0.01	0.15 ± 0.00
PV (mg/kg)		0.40 ± 0.00	1.00 ± 0.00
AV		nd	1.22 ± 0.06
Totox value		0.80 ± 0.00	3.22 ± 0.06

% Free fatty acid* โดยที่ oleic acid ในน้ำมันแมคาเดเมียมี molegular wight เท่ากับ 282 g/mol linoleic acid ในน้ำมันถั่วเหลืองมี molegular wight เท่ากับ 280 g/mol

% Free fatty acid, Peroxide value, Anisidine value และ Totox value ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ

nd คือ non detectable

ตารางที่ 4.4 ค่า Induction time และค่า Protection Factor ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง

ชนิดน้ำมัน	Induction time (ชั่วโมง)	Protection Factor
น้ำมันแมคาเดเมีย	$23.09^{c} \pm 0.09$	-
น้ำมันแมคาเดเมียผสมอบเชย 120 mg/kg	$20.50^{b} \pm 0.63$	$0.89^{a} \pm 0.02$
น้ำมันแมคาเดเมียผสม BHA 120 mg/kg	$26.21^{d} \pm 0.19$	$1.14^{c} \pm 0.02$
น้ำมันถั่วเหลือง	$7.23^{a} \pm 0.05$	-
น้ำมันถั่วเหลืองผสมอบเชย 120 mg/kg	$7.55^{a} \pm 0.11$	$1.04^{b} \pm 0.02$
น้ำมันถั่วเหลืองผสม BHA 120 mg/kg	$7.86^{a} \pm 0.06$	$1.09^{ab} \pm 0.01$

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 การพัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแมคาเดเมียบดพันธุ์โป่งแยง 741 ที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น (ตารางที่ 4.5) มีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.15 และปริมาณไขมันร้อยละ 74.75 ซึ่งยังคงมีปริมาณไขมันใกล้เคียงกับแมคาเดเมียดิบ (ร้อยละ 72.55-78.05) (ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ และคณะ, 2549) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่าที่กำหนดใน มาตรฐานน้ำมันหรือไขมันของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ. 2543 กำหนดค่าของ PV ของน้ำมันหรือไขมันให้ไม่เกิน 10 meq.O_2/kg

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางเคมีของแมคาเดเมียบด

สมบัติทางเคมี	ปริมาณ[1]
ปริมาณความชื้น (%)	12.15 ± 0.47
ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)	74.75 ± 3.26
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	0.16 ± 0.01
PV (meq.O_2/kg)	0.12 ± 0.00
AV	0.89 ± 0.09
Totox value	1.13 ± 0.09

[1]ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

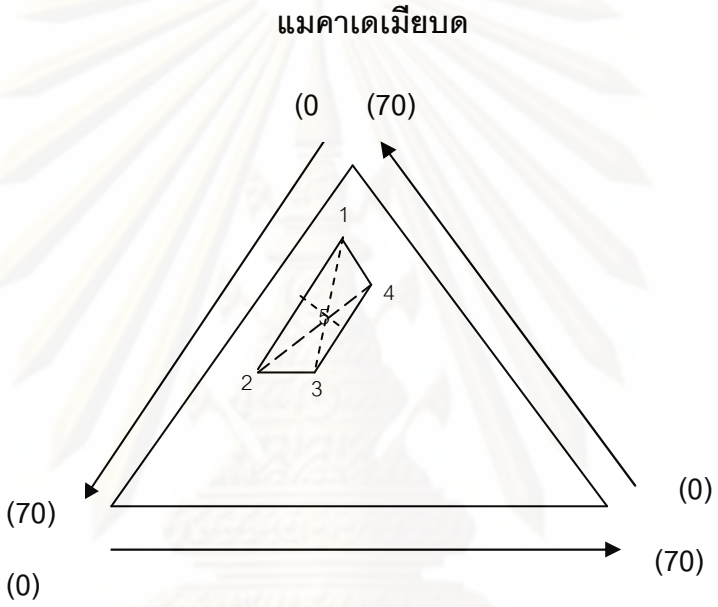
4.3.1 พัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด

จากการแปรส่วนผสมหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แมคาเดเมียบดละเอียด แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกลูโคสซีรัป ด้วย Mixture Design และกำหนดส่วนผสมอื่นๆให้คงที่พบว่าได้สูตรไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยทั้งหมด 5 สูตร (รูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.6)

จากการตรวจสอบคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัสและด้านกายภาพ (ตารางที่ 4.7-4.9) พบว่าลักษณะปรากฏของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน (p>0.05) (ตารางที่ 4.7) โดยอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ตัวอย่างมีสีน้ำตาลซึ่งมาจากอบเชย มีค่าความสว่าง (L*) 28.90 ถึง 32.08, ค่าสีแดง (a*) 10.40 ถึง 12.11 และค่าสีเหลือง (b*) 18.93 ถึง 22.12 (ตารางที่ 4.8) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส (ตารางที่ 4.7) พบว่าอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ปัจจัยที่มีผลต่อกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวาน ที่ได้จากกลูโคสซีรัป และน้ำตาลไอซิ่ง โดยกลูโคสซีรัปมีสมบัติช่วยเพิ่มกลิ่นรส และเป็นตัวกลางนำพากลิ่นรส (Jackson and Howling, 1995) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.7) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งจากการทดสอบเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.9) พบว่ามีค่า hardness อยู่ในช่วง 14.43-26.29 g_f, cohesiveness 0.35-0.71, adhesiveness 13.25-67.78 g_f-mm, springiness 0.14-0.36, gumminess 6.53-14.86 g_f และ chewiness 0.96-5.32 g_f โดยที่ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้เป็นผลจากแมคาเดเมียบด กลูโคสซีรัป และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยกลูโคสซีรัปช่วยปรับเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น คือมีความเหนียว หนืดติดกัน เพิ่มเนื้อ และความชุ่มชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ (Jackson and Howling, 1995) และช่วยลดค่า a_w โดยในสูตรที่ 2 ที่มีกลูโคสซีรัปมากที่สุด 25% มีค่า a_w ต่ำที่สุดคือ 0.751 (ตารางที่ 4.8) ($p \leq 0.05$) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (E 1414) ที่ใช้มีชื่อว่า acetylated distarch phosphate เป็นการดัดแปรไดสตาร์ชฟอสเฟตโดยใช้ acetic anhydride (substitute method) เรียกว่า acetylation ซึ่ง acetylated starch เป็น starch ester ซึ่งจะเริ่มมี CH_3CO group และที่อุณหภูมิต่ำ acetylated starch จะปรับเปลี่ยนสมบัติสตาร์ชไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้มีความคงตัวและทนต่อการเกิด retrogradation, เพิ่มความข้นหนืด, การละลาย, ค่ากำลังการพองตัว (swelling factor), ความแข็ง, cohesiveness, adhesiveness และ translucency ของเจล แต่ลดอุณหภูมิ gelatinization ไปจากเดิม (Mirmoghtadaie *et al.,* 2009) ส่วนพันธะเชื่อมข้าม (cross-link) ที่เกิดเป็นพันธะโคเวาเลนต์ทำให้เม็ดสตาร์ชทนความร้อน ความเย็น แรงเฉือนสูง (วรรณา ตุลยธัญ, 2549) ซึ่งสตาร์ชชนิดนี้เหมาะกับตัวอย่างแมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งเพื่อให้สามารถทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งได้ (freezing thaw-stability)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม (ตารางที่ 4.7) พบว่าสูตรที่ 1, 2, 3 และ 5 ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)และจากสเกลวัดความพอดี (Just about right scale) ด้านสี กลิ่น-

รสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย รสหวาน ความเหนียว ความเป็นน้ำมันในปาก และความเนียน (รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ข.1 และแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ข.1) พบว่าสูตรที่ 2 มีระดับความพอดีของรสหวาน ความเหนียว และความเนียนมากที่สุด ซึ่งสูตรที่ 2 ประกอบด้วยแมคาเดเมียบด 40% แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 5% กลูโคสซีรัป 25% น้ำตาลไอซิ่ง 10% กะทิสำเร็จรูป 19% และอบเชยผง 1% (w/w) ดังนั้นสูตรที่ 2 ซึ่งได้รับการยอมรับมากที่สุดจึงถูกเลือกไปศึกษาการหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 Mixture Design ของไส้แมคาเดเมียบด

ตารางที่ 4.6 สูตรที่พัฒนาได้จาก Mixture Design

สูตรที่	ร้อยละ					
	แมคาเดเมียบด	แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	กลูโคสซีรัป	น้ำตาลไอซิ่ง	กะทิสำเร็จรูป	อบเชยเทศ
1	60	5	5	10	19	1
2	40	5	25	10	19	1
3	40	10	20	10	19	1
4	55	10	5	10	19	1
5	47	8	15	10	19	1

ตารางที่ 4.7 คะแนนการทดสอบการยอมรับของการพัฒนาสูตรของไส้แมคาเดเมียบด

สูตรที่	คะแนนความชอบด้าน			
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	5.82 ± 1.30	5.46^{ab} ± 1.79	5.48^{a} ± 1.57	5.56^{ab} ± 1.72
2	6.04 ± 1.38	5.94^{b} ± 1.60	6.16^{c} ± 1.58	6.08^{b} ± 1.64
3	5.98 ± 1.27	5.54^{ab} ± 1.81	5.64^{ab} ± 1.59	5.76^{ab} ± 1.74
4	5.60 ± 1.76	5.20^{a} ± 1.70	5.42^{a} ± 1.73	5.32^{a} ± 1.58
5	5.70 ± 1.51	5.88^{ab} ± 1.64	6.02^{bc} ± 1.39	5.78^{ab} ± 1.62

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ค่าสีและค่า a_w ของไส้แมคาเดเมียบด

สูตรที่	L*	a*	b*	a_w
1	28.90^{a} ± 1.19	10.40^{a} ± 0.68	18.93^{a} ± 1.78	0.851^{c} ± 0.000
2	31.69^{c} ± 0.50	11.49^{c} ± 1.37	21.89^{b} ± 2.48	0.751^{a} ± 0.006
3	32.08^{d} ± 0.21	12.11^{d} ± 0.33	21.97^{b} ± 1.20	0.776^{b} ± 0.001
4	30.36^{b} ± 0.76	10.91^{b} ± 0.36	18.68^{a} ± 1.48	0.858^{c} ± 0.009
5	30.22^{b} ± 0.51	11.49^{c} ± 0.28	22.12^{b} ± 0.58	0.774^{b} ± 0.007

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

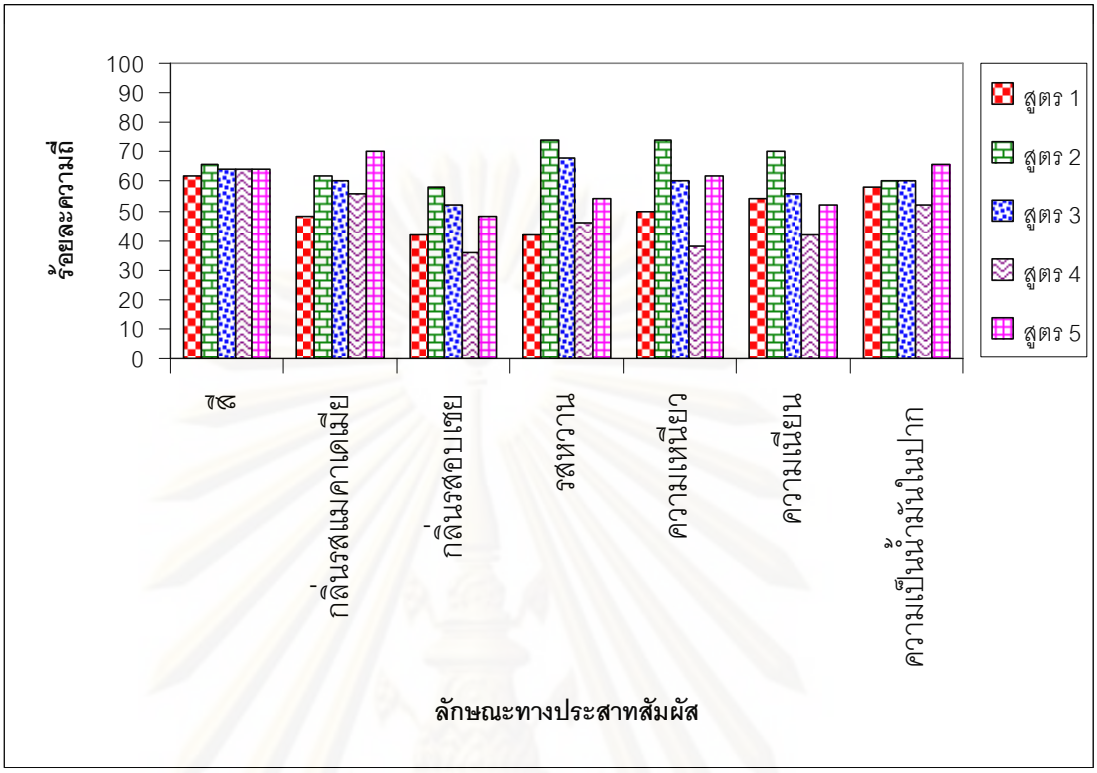
ตารางที่ 4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบด

สูตรที่	Hardness (g_f)	Cohesiveness	Adhesiveness (g_f-mm)	Springiness	Gumminess (g_f)	Chewiness (g_f)
1	26.29^{c} ± 3.19	0.57^{d} ± 0.07	67.78^{c} ± 10.49	0.36^{e} ± 0.04	14.86^{d} ± 1.77	5.32^{e} ± 0.97
2	20.74^{b} ± 2.58	0.71^{e} ± 0.07	52.92^{b} ± 6.77	0.28^{d} ± 0.02	14.62^{d} ± 1.29	4.17^{d} ± 0.60
3	14.43^{a} ± 2.03	0.46^{c} ± 0.06	13.25^{a} ± 2.51	0.14^{a} ± 0.02	6.53^{a} ± 1.03	0.96^{a} ± 0.28
4	30.33^{d} ± 4.20	0.35^{a} ± 0.05	16.29^{a} ± 3.49	0.26^{c} ± 0.04	10.88^{c} ± 2.00	2.87^{c} ± 0.96
5	22.31^{b} ± 2.62	0.42^{b} ± 0.04	15.79^{a} ± 2.47	0.21^{b} ± 0.02	9.45^{b} ± 1.49	2.01^{b} ± 0.45

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

61



รูปที่ 4.2 ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกระดับพอดีของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย รสหวาน ความเหนียว ความเนียน และความเป็นน้ำมันในปาก

4.3.2 การหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม

จากการแปรปริมาณอบเชยเทศในสูตรไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย พบว่าคะแนนความชอบต่อลักษณะปรากฏ (ตารางที่ 4.10) ของตัวอย่างที่ใส่อบเชยทั้งสามระดับไม่แตกต่างกัน (p>0.05) โดยเมื่อปริมาณอบเชยมากขึ้นตัวอย่างมีความสว่าง (L*) ลดลง มีสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นและมีสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกัน (p> 0.05) (ตารางที่ 4.11) ตัวอย่างที่เติมอบเชย 0.5% มีค่า a_w ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผสมอบเชย 1.0 และ 1.5% (p>0.05) (ตารางที่ 4.11) ตัวอย่างที่ใส่อบเชย 0.5 และ 1.0 % (w/w) มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 4.10) แต่จากสเกลวัดความพอดี (ดังรูปที่ 4.3) ตัวอย่างที่ใส่อบเชย 0.5% มีร้อยละความถี่ที่ระดับความพอดีของกลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวานมีค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกปริมาณอบเชย 0.5% ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณอบเชยต่อคะแนนความชอบของไส้แมคาเดเมียบด

อบเชย (%, w/w)	คะแนนความชอบ		
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
0.5	6.34 ± 1.29	6.72^{b} ± 1.58	6.88^{b} ± 1.19
1.0	6.58 ± 1.03	6.52^{b} ± 1.33	6.52^{ab} ± 1.31
1.5	6.18 ± 1.20	5.90^{a} ± 1.59	6.02^{a} ± 1.53

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

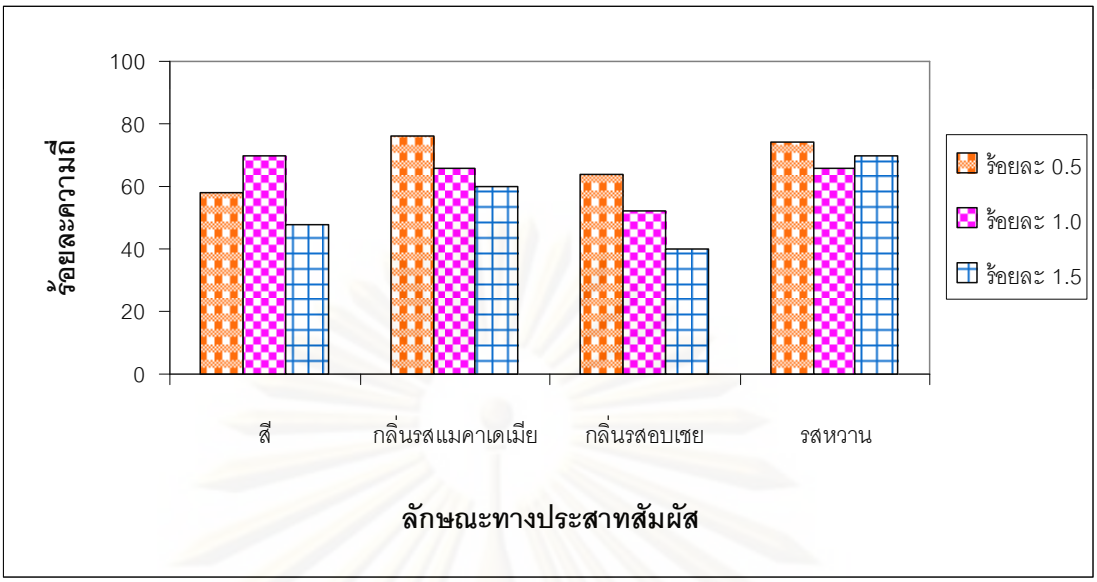
ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณอบเชยต่อค่าสีและ a_w ของไส้แมคาเดเมียบด

อบเชย (%, w/w)	L*	a*	b*^{ns}	a_w
0.5	40.00^{c} ± 0.40	10.24^{a} ± 0.20	26.32 ± 0.62	0.741^{ab} ± 0.007
1.0	34.97^{b} ± 0.34	12.09^{b} ± 0.25	25.34 ± 1.14	0.738^{a} ± 0.003
1.5	32.30^{a} ± 0.23	12.79^{c} ± 0.58	24.80 ± 1.67	0.746^{b} ± 0.003

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในแต่ระดับพอดีของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และ รสหวาน

4.3.3 การพัฒนาสูตรที่ไม่ใส่กะทิ

สูตรไส้แมคาเดเมียบดที่พัฒนาได้ ประกอบด้วยแมคาเดเมียบด 40% (w/w) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 5% (w/w) กลูโคสซีรัป 25% (w/w) น้ำตาลไอซิ่ง 10% (w/w) กะทิ 19.5% (w/w) และอบเชยผง 0.5% (w/w) โดยที่ส่วนผสมที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ คือ แมคาเดเมียบด และกะทิสำเร็จรูป ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในแมคาเดเมียบด กะทิสำเร็จรูป และไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ (ตารางที่ 4.12) พบว่าแมคาเดเมียบดมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ร้อยละ 12.98, กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 38.01 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนร้อยละ 0.65 กะทิสำเร็จรูปมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 16, กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 1.5 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนร้อยละ 0.23 และไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 1.72, กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 7.95 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนร้อยละ 0.12

จากการพัฒนาสูตรโดยใช้น้ำทดแทนกะทิพบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 21.25 เป็นร้อยละ 27.74) สามารถลดปริมาณไขมัน (จากร้อยละ 6.21 เป็นร้อยละ 1.61) และปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง (จากร้อยละ 0.19 เป็นร้อยละ 0.14) (ตารางที่ 4.13)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ใส่กะทิและสูตรไม่ใส่กะทิ พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสค่า hardness, cohesiveness และ gumminess ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ adhesiveness, spinginess และ chewinεss มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าสูตรที่ใส่กะทิมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง

(a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าสูตรที่ไม่ใส่กะทิ และสูตรที่ไม่ใส่กะทิมีค่า a_w 0.822 ซึ่งมากกว่าสูตรที่ใส่กะทิ (ตารางที่ 4.14)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างสูตรใส่กะทิและไม่ใส่กะทิ พบว่ามีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม (ตารางที่ 4.14) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และจากร้อยละความถี่ที่ระดับความพอดีของสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวาน ของสูตรที่ใส่กะทิ และไม่ใส่กะทิ (รูปที่ 4.11) พบว่าสูตรที่ไม่ใส่กะทิมีความถี่ที่ระดับความพอดีด้านต่างๆมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ไม่ใส่กะทิไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันในแมคาเดเมียบด กะทิสำเร็จรูป และไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ

ชนิดกรดไขมัน		ปริมาณ (ร้อยละ)		
		แมคา-เดเมียบด	กะทิสำเร็จรูป	ไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ
Saturated fatty acid				
Caproic acid	C6:0	-	0.07	-
Caprylic acid	C8:0	0.30	1.01	-
Capric acid	C10:0	0.27	0.96	-
Lauric acid	C12:0	2.47	8.29	-
Myristic acid	C14:0	1.48	3.40	0.10
Palmitic acid	C16:0	4.52	1.68	0.84
Stearic acid	C18:0	2.11	0.57	0.40
Arachidic acid	C20:0	1.35	0.02	0.28
Behenic acid	C22:0	0.35	-	0.07
Lignoceric acid	C24:0	0.13	-	0.03
Monounsaturated fatty acid				
Palmitoleic acid	C16:1	8.00	-	1.70
Heptadecenoic acid	C17:1 n10 cis	-	-	0.01
Oleic acid	C18:1 n9 cis	29.10	1.50	6.04
Eicosenoic acid	C 20:1 n-9	0.91	-	0.19
Erucic acid	C22:1n9	0.07	-	0.01
Polyunsaturated fatty acid				
Linoleic acid	C18:2 n6 cis	0.59	0.23	0.11
Linolenic acid	C18:3 n3	0.06	-	0.01

ตารางที่ 4.13 สมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดสูตรที่ใส่กะทิและสูตรที่ไม่ใส่กะทิ

สมบัติ	ปริมาณ (%) ในสูตรที่ใส่	
	กะทิ	น้ำ
ความชื้น	21.25[a] ± 0.74	27.74[b] ± 0.16
ไขมันทั้งหมด	6.21[b] ± 0.99	1.11[a] ± 0.16
กรดไขมันอิสระ	0.19[b] ± 0.01	0.14[a] ± 0.01

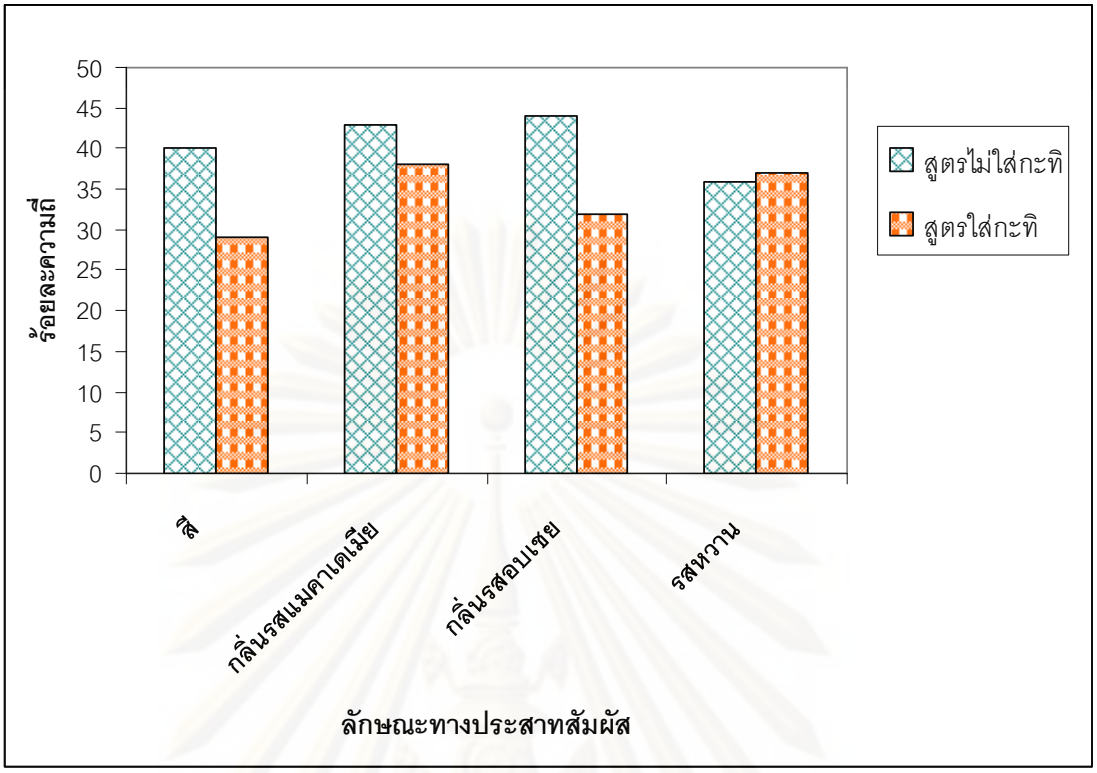
a, b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดสูตรที่ใส่กะทิและสูตรที่ไม่ใส่กะทิ

สมบัติ	สูตรใส่กะทิ	สูตรไม่ใส่กะทิ
ลักษณะเนื้อสัมผัส		
Hardness[ns] (g_f)	20.74 ± 2.58	21.74 ± 2.85
Cohesiveness[ns]	0.71 ± 0.07	0.69 ± 0.07
Adhesiveness (g_f-mm)	52.92[a] ± 6.77	60.00[b] ± 6.59
Spinginess	0.28[a] ± 0.02	0.31[b] ± 0.02
Gumminess[ns] (g_f)	14.62 ± 1.29	14.91 ± 1.91
Chewiness (g_f)	4.17[a] ± 0.60	4.66[b] ± 0.83
สี		
L*	40.15[b] ± 0.46	31.18[a] ± 0.62
a*	10.31[b] ± 0.69	9.13[a] ± 1.75
b*	26.04[b] ± 1.26	20.87[a] ± 2.23
a_w	0.737[a] ± 0.007	0.822[b] ± 0.010
คะแนนความชอบ		
ลักษณะปรากฏ[ns]	6.34 ± 1.29	6.70 ± 1.04
กลิ่นรส[ns]	6.72 ± 1.58	6.76 ± 1.12
ความชอบโดยรวม[ns]	6.88 ± 1.19	6.84 ± 1.02

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.4 ร้อยละของผู้ทดสอบที่เลือกในระดับพอดีของ Just about right scale ในด้านสี กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวาน ของไส้แมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิ และสูตรไม่ใส่กะทิ

4.3.4 การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการใช้ในผลิตภัณฑ์

จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อความต้องการใช้ไส้แมคาเดเมียบดสอดไส้หรือใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของผู้บริโภค 50 คน พบว่าได้ 5 ลำดับ ดังนี้คือ ขนมโมจิ (11.96%) ขนมปัง (11.23%) ขนมไหว้พระจันทร์ (10.51%) สเปรด (7.97%) และขนมเปี๊ยะ (7.61) ลำดับถัดมาได้แก่ ลูกชุบ ซาลาเปา/หมั่นโถว พาย/พัฟ/ทาร์ต โดรายากิ โตเกียว บัวลอยน้ำขิง เวเฟอร์เม็ดขนุน ขนมใส่ไส้ โดนัท เอแคลร์ ท็อปปิ้ง มาร์ชีแพน เดนนิส ฟองดูว์ มูสส์ ขนมเทียน ขนมต้ม และขนมไทยอื่นๆ (รายละเอียดแสดงในตารางภาคผนวก ข.4) ซึ่งการนำไปใช้ทางการค้าควรเลือกใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เพื่อให้เหมาะสมกับมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากแมคาเดเมีย

4.4 ศึกษาภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

4.4.1 หาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง

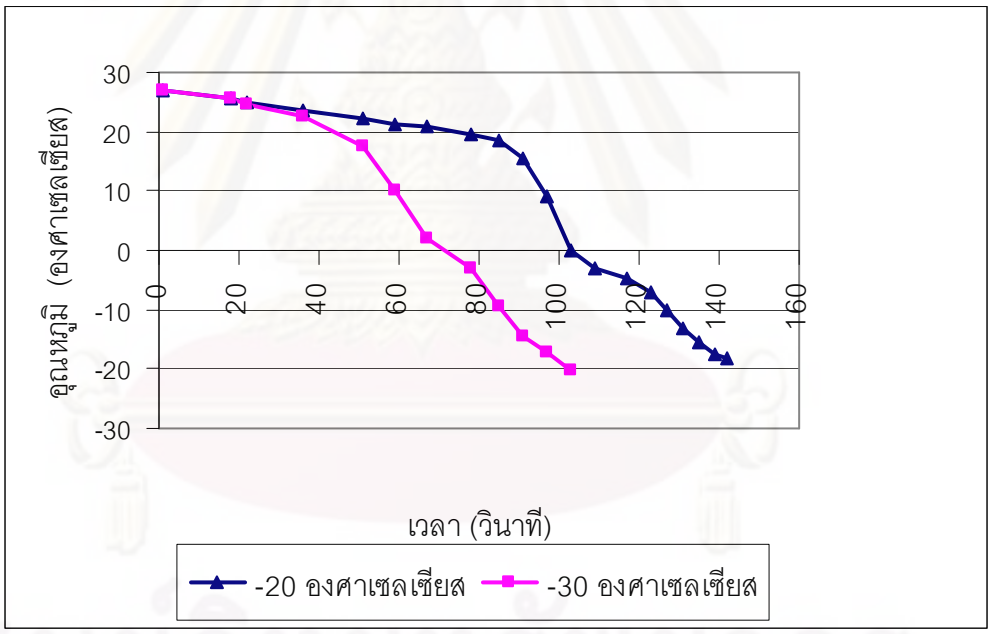
จากการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็ง โดยนำไส้แมคาเดเมียบดมาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจินิคที่อุณหภูมิ -20 และ -30 °C บันทึกอุณหภูมิและเวลาเริ่มต้นของใจกลางทรงกลมของไส้แมคาเดเมียบดที่ใช้จนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้ายใจกลาง

ตัวอย่างเท่ากับ -18 °C เพื่อหา freezing curve ของแต่ละอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.5) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำลงจะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้นลง คือที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -20 และ -30 °C ใช้เวลาการแช่แข็งเท่ากับ 139.7 และ 102.6 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (°C)	เวลาการแช่แข็ง (วินาที)
-20	$139.7^{b} \pm 2.19$
-30	$102.6^{a} \pm 1.84$

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5 Freezing curve ของไส้แมคาเดเมียบดรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร

4.4.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง

นำไส้แมคาเดเมียบดมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 และ -30 °C โดยใช้เวลาตามตารางที่ 4.15 มาตรวจวัดสมบัติและประเมินคุณภาพด้านต่างๆ (ตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17) พบว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อ % freezing loss , % thawing loss, ค่าสี a* และความแตกต่างของคะแนนด้านสีและความเหนียวของตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการแช่เยือกแข็ง ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.17 พบว่าค่า hardness และค่า cohesiveness ของตัวอย่างแช่เยือกแข็งที่ -20 และ -30 °C ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่า adhesiveness, ค่า springiness, ค่า gumminess และ ค่า chewiness ของตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิและตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็ง (ชุดควบคุม) แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -20 °C มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็งมากที่สุด และพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 และ -30 °C ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และมีค่ามากกว่าชุดควบคุม ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของชุดควบคุมและอุณหภูมิแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของชุดควบคุมไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -20 °C ($p > 0.05$) และตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -20 และ -30 °C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งพบว่าคุณภาพสีหลังการละลายน้ำแข็งของตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -20 °C มีคุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็งมากที่สุด พบว่าคะแนนความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านสี และความเหนียวของตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งทั้งสอง และชุดควบคุมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และคะแนนความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย และรสหวานของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกับชุดควบคุม จากผลการวัดและประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส พบว่าภาวะที่เหมาะในการแช่เยือกแข็งคือที่อุณหภูมิ -20 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็งและร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็งของไส้แมคาเดเมียบด

อุณหภูมิ (°C)	Freezing loss^{ns} (%)	Thawing loss^{ns} (%)
-20	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.02
-30	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.03

ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยหลังการละลายน้ำแข็ง

สมบัติกายภาพ	อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (°C)		
	ตัวอย่างที่ไม่ได้แช่เยือกแข็ง (ชุดควบคุม)	-20	-30
ลักษณะเนื้อสัมผัส			
Hardness (g_f)	21.74^{b} ± 0.62	12.56^{a} ± 0.57	14.13^{a} ± 1.21
Cohesiveness	0.69^{a} ± 0.03	2.34^{b} ± 0.06	2.34^{b} ± 0.12
Adhesiveness (g_f-mm)	60.00^{a} ± 1.57	69.49^{b} ± 0.41	82.59^{c} ± 1.42
Springiness	0.31^{a} ± 0.02	0.68^{b} ± 0.01	0.73^{c} ± 0.00
Gumminess (g_f)	14.91^{a} ± 0.81	29.17^{b} ± 0.79	32.85^{c} ± 1.15
Chewiness (g_f)	4.66^{a} ± 0.49	19.88^{b} ± 0.56	24.00^{c} ± 0.92
สี			
L*	31.18^{a} ± 0.62	35.68^{b} ± 0.11	35.37^{b} ± 0.29
a*^{ns}	9.12 ± 0.78	10.33 ± 1.03	8.74 ± 0.30
b*	20.87^{a} ± 0.67	22.96^{ab} ± 2.02	25.21^{b} ± 0.60
คะแนนความแตกต่างทางประสาทสัมผัส			
สี^{ns}	0.53 ± 0.77	0.61 ± 0.87	0.67 ± 0.93
กลิ่นรสแมคาเดเมีย	0.67^{a} ± 0.86	0.89^{b} ± 0.75	1.00^{b} ± 0.93
กลิ่นรสอบเชย	0.64^{a} ± 1.05	1.42^{b} ± 1.32	1.25^{b} ± 1.36
รสหวาน	0.50^{a} ± 0.56	0.92^{b} ± 1.05	1.03^{b} ± 1.03
ความเหนียว^{ns}	0.69 ± 0.86	0.56 ± 0.56	0.72 ± 0.81

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี สมบัติกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี (ตารางที่ 4.18) ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน พบว่า มีค่า PV, AV และ totox เพิ่มขึ้น โดยมีค่า totox (58.84) เพิ่มขึ้น 2.25 เท่า และตัวอย่างไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยและไม่ผสมอบเชยแช่เยือกแข็งที่เวลา 0 เดือนมีค่า AV แตกต่างกัน 33 เท่า เนื่องจากอบเชยซึ่งมี cinnamaldehyde เป็นองค์ประกอบหลัก ที่สามารถเข้าร่วมทำปฏิกิริยากับ *p*-anisidine reagent และสารกลุ่ม aldehydes โดยเฉพาะ 2-alkanal และ 2,4-dienals ในการวิเคราะห์ค่า AV (Hamilton, 1983; Fennema, 1996) ฉะนั้นค่า AV และ totox จึงไม่เหมาะสมในการใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างที่ผสมอบเชย และจะพิจารณาเฉพาะค่า PV เท่านั้น สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใส่อบเชยเก็บนาน 3 เดือน พบว่ามีค่า PV ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากตัวอย่างที่เก็บรักษา 0 เดือน และตัวอย่างที่ใส่อบเชย 6 เดือน มีค่า PV ต่างจากตัวอย่างที่ใส่อบเชย 0 เดือน 3 เท่า ซึ่ง PV มีค่า 0.24 meq.O_2/kg อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.22) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ไม่เกิดการหืนเลย จึงคาดได้ว่าไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยมาก

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน (ตารางที่ 4.19 และ 4.20) พบว่า ค่า adhesiveness ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร acetylated distarch phosphate (E 1414) มีสมบัติทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งที่ดี (Mirmoghtadaie *et al.*, 2009) จึงทำให้รักษาลักษณะเนื้อสัมผัสไว้ได้ และพบว่าตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง ($p\leq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ค่าความสว่าง(L*) ที่ลดลง อาจเนื่องจากการตกผลึกใหม่ของน้ำแข็ง ซึ่งผลึกน้ำแข็งเดิมเล็กมีขนาดใหญ่ขึ้น (ประภาพรรณ ดุจดา, 2545)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

สมบัติ	ปริมาณ			
	ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งไม่ใส่อบเชย (0 เดือน)	ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งผสมอบเชย (0 เดือน)	ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งไม่ใส่อบเชย (3 เดือน)	ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งผสมอบเชย (6 เดือน)
PV (meq.O_2 /kg)	$0.08^{a} \pm 0.01$	$0.08^{a} \pm 0.00$	$0.08^{a} \pm 0.01$	$0.24^{b} \pm 0.02$
AV	$0.81^{a} \pm 0.09$	$26.00^{b} \pm 2.20$	$1.20^{a} \pm 0.17$	$58.36^{c} \pm 6.96$
Totox value	$0.98^{a} \pm 0.09$	$26.16^{b} \pm 2.20$	$1.35^{a} \pm 0.18$	$58.84^{c} \pm 6.96$

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

เดือนที่	Hardness (g_f)	Cohesiveness	Adhesiveness^{ns} (g_f-mm)	Springiness	Gumminess (g_f)	Chewiness (g_f)
0	$9.65^{ab} \pm 0.00$	$2.43^{ab} \pm 0.06$	52.66 ± 0.14	$0.61^{b} \pm 0.01$	$23.21^{ab} \pm 0.60$	$14.04^{ab} \pm 0.27$
1	$11.50^{bc} \pm 1.48$	$2.17^{a} \pm 0.35$	43.61 ± 6.14	$0.60^{b} \pm 0.01$	$24.52^{ab} \pm 0.78$	$14.62^{abc} \pm 0.88$
2	$8.22^{a} \pm 0.25$	$2.77^{b} \pm 0.04$	43.74 ± 3.20	$0.54^{a} \pm 0.01$	$22.63^{a} \pm 0.27$	$12.11^{a} \pm 0.14$
3	$10.49^{bc} \pm 0.54$	$2.54^{ab} \pm 0.02$	49.49 ± 3.15	$0.60^{b} \pm 0.01$	$26.30^{ab} \pm 1.52$	$15.64^{bc} \pm 0.97$
4	$12.25^{c} \pm 0.33$	$2.37^{ab} \pm 0.12$	53.02 ± 4.79	$0.61^{b} \pm 0.01$	$28.29^{b} \pm 2.23$	$17.14^{c} \pm 1.77$
5	$10.52^{bc} \pm 0.78$	$2.44^{ab} \pm 0.06$	47.53 ± 0.16	$0.61^{b} \pm 0.01$	$25.49^{ab} \pm 1.25$	$15.33^{bc} \pm 0.93$
6	$12.21^{c} \pm 1.00$	$2.27^{a} \pm 0.04$	50.70 ± 7.77	$0.61^{b} \pm 0.02$	$27.33^{b} \pm 2.64$	$16.44^{bc} \pm 2.11$

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ค่าสีของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

เดือนที่	L^*	a^*	b^*
0	$35.56^{c} \pm 0.21$	$10.45^{ab} \pm 0.18$	$23.81^{ab} \pm 0.08$
1	$35.10^{c} \pm 0.44$	$10.50^{ab} \pm 0.29$	$23.82^{ab} \pm 0.21$
2	$35.27^{c} \pm 0.33$	$10.86^{ab} \pm 0.05$	$25.07^{b} \pm 0.28$
3	$32.83^{a} \pm 0.16$	$10.77^{ab} \pm 0.60$	$25.11^{b} \pm 1.29$
4	$33.24^{ab} \pm 0.10$	$11.17^{b} \pm 0.25$	$23.68^{ab} \pm 0.22$
5	$34.10^{b} \pm 0.28$	$10.25^{a} \pm 0.40$	$24.41^{b} \pm 0.88$
6	$33.71^{b} \pm 0.66$	$10.65^{ab} \pm 0.02$	$21.89^{a} \pm 1.46$

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการติดตามปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และรา (ตารางที่ 4.21) พบว่าตัวอย่างมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด อยู่ในช่วง 2.1-2.6 × 10^3 CFU/g มีปริมาณยีสต์น้อยกว่า 30 CFU/g และไม่พบรา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2546) ที่กำหนดให้มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^4 และไม่พบรา ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 °C ชะลอปฏิกิริยาชีวเคมี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2546) และอบเชยเทศมีสมบัติต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Singh *et al*., 2007)

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณา (ตารางที่ 4.22) พบว่าระดับสีน้ำตาล ความมันวาว กลิ่นแมคาเดเมีย กลิ่นอบเชย กลิ่นรสแมคาเดเมีย กลิ่นรสอบเชย กลิ่นรสตกค้าง และความเหนียว จากการเก็บรักษาเดือนที่ 0 จนกระทั่งถึงเดือนที่ 6 มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณากลิ่นแมคาเดเมีย กลิ่นรสตกค้าง มีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากมีกลิ่นรสบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้เกิดการสูญเสียไประหว่างการละลายน้ำแข็ง (ประภาพรรณ ดุจดา, 2545) และพบว่าไม่มีกลิ่นหืน และกลิ่นรสหืนเกิดขึ้น จึงเป็นผลให้การยอมรับ (9 point hedonic scale) อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้เล็กน้อยถึงยอมรับได้ปานกลาง

การติดตามการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ, อุณหภูมิการเก็บรักษา, ความเข้มข้นของออกซิเจน, พื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสอากาศ, แสงและรังสีต่างๆ และสารต้านออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551) เมื่อพิจารณาไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งโดยมีอบเชยเทศผงเป็นส่วนผสมร้อยละ 0.5 (w/w) หรือมีสารสกัดอบเชยเทศร้อยละ 0.14 (w/w) คาดว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอาจมีผลจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแมคาเดเมียบด (ตารางที่ 4.12) ซึ่งมีอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551) นอกจากนี้การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 °C บรรจุในถุงที่ลามิเนตด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE) และปิดผนึกโดยสุญญากาศ 30% สามารถชะลอปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน, สามารถป้องกันแสง, ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจนได้ดี (ภาคผนวก ก.21) ทำให้มีความเข้มข้นของออกซิเจนและพื้นที่ผิวของไขมันสัมผัสออกซิเจนต่ำ รวมทั้งสมบัติต้านออกซิเดชันที่อาจพบได้จากอบเชยเทศ (Chipault *et al*., 1952; Shobana and Naidu, 2000; Murcia *et al*., 2004; Su *et al*., 2007) และองค์ประกอบทางเคมีที่อาจมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในแมคาเดเมีย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551) เช่น tocopherols, tocotrienol, squalene และ phytosterols (Kaijser, *et al*., 2000; Maguire *et al*., 2004; Australian Macadamia Society, 2006; Kornsteiner *et al*., 2006) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้สมบัติทางเคมี สมบัติกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน

ตารางที่ 4.21 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และรา ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

เดือนที่	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณยีสต์ (CFU/g)	ปริมาณรา (CFU/g)
0	2.6×10^3	< 30	nd
1	2.2×10^3	< 30	nd
2	2.2×10^3	< 30	nd
3	2.1×10^3	< 30	nd
4	2.6×10^3	< 30	nd
5	2.1×10^3	< 30	nd
6	2.5×10^3	< 30	nd

nd คือ non detectable

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาและคะแนนการยอมรับ (9-point hedonic scale) ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

เดือนที่	ระดับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณา										คะแนนการยอมรับ
	ระดับสีน้ำตาล	ความมันวาว	กลิ่นแมคาเดเมีย	กลิ่นอบเชย	กลิ่นหืน	กลิ่นรสแมคาเดเมีย	กลิ่นรสอบเชย	กลิ่นรสหืน	กลิ่นรสตกค้าง	ความเหนียว	
0	$7.67^{ab} \pm 0.26$	$6.84^{a} \pm 0.61$	$2.36^{d} \pm 0.50$	$3.30^{b} \pm 0.36$	nd	$6.88^{b} \pm 0.82$	$2.97^{bc} \pm 0.53$	nd	$2.42^{c} \pm 0.32$	$2.54^{b} \pm 0.35$	$7.80^{d} \pm 0.85$
1	$8.20^{c} \pm 0.22$	$7.67^{b} \pm 0.48$	$2.18^{cd} \pm 0.47$	$2.71^{ab} \pm 0.97$	nd	$5.86^{a} \pm 0.83$	$2.31^{a} \pm 0.58$	nd	$1.26^{a} \pm 0.35$	$1.46^{a} \pm 0.36$	$7.04^{bc} \pm 0.77$
2	$8.13^{c} \pm 0.44$	$7.59^{b} \pm 0.52$	$1.91^{bcd} \pm 0.64$	$2.63^{ab} \pm 1.05$	nd	$6.06^{ab} \pm 0.74$	$2.38^{a} \pm 0.75$	nd	$1.28^{a} \pm 0.39$	$1.55^{a} \pm 0.50$	$7.15^{bc} \pm 0.84$
3	$7.86^{abc} \pm 0.20$	$7.46^{b} \pm 0.32$	$1.48^{ab} \pm 0.63$	$2.07^{a} \pm 1.00$	nd	$5.69^{a} \pm 0.78$	$2.62^{abc} \pm 0.83$	nd	$1.31^{a} \pm 0.46$	$1.68^{a} \pm 0.40$	$6.97^{abc} \pm 1.05$
4	$7.81^{abc} \pm 0.26$	$7.44^{b} \pm 0.33$	$1.23^{a} \pm 0.49$	$2.13^{a} \pm 1.19$	nd	$5.69^{a} \pm 0.92$	$2.72^{abc} \pm 1.16$	nd	$1.37^{a} \pm 0.43$	$1.46^{a} \pm 0.28$	$6.91^{ab} \pm 1.05$
5	$8.03^{bc} \pm 0.43$	$7.67^{b} \pm 0.37$	$2.17^{cd} \pm 0.99$	$2.73^{ab} \pm 0.95$	nd	$6.46^{ab} \pm 0.46$	$3.07^{c} \pm 0.54$	nd	$1.69^{ab} \pm 0.46$	$2.47^{b} \pm 0.60$	$7.53^{cd} \pm 0.60$
6	$7.49^{a} \pm 0.47$	$6.97^{a} \pm 0.37$	$1.74^{bc} \pm 0.44$	$2.93^{ab} \pm 1.11$	nd	$6.36^{ab} \pm 1.08$	$3.05^{c} \pm 0.11$	nd	$1.91^{b} \pm 0.74$	$2.33^{b} \pm 0.20$	$6.42^{a} \pm 0.37$

a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

nd คือ non detectable

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ภาวะการสกัดที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนอบเชยผงต่อปริมาตรเมทานอล 1:50 (w/v) เวลาการสกัด 8 ชั่วโมง โดยอบเชยเทศมีสมบัติต้านออกซิเดชันดีที่สุด ($p \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกับ BHA ($p > 0.05$) และ จากการศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดย Rancimat® method พบว่าในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการสาร สกัดอบเชยเทศและ BHA สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เล็กน้อยมีค่า Protection Factor (PF) 1.04 และ 1.08 ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และ BHA มีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันแมคาเดเมียดีกว่าสารสกัดอบเชย (PF 1.14 และ 0.89) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2. สูตรไส้แมคาเดเมียที่พัฒนาโดยการกำหนดสูตรโดยวิธี Mixture design ได้สูตรที่ประกอบด้วยแมคาเดเมียบด 40%, แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 5%, กลูโคสซีรัป 25%, น้ำตาลไอซิ่ง 10%, น้ำ 19.5% และอบเชยเทศ 0.5% (w/w) แมคาเดเมียบด (วัตถุดิบ) มีปริมาณความชื้น, ไขมันทั้งหมด และกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 12.15%, 74.75% และ 0.16% ตามลำดับ สมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย พบว่ามีปริมาณความชื้น ไขมันทั้งหมด และกรดไขมันอิสระเท่ากับ 27.74%, 1.11% และ 0.14% ตามลำดับ มีค่า hardness 21.74 g_f cohesiveness 0.69, adhesiveness 60.00 g_f-mm, springiness 0.31, gumminess 14.91 g_f และ chewiness 4.66 g_f, มีค่าความสว่าง (L*) 31.18, ความเป็นสีแดง (a*) 9.13, ความเป็นสีเหลือง (b*) 20.87 และค่า a_w เท่ากับ 0.822 การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อการใช้ไส้แมคาเดเมียในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าได้ 5 ผลิตภัณฑ์ เรียงตามลำดับดังนี้ ขนมโมจิ, ขนมปัง, ขนมไหว้พระจันทร์, สเปรด, และขนมเปี๊ยะ

3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิคไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย คือที่อุณหภูมิ -20 °C นาน 102.6 วินาที

4. ไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งยังไม่เกิดการหืน ลักษณะเนื้อสัมผัส และสีไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย และยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาต่อไปถึงพืช หรือเครื่องเทศชนิดอื่นที่มีสมบัติเป็นสารกันหืนและให้กลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ที่สามารถนำมาใช้ในอาหารไทย และเป็นที่ยอมรับของคนไทยและต่างประเทศ รวมทั้งศึกษาพืช และเครื่องเทศ หรือสารสกัดในตัวทำละลายต่างๆเพื่อให้ได้สมบัติต้านออกซิเดชันที่ดีและสามารถนำไปใช้ได้เชิงการค้าหรืออุตสาหกรรม

2. ควรเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาให้นานขึ้น เพื่อติดตามการหืน และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมวิชาการเกษตร. สถาบันวิจัยพืชสวน. 2536. มะคาเดเมีย. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร. 57 หน้า.

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมวิชาการเกษตร. สถาบันวิจัยพืชสวน. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2541. แนวทางการวิจัยและพัฒนาการผลิตแมคาเดเมีย. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร. หน้า 3-19.

ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ, จุฑาทิพย์ ศุภชัยวีรกุล และ ศจีนา วัฒนบุตรสิริ. 2549. การศึกษาองค์ประกอบไขมันของแมคคาเดเมียนัตต่างพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 77 หน้า.

เฉลิมพล ถนอมวงค์. 2547. การพัฒนาไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 84 หน้า.

ทีปภาชน์ เพ็ญสุภา. 2548. สวนภูเรือวโนทยาน ตอนที่ 1 เกาลัดจีน มะคาเดเมียนัท ความรื่นรมย์เมื่อได้สัมผัส. เคหการเกษตร 29 (4): 130-136.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์. 487 หน้า

บัญชา พิชัยบัณฑิตกุล และวิทวัส ไชยวงศ์. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเปลือกถั่วแมคคาเดเมียโดยใช้แรงอัด. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 48 หน้า.

ประภาพรรณ ดุจดา. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. แช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 145 หน้า.

ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ และสุดสาย ตรีวานิช. 2546. จุลินทรีย์ในอาหาร. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร, หน้า 48-74. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ผู้จัดการออนไลน์. 2550. มหิดลแปร "แมคคาเดเมีย" เหลือทิ้งเป็นถ่านเพื่อสุขภาพ. แหล่งที่มา:http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9500000136291 [23 ส.ค. 2552]

พรชัย เปรมไกรสร. 2552. ฤทธิ์การต้านอนุมูลและการหาปริมาณหมู่ฟีนอลในผลสดและเมล็ด

มะขามป้อมอบแห้ง ใบหว้าสด และใบแก่ต้นหูกวาง. วารสารวิทยาศาสตร์ 63(3): 87-92.

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2546. ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลลิกในใบติ้ว (*Cratoxylum formosum* Dryer.) ใบกระโดนบก (*Careya sphaerica* Roxb.) และใบผักหวานบ้าน (*Sauropus andrugynus* Merr.). วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 23(2): 66-77.

รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. 2540. พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 95-98.

วรรณา ตุลยธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 144-145.

ศิริพงษ์ พัฒนวิบูลย์. 2534. อบเชยเครื่องเทศที่น่าสนใจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6(3): 67-72.

สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) เรื่อง น้ำมันและไขมัน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข. 9 หน้า.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2546. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร หน้า 154-186. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2537. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอบเชย (มอก.1214-2537). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม. 10 หน้า.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (มผช.1/2546). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม. 5 หน้า.

หนังสือพิมพ์แนวหน้า. 2551. ขึ้นทะเบียนแมคคาเดเมียพันธุ์ใหม่เล็งขยายผลปลูกที่ตาก-เพชรบูรณ์ เผยราคาดีมีแววเป็นพืชเศรษฐกิจ. แหล่งที่มา: http://www.phtnet.org/news51/view-news.asp?nID=379 [23 สิงหาคม 2552]

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง. 2549. องค์ประกอบทางเคมีของมะคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย. วารสารอาหาร 36: 334-344.

ภาษาอังกฤษ

Abdalla, A.E., and Roozen, J.P. 1999. Effect of plant extracts on the oxidative stability of sunflower oil and emulsion. Food Chemistry 64: 323-329.

Al-Numair, K.S., Ahmad, D., Ahmed, S.B., Al-Assaf, A.H. 2007. Nutritive value, levels of polyphenols and anti-nutritional factors in Sri Lankan cinnamon *(Cinnamomum zeyalnicum)* and Chinese cinnamon *(Cinnamomum cassia)*. Research Bult Food Science and Agricultural Research Center, King Saud University 154: 5-21.

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Vol.2. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

A.O.A.C. 2005. Official Methods of Analysis. 18th ed. Vol.2. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

A.O.C.S. 1998. Official Methods and Recommended Practices. 5th ed. Illinois: American Oil Chemist 's Society.

Aradhya, M.K., Yee, L.K., Zee, F.T., and Manshardt, R.M. 1998. Genetic variability in *Macadamia*. Genetic Resources and Crop Evolution 45(1): 19-32.

Armstrong, W.P. 2006. Macadamia nut: Protea family (Proteaceae)[online]. Available from: http://waynesword.palomar.edu/ecoph8.html. [2008, December 6]

Australian Macadamia Society. 2006. The australian macadamia nut industry [online]. Available from: http://macadamias.org/index.php?p=7. [2006, June 7]

Barceloux, D.G. 2008. Cinnamon (*Cinnamomum* Spices). In D. G. Barceloux (ed), Medical Toxicology of Natural substances: Foods, Fungi, Medicinal Herb, Toxic Plants, and Venomous Animals, pp. 327-335. New Jersey: John Wiley & Sons.

Brand-Williams, W., Cuvelier M.E., and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 28: 25-30.

Branen, A.L. 1975. Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. Journal of The American Oil Chemists' Society 52: 59-63.

Cacace, J.E., and Mazza, G. 2003. Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. Journal of Food Engineering 59: 379-389.

Campañone, L.A., Roche, L.A., Salvadori, V.O., and Mascheroni, R.H. 2002. Monitoring of weight losses in meat products during freezing and frozen storage.

Food Science and Technology International 8(4): 229-238.

Chipault, J.R., Mizuno, G.R., Hawkins, J.M., and Lundberg, W.O. 1952. The antioxidant properties of natural spices. Food Research 17(1): 46-55.

Civille, G.V., and Dus, C.A. 1992. Sensory evaluation of lipid oxidation in foods, pp. 279-288. In St. Angelo, A.J. (ed.) Lipid Oxidation in Food. Washington D.C: American Chemical Society.

Cochran, W.C., and Cox, G.M. 1992. Experimental Designs. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 611 p.

CODEX Alimentarious. 2001. CODEX standard for olive oil virgin and refined, and for refined olive pomace oil. CODEX STAN 33: 25-39

CODEX Alimentarious. 2003. CODEX standard for named vegetable oils. CODEX STAN 210: 1-13.

Coppen, P.P. 1994. The use of antioxidants, pp. 84-103. In J.C. Allen and R.J. Hamilton (eds.). Rancidity in Food. 3rd ed. Glasgow: Chapman & Hall.

Dao, N.K. 2004. Chinese Cassia. In P.N. Ravindran, K. Nirmal Babu, and M. Shylaja (eds.) Cinnamon and Cassia: The genus *Cinnamomum*. Available from: http://www.crcpress.com [2006, May19]

Decagon Devices. 2009. Water activity meter: AquaLab series 3[online]. Available from: http://www.decagon.com/water_activity/aqualab3/index.php?pg=specs. [2009, October 1]

FAO / WHO Expert Committee on Food Additives. 2005. General Standard for Food Additives. CAC/STAN 192-1995 (Rev. 6-2005): 1-174.

Farhoosh, R. 2007. The effect of operational parameters of the rancimat method on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists' Society 84: 205-209.

Farhoosh, R., and Pazhouhanmehr, S. 2009. Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil. Food Chemistry 114: 1002-1006.

Frankel, E.N. 1993. Formation of headspace volatiles by thermal decomposition of oxidized fish oils vs. oxidized vegetable oils. Journal of the American Oil Chemists' Society 70: 767-772.

Frankel, E.N. 2005. Lipid oxidation. 2nd ed. Bridgwater, England: The Oilly Press,

470 p.

Frankel, E.N., Huang, S., Kanner, J., and German, J.B. 1994. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidant: Bulk olis *vs* emulsions. Journal of Agricultural and Food Chemistry 42: 1054-1059.

Frankel, E.N., and Huang, S. 1996. Evaluation of antioxidant activity of rosemary extract, carnosol and carnosic acid in bulk vegetable oils and fish oil and their emulsions. Journal of the Science of Food and Agriculture 72: 201-208.

Garg, M.L., Blake, R.J., and Wills, B.H. 2003. Macadamia nut consumption lowers plasma total and LDL cholesterol levels in hypercholesterolemic men. Journal of Nutrition 133: 1060-1063.

Georgantelis, D., Blekas, G., Katikou, P., Ambrosiadis, I., and Fletouris, D.J. 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and α-tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. Meat Science 75: 256-264.

Hamilton, R.J. 1983. The chemistry of rancidity in foods, pp. 18-90. In J. C. Allen and R. J. Hamilton (eds.) Rancidity in Foods. London: Applied Science.

Harrigan, W.F. and Mc Cance, M.E. 1976. Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology. London: Academic Press, 452 p.

Hasanah, M., Nuryani, Y., Djisbar, A., Mulyono, E., Wikardi, E., and Asman, A. 2004. Indonesian Cassia (Indonesian Cinnamon). In P.N. Ravindran, K. Nirmal Babu, and M. Shylaja (eds.) Cinnamon and Cassia: The genus *Cinnamomum*. Available from: http://www.crcpress.com [2006, May19]

Jackson, E.B., and Howling, D. 1995. Glucose syrups and starch hydrolysate, In. E.B. Jackson (ed), Sugar Confectionery Manufacture, 2nd ed., pp. 13-37. Glosgow: Blackie Academic & Professional.

Jadhav, S.J., Nimbalkar ,S.S., Kulkarni, A.D., and Madhavi, D.L. 1996. Lipid oxidation in biological and food systems. In D.L. Madhavi, S.S. Despande, and D.K. Salunkhe (eds.), Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives, pp. 5-64. New York: Marcel Dekker.

Jang, H., Chang, K., Huang, Y., Hsu, C., Lee, S., and Su, M. 2007. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three Chinese medicinal plants. Food Chemistry 103: 749-756.

Jayaprakasha, G.K., Ohnishi-Kameyama, M., and Ono, H. 2006. Phenolic constituents in the fruits of *Cinnamomum zeylanicum* and their antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 1672-1679.

Karacabey, E., and Mazza, G. 2008. Optimization of solid-liquid extraction of resveratrol and other phenolic compounds from milled grape canes *(Vitis vinifera)*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 6318-6325.

Kaijser, A., Dutta, P., and Savage, G. 2000. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. Food Chemistry 71: 67-70.

Kornsteiner, M., Wagner, K., and Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. Food Chemistry 98: 381-387.

Kris-Etherton, P.M. 1999. Monounsaturated Fatty Acid and Risk of Cardiovascular Disease [online]. Circulation Journal of the American Heart Association. Available from: http://www.circulationnaha.org. [2009, 23 August]

Lepage, G., and Roy, C.C. 1986. Note on methodology. Journal of Lipid Research 27: 114-120.

Madhavi, D.L., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 1996a. Technological aspects of food antioxidant. In D.L. Madhavi, S.S. Despande, and D.K. Salunkhe (eds.), Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives, pp. 159-256. New York: Marcel Dekker.

Madhavi, D.L., and Salunkhe, D.K. 1996b. Toxicological aspects of food antioxidants. In D.L. Madhavi, S.S. Despande, and D.K. Salunkhe (eds.), Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives, pp. 267-359. New York: Marcel Dekker.

Madsen, H.L., and Bertelsen, G. 1995. Review spices as antioxidants. Trends in Food Science & Technology 6: 271-277.

Maguire, L.S., O'Sullivan, S.M., Galvin, K., O'Connor, T.P., and O'Brien, N.M. 2004. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. International Journal of Food Sciences and Nutrition 55(3): 171-178.

Maisuthisakul, P., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry 100: 1409-1418.

Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T., Andoh, T., Shinohara, A., and Nakata, M. 1999. Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: Activity of the leaf extracts from seashore plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 1749-1754.

Mathew, S., and Abraham, T.E. 2006 a. In vitro antioxidant activity and scavenging effects of *Cinnamomum verum* leaf extract assayed by different methodologies. Food and Chemiscal Toxicology 44: 198-206.

Mathew, S., and Abraham, T.E. 2006 b. Studies on the antioxidant activities of cinnamon *(Cinnamomum verum)* bark extracts, through various in vitro models. Food Chemistry 94: 520-528.

Meilgaard, M., Civille, G.V., and Carr, B.T. 2007. Sensory Evaluation Techniques. 4th ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 448 p.

Merck. 1989. The Merck Index : An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 11th ed. Rahway, New Jersey: Merck, 2000 pp.

Mirmoghtadaie, L., Kadivar, M., and Shahedi, M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. Food Chemistry 116: 709-713.

Murcia, M.A., Egea, I., Romojaro, F., Parras, P., Jimenez, A.M., Martínez-Tomé, M. 2004. Antioxidant Evaluation in Dessert Spices Compared with Common Food Additive: Influence of Irradiation Procedure. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 1872-1881.

Nawar, W.W. 1996. Lipids. In O.R. Fennema (ed.), Food Chemistry, 3rd ed., pp. 225-319. New York: Marcel Dekker.

Pearson, D. 1976. The Chemical Analysis of Foods. 15th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, p. 321.

Pegg. R.B. 2005. Measurement of primary lipid oxidation products. In Wrolstad R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P. (eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry: Water, Protein, Enzymes, Lipids, and Carbohydrate., pp. 515-529. New Jerssey: John Wiley & Sons.

Pike, O.A. 2003. Fat characterization. In S.S. Nielsen (ed.), Food Analysis, 3rd ed., pp. 227-246. New York: Spinger Science and Business Media.

Prior, R.L., Wu, X, and Schaich, K. 2005. Standardized method for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 4290-4302.

Roginsky, V., and Lissi, E.A. 2005. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. Food Chemistry 92: 235-254.

Quinn, L.A., and Tang, H.H. 1996. Antioxidant properties of phenolic compounds in macadamia nuts. Journal of the American Oil Chemists' Society 73: 1585-1587.

Sabir, S.M., Hayat, I., and Gardezi, S.D.A. 2003. Estimation of sterols in edible fats and oils. Pakistan Journal of Nutrition 2 (3): 178-181.

Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., and Saura-Calixto, F. 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. Journal of the Science of Food and Agriculture 76: 270-276.

Satue, M.T., Huang, S.W., and Frankel, E.N. 1995. Effect of natural antioxidants in virgin olive oil on oxidative stability of refined, bleached, and deodorized olive oil. Journal of the American Oil Chemists' Society 72: 1131-1137.

Savage, G.P., McNeil, D.L., and Dutta, P.C. 1997. Lipid composition and oxidative stability of oils in hazelnuts *(Corylus avellana* L.) grown in New Zealand. Journal of the American Oil Chemists' Society 74: 755-759.

Savage, G.P., Dutta, P.C., and McNeil, D.L. 1999. Fatty acid and tocopherol contents and oxidative stability of walnut oils. Journal of the American Oil Chemists' Society 76: 1059-1063.

Schweiggert, U., Schieber, A., and Carle, R. 2005. Inactivation of peroxidase, polyphenoloxidase, and lipoxygenase in paprika and chili after immediate thermal treatment of the plant material. Innovative Food Science and Emerging Technologies 6: 403-411.

Scottish Crop Research Institute, 2009. Fatty acids: Methylene interrupted double bonds structures, occurrences and biochemistry[online]. Available from: http://www.lipidlibrary.co.uk/Lipids/fa_poly/index.htm [2009, October 1]

Senanayake, U.M., and Wijesekera, R.O.B. 2004. Chemistry of cinnamon and cassia. In P.N. Ravindran, K. Nirmal Babu, and M. Shylaja (eds.) Cinnamon and Cassia: The genus *Cinnamomum*. Available from: http://www.crcpress.com [2006, May19]

Shahidi, F. 2005. Extraction and measurement of total lipids. In Wrolstad R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D., and Sporns, P. (eds.), pp. 425-429. Handbook of Food Analytical Chemistry: Water, Protein, Enzymes, Lipids, and Carbohydrate. New Jerssey: John Wiley & Sons.

Shahidi, F., and Naczk, M. 1995. Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects, and Applications. Pennsylvania: Technomic Publishing Company.

Shobana, S., and Naidu, K.A. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids 62(2): 107-110.

Singh, G., Maurya, S., de Lampasona, M.P., and Catalan, C.A.N. 2007. A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. Food and Chemical Toxicology 45: 1650-1661.

Singleton, V.L., and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Society for Enology and Viticulture 16: 144-158.

Siripongvutikorn, S., Thongraung, C., Usawakesmanee, W., Buatoom, T., and Thammarutwasik, P. 2009. Development of instant garcinia *(Garcinia atroviridis)* Tom-Yam Mix as a high acid seasoning. Journal of Food Processing and Preservation 33: 74-86.

St. Angelo, A.J. 1996. Lipid oxidation in food. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 36: 175-224.

Su, L., Yin, J.J., Charles, D., Zhou, K., and Moore, Y.L. 2007. Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. Food Chemistry 100: 990-997.

Subash Babu, P., Prabuseenivasan, S., and Ignacimuthu, S. 2007. Cinnamaldehyde: A potential antidiabetic agent. Phytomedicine 14: 15-22.

Suhaj M. 2006. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: A review. Journal of Food Composition and Analysis 19: 531-537.

USDA. 2008. USDA national nutrient database for standard reference [online]. Available from: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl

[2009, May 9]

Wang, H., Cao, G., and Prior, R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44: 701-705.

Waterhouse, A.L. 2005. Determination of total phenolics. In Wrolstad R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P. (eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components., pp. 463-470. New Jersey: John Wilely & Sons.

Weinert, I.A.G. 1993. Macadamia Nut Processing. The Southern African Macadamia Growers Association Yearbook, pp. 54-75.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์และตรวจสอบทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์

ก. 1 ตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเชิงคุณภาพ (Pearson, 1976)

วิธีการ

นำเนื้อในแมคาเดเมีย มานึ่งจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางได้ตามที่ต้องการ แล้วทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักแมคาเดเมียที่นึ่งมาแล้ว ประมาณ 10-20 กรัม

2. บดโดยใช้เครื่องบดของแห้งจนละเอียดเป็นเวลา 5 นาที ที่ความเร็วสูง จากนั้นนำแมคาเดเมียที่บดไปมาผสมกับน้ำกลั่นปริมาตรเป็น 2 เท่าของน้ำหนักแมคาเดเมีย ผสมใน Blender (Phillip, รุ่น HR1757 Cucina Blender, UK, speed maximum) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

3. นำสารละลายตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายสับสเตรท คือ 1% guaiacol ซึ่งละลายใน 50% ethanol ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่บรรจุสารละลายไว้โดยที่ไม่ต้องเขย่าและผสม เติมสารละลาย 0.08 % H_2O_2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยที่ไม่ต้องเขย่าและผสม จากนั้นจึงผสมสารละลายในหลอดทดสอบโดยจับหลอดคว่ำไปมา สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้าไม่เกิดภายใน 3.5 นาที แสดงว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และถ้าเกิดสีหลังจากเวลา 3.5 นาที ก็แสดงถือว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเช่นกัน

ก. 2 การวัดสมบัติต้านออกซิเดชันด้วย DPPH• method (ดัดแปลงจากวิธีของ Jayaprakasha *et al.*, 2006; Masuda *et al.*, 1999)

วิธีการ

1. ทำ serial dilution โดยเจือจางสารสกัดอบเชยจากเมทานอล อบเชยเทศ สกัดที่อัตราส่วน 1:20 serial dilution คือ 1:100, 1:120, 1:140, 1:160, 1:180, 1:200 และ 1:220 สกัดที่อัตราส่วน 1:50 serial dilution คือ 1:100, 1:140, 1:180, 1:220, 1:260, 1:300 อบเชยจีนและอบเชยญวน serial dilution คือ 1:40, 1:60, 1:80, 1:100 และ 1:120) แปลง serial dilution แต่ละความเข้มข้นเป็นค่าความ

เข้มข้นในหน่วย µg/µg DPPH และ µg/ml โดยทำ serial dilution 2 ซ้ำ ต่อสารสกัด 1 ตัวอย่าง ส่วน BHA เตรียมที่ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 µg/ml และแปลงเป็นหน่วย µg/µg DPPH

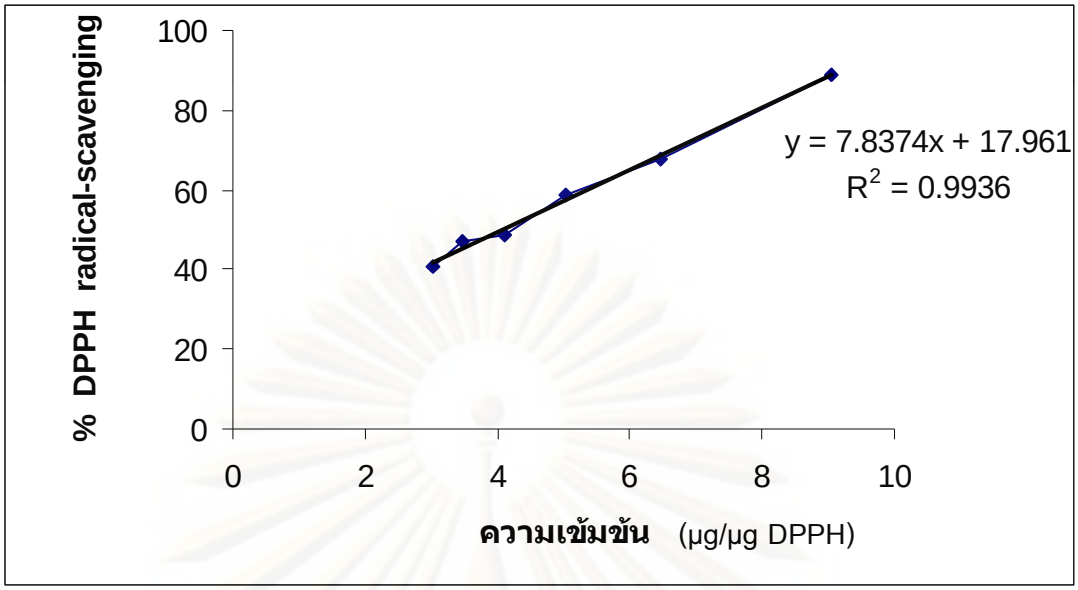
2. นำสารสกัดอบเชยแต่ละระดับความเข้มข้นปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมเมทานอล 100 ไมโครลิตร และ สารละลายอนุมูล DPPH ในตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (Jayaprakasha *et al.*, 2006) เขย่าและเก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (UV-vis spectrophotometer, JASCO, model V-530, Japan) คำนวณฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน (Masuda *et al.*, 1999) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [A_0 - (A_1 - A_s)]/A_0 \times 100$$

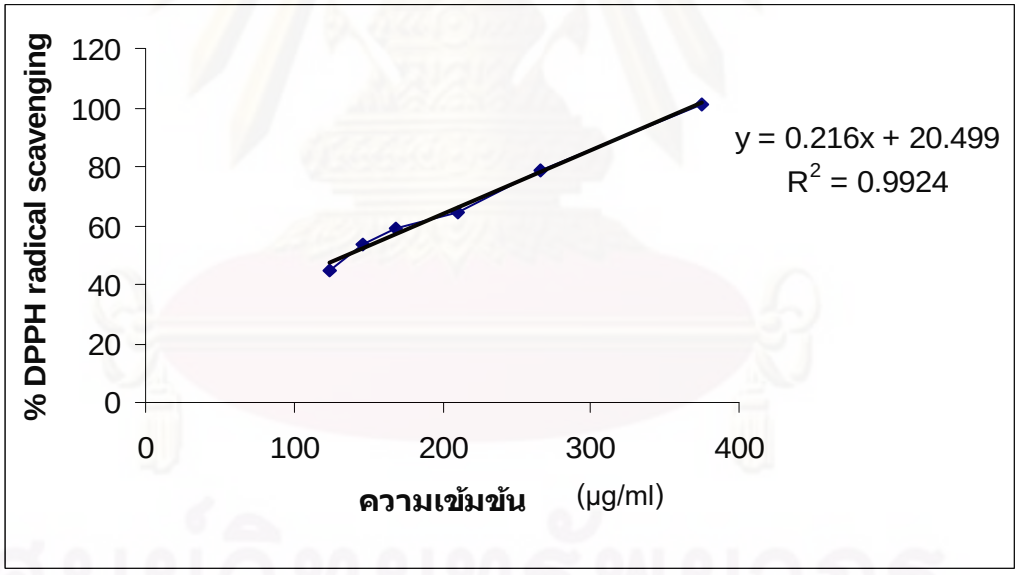
ให้ A_0 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ control solution (DPPH radical in methanol), A_1 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ cinnamon extract ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุมูล DPPH และ A_s เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ cinnamon extract ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DPPH radical-scavenging activity (%) กับความเข้มข้นในหน่วย µg DM/µg DPPH และ µg/ml โดยนำมาสร้างเป็นสมการเส้นแนวโน้มได้จาก Microsoft Excel เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ลงได้ 50% (EC_{50}) โดยแทนค่า y = 50 ในสมการ ก็จะได้ค่า x ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่ยับยั้งอนุมูล DPPH ลงได้ 50% แสดงตัวอย่างดังรูปที่ ก.1-ก.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

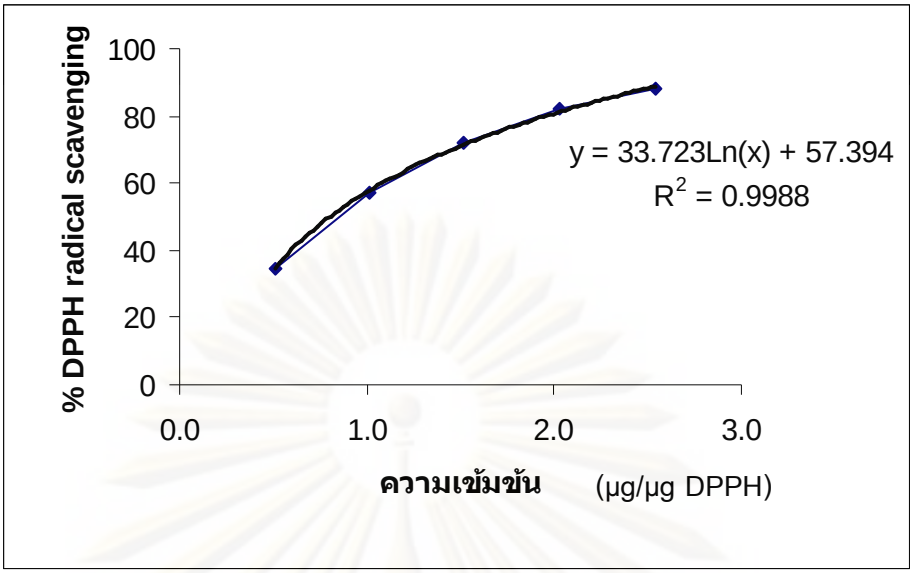


a) ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของสารสกัดจากอบเชยเทศ หน่วย µg/µg DPPH

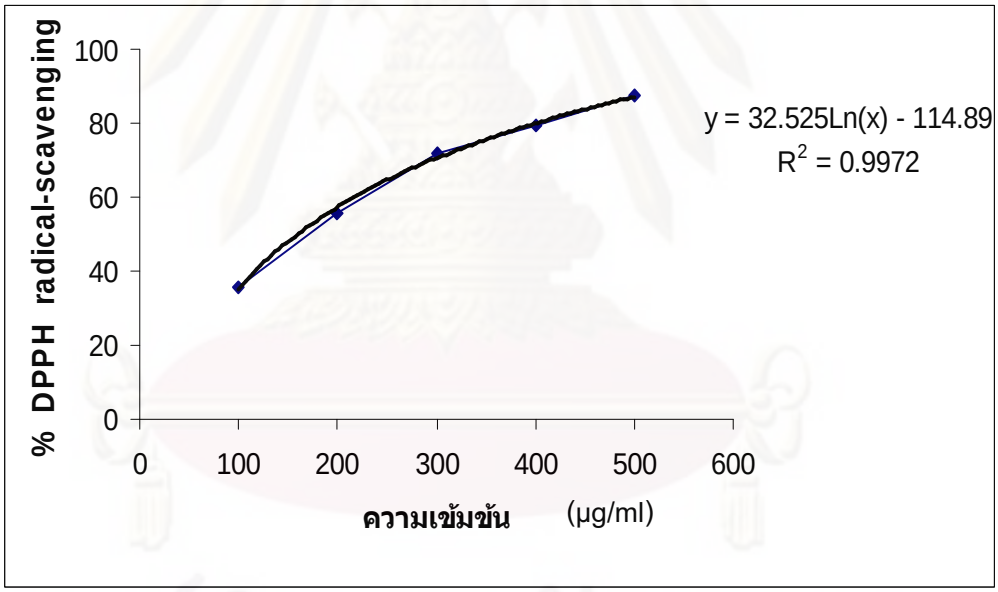


b) ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของสารสกัดจากอบเชยเทศ หน่วย µg/ml

รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของสารสกัดจากอบเชยเทศ



a) ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของ BHA ในหน่วย µg/µg DPPH



b) ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของ BHA ในหน่วย µg/ml

รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง %DPPH radical scavenging activity และความเข้มข้นของ BHA

ตารางที่ ก.1 สมการและค่าเฉลี่ย EC_{50} (µg/µg DPPH) ของอบเชยเทศชนิดต่างๆ และ BHA

Antioxidant	ซ้ำ	สมการ	ค่าเฉลี่ย EC_{50}
อบเชยเทศ	1	Y = 8.9415x + 20.566 (R^2 = 0.9921)	3.29
	2	Y = 8.762x + 22.419 (R^2 = 0.9818)	3.15
	3	Y = 7.8374x + 17.961 (R^2 = 0.9936)	4.09
	Mean	Y = 8.5136x + 20.315 (R^2 = 0.9934)	3.51 ± 0.51
		X = 3.49	
อบเชยจีน	1	Y = 1.1584x + 6.0999 (R^2 = 0.9958)	37.90
	2	Y = 1.3143x + 5.5493 (R^2 =0.9955)	33.82
	3	Y = 1.3031x – 3.5634 (R^2 = 0.9950)	41.10
	Mean	Y = 1.2586x + 2.6953 (R^2 = 0.9981)	37.61 ± 3.65
		X = 37.59	
อบเชยชวา	1	Y = 1.2112x + 5.161 (R^2 = 0.9892)	37.90
	2	Y = 1.995x – 9.609 (R^2 = 0.9979)	29.88
	3	Y = 1.3995x + 3.4591 (R^2 = 0.9938)	37.02
	Mean	Y = 1.5352x – 0.3296 (R^2 = 0.9984)	34.93 ± 4.40
		X = 32.78	
BHA	1	Y = 32.59 Ln(x) + 56.937 (R^2 = 0.9975)	0.81
	2	Y = 34.414 Ln(x) + 57.156 (R^2 = 0.9977)	0.81
	3	Y = 34.165 Ln(x) + 58.09 (R^2 = 0.9960)	0.79
	Mean	Y = 33.723 Ln(x) + 57.394 (R^2 = 0.9988)	0.80 ± 0.01
		X = 0.80	

ตารางที่ ก.2 ระดับความเข้มข้น และ % DPPH radical scavenging ของ อบเชยเทศ และ BHA จาก 3 ซ้ำที่มีต่อค่า EC_{50} (µg/µg DPPH)

Antioxidant	Concentration (µg/µg DPPH)	% DPPH radical Scavenging ± SD	Equation (r^2)	EC_{50}
อบเชยเทศ	9.04	96.53 ± 6.57	Y = 8.5136x + 20.315 (R^2 = 0.9934)	3.49
	6.45	75.42 ± 6.82		
	5.02	64.41 ± 5.40		
	4.11	55.72 ± 6.20		
	3.47	51.35 ± 3.86		
อบเชยจีน	52.82	69.51 ± 5.63	Y = 1.2586x + 2.6953 (R^2 = 0.9981)	37.59
	35.21	45.95 ± 4.79		
	26.41	36.90 ± 3.61		
	21.13	28.88 ± 4.51		
	17.61	25.04 ± 5.95		
อบเชยชวา	49.01	74.99 ± 12.74	Y = 1.2586x + 2.6953 (R^2 = 0.9981)	37.59
	32.67	49.24 ± 4.98		
	24.51	37.76 ± 1.37		
	19.60	30.80 ± 1.04		
	16.34	23.77 ± 1.75		
BHA	0.51	34.82 ± 0.89	Y = 33.723 Ln(x) + 57.394 (R^2 = 0.9988)	0.80
	1.01	56.96 ± 1.03		
	1.52	72.15 ± 1.55		
	2.03	82.05 ± 2.25		
	2.54	88.06 ± 0.49		

ตารางที่ ก.3 สมการและค่าเฉลี่ย EC_{50}(µg/ml) ของอบเชยเทศชนิดต่างๆ และ BHA

Antioxidant	ซ้ำ	สมการ	ค่าเฉลี่ย EC_{50}
อบเชยเทศ	1	Y = 0.216x + 20.499 (R^2 = 0.9924)	136.58
	2	Y = 0.2118x + 22.322 (R^2 = 0.9834)	130.68
	3	Y = 0.1895x + 17.855 (R^2 = 0.9962)	169.63
	Mean	Y = 0.2058x + 20.226 (R^2 = 0.9949)	145.63^a ± 20.99
		X = 144.67	
อบเชยจีน	1	Y = 0.1571x + 6.1595 (R^2 = 0.9958)	279.06
	2	Y = 0.1782x + 5.6254 (R^2 = 0.9951)	249.02
	3	Y = 0.1768x – 3.4947 (R^2 = 0.9949)	302.57
	Mean	Y = 0.1707x + 2.7634	276.88^b ± 26.84
		(R^2 = 0.9979) X = 276.72	
อบเชยชวา	1	Y = 0.1277x + 5.2077 (R^2 = 0.9898)	350.76
	2	Y = 0.2103x – 9.515 (R^2 = 0.9978)	283.00
	3	Y = 0.1475x + 3.5293 (R^2 = 0.9935)	315.06
	Mean	Y = 0.1618x – 0.2593 (R^2 = 0.9984)	316.27^b ± 33.90
		X = 310.63	
BHA	1	Y = 32.525 Ln(x) - 114.89,	159.17
		(R^2 = 0.9972)	
	2	Y = 34.352 Ln(x) - 124.33,	159.17
		(R^2 = 0.9978)	
	3	Y = 34.099 Ln(x) - 122.06,	156.02
		(R^2 = 0.9958)	
	Mean	Y = 33.659 Ln(x) – 120.43,	158.12^a ± 1.82
		(R^2 = 0.9987) X = 157.59	

ตารางที่ ก.4 ระดับความเข้มข้น และ % DPPH radical scavenging ของอบเชยชนิดต่างๆ และ BHA จาก 3 ซ้ำ ที่มีต่อค่า EC_{50} (µg/ml)

Antioxidant	Concentration (µg/ml)	% DPPH radical Scavenging ± SD	Equation (r^2)	EC_{50}
อบเชยเทศ	374.83	96.53 ± 6.57	Y = 0.2058x	144.67
	266.12	75.42 ± 6.82	+ 20.226	
	209.91	64.41 ± 5.40	(R^2 = 0.9949)	
	168.68	55.72 ± 6.20		
	146.19	51.35 ± 3.86		
	123.70	43.24 ± 2.29		
อบเชยจีน	388.75	69.51 ± 6.57	Y = 0.1707 x	276.72
	259.66	45.95 ± 6.82	+ 2.7634	
	194.38	36.90 ± 5.40	(R^2 = 0.9979)	
	155.50	28.88 ± 6.20		
	129.07	25.04 ± 3.86		
อบเชยชวา	464.17	74.99 ± 12.74	Y = 0.1618x	310.63
	310.06	49.24 ± 4.98	– 0.2593	
	232.08	37.76 ± 1.37	(R^2 = 0.9984)	
	185.67	30.80 ± 1.04		
	154.10	23.77 ± 1.75		
BHA	100	32.84 ± 0.89	Y = 33.659 Ln(x)	157.59
	200	56.96 ± 1.03	– 120.43	
	300	72.15 ± 1.55	(R^2 = 0.9987)	
	400	82.05 ± 2.25		
	500	88.06 ± 0.49		

ก.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents, TPC) (Waterhouse, 2005)

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid

1. ละลาย gallic acid 0.5 กรัม ในเมทานอล 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5 กรัม/ลิตร (stock solution)
2. นำสารละลายจาก stock solution มา 1, 2, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร และเจือจางในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 50, 100, 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จะได้กราฟมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ ก.5
3. Folin-Ciocalteu reagent เก็บในที่มืดและทิ้งเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียว

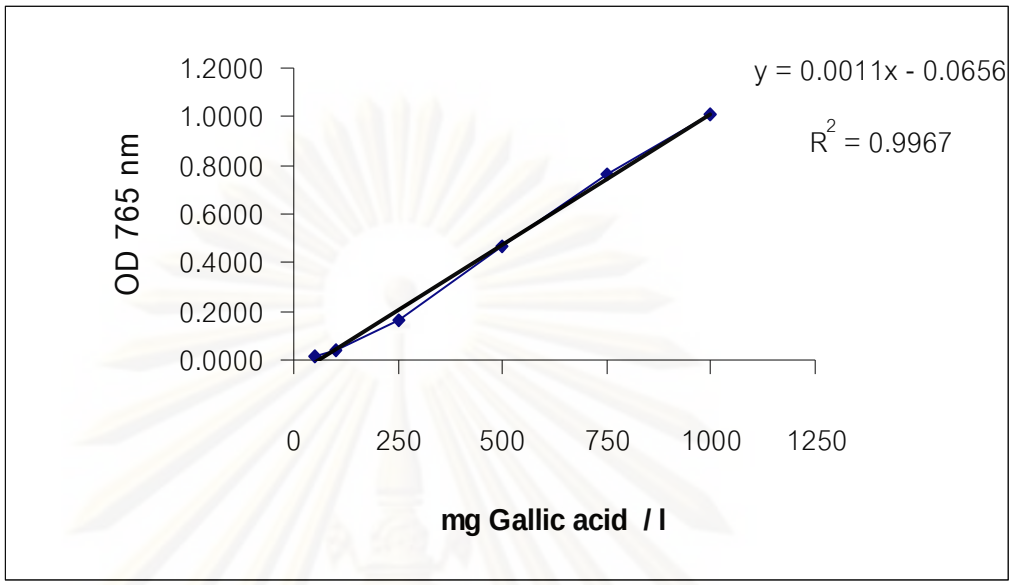
วิธีการเตรียม Sodium carbonate anhydrous

1. ละลาย sodium carbonate anhydrous 200 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร โดยต้มและคนด้วยความเร็วคงที่โดย magnetic stirrer จนได้สารละลายใส
2. ทำให้เย็นและเติมผลึก sodium carbonate ลงไปเล็กน้อย
3. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการ

1. เติมตัวอย่างสารสกัด 1 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ตามด้วย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 1-8 นาที
3. เติม sodium carbonate solution ปริมาตร 15 มิลลิลิตร
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง
5. เทใส่คิวเวตแก้ว ขนาด 1 เซนติเมตร × 1 เซนติเมตร วัดการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer, JASCO, model V-530, Japan) ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
6. สร้างกราฟมาตรฐานของ gallic acid (ทำ 3 ซ้ำ) โดยทำซ้ำข้อ 1-5 ใช้

สารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 50, 100, 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แทนสารสกัด (รูปที่ ก.3) และใช้น้ำกลั่นเป็น blank



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของ Gallic acid

ก.4 การสกัดไขมันในตัวอย่างอาหาร (ดัดแปลงจากวิธีของ Shahidi, 2005)

การสกัดไขมันในไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยเพื่อนำตัวอย่างที่สกัดไขมันแล้วนำไปวิเคราะห์ค่า PV และ AV มีขั้นตอนดังนี้

วิธีการ

1. ผสม methanol 100 มิลลิลิตร และตัวอย่าง 150 กรัม ในลงในบีกเกอร์และกวนให้อนุภาคแตกละเอียดและเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ตามด้วย chloroform 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
2. นำไปหมุนเหวี่ยงในเครื่องเซนทริฟิวส์ที่ 10,000×g อุณหภูมิ 30 °C นาน 15 นาที
3. นำส่วนใสที่ได้ไปกรองโดยชุดกรอง และนำของแข็งที่เหลือจากการกรองรอบแรกไปหมุนเหวี่ยงซ้ำอีกครั้งโดยตัวทำละลาย chloroform : methanol 1:1 (v/v) 20 มิลลิลิตร
4. นำส่วนใสที่ได้รวมกับส่วนใสที่ได้ในชุดแรกลงใน separatory funnel เพื่อแยกชั้น chloroform ซึ่งชั้นของ chloroform หรือชั้นของไขมันจะอยู่ชั้นล่าง
5. เปิด separatory funnel เพื่อให้ชั้นของ chloroform ไหลลงมายังชั้นของ sodium sulfate (anhydrous) หนา 2.5 เซนติเมตร ที่อยู่บนกระดาษกรอง Whatman No.1 ของกรวยกรอง

6. นำตัวอย่างไขมันที่อยู่ในชั้นของ chloroform ที่ได้จากการกรอง ไประเหย chloroform ในภาวะสุญญากาศ(N-N-Series, EYELA, Japan) อุณหภูมิ 40 °C
7. นำตัวอย่างไขมันที่ได้ไปวิเคราะห์ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ, P.V. และ An.V.

ก.5 การวิเคราะห์ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.C.S. (1998) section Ab 5-49)

วิธีการ

1. นำ Isopropyl alcohol 50 มิลลิลิตร มา neutralize โดยการหยด NaOH 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนได้สีชมพูอมม่วงจางๆ
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันหรือไขมัน 5 – 10 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask และเติมสารละลายที่ได้จากข้อ 1 แกว่งผสมให้เข้ากัน นำไปไทเทรตกับ NaOH 0.01 N โดยหยด phenolphthalein 1% 1 มิลลิลิตร ไทเทรตจนได้สีชมพูอมม่วงจางๆ อย่างน้อย 1 นาที
3. ทำตัวอย่างที่เป็น blank โดยทำเหมือนข้อ 1 และ ข้อ 2 แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมันหรือไขมัน
4. การคำนวณร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ (oleic acid)} = \frac{\text{ml} \times \text{N} \times 282}{\text{W} \times 1000} \times 100$$

เมื่อกำหนดให้ ml คือปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ NaOH ที่ได้จากการไทเทรต, N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH มีหน่วย normality , 282 คือน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ของ oleic acid ในหน่วย กรัม/โมล และ linoleic acid มีน้ำหนักโมเลกุล 280 กรัม/โมล และ W คือน้ำหนักของตัวอย่าง ในหน่วยกรัม

ก.6 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.A.C. (2005) section 936.16)

วิธีการ

1. บด $KHC_8H_4O_4$ (potassium hydrogen phthalate, KHP) ให้ละเอียด และนำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 120 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ KHP ลงใน Erlenmeyer flask ที่มี glass stopper 250 มิลลิลิตร เติม sodium hydroxide solution 0.01 N ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และเติมน้ำ

กลั่นต้มปราศจาก CO_2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิด stopper flask และแกว่งเบาๆให้ละลาย

3. หยด phenolphthalein 3 หยด ไทเทรตกับ sodium hydroxide solution 0.01 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่ และเมื่อถึงจุดยุติจะมีค่า pH 8.6
4. ทำ blank โดยไม่เติม KHP และทำตามข้อ 2 และ 3
5. การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ sodium hydroxide solution แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Normality (NaOH)} = \frac{\text{น้ำหนักที่แน่นอนของ KHP (กรัม)} \times 1000}{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไทเทรต}} \times 204.229$$

ก.7 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) (ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.C.S. (1998) section Cd 8-53)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5.00 ± 0.05 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ที่มี glass stopper 250 มิลลิลิตร เติม acetic acid-chroloform solution (3:2, w/v) ลงไปแกว่งหรือเขย่าให้เข้ากัน และเติม Potassium iodide (KI) solution ที่อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
2. เขย่าและเก็บในที่มืดนาน 1 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร และเติม starch indicator solution 1% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และนำไปไทเรตกับ sodium thiosulfate solution 0.01 N จนสีม่วงหายไป
3. ทำ blank โดยทำเหมือนข้อ 1 และ 2 แต่ไม่ใส่ตัวอย่างไทเทรตจนสีเหลืองของสารละลายไอโอดีนหายไป
4. การคำนวณ PV (mg equivalents O_2/kg sample) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$PV = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W}$$

เมื่อกำหนดให้ S คือ ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร), B คือ ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต blank (มิลลิลิตร), N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของ sodium thiosulfate solution ในหน่วย normality และ W คือน้ำหนักของตัวอย่างในหน่วยกรัม

ก.8 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Pegg, 2005)

วิธีการ

1. อบ KIO_3 ในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 110 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ KIO_3 ประมาณ 0.10-0.15 กรัม ลงใน erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร และเติม KI 2 กรัม
4. เติม HCl 6 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย sodium thiosulfate solution ต่อจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจาง เขย่าและแกว่งเบาๆ และเติม starch indicator solution 1% ไทเทรตต่อจนกระทั่งสีม่วงหายไป
5. ทำ blank โดยที่ไม่ใส่ KIO_3 แล้วทำตามข้อ 3-4
6. การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ sodium thiosulfate solution แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$N = \frac{(28.037 \times W)}{(S-B)}$$

เมื่อกำหนดให้ N คือ normality ของ sodium thiosulfate solution, W คือ น้ำหนักที่แน่นอนของ KIO_3 (กรัม), S คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ sodium thiosulfate solution ที่ใช้ไทเทรตกับ KIO_3 และ B คือปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ sodium thiosulfate solution ที่ใช้ไทเทรต blank

ก.9 การวิเคราะห์ปริมาณค่าแอนิซิดีน (*p*-Anisidine value, AV)

(A.O.C.S. (1998) section Cd 18-90)

การเตรียม *p*-anisidine reagent

เตรียม *p*-anisidine reagent ความเข้มข้น 0.25 กรัม /100 มิลลิลิตร (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อใช้) จากผลึก *p*-anisidine โดยละลายใน glacial acetic acid

การเตรียมผลึก *p*-anisidine มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ละลาย *p*-anisidine น้ำหนัก 4 กรัม ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 75 °C
2. เติม sodium sulphite (Na_2SO_3) น้ำหนัก 0.2 กรัม และ active carbon น้ำหนัก 2 กรัม และคนให้เข้ากันนาน 5 นาที

3. กรองสารละลายจากข้อ 3.2 ผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 ที่ซ้อน 2 ชั้น และกรองซ้ำจนไม่มีคาร์บอนปนมากับ filtrate
4. นำสารละลาย filtrate มาทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0 °C และเก็บสารละลาย filtrate ไว้ที่อุณหภูมินี้นานอย่างน้อย 4 ชั่วโมง หรือเก็บนานข้ามคืน
5. กรองเอาผลึก *p*-anisidine ออกโดยใช้ชุดกรองสุญญากาศ และล้างน้ำอุณหภูมิ 0 °C และใช้น้ำล้างเพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ทำแห้งผลึก *p*-anisidine ใน vacuum desiccator เมื่อผลึกแห้งจะมีสีครีมเก็บผลึกในขวดแก้วสีชา เก็บผลึกในที่มืดและอุณหภูมิต่ำผลึกที่ได้จะสามารถเก็บรักษาได้นาน 1 ปี

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของน้ำมันหรือไขมันสกัด ในช่วง 0.5-4.0 ± 0.001 กรัม ใน volumetric flask ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ละลายและเจือจางตัวอย่างด้วย isooctane (2,2,4-trimethylpentane)
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไขมัน (Ab) ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร และใช้ isooctane เป็น blank
3. ปิเปตสารละลายไขมันปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติม *p*-anisidine reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน
4. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร (As)
5. การคำนวณ AV แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$AV = \frac{25 \times (1.2\,As - Ab)}{m}$$

เมื่อกำหนดให้ As เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไขมันหลังทำปฏิกิริยากับ *p*-anisidine reagent, Ab เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไขมันที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ *p*-anisidine reagent และ m เป็นน้ำหนักของงน้ำมันหรือไขมันสกัด ในหน่วยกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.10 การวิเคราะห์ค่าทอทอกซ์ (Totox value) (Hamilton, 1983)

totox value หรือ total oxidation เป็นการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันทั้งหมดของอาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ สามารถคำนวณได้จากผลรวมของค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และค่าแอนิซิดีน (AV) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{totox value} = 2PV + AV$$

ก.11 การหาร้อยละปริมาณความชื้น (% Moisture content) (A.O.A.C. (1995) section 40.1.04)

วิธีการ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมเปล่า
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมในข้อ 1
3. อบตัวอย่างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C นาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม
4. ปิดฝาถ้วยอลูมิเนียมแล้วนำตัวอย่างออกจากตู้อบลมร้อน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่มีตัวอย่าง ทำซ้ำจนกว่า น้ำหนักจะคงที่ และ คำนวณหาปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%, db)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - [\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ(กรัม)}]} \times 100$$

ก.12 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันทั้งหมด (A.O.A.C. (1995) section 40.1.05)

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมเปล่า
2. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้วให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัมแล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1

3. ใส่ตัวอย่างที่ห่อด้วยกระดาษกรองลงในธิมเบิล ประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน ใช้ petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นตัวสกัดไขมันในตัวอย่าง
4. สกัดไขมัน 4 ชั่วโมง
5. ระเหย petroleum ether ออกจากขวดก้นกลมที่สกัดไขมันด้วยเครื่องระเหยจนหมด
6. อบขวดก้นกลมตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมหลังการสกัด ทำซ้ำจนกระทั่ง น้ำหนักคงที่ และ คำนวณหาปริมาณไขมันทั้งหมดในตัวอย่างดังนี้ต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไขมันทั้งหมด (\%, db)} = \frac{\text{น้ำหนักขวดหลังสกัด (กรัม)} - \text{น้ำหนักขวดก่อนสกัด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

ก.13 วิเคราะห์ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Savage และคณะ, 1997) โดยใช้เครื่อง Rancimat® (Metrohm, Rancimat® model 743, Switzerland)

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง
   1.1 สารสกัดอบเชยในน้ำมัน

   1.1.1 ผสมอบเชยผง ที่ผ่านตระแกรงร่อนขนาด 100 เมช กับเมทานอล อัตราส่วน 1:50 (w/v) เขย่าในที่มืด อุณหภูมิ 30 °C ความเร็วรอบ 150 rpm นาน 8 ชั่วโมง หมุนเหวี่ยง (Rotanta 460 R, Hettich Zentifugen, Germany) 10,000 × g นาน 20 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 ระเหยตัวทำละลาย (N-N-Series, EYELA, Japan) ที่ภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิ 65 °C และอบเพื่อระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 105 °C นำไปหาปริมาณผลผลิต (% Yield) ละลาย dried extract กับเมทานอลปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมในน้ำมันพืชและทำให้เป็นเนื้อเดียวโดยใช้ Hand homogenizer (Ystral homogenizer รุ่น x 10/25, the Netherlands) บรรจุลงในขวดสีชาและพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.995% ปิดฝาและเก็บที่อุณหภูมิ 8-9 °C ก่อนนำไปส่งที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

1.2 <u>BHA ในน้ำมันพืช</u>

1.2.1 ชั่งน้ำหนัก BHA 120 มิลลิกรัม ในน้ำมันพืช 1 กิโลกรัม ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ Hand homogenizer บรรจุลงในขวดสีชาและพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.995% ปิดฝาและเก็บที่อุณหภูมิ 8-9 °C ก่อนนำไปส่งที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (น้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกระบวนการมีความหนาแน่น 0.90 กรัม/มิลลิลิตร)

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 3 กรัม ตั้งภาวะเครื่องที่อุณหภูมิ 110 °C, Air flow rate 15 L/h (ดังรูปที่ ก.4)

3. Run ตัวอย่างจนกระทั่งถึงค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสูงสุดของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า induction time (ชั่วโมง)

รูปที่ ก.4 เครื่อง Rancimat® (Metrohm, รุ่น 743 Rancimat®, Switzerland)

ก. 14 ค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Instron Universal Materials Testing Machine (Instron Corporation รุ่น 5565, Massachusetts, USA)

วิธีการ

1. เข้าสู่โปรแกรม Merlin โดย double click ที่ icon ของ Merlin
2. เลือก user name หรือ method ที่ต้องการโดย double click
3. คลิกที่ปุ่ม “calibrate” (ด้านบนขวามือ) เครื่องจะขึ้นว่า “Remove Load from Load cell”

4. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัดและตัวอย่างอยู่ที่ฐานของเครื่อง Instron's universal testing machines จากนั้นกดปุ่ม OK

5. รอให้เครื่องแสดงข้อความว่า "Calibrate completed" จากนั้นคลิกที่ปุ่ม “Balance” แล้วกดปุ่ม “Done” รอจนเครื่องกลับไปสู่หน้าจอปกติ

6. กดปุ่ม “Down” เพื่อเลื่อนตำแหน่งของหัววัดให้มาแตะกับฐานเครื่อง จากนั้นกดปุ่ม ”Reset GL” ที่แผงควบคุมด้านข้างของเครื่อง

7. จากนั้นกดปุ่ม “Up” เพื่อเลื่อนหัววัดขึ้นไปให้ห่างจากฐานเครื่อง 30 mm จากนั้นกดปุ่ม ”Reset GL”

8. กำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่อง โดยกดที่ปุ่มทางด้านข้างขวามือของหน้าจอ ทำการ Set ค่าต่าง ๆ ของการวัด ดังนี้

หัว Puncture probe ขนาด 3 มิลลิเมตร

- Test control :

  - Pretest ⟹ preload
    - ☑ Enable : compression load
    - value : 0.005 kg_f.
    - criteria mode : compression extension
    - speed : 3.000 mm/sec

  - Test ⟹ criteria : compression load
    - value : 25,000 g_f.
    - action : return

  - Profile ⟹ mode : compression extension
    - shape : rectangular
    - name : 1 Triangle
    - number : 1
    - time : second
    - maximum : 80%
    - minimum : 0%
    - rate : 100 mm/min
    - cycle : 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Initial wave form direction : maximum limit

- Data ⟹ Data capture : Automatic

- Strain ⟹ source : extension

☑ Auto balance

● Sample parameter :

- Define ⟹ ตั้งชื่อ file

- Specimen ⟹ width : 30 mm

thickness : 15 mm

anvil height : 30 mm

9. นำตัวอย่างไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยที่ขึ้นรูปเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 ± 0.1 เซนติเมตร น้ำหนัก 8 กรัม วางบนฐานของเครื่อง วัดทั้งหมด 8 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 ครั้ง

10. วัดค่าเนื้อสัมผัส โดยการกดปุ่ม “Start Test”

ก. 15 วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Color Flex (HunterLab Reston, รุ่น 45/0, Virginia, USA)

วิธีการ

1. เข้าสู่โปรแกรม Spectrophotometer Universe โดย double click ที่ icon ของ Spectrophotometer Universe

2. คลิกที่ standardize บนเมนูหลัก

3. เลือก port size ขนาด 1.25 นิ้ว จากนั้นกดปุ่ม OK.

4. วางแผ่น calibrate สีดำ ให้ปุ่มสีขาวด้านบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK

5. จากนั้นวางแผ่น calibrate สีขาว ให้ปุ่มสีขาวด้านบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK. รอจนเครื่องขึ้นว่า sensor successfully standardized จากนั้นกดปุ่ม OK

6. ทดลองอ่านค่าแผ่น calibrate สีขาว โดยคลิกที่ read sample บนเมนูหลัก โดยค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วงดังนี้ X 78.89 ± 0.3 Y 83.78 ± 0.3 Z 87.74 ± 0.3 (ถ้าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดต้องทำ standardize ใหม่)

7. รินตัวอย่างเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากแมคาเดเมียใส่ในถ้วยแก้วปิดฝาแล้ววางบนฐานของเครื่องครอบฝาครอบสีดำปิดถ้วยใส่ตัวอย่าง จากนั้นคลิกที่ read sample บนเมนูหลัก

8. วัดตัวอย่างละ 15 ครั้ง โดยค่าที่ได้จะรายงานเป็น CIE L*a*b* ใช้แหล่งแสง D_{65} มุมการมอง 10°

ก. 16 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ใช้เครื่องวัด a_w (Decagon Devices, รุ่น AquaLab series 3.0, Washington D.C., USA)

วิธีการ

1. เปิด Switch ที่อยู่ข้างหลังเครื่อง วัด a_w (รูป a)
2. หมุนที่บิดมาทางตำแหน่ง OPEN นำตลับพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างตัวอย่างไส้แมคาเดเมียบดวางลงบนบริเวณที่ใส่ตลับตัวอย่าง (รูป b.1 และ b.2) ใส่และหมุนบิดมาทางตำแหน่ง LOAD เพื่อวัดค่า a_w ของตัวอย่าง
3. เมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะได้ยินเสียงสัญญาณเตือน และมีแสงไฟกระพริบสีเขียว (LED flash) และหมุนบิดเพื่อเปิดเอาตัวอย่างออกจากเครื่อง วัดค่าซ้ำทรีตเมนท์ละ 3 ซ้ำ

a) ด้านหน้า

b.1) สำหรับใส่ตลับตัวอย่าง

b.2) สำหรับใส่ตลับตัวอย่าง

รูปที่ ก. 5 เครื่องวัด a_w

ที่มา: Decagon Devices (2009)

ก. 17 ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (% Freezing loss) (Campañone และคณะ, 2002)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์ก่อนการแช่เยือกแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_1)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_2)

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ Freezing loss} = (M_1 - M_2) \times 100 / M_1$$

ก. 18 ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการละลายน้ำแข็ง (% Thawing loss) (ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.A.C. (2005) section 35.1.12)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์ก่อนการละลายน้ำแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_3)
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผลิตภัณฑ์กหลังการละลายน้ำแข็ง บันทึกค่าที่ได้ (M_4)

วิธีคำนวณ

$$\%\text{Thawing loss} = (M_3 - M_4) \times 100 / M_3$$

ก.19 การตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (A.O.A.C. (1995) section 986.33; Harrigan and McCance, 1976)

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้ 3M Petrifilm™

วิธีการ

1. เตรียม peptone 0.1% ลง flask และปิดจุกเพื่อใช้ในการตีป่นตัวอย่างอาหาร และปิเปต peptone 0.1% ลงในหลอดทดลองชนิดมีฝาปิดปริมาตร 9 มิลลิลิตร (ตามจำนวน dilution) และเตรียม tip พร้อม rack นำสารเคมีและอุปกรณ์ดังกล่าวไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 $^{\circ}$C ความดัน 15 lb/in^2 เป็นเวลา 15 นาที
2. การเตรียมตัวอย่าง
   2.1 ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใน sterile bag เติม peptone 0.1% ปริมาตร 90 มิลลิลิตร จะได้ dilution 10^{-1} แล้วนำไปตีปั่นใน stomacher ด้วยความเร็ว 240 rpm นาน 2 นาที

2.2 ปิเปตสารละลายใน sterile bag มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มี peptone 0.1% ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จะได้ dilution 10^{-2} และทำ serial dilution จนถึง 10^{-4}

2.3 ปิเปตสารละลายเจือจางของผลิตภัณฑ์ในแต่ละ dilution โดยใส่ dilution ละ 1 มิลลิลิตร ลงในแผ่น 3M Petrifilm™ aerobic count (AC)

3. วิธีใส่ตัวอย่างใน 3M Petrifilm™ AC

3.1 . วางแผ่น 3M Petrifilm™ AC บนพื้นราบ เปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนขึ้น

3.2 ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงกลางแผ่นฟิล์ม ให้ปิเปตตั้งฉากกับแผ่น 3M Petrifilm™ AC แล้วปล่อยแผ่นฟิล์มบนลง

3.3 วางพลาสติกสำหรับกด (spreader) โดยให้ด้านที่มีขอบคว่ำหน้าลง กดลงบนฟิล์มแผ่นบนให้ส่วนวงกลมครอบบริเวณหยดตัวอย่าง จนกระทั่งตัวอย่างกระจายทั่วบริเวณวงกลม

3.4 ยก spreader รอให้เนื้อเจลแข็งตัว 2-3 นาที

3.5 บ่มแผ่นโดยให้ด้านใสหงายขึ้นที่อุณหภูมิ 37 $\pm$ 0.5 °C นาน 48 $\pm$ 3 ชั่วโมง

3.6 ตรวจนับเชื้อแบคทีเรียโดยนับจำนวนโคโลนีที่ได้คูณ dilution factor แล้วรายงานผลเป็น CFU/ml ถ้ามีโคโลนีเกิดขึ้นน้อยกว่า 30 โคโลนี ให้รายงานว่ามีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 30 × ระดับความเจือจางต่ำที่สุด

ก.20 การตรวจสอบจำนวนยีสต์และรา (A.O.A.C. (1995) section 986.33; Harrigan and McCance, 1976)

วิเคราะห์ปริมาณจำนวนยีสต์และราโดยใช้ 3M Petrifilm™

วิธีการ

1. เตรียม peptone 0.1% ลง flask และปิดจุกเพื่อใช้ในการตีป่นตัวอย่างอาหาร และปิเปต peptone 0.1% ลงในหลอดทดลองชนิดมีฝาปิดปริมาตร 9 มิลลิลิตร (ตามจำนวน dilution) และเตรียม tip พร้อม rack นำสารเคมีและอุปกรณ์ดังกล่าวไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 lb/in^2 เป็นเวลา 15 นาที

2. การเตรียมตัวอย่าง

2.1 ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใน sterile bag เติม peptone 0.1% ปริมาตร 90 มิลลิลิตร จะได้ dilution 10^{-1} แล้วนำไปตีปั่นใน stomacher ด้วยความเร็ว 240 rpm นาน 2 นาที

2.2 ปิเปตสารละลายใน sterile bag มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มี peptone 0.1% ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จะได้ dilution 10^{-2} และทำ serial dilution จนถึง 10^{-4}

2.3 ปิเปตสารละลายเจือจางของผลิตภัณฑ์ในแต่ละ dilution โดยใส่ dilution ละ 1 มิลลิลิตร ลงในแผ่น 3M Petrifilm™ Yeast and Mold (YM)

3. วิธีใส่ตัวอย่างใน 3M Petrifilm™ YM

3.1 . วางแผ่น 3M Petrifilm™ YM บนพื้นราบ เปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนขึ้น

3.2 ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงกลางแผ่นฟิล์มแผ่นล่าง ให้ปิเปตตั้งฉากกับแผ่น 3M Petrifilm™ YM แล้วปล่อยแผ่นฟิล์มบนลง

3.3 วางสำหรับกด (3M Petrifilm™ Yeast and Mold Spreader) ทาบลงบน 3M Petrifilm™ YM จับแกนกลางแผ่น spreader กดลงจนเห็นตัวอย่างกระจายทั่วบริเวณวงกลมอย่าบิดหรือเลื่อนแผ่น spreader

3.4 ยก spreader รอให้เนื้อเจลแข็งตัว 2-3 นาที

3.5 บ่มแผ่นโดยให้ด้านใสหงายขึ้นที่อุณหภูมิ 25 $\pm$ 1 ºC นาน 3-5 วัน โคโลนีของยีสต์จะมีสี pink-tan จนถึงสี blue-green ส่วนรามีโคโลนีใหญ่ แพร่กระจายและมีหลายสี

3.6 ตรวจนับจำนวนยีสต์และราโดยนับจำนวนโคโลนีที่ได้คูณ dilution factor แล้วรายงานผลเป็น CFU/ml ถ้ามีโคโลนีเกิดขึ้นน้อยกว่า 30 โคโลนี ให้รายงานว่ามีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 30×ระดับความเจือจางต่ำที่สุด

ก. 21 การตรวจสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ (ISO 15106-1:2003 (E); ASTEM D3985-02)

การตรวจสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาระหว่างเวลาการแช่เยือกแข็งของถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE) ซึ่งใช้ในการเก็บรักษาระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน (ตารางที่ ก.5) โดยตรวจสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapour Transmission Rate-Tranfer Time Method, WVTR) ตามวิธีของ ISO 15106-1:2003 (E) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Gas Transmission Rate

of Plastic Film and Sheeting, OTR) ตามวิธีของ ASTEM D3985-02 ที่วิเคราะห์ผลโดยศูนย์บรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ตารางที่ ก.5 ตรวจสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์

การตรวจสอบ	ค่าเฉลี่ย[1] ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR, $g/m^2.d$)	0.06 ± 0.00
อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR, $cc./m^2.d$)	0.07 ± 0.003

ถุงลามิเนตอลูมิเนียมฟอยล์ (OPP/Al/PE/LLDPE) มีความหนา 102 ไมครอน

[1]ค่าเฉลี่ย WVTR วัด 5 ซ้ำ จาก 2 ชิ้นทดสอบ และ OTR วัด 10 ซ้ำ จาก 2 ชิ้นทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การประเมินคุณภาพและแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข.1 พัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

สำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างรวมทั้งผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง โดยเริ่มจากการสำรวจตลาด เพื่อใช้ออกแบบสอบถามสำหรับ ขั้นตอนต่อไปคือการสำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมียและอบเชย และสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคทั่วไป ที่มีอายุ 15 ปี ขึ้นไป จำนวน 50 คน รวบรวมข้อมูลที่ได้มาประเมินผลแบบแจกแจงความถี่ และร้อยละ (%) เพื่อเห็นแนวโน้มของการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย และใช้เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป (แสดงดังแบบสอบถาม ข.1)

จากการสำรวจตลาดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมียรวมทั้งผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง พบว่ามีผลิตภัณฑ์ต่างๆดังนี้ ถั่วแมคาเดเมียอบเกลือ ขนมปัง เค้ก บราวนี่ คุกกี้ พาย/พัฟ/ทาร์ต แครกเกอร์ไส้แมคาเดเมีย เอแคลร์ เวเฟอร์ โมจิ ขนมไหว้พระจันทร์ ซาลาเปา/หมั่นโถว ขนมเปี๊ยะ โดรายากิ ท็อปปิ้ง ไอศกรีม ถั่วแมคาเดเมียเคลือบชอคโกแลต ลูกชุบ โดนัท สเปรด ผลิตภัณฑ์เลียนแบบนม ฟองดูว์ มาร์ซีแพน มูสส์ และเดนนิส ข้อมูลทั้งหมดใช้ออกแบบสอบถามในขั้นตอนต่อไป

จากการสำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย โดยใช้แบบสอบถามในผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 50 คน พบว่า อาชีพส่วนใหญ่รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 34 และนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 32 การศึกษาพบว่า กำลังศึกษาร้อยละ 48 และสำเร็จการศึกษาร้อยละ 52 ส่วนใหญ่กำลังศึกษาระดับปริญญาโท และปริญญาตรี ร้อยละ 41.66 และร้อยละ 29.17 ของผู้ที่กำลังศึกษา ตามลำดับ ผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว ส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 18 ของผู้ที่สำเร็จการศึกษาแล้ว รายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง5,000-15,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 60 ของทั้งหมด ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ ข.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ร้อยละ
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	16	32
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	17	34
พนักงานบริษัทเอกชน	6	12
พนักงาน/ลูกจ้าง มหาวิทยาลัย	5	10
อื่นๆ	6	12
กำลังศึกษา		
มัธยมศึกษา	1	4.17
ปริญญาตรี	7	29.17
ปริญญาโท	10	44.66
ปริญญาเอก	6	25
รวม	24	48
สำเร็จการศึกษาแล้ว และการศึกษาระดับสูงสุด		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	7	14
มัธยมศึกษา	1	2
อาชีวศึกษา/อนุปริญญา	2	4
ปริญญาตรี	9	18
ปริญญาโท	3	6
ปริญญาเอก	4	8
รวม	26	52
รายได้ต่อเดือน		
ต่ำกว่า 5,000 บาท	8	16
5,001-9,000 บาท	15	30
9,001-15,000 บาท	15	30
15,001-30,000 บาท	6	12
30,001-50,000 บาท	2	4
50,001 บาทขึ้นไป	2	4
ไม่ต้องการระบุ	2	4

จากการสำรวจพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย พบว่า มีผู้บริโภคที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย จำนวน 36 คน ไม่เคยรับประทาน จำนวน 14 คน และผลิตภัณฑ์ 5 อันดับแรกที่เคยรับประทานมากที่สุด เรียงตามลำดับ คือ แมคาเดเมียอบเกลือ (25.64%) คุกกี้ (11.97%) เค้ก (7.69%) ไอศกรีม (7.69%) บราวนี่ (5.13%) พาย/พัฟ/ทาร์ต (5.13%) ขนมปัง (4.27%) ขนมไหว้พระจันทร์ (4.27%) และ สเปรด (4.27%) ดังแสดงในตารางที่ ข.2 ซึ่งสามารถนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้ไปเป็นแนวทางที่ก่อให้เกิดการพัฒนาต่อไป เพื่อกระตุ้นแนวโน้มการบริโภคผลิตภัณฑ์จากแมคาเดเมียมากขึ้นได้

ตารางที่ ข.2 แจกแจงความถี่การบริโภคผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย

ผลิตภัณฑ์	ความถี่	ร้อยละ
ถั่วแมคาเดเมียบด	30	25.64
คุกกี้	14	11.97
เค้ก	9	7.69
ไอศกรีม	9	7.69
บราวนี่	6	5.13
พาย/พัฟ/ทาร์ต	6	5.13
ขนมปัง	5	4.27
ขนมไหว้พระจันทร์	5	4.27
สเปรด	5	4.27
ท็อปปิ้ง	4	3.42
ผลิตภัณฑ์เลียนแบบนม	3	2.56
มาร์ซีแพน	3	2.56
แมคาเดเมียเคลือบช็อกโกแลต	3	2.56
เอแคลร์	2	1.71
เวเฟอร์	2	1.71
โมจิ	2	1.71
โดรายากิ	2	1.71
ขนมเปี๊ยะ	1	0.85
ลูกชุบ	1	0.85
ผลิตภัณฑ์	ความถี่	ร้อยละ

โดนัท	1	0.85
ฟองดูว์	1	0.85
มูสส์	1	0.85
เดนนิส	1	0.85
แครกเกอร์	1	0.85
รวม	117	100.00

นอกจากนี้ยังพบว่ามีผู้บริโภคยังไม่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์จากไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยมาก่อน จึงสามารถจัดได้ว่าไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่สำหรับผู้บริโภคได้ ซึ่งมีผู้บริโภคร้อยละ 28 ที่เป็นผู้บริโภคที่ไม่เคยรับประทานแมคาเดเมีย โดยที่เหตุผลไม่เลือกบริโภค หรือไม่อยากลองบริโภคถั่วแมคาเดเมีย และผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแมคาเดเมีย เรียงตามลำดับความสำคัญ ดังนี้คือ ไม่รู้จัก ไขมันสูง และหาซื้อยาก

การสำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบว่า มีผู้ที่เคยบริโภคอบเชย 41 คน และไม่เคยบริโภคอบเชย 9 คน และพบว่าผู้บริโภคจำนวน 48 คน รับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยได้ และมีผู้บริโภคเพียง 2 คน รับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยไม่ได้ เมื่อเน้นวิเคราะห์ข้อมูลผู้ที่ไม่เคยรับประทานอบเชย จำนวน 9 คน พบว่าเมื่อลองรับประทานไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย แล้วมีผู้ไม่ชอบรับประทาน 5 คน เฉยๆรับประทานได้ 3 คน และชอบรับประทานมี 1 คน และเมื่อสำรวจการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน 5 อันดับแรก ดังนี้ ซินนามอนโรล (17.48%) อาร์นตี้แอนเพรทเซล (14.56%) ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป (13.59%) คุกกี้ (13.59%) ขนมปัง (12.62%) และ เค้ก (10.68%) ดังตารางที่ ข.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 แจกแจงความถี่ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย ที่ผู้บริโภคเคยรับประทาน

ผลิตภัณฑ์	ความถี่	ร้อยละ
ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป	19	19.59
ซินนามอนโรล	18	18.56
ขนมปัง	15	15.46
คุกกี้	12	12.37
อานตี้แอนเพรทเซล	10	10.31
เค้ก	8	8.25
กาแฟ	7	7.22
เดนนิส	3	3.09
ฟองดูว์	2	2.06
มาซีแพน	1	1.03
อื่นๆ ประกอบด้วย -น้ำแอปเปิ้ล -หมากฝรั่ง	2	2.06
รวม	97	100.00

โดยความคิดเห็นของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบว่า ไม่ชอบรับประทาน 5 คน เฉยๆรับประทานได้ 31 คน ชอบรับประทาน 12 คน ชอบรับประทานมาก 1 คน และชอบรับประทานมากที่สุด 1 คน

การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภค ต่อความต้องการใช้ไส้แมคาเดเมียบดในผลิตภัณฑ์ต่างๆ พบว่าได้แนวทางทั้งหมด 5 ผลิตภัณฑ์ เรียงตามลำดับดังนี้ ขนมโมจิ ขนมปัง ขนมไหว้พระจันทร์ สเปรด และขนมเปี๊ยะ (ตารางที่ ข.4) ได้รับพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป อาจเป็นผลทำให้เกิดการขยายตัวของตลาดแมคาเดเมีย แมคาเดเมียที่เป็นที่รู้จักมากขึ้น เกษตรกรสามารถทำการเกษตรกรรมได้เป็นผลทำให้เกิดการสร้างงานสร้างอาชีพ และสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศมากขึ้น

ตารางที่ ข.4 แจกแจงความถี่ต่อของความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ความถี่	ร้อยละ
ไส้ขนมโมจิ	33	11.96
ไส้ขนมปัง	31	11.23
ไส้ขนมไหว้พระจันทร์	29	10.51
สเปรด	22	7.97
ไส้ขนมเปี๊ยะ	21	7.61
ลูกชุบ	19	6.88
ไส้ซาลาเปา/หมั่นโถว	16	5.80
ไส้พาย/พัฟ/ทาร์ต	16	5.80
ไส้ขนมโดรายากิ	13	4.71
ไส้ขนมโตเกียว	13	4.71
ไส้ขนมบัวลอยน้ำขิง	10	3.62
ไส้ขนมเวเฟอร์	9	3.26
ขนมเม็ดขนุน	9	3.26
ขนมใส่ไส้	8	2.90
ไส้ขนมโดนัท	8	2.90
ไส้ขนมเอแคลร์	4	1.45
ท็อปปิ้ง	4	1.45
มาร์ซีแพน	3	1.09
เดนนิส	2	0.72
ฟองดูว์	2	0.72
มูสส์	1	0.36
ไส้ขนมเทียน	1	0.36
ไส้ขนมต้ม	1	0.36
ขนมไทยต่างๆ	1	0.36
รวม	276	100.00

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถาม ข.1

ชุดที่

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและแบบสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคต่อถั่วแมคาเดเมียบดผสมอบเชย

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค และแบบสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคต่อถั่วแมคาเดเมียผสมอบเชย เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวศิริพร น่าชม นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบาย ถั่วแมคาเดเมียบดผสมอบเชยได้พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้สำหรับสอดไส้ในผลิตภัณฑ์ขนมชนิดต่าง โดยมีอบเชยแต่งกลิ่นรสและใช้ป้องกันการหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูงอย่างในถั่วแมคาเดเมีย จึงใคร่ขอความกรุณาจากท่านตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณที่ให้ความกรุณาในการตอบแบบสอบถาม

ขอแสดงความนับถือ
นางสาวศิริพร น่าชม
ผู้วิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย

ชื่อ _____ รหัสตัวอย่างทดสอบ _____

วันที่ _____

คำแนะนำ: กรุณาประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆของตัวอย่าง โดยระบุความคิดเห็นของท่านที่มีต่อลักษณะต่างๆโดยใส่เครื่องหมายถูก (√) ลงในช่อง □ ที่กำหนดให้

1. <u>ก่อน</u>รับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

1.1 ความชอบต่อลักษณะปรากฏ

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.2 ลักษณะสีเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
อ่อนไป		พอดี		เข้มไป

2. <u>หลัง</u>รับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 ความชอบโดยรวม

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

2.2 ความชอบกลิ่นรส

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

2.2.1 กลิ่นรสแมคาเดเมียเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

2.2.2 กลิ่นรสอบเชยเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

(กรุณาพลิกด้านหลัง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 รสหวานเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

2.3 ความชอบเนื้อสัมผัส

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปานกลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปานกลาง	ชอบ มาก	ชอบ มากที่สุด

2.3.1 ความเหนียวเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

2.3.2 ความเป็นน้ำมันในปากเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

2.3.3 ความเนียนเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

3. กรุณาบอกลักษณะที่ท่านพบในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคาเดเมียกวนผสมอบเชยที่ทำให้ท่าน **ไม่ชอบ**

_____

_____

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

(มีต่อหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคต่อไส้แมคาเตเมียบดผสมอบเชย

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมายถูก (√) ลงในช่อง ☐ หน้าคำตอบที่ต้องการเลือก

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคล

1. เพศ

☐ 1. ชาย ☐ 2. หญิง

2. อายุ

☐ 1. 20 ปี และต่ำกว่า 20 ปี ☐ 2. 21-30 ปี
☐ 3. 31-40 ปี ☐ 4. 41-50 ปี
☐ 5. 51 ปี ขึ้นไป

3. อาชีพ

☐ 1. นักเรียน/นักศึกษา ☐ 2. รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ
☐ 3. ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว ☐ 4. พนักงานบริษัทเอกชน
☐ 5. อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. ระดับการศึกษา

☐ 4.1 กำลังศึกษา
- ☐ 1. มัธยมศึกษา ☐ 2. อาชีวศึกษา/อนุปริญญา
- ☐ 3. ปริญญาตรี ☐ 4. ปริญญาโท
- ☐ 5. ปริญญาเอก

☐ 4.2 สำเร็จการศึกษาแล้ว และระดับการศึกษาขั้นสูงสุด
- ☐ 1. ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ☐ 2. มัธยมศึกษา
- ☐ 3. อาชีวศึกษา/อนุปริญญา ☐ 4. ปริญญาตรี
- ☐ 5. ปริญญาโท ☐ 6. ปริญญาเอก

5. รายได้ส่วนตัว (บาท/เดือน)

☐ 1. ยังไม่มีรายได้ ☐ 2. ต่ำกว่า 5,000 บาท
☐ 3. 5,001-9,000 บาท ☐ 4. 9,001-15,000 บาท
☐ 5. 15,001-30,000 บาท ☐ 6. 30,001 -50,000 บาท
☐ 7. มากกว่า 50,000 บาท ☐ 8. ไม่ต้องการระบุ

(กรุณาพลิกด้านหลัง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภค

6. ท่านเคยรับประทานถั่วแมคาเดเมียหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากถั่วแมคาเดเมีย หรือไม่

☐ เคย (ทำต่อข้อ 7) ☐ ไม่เคย (ข้ามไปทำข้อ 8)

7. ถ้าท่านเคยบริโภคถั่วแมคาเดเมียหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากถั่วแมคาเดเมีย ท่านได้บริโภคผลิตภัณฑ์ใดในต่อไปนี้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

1.	ถั่วแมคาเดเมียอบเกลือ	2.	ขนมปัง
3.	เค้ก	4.	บราวนี
5.	คุกกี้	6.	พาย/พัฟ/ทาร์ต
7.	โตเกียว	8.	เอแคลร์
9.	เวเฟอร์	10.	โมจิ
11.	ขนมไหว้พระจันทร์	12.	ซาลาเปา/หมั่นโถว
13.	ขนมเปี๊ยะ	14.	โดริยากิ
15.	ท็อปปิ้ง(ใช้แต่งหน้าเค้ก/ไอศกรีม)	16.	ไอศกรีม
17.	ลูกชุบ	18.	โดนัท
19.	สเปรด	20.	ผลิตภัณฑ์เลียนแบบ
21.	ฟองดูว์	22.	มูสส์
23.	มาร์ชีแพน	24.	เดนนิส
25.	อื่นๆ (โปรดระบุ).....		

8. เพราะเหตุใดท่านจึง**ไม่เลือกบริโภค** หรือ **ไม่อยากลองบริโภค** ถั่วแมคาเดเมียหรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากถั่วแมคาเดเมีย *โดยระบุ 3 อันดับแรกที่ตรงกับท่านมากที่สุด*

กำหนดให้ 1 คือสำคัญมากที่สุด 2 คือสำคัญรองลงมา และ 3 คือ สำคัญน้อยที่สุด

1.	ราคาแพง	2.	ไขมันสูง
3.	ไม่ชอบบริโภคอาหารประเภทถั่ว	4.	ไม่รู้จัก
5.	หาซื้อยาก	6.	อื่นๆ (โปรดระบุ).....

(มีต่อหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. ถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วแมคาเดเมียเพื่อเป็นถั่วแมคาเดเมียกวน *สำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือใช้สอดไส้*ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ท่านคิดว่าควรจะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

1.	ไส้ขนมปัง	2.	ไส้พาย/พัฟ/ทาร
3.	ไส้ขนมโตเกียว	4.	ไส้ขนมเอแคลร์
5.	ไส้ขนมเวเฟอร์	6.	ไส้ขนมโมจิ
7.	ไส้ขนมไหว้พระจันทร์	8.	ไส้ชาลาเปา/หมั่นโถว
9.	ไส้ขนมเปี๊ยะ	10.	ไส้ขนมโดริยากิ
11.	ท็อปปิ้ง(ใช้แต่งหน้าเค้ก/ไอศกรีม)	12.	ไส้ขนมบัวลอยน้ำขิง
13.	ลูกชุบ	14.	เม็ดขนุน
15.	ขนมไส้ไส้	16.	ไส้ขนมโดนัท
17.	สเปรด	18.	ฟองดูว์
19.	มาร์ชีแพน	20.	มูสส์
21.	เดนนิส	22.	อื่นๆ (โปรดระบุ).....

10. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย (ซินนามอน)** มาก่อนหรือไม่

☐ 1. เคยรับประทาน ☐ 2. ไม่เคยรับประทาน

11. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย** ได้หรือไม่ (ถ้าไม่เคยรับประทานมาก่อนพิจารณาจากตัวอย่าง)

☐ 1. รับประทานได้ ☐ 2. รับประทานไม่ได้

12. ถ้าท่านรับประทานอบเชยได้ ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ใดที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย**

1.	ขนมปัง	2.	เค้ก
3.	คุกกี้	4.	กาแฟ
5.	นม	6.	เครื่องดื่มต่างๆ(โปรดระบุ).....
7.	ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป	8.	ซินนามอนโรล
9.	เดนนิส	10.	อานตี้แอนเพรทเซล (Auntie Anne's Pretzel
11.	ฟองดูว์	12.	มาร์ชีแพน
13.	มูสส์	14.	อื่นๆ (โปรดระบุ).....
15.	**ไม่เคย**รับประทานมาก่อน		

13. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย** ได้อย่างไร

☐ 1. ไม่ชอบรับประทาน ☐ 2. เฉยๆรับประทานได้

☐ 3. ชอบรับประทาน ☐ 4. ชอบรับประทานมาก

☐ 5. ชอบรับประทานมากที่สุด

14. ท่านชอบผลิตภัณฑ์สอดไส้แมคาเดเมียกวนผสมอบเชย ตัวอย่างใด**มากที่สุด**

.....

ข. 2 การหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม (แบบสอบถาม ข.2)

สำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย สำรวจพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย ผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 50 คน วิเคราะห์ผลทางสถิติจากความถี่ และร้อยละ(%) และได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.5 จากการสำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย โดยใช้แบบสอบถามในผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 50 คน พบว่าอาชีพส่วนใหญ่ คือ รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 26 นักเรียน/นักศึกษา พนักงานบริษัทเอกชน และอื่นๆ เท่ากัน คือ ร้อยละ 22 การศึกษาพบว่ากำลังศึกษาร้อยละ 30 และสำเร็จการศึกษาร้อยละ 70 ส่วนใหญ่กำลังศึกษาระดับปริญญาโท ร้อยละ 53.33 ของผู้ที่กำลังศึกษา ผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว ส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 20 ของผู้ที่สำเร็จการศึกษาแล้ว รายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5,000-9,000 บาทคิดเป็นร้อยละ 24 ของทั้งหมด (ตารางที่ ข.5)

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน(คน)	ร้อยละ
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	11	22
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	13	26
ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	1	2
พนักงานบริษัทเอกชน	11	22
พนักงาน/ลูกจ้าง มหาวิทยาลัย	3	6
อื่นๆ	11	22
การศึกษา		
กำลังศึกษา	3	20
มัธยมศึกษา		
ปริญญาตรี	2	13.33
ปริญญาโท	8	53.33
ปริญญาเอก	2	13.33
รวม	15	30
สำเร็จการศึกษาแล้ว และการศึกษาระดับสูงสุด		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	7	14
มัธยมศึกษา	1	2

อาชีวศึกษา/อนุปริญญา	2	4
ปริญญาตรี	9	18
ปริญญาโท	3	6
ปริญญาเอก	4	8
รวม	26	52
รายได้ต่อเดือน		
ต่ำกว่า 5,000 บาท	8	16
5,001-9,000 บาท	15	30
9,001-15,000 บาท	15	30
15,001-30,000 บาท	6	12
30,001-50,000 บาท	2	4
50,001 บาทขึ้นไป	2	4
ไม่ต้องการระบุ	2	4

จากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคจำนวน 50 คน ต่อการรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบว่า ผู้บริโภคจำนวน 43 คน เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย และผู้บริโภคจำนวน 7 คน ไม่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย และพบว่า ผู้บริโภคจำนวน 47 คน รับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยได้ และมีผู้บริโภคเพียง 3 คน รับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยไม่ได้ เมื่อวิเคราะห์เน้นเฉพาะผู้ที่ไม่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยมาก่อน พบว่าเมื่อลองรับประทานถั่วแมคาเดเมียกวนผสมอบเชย สามารถรับประทานได้ 4 คน โดยมีลักษณะเฉยๆ รับประทานได้ทั้ง 4 คน และรับประทานไม่ได้ 3 คน และเมื่อสำรวจการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน 5 อันดับแรก ดังนี้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป (19.19%) ซินนามอนโรล (18.18%) ขนมปัง (15.15%) คุกกี้ (8.08%) อานตี้แอนเพรทเซล (10.10%) (ตารางที่ ข.6) ซึ่งจะพบว่าส่วนใหญ่ผู้บริโภคเคยบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยเป็นอาหารคาวมากกว่าของหวาน)

จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชย พบว่า ไม่ชอบรับประทาน 3 คน เฉยๆรับประทานได้ 36 คน ชอบรับประทาน 7 คน และชอบรับประทานมาก 3 คน

ตารางที่ ข.6 แจกแจงความถี่ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วยอบเชยที่ผู้บริโภคเคยรับประทาน

ผลิตภัณฑ์	ความถี่	ร้อยละ
ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป	19	19.59
ซินนามอนโรล	18	18.56
ขนมปัง	15	15.46
คุกกี้	12	12.37
อานตี้แอนเพรทเซล	10	10.31
เค้ก	8	8.25
กาแฟ	7	7.22
เดนนิส	3	3.09
ฟองดูว์	2	2.06
มาซีแพน	1	1.03
อื่นๆ ประกอบด้วย	2	2.06
น้ำแอปเปิ้ล	1	1.03
หมากฝรั่ง	1	1.03
รวม	97	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถาม ข.2 ชุดที่

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและแบบสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคต่อถั่วแมคาเดเมียบดผสมอบเชย

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค และแบบสำรวจพฤติกรรมกาบริโภคของผู้บริโภคต่อถั่วแมคาเดเมียผสมอบเชย เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวศิริพร น่าชม นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบาย ถั่วแมคาเดเมียบดผสมอบเชยได้พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้สำหรับสอดไส้ในผลิตภัณฑ์ขนมชนิดต่างๆ โดยมีอบเชยแต่งกลิ่นรสและใช้ป้องกันการหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูงอย่างในถั่วแมคาเดเมีย จึงใคร่ขอความกรุณาจากท่านตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณที่ให้ความกรุณาในการตอบแบบสอบถาม

ขอแสดงความนับถือ
นางสาวศิริพร น่าชม
ผู้วิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย

ชื่อ _____ รหัสตัวอย่างทดสอบ _____

วันที่ _____

คำแนะนำ: กรุณาประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆของตัวอย่าง โดยระบุความคิดเห็นของท่านที่มีต่อลักษณะต่างๆโดยใส่เครื่องหมายถูก (√) ลงในช่อง □ ที่กำหนดให้

1. <u>ก่อน</u>รับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

1.1 ความชอบต่อลักษณะปรากฏ

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

1.2 ลักษณะสีเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
อ่อนไป		พอดี		เข้มไป

2. <u>หลัง</u>รับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 ความชอบโดยรวม

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

2.3 ความชอบกลิ่นรส

□	□	□	□	□	□	□	□	□
ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด

2.2.1 กลิ่นรสแมคาเดเมียเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

2.2.2 กลิ่นรสอบเชยเป็นอย่างไร

□	□	□	□	□
น้อยไป		พอดี		มากไป

(กรุณาพลิกด้านหลัง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 รสหวานเป็นอย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐
น้อยไป		พอดี		มากไป

3. กรุณาบอกลักษณะที่ท่านพบในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคาเดเมียกวนผสมอบเชยที่ทำให้ท่าน **ไม่ชอบ**

_____

_____

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

(มีต่อหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสำรวจพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคต่อไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมายถูก (√) ลงในช่อง ☐ หน้าคำตอบที่ต้องการเลือก

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคล

1. เพศ

☐ 1. ชาย ☐ 2. หญิง

2. อายุ

☐ 1. 20 ปี และต่ำกว่า 20 ปี ☐ 2. 21-30 ปี
☐ 3. 31-40 ปี ☐ 4. 41-50 ปี
☐ 5. 51 ปี ขึ้นไป

3. อาชีพ

☐ 1. นักเรียน/นักศึกษา ☐ 2. รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ
☐ 3. ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว ☐ 4. พนักงานบริษัทเอกชน
☐ 5. อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. ระดับการศึกษา

☐ 4.1 กำลังศึกษา
☐ 1. มัธยมศึกษา ☐ 2. อาชีวศึกษา/อนุปริญญา
☐ 3. ปริญญาตรี ☐ 4. ปริญญาโท
☐ 5. ปริญญาเอก

☐ 4.2 สำเร็จการศึกษาแล้ว และระดับการศึกษาขั้นสูงสุด
☐ 1. ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ☐ 2. มัธยมศึกษา
☐ 3. อาชีวศึกษา/อนุปริญญา ☐ 4. ปริญญาตรี
☐ 5. ปริญญาโท ☐ 6. ปริญญาเอก

5. รายได้ส่วนตัว (บาท/เดือน)

☐ 1. ยังไม่มีรายได้ ☐ 2. ต่ำกว่า 5,000 บาท
☐ 3. 5,001-9,000 บาท ☐ 4. 9,001-15,000 บาท
☐ 5. 15,001-30,000 บาท ☐ 6. 30,001 -50,000 บาท
☐ 7. มากกว่า 50,000 บาท ☐ 8. ไม่ต้องการระบุ

(กรุณาพลิกด้านหลัง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภค

6. ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย (ซินนามอน)** มาก่อนหรือไม่

☐ 1. เคยรับประทาน (ทำต่อข้อ 7) ☐ 2. ไม่เคยรับประทาน (ทำต่อข้อ 7)

7. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย** ได้หรือไม่ (ถ้าไม่เคยรับประทานมาก่อนพิจารณาจากตัวอย่าง)

☐ 1. รับประทานได้ (ทำต่อข้อ 8) ☐ 2. รับประทานไม่ได้ (ข้ามไปทำข้อ 9 และ10)

8. ถ้าท่านรับประทานอบเชยได้ ท่านเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ใดที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย**

1. ขนมปัง
2. เค้ก
3. คุกกี้
4. กาแฟ
5. นม
6. เครื่องดื่มต่างๆ(โปรดระบุ).....
7. ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป
8. ซินนามอนโรล
9. เดนนิส
10. อานตี้แอนเพรทเซล (Auntie Anne's Pretzel)
11. พ่องดูร์
12. มาร์ซีแพน
13. มูสลี่
14. อื่นๆ (โปรดระบุ).....
15. **ไม่เคย**รับประทานมาก่อน

9. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งด้วย **อบเชย** ได้อย่างไร

☐ 1. ไม่ชอบรับประทาน ☐ 2. เฉยๆรับประทานได้

☐ 3. ชอบรับประทาน ☐ 4. ชอบรับประทานมาก

☐ 5. ชอบรับประทานมากที่สุด

10. ท่านชอบผลิตภัณฑ์ลอดไส้แมคาเดเมียกวนผสมอบเชย ตัวอย่างใด**มากที่สุด**

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ข.3
(Different from control test) ใช้สำหรับขั้นตอนการหาภาวะการแช่เยือกแข็ง

รหัสการทดสอบ _____ วันที่ _____

ชนิดตัวอย่าง _____ รหัส/ชื่อผู้ทดสอบ _____

คำชี้แจง : โปรดเปรียบเทียบระดับความแตกต่างของตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม หรือ " C " โดยใส่เครื่องหมายถูก (√) ลงในช่อง □ ที่กำหนดให้พร้อมระบุรหัสตัวอย่าง เพื่อชี้ระดับความแตกต่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

1. ก่อนรับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

1. ลักษณะปรากฏ

1.1 สี

□	□	□	□	□	□
0	1	2	3	4	5
ไม่แตกต่าง	น้อย	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	แตกต่างมาก

2. หลังรับประทานกรุณาตอบคำถามต่อไปนี้

1. กลิ่นรส/รส

1.1 กลิ่นรสแมคาเดเมีย

□	□	□	□	□	□
0	1	2	3	4	5
ไม่แตกต่าง	น้อย	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	แตกต่างมาก

1.2 กลิ่นรสอบเชย

□	□	□	□	□	□
0	1	2	3	4	5
ไม่แตกต่าง	น้อย	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	แตกต่างมาก

1.3 รสหวาน

□	□	□	□	□	□
0	1	2	3	4	5
ไม่แตกต่าง	น้อย	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	แตกต่างมาก

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส

2.1 ความเหนียว

□	□	□	□	□	□
0	1	2	3	4	5
ไม่แตกต่าง	น้อย	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	แตกต่างมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. 3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณา (สำหรับขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างแช่เยือกแข็ง)

ขั้นตอนการการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณา ดังต่อไปนี้ (Meilgaard *et al,* 2007)

1. คัดเลือกผู้ทดสอบจากผู้ทดสอบเริ่มต้น 20 คน
2. ให้ผู้ทดสอบแต่ละคนดมกลิ่นน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนโดยเตาอบไมโครเวฟ (700 วัตต์) ที่เวลา 1, 2, 5 และ 10 นาที และทิ้งข้ามคืนให้เกิดการหืนที่ชัดเจน 24 ชั่วโมง โดยกำหนดขนาดภาชนะและปริมาตรของน้ำมันที่ใช้ที่สำหรับเตรียมตัวอย่าง
3. คัดเลือกผู้ทดสอบที่สามารถระบุความเข้มและจัดลำดับกลิ่นหืนถูกต้องทั้ง 2แบบสอบถาม รายละเอียดดังแสดงในแบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ข.6 และ ข.7
4. ผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจำนวน 8 คน ร่วมกันสร้างคำศัพท์ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ และให้คะแนนความเข้มของลักษณะต่างๆเหล่านั้นในลักษณะที่ทำซ้ำ ได้ รายการคำศัพท์ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ และลำดับการปรากฏของแต่ละลักษณะจะได้มาจากการประชุมกลุ่มระหว่างผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว โดยมีการประชุมกลุ่มแต่ละครั้งใช้เวลา 2 ชั่วโมง ประชุม 2 ครั้งต่อสัปดาห์ มีการกำหนดคำอธิบายของคำศัพท์แต่ละคำให้เป็นที่เข้าใจตรงกันและอาจมีการกำหนดสิ่งอ้างอิงที่ใช้ อาจเป็นผลิตภัณฑ์อื่น วัตถุดิบอื่น หรือเครื่องปรุงอื่น เพื่อกำหนดระดับความเข้มด้านต่างๆ รายละเอียดสิ่งอ้างอิงที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

สิ่งอ้างอิง

สิ่งอ้างอิงที่ใช้คือการแปรสูตรไส้แมคาเดเมียบด มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข. 7 ระดับความเข้มด้านและระดับคะแนนของลักษณะประสาทสัมผัสต่างๆ

ลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง		ระดับคะแนนความเข้ม		
	ระดับความเข้มต่ำที่สุด	ระดับความเข้มสูงที่สุด	ระดับความเข้มต่ำที่สุด	ตัวอย่างทดสอบ	ระดับความเข้มสูงที่สุด
ระดับสีน้ำตาล	สูตรอ้างอิง 2	สูตรอ้างอิง 1	2	7	10
ความมันวาว	สูตรอ้างอิง 3	สูตรอ้างอิง 4	1	7	8
กลิ่นแมคาเดเมีย	สูตรอ้างอิง 4	สูตรอ้างอิง 3	0	2	5
กลิ่นอบเชย	สูตรอ้างอิง 2	สูตรอ้างอิง 1	0	4	9
กลิ่นหืน	น้ำมันถั่วเหลือง มีค่า PV = 12.00 $mq.O_2/kg$	น้ำมันถั่วเหลืองใหม่ PV = 1.00 $mq.O_2/kg$	0	0	10
กลิ่นรสแมคาเดเมีย	สูตรอ้างอิง 4	สูตรอ้างอิง 3	4	7	9
กลิ่นรสอบเชย	สูตรอ้างอิง 2	สูตรอ้างอิง 1	0	4	10
กลิ่นรสหืน	น้ำมันถั่วเหลือง มีค่า PV = 12.00 $mq.O_2/kg$	น้ำมันถั่วเหลืองใหม่ PV = 1.00 $mq.O_2/kg$	0	0	10
กลิ่นรสตกค้าง	สูตรอ้างอิง 2	สูตรอ้างอิง 1	1	2	10
ความเหนียว	สูตรอ้างอิง 3	สูตรอ้างอิง 4	1	3	7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข. 8 การแปรสูตรไส้แมคาเดเมียบดสำหรับใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง

ส่วนผสม	สูตรอ้างอิง1	สูตรอ้างอิง 2	สูตรอ้างอิง 3	สูตรอ้างอิง 4	สูตรพื้นฐาน
แมคาเดเมียบด	40	40	70	30	40
แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	5	5	0	10	5
กลูโคสซีรัป	25	25	0	35	25
น้ำตาลไอซิ่ง	10	10	10	10	10
น้ำ	17	20	19.5	14.5	19.5
อบเชยเทศผง	3	0	0.5	0.5	0.5

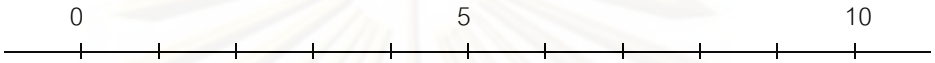
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสคัดเลือกผู้ทดสอบ ข.4

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

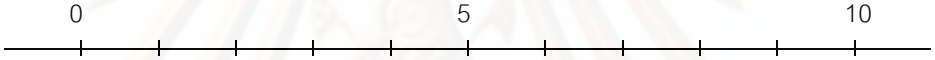
คำแนะนำ : กรุณาประเมินตัวอย่างน้ำมันพืช โดยวิธีการดมกลิ่น แล้วระบุ ระดับความเข้มของกลิ่นหืน โดยทำเครื่องหมายด้วยการลากเส้นตั้งฉากบนเส้นที่แสดงระดับความเข้มของกลิ่นหืน แล้วใส่หมายเลขกำกับตัวอย่างไว้บนเส้นที่ท่านลาก

1. รหัสตัวอย่าง _____



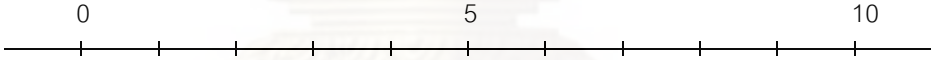
มีกลิ่นหืนน้อยมาก มีกลิ่นหืนมาก

2. รหัสตัวอย่าง _____



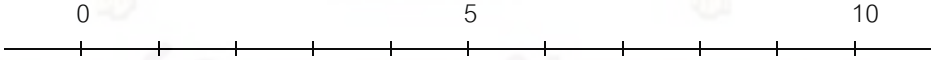
มีกลิ่นหืนน้อยมาก มีกลิ่นหืนมาก

3. รหัสตัวอย่าง _____



มีกลิ่นหืนน้อยมาก มีกลิ่นหืนมาก

4. รหัสตัวอย่าง _____



มีกลิ่นหืนน้อยมาก มีกลิ่นหืนมาก

ข้อเสนอแนะ.....
.....

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสคัดเลือกผู้ทดสอบ ข.5

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

คำแนะนำ : กรุณาประเมินตัวอย่างน้ำมันพืช โดยวิธีการดมกลิ่น ตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วจัดลำดับความเข้มของกลิ่นหืนน้ำมัน

โดย 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด 4 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด

ตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....
ลำดับ	.....	.....	.....	.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

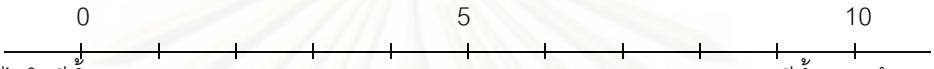
แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย ข.6

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

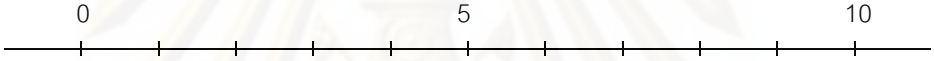
ตอนที่ 1 กรุณาทดสอบไส้แมคาเดเมียกวนผสมอบเชย _____ ตัวอย่าง ที่มีรหัส _____ แล้วระบุสมบัติด้านต่างๆ โดยทำเครื่องหมายด้วยการลากเส้นตั้งฉากที่แสดงระดับคุณภาพดังกล่าว

1. **ก่อนรับประทาน**

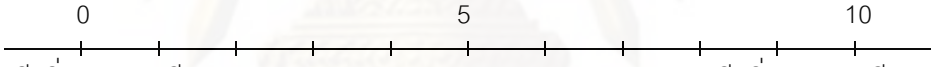
1.1 **ระดับสีน้ำตาล**



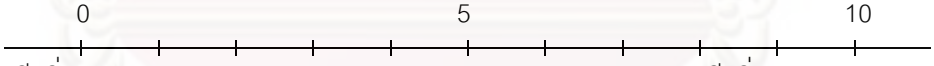
1.2 **ความมันวาว**



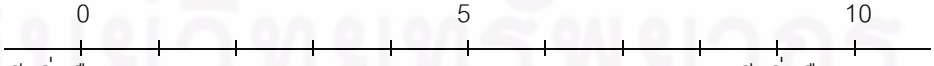
1.3 **กลิ่นแมคาเดเมีย**



1.4 **กลิ่นอบเชย**

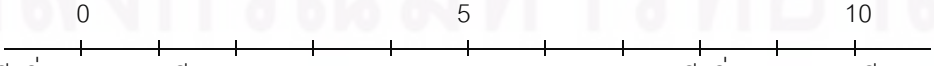


1.5 **กลิ่นหืน**

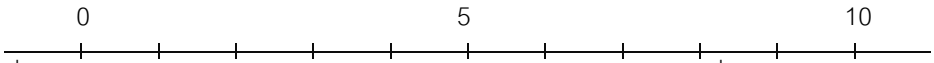


2. **หลังรับประทาน**

2.1 **กลิ่นรสแมคาเดเมีย**

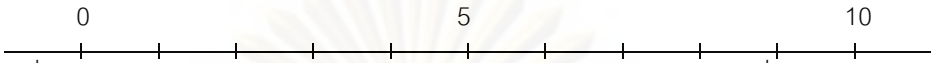


2.2 **กลิ่นรสอบเชย**



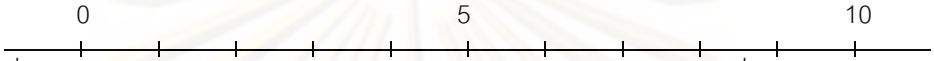
ไม่มีกลิ่นรสอบเชยเลย มีกลิ่นรสอบเชยชัดเจนมาก

2.3 **กลิ่นรสหืน**



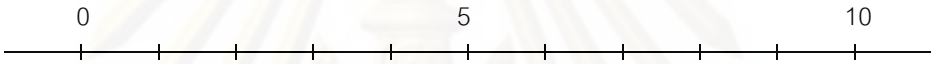
ไม่มีกลิ่นรสหืนเลย มีกลิ่นรสหืนชัดเจนมาก

2.4 **กลิ่นรสตกค้าง**



ไม่มีกลิ่นรสตกค้างเลย มีกลิ่นรสตกค้างชัดเจนมาก

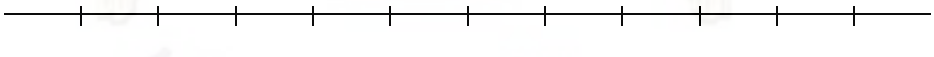
2.5 **ความเหนียว**



ไม่มีความเหนียวเลย มีความเหนียวมาก

ตอนที่ 2 กรุณาทดสอบไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชย ____ตัวอย่าง ที่มีรหัส _____ แล้วระบุคะแนนการยอมรับ โดยทำเครื่องหมายด้วยการลากเส้นตั้งฉากที่แสดงระดับคุณภาพดังกล่าว

การยอมรับโดยรวม



ไม่ยอมรับ เฉยๆ ยอมรับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการแปรอัตราส่วนอบเชยเทศผงต่อปริมาณเมทานอลและเวลาในการสกัดต่อ Yield (%) และสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดอบเชย

source of variance	df	MS			
		Yield (%)	EC_{50}	ARP	TPC
Solid:liquid	1	27.301*	6.002*	0.015*	4792.793*
Time	3	0.707	1.870*	0.005*	101.267*
Solid:liquid × Time	3	0.841	0.371*	0.001*	102.240*
error	8	0.363	0.071	0.000	15.896

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปรียบเทียบ Yield (%) และ Total phenolic contents ของสารสกัดอบเชย

source of variance	df	MS	
		Yield (%)	Total phenolic contents
treatment	2	244.108*	35595.115*
error	6	0.142	7.619

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปรียบเทียบสมบัติต้านออกซิเดชันของอบเชยและสารกันหืนสังเคราะห์ BHA (EC_{50}หน่วย µg/ml)

source of variance	df	MS			
		EC_{50}^{1} (µg/ µg DPPH)	EC_{50}^{2} (µg/ml)	ARP^{1} (1/ EC_{50}^{1})	ARP^{2} (1/ EC_{50}^{2})
treatment	3	1170.956*	21792.84*	9.556E-6*	1.000*
error	8	8.229	578.356	4.167E-7	0.001

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

EC_{50}^{1} หน่วย µg/ µg DPPH, ARP^{1} มีหน่วย 1/ EC_{50}^{1}, EC_{50}^{2} หน่วย µg/ml และ ARP^{2} หน่วย1/ EC_{50}^{2}

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Induction Time ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง

source of variance	df	MS
treatment	5	154.816*
error	6	0.104

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Protection Factor ของน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันถั่วเหลือง

source of variance	df	MS
treatment	3	0.023*
error	4	0.000

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าลักษณะเนื้อสัมผัสจากการพัฒนาสูตร 5 สูตร

source of variance	df	MS					
		Hardness (g_f)	Cohesiveness	Adhesiveness (g_f mm)	Spinginess	Gumminess (g_f)	Chewiness
treatment	4	418.320*	1928.625*	.059*	.018*	37.579*	8.938*
error	10	23.534	8.671	.001	.000	.292	.088

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีและค่า a_w ของการพัฒนาสูตร 5 สูตร

source of variance	df	MS			
		L*	a*	b*	a_w
treatment	4	4.853*	1.276*	9.214*	0.007*
error	10	0.630	0.176	1.711	3.347E-5

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

146

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของ 5 สูตร

source of variance	df	MS			
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
treatment	4	1.706	4.714	5.434*	3.980*
panelist	49	6.694	6.322	6.400	7.259
error	196	0.984	2.067	1.501	1.637

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค. 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสี และค่า a_w ของการหาปริมาณอบเชยที่เหมาะสม

source of variance	df	MS			
		L*	a*	b*	a_w
treatment	2	61.070*	6.907*	2.361	6.975E-5
error	9	0.109	0.148	1.492	2.275E-5

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

147

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติคะแนนความชอบจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดโดยการแปรปริมาณอบเชย 3 ระดับ

source of variance	df	MS		
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
treatment	4	2.027	9.140*	9.327*
panelist	49	2.303	3.850	2.505
error	196	0.938	9.140	1.490

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางเคมีของสูตรที่ใส่กะทิและไม่ใส่กะทิ

Variance		Levene 's Test for Equality of Variance		T-Test of Equality of Mean		
		F	Sig	t	df	sig.(2-tailed)
ปริมาณความชื้น	equal variance assumed	8.557	0.043	-14.309	4	0.000
ปริมาณไขมันทั้งหมด	equal variance assumed	3.273	0.145	8.823	4	0.001
กรดไขมันอิสระ	equal variance assumed	0.400	0.561	8.000	4	0.001

148

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางกายภาพของสูตรที่ใส่กะทิและไม่ใส่กะทิ

	Variance	Levene 's Test for Equality of Variance		T-Test of Equality of Mean		
		F	Sig	t	df	sig.(2-tailed)
Hardness	equal variance assumed	0.75	0.386	-1.267	46	0.212
Cohesiveness	equal variance assumed	0.277	0.601	1.050	46	0.299
Adhesiveness	equal variance assumed	0.124	0.726	-3.666	46	0.001
Springiness	equal variance assumed	3.989	0.052	-4.419	46	0.000
Gumminess	equal variance not assumed	4.518	0.039	0.615	40.467	0.542
Chewiness	equal variance assumed	2.860	0.098	-2.368	46	0.022
L*	equal variance not assumed	5.096	0.026	-77.801	81.247	0.000
a*	equal variance not assumed	39.482	0.000	-4.229	52.20	0.000
b*	equal variance not assumed	10.264	0.002	-13.504	88	0.000
a_w	equal variance assumed	0.98	0.337	-20.019	69.59	0.000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

149

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนความชอบจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสแมคาเดเมียบดสูตรใส่กะทิและสูตรไม่ใส่กะทิ

	Variance	Levene 's Test for Equality of Variance		T-Test of Equality of Mean		
		F	Sig	t	df	sig.(2-tailed)
ลักษณะปรากฏ	equal variance not assumed	5.856	0.017	-1.541	93.679	0.127
กลิ่นรส	equal variance not assumed	5.604	0.020	-0.146	88.231	0.884
ความชอบโดยรวม	equal variance assumed	2.172	0.144	0.181	98	0.857

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

150

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเวลาการแช่เยือกแข็ง, Freezing loss (%) และ Thawing loss (%)

	Variance	Levene 's Test for Equality of Variance		T-Test of Equality of Mean		
		F	Sig	t	df	sig.(2-tailed)
เวลาการแช่เยือกแข็ง	equal variance not assumed	0.043	0.846	22.486	4	0.000
Freezing loss	equal variance not assumed	0.012	0.915	-1.259	10	0.237
Thawing loss	equal variance assumed	0.054	0.82	0.333	10	0.746

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

151

ตารางที่ ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีหลังการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม

source of variance	df	MS		
		L*	a*	b*
treatment	2	18.996*	2.050	14.112*
error	6	0.160	0.585	1.625

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเนื้อสัมผัสหลังการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม

source of variance	df	MS					
		Hardness	Cohesiveness	Adhesiveness	Springiness	Gumminess	Chewiness
treatment	2	72.305*	28.837*	386.108*	0.155*	269.402*	311.177*
error	6	0.718	2.723	1.543	0.000	.870	.467

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเนื้อสัมผัสหลังการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -20, -30 °C และชุดควบคุม

source of variance	df	MS				
		สี	กลิ่นรสแมคาเดเมีย	กลิ่นรสอบเชย	รสหวาน	ความเหนียว
treatment	2	0.176	1.037*	6.037*	2.787*	0.287
panelist	35	1.597	1.723	3.539	1.570	0.714
error	70	0.309	.218	0.570	.454	0.497

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

153

ตารางที่ ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ – 18 °C นาน 6 เดือน

source of variance	df	MS		
		Peroxide value	Anisidine value	Totox value
treatment	3	0.020*	2214.036*	2243.056
error	8	0.000	12.783	13.332

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

source of variance	df	MS				
		สี	กลิ่นรสแมคาเดเมีย	กลิ่นรสอบเชย	รสหวาน	ความเหนียว
treatment	2	0.176	1.037*	6.037*	2.787*	0.287
error	70	0.309	.218	0.570	.454	0.497

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่าสีของของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

source of variance	df	MS		
		L*	a*	b*
treatment	6	2.276*	0.181*	2.393
error	7	0.127	0.100	.677

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

155

ตารางที่ ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณา และคะแนนการยอมรับ (9-point hedonic scale) ของไส้แมคาเดเมียบดผสมอบเชยแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 6 เดือน

source of variance	df	MS								
		ระดับสีน้ำตาล	ความมันวาว	กลิ่นแมคาเดเมีย	กลิ่นอบเชย	กลิ่นรสแมคาเดเมีย	กลิ่นรสอบเชย	กลิ่นรสตกค้าง	ความเหนียว	คะแนนการยอมรับ
treatment	6	0.473*	0.917*	1.341*	1.491	1.573*	3.092*	1.515*	1.854*	2835.754*
panelist	7	0.117	0.178	1.475	2.660	1.500	1.778	0.430	0.414	1.591
error	42	0.118	0.196	0.204	0.681	.597	.402	0.183	0.179	3.023

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการเตรียมไส้แมคาเดเมียบด

รูปที่ ง.1 อบในตู้อบ tray dryer ที่ 50 ˚C นาน 48 ชั่วโมง

รูปที่ ง.2 กะเทาะกะลาเพื่อเอาเมล็ดเนื้อใน

รูปที่ ง.3 เนื้อในแมคาเดเมีย

รูปที่ ง.4 ล้างน้ำ

รูปที่ ง.5 สะเด็ดน้ำ

รูปที่ ง.6 เตรียมนำไปนึ่ง

รูปที่ ง.7 บดหยาบ (บดครั้งที่ 1)

รูปที่ ง.8 บดละเอียด (บดครั้งที่ 2)

รูปที่ ง. 9 กวนขณะให้ความร้อน

รูปที่ ง.10 ขึ้นรูปเป็นทรงกลม

รูปที่ ง. 11 การเตรียมตัวอย่างเพื่อเพื่อหาเวลาการแช่เยือกแข็ง

รูปที่ ง. 12 เตรียมตัวอย่าง

รูป ง. 13 การแช่เยือกแข็งโดยวิธีไคโอจินิค

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริพร น่าชม เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

การนำเสนอผลงานวิชาการ

Nachom S., Chaiwanichsiri S., Chinprahast N., and Kongpensook V. 2008. Effect of extraction time on antioxidant capacities of cinnamon *(Cinnamomum zeylanicum)* [CD-ROM] in Proceedings of the 34th congress on Science and Technology of Thailand. (Session H). October 31 – November 2, 2008 at Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.

ศิริพร น่าชม, สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, นินนาท ชินประหัษฐ์ และวรภา คงเป็นสุข. 2552. การพัฒนาสูตรไส้แมคาเดเมียบด. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14. ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 (ภาคบรรยาย). วันที่ 10-11 กันยายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย