

การทำไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่น



นางสาวธิดา มหาเมฆทัศน์ีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MICROENCAPSULATION OF MACADAMIA OIL BY SPRAY DRYING



Miss Tida Mahamaktudsanee

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

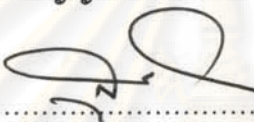
Chulalongkorn University

Academic Year 2009

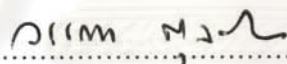
Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่น
โดย	นางสาวธิดา มหาเมฆทัศนีย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

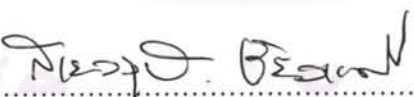
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

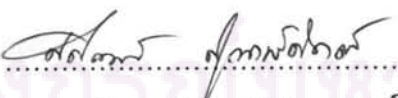

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นารหนองบัว)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตูลยธัญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศศิگانต์ กุ้งษ์ศักดิ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์)

ธิดา มหาเมฆศักดิ์ชัย : การทำไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบ
พ่น MICROENCAPSULATION OF MACADAMIA OIL BY SPRAY DRYING

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.กัญญา เลาสงคราม, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
: รศ.ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, 86 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่นเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและชะลอการเกิดกลิ่นหืน ซึ่งส่วนแรกของงานวิจัยเป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันโดยแปรอัตราส่วนระหว่าง sodium caseinate (NaCas): maltodextrin (1:3-1:5), อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ : วัสดุแกน (50:50-70:30) และความดันในการ homogenize (100-300 bar) วัดขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชัน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Response surface พบว่าภาวะการเตรียมอิมัลชันน้ำมันแมคาเดเมียที่เหมาะสมคืออัตราส่วนระหว่าง NaCas: maltodextrin ที่ 1:4, อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ : วัสดุแกน ที่ 60:40 และความดันในการ homogenize ที่ 200 bar โดยมีขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันเท่ากับ $0.64 \pm 0.01 \mu\text{m}$ และ $37.81 \pm 0.63 \text{ mPa.s}$ ตามลำดับ ส่วนที่สองเป็นการนำอิมัลชันน้ำมันแมคาเดเมียที่เตรียมมาทำแห้งแบบพ่นโดยแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (1-2 kg/h) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง ($160-200^\circ\text{C}$) วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งเพื่อเลือกภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย พบว่าที่เหมาะสมคือ อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ 1.1 kg/h และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งที่ 167°C โดยไมโครแคปซูลที่ได้เป็นรูปทรงกลม พื้นผิวมีรอยย่น ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ ภายในไมโครแคปซูลมีลักษณะ multi-core และ simple core มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $9.75 \pm 0.03 \mu\text{m}$, ปริมาณความชื้น $1.00 \pm 0.05 \%$, ความหนาแน่นของอนุภาค $0.36 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล $7.33 \pm 0.59 \%$, ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล $88.75 \pm 0.45 \%$, ปริมาณกรดไขมันอิสระ $0.170 \pm 0.001 \%$ oleic acid และปริมาณเปอร์ออกไซด์ $0.198 \pm 0.004 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ และเมื่อนำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมมาเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือน ที่อุณหภูมิ $30^\circ\text{C}-55^\circ\text{C}$ และบรรจุในถุงลามิเนต (อัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน) เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน พบว่าตลอดระยะเวลา 2 เดือน ไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°C ทั้งแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเปอร์ออกไซด์ แต่การเก็บที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ปริมาณเปอร์ออกไซด์เริ่มสูงขึ้นในวันที่ 50 โดยการบรรจุแบบไม่อัดก๊าซไนโตรเจนมีปริมาณเปอร์ออกไซด์สูงกว่าแบบอัดก๊าซไนโตรเจน และในทุกภาวะของการเก็บรักษาไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียไม่มีกลิ่นหืน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....
ปีการศึกษา.....2552.....

ลายมือชื่อผู้จัดทำ.....ธิดา มหาเมฆศักดิ์ชัย.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5072354423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : Microencapsulation / Microcapsule / Macadamia oil/ Spray drying

TIDA MAHAMAKTUDSANEER : MICROENCAPSULATION OF MACADAMIA OIL BY
SPRAY DRYING. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.KALAYA

LAOHASONGKRAM, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF.SAIWARUN
CHAIWANICHSIRI, Ph.D., 86 pp.

This research aimed to microencapsulate macadamia oil by spray drying to prevent oxidation reaction and rancid odor. Firstly, the optimum condition for preparing emulsion using response surface methodology was studied by varying the ratio of sodium caseinate (NaCas) to maltodextrin DE18 (1:3-1:5), ratio of wall material to core material (50:50-70:30) and homogenizing pressure (100-300 bar). The oil droplet size and viscosity of emulsion were measured. The result showed that the appropriated condition of emulsion was the ratio NaCas to maltodextrin of 1:4, ratio of wall material to core material of 60:40 and homogenizing pressure of 200 bar and the oil droplet size and viscosity of this emulsion were $0.64 \pm 0.01 \mu\text{m}$ and $37.81 \pm 0.63 \text{ mPa.s}$, respectively. Secondly, the conditions of spray drying were investigated by varying the feed rate (1-2 kg/h) and inlet temperature (160-200°C) and measuring various properties of microcapsules obtained after spray drying. It was found that the appropriated condition of spray drying was the feed rate of 1.1 kg/h and inlet temperature of 167°C. The microcapsules were sphere with wrinkle surface, particle size was not uniform, and the structures inside microcapsules were multi-core and simple core. The properties of the microcapsules were the average particle size of $9.75 \pm 0.03 \mu\text{m}$, moisture content of $1.00 \pm 0.05 \%$, bulk density of $0.36 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, surface oil of $7.33 \pm 0.59 \%$, microencapsulation efficiency of $88.75 \pm 0.45 \%$, free fatty acid of $0.170 \pm 0.001 \%$ oleic acid and peroxide value of $0.198 \pm 0.004 \text{ meq.O}_2/\text{kg oil}$. The microcapsules of macadamia oil were kept at 30°C-55°C and packed in laminated pouch (non-nitrogen and nitrogen gas flushing) to study the oxidation reaction by analyzing the peroxide value and evaluating the rancid odor during storage for 2 months. The results showed that peroxide value of microcapsules kept at 30°C, both non-nitrogen and nitrogen gas flushing did not change significantly ($p > 0.05$). However, the microcapsules kept at 45°C and 55°C had higher peroxide value after 50 days and the samples in non-nitrogen gas flushed package had higher peroxide values than nitrogen gas flushed one. The microcapsules kept at all conditions did not show rancid odor.

Department : Food Technology

Field of Study : Food Technology

Academic Year : 2009

Student's Signature Tida Mahamaktudsanee

Principal Advisor's Signature Kalaya

Co-advisor's Signature S. Chaiwanichsiri

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลและให้ความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด รวมถึงกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตูลยธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ และอาจารย์ ดร.ศศิกันต์ กู้พงษ์ศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลามาตรวจสอบ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณประพัทธ์ พิมพ์ประไพ ที่สนับสนุนเมล็ดแมคาเดเมียซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำวิจัย

ขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณนนรี และพี่ๆเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว. (TRF-MAG) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท พรีเมียมฟู้ดส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมกับงานวิจัยนี้ และคุณสุษฎว์ ศรีสนธิ ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานกับทางบริษัท

ขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความอดทน ให้กำลังใจ และความห่วงใยพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	2
แมคาเดเมีย.....	2
การหีน	6
ไมโครเอนแคปซูลเลชัน.....	10
สารเคลือบที่ใช้ในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันด้วยการทำแห้งแบบพ่น.....	13
3 การดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 วัตถุประสงค์.....	18
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.2.1 เตรียมวัตถุดิบน้ำมันแมคาเดเมีย	18
3.2.2 ศึกษาผลของภาวะการเตรียมอิมัลชันต่อขนาดหยดน้ำมันและ ค่าความหนืด.....	19
3.2.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นเพื่อผลิตไมโครแคปซูล น้ำมันแมคาเดเมีย.....	21
3.2.4 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมัน แมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา.....	23
3.2.5 ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบไม่มีแสงของน้ำมัน แมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา.....	23

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	24
4.1 การวิเคราะห์น้ำมันแมคาเดเมีย.....	24
4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชัน.....	24
4.3 ผลของภาวะการทำแห้งแบบพ่นต่อสมบัติไมโครแคปซูล.....	33
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูลน้ำมัน แมคาเดเมีย.....	33
4.3.2 สมบัติทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย.....	37
4.3.3 ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย.....	39
4.3.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูล น้ำมันแมคาเดเมีย.....	41
4.3.5 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดย การทำแห้งแบบพ่น.....	42
4.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่าง การเก็บรักษา	47
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	64
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม.....	75
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86

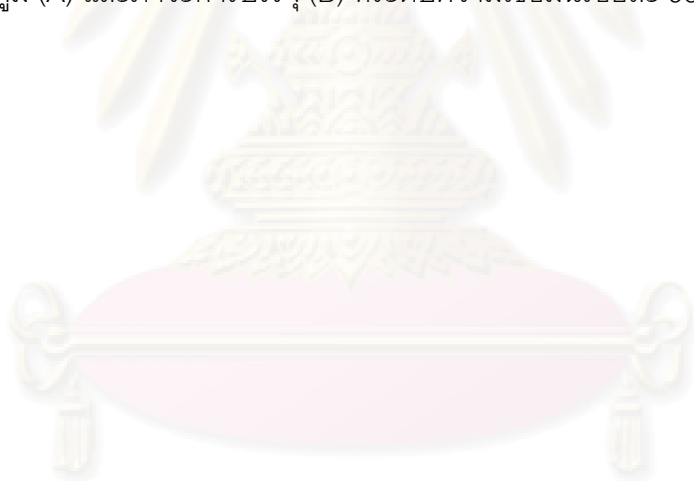
สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแมคาเดเมียดิบ.....	4
2.2	องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในแมคาเดเมียดิบ สายพันธุ์ <i>M. integrifolia</i> และ <i>M. tetraphylla</i>	5
3.1	Coded level ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหนืดและขนาดหยดน้ำมัน.....	20
3.2	Coded level ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล.....	22
4.1	ขนาดหยดน้ำมันของอิมัลชันที่ภาวะต่างๆ.....	25
4.2	ค่าความหนืดของอิมัลชันที่ภาวะต่างๆ.....	27
4.3	ขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันจากน้ำมันสองชนิด.....	33
4.4	ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น.....	38
4.5	ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น.....	40
4.6	ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น.....	42
4.7	สมบัติไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้ทดสอบและจากการแทนค่าในสมการ..	47
4.8	ความแตกต่างด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุมกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ.....	51
ข.1	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 2 เดือน ที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C โดยแต่ละอุณหภูมิมีทั้งการบรรจุแบบอัด และไม่อัดก๊าซไนโตรเจน.....	75
ข.2	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 44 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C โดยแต่ละอุณหภูมิมีทั้งการบรรจุแบบอัด และไม่อัดก๊าซไนโตรเจน.....	77
ค.1	ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดหยดน้ำมันเมื่อแปรอัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin (A), อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ : วัสดุแกน (B) และความดันในการ homogenize (C) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..	78

ตารางที่	หน้า
ค.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของความหนืด เมื่อแปรอัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin (A), อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ : วัสดุแกน (B) และความดันในการ homogenize (C) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95...79	
ค.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าขนาดหยดน้ำมัน เมื่อแปรชนิดน้ำมัน (ระหว่างน้ำมันมะกอก และน้ำมันแมคาเดเมีย) ในการเตรียมอิมัลชัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 79	79
ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนืด เมื่อแปร ชนิดน้ำมัน (ระหว่างน้ำมันมะกอก และน้ำมันแมคาเดเมีย) ในการเตรียมอิมัลชัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 80	80
ค.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาค ไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการปั่นวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อน เข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 80	80
ค.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณความชื้น เมื่อแปรอัตราเร็วในการปั่นวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 81	81
ค.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนาแน่นของ ไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการปั่นวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อน เข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 81	81
ค.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำมันทั้งหมด เมื่อแปรอัตราเร็วในการปั่นวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 82	82
ค.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำมันที่ผิว ไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการปั่นวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อน เข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95..... 82	82

ตารางที่

ค.10	ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.....	83
ค.11	ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระเมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.....	83
ค.12	ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณเปอร์ออกไซด์เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.....	84
ค.13	ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของความแตกต่างในการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุมกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บที่ภาวะต่างๆ โดยแปรอุณหภูมิ (A) และภาวะการบรรจุ (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.....	85



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะผล เมล็ด และเนื้อในของเมล็ดแมคาเดเมีย 3
2.2	ขั้นตอนและวิธีการต่างๆในการทำ microencapsulation..... 12
2.3	รูปร่างไมโครแคปซูลแบบต่างๆ..... 12
3.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอิมัลชัน..... 20
3.2	ขั้นตอนการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำให้แห้งแบบพ่น..... 22
4.1	Contour plot ของขนาดหยดน้ำมันของตัวอย่างอิมัลชัน (ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:4 และ (ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:5..... 30
4.2	Contour plot ค่าความหนืดของตัวอย่างอิมัลชัน (ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:4 และ (ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:5..... 31
4.3	Overlay plot ของขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของตัวอย่างอิมัลชัน (ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:4 และ (ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin = 1:5..... 32
4.4	ลักษณะพื้นผิวของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ภาวะการทำแห้งต่างๆ (ก),(ข),(ค) feed rate = 1 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ง),(จ),(ฉ) feed rate = 1.5 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ช),(ซ),(ฅ) feed rate = 2 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C ตามลำดับ..... 35
4.5	ลักษณะโครงสร้างภายในไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ภาวะการทำแห้งต่างๆ (ก),(ข),(ค) feed rate = 1 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ง),(จ),(ฉ) feed rate = 1.5 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ช),(ซ),(ฅ) feed rate = 2 kg/h, inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C ตามลำดับ..... 36
4.6	Contour plot ของ (ก) ขนาดอนุภาค, (ข) ปริมาณความชื้น, (ค) ความหนาแน่น (ง) ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล, (จ) ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล, (ฉ) ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ(ช) ปริมาณเปอร์ออกไซด์ ที่อัตราเร็วในการป้อน วัตถุประสงค์และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งต่างๆ..... 44

รูปที่	หน้า
4.7 Overlay plot ของอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (1kg/h, 1.5 kg/h และ 2 kg/h) และ อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (160°C, 180°C และ 200°C).....	46
4.8 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะต่างๆ เป็นเวลา 2 เดือน	49
4.11 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ เป็น เวลา 44 วัน.....	49



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

แมคาเดเมียเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นแมคาเดเมียซึ่งเป็นพืชยืนต้นประเภทนัต มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญโดยปริมาณสารอาหารที่มีมากที่สุดคือ ไขมัน กรดไขมันสำคัญอยู่ในกลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid) การบริโภคแมคาเดเมียจะช่วยลดปริมาณไขมันในเส้นเลือดชนิด Low Density Lipoprotein (LDL) และเพิ่มสัดส่วนปริมาณของ High Density Lipoprotein (HDL) ต่อ LDL (Garg, Blake, and Wills, 2003) ทำให้อัตราการเกิดโรคหัวใจลดลงได้ นอกจากนี้แมคาเดเมียยังมีสาร antioxidants และ phytochemicals ที่ลดความเสียหายของเซลล์อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดมะเร็ง (ณัฐพงษ์ เชนวิพากษ์, เจริญทอง สิงห์จานุสงค์, และจิราภรณ์ สอดจิตร์, 2548) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกแมคาเดเมียมากขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่แถบภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีผลิตภัณฑ์แปรรูปแมคาเดเมียมากขึ้น เช่น แมคาเดเมียคั่ว เนยถั่ว นอกจากนี้ยังมีการนำแมคาเดเมียมาสกัดน้ำมันเพื่อเป็นสารแต่งกลิ่นรส ส่วนผสมเครื่องสำอาง และใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ (Council of Scientific and Industrial Research, 1962)

เนื่องจากแมคาเดเมียมีราคาค่อนข้างแพง จึงควรใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด เช่น เศษเนื้อเมล็ดที่เหลือทิ้งจากขั้นตอนการกะเทาะเปลือก หรือเมล็ดที่มีรูปทรงไม่ได้มาตรฐาน สามารถนำมาสกัดน้ำมันเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือเครื่องสำอางได้ แต่เนื่องจากน้ำมันแมคาเดเมียมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ เกิดกลิ่นเหม็นง่าย ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ง่ายจึงต้องยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเติม antioxidants ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้แต่หากใช้ในปริมาณที่เกินกว่ากฎหมายกำหนดจะเกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

ไมโครเอนแคปซูลเลชันเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการหุ้มสารหรือวัสดุแกนที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงด้วยสารเคลือบ (coating material) และการอบแห้งแบบพ่นเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการผลิตไมโครแคปซูล (Dziezak, 1988) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นเพื่อชะลอการเกิดกลิ่นเหม็น

บทที่ 2

แมคาเดเมีย (Macadamia)

แมคาเดเมีย หรือในชื่อของ “Queensland nut”, “Popple nut” และ “Buch nut” (Winterton, 1968) เป็นพืชอยู่ในวงศ์ *Proteaceae* มี 18 สายพันธุ์ทั่วโลก (Brown, 1984) แต่มีเพียง 3 สายพันธุ์เท่านั้นที่รับประทานได้ คือ *Macadamia integrifolia*, *Macadamia tetraphylla* และ *Macadamia prealta* ซึ่งในทางการค้า *M. integrifolia* และ *M. tetraphylla* เป็นสายพันธุ์ที่มีการบริโภคมากที่สุด โดย *M. integrifolia* มีผิวกะลาเรียบ ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ปริมาณน้ำมันมากถึง 80% และมีปริมาณน้ำตาลน้อยเพียง 4% ซึ่งหากมีปริมาณน้ำตาลมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นเมื่อนำไปคั่ว แมคาเดเมียที่ได้จะมีสีเข้ม และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Hamilton, Yee, and Ito, 1980) ส่วน *M. tetraphylla* มีผิวกะลาขรุขระ ปลูกง่าย สามารถปรับตัวได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำหรือช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิค่อนข้างกว้าง แต่คุณภาพที่ได้ของเนื้อในต่ำกว่า *M. integrifolia* ประเทศที่ผลิตแมคาเดเมียได้มากที่สุดคือ ออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีผลผลิตในแต่ละปีสูงถึง 40% ของผลผลิตทั่วโลก (Harvey, 1983; เจริญทอง สิงห์จางุสงค์ และจำรองดาวเรือง, 2549)

ในประเทศไทยมีการนำแมคาเดเมียมาเพาะปลูกในช่วงเดียวกับที่มีการนำไปขยายพันธุ์ในฮาวาย แต่ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร จนกระทั่งในปีพ.ศ. 2527 ได้มีการส่งพันธุ์แมคาเดเมียเข้ามาปลูก เนื่องด้วยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราชทรงเล็งเห็นถึงศักยภาพของแมคาเดเมียที่สามารถจะพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยในอนาคตได้ ซึ่งแมคาเดเมียที่นำเข้ามาในครั้งนั้น ได้ส่งไปปลูกที่ศูนย์อำนวยการเกษตรที่สูงแม่เหิยะ ศูนย์วิจัยยางและศูนย์วิจัยพืชสวน สถานีทดลองพืชสวน สถานีทดลองเกษตรที่สูง สถานีทดลองยาง รวมทั้งศูนย์ศึกษาการพัฒนาตามพระราชดำริในภูมิภาคต่างๆ รวม 15 แห่ง ทั่วประเทศ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

ในการเพาะปลูกแมคาเดเมียนั้น สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบพันธุ์ที่เป็นการค้าของต่างประเทศ และคัดเลือกพันธุ์ที่ดีสำหรับแนะนำเกษตรกร จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 400 (ZHAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) โดยการขยายพันธุ์ด้วยวิธีเสียบยอด ทาบกิ่ง หรือติดตามากกว่าการเพาะจากเมล็ดโดยตรง (กรมวิชาการเกษตร, 2550)



รูปที่ 2.1 ลักษณะผล เมล็ด และเนื้อในของเมล็ดแมคาเดเมีย

ที่มา : Petsch (2007) และ Blakley (2008)

แมคาเดเมียเป็นพืชยืนต้นไม้ผลัดใบ ลำต้นสูงตั้งตรง ทรงพุ่มลักษณะคล้ายปิรามิด ใบทรงรี สีเขียวเข้ม ขอบใบมีหนามเล็กน้อย ออกดอกเป็นช่อยาว สีขาวถึงครีม ติดผลเป็นช่อ เมล็ดแมคาเดเมียมีลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกหุ้มผล (husk) แข็ง หนา สีเขียว และมีกะลา (shell) แข็ง ผิวเรียบ สีน้ำตาล หุ้มเนื้อใน (kernel) อีกชั้น โดยเนื้อในมีสีครีม (รูปที่ 2.1) รับประทานได้ (Council of Scientific and Industrial Research, 1962) มีอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 50 ปี

เมล็ดแมคาเดเมียมีรสชาติหวานมัน กรอบอร่อย สามารถบริโภคดิบ อบเกลือ เคลือบช็อกโกแลต เป็นส่วนผสมในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ไอศกรีม ลูกกวาด เนยถั่ว รวมทั้งสกัดน้ำมัน (Harvey, 1983) นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำมันแมคาเดเมียที่สกัดได้มาใช้ในการทำอาหาร เช่น ทอด หรือทำน้ำสลัด และผสมในเครื่องสำอางเพื่อบำรุงผิวให้ชุ่มชื้น (อรัญญา มโนสร้อย และจิรเดช มโนสร้อย, 2543)

แมคาเดเมียเป็นพืชที่ไม่มีคอเลสเตอรอลและยังมากด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ เช่น โปรตีน วิตามิน (กรดโฟลิก วิตามินอี และวิตามินบี 6) และแร่ธาตุต่างๆ (แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี ซีลีเนียม ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) (เหรียญทอง สิงห์จานูสงค์ และจำรอง ดาวเรือง, 2549) ในปี 2009 USDA ได้รายงานคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแมคาเดเมียดิบสายพันธุ์ *M. integrifolia* และ *M. tetraphylla* ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่าปริมาณไขมันสูงถึง 76%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อแมคาเดเมียดิบ

Composition	Amount per 100 gram of macadamia nut (dry basis)
Energy	3004 kJ (718.00 kcal)
Protein	7.91 ± 0.35 g
Fat -total	75.77 ± 1.15 g
Saturated	12.06 ± 0.00 g
Monounsaturated	58.88 ± 0.00 g
Polyunsaturated	1.50 ± 0.00 g
Carbohydrates -total	13.82 ± 0.00 g
Dietary fiber	8.60 ± 0.91 g
Sugar	4.57 ± 0.18 g
Ash	1.14 ± 0.03 g

ที่มา : USDA (2009)

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในแมคาเดเมียดิบ สายพันธุ์ *M. integrifolia* และ *M. trtraphylla* ซึ่งจะเห็นได้ว่าแมคาเดเมียทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของสายพันธุ์, ภูมิภาค, ภูมิอากาศในการปลูกแมคาเดเมียมีผลต่อคุณภาพและปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันในแมคาเดเมียที่ได้ (Phattanayindee, 2007) Kaijser, Dutta, และ Savage (2000) ได้ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันแมคาเดเมีย เมื่อแปรชนิดพันธุ์แมคาเดเมีย 4 ชนิดและสถานที่ปลูกในประเทศนิวซีแลนด์ตอนเหนือ 7 แห่ง พบว่าความแตกต่างของพันธุ์แมคาเดเมียและสถานที่ปลูกแมคาเดเมียมีผลต่อความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณเปอร์ออกไซด์รวมถึงปริมาณของกรดไขมันต่างๆ ในน้ำมันแมคาเดเมีย

Koaze และคณะ (2002) พบว่าแมคาเดเมียที่ถูกเก็บเกี่ยวในเดือนที่ต่างกัน (เดือนเมษายน ถึง เดือนสิงหาคม) มีปริมาณน้ำมันทั้งหมด, องค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันแตกต่างกัน โดยกรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบเป็นกรดไขมันชนิด oleic โดยมีปริมาณร้อยละ 50-67 ของจำนวนกรดไขมันทั้งหมด, รองลงมาเป็นกรดไขมันชนิด palmitoleic และ palmitic ตามลำดับ

เหรียญทอง สิงห์จางูสงส์ และจำรอง ดาวเรือง (2549) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ แมคาเดเมียพันธุ์ 344 ที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง 81.0%, กรดไขมันอิ่มตัว 12.8% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง 6.2% จากปริมาณกรดไขมัน ทั้งหมด โดยมีปริมาณกรดไขมัน oleic มากที่สุด 55.7% และยังพบกรดไขมัน eicosatrienoic, myristoleic และ docosahexaenoic ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ไม่มีรายงานว่าพบในแมคาเดเมียจากแหล่ง ปลูกอื่นๆ และกรดไขมันดังกล่าวเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยลดอัตราการ เกิดโรคหัวใจและลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดได้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในแมคาเดเมียดิบ สายพันธุ์ *M. integrifolia* และ *M. tetraphylla*

Fatty acid	Structure	Amount (gram per 100 gram oil) from various references *								
		<i>M. integrifolia</i>						<i>M. tetraphylla</i>		
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Lauric	C12:0			1.4	0.6					
Myristic	C14:0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	1.0		1.8	
Palmitic	C16:0	7.4	9.1	8.0	6.2	9.1	8.0	8.3	8.4	
Stearic	C18:0	2.8	2.2	3.4	1.6	3.5	2.0	2.1	1.7	
Arachidic	C20:0	1.9	1.8	2.4	1.6	2.7	2.0	2.4	1.2	
Behenic	C22:0			0.5		0.4	0.8	0.8		
Linoceridic	C24:0					0.1	0.1	0.5		
Palmitoleic	C16:1	18.5	21.9	15.6	19.1	19.5	22.0	21.8	29.7	
Oleic	C18:1	65.0	59.9	64.2	67.1	59.3	60.0	56.4	50.4	
Eicosenic	C20:1	2.3	2.0	2.1	1.7	2.5	1.0	3.1	2.1	
Erucic	C22:1					0.2		0.3		
Linoleic	C18:2	1.5	1.9	1.6	1.3	1.9	2.0	2.8	3.0	
Linolenic	C18:3						2.0		0.17	

*1. Cavaletto, Dela Cruz, และ Yamamoto (1966), 2. Saleeb และคณะ (1973), 3. Macfarlane และ Harris (1981), 4. Cavaletto (1983), 5. Mason และคณะ (1998), 6. McConachie (2001), 7. Beuchat และ Worthinton (1978), 8. Kaijser, Dutta, และ Savage (2000)

แม้ว่าในแมคาเดเมียจะมีไขมันสูง แต่กรดไขมันที่มีส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง จากการศึกษาของ Garg, Blake, และ Wills (2003) ที่ให้ผู้ทดสอบเพศชาย อายุเฉลี่ยประมาณ 54 ปี ที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดสูง จำนวน 17 คน รับประทานแมคาเดเมียปริมาณ 40-90 กรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าผู้ทดสอบมีระดับปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด และปริมาณไขมันในเลือดชนิด LDL ลดลงร้อยละ 3.0 และ 5.3 ตามลำดับ และสัดส่วนปริมาณของ HDL ต่อ LDL เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.9 แสดงว่าการบริโภคแมคาเดเมียเป็นประจำสามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ Samolin และ Grosvenor (2000) ได้ศึกษากลุ่มประชากรชาวอเมริกันที่บริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งในปริมาณสูง พบว่าประชากรมีอัตราการตายอันเนื่องมาจากโรคหัวใจลดลงกว่าครึ่ง นอกจากนี้แมคาเดเมียยังมีสาร antioxidants และ phytochemicals ที่ช่วยลดอัตราการเสียหายของเซลล์อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดมะเร็ง (ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์ และคณะ, 2548)

เนื่องจากแมคาเดเมียเป็นพืชที่มีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง (Wall and Gentry, 2007) จึงทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเก็บรักษาที่ไม่ดีหรือเก็บรักษามาเป็นระยะเวลานาน Cavaletto, Dela Cruz, และ Yamamoto (1966) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาน้ำมันแมคาเดเมีย พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันแมคาเดเมียคือ ความชื้น และอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยเมื่อความชื้นและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น้ำมันจะมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง Quinn และ Tang (1996) พบว่าแมคาเดเมียมีปริมาณ tocopherol ทั้งหมดเท่ากับ 6.4-18 $\mu\text{g} / \text{g}$ dry matter ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อยมาก จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แมคาเดเมียมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันต่ำ

การหืน (Rancidity)

การเกิดออกซิเดชันของไขมันเป็นกระบวนการทางเคมีและทางชีวเคมีที่มีความสลับซับซ้อนมาก ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค องค์ประกอบไขมันเปลี่ยนแปลงไปสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากวิตามิน กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย ถูกทำลาย (Dziezak, 1986) ผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันยังส่งผลให้เกิดโรคร้าย โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนที่สำคัญได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน และฟูแรน (Ho and Hartman, 1994) ซึ่งการหืนอาจเกิดขึ้นได้ 2 แบบคือ hydrolytic rancidity และ oxidative rancidity

Hydrolytic rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หรือ ลิพิด ด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ความร้อน กรด ต่าง และความชื้น ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ (กรด oleic, กรด linolenic และกรด linoleic)

ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนของออกซิเดชัน (autoxidation) (Robards, Kerr, and Patsalides, 1988) โดย hydrolytic rancidity ในผลิตภัณฑ์ธัญชาติอบแห้งจะเกิดจากเอนไซม์ไลเปสมากกว่าการไฮโดรไลซิสด้วยกรด หรือด่าง (Galliard, 1983) ส่วน oxidative rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) โดยทั่วไปไขมันในธัญชาติส่วนใหญ่เป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง) ซึ่งเป็นกรดไขมัน linoleic 30-60% ของกรดไขมันทั้งหมด ดังนั้นไขมันในธัญชาติส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Galliard, 1983) โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีกลไกการเกิด 3 ขั้นตอน (Gordon, 2004) คือ

- ก. Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical : R•) โดยไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม (H•) ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ
- ข. Propagation เป็นขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ (ROO•) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R•) ซึ่งไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นของการเกิดออกซิเดชัน และสารนี้ไม่คงตัวจึงสลายตัวอยู่ในรูปสารไม่ระเหย (non-volatile) แอลกอฮอล์ คีโตน และสารระเหยแอลดีไฮด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์
- ค. Termination เป็นขั้นตอนที่อนุมูลที่เกิดจากขั้นตอน propagation ทำปฏิกิริยากันเองแล้วเกิดเป็นสารประกอบใหม่ (R-R และ ROOR) ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาหยุดลง

การตรวจสอบการหืนของไขมันอาจทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) หรือ acid value (AV) ซึ่งบ่งบอกการเกิด hydrolytic rancidity ได้มากกว่า oxidative rancidity และการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระยะแรก โดยวัดปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นของการเกิดออกซิเดชัน และแสดงผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของออกซิเจนต่อน้ำหนักของน้ำมัน 1 กิโลกรัม (Nawar, 1996)

สุคนธ์สิน ศรีงาม และ ศิริวรรณ เนติวรานนท์ (2532) ศึกษาสาเหตุหลักของการเหม็นหืนในน้ำมันมะพร้าว โดยวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริก, ตรวจสอบการเกิดสารคีโต, ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเครื่อง Rancimat[®] และทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นหืนโดยให้ผู้ทดสอบเลือกตัวอย่างที่มีกลิ่นเหมือนกับตัวอย่างเปรียบเทียบ (duo trio) พบว่าการ

เกิดกลิ่นหืนในน้ำมันมะพร้าวมีสาเหตุหลักมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการเกิดสารคีโตน อันเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยการหืนของน้ำมันมะพร้าวจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะยังไม่มีการหืนเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 0.24% แต่จะมีการหืนชัดเจนมากขึ้นเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 2.69%

Frega, Mozzon, และ Lercker (1999) ศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระต่อความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (น้ำมันเมล็ดทานตะวัน, น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์, น้ำมันเมล็ดองุ่นและน้ำมันมะกอกที่ผ่านกระบวนการ) โดยเติมกรดไขมันชนิด oleic ปริมาณ 0% และ 3% ในน้ำมันพืช พบว่าเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า AV เพิ่มขึ้น และค่า induction time (ช่วงเวลาที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุมูลอิสระ) ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Rancimat[®] ลดลง แสดงว่าน้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น อายุการเก็บรักษาจึงสั้นลง

Gotoh และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเปอร์ออกไซด์ในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงที่ประกอบด้วยชั้นของ polypropylene (PP) / polyethylterephthalate (PET) เก็บรักษาในที่มีความสว่างต่างกัน (ในที่มืด, มีแสงอาทิตย์ และมีแสงของหลอดไฟ), ที่อุณหภูมิ 40-60°C และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 65-75% พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อปริมาณเปอร์ออกไซด์ แต่ความสว่างและอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณเปอร์ออกไซด์ โดยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เก็บในที่ที่มีแสงอาทิตย์เป็นเวลา 60 ชั่วโมง มีปริมาณเปอร์ออกไซด์มากกว่า 30 meq.O₂/kg oil ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่มาตรฐานกฎหมายอาหารของประเทศญี่ปุ่นกำหนด และมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่การเก็บในที่ที่มีแสงของหลอดไฟ ปริมาณเปอร์ออกไซด์มีค่ามากกว่า 30 meq.O₂/kg oil หลังจากสัปดาห์ที่ 2 และเมื่อเก็บบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในที่มืด ปริมาณเปอร์ออกไซด์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 60 สัปดาห์ และการเก็บในที่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Kim, Hahm, และ Min (2007) ศึกษาผลของปริมาณเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่อความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง โดยแปรปริมาณเปอร์ออกไซด์ตั้งต้น (0-10 meq.O₂/kg oil) บรรจุในขวดซีรัมและอัดอากาศ ปิดฝาให้สนิท หุ้มขวดซีรัมด้วยฉนวนนิยัมฟอสเฟต เก็บที่อุณหภูมิ 50°C เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณเปอร์ออกไซด์ตั้งต้นสูง ปริมาณอากาศภายในภาชนะลดลง และมีส่วนประกอบของสารระเหยมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณเปอร์ออกไซด์ตั้งต้นต่ำ แสดงว่าเมื่อน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ตั้งต้นสูง ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง

Shiela, Sreerama, และ Krishna (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการ(น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน) น้ำมันที่ไม่ผ่านการกระบวนการ (น้ำมันงา, น้ำมันจากเมล็ดมัสตาร์ด และน้ำมันปาล์ม) และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันพืชทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ โดยบรรจุใน pouch และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27°C และ 40°C พบว่าในระยะเวลา 6 เดือนปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่เก็บในอุณหภูมิ 27°C และ 40°C มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าน้ำมันเกิด hydrolytic rancidity ได้น้อยมาก ในขณะที่ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลา 2 เดือนแรกของการเก็บ แล้วจึงมีค่าลดลงทั้งนี้อาจเนื่องจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์

Kucuk และ Caner (2005) ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพน้ำมันเมล็ดทานตะวัน โดยบรรจุน้ำมันเมล็ดทานตะวันในขวดแก้วและในขวด PET ปิดผนึกแบบปกติและแบบสุญญากาศ เก็บรักษาในที่มืดและในที่แสง เป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่าภาชนะบรรจุและภาวะการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดทานตะวันที่บรรจุในขวด PET และเก็บรักษาในที่มืดจะมีปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุด ส่วนน้ำมันเมล็ดทานตะวันในขวดแก้วที่ปิดผนึกแบบสุญญากาศและเก็บรักษาในที่มืดจะมีปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด

Silva และคณะ(2006) ศึกษาการทำแห้งเมล็ดแมคาเดเมียโดยนำไมโครเวฟมาใช้งาน ร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนเพื่อลดระยะเวลาในการทำแห้งและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์แมคาเดเมียที่ได้ เก็บรักษาเมล็ดแมคาเดเมียที่ผ่านการทำแห้งทั้งแบบดั้งเดิม(ทำแห้งด้วยลมร้อน) และการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนในถุงไนลอน ปิดผนึกแบบสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิห้อง (25±3°C) เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าการทำแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นกว่า, ปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าน้อยกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน โดยกระบวนการทำแห้งเมล็ดแมคาเดเมียทั้ง 2 แบบจะมีปริมาณเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บ แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระและการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ, ความกรอบและความชอบโดยรวม) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation)

เทคโนโลยีการทำไมโครเอนแคปซูลเลชันถูกพัฒนาขึ้นในปี 1950 จากการวิจัยในอุตสาหกรรมการพิมพ์ (Green and Scheicher, 1955) และในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้กำลังพัฒนามากขึ้นและเป็นที่ยอมรับในทางเภสัชกรรม ทางเคมี ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมการพิมพ์ (Augustin *et al.*, 2001; Heinzen, 2002)

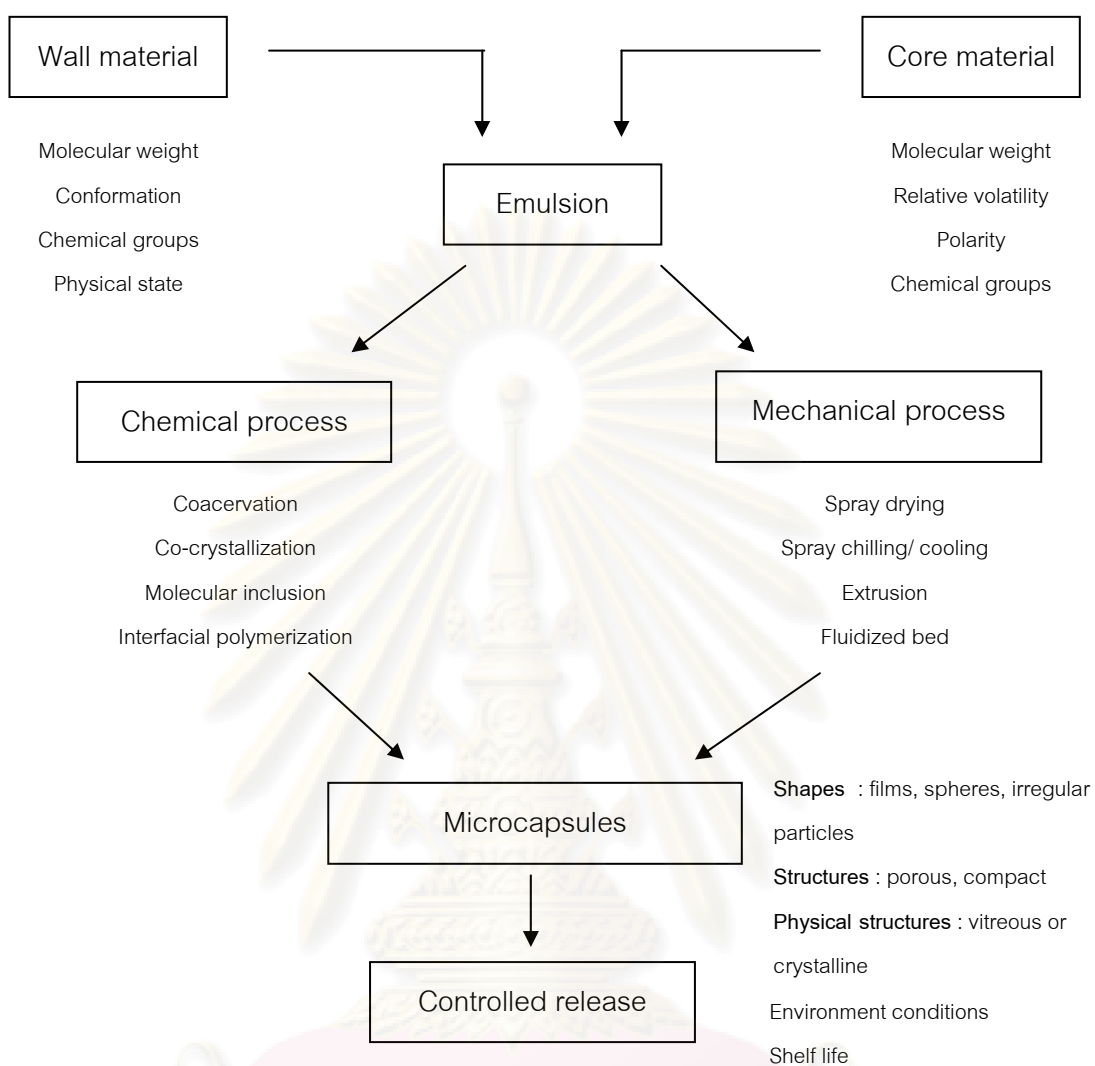
การทำไมโครเอนแคปซูลเลชันเป็นการบรรจุวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซไว้ในแคปซูลขนาดเล็กที่ปิดสนิท สามารถปลดปล่อยวัสดุแกนที่อยู่ภายในออกมาในอัตราที่ควบคุมได้ (controlled rate) ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ (Todd, 1970; Dziezak, 1988) ไมโครแคปซูลประกอบด้วย วัสดุแกน (core material) ซึ่งเป็นสารที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น สารให้กลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ สารให้ความหวาน สี ไขมันและน้ำมัน เป็นต้น โดยจะถูกเคลือบด้วยสารเคลือบ (wall material) ที่เหมาะสม ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันวัสดุแกนจากการเสื่อมเสีย สะดวกในการขนส่งและปลดปล่อยวัสดุแกนออกมาภายใต้ภาวะที่กำหนด โดยสารเคลือบที่นำมาเคลือบวัสดุแกนต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุแกน และอยู่ในรูปที่สามารถควบคุมได้ง่าย เช่น ความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง สามารถกำจัดตัวทำละลายในกระบวนการได้ทั้งหมด ป้องกันวัสดุแกนไม่ให้ถูกทำลายจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ให้ได้ลักษณะของอิมัลชันที่มีความคงตัว (Trubiano and Lacourse, 1988; Shahidi and Han, 1993)

สำหรับเทคนิคการทำไมโครแคปซูลมีหลายวิธีทั้งทางเคมี ได้แก่ coacervation, co-crystallization, molecular inclusion, interfacial polymerization และเชิงกล ได้แก่ spray drying, spray chilling/ cooling, extrusion และ fluidized bed (รูปที่ 2.2) โดยลักษณะไมโครแคปซูลที่ได้มีรูปร่างที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ได้แก่ ไมโครแคปซูลทรงกลมที่วัสดุแกนถูกล้อมรอบด้วยสารเคลือบที่มีความหนาเท่ากัน (simple), อนุภาคไมโครแคปซูลที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular), ไมโครแคปซูลที่ประกอบด้วยวัสดุแกนหยดเล็กๆจำนวนมากฝังตัวอยู่ใน matrix ของสารเคลือบ, ไมโครแคปซูลที่ประกอบด้วยวัสดุแกนจำนวนมากกว่า 1 อนุภาคหรือวัสดุแกนมากกว่า 1 ชนิด (multi-core) และไมโครแคปซูลที่ประกอบด้วยชั้นของสารเคลือบมากกว่าหนึ่งชั้น (multi-wall) ดังรูปที่ 2.3 โดยเทคนิคการทำไมโครแคปซูลที่นิยมที่สุดคือ การทำแห้งแบบพ่น (spray drying) (Deis, 1997) เนื่องจากเครื่องมือหาง่าย ต้นทุนในการผลิตต่ำ ใช้กับวัสดุแกนได้หลากหลาย กักเก็บสารระเหยได้ดี ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความคงตัว และเป็นการผลิตแบบต่อเนื่องในระดับอุตสาหกรรม (Reineccius, 1989) ใช้ได้กับวัสดุแกนที่มีจุดเดือดต่ำ หรือไวต่อความร้อน Shahidi และ Han (1993) ได้กล่าวว่าการทำไมโครแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่นประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมอิมัลชันที่มีความคงตัวโดยวัสดุแกนกระจายตัวในสารละลายของสารเคลือบ, การ homogenize อิมัลชัน, การป้อนอิมัลชันผ่าน atomizer และการระเหยของน้ำออกจากละออง

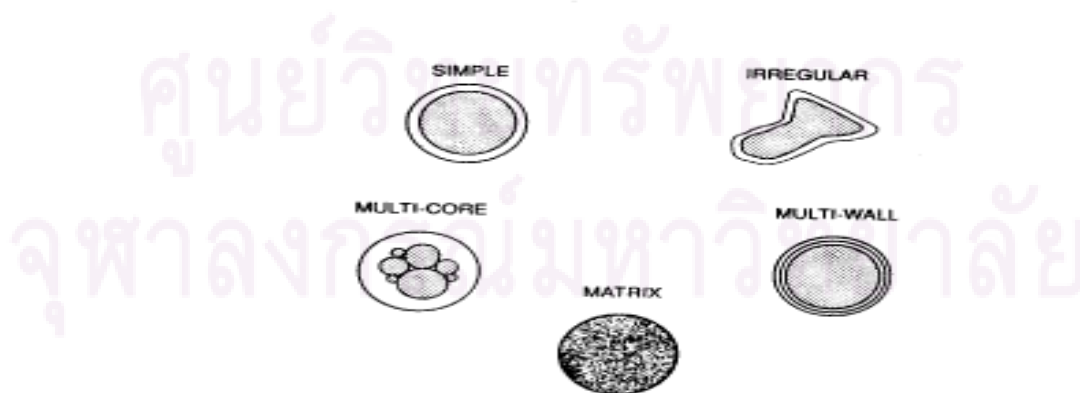
อิมัลชัน โดยขั้นตอนของการทำแห้งแบบพ่น เริ่มจากป้อนอิมัลชันเข้าเครื่องทำแห้ง จากนั้นอิมัลชัน จะถูกดันออกโดย atomizer ซึ่งความดันและแรงเหวี่ยงทำให้เกิดเป็นหยดทรงกลมเล็กๆของวัสดุแกน ที่ถูกล้อมรอบด้วยสารเคลือบในห้องอบแห้ง (drying chamber) ที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน เมื่อละออง อิมัลชันสัมผัสกับอากาศร้อน จึงเกิดการถ่ายโอนความร้อนจากอากาศไปยังละอองอิมัลชัน ทำให้ ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสารเคลือบมี การพอร์มฟิล์มที่ผิวอนุภาค ด้วยระยะในกระบวนการทำแห้งและอัตราการระเหยของน้ำที่สั้น ส่งผล ให้อุณหภูมิของวัสดุแกนต่ำกว่า 40°C ดังนั้นจึงสามารถป้องกันวัสดุแกนจากการเกิดออกซิเดชันได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ โดยวัสดุแกนจะถูกบรรจุอยู่ ภายในสารเคลือบ ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการทำแห้งแบบพ่นให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สมบัติของสารเคลือบและอุณหภูมิลมร้อน หากเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนในช่วงแรกสูงขึ้น การระเหยของ น้ำที่ผิวอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้พื้นผิวของอนุภาคมีการหดตัว (Dziedzic, 1988 และ Gharsallaoui *et al.*, 2007)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนและวิธีการต่างๆในการทำ microencapsulation
ที่มา : Madene และคณะ (2006)



รูปที่ 2.3 รูปร่างไมโครแคปซูลแบบต่างๆ
ที่มา : Wong (1998)

สารเคลือบที่ใช้ในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันด้วยการทำแห้งแบบพ่น

มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin), $(C_6H_{10}O_5)_n$ ได้จากการย่อยสลายบางส่วนของแป้งด้วยการกรดหรือเอนไซม์ ซึ่งปริมาณการถูกไฮโดรไลซิสของแป้งบ่งชี้ด้วยค่า dextrose equivalent (DE) โดย maltodextrin ที่ระดับ DE ต่างกัน จะให้ความคงตัวในการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบแตกต่างกัน Anandaraman และ Reineccius (1986) พบว่า maltodextrin ที่ระดับ DE สูง สามารถป้องกันการออกซิเดชันของน้ำมันจากเปลือกส้มได้ดี แต่ระดับ DE ไม่ควรเกิน 20 เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อน ทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีปริมาณความชื้นภายในไมโครแคปซูลเหลืออยู่สูง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ (Desobry, Netto, and Labuza, 1997) Adamiec และ Kalemba (2006) ศึกษาการทำไมโครแคปซูลน้ำมันสัระระแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่น โดยใช้ maltodextrin (DE16) ทำหน้าที่เป็นสารเคลือบที่ปริมาณ 30% total solid และแปรปริมาณน้ำมันสัระระแห้งที่ 10%-30% ของน้ำหนักอิมัลชัน พบว่าประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันสัระระแห้งลดลงจาก 70.60% เป็น 59.20% เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจาก 10 เป็น 30% แม้ว่า maltodextrin จะมีราคาถูก ให้ความหนืดต่ำที่ปริมาณความเข้มข้นสูง และไม่มีรสชาติ (Apintanapong and Noomhorm, 2003) แต่ก็ขาดความสามารถในการทำหน้าที่เป็น emulsifier (Reineccius, 1991) ดังนั้นจึงควรใช้ maltodextrin ร่วมกับสารเคลือบชนิดอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ห่อหุ้มวัสดุแกน โดยจากเตรียมอิมัลชันเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญในผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันโดยการทำแห้งแบบพ่น (Ré, 1998) ซึ่งอิมัลชันต้องมีความคงตัว หยดน้ำมันควรมีขนาดค่อนข้างเล็ก และความหนืดต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดบอลลูนของอนุภาคที่ได้จากการทำแห้ง ซึ่งจะทำให้ภายในอนุภาคมีอากาศอยู่ (Walton and Mumford, 1999) และเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน (Drusch and Schwarz, 2006 ; Keogh *et al.*, 2001)

กัม (gum) มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำ มีสมบัติเป็น emulsifier กักเก็บวัสดุแกนที่เป็นน้ำมันได้ดี สามารถลดแรงตึงผิว และป้องกันวัสดุแกนจากการเสื่อมเสียจากภาวะแวดล้อม McNamee, O'Riordan, และ O'Sullivan (1998) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง(วัสดุแกน):gum arabic (สารเคลือบ) ต่อการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:gum arabic เพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดหยดน้ำมันใหญ่ขึ้น โดยเมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:gum arabic น้อยกว่า 2.0 ขนาดหยดน้ำมันที่ได้จะน้อยกว่า $1 \mu m$ ซึ่งเป็นขนาดที่ให้ความคงตัวของอิมัลชันมากที่สุด (Thevennet, 1988) และการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:gum arabic ให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำแห้งแบบพ่นลดลง อนุภาคไมโครแคปซูลหลังจากการทำแห้งมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลมากขึ้น ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลลดลง Beristain, García, และ Vernon-Carter (2001) ศึกษาความสามารถของ mesquite gum ในการเคลือบน้ำมัน

กระบวนการเพื่อผลิตไมโครแคปซูล โดยแปรอัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบที่ 1:3 ถึง 1:5 (w/w) และทำแห้งแบบพ่นที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (inlet temperature) เท่ากับ $200\pm 5^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิลมร้อนออกจากเครื่องทำแห้ง (outlet temperature) เท่ากับ $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบลดลง ขนาดหยดน้ำมันเฉลี่ย ($D_{3,2}$) เล็กลงจาก 3.12 เป็น $2.59\ \mu\text{m}$, ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลน้อยลง และสามารถกักเก็บวัสดุแกนในไมโครแคปซูลได้มากขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบ ที่ 1:4 ให้ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลสูงที่สุด (83.6%)

โปรตีน (protein) ถูกนำมาใช้ในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันจำนวนมาก เนื่องจากมีความหลากหลายของหมู่ทางเคมี สมบัติในการเป็น amphiphilic (มีขั้วและไม่ขั้วอยู่ในตัวจึงทำให้สามารถเข้ากับน้ำและน้ำมันได้) สามารถรวมตัวกันเองหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และสายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่น ทำให้โปรตีนมีข้อดีในการเป็นสารเคลือบคือสามารถละลายน้ำได้, เป็น emulsifier, ให้ความข้นหนืดและเกิดฟิล์ม ซึ่งในกระบวนการทำไมโครแคปซูล โปรตีนจะถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วและเข้าไปอยู่ระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำ (oil-water interface) เกิดเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัว ป้องกันการรวมตัวกันของหยดน้ำมันในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Dalgleish, 1997; Dickinson, 2001) ตัวอย่างโปรตีนที่นำมาใช้เป็นสารเคลือบในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันได้แก่ soy protein isolates, whey protein และ sodium caseinate เป็นต้น Kim, Morr, และ Schenz (1996) ศึกษาการทำไมโครแคปซูลน้ำมันจากเปลือกส้มโดยเปรียบเทียบความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบของสารเคลือบชนิดต่างๆ ได้แก่ gum arabic, soy protein isolate, whey protein isolate และ sodium caseinate โดยพิจารณาความคงตัวของอิมัลชัน ขนาดหยดน้ำมัน และการกระจายตัวของขนาดหยดน้ำมัน พบว่า soy protein isolate ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาอิมัลชันเป็นระยะเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ $20-25^{\circ}\text{C}$ รองลงมาเป็น sodium caseinate, whey protein isolate และ gum arabic ตามลำดับ แต่ขนาดหยดน้ำมันของ soy protein isolate มีขนาดใหญ่กว่า sodium caseinate โดย sodium caseinate ให้อิมัลชันที่มีขนาดหยดน้ำมันเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบชนิดอื่นๆ ซึ่งอิมัลชันที่หยดน้ำมันมีขนาดเล็กมีความคงตัวทางกายภาพมากกว่าอิมัลชันที่หยดน้ำมันมีขนาดใหญ่ (Kim, Morr, และ Schenz, 1996)

Kim และ Morr (1996) เปรียบเทียบสารเคลือบชนิดต่างๆ ต่อสมบัติทางกายภาพ, เคมี และอัตราการปลดปล่อยของค์ประกอบของสารระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันจากเปลือกส้มที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่น พบว่าไมโครแคปซูลของสารเคลือบ sodium caseinate, whey protein isolate และ soy protein isolate มีลักษณะคล้ายกันคือมีรูปร่างกลม ผิวเรียบ ขนาดไม่สม่ำเสมอ บางอนุภาคมีรอยแตกหักและรูที่ผิวไมโครแคปซูล แต่ไมโครแคปซูลที่ถูกเคลือบด้วย gum arabic มีรอยย่นที่ผิว

จำนวนมาก สำหรับประสิทธิภาพของการทำไมโครแคปซูลพบว่า soy protein isolate และ sodium caseinate มีประสิทธิภาพสูงกว่า gum arabic และ whey protein isolate โดยการมี ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลสูงจะส่งผลให้สามารถเก็บรักษาองค์ประกอบสารระเหยของ น้ำมันจากเปลือกส้มในระหว่างการทำแห้งได้ดีกว่า gum arabic และ whey protein isolate

Hogan และคณะ (2001a) ศึกษาศึกษาคุณภาพของ sodium caseinate ในการทำหน้าที่เป็น สารเคลือบสำหรับทำไมโครแคปซูลน้ำมันถั่วเหลือง โดยแปรอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง: sodium caseinate ที่ 0.25-3.00 และความดันในการ homogenize ที่ 10-50 MPa พบว่า เมื่อเพิ่ม อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:sodium caseinate ทำให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้น และประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลลดลงจาก 89.15% เป็น 18.80% โดยไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:sodium caseinate เท่ากับ 3.00 มี ลักษณะรูปร่างทรงกลม พื้นผิวไมโครแคปซูลเรียบ มีการรวมตัวกันของอนุภาค โครงสร้างภายในเป็น โพรงขนาดใหญ่ ขณะที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง:sodium caseinate เท่ากับ 0.25 พื้นผิว ไมโครแคปซูลหลายอนุภาคมีรอยยุบตัว การเพิ่มความดันในการ homogenize จาก 10 MPa (100 bar) เป็น 20 MPa (200 bar) มีผลทำให้หยดน้ำมันและอนุภาค ไมโครแคปซูลมีขนาดเล็กลง แต่ที่ ความดันในการ homogenize มากกว่า 20 MPa (200 bar) หยดน้ำมันและอนุภาคไมโครแคปซูลจะมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากสมบัติของสารเคลือบดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าสารเคลือบเพียงชนิดเดียวไม่ สามารถให้สมบัติในการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบที่สมบูรณ์ จึงมีการใช้สารเคลือบผสมจากสารเคลือบที่กล่าวไว้ข้างต้นมากกว่า 1 ชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูล Dian, Sudin, และ Yusoff (1996) ศึกษาชนิดของสารเคลือบผสมต่อสมบัติไมโครแคปซูลน้ำมันปาล์มแดง ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่น โดยแปรสารเคลือบผสม 2 ชนิดคือ สารเคลือบผสมระหว่าง maltodextrin (DE15):sodium caseinate และสารเคลือบผสมระหว่าง maltodextrin (DE15):gum acacia โดย สารเคลือบผสมทั้งสองชนิดใช้อัตราส่วนที่เท่ากันคือ 80:20 และเติม lecithin ประมาณ 2% ของ น้ำหนักทั้งหมด (ทำหน้าที่เป็น emulsifier) พบว่าสารเคลือบผสมระหว่าง maltodextrin:sodium caseinate มีสมบัติในการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบไมโครแคปซูลน้ำมันปาล์มแดงได้ดีกว่าสารเคลือบผสมระหว่าง maltodextrin: gum acacia เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล และ ปริมาณความชื้นน้อยกว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลมากกว่า ส่งผลทำให้มี ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันปาล์มแดงสูงกว่า อีกทั้งยังสามารถกักเก็บสารแคโรทีน ซึ่งมีมากในน้ำมันปาล์มแดงได้ดีทั้งในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นและหลังจากผ่านการเก็บรักษาเป็น ระยะเวลา 2 สัปดาห์

Hogan และคณะ (2001b) ผสมสารเคลือบ 2 ชนิดคือ sodium caseinate และ carbohydrate ที่ระดับ DE ต่างๆ (maltodextrin DE 5.5, 14, 18.5 และ corn syrup solid DE 28, 38) ในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันถั่วเหลืองโดยศึกษาผลของระดับ DE, อัตราส่วนระหว่าง sodium caseinate:carbohydrate, อัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบ และปริมาณ total solid พบว่าการเพิ่มค่า DE ไม่มีผลต่อขนาดหยดน้ำมันและขนาดอนุภาค แต่มีผลทำให้ความหนืดลดลงและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น การลดอัตราส่วนระหว่าง sodium caseinate:carbohydrate จาก 1:4 เป็น 1:49 ทำให้หยดน้ำมันและอนุภาคไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลลดลง การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบ มีผลต่อขนาดหยดน้ำมัน ขนาดอนุภาค และประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล โดยที่อัตราส่วนระหว่างวัสดุแกน:สารเคลือบมากกว่า 1.0 (หรือ 50:50) ทำให้หยดน้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลลดลง จาก 94.1% เป็น 76.0% และการเพิ่มปริมาณ total solid เกิน 20% (w/w) มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลลดลง Yu และคณะ (2007) ศึกษาภาวะการเตรียมอิมัลชันและการทำไมโครแคปซูล phospholipid ด้วยการทำให้แห้งแบบพ่น โดยแปรสารเคลือบ 3 ชนิดได้แก่ sodium caseinate, gelatin และ soy protein ซึ่งสารเคลือบทั้งหมดจะถูกผสมกับ maltodextrin ที่อัตราส่วนระหว่าง maltodextrin:สารเคลือบแต่ละชนิดตั้งแต่ 50:50 จนถึง 90:10 จากนั้นแปรความดันในการ homogenize (150 ถึง 550 bar), ปริมาณ emulsifier (1% ถึง 3% ของน้ำหนักทั้งหมด), ปริมาณ total solid (14% ถึง 26%) พบว่าชนิดสารเคลือบ, ความดันในการ homogenize และปริมาณ emulsifier มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน โดย sodium caseinate ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวและความหนืดมากกว่าสารเคลือบชนิดอื่น ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง maltodextrin:sodium caseinate ทำให้ความคงตัวและความหนืดของอิมัลชันลดลง เมื่อความดันในการ homogenize เพิ่มจาก 150 bar ถึง 400 bar และเมื่อปริมาณ emulsifier เพิ่มจาก 1.5% ถึง 2.5% ของน้ำหนักทั้งหมด ทำให้ความหนืดของอิมัลชันลดลงเช่นเดียวกัน สำหรับประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ total solid จาก 14% เป็น 20% โดยประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณ total solid เท่ากับ 20% (w/w) หลังจากนั้นประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ total solid ส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น

Drusch และคณะ (2006) เปรียบเทียบการใช้ trehalose และ glucose syrup ร่วมกับ n-octenylsuccinate-derivatised starch (OSA) ต่อลักษณะเคมีกายภาพและความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไมโครแคปซูลน้ำมันปลา โดยแปรปริมาณน้ำมันปลาที่ 10% และ 40% ของน้ำหนักอิมัลชัน พบว่าสมบัติทางเคมีกายภาพ (ค่า water activity, ปริมาณความชื้น, ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล, ความหนาแน่นของอนุภาค, ขนาดหยดน้ำมัน, ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูล

ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์, propanal และ conjugated diene) ของไมโครแคปซูลน้ำมันปลา จากสารเคลือบที่ใช้ trehalose มีค่าน้อยกว่าไมโครแคปซูลน้ำมันปลาจากสารเคลือบที่ใช้ glucose syrup และการเพิ่มปริมาณน้ำมันปลามีผลทำให้ค่า a_w , ปริมาณความชื้น, ความหนาแน่นของอนุภาคมีค่าลดลง แต่ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์, propanal และ conjugated dienes มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 54% เป็นระยะเวลา 21 วัน แสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันปลามีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น Serfert, Drusch, Schmidt-Hansberg และคณะ (2009) ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเคลือบ OSA ร่วมกับ glucose syrup และภาวะการทำแห้งแบบพ่นต่อลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันปลา, การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการทำแห้งและเก็บรักษา โดยแปรผันน้ำหนักมวลโมเลกุลเฉลี่ยของ OSA (ต่ำกว่า 50 Da – 400 Da), ภาวะการทำแห้งแบบพ่น (อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง/อุณหภูมิลมร้อนออกจากเครื่องทำแห้ง = 160/70°C และ 210/90°C), การอัดก๊าซไนโตรเจนในอิมัลชันและทำแห้งแบบพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจน เปรียบเทียบกับอิมัลชันที่ไม่อัดก๊าซไนโตรเจนและทำแห้งแบบพ่นด้วยก๊าซออกซิเจน โดยเตรียมอิมัลชันจากสารเคลือบผสมระหว่าง OSA และ glucose syrup ที่อัตราส่วน 1:5 และน้ำมันปลา 40% ของน้ำหนักอิมัลชัน พบว่าเมื่อน้ำหนักมวลโมเลกุลเฉลี่ยของ OSA มากขึ้น อนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันปลาที่ได้จะใหญ่ขึ้น ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณ air inclusion ในอนุภาคเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องอบแห้งจาก 160/70°C เป็น 210/90°C ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลมากขึ้น ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์เพิ่มจาก 0.5 mmol/kg oil (1.0 meq.O₂/ kg oil) เป็น 1.5 mmol/kg oil (3.0 meq.O₂/ kg oil) และการอัดก๊าซไนโตรเจนในอิมัลชันและทำแห้งแบบพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้อนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันปลามีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าอิมัลชันที่ไม่ถูกอัดก๊าซไนโตรเจนและทำแห้งแบบพ่นด้วยก๊าซออกซิเจน Serfert, Drusch, และ Schwarz (2009) ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่าหนึ่งตำแหน่งในระหว่างกระบวนการทำไมโครแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่น โดยเตรียมอิมัลชันจากน้ำมันปลาและสารละลายของสารเคลือบ OSA และ glucose syrup ทำแห้งแบบพ่นที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งที่ 180/70°C พบว่าอิมัลชันที่ได้หลังจากผ่านการ homogenize มีปริมาณเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรง shear บวกกับการเคลื่อนที่แบบ turbulence มีผลทำให้หยดน้ำมันของอิมัลชันเกิดการแตกตัว เพิ่มพื้นที่ผิวของหยดน้ำมัน และเพิ่มการกระจายตัวของออกซิเจน ซึ่งอาจทำให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และหลังจากการทำแห้งแบบพ่นไมโครแคปซูลที่ได้มีปริมาณเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

- แมคาเดเมีย คละพันธุ์ระหว่างพันธุ์โปงแยง 741, โปงแยง 344, โปงแยง 508, โปงแยง 660, ดอยสะเก็ด 800 และดอยสะเก็ด 344 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ให้ คุณประพัทธ์ พิมพ์ประไพธ ตำบลโปงแยง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยแมคาเดเมียที่ถูกส่งมาจะถูกบรรจุในลังกระดาษขนส่งด้วยรถบรรทุกมายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- น้ำมันมะกอก (Refined olive pomace ผสมกับ Extra virgin olive oil) ยี่ห้อ โคโตลิว่า (COTOLIVA[®]) (Food Grade), ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 15, กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งร้อยละ 70 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งร้อยละ 15, ผลิตจากประเทศสเปน ซื้อจากบริษัท เซ็นทรัล ฟู้ด รีเทล จำกัด, สาขาสีลมคอมเพล็กซ์ กรุงเทพฯ
- Sodium caseinate (NaCas) (Food Grade) จากบริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- Maltodextrin (DE 18) (Food Grade) จากบริษัท เบอริลี ยูคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- Lecithin (Food Grade) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, กรุงเทพฯ

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 เตรียมวัตถุดิบน้ำมันแมคาเดเมีย

คัดขนาดเมล็ดแมคาเดเมียและนำเมล็ดแมคาเดเมียมาอบพร้อมกะลาในตู้อบแบบถาด (บริษัท เขียวเฮง จำกัด รุ่น HA-100S, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 50°C นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นแกะกะลาออก บรรจุเนื้อแมคาเดเมียในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตกับ PE ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±1°C เมื่อใช้จะนำออกมาจากตู้เย็นทิ้งไว้จนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นหั่นเนื้อแมคาเดเมียด้วยผ้าขาวบาง แล้วบีบอัดเพื่อแยกน้ำมันครั้งละ 600 กรัม ด้วยเครื่อง hydraulic press (บริษัท เพชรเกษมจักรกลซีรามิค จำกัด รุ่น serial No. 0-1, ประเทศไทย) ที่ความดัน 250 kg/cm² นาน 5 นาที จะได้น้ำมันแมคาเดเมียประมาณ 50% ของปริมาณเนื้อแมคาเดเมียทั้งหมด บรรจุน้ำมันแมคาเดเมียในขวดสีชา เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4±1°C ไว้ใช้

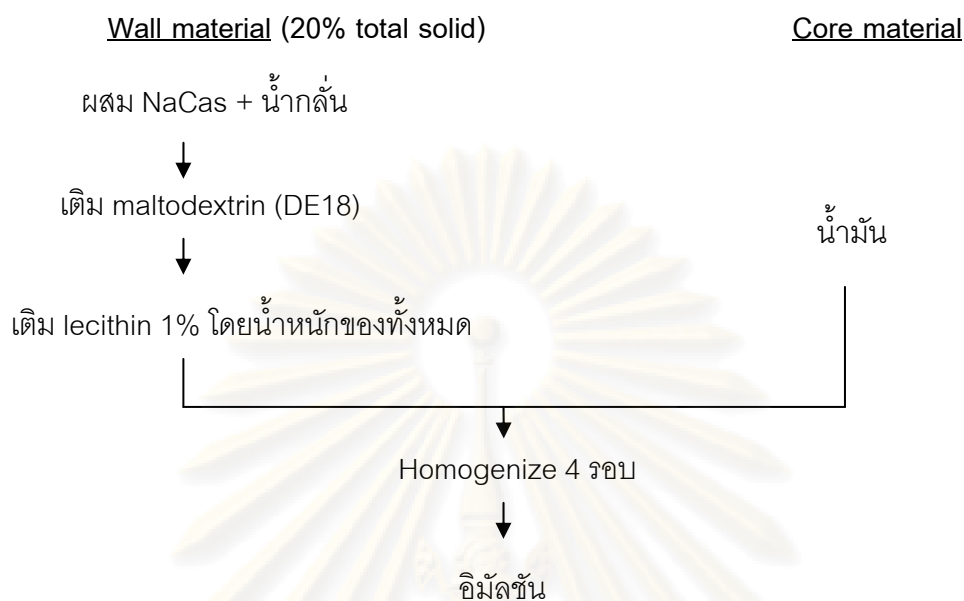
ตลอดการทดลอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างน้ำมันแมคาเดเมียเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (ภาคผนวก ก.1) และปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น (ภาคผนวก ก.2) วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.2.2 ศึกษาผลของภาวะการเตรียมอิมัลชันต่อขนาดหยดน้ำมันและค่าความหนืด

การวิจัยในช่วงแรกใช้น้ำมันมะกอกแทนน้ำมันแมคาเดเมียเนื่องจากยังไม่มีวัตถุดิบแมคาเดเมีย และในน้ำมันมะกอกมีองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะกรดไขมันชนิด oleic ประมาณ 55-85% (Addison *et al.*, 2008) ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันแมคาเดเมีย (ตารางที่ 2.2) การเตรียมตัวอย่างอิมัลชันทำโดยผสมสารเคลือบได้แก่ NaCas และ maltodextrin (DE18) ซึ่งควบคุมปริมาณ total solid ของสารเคลือบผสมเท่ากับร้อยละ 20, น้ำมันซึ่งเป็นวัสดุแกนและ lecithin 1% โดยน้ำหนักของปริมาณทั้งหมดเพื่อทำหน้าที่เป็น emulsifier ด้วยเครื่อง hand mixer (Homemate® รุ่น HA 3086, ประเทศไทย) จากนั้นนำอิมัลชันที่ได้ไป homogenize ด้วยเครื่อง homogenizer (APV Gaulin, Inc. รุ่น 15MR-8TA, USA) 4 รอบ (รูปที่ 3.1) โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณ NaCas:maltodextrin (1:3, 1:4 และ 1:5), อัตราส่วนของสารเคลือบ:วัสดุแกน (50:50, 60:40 และ 70:30) และความดันในการ homogenize (100, 200 และ 300 bar) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ออกแบบการทดลองแบบ 3x3x3 factorial วัดขนาดหยดน้ำมันในตัวอย่างอิมัลชัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ trinocular phase contrast microscope (Olympus รุ่น BX51 TF, Japan) (ภาคผนวก ก.3) และความหนืดของอิมัลชัน ด้วยเครื่อง viscometer (Viscometer Rheology International Shannon Ltd., รุ่น RI:2:L, Ireland) (ภาคผนวก ก.4) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

กำหนด coded level ของตัวแปรตามตารางที่ 3.1 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพิจารณาเลือกภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เหมาะสมด้วย Response Surface Method (RSM) โดยใช้โปรแกรม Design-Expert (version 6) จากความสัมพันธ์ของค่าความหนืดและขนาดหยดน้ำมัน วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 16.0)

ทดลองเตรียมตัวอย่างอิมัลชันจากภาวะที่เหมาะสมที่เลือกโดยใช้น้ำมันแมคาเดเมียเป็นวัสดุแกนแทนน้ำมันมะกอก เปรียบเทียบความแตกต่างของอิมัลชันน้ำมันทั้งสองชนิดจากการวัดขนาดหยดน้ำมันและความหนืด วิเคราะห์ความแตกต่างด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอิมัลชัน

ตารางที่ 3.1 Coded level ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหนืดและขนาดหยดน้ำมัน

Factor	Coded variable	Coded level		
		-1	0	1
NaCas:maltodextrin	A	1:3	1:4	1:5
สารเคลือบ:วัสดุแกน	B	50:50	60:40	70:30
ความดันในการ homogenize(°C)	C	100	200	300

สมการที่ใช้คำนวณหา Coded level ของแต่ละปัจจัย แสดงได้ดังนี้

$$\text{Coded A} = (A - 4) / 1 \quad \text{เมื่อ A คือ 3, 4 และ 5}$$

$$\text{Coded B} = (B - 60) / 10 \quad \text{เมื่อ B คือ 50, 60 และ 70}$$

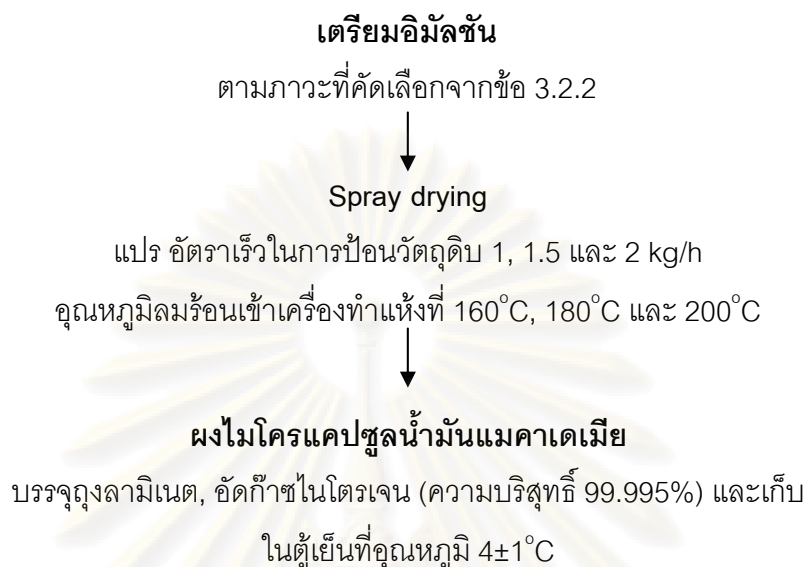
$$\text{Coded C} = (C - 200) / 100 \quad \text{เมื่อ C คือ 100, 200 และ 300}$$

3.2.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นเพื่อผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย

เตรียมตัวอย่างอิมัลชันจากภาวะที่คัดเลือกในข้อ 3.2.2 สุ่มตัวอย่างอิมัลชันและสกัดน้ำมันออกจากตัวอย่าง (ภาคผนวก ก.5) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ นำอิมัลชันมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่น (GEA Niro A/S รุ่น Mobile Minor 2000, Denmark) โดยแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ที่ 1, 1.5 และ 2 kg/h และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง ที่ 160°C, 180°C และ 200°C (รูปที่ 3.2) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ออกแบบการทดลองแบบ 3x3 factorial วิเคราะห์ตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้ดังต่อไปนี้

- ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูล ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-S410LV, Japan)
- ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูล (ภาคผนวก ก.6)
- ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นระบบอินฟราเรด (Infrared moisture analyzer ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น MJ33, Switzerland)
- ความหนาแน่น ด้วยวิธี tapping method (ภาคผนวก ก.7)
- ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล (microencapsulation efficiency, ME(%)) โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (total oil)(ภาคผนวก ก.8) และปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล (surface oil) (ภาคผนวก ก.9) คำนวณค่า ME (ภาคผนวก ก.10)
- ปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่สกัดจากไมโครแคปซูล (ภาคผนวก ก.11)

วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ กำหนด coded level สำหรับแต่ละภาวะการทดลอง ตามตารางที่ 3.2 เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% และพิจารณาเลือกภาวะการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่นที่เหมาะสมด้วย RSM จากความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 16.0) และพิจารณาความแตกต่างของสมบัติต่างๆระหว่างไมโครแคปซูลที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นตามภาวะที่เหมาะสมกับสมบัติของไมโครแคปซูลที่ได้จากการนำ coded level แทนค่าในสมการของแบบจำลองทางสถิติที่ได้จากโปรแกรม RSM



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่น

ตารางที่ 3.2 Coded level ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล

Factor	Coded variable	Coded level		
		-1	0	1
อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (kg/h)	A	1	1.5	2
อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (°C)	B	160	180	200

สมการที่ใช้คำนวณหา Coded level ของแต่ละปัจจัย แสดงได้ดังนี้

$$\text{Coded A} = (A-1.5) / 0.5 \quad \text{เมื่อ A คือ 1, 1.5 และ 2}$$

$$\text{Coded B} = (B-180) / 20 \quad \text{เมื่อ B คือ 160, 180 และ 200}$$

3.2.4 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา

บรรจุตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการเตรียมโดยใช้ภาวะจากข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 ปริมาณ 40 กรัม ในถุงอลูมิเนียมพอยล์ลามิเนต (OPP/AL/PE/LLDPE) ปิดผนึกแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน (โดยจับเวลาในการอัดก๊าซไนโตรเจนตัวอย่างละ 1 นาที) เก็บที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 30°C และทุก 5 วัน สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C เป็นระยะเวลา 2 เดือน ออกแบบการทดลองแบบ 3x2x9 factorial วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันสกัดจากไมโครแคปซูล และประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโดยทดสอบความแตกต่างของกลิ่นหืนในตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย (ตัวอย่างควบคุม) ซึ่งบรรจุในถุงอลูมิเนียมพอยล์ลามิเนตกับ PE แบบอัดก๊าซไนโตรเจน และเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4±1°C (แบบประเมินดังภาคผนวก ก.14) ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน (ภาคผนวก ก.12 และแบบประเมินดังภาคผนวก ก.13) ทำการประเมินทุก 7 วัน

วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 16.0)

3.2.5 ศึกษาความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบไม่มีแสงของน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา

บรรจุน้ำมันแมคาเดเมียปริมาณ 18 มิลลิลิตร ในหลอดแก้วทดลองฝาเกลียว (screw cap test tube) ปิดฝา หุ้มหลอดแก้วด้วยอลูมิเนียมพอยล์ แปรภาวะการเก็บรักษาน้ำมันแมคาเดเมียแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจนในหลอดทดลอง ที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C สุ่มตัวอย่างทุก 4 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ เป็นระยะเวลา 44 วัน ออกแบบการทดลองแบบ 3x2x11 factorial วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์น้ำมันแมคาเดเมีย

เมื่อนำน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการบีบอัดและแยกกากออก มาวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 0.198 ± 0.114 meq.O₂ / kg oil ปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 0.109 ± 0.002 %oleic acid เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ, จุฑาทิพย์ ศุภชัยวีรกุล, และศัจฉา วิวัฒน์บุตรสิริ (2549) ที่ศึกษาปริมาณเปอร์ออกไซด์(มีค่าเท่ากับ 0 ± 0.460 meq.O₂ / kg oil) และปริมาณกรดไขมันอิสระ(มีค่าเท่ากับ 0.170 ± 0.101 %oleic acid) ของน้ำมันแมคาเดเมียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่างานวิจัยของ ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ และคณะ(2549) ขณะที่ศิริพร น้าชม (2552) พบว่าน้ำมันแมคาเดเมียพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 0.400 ± 0.000 meq.O₂ / kg oil และปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 0.030 ± 0.010 %oleic acid และ Phattanayindee (2007) พบว่าแมคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทยออสเตรเลียมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 0.370 ± 0.010 meq.O₂ / kg oil และกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 0.041 ± 0.002 %oleic acid ซึ่งปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่างกันนั้นอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์แมคาเดเมียที่นำมาวิเคราะห์, ภูมิประเทศ, ภูมิอากาศที่ปลูก รวมถึงช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว (Koaze *et al.*, 2002; Phattanayindee, 2007) โดยน้ำมันแมคาเดเมียที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไขมันและน้ำมันบริโภคของประเทศไทย กำหนดไว้คือ ปริมาณเปอร์ออกไซด์ต้องไม่เกิน 10 meq.O₂ / kg oil และปริมาณกรดไขมันอิสระต้องไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม (ประมาณ 0.42%oleic acid) (กระทรวงสาธารณสุข, 2543)

4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชัน

จากการเตรียมอิมัลชันโดยแปรอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin ที่ 1:3, 1:4 และ 1:5 อัตราส่วนของสารเคลือบ:วัสดุแกน(น้ำมันมะกอก) ที่ 50:50, 60:40 และ 70:30 และความดันในการ homogenize ที่ 100, 200 และ 300 bar พบว่าหยดน้ำมันมีขนาดตั้งแต่ $0.51 \mu\text{m}$ ถึง $2.48 \mu\text{m}$ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ขนาดหยดน้ำมันของอิมัลชันที่ภาวะต่างๆ

NaCas : maltodextrin	สารเคลือบ : วัสดุแกน	ความดันในการ homogenize (bar)	ขนาดหยดน้ำมัน $D_{4,3}$ (μm)
1 : 3	50 : 50	100	1.08 ± 0.03 ^{fgh}
		200	1.02 ± 0.11 ^{efgh}
		300	2.48 ± 0.51 ^k
	60 : 40	100	1.13 ± 0.01 ^{fgh}
		200	0.75 ± 0.13 ^{abcd}
		300	0.56 ± 0.09 ^a
	70 : 30	100	0.99 ± 0.08 ^{defgh}
		200	0.51 ± 0.03 ^a
		300	0.56 ± 0.02 ^a
1 : 4	50 : 50	100	1.18 ± 0.04 ^{gh}
		200	0.89 ± 0.04 ^{bcdef}
		300	1.89 ± 0.11 ⁱ
	60 : 40	100	0.93 ± 0.04 ^{cdefg}
		200	0.62 ± 0.01 ^{ab}
		300	0.67 ± 0.01 ^{abc}
	70 : 30	100	1.07 ± 0.11 ^{fgh}
		200	0.68 ± 0.02 ^{abc}
		300	0.66 ± 0.01 ^{abc}
1 : 5	50 : 50	100	1.22 ± 0.06 ^h
		200	0.78 ± 0.01 ^{abcde}
		300	2.17 ± 0.09 ^j
	60 : 40	100	1.04 ± 0.01 ^{efgh}
		200	0.65 ± 0.05 ^{ab}
		300	0.68 ± 0.05 ^{abc}
	70 : 30	100	1.11 ± 0.06 ^{fgh}
		200	0.64 ± 0.08 ^{ab}
		300	0.58 ± 0.02 ^a

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน และอันตรกิริยาของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน และความดันในการ homogenize มีอิทธิพลต่อขนาดหยดน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1) แต่อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin ไม่มีผลต่อขนาดหยดน้ำมัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน หยดน้ำมันมีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Beristain และคณะ (2001) ซึ่งพบว่าขนาดหยดน้ำมันของอิมัลชันน้ำมันกระวานลดลงจาก $3.12 \mu\text{m}$ เป็น $2.59 \mu\text{m}$ เมื่อปริมาณน้ำมันกระวาน (วัสดุแกน) ลดลงเนื่องจากมีปริมาณ mesquite gum (สารเคลือบ) มากพอในการทำหน้าที่เคลือบวัสดุแกน และป้องกันการรวมตัวกันของหยดน้ำมัน (coalescence) และการเพิ่มความดันในการ homogenize มีผลทำให้หยดน้ำมันมีขนาดเล็กลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่แบบ turbulence และ shear forces ในระหว่างการ homogenize เพิ่มขึ้น จึงทำให้หยดน้ำมันมีขนาดเล็กลง (Hogan et al., 2001a) ยกเว้นภาวะการเตรียมอิมัลชันที่อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน เท่ากับ 50:50 และความดันในการ homogenize เท่ากับ 300 bar ที่หยดน้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากหยดน้ำมันมีขนาดเล็กลง พื้นที่ผิวมากขึ้น และมีปริมาณน้ำมันในอิมัลชันมาก จึงทำให้เกิดการรวมตัวกันของหยดน้ำมันได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hogan และคณะ (2001a) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการ homogenize อิมัลชันจาก 10 MPa (100 bar) เป็น 20 MPa (200 bar) หยดน้ำมันแก้วเหลืองมีขนาดลดลง แต่เมื่อเพิ่มความดันจนถึง 50 MPa (500 bar) หยดน้ำมันมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับ Let, Jacobsen, และ Sørensen (2007) ที่พบว่าเมื่อความดันในการ homogenize เพิ่มขึ้น อิมัลชันน้ำมันปลา มีขนาดหยดน้ำมันเล็กลง และ Drusch (2006) ซึ่งศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาโดยใช้ sugar beet pectin และ glucose syrup เป็นสารเคลือบผสม พบว่าการลดปริมาณน้ำมัน (วัสดุแกน) หรือเพิ่มความดันในการ homogenize ทำให้หยดน้ำมันมีขนาดเล็กลง ขณะที่ Kim และคณะ (1996) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจากเปลือกส้มจาก 10% เป็น 30% หยดน้ำมันที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเพิ่มความดันในการ homogenize จาก 70 kg/cm^2 (68.64 bar) เป็น 210 kg/cm^2 (205.93 bar) หยดน้ำมันมีขนาดเล็กลง

จากการวิเคราะห์ความหนืดของอิมัลชัน (ตารางที่ ค.2) พบว่าอิมัลชันมีความหนืดอยู่ในช่วง 19.34 mPa.s ถึง 354.66 mPa.s (ตารางที่ 4.2) โดยอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin, อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน, ความดันในการ homogenize, อันตรกิริยาของอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin กับอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน, อันตรกิริยาของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน กับความดันในการ homogenize และอันตรกิริยาร่วมของทั้งสามปัจจัย มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืดของอิมัลชันที่ภาวะต่างๆ

NaCas : maltodextrin	สารเคลือบ : วัสดุแกน	ความดันในการ homogenize (bar)	ความหนืด (mPa.s)
1 : 3	50 : 50	100	109.68 ± 8.43 ^l
		200	119.50 ± 2.65 ^m
		300	354.66 ± 3.66 ^o
	60 : 40	100	71.65 ± 2.13 ⁱ
		200	53.14 ± 8.12 ^{gh}
		300	44.02 ± 1.12 ^{ef}
	70 : 30	100	31.06 ± 0.72 ^{cd}
		200	30.57 ± 2.45 ^{cd}
		300	28.89 ± 0.70 ^{bcd}
1 : 4	50 : 50	100	80.36 ± 0.88 ^j
		200	90.57 ± 1.44 ^k
		300	182.88 ± 4.64 ⁿ
	60 : 40	100	44.97 ± 2.19 ^{efg}
		200	37.15 ± 0.61 ^{de}
		300	46.79 ± 2.54 ^{fgh}
	70 : 30	100	26.04 ± 2.47 ^{abc}
		200	25.05 ± 2.07 ^{abc}
		300	19.98 ± 1.24 ^a
1 : 5	50 : 50	100	54.96 ± 3.53 ^h
		200	100.88 ± 8.46 ^l
		300	125.75 ± 5.37 ^m
	60 : 40	100	32.50 ± 1.92 ^{cd}
		200	30.76 ± 1.88 ^{cd}
		300	44.18 ± 0.60 ^{ef}
	70 : 30	100	20.59 ± 1.65 ^{ab}
		200	19.75 ± 1.24 ^a
		300	19.34 ± 0.53 ^a

เมื่อลดอัตราส่วนระหว่าง NaCas: maltodextrin (ปริมาณ NaCas น้อยลง) ความหนืดของอิมัลชันมีค่าลดลง เนื่องจาก NaCas มีมวลโมเลกุลมากกว่า maltodextrin ดังนั้นเมื่อลดปริมาณ NaCas ลงจึงทำให้ความหนืดของอิมัลชันลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hogan และคณะ (2001b) ที่พบว่า การลดอัตราส่วนระหว่าง NaCas:corn syrup solid (DE28) ทำให้ความหนืดของอิมัลชันลดลง และเมื่ออัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกนเพิ่มขึ้น ความหนืดของอิมัลชันมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของปริมาณ dispersed phase และการเพิ่มขึ้นของปริมาณ total solid ใน continuous phase (Hogan *et al.*, 2001b) สอดคล้องกับงานวิจัยของ McNamee และคณะ (1998) ซึ่งพบว่าความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการพ่นกระจายของ nozzle ในเครื่องทำแท่งแบบพ่นลดลง อนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลลดลง และเมื่อเพิ่มความดันในการ homogenize ความหนืดของอิมัลชันมีค่าลดลง เนื่องจากความดันในการ homogenize ที่สูงขึ้น ทำให้ของเหลวมีการเสียดสีกันมากขึ้น เกิดแรงเฉือนและการแตกกระจายตัวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น แรงตึงผิวของหยดน้ำมันลดลง ความหนืดของอิมัลชันจึงลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu และคณะ (2007) ที่ศึกษาผลของการเพิ่มความดันในการ homogenize ต่อค่าความหนืดของอิมัลชัน phospholipid โดยแปรความดันในการ homogenize จาก 10 MPa (100 bar) เป็น 60 MPa (600 bar) พบว่าค่าความหนืดของอิมัลชันลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความดันจาก 10 MPa (100 bar) เป็น 40 MPa (400 bar) แต่เมื่อเพิ่มความดันในการ homogenize สูงกว่า 40 MPa (400 bar) ความหนืดของอิมัลชันที่ได้ไม่แตกต่างกัน

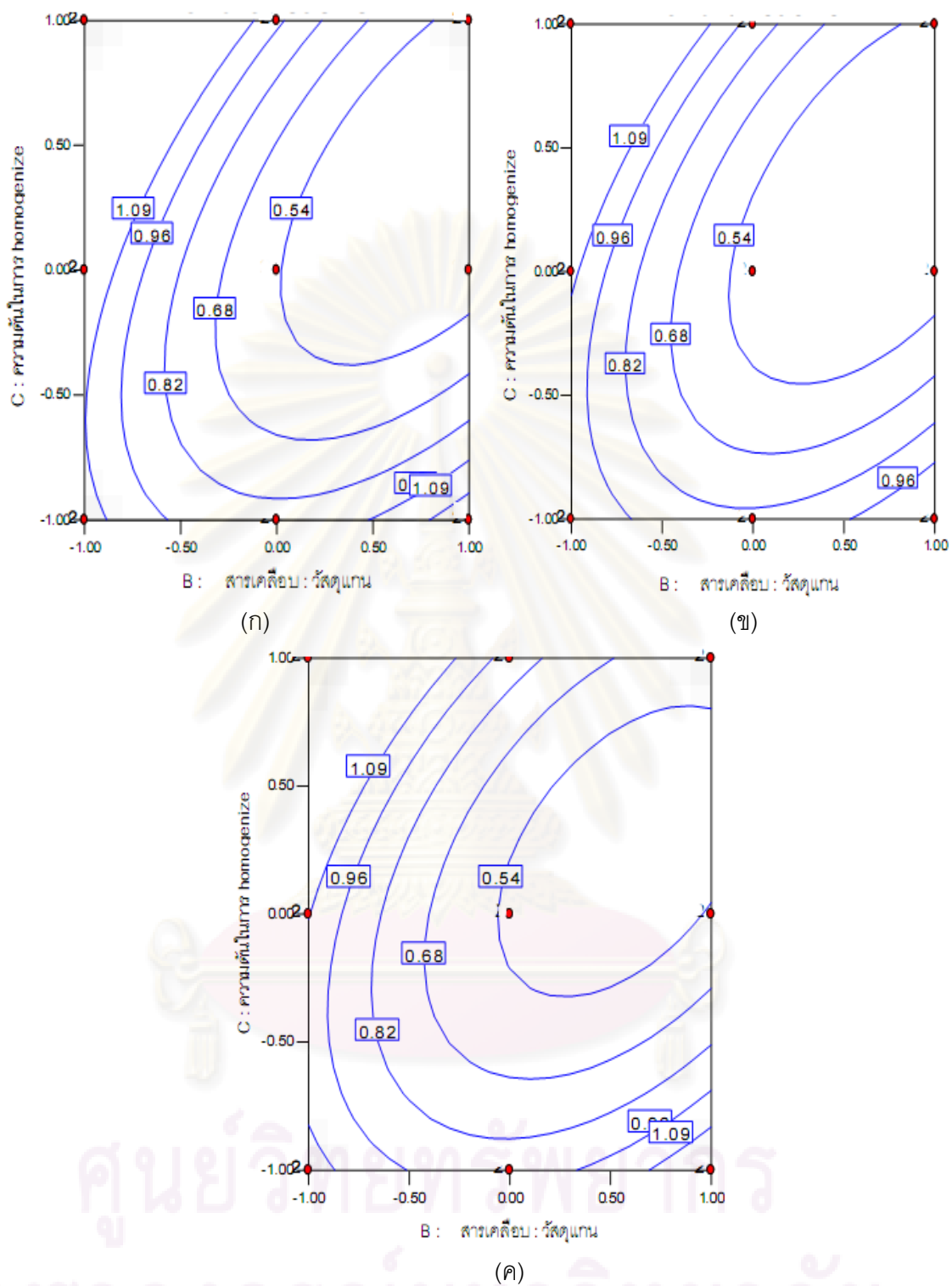
จากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin, อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน และความดันในการ homogenize ต่อขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันด้วย RSM ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสามารถสร้าง contour plot ได้ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ตามลำดับ และเมื่อนำกราฟมาซ้อนทับกัน (superimposed plot) (รูปที่ 4.3) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชัน โดยกำหนดว่าหยดน้ำมันต้องมีขนาดน้อยกว่า $1 \mu\text{m}$ (McNamee *et al.*, 1998) และความหนืดในช่วง 18-179 mPa.s เนื่องจากอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดเล็กจะมีความคงตัวทางกายภาพมากกว่าอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดใหญ่ (Kim *et al.*, 1996) และจากงานวิจัยของ Drusch (2006) ที่พบว่าความหนืดมากที่สุดในการเตรียมตัวอย่างอิมัลชันน้ำมันปลา เพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลจากกระบวนการทำแท่งแบบพ่นที่ไม่มีลักษณะเป็นบอลลูนคือ 179 mPa.s ทำให้ได้บริเวณสีเขียวเป็นบริเวณของภาวะที่มีขนาดหยดน้ำมันและค่าความหนืดของอิมัลชันตามที่กำหนด โดยภาวะที่เหมาะสมที่เลือกสำหรับการเตรียมอิมัลชันคือ อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin เท่ากับ 1:4 (coded value = 0) อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน เท่ากับ 60:40 (coded value = 0) และความดันในการ homogenize เท่ากับ 200 bar (coded

value = 0) (รูปที่ 4.3 ข) เนื่องจากใช้ปริมาณ NaCas น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin ที่ 1:3 ทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและยังคงสมบัติของอิมัลชันที่ต้องการได้ และภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือกใกล้เคียงกับภาวะการเตรียมอิมัลชันในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันปลาของ Serfert, Drusch, Schmidt-Hansberg และคณะ (2009) ที่ใช้น้ำมันปลาปริมาณ 40% ของน้ำหนักอิมัลชัน (หรืออัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน เท่ากับ 60:40) ผสมในสารละลาย OSA และ glucose syrup ขณะที่ McNamee และคณะ(1998) ใช้ความดันที่ 20 MPa (200 bar) ในการ homogenize อิมัลชันของสารละลาย gum arabic และน้ำมันถั่วเหลือง ส่วน Drusch และคณะ(2006) ผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันปลาโดยเตรียมตัวอย่างอิมัลชันจากน้ำมันปลาปริมาณ 40% ของน้ำหนักอิมัลชัน ผสมในสารละลาย OSA และ glucose syrup (DE38) และ homogenize ที่ความดัน 200/50 bar (เครื่อง homogenizer แบบปรับความดัน 2 ระดับ)

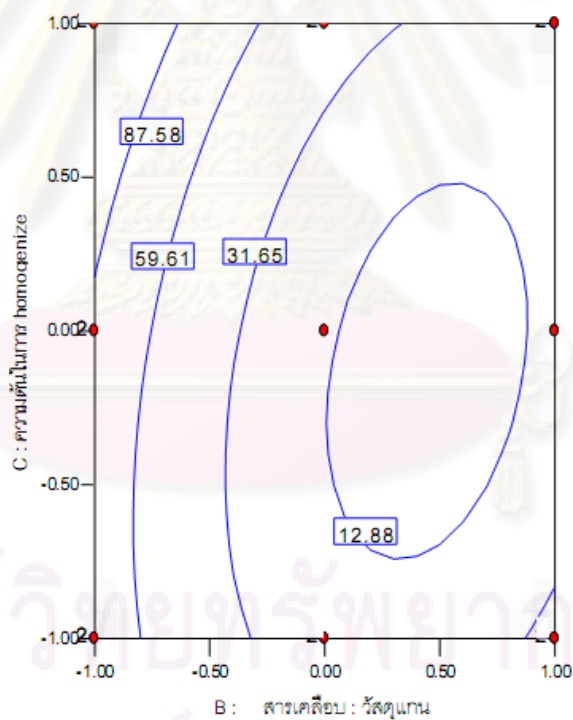
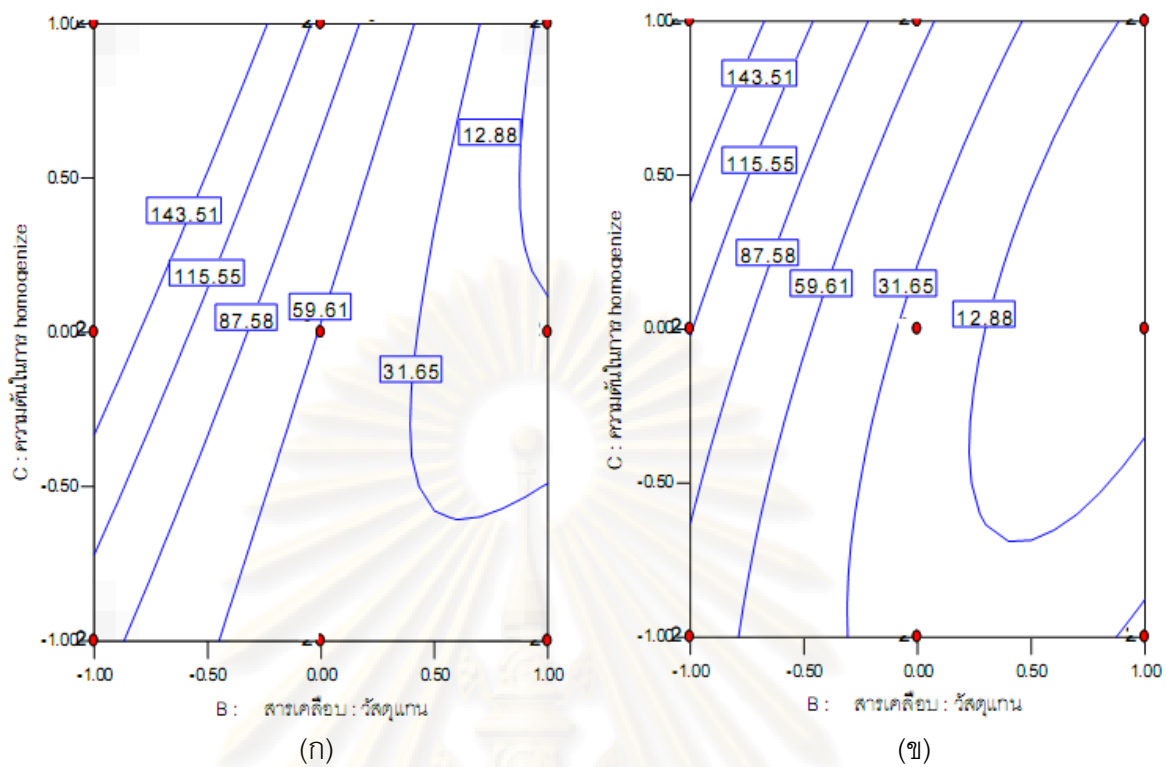
$$\begin{aligned} \text{oil droplet size} = & 0.49 - 0.013A - 0.33B + 0.028C + 0.041A^2 + 0.30B^2 + 0.39C^2 \\ & + 0.057AB - 0.028AC - 0.37BC + 0.044ABC \quad (R^2=0.7971)\dots(4.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{viscosity} = & 26.25 - 21.85A - 55.49B + 21.92C + 10.29A^2 + 35.06B^2 + 17.86C^2 \\ & + 22.53AB - 11.16AC - 35.64BC + 21.88ABC \quad (R^2= 0.8513)\dots(4.2) \end{aligned}$$

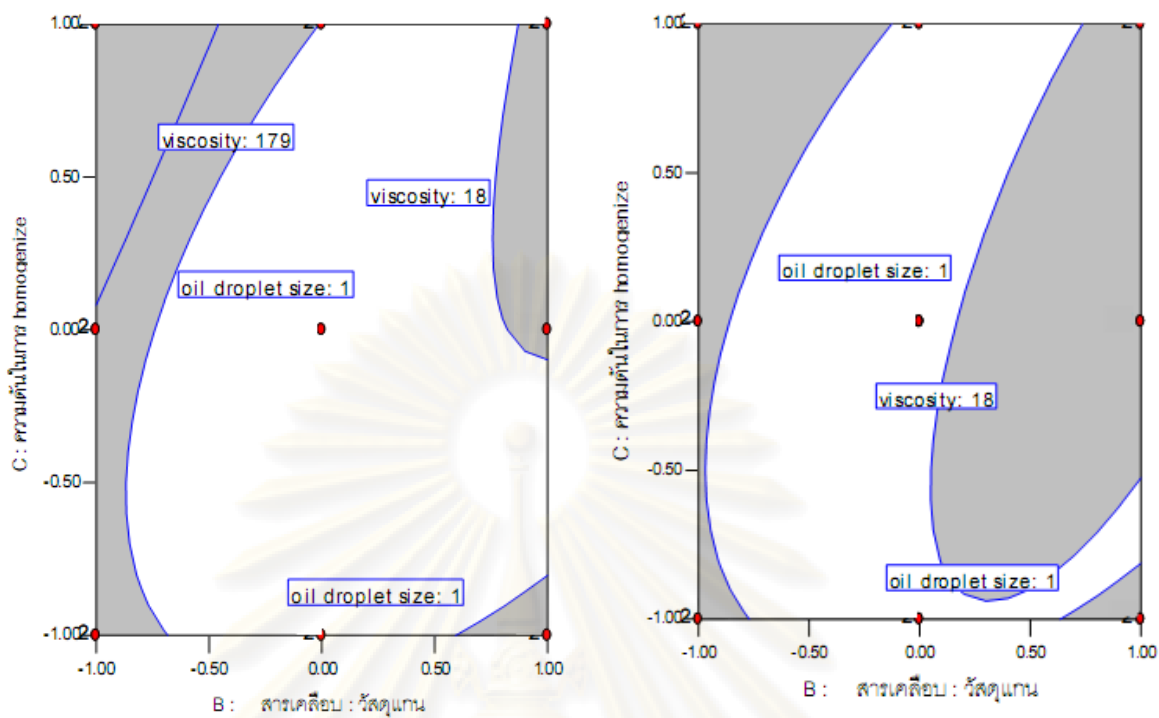
เมื่อ A คือ coded value ของอัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin, B คือ coded value ของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน และ C คือ coded value ของความดันในการ homogenize



รูปที่ 4.1 Contour plot ของขนาดหยดน้ำมันของตัวอย่างอิมัลชัน (ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:4, และ (ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:5

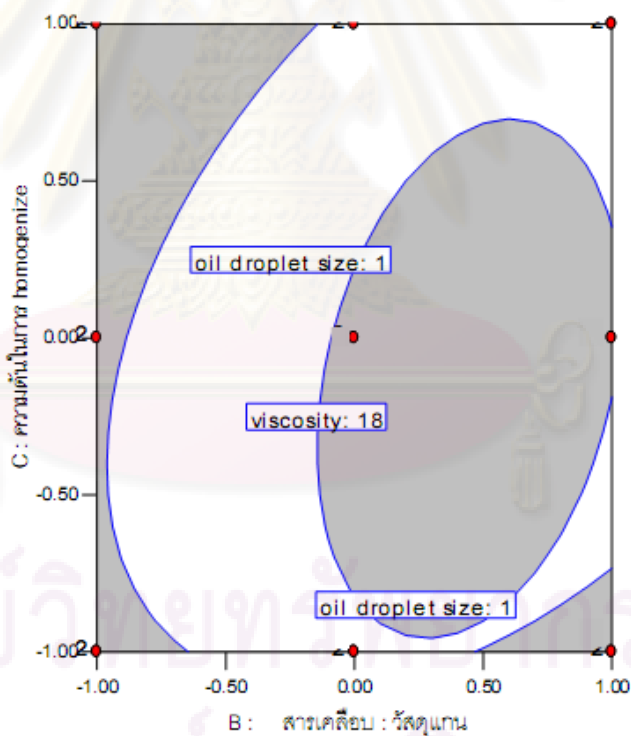


รูปที่ 4.2 Contour plot ค่าความหนืดของตัวอย่างอิมัลชัน (ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas: maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:4, และ (ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:5



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 Overlay plot ของขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของตัวอย่างอิมัลชัน

(ก) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:3, (ข) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:4, และ(ค) อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin = 1:5

เนื่องจากภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือก (อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin ที่ 1:4, อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน ที่ 60:40 และความดันในการ homogenize ที่ 200 bar) เป็นการใช้ไขมันมะกอกแทนไขมันแมคาเดเมีย ดังนั้นจึงได้ทวนสอบภาวะการเตรียมอิมัลชันดังกล่าวเมื่อเปลี่ยนวัสดุแกนจากไขมันมะกอกเป็นไขมันแมคาเดเมียโดยวัดขนาดหยดน้ำมันและค่าความหนืดของอิมัลชันน้ำมันแมคาเดเมียเปรียบเทียบกับอิมัลชันน้ำมันมะกอก (ตารางที่ 4.3) พบว่าขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันจากน้ำมันทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.3 และ ค.4) ดังนั้นภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือกสามารถใช้ได้กับวัสดุแกนที่เป็นไขมันแมคาเดเมียเพื่อศึกษาผลของการทำแห้งโดยการทำแห้งแบบพ่นต่อไป

ตารางที่ 4.3 ขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันจากน้ำมันสองชนิด

อิมัลชัน	ขนาดหยดน้ำมัน (μm) ^{ns}	ความหนืด (mPa.s) ^{ns}
น้ำมันมะกอก	0.62 ± 0.01	37.15 ± 0.61
น้ำมันแมคาเดเมีย	0.64 ± 0.01	37.81 ± 0.63

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4.3 ผลของภาวะการทำแห้งแบบพ่นต่อสมบัติไมโครแคปซูล

4.3.1 ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย

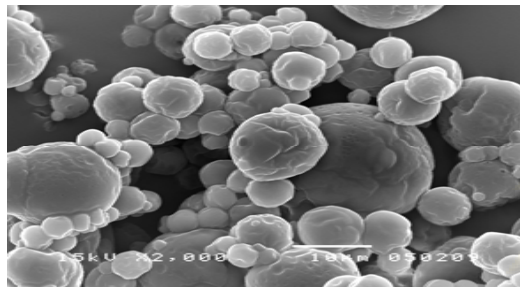
จากการตรวจลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ภาวะการทำแห้งต่างๆ (รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5) พบว่าไมโครแคปซูลที่ได้มีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือมีรูปทรงกลม ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ พื้นผิวมีรอยย่น ซึ่งอาจเนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำบริเวณพื้นผิวอนุภาคเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดรอยย่นที่ผิวไมโครแคปซูล (Moreau and Rosenberg, 1993; Gharsallaoui *et al.*, 2007) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Klinkesorn และคณะ (2006) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 165°C ถึง 195°C ที่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเท่ากับ 2.2 kg/h ไม่มีผลต่อลักษณะอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันปลาที่ได้ และ Yu และคณะ (2007) พบว่าอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นต่ำกว่า 120°C อนุภาคไมโครแคปซูล phospholipid จะเกิดการรวมตัวกัน (agglomeration) และมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่มาก แต่ถ้าให้อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นสูงกว่า 180°C บริเวณพื้นผิวไมโครแคปซูลจะไม่เรียบและอาจมีการแตกหักของอนุภาค เนื่องจากความชื้นภายใน

อนุภาคระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ขณะที่ Drusch และ Berg (2008) พบว่าพื้นผิวไมโครแคปซูล น้ำมันปลา มีลักษณะย่นมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง/อุณหภูมิความร้อนออกจากเครื่องทำแห้งเพิ่มขึ้น จาก $160^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ เป็น $210^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$

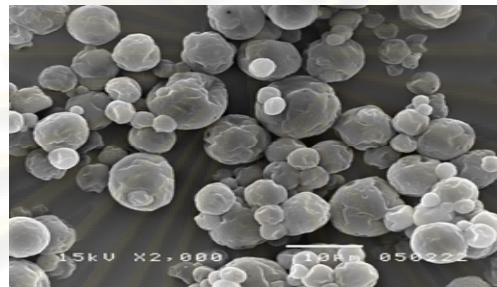
สำหรับลักษณะโครงสร้างภายในไมโครแคปซูลทุกภาวะในการทำแห้งไม่แตกต่างกัน โดยพบว่าภายในโครงสร้างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียมีหยดน้ำมันขนาดเล็กๆ ฝังตัวอยู่ ซึ่งมีทั้งลักษณะแบบ multi-core และ simple core โดยลักษณะการเกิดโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันทั้งแบบ multi-core และ simple core อาจไม่มีผลต่อสมบัติของการทำไมโครแคปซูลน้ำมัน และสำหรับลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในไมโครแคปซูลที่แตกต่างกันนั้น อาจเนื่องมาจากสมบัติในการฟอร์มฟิล์มของสารเคลือบแต่ละชนิด, ความหนืดของอิมัลชัน และภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง (Gharsallaoui *et al.*, 2009) Hogan และคณะ (2001b) พบว่าโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูลน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้สารเคลือบเป็น NaCas กับ corn syrup solid มีลักษณะหยดน้ำมันฝังตัวทั้งแบบ multi-core และ simple core แต่ในงานวิจัยของ Gharsallaoui และคณะ (2009) พบเพียงลักษณะ simple core ภายในไมโครแคปซูลน้ำมัน Myglyol 812 (น้ำมันธรรมชาติ) ที่ใช้ pea protein isolate และ maltodextrin DE 28 เป็นสารเคลือบผสม



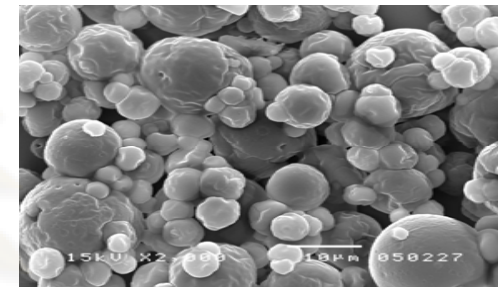
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



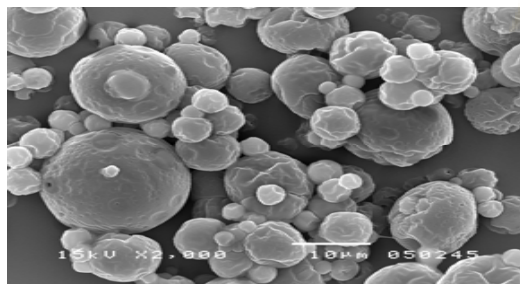
(ก)



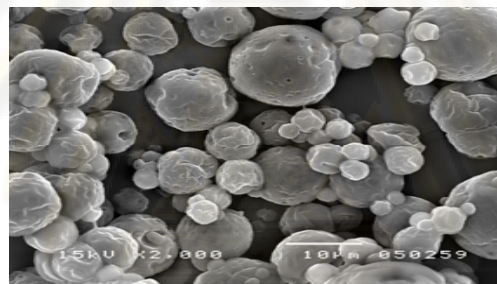
(ข)



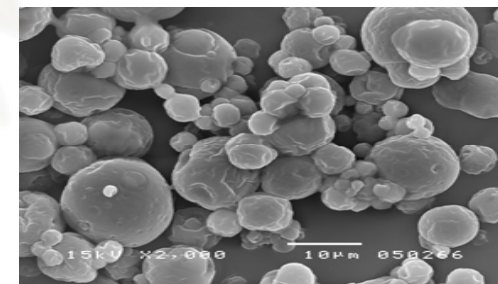
(ค)



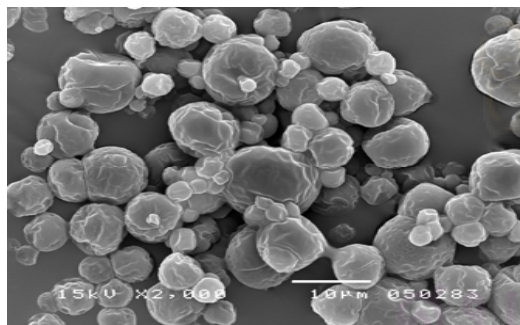
(ง)



(จ)



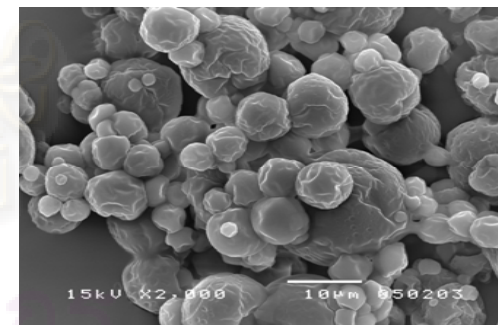
(ฉ)



(ช)

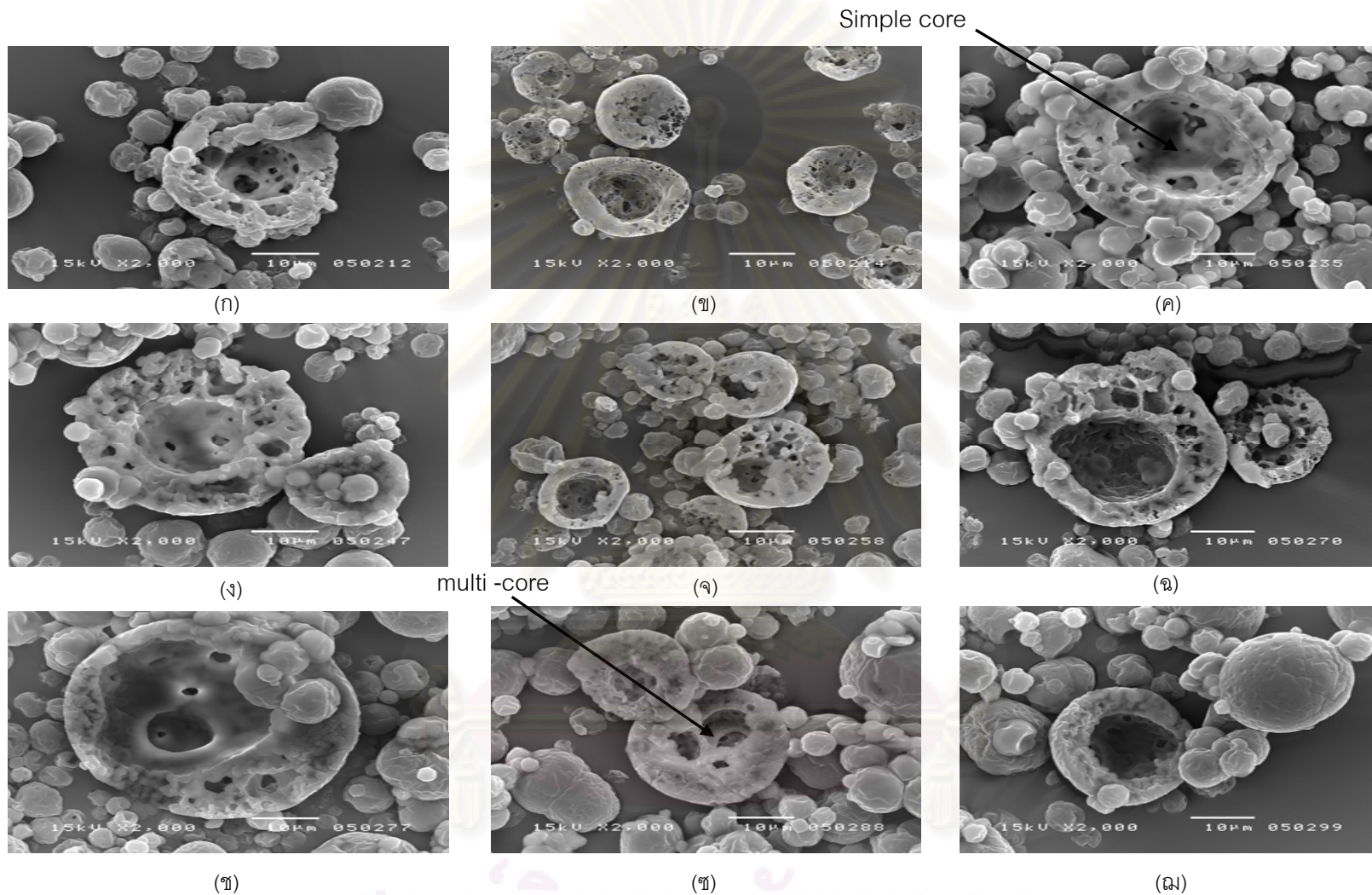


(ซ)



(ฌ)

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ภาวะการทำแห้งต่างๆ (ก),(ข),(ค) feed rate = 1 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ง),(จ),(ฉ) feed rate = 1.5 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ช),(ซ),(ฌ) feed rate = 2 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C ตามลำดับ (กำลังขยาย X2,000)



รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างภายในไมโครแคปซูลน้ำมันแมคคาเดเมียที่ภาวะการทำแห้งต่างๆ (ก),(ข),(ค) feed rate = 1 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ง),(จ),(ฉ) feed rate = 1.5 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C (ช),(ซ),(ฅ) feed rate = 2 kg/h, Inlet temperature 160°C, 180°C, 200°C ตามลำดับ(กำลังขยาย X2,000)

4.3.2 สมบัติทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย

จากลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้ง (ตารางที่ 4.4) และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ ค.5 ถึง ค.7) พบว่าอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบมีผลต่อขนาดอนุภาคไมโครแคปซูล, ปริมาณความชื้น และความหนาแน่น ขณะที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งมีผลต่อขนาดอนุภาคไมโครแคปซูล และความหนาแน่น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น โดยอันตรกิริยาระหว่างอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งมีผลต่อค่าความหนาแน่นของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งคงที่ การเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบมีผลทำให้อนุภาคไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้น ปริมาณความชื้นและค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบจาก 1 เป็น 1.5 kg/h ทำให้ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของตัวอย่างไม่แตกต่างกัน แต่เมื่ออัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพิ่มเป็น 2 kg/h ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้ใหญ่ขึ้น ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากขนาดและปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลที่ได้เมื่ออัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเป็น 1 kg/h อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ 2 kg/h อุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง 160°C อนุภาคไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่ที่สุด ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของอนุภาคมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวอย่างไมโครแคปซูลอยู่ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นระยะเวลาสั้น ประสิทธิภาพในการทำแห้งไม่เพียงพอ อนุภาคมีความชื้นคงเหลือมากขึ้น จึงเกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค ส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น มีค่าความหนาแน่นของอนุภาคเพิ่มขึ้น (Hong and Choi, 2007; Woo *et al.*, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Woo และคณะ (2008) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (หรือลดระยะเวลาที่ตัวอย่างอยู่ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นลงจาก 25 นาที เป็น 15 นาที) มีผลให้ปริมาณความชื้นคงเหลือภายในอนุภาคมากขึ้น การกระจายของขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง ขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดใหญ่

เมื่ออัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 160°C เป็น 200°C อนุภาคไมโครแคปซูลมีขนาดเล็กลงและค่าความหนาแน่นก็ลดลงด้วย แต่ปริมาณความชื้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Drusch และ Berg (2008) ที่พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันปลา มีขนาดเล็กลงจาก $21.6 \pm 0.44 \mu\text{m}$ เป็น $16.6 \pm 0.16 \mu\text{m}$ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก $160^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ เป็น $210^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ และ Serfert, Drusch, Schmidt-Hansberg และคณะ (2009) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก $160^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ เป็น $210^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่นของอนุภาคมีค่าลดลง แต่สำหรับปริมาณความชื้น Klinkesom และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งต่อ

ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลน้ำมันปลา พบว่าเมื่ออัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 2.2 kg/h การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 165°C เป็น 180°C ทำให้ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ปริมาณความชื้น 1-3% wb) เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 195°C ปริมาณความชื้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของงานวิจัยที่ได้ อาจเนื่องมาจากช่วงอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ค่อนข้างแคบ จึงทำให้ปริมาณความชื้นที่คงเหลืออยู่ภายในอนุภาคน้อยมาก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งให้สูงขึ้น ปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ในแต่ละภาวะการทำแห้งจึงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่ชัดเจน

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

Feed rate (kg/h)	Inlet temperature (°C)	Particle size $D_{4,3}$ (μm)	Moisture content (% wet basis)	Bulk density (g/cm^3)
1	160	9.92±3.12 ^{bc}	1.00±0.02 ^a	0.36±0.01 ^{cd}
	180	8.59±2.08 ^a	1.01±0.06 ^a	0.35±0.01 ^{bc}
	200	8.13±2.37 ^a	0.98±0.03 ^a	0.33±0.01 ^a
1.5	160	10.39±3.11 ^{cd}	1.03±0.05 ^{ab}	0.36±0.00 ^{cd}
	180	10.10±2.75 ^c	1.13±0.03 ^c	0.35±0.01 ^{cd}
	200	9.43±2.70 ^b	1.03±0.04 ^{ab}	0.35±0.01 ^{abc}
2	160	10.84±3.19 ^d	1.12±0.04 ^c	0.39±0.00 ^e
	180	10.18±2.66 ^c	1.25±0.02 ^d	0.37±0.01 ^d
	200	9.44±2.37 ^b	1.08±0.02 ^{bc}	0.34±0.01 ^{ab}

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

$D_{4,3}$ หรือ Volume mean diameter หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยปริมาตร

4.3.3 ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมด, ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล และ ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น และวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ ค.8 ถึง ค.10) พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูล แต่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ผิวและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย ในขณะที่อัตราการรีดระหว่างอัตราการป้อนวัตถุดิบกับอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมด ปริมาณน้ำมันที่ผิว และประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูล (ตารางที่ 4.5) พบว่าอยู่ในช่วง 63.98% ถึง 66.83% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Drusch และ Berg (2008) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง/อุณหภูมิลมร้อนออกจากเครื่องทำแห้งจาก 160°C/60°C เป็น 200°C/90°C ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลน้ำมันปลา เช่นเดียวกับ Klinkesorn และคณะ (2006) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่อง ทำแห้งจาก 165°C เป็น 195°C ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันปลามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งคงที่ การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบจาก 1 kg/h เป็น 1.5 kg/h ไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลมีค่าลดลงและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเป็น 2 kg/h อาจเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำลดลงและทำให้อุณหภูมิเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลมีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu และคณะ (2007) ที่พบว่าอัตราการป้อนวัตถุดิบช่วง 15 mL/min ถึง 20 mL/min (ประมาณ 0.9 kg/h ถึง 1.2 kg/h) เหมาะสมในการทำไมโครแคปซูลของ phospholipid เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการทำไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น

เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลมีค่าลดลง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 160°C เป็น 180°C ไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโคร-

แคปซูลมีค่าเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 160°C เป็น 200°C โดยการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนที่สูงมากอาจทำให้การระเหยน้ำออกจากอิมัลชันและการเกิดฟิล์มของสารเคลือบไม่สมดุลกัน (Shu *et al.*, 2006) ส่งผลให้เกิดช่องว่าง (Hansen, 1980) หรือการแตกหักของอนุภาคไมโครแคปซูล (Bhandari *et al.*, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shu และคณะ (2006) ที่ศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งต่อประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลของไลโคปีน โดยแปรอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 170°C ถึง 210°C และพบว่าที่อุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง 210°C ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Drusch และ Berg (2008) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก $160^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ เป็น $210^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$ น้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลน้ำมันปลาที่มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลลดลง และยังพบว่าความแตกต่างของขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลด้วย (เปรียบเทียบตารางที่ 4.4 และ 4.5) โดยอนุภาคไมโครแคปซูลที่มีขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้มีปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลน้อยกว่า

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

Feed rate (kg/h)	Inlet temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Total oil ^{ns} (%)	Surface oil (%)	Microencapsulation efficiency (%)
1	160	66.33±1.60	7.36±0.44 ^{cd}	88.90±0.48 ^{bc}
	180	65.38±2.41	7.57±0.53 ^{de}	88.42±0.17 ^{ab}
	200	65.08±1.83	8.05±0.57 ^e	87.64±0.66 ^a
1.5	160	66.42±2.08	6.82±0.29 ^{abc}	89.73±0.23 ^{cd}
	180	64.66±2.33	7.19±0.47 ^{bcd}	88.87±0.52 ^{bc}
	200	66.83±1.15	7.69±0.19 ^{de}	88.50±0.04 ^{ab}
2	160	63.98±2.13	6.45±0.43 ^a	89.98±0.18 ^d
	180	65.60±1.69	6.46±0.58 ^{ab}	89.87±0.46 ^d
	200	66.14±1.88	6.85±0.57 ^{abc}	89.64±0.35 ^{cd}

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น (ตารางที่ 4.6) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ ค.11 และ ค.12) พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งเท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ โดยไมโครแคปซูลมีปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์มากที่สุด (0.22 %oleic acid และ 0.345 meq.O₂ / kg oil) เมื่ออัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเท่ากับ 1 kg/h และอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งเท่ากับ 200°C ซึ่งอาจเนื่องจากอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบช้า และอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งสูง ทำให้ไมโครแคปซูลอยู่ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาาน อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่เกินจากมาตรฐานกำหนดคือปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม (ประมาณ 0.42 %oleic acid) และปริมาณเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meq.O₂ / kg oil (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Drusch และ Berg (2008) ที่พบว่าอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งมีผลต่อปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันปลา โดยอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง/อุณหภูมิความร้อนออกจากเครื่องทำแห้งที่ 210°C/90°C ให้ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์สูงกว่าการทำแห้งแบบพ่นที่อุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง/อุณหภูมิความร้อนออกจากเครื่องทำแห้งที่ 160°C/60°C เช่นเดียวกับ Serfert, Drusch, Schmidt-Hansberg และคณะ (2009) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งจาก 160°C/60°C ถึง 210°C/90°C ทำให้ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันปลาเพิ่มขึ้นจาก 0.50 mmol/kg oil (1 meq.O₂ / kg oil) เป็น 1.50 mmol/kg oil (3 meq.O₂ / kg oil)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

Feed rate (kg/h)	Inlet temperature (°C)	Free fatty acid (%oleic acid)	Peroxide value (meq.O ₂ / kg oil)
1	160	0.17±0.00 ^a	0.197±0.001 ^a
	180	0.17±0.01 ^a	0.198±0.001 ^a
	200	0.22±0.01 ^d	0.345±0.080 ^b
1.5	160	0.17±0.00 ^a	0.198±0.001 ^a
	180	0.20±0.01 ^b	0.231±0.080 ^a
	200	0.21±0.01 ^c	0.230±0.081 ^a
2	160	0.18±0.03 ^a	0.198±0.001 ^a
	180	0.21±0.01 ^c	0.231±0.080 ^a
	200	0.21±0.01 ^c	0.230±0.080 ^a

a, b, c... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.5 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดย RSM พบว่าสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาดังสมการที่ 4.3 ถึง 4.9 ซึ่งสามารถสร้างกราฟ contour plot ได้ดังรูปที่ 4.6 และจากการนำกราฟมาซ้อนทับกัน เพื่อหาภาวะการทำแห้งแบบพ่นที่เหมาะสมที่สุดโดยกำหนดขนาดอนุภาคช่วง 7.5-10 μm , ปริมาณความชื้น 1-3 (%wb) (Hogan *et al.*, 2001b), ความหนาแน่นช่วง 0.33-0.43 g/cm^3 (Hong and Choi, 2007), ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูลช่วง 6.5-7.5%, ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลสูงกว่า 88.5% (จากงานวิจัยของ Hogan และคณะ(2001b) ที่พบว่าประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ NaCas:corn syrup solid ที่ 1:4 มีค่าเท่ากับ 88.4%), ปริมาณกรดไขมันอิสระช่วง 0-0.2 %oleic acid และปริมาณเปอร์-ออกไซด์ช่วง 0-0.2 meq.O₂ / kg oil (จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2543) กำหนดปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม หรือ

ประมาณ 0.42 %oleic acid และปริมาณเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meq.O₂/kg oil) ทำให้ได้กราฟ overlay plot (รูปที่ 4.7) ซึ่งบริเวณสีขาวเป็นบริเวณที่มีสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูลของน้ำมันแมคาเดเมียตามที่กำหนด โดยภาวะเหมาะสมที่เลือกสำหรับการทำแห้งแบบพ่นคือ จุดสีแดงตรงกลางในพื้นที่สีขาวที่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ เท่ากับ 1.1 kg/h (coded value = -0.80) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง เท่ากับ 167°C (coded value = -0.65)

$$\text{Particle size} = 9.97 + 0.64A - 0.48B - 0.46A^2 - 0.32A^2B \quad (R^2 = 0.9386) \dots (4.3)$$

$$\text{Moisture content} = 1.13 + 0.12A - 8.33E-003B - 0.090B^2 - 0.063AB^2 \quad (R^2 = 0.9368) \dots (4.4)$$

$$\text{Bulk density} = 0.35 + 1.00E-002A - 7.50E-003B - 7.50E-003AB - 0.013A^2B \quad (R^2 = 0.8991) \dots (4.5)$$

$$\text{Surface oil} = 7.18 - 0.51A + 0.33B \quad (R^2 = 0.8727) \dots (4.6)$$

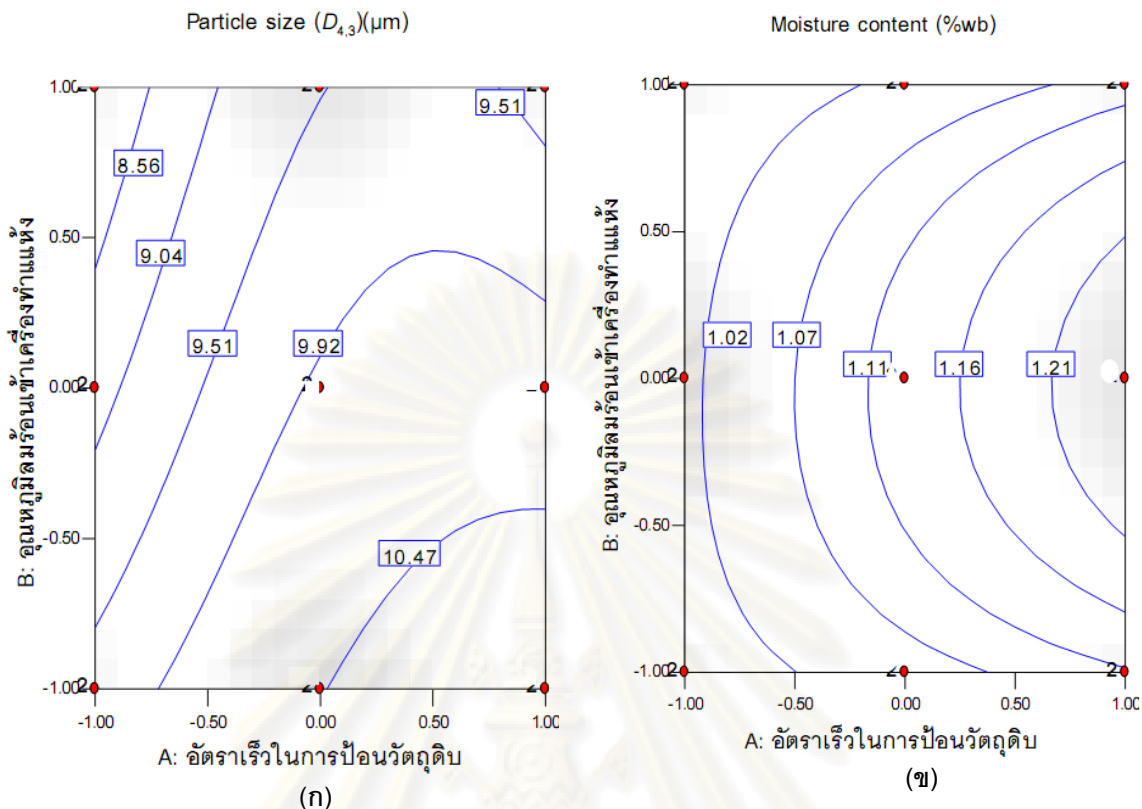
$$\text{Microencapsulation efficiency} = 89.06 + 0.75A - 0.47B + 0.23AB \quad (R^2 = 0.8590) \dots (4.7)$$

$$\text{Free fatty acid} = 0.19 + 0.02A + 0.021B - 5.00E-003AB - 0.023AB^2 \quad (R^2 = 0.9335) \dots (4.8)$$

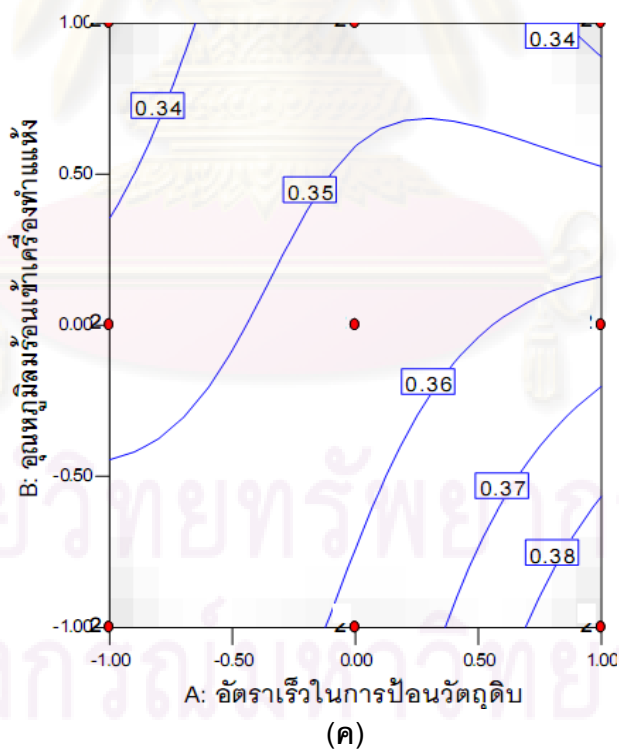
$$\text{Peroxide value} = 0.23 + 0.017A + 0.016B - 0.029AB + 0.029A^2B - 0.045AB^2 \quad (R^2 = 0.6638) \dots (4.9)$$

เมื่อ A คือ coded value ของอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (feed rate) และ B คือ coded value ของอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (Inlet temperature)

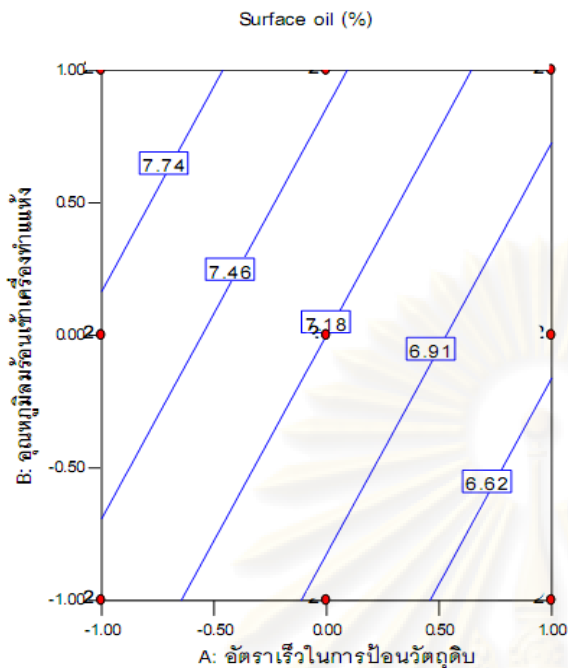
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



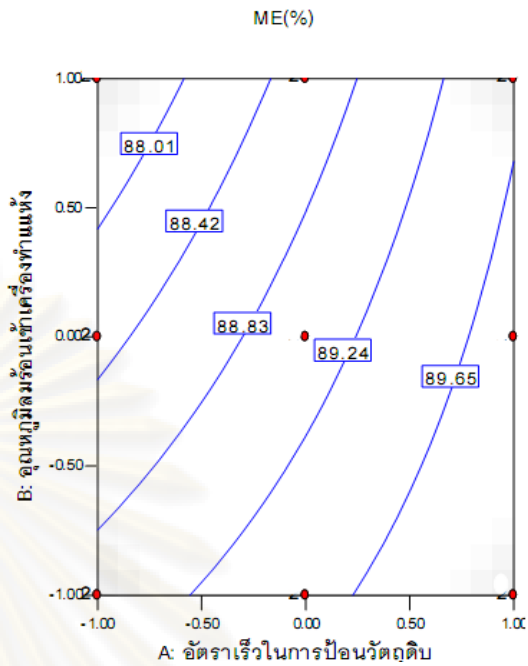
Bulk density (g/cm^3)



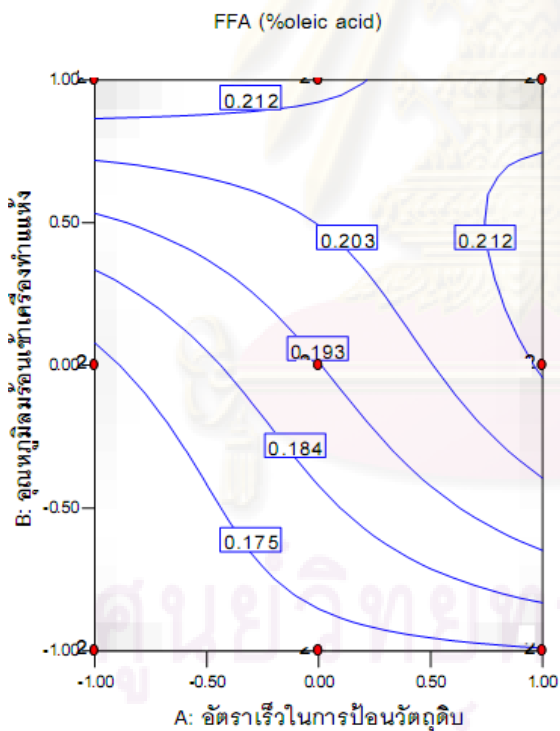
รูปที่ 4.6 Contour plot ของ (ก) ขนาดอนุภาค, (ข) ปริมาณความชื้น, (ค) ความหนาแน่น (ง) ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล, (จ) ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล, (ฉ) ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ(ช) ปริมาณเปอร์ออกไซด์ ที่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งต่างๆ



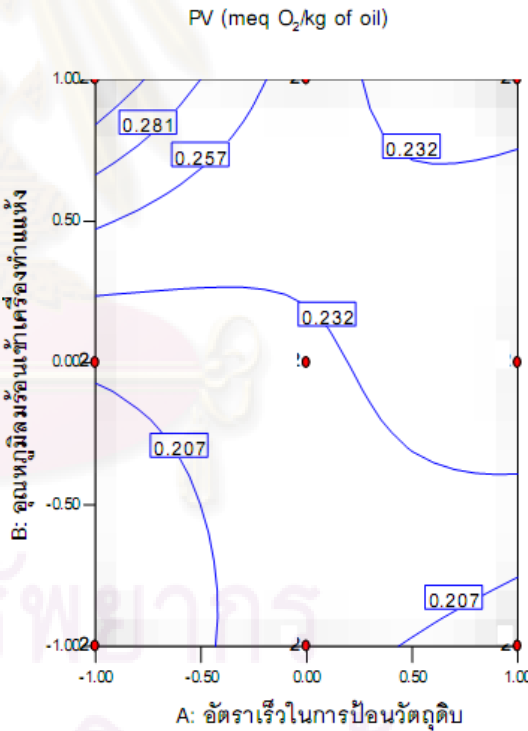
(ง)



(จ)

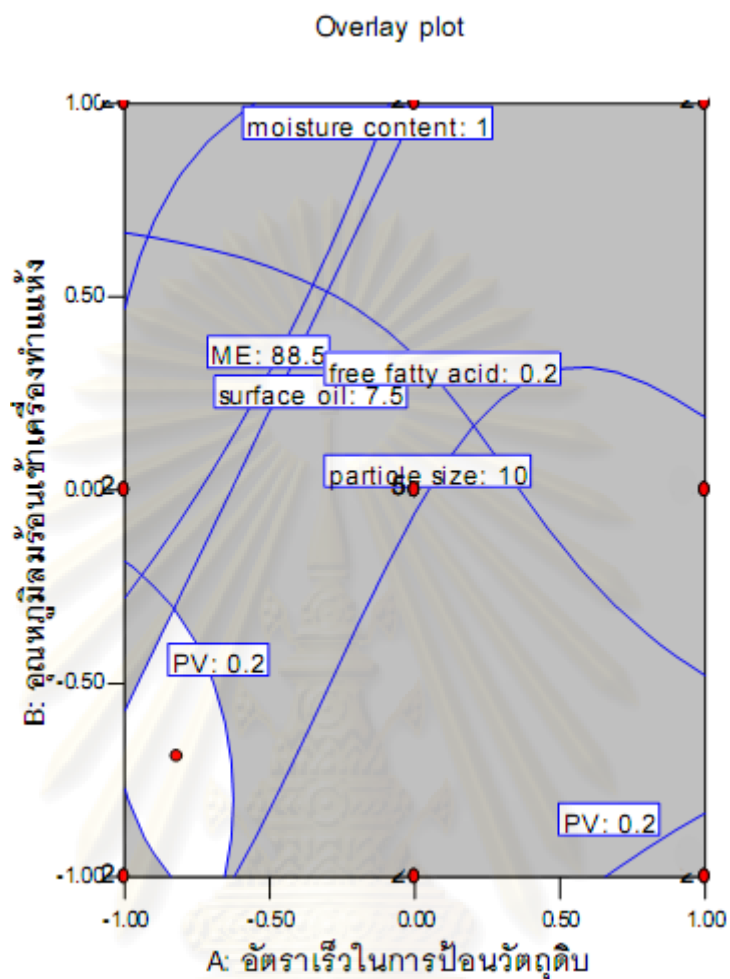


(ฉ)



(ช)

รูปที่ 4.6 (ต่อ) Contour plot ของ (ก) ขนาดอนุภาค, (ข) ปริมาณความชื้น, (ค) ความหนาแน่น (ง) ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล, (จ) ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล, (ฉ) ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ (ช) ปริมาณเปอร์ออกไซด์ ที่อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งต่างๆ



รูปที่ 4.7 Overlay plot ของอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (1 kg/h, 1.5 kg/h และ 2kg/h) และ อุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (160°C, 180°C และ 200°C)

จากการทวนสอบภาวะการทำแห้งแบบพ่นที่เลือก (อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ 1.1 kg/h และอุณหภูมิความร้อนเข้าเครื่องทำแห้งที่ 167°C) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ ได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการ 4.3-4.9 พบว่าสมบัติต่างๆของไมโครแคปซูลที่ได้จากการ ทวนสอบแตกต่างจากค่าที่ได้จากการแทนในสมการน้อยกว่าร้อยละ 3 (ตารางที่ 4.7)

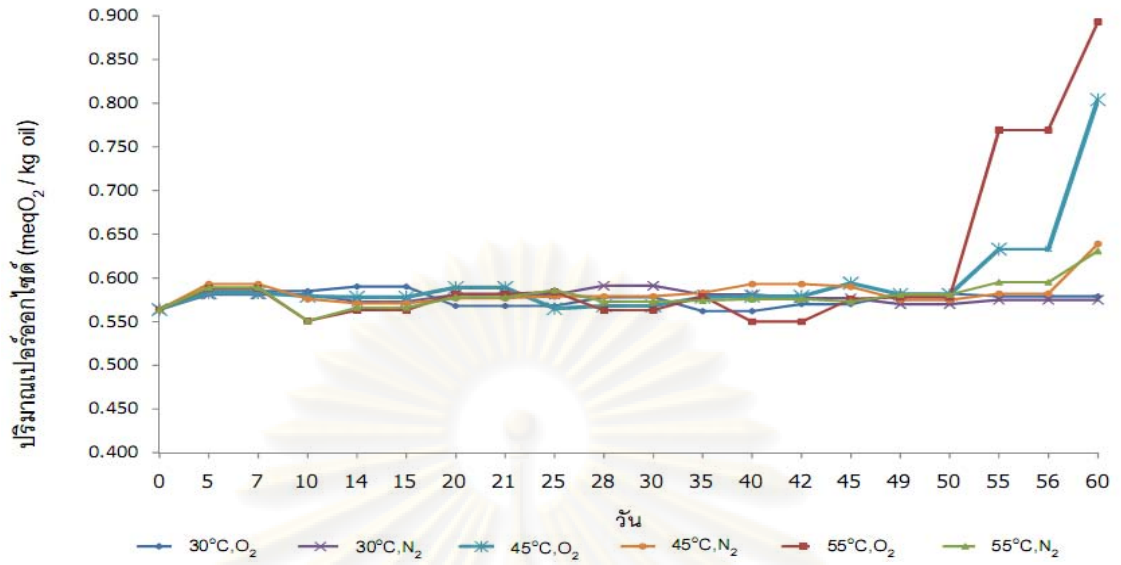
ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียจากการทวนสอบและ
แทนค่าในสมการ

คุณสมบัติไมโครแคปซูล	ค่าจากการวิเคราะห์	ค่าจากสมการ (4.3-4.9)	ความแตกต่าง (%)
ขนาดอนุภาค (μm)	9.75 ± 0.03	9.61	1.44
ปริมาณความชื้น (%wet basis)	1.00 ± 0.05	1.02	1.96
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.36 ± 0.01	0.35	2.78
ปริมาณน้ำมันที่ผิว (%)	7.33 ± 0.59	7.37	0.54
ประสิทธิภาพการทำไมโคร แคปซูล (%)	88.75 ± 0.45	88.89	0.16
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%oleic acid)	0.170 ± 0.001	0.170	0.00
ปริมาณเปอร์ออกไซด์ ($\text{meq.O}_2 / \text{kg oil}$)	0.198 ± 0.004	0.198	0.00

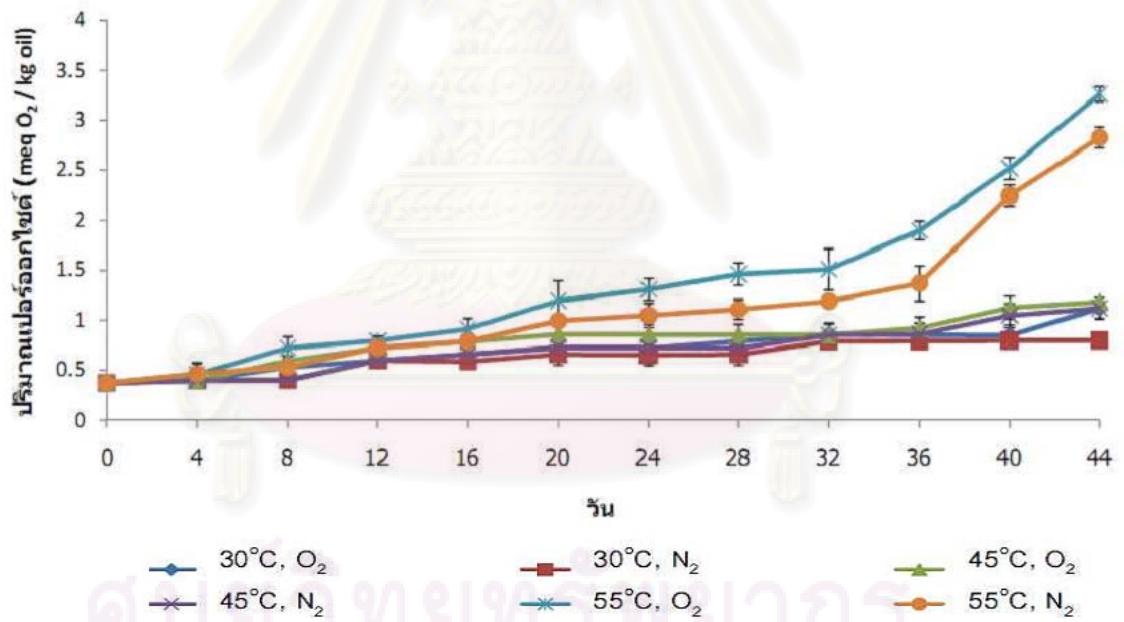
4.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียระหว่างกระบวนการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย พบว่าน้ำมันแมคาเดเมียในอิมัลชัน (ตามภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือก) มีปริมาณเปอร์ออกไซด์ ($0.790 \pm 0.090 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) สูงขึ้นจากปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมีย ($0.369 \pm 0.008 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) ที่ผ่านการบีบแยกน้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากความรุนแรงของแรง shear และการเคลื่อนที่แบบ turbulence ในระหว่างการ homogenize ทำให้หยดน้ำมันแตกตัว เกิดฟองอากาศ ซึ่งทำให้มีการแพร่กระจายตัวของออกซิเจนและอุณหภูมิของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดออกซิเดชันในอิมัลชัน (Serfert, Drusch, and Schwarz 2009; Heinzelmann and Franke, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Serfert, Drusch, Schmidt-Hansberg และคณะ (2009) ที่พบว่าน้ำมันปลาในอิมัลชันที่ผ่านการ homogenize มีปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์เท่ากับ $17.8 \text{ mmol} / \text{kg oil}$ ($35.6 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $4.6 \text{ mmol} / \text{kg oil}$ ($9.2 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) ของน้ำมันปลา ก่อนการ homogenize

และเมื่อนำอิมัลชันมาทำแห้งแบบพ่นพบว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียในไมโครแคปซูล เท่ากับ $0.564 \pm 0.030 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ ซึ่งมีค่าลดลง อาจเนื่องจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์บางส่วน (Perkins, 1967) เมื่อนำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นตามภาวะการทำแห้งที่เลือกบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต บรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน เก็บที่อุณหภูมิ 30°C , 45°C และ 55°C เป็นระยะเวลา 2 เดือน มาวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (รูปที่ 4.8) พบว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียมีค่าอยู่ในช่วง $0.551 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ ถึง $0.893 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ โดยปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 50 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C ทั้งบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน และมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของปริมาณเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็ว ยกเว้นการเก็บที่อุณหภูมิ 30°C ทั้งการบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน ซึ่งปริมาณเปอร์ออกไซด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน และเมื่อนำปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียเปรียบเทียบกับปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียที่บรรจุในหลอดทดลอง ปิดฝาให้สนิท และหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาในภาวะเดียวกัน พบว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียอยู่ในช่วง $0.369 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ ถึง $3.262 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ (รูปที่ 4.9) น้ำมันแมคาเดเมียเก็บที่ 55°C ทั้งการบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็ว ซึ่งในวันที่ 44 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมีย ($3.262 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) สูงกว่าไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย ($0.576 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$) ที่เก็บในภาวะเดียวกัน (ไม่อัดก๊าซไนโตรเจน) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาน้ำมันแมคาเดเมียได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garcia และคณะ (2006) ที่พบว่าการทำไมโครแคปซูลน้ำมันตับปลาสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ $2.03 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 77 % เป็นระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันตับปลาที่เก็บรักษาในภาวะเดียวกัน ($4.20 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$)



รูปที่ 4.8 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะต่างๆเป็นเวลา 2 เดือน



รูปที่ 4.9 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ เป็นเวลา 44 วัน

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C บรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างด้านกลิ่นหืนกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 4.8) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ ค.13) พบว่ามีปัจจัยหลักคืออุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาเท่านั้นที่มีผลต่อค่าความแตกต่างด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะต่างๆ กับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุม โดยตลอดระยะเวลา 2 เดือน ไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียมีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมน้อยมาก (ประมาณ 0.56 ถึง 1.75) หรืออาจกล่าวได้ว่าผู้ทดสอบไม่สามารถตรวจพบการเกิดกลิ่นหืนของตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียได้ โดยเมื่อเก็บไมโครแคปซูลเป็นระยะเวลาเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 30°C และ 45°C ทั้งบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน กลิ่นที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่จะมีความแตกต่างมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการเก็บที่อุณหภูมิ 30°C กับ 55°C ในการบรรจุทั้งสองแบบ และเมื่อเก็บไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียเป็นระยะเวลานานขึ้น ที่อุณหภูมิ 30°C และ 45°C กลิ่นที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่การเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็นระยะเวลา 49 วัน กลิ่นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากการเก็บในช่วงสัปดาห์แรก จากงานวิจัยของ García และคณะ (2006) พบว่าในระยะเวลา 1 เดือนของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 77% ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันดิบปลาฉลามได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผลทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเนื่องจากปริมาณเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียไม่สูงมาก ผู้ทดสอบบางคนจึงไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ อีกทั้งการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนในตัวอย่างของงานวิจัยนี้ทำได้ยาก เพราะมีกลิ่นของโปรตีนนม (NaCas) ปะปนจึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของกลิ่นหืนได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์อาจเป็นตัวชี้วัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในไมโครแคปซูลโดยระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุมกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ

วันที่	ความแตกต่างด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม					
	ไม่อัดก๊าซ N ₂			อัดก๊าซ N ₂		
	30°C	45°C	55°C	30°C	45°C	55°C
0	0.63±0.50 ^{aA}	0.75±0.77 ^{aA}	0.69±0.70 ^{aA}	0.56±0.63 ^{aA}	0.64±0.68 ^{aA}	0.61±0.66 ^{aA}
7	0.75±0.77 ^{aA}	0.75±0.68 ^{aA}	0.88±0.72 ^{aAB}	0.69±0.70 ^{aA}	1.00±0.82 ^{aAB}	0.88±0.72 ^{aA}
14	0.75±0.78 ^{aA}	0.69±0.60 ^{aA}	0.94±0.77 ^{aABC}	0.63±0.62 ^{aA}	1.06±0.68 ^{aAB}	0.75±0.68 ^{aA}
21	0.74±0.45 ^{aA}	1.00±0.58 ^{aAB}	1.05±0.76 ^{aABC}	0.89±0.66 ^{aA}	0.85±0.49 ^{aAB}	1.05±0.76 ^{aAB}
28	0.65±0.75 ^{aA}	1.05±0.83 ^{aAB}	1.10±0.72 ^{aABC}	0.75±0.72 ^{aA}	0.80±0.77 ^{aAB}	1.00±0.86 ^{aAB}
35	0.75±0.77 ^{aA}	1.00±0.82 ^{aAB}	1.25±1.00 ^{aABC}	0.81±0.66 ^{aA}	0.94±0.77 ^{aAB}	1.19±0.91 ^{aAB}
42	1.07 ±0.88 ^{aA}	1.47±0.99 ^{aB}	1.40±1.18 ^{aBC}	1.27 ±1.03 ^{aA}	1.33±1.11 ^{aB}	1.38±0.81 ^{aAB}
49	1.13±0.72 ^{aA}	1.38±0.81 ^{aAB}	1.56±0.81 ^{aC}	1.13±0.62 ^{aA}	1.41±1.03 ^{aB}	1.75±1.34 ^{aB}
56	0.92±0.79 ^{aA}	1.15±0.90 ^{abAB}	1.42±0.90 ^{abBC}	0.92±1.00 ^{aA}	1.00±0.96 ^{abAB}	1.75±1.22 ^{bB}

a,b,c.....ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A,B,C.....ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริมาณเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันแมคาเดเมียที่ได้จากการบีบอัดเพื่อแยกน้ำมันออกมีค่าเท่ากับ $0.198 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$ และ $0.109 \% \text{ oleic acid}$

ภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือกคือ อัตราส่วนระหว่าง NaCas:maltodextrin ที่ 1:4, อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ:วัสดุแกน ที่ 60:40 และความดันในการ homogenize ที่ 200 bar โดยมีขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันน้ำมันแมคาเดเมียมีค่าเท่ากับ $0.64 \pm 0.01 \mu\text{m}$ และ $37.81 \pm 0.63 \text{ mPa.s}$ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับขนาดหยดน้ำมันและความหนืดของอิมัลชันน้ำมันมะกอกที่เตรียมจากภาวะเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าภาวะการเตรียมอิมัลชันที่เลือกสามารถใช้ได้กับน้ำมันแมคาเดเมียและน้ำมันมะกอก

ภาวะการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่นที่เลือกคือ อัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ 1.1 kg/h และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้งที่ 167°C โดยไมโครแคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวมีรอยย่น อนุภาคมีขนาดไม่สม่ำเสมอ หยดน้ำมันฝังอยู่ในไมโครแคปซูลมีทั้งลักษณะ multi-core และ simple core อนุภาคมีขนาด $9.75 \pm 0.03 \mu\text{m}$, ปริมาณความชื้น $1.00 \pm 0.05 \% \text{ wet basis}$, ค่าความหนาแน่นของอนุภาค $0.36 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล $7.33 \pm 0.59\%$, ประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล $88.75 \pm 0.45\%$, ปริมาณกรดไขมันอิสระ $0.170 \pm 0.001 \% \text{ oleic acid}$ และปริมาณเปอร์ออกไซด์ $0.198 \pm 0.004 \text{ meq.O}_2 / \text{kg oil}$

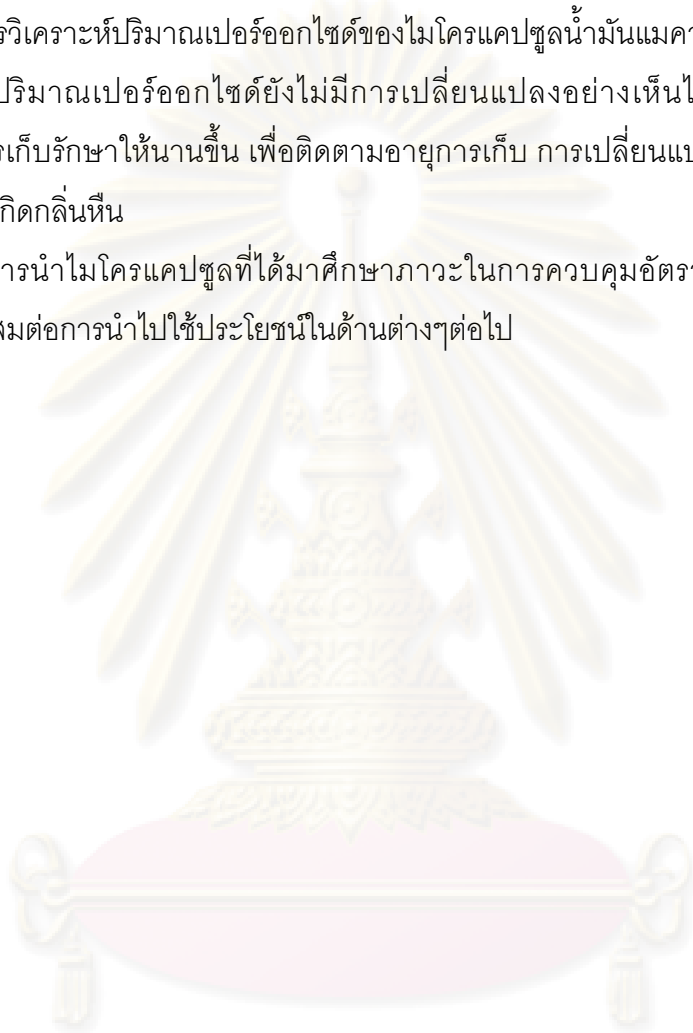
จากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา โดยพิจารณาปริมาณเปอร์ออกไซด์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนตลอดระยะเวลา 2 เดือน พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในอุณหภูมิ 30, 45, และ 55°C ทั้งบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน มีปริมาณเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงน้อยมากและไม่มีการหืน หากเปรียบเทียบกับน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะเดียวกันกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย พบว่าน้ำมันแมคาเดเมียมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็ว จึงอาจกล่าวได้ว่าการทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียสามารถช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำภาวะการเตรียมอิมัลชันและภาวะในการทำแห้งแบบพ่นที่เลือก โดยเปลี่ยนวัสดุแกน(น้ำมัน)ชนิดอื่น เพื่อศึกษาความแตกต่างและความเป็นไปได้ในการที่จะใช้ภาวะดังกล่าวกับน้ำมันชนิดต่างๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียในระยะเวลา 2 เดือน พบว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน จึงควรเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาให้นานขึ้น เพื่อติดตามอายุการเก็บ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเปอร์ออกไซด์ และเกิดกลิ่นหืน

ควรมีการนำไมโครแคปซูลที่ได้มาศึกษาภาวะในการควบคุมอัตราปลดปล่อยวัสดุแกน เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ฐานความรู้ด้านพืช : แมคาเดเมีย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard1/macadamia/main.html. [2550, สิงหาคม 18]
- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมวิชาการเกษตร. สถาบันวิจัยพืชสวน. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวง เชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2541. แนวทางการวิจัยและพัฒนาการผลิตแมคาเดเมีย. กรุงเทพมหานคร. กรมวิชาการเกษตร: 3-19.
- ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ, จุฑาทิพย์ ศุภชัยวีรกุล และ ศัจฉา วิวัฒน์บุตรศิริ. 2549. การศึกษาองค์ประกอบไขมันของแมคาเดเมียนัตต่างพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย. ระดับปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์, เจริญทอง สิงห์จามรงค์ และ จิราภรณ์ สอดจิตร์. 2548. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวมะคาเดเมีย. วารสารเกษตรนเรศวร. 8(1): 20-32.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไอ.เอส.พรินติ้ง เฮ้าส์. 256 หน้า.
- ศิริพร น้าชม. 2552. ผลของอบแห้งต่อคุณภาพของไส้แมคาเดเมียบดแช่เยือกแข็ง. ระดับมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุคนธ์ชิน ศรีงาม และ ศิริวรรณ เนติวานนท์. 2532. การหมักนึ่งของน้ำมันมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์. 23(3): 260-266.
- สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) เรื่อง น้ำมันและไขมัน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.
- เจริญทอง สิงห์จามรงค์ และ จำรอง ดาวเรือง. 2549. องค์ประกอบทางเคมีของมะคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย. วารสารอาหาร. 36(4): 334-344.
- อรัญญา มโนสร้อย และ จีรเดช มโนสร้อย. 2543. สารใหม่และวิทยาการใหม่ทางเครื่องสำอาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ไอ.เอส.พรินติ้ง เฮ้าส์. 352 หน้า

ภาษาอังกฤษ

- Adamiec, J., and Kalemba, D. 2006. Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying. Drying Technology. 24: 1127-1132.
- Addison, S., Addison, A., Sullivan, S., and Dautricourt, M. 2008. Handbook of olive oil: Analysis and Production. [online]. Available from : http://www.oliveoilsource.com/olive_chemistry.htm. [2010, January 8].
- Anandaraman, S., and Reineccius, G.A. 1986. Stability of encapsulated orange peel oil. Food Technology. 40(11): 88-93.
- Apintanapong, M., and Noomhorm, A. 2003. The use of spray-drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice. International Journal of Food Science and Technology. 38: 95-102.
- AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices. 15th ed. Illinois: American Oil Chemists' s Society, Aa 4-38, Ab 5-49 and Cd 8-53.
- Augustin, M.A., Sanguansri, L., Margetts, C., and Young, B. 2001. Microencapsulation of food ingredients. Food Australia. 53: 220-223.
- Beristain, C.I., Garcia, H.S., and Vernon-Carter, E.J. 2001. Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. 34: 398-401.
- Beuchat, L., and Worthinton, R.E. 1978. Fatty acid composition of tree nut oils. Food Technology. 13(4): 355-358.
- Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, R.I., and Lebert, A.M. 1992. Flavor encapsulation by spray-drying: Application of citral and linalyl acetate. Journal of Food Science. 57(1): 217-221.
- Blakley, J. 2008. Why go Hawaii. Macadamia nuts. [online]. Available from: www.hawaiiilogue.com/macadamia-nuts.htm. [2010, February 5].
- Brown, P. 1984. The macadamia nut with a future. Australian Horticulture. 82: 16-25.
- Bylaite, E., Nylander, T., Venskutonis, R., and JÖnsson, B. 2001. Emulsification of caraway essential oil in water by lecithin and β -lactoglobulin: emulsion stability and properties of the formed oil-aqueous interface. Colloids and Surfaces. 20: 327-340.
- Cavaletto, C.G. 1983. Macadamia nuts. Handbook of Tropical Foods. Chan, H.T. (ed). New York, U.S.A: Marcel Dekker, Inc. 361-397.

- Cavaletto, C.G., Dela Cruz, A., and Yamamoto, H.Y. 1966. Factors affecting macadamia nut stability. 1. Raw kernels. Food Technology. 20(8): 1084-1087.
- Council of Scientific and Industrial Research. 1962. The Wealth of India : A Dictionary of India Raw Materials and Industrial Products : Raw Materials. vol. 6. New Delhi, India. 201.
- Dalgleish, D.G. 1997. Adsorption of proteins and the stability of emulsions. Trends Food Science and Technology. 8: 1-6.
- Deis, R.C. 1997. Spray-drying-innovative use of an old process. Food Product Design. 7: 97-113.
- Desobry, S. A., Netto, F. A., and Labuza, T. P. 1997. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. Journal of Food Science. 62(6): 1158-1162.
- Dian, N.L.H.M., Sudin, N., and Yusoff, M.S.A. 1996. Characteristics of microencapsulated palm-based oil s affected by type of wall material. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 70: 422-426.
- Dickinson, E. 2001. Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology. Colloids Interfaces B. 20: 197-210.
- Drusch, S. 2006. Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying. Food Hydrocolloids. 21:1223-1228.
- Drusch, S., and Berg, S. 2008. Extractable oil in microcapsules prepared by spray-drying: localization, determination and impact on oxidative stability. Food Chemistry. 109: 17-24.
- Drusch, S., and Schwarz, K. 2006. Microencapsulation properties of two different types of n-octenylsuccinate-derivatised starch. European Food Research and Technology. 222: 155-164.
- Drusch, S., Serfert, Y., Heuvel, A.V.D., and Schwarz, K. 2006. Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose. Food Research International. 39: 807-815.
- Diezjak, J.D. 1986. Antioxidants, the ultimate answer to oxidation. Food Technology. 40(9): 94-102.

- Dziezak, J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulated food ingredients. Food Technology. 42(4): 136-151.
- Frega, N., Mozzon, M., and Lercker, G. 1999. Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil. Journal of the American oil Chemists's Society. 76(3): 325-329.
- Galliard, T. 1983. Rancidity in cereal product. In J.C. Allen and R.J. Hamilton (eds.). Rancidity in Food. London : Applied Science. 109-129.
- García, E., Gutiérrez, S., Nolasco, H., Carreón, L., and Arjona, O. 2006. Lipid composition of shark liver oil: effects of emulsifying and microencapsulation processes. European Food Research and Technology. 222: 697-701.
- Garg, M.L., Blake, R. J., and Wills, R.B. 2003. Macadamia nut consumption lowers plasma total and LDL cholesterol levels in hypercholesterolemic men. The Journal of Nutrition. 133: 1060-1063.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., and Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. Food Research International. 40: 1107-1121.
- Gharsallaoui, A., Saurel, R., Chambin, O., Cases, E., Voilley, A., and Cayot, P. 2009. Utilisation of pectin coating to enhance spray-dry stability of pea protein-stabilised oil-in-water emulsions. Food Chemistry [online]. Available from : www.sciencedirect.com [2010, February 5].
- Gordon, M.H. 2004. Factors affecting lipid oxidation. In R. Steele (ed), Understanding and measuring the shelf-life of food. Washington, D.C.: Woodhead Publishing Limited. 128-141.
- Gotoh, N., Iwasawa, A., Watanabe, H., Osato, R., and Wada, S. 2007. Oxidation of fats and oils in instant noodles stored under various conditions. Journal of Food Lipids. 14: 350-365.
- Green, B.K., and Scheicher, L. 1955. Pressure sensitive record material. US patent: Ncr C. 2: 217, 507.
- Hansen, S.P. 1980. Production of agglomerated fat-filled powder. Journal of the Society of Dairy Technologists. 33: 19-23.

- Hamilton, R.A., Yee, W., and Ito, P.J. 1980. Macadamia: Hawaii's Desert Nut. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii Circular. 485: 1-10.
- Harvey, T.C, Jr. 1983. Handbook of Tropical Foods. New York : Marcel Dekker. 361-397
- Heinzen, C. 2002. Microencapsulation solve time dependent problems for foodmakers. European Food and Drink Review. 3: 27-30.
- Heinzelmann, K., and Franke, K. 1999. Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability. Colloids and Surfaces B : Biointerfaces. 12: 223-229.
- Ho, C.T., and Hartman, T.G. 1994. Lipids in Food Flavours. Developed from a symposium sponsored by the division of Agricultural and Food Chemistry at the 205th National meeting of the American Chemical Society. Denver, Colorado. March 28- April 2, 1993.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., and O'Sullivan, M. 2001(a). Microencapsulation properties of sodium caseinate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 1934-1938.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., and O'Sullivan, M. 2001(b). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. International Dairy Journal. 11: 137-144.
- Hong, J.H., and Choi, Y.H. 2007. Physico-chemical properties of protein-bound polysaccharide from *Agaricus blazei* Murill prepared by ultrafiltration and spray drying process. International Journal of Food Science and Technology. 42: 1-8.
- Huynh, V., Caffin, N., Dykes, G.A., and Bhandari, B. 2008. Optimization of the microencapsulation of lemon myrtle oil using response surface methodology. Drying Technology. 26: 357-368.
- 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.
- Keogh, M.K., O'Kennedy, B.T., Kelly, J., Auty, M.A., Kelly, P.M., Fureby, A., and Haahr., A.M. 2001. Stability to oxidation of spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients. Journal of Food Science. 66(2): 217-224.

- Kim, H.J., Hahm, T.S., and Min, D.B. 2007. Hydroperoxide as a prooxidant in the oxidative stability of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists's Society. 84: 349-355.
- Kim, Y.D., and Morr, C.V. 1996. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: Spray-dried orange oil emulsion particles. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44: 1314-1320.
- Kim, Y.D., Morr, C.V., and Schenz, T.W. 1996. Microencapsulation properties of gum arabic and several food protein: Liquid orange oil emulsion particles. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44: 1308-1313.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decler, E.A., and McClements, D.J. 2006. Characterization of spray-drying tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. Food Research International. 39: 449-457.
- Koaze, H., NDaka, D.S., Karanja, P.N., Ishibashi, K., and Baba, N. 2002. Changes in quality of dried macadamia nuts during a peak harvest season in Kenya. Food Science and Technology Reserch. 8(1): 32-35.
- Kolanowski, W., Jaworska, D., Weißbrodt, J., and Kunz, B. 2007. Sensory assessment of microencapsulated fish oil powder. Journal of American Oil Chemical Society. 84: 37-45.
- Kucuk, M., and Caner, C. 2005. Effect of packaging materials and storage conditions on sunflower oil quality. Journal of Food Lipids. 12: 222-231.
- Let, M.B., Jacobsen, C., and Sørensen, A.D.M. 2007. Homogenization condition affect the oxidative stability of fish oil enriched milk emulsion: Lipid oxidation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55: 1773-1780.
- Macfarlane, N., and Harris, R.V. 1981. Macadamia nuts as an edible oil source. New Sources of Fats and Oils. In Pryde, E.H., Princen, L.H., and Mulherjee, K.D. (ed). American Chemical Society. Champaign. 103-108.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., and Desobry, S. 2006. Review flavour encapsulation and controlled release. International Journal of Food Science and Technology. 41: 1-21.

- Marshall, R. T., 1992. Ether extraction (Roese-Gottlieb) method. Standard methods for the examination of dairy products. 16th ed. Washington, D.C: American public health association. 469 p.
- Mason, R.T., Kowitz, T.J., Bowden, R.P., and Isaacs, A.R. 1998. Storage of Macadamia Nut-in-Shell. Sydney, Australia: Horticulture Australia Ltd.
- McConachie, I. 2001. Personal Communication. Gympie, Queensland, Australia: Suncoast Gold Macadamias Pty. Ltd. Cited in Phattanayindee S. 2007. Changes in the composition of volatile compounds and lipids during processing of macadamia nuts. Master's Thesis, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. 10 p.
- McNamee, B.F., O'Riordan, E.D and O'Sullivan, M. 1998. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 4551-4555.
- Moreau, D.L., and Rosenberg, M. 1993. Microstructure and fat extractability in microcapsules based on whey proteins or mixtures of whey proteins and lactose. Food Structure. 12: 457-468.
- Nawar, W.W. 1996. Lipids. In O.R. Fennema (ed), Food Chemistry, 3rded. 225-319. New York: Marcel Dekker, 225 p.
- Perkins, E.G. 1967. Non-volatile decomposition products in heated fats and oils. Food Technology. 21: 611-616.
- Petsch., F. 2007. The nibble great food finds™. Australia's brookfarm: Mac-nificent [online]. Available from: www.thenibble.com/zine/archives/brookfarm-macadamia-oil.asp. [2010, February 5].
- Phattanayindee, S. 2007. Changes in the composition of volatile compounds and lipids during processing of macadamia nuts. Master's Thesis, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. 7-12 ; 66-67.
- Patipatpaopong, T. 2007. Extraction and characterization of OKRA *Abelmoschus esculentus* mucilage. Master's Thesis, Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. 91 p.

- Quinn, L.A., and Tang, H.H. 1996. Antioxidant properties of phenolic compounds in macadamia nuts. Journal of the American oil Chemists's Society. 73(11): 1585-1588.
- Ré, M.I. 1998. Microencapsulation by spray-drying. Drying Technology. 16(6): 1195-1236.
- Reineccius, G.A. 1989. Flavour encapsulation. Food Reviews International. 5: 147-176.
- Reineccius, G.A. 1991. Carbohydrates for flavor encapsulation. Food Technology. 45(3): 144-147.
- Robards, K., Kerr, A.F., and Patsalides, E. 1988. Rancidity and its measurement in edible oils and snack food. A review. Analyst. 113: 213.
- Saleeb, W.F., Yermanos, D.M., Huszar, C.K., Story, W.B., and Labanauskas, C.K. 1973. The oil and protein in nuts of *Macadamia tetraphylla* L. Johnson, *Macadamia integrifolia* Maiden and Betche, and their hybrids. American Society for Horticultural Science. 98(5): 453-456.
- Samolin, L.A., and Grosvenor, M.B. 2000. Nutrition Science & Applications. 3rd ed. Virginia: Saunders College Publishing. 128-163.
- Savage, G.P., Dutta, P.C., and McNeil, D.L. 1999. Fatty acid and tocopherol contents and oxidative stability of walnut oil. Journal of the American oil Chemists's Society. 76(9): 1059-1063.
- Serfert, Y., Drusch, S., and Schwarz, K. 2009. Chemical stabilization of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenization, microencapsulation and storage. Food Chemistry. 113: 1106-1112.
- Serfert, Y., Drusch, S., Schmidt-Hansberg, B., Kind, M., and Schwarz, K. 2009. Process engineering parameter and type of n-octenylsuccinate-derivatised starch affect oxidative stability of microencapsulation long chain polyunsaturated fat acid. Journal of Food Engineering. 95: 386-392.
- Shahidi, F., and Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 33: 501-547.
- Shiela, P.M., Sreerama, Y.N., and Krishna, A.G.G. 2004. Storage stability evaluation of some packed vegetable oil blend. Journal of the American oil Chemists's Society. 81(12): 1125-1129.

- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., and Liu, X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. Journal of Food Engineering. 76: 664-669.
- Silva, F.A., Marsaioli, A.J., Maximo, G.J., Silva, M.A.A.P., and Goncalves, L.A.G. 2006. Microwave assisted drying of macadamia nuts. Journal of Food Engineering. 77: 550-558.
- Thevennet, F. 1988. Acacia gums: Stabilizers for flavour encapsulation. Flavour Encapsulation. American Chemical Society. Washington, D.C.: 45-54.
- Todd, R.D. 1970. Microencapsulation and flavour industry. Flavour Industry. 1: 768.
- Trubiano, P.O., and Lacourse, N.L. 1988. Emulsion-stabilizing starches: use in flavor encapsulation. Flavour Encapsulation. In by Risch, S.J., and Reineccius, G.A.(eds). Washington, D.C: American Chemical Society. 45-54.
- Wall, M.M., and Gentry, T.S. 2007. Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). Food Science and Technology. 40: 587-593.
- Walton, D.E., and Mumford, C.J. 1999. The morphology of spray-dried particles. The effect of process variables upon the morphology of spray-dried particles. Transactions of IChemE. 77A: 442-460.
- Winterton, D. 1968. The macadamia nut industry-problems and prospects. Food Technology in Australia. 20: .119-121.
- Wong, C. P. 1998. Polymers for encapsulation: Materials processes and reliability. Chip Scale Review. 2(1): 30 p.
- Woo, M.W., Daud, W.R.W., Tasirin, S.M., and Talib, M.Z.M. 2008. Amorphous particle deposition and product quality under different conditions in a spray dryer. Particuology. 6: 265-270.
- USDA. 2009. National Nutrient Database for Standard Reference Release 19. Nut. macadamia nuts, raw [online]. Available from: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. [2009, October 21].
- Yu, C., Wang, W., Yao, H., and Liu, H. 2007. Preparation of phospholipid microcapsule by spray drying. Drying Technology. 25: 695-702.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก. 1 การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (AOCS Official Method Cd 8-53, 1998)

สารเคมี

1. สารละลายผสม acetic acid : chloroform (v/v) อัตราส่วน 3 : 2
2. สารละลาย potassium iodide (KI) อิมัตว์ เตรียมโดยชั่ง KI ประมาณ 10 กรัม ในน้ำกลั่นเดือด 6 มิลลิกรัม ต้องมีผลึกของ KI ตลอด บรรจุในขวดสีขามีฝาปิดและเก็บในที่มืด
3. สารละลาย sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1 N เตรียมโดยละลาย sodium thiosulfate 24.9 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
4. สารละลาย sodium thiosulfate 0.01 N เตรียมโดยปิเปต sodium thiosulfate จากข้อ 3 มา 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร
5. สารละลายแป้ง เตรียมโดยชั่งแป้งน้ำหนัก 1 กรัม เติมน้ำกลั่นร้อน 100 มิลลิลิตร และให้ความร้อนเล็กน้อยและทำให้เย็น เก็บรักษาในตู้เย็น

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5.00 ± 0.05 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ที่มี glass stopper 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย acetic acid : chloroform (3:2) 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เติมสารละลาย KI อิมัตว์ 0.5 มิลลิลิตร ปิดจุก flask เขย่าและเก็บในที่มืด 1 นาที
3. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร และสารละลายแป้ง 2 มิลลิลิตร
4. ไตเตรตด้วย sodium thiosulfate 0.01 N จนสีม่วงหายไป
5. จุดบันทึกปริมาตรสารละลาย sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรต
6. ทำ blank โดยเริ่มวิธีทดลองตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 แต่ไม่เติมตัวอย่างน้ำมัน และไตเตรตด้วย sodium thiosulfate 0.01 N จนสีเหลืองของสารละลายไอโอดีนหายไป

วิธีการคำนวณ

$$PV \text{ (meq O}_2\text{/kg oil)} = \frac{(S - B) \times N \times 1000}{W}$$

เมื่อกำหนดให้ S คือ ปริมาตร sodium thiosulfate ที่ได้จากการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร), B คือ ปริมาตร sodium thiosulfate ที่ได้จากการไตเตรท blank (มิลลิลิตร), N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย sodium thiosulfate ในหน่วย normality และ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ก. 2 การวิเคราะห์ร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS Official Method Cd 5- 49, 1998)

สารเคมี

1. Ethyl alcohol 95%
2. Indicator (phenolphthalein 1 กรัม ใน ethyl alcohol 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)
3. Sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 5.00 ± 0.05 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask
2. เติม ethyl alcohol (ที่ถูกรักษาให้เป็นกลางโดยเติม indicator 2 มิลลิลิตร และสารละลาย NaOH 0.1 N จนเกิดสีชมพูอมม่วง) 100 มิลลิลิตร และ indicator 2 มิลลิลิตร
3. ไตเตรทด้วยสารละลาย NaOH 0.1 N จนกระทั่งเกิดสีชมพูอ่อน นาน 30 วินาที
4. จดปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท
5. ทำ blank ตั้งแต่วิธีทดลองข้อ 2 ถึงข้อ 3

วิธีการคำนวณ

$$\%FFA \text{ (oleic acid)} = \frac{(V \times N \times 282 \times 100)}{(W \times 1000)}$$

เมื่อกำหนดให้ V คือ ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ได้จากการไตเตรท (มิลลิลิตร), N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสายละลาย NaOH มีหน่วย normality, 282 คือ น้ำหนักโมลโมเลกุล (molecular weight) ของกรดไขมัน oleic acid ในหน่วย กรัม/โมล และ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ก. 3 การวัดขนาดหยดน้ำมัน (Patipatpaopong, 2007; Bylaite *et al.*, 2001)

วิธีทดลอง

1. หยดตัวอย่างอิมัลชันลงบนกระจกสไลด์ และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
2. ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ trinocular phase contrast microscope (Olympus รุ่น BX51 TF, Japan) ที่กำลังขยาย x100 และถ่ายภาพ
3. นำภาพที่ถ่ายได้มาวัดขนาดหยดน้ำมันด้วยโปรแกรม ImageJ Basics (version1.38) จำนวนตัวอย่างละ 300 หยด

วิธีคำนวณ

$$\text{Volume particle diameter } (D_{4,3}) = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

เมื่อกำหนดให้ n_i คือ จำนวนหยดน้ำมันของเส้นผ่านศูนย์กลาง d_i โดย d_i หาได้จากการนำพื้นที่วงกลมที่โปรแกรม ImageJ Basics วิเคราะห์ได้มาหารด้วย กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ (x100 หรือ 1000 เท่า) และคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลาง

ก. 4 การวัดความหนืด (Kim *et al.*, 1996)

วิธีการทดลอง

1. วัดความหนืดของตัวอย่างอิมัลชันหลังผ่านการ homogenize ภายใน 2 ชั่วโมง และควบคุมตัวอย่างที่ 25°C โดยบรรจุตัวอย่างในขวดในปริมาณที่ท่วมขีดกำหนดของหัววัด (ใช้หัว spindle เบอร์ 2 และเบอร์ 3)
2. เริ่มการทำงานของเครื่องวัดความหนืด (Viscometer Rheology International, รุ่น RI:2:L, Shannon Ltd., Ireland) จับเวลา 2 นาที
3. จดบันทึกค่าที่อ่านได้เป็นหน่วย mPa.s

ก. 5 การสกัดน้ำมันออกจากอิมัลชัน (Marshall, 1992 โดยดัดแปลงการสกัดน้ำมันด้วยวิธี Roese-Gottlieb)

สารเคมี

1. สารละลาย ammonia 25%
2. Diethyl ether
3. Ethyl alcohol 95%
4. Petroleum ether

วิธีทดลอง

1. ใส่ตัวอย่างอิมัลชัน 50 มิลลิลิตร ใน separation flask 500 มิลลิลิตร เติม สารละลาย ammonia 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
2. เติม ethyl alcohol 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม diethyl ether 150 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ นาน 1 นาที
3. เติม petroleum ether 150 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ นาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นแยก petroleum ether แยกส่วนบนใส่ในขวดก้นกลม (flat round bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยเติม diethyl ether และ petroleum ether (อัตราส่วน 1:1) 150 มิลลิลิตร ใน separation flask
5. เท petroleum ether ในขวดก้นกลมใบเดิม
6. ระเหย petroleum ether ออกจากขวดก้นกลมด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator อุณหภูมิ 40°C จนหมด

ก. 6 การวัดขนาดอนุภาค (ดัดแปลงจาก Huynh *et al.*, 2008)

วิธีการทดลอง

1. นำภาพที่ได้จากการส่องด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-S410LV, Japan) โดยแบ่งเป็นภาพพื้นผิวไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย และภาพภาคตัดขวางของไมโครแคปซูลน้ำมัน (ซึ่งเตรียมจากการนำไปมีดโกนสับไมโครแคปซูลแบบสุ่ม และนำไมโครแคปซูลที่ติดตามใบมีดโกนติดลงในหัวหมุด เพื่อนำไปฉาบทองคำ และส่องด้วยเครื่อง SEM ต่อไป)
2. วัดขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม SemAfore (version 4.01 demo, Finland) จำนวน 50 อนุภาค

วิธีคำนวณ

$$\text{Volume particle diameter } (D_{4,3}) = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

เมื่อกำหนดให้ n_i คือ จำนวนอนุภาคไมโครแคปซูลของเส้นผ่านศูนย์กลาง d_i

ก. 7 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (ดัดแปลงจากวิธีของ Beristain *et al.*, 2001)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างไมโครแคปซูล 2.00 ± 0.05 กรัม บรรจุลงในกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
2. เคาะกระบอกตวงจำนวน 15 ครั้ง ที่ระดับความสูงจากพื้น 1 นิ้ว
3. จดปริมาตรที่ได้

วิธีคำนวณ

$$d = m / v$$

เมื่อกำหนดให้ d คือ ค่าความหนาแน่นของอนุภาค, m คือ น้ำหนักตัวอย่างไมโครแคปซูล และ v คือ ปริมาตรที่วัดได้จากกระบอกตวง

ก. 8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูล วิธี Soxhlet extraction (AOCS Official Method Aa 4-38, 1998)

สารเคมี

1. Petroleum ether

วิธีทดลอง

1. อบขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อน (hot air oven)(Memmert, รุ่น 600, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและจดปริมาตรน้ำหนักขวดก้นกลมเปล่า
2. ชั่งตัวอย่างไมโครแคปซูลประมาณ 2.00 ± 0.05 กรัม ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
3. ใส่ตัวอย่างไมโครแคปซูลที่ห่อด้วยกระดาษกรองลงใน thimble แล้วประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน (Soxhlet extractor, Gerhardt, รุ่น HC61, Germany) เติ petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดไขมันนาน 4 ชั่วโมง
4. ระเหย petroleum ether ออกจากขวดก้นกลมด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator (Eyela, รุ่น SB-651, Japan) จนหมด
5. อบขวดก้นกลมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมหลังการสกัด ทำซ้ำในข้อ 5 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณไขมันทั้งหมดในตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันทั้งหมด(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักขวดหลังสกัด} - \text{น้ำหนักขวดก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

(total oil)

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. 9 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ผิวไมโครแคปซูล (ดัดแปลงจาก Hogan *et al.*, 2001a)

สารเคมี

1. Petroleum ether

วิธีการทดลอง

1. อบขวดก้นกลม (flat round bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อน (hot air oven)(Memmert, รุ่น 600, Germany) ที่อุณหภูมิ $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ซึ่งและจดปริมาตรน้ำหนักขวดก้นกลมเปล่า
2. ชั่งตัวอย่างไมโครแคปซูลประมาณ 2.00 ± 0.05 กรัม บรรจุลงใน Mojonnier tube
3. เเท petroleum ether 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C
4. กรอง petroleum ether ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 ใส่ขวดก้นกลม
5. ระเหย petroleum ether ด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator จนหมด
6. อบขวดก้นกลมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ซึ่งน้ำหนักขวดก้นกลมหลังอบ ทำซ้ำในข้อ 6 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณไขมันที่ผิวของตัวอย่างไมโครแคปซูล

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันที่ผิว (surface oil) (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักขวดหลังสกัด} - \text{น้ำหนักขวดก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ก. 10 การคำนวณประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล (ME(%)) (Hogan *et al.*, 2001a)

$$\text{ME (\%)} = [(\text{total oil} - \text{surface oil}) / \text{total oil}] \times 100$$

ก. 11 การสกัดน้ำมันออกจากไมโครแคปซูล (ดัดแปลงจาก Savage, Dutta and McNeil, 1999)

สารเคมี

1. Petroleum ether

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างไมโครแคปซูล 20 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร
2. เติม petroleum ether 150 มิลลิลิตร เปิดจุก flask
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่อง shaker (Gyrotory , รุ่น G 2, USA) ที่ความเร็ว 200 rpm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (25°C)
4. ตั้ง Erlenmeyer flask ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นกรอง petroleum ether ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 โดยบรรจุในขวดก้นกลม 250 มิลลิลิตร
5. นำขวดก้นกลมไประเหย petroleum ether ออกด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator อุณหภูมิ 40°C นาน 5 นาที
6. นำน้ำมันแมคาเดเมียที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. 12 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ดัดแปลงจาก Kolanowski *et al.*, 2007)

การคัดเลือกผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้ผู้ทดสอบจากนิสิตในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คัดเลือกผู้ทดสอบให้ได้จำนวน 15 คน ใช้การทดสอบแบบ multiple comparison โดยเสิร์ฟน้ำมันถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้นของกลิ่นเหินแตกต่างกัน 5 ตัวอย่าง แล้วให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับกลิ่นเหินจากน้อยไปมาก ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เลือกผู้ทดสอบที่เรียงลำดับถูกต้องมากที่สุดจำนวน 15 คน

แบบประเมินที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ทดสอบแสดงดังภาคผนวก ก.13

การกึ่งฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นของน้ำมันแมคาเดเมีย กลิ่นน้ำมันแมคาเดเมียเหิน กลิ่นไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย (ไม่มีกลิ่นเหิน) โดยสร้างความคุ้นเคยของทั้งสามตัวอย่างให้กับผู้ทดสอบ สัปดาห์ละครั้งเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

การเสิร์ฟตัวอย่างในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

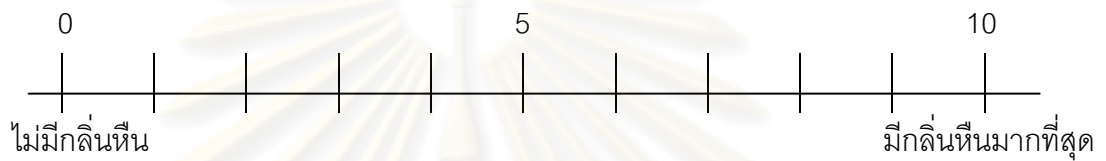
การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่น โดยเสิร์ฟไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุม และไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บรักษาในภาวะต่างๆ รวมทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยเตรียมตัวอย่างละปริมาณ 2 กรัม บรรจุอยู่ในขวดแก้วที่ถูกหุ้มกระดาษสีขาว ปิดฝาและใส่รหัสกำกับตัวอย่างเป็นตัวเลขสุ่ม 3 หลัก ก่อนการประเมินจะให้ผู้ทดสอบใช้ช้อนพลาสติกที่เตรียมไว้ช้อนไมโครแคปซูลที่อยู่ภายในขวดแก้ว เพื่อให้อนุภาคไมโครแคปซูลแตกออก ปิดฝาสักครู่ จากนั้นจึงเปิดฝาขวดและสูดดมหายใจเข้าให้ลึก ทำแบบประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมีย แสดงดังภาคผนวก ก.14 โดยประเมินความแตกต่างด้านกลิ่นเหินของตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่เก็บในภาวะต่างๆเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุม โดยค่าคะแนนความแตกต่างที่ใช้ตั้งแต่ 0 – 10 ซึ่งหมายถึงไม่มีความแตกต่างไปจนถึงแตกต่างมากที่สุดจากตัวอย่างควบคุม ทำการประเมิน 2 ซ้ำ ประเมินทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

แบบประเมินเพื่อคัดเลือกผู้ทดสอบ

ก. 13 แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมัน

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

คำแนะนำ : กรุณาดมกลิ่นตัวอย่างน้ำมันจากซ้ายไปขวา แล้วลากเส้นตรงตั้งฉากกับเส้นสเกลในแนวนอน พร้อมทั้งใส่รหัสกำกับตัวอย่างไว้บนเส้นที่ท่านลาก



ข้อเสนอแนะ _____

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. 14 แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไมโครแคปซูลน้ำมัน
แมคาเดเมีย

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

ตอนที่ 1 : กรุณาดมกลิ่นตัวอย่างไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียจากซ้ายไปขวา แล้วพิจารณา
ระดับความแตกต่างของกลิ่นหื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยรหัสของแต่ละตัวอย่าง
ในช่องว่าง

_____	0= ไม่แตกต่าง
_____	1
_____	2
_____	3
_____	4
_____	5
_____	6
_____	7
_____	8
_____	9 = แตกต่างมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ตาราง ข.1 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C โดยแต่ละอุณหภูมิ ทั้งการบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน

วันที่	ภาวะการเก็บ	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (meq.O ₂ /kg oil)					
		ไม่อัดก๊าซ N ₂			อัดก๊าซ N ₂		
		30°C	45°C	55°C	30°C	45°C	55°C
0		0.564±0.030	0.564±0.030	0.564±0.030	0.564±0.030	0.564±0.030	0.564±0.030
5		-	0.583±0.019	0.588±0.001	-	0.593±0.004	0.589±0.003
7		0.585±0.006	-	-	0.581±0.007	-	-
10		-	0.579±0.024	0.551±0.030	-	0.576±0.013	0.551±0.014
14		0.590±0.004	-	-	0.573±0.011	-	-
15		-	0.578±0.008	0.563±0.006	-	0.571±0.015	0.566±0.019
20		-	0.589±0.008	0.582±0.016	-	0.577±0.007	0.578±0.013
21		0.568±0.024	-	-	0.581±0.013	-	-
25		-	0.565±0.016	0.584±0.013	-	0.579±0.013	0.586±0.020
28		0.578±0.023	-	-	0.591±0.005	-	-
30		-	0.568±0.018	0.563±0.018	-	0.579±0.012	0.573±0.017

ตาราง ข.1(ต่อ) ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C โดยแต่ละอุณหภูมิ ทั้งการบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน

วันที่	ภาวะการเก็บ	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (meq.O ₂ /kg oil)					
		ไม่อัดก๊าซ N ₂			อัดก๊าซ N ₂		
		30°C	45°C	55°C	30°C	45°C	55°C
35		0.562±0.007	0.578±0.011	0.579±0.018	0.581±0.014	0.583±0.017	0.574±0.020
40		-	0.579±0.005	0.550±0.016	-	0.593±0.007	0.576±0.019
42		0.570±0.026	-	-	0.577±0.014	-	-
45		-	0.594±0.008	0.576±0.020	-	0.590±0.013	0.573±0.023
49		0.582±0.011	-	-	0.570±0.029	-	-
50		-	0.581±0.021	0.578±0.021	-	0.575±0.016	0.581±0.003
55		-	0.633±0.104	0.769±0.050	-	0.582±0.017	-
56		0.579±0.020	-	-	0.575±0.019	-	0.595±0.001
60		-	0.804±0.069	0.893±0.087	-	0.639±0.106	0.631±0.120

ตาราง ข.2 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บเป็นระยะเวลา 44 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C, 45°C และ 55°C โดยแต่ละอุณหภูมิ ทั้งการบรรจุแบบอัดและไม่อัดก๊าซไนโตรเจน

วันที่	ภาวะการเก็บ	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (meq.O ₂ /kg oil)					
		ไม่อัดก๊าซ N ₂			อัดก๊าซ N ₂		
		30°C	45°C	55°C,	30°C	45°C	55°C
0		0.369±0.008	0.369±0.008	0.369±0.008	0.369±0.008	0.369±0.008	0.369±0.008
4		0.396±0.002	0.394±0.001	0.457±0.108	0.389±0.016	0.396±0.003	0.462±0.113
8		0.525±0.112	0.594±0.001	0.722±0.112	0.395±0.003	0.396±0.003	0.528±0.113
12		0.597±0.002	0.723±0.113	0.794±0.001	0.596±0.002	0.597±0.003	0.728±0.111
16		0.657±0.112	0.785±0.009	0.912±0.107	0.589±0.010	0.659±0.119	0.790±0.003
20		0.722±0.110	0.859±0.111	1.195±0.199	0.658±0.108	0.726±0.114	0.994±0.004
24		0.720±0.108	0.857±0.105	1.308±0.108	0.651±0.105	0.727±0.113	1.048±0.120
28		0.789±0.006	0.854±0.108	1.460±0.113	0.658±0.109	0.720±0.113	1.108±0.100
32		0.862±0.110	0.855±0.108	1.509±0.206	0.789±0.012	0.853±0.116	1.190±0.006
36		0.855±0.113	0.920±0.110	1.898±0.092	0.791±0.003	0.860±0.113	1.369±0.175
40		0.849±0.102	1.126±0.111	2.519±0.113	0.794±0.005	1.046±0.118	2.247±0.105
44		1.121±0.107	1.182±0.009	3.262±0.075	0.795±0.003	1.119±0.107	2.828±0.105

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตาราง ค.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดหยดน้ำมัน เมื่อแปรอัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin (A), อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ : วัสดุแกน (B) และความดันในการ homogenize (C) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	7.31	7	1.04	8.74	< 0.0001
A	6.136E-003	1	6.136E-003	0.051	0.8218
B	3.88	1	3.88	32.46	< 0.0001
C	0.028	1	0.028	0.23	0.6321
AB	0.078	1	0.078	0.65	0.4228
AC	0.019	1	0.019	0.16	0.6900
BC	3.27	1	3.27	27.36	< 0.0001
ABC	0.031	1	0.031	0.26	0.6152
Residual	5.50	46	0.12		
Lack of Fit	5.14	19	0.27	20.18	<0.0001
Error	0.36	27	0.013		
Cor. total	12.81	53			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนืดของอิมัลชัน
เมื่อแปรอัตราส่วนระหว่าง NaCas : maltodextrin (A), อัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ :
วัสดุแกน (B) และความดันในการ homogenize (C) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	1.987E+005	7	28381.32	22.50	< 0.0001
A	17193.33	1	17193.33	13.63	0.0006
B	1.109E+005	1	1.109E+005	87.88	< 0.0001
C	17301.02	1	17301.02	13.71	0.0006
AB	12180.17	1	12180.17	9.65	0.0032
AC	2987.09	1	2987.09	2.37	0.1307
BC	30485.03	1	30485.03	24.16	< 0.0001
ABC	7658.00	1	7658.00	6.07	0.0175
Residual	58031.55	46	1261.56		
Lack of Fit	57588.87	19	3030.99	184.87	<0.0001
Error	442.68	27	16.40		
Cor. total	2.567E+005	53			

ตาราง ค.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าขนาดหยดน้ำมัน เมื่อ
แปรชนิดน้ำมัน (ระหว่างน้ำมันมะกอก และน้ำมันแมคาเดเมีย) ในการเตรียมอิมัลชัน
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Between groups	0.416	1	0.416	2.017	0.291
Within groups	0.412	2	0.206		
Total	0.828	3			

ตาราง ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนืด เมื่อแปรชนิดน้ำมัน (ระหว่างน้ำมันมะกอก และน้ำมันแมคาเดเมีย) ในการเตรียมอิมัลชัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Between groups	0.000	1	0.000	8.000	0.106
Within groups	0.000	2	0.000		
Total	0.001	3			

ตาราง ค.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาคไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	10.67	3	3.56	27.67	< 0.0001
A	4.86	1	4.86	37.86	< 0.0001
B	5.73	1	5.73	44.58	< 0.0001
AB	0.074	1	0.074	90.58	0.4601
Residual	1.80	14	0.13		
Lack of Fit	1.41	5	0.28	6.54	0.0078
Error	0.39	9	0.043		
Cor. total	12.46	17			

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณความชื้น เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	0.075	3	0.025	6.90	0.0044
A	0.074	1	0.074	20.40	0.0005
B	8.333E-004	1	8.333E-004	0.23	0.6383
AB	2.000E-004	1	2.000E-004	0.055	0.8173
Residual	0.051	14	3.610E-003		
Lack of Fit	0.044	5	8.767E-003	11.78	0.0010
Error	6.700E-003	9	7.444E-004		
Cor. total	0.13	17			

ตาราง ค.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าความหนาแน่นของไมโครแคปซูลเมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	4.658E-003	3	1.553E-003	22.05	< 0.0001
A	1.200E-003	1	1.200E-003	17.04	0.0010
B	3.008E-003	1	3.008E-003	42.71	< 0.0001
AB	4.500E-004	1	4.500E-004	6.39	0.0241
Residual	9.861E-004	14	7.044E-005		
Lack of Fit	5.861E-004	5	1.172E-004	2.64	0.0977
Error	4.000E-004	9	4.444E-005		
Cor. total	5.644E-003	17			

ตาราง ค.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำมันทั้งหมด เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	5.26	3	1.75	0.92	0.4584
A	0.19	1	0.19	0.097	0.7605
B	0.32	1	0.32	0.17	0.6903
AB	4.76	1	4.76	2.49	0.1372
Residual	26.80	14	1.91		
Lack of Fit	6.48	5	1.30	0.57	0.7194
Error	20.32	9	2.26		
Cor. total	32.06	17			

ตาราง ค.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำมันที่ผิวไม่โครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	4.40	3	1.47	34.50	< 0.0001
A	3.08	1	3.08	72.43	< 0.0001
B	1.28	1	1.28	30.11	< 0.0001
AB	0.041	1	0.041	0.95	0.3451
Residual	0.60	14	0.043		
Lack of Fit	0.12	5	0.024	0.46	0.7966
Error	0.47	9	0.053		
Cor. total	5.00	17			

ตาราง ค.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของประสิทธิภาพการทำไมโครแคปซูล เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	9.96	3	3.32	28.42	< 0.0001
A	6.84	1	6.84	58.64	< 0.0001
B	2.68	1	2.68	22.97	0.0003
AB	0.43	1	0.43	3.67	0.0761
Residual	1.63	14	0.12		
Lack of Fit	0.24	5	0.048	0.31	0.8937
Error	1.39	9	0.15		
Cor. total	11.58	17			

ตาราง ค.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระ เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิผสมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	5.708E-003	3	1.903E-003	14.38	< 0.0001
A	3.000E-004	1	3.000E-004	2.27	0.1544
B	5.208E-003	1	5.208E-003	39.36	< 0.0001
AB	2.000E-004	1	2.000E-004	1.51	0.2392
Residual	1.853E-003	14	1.323E-004		
Lack of Fit	1.703E-003	5	3.406E-004	20.43	0.0001
Error	1.500E-004	9	1.667E-005		
Cor. total	7.561E-003	17			

ตาราง ค.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณเปอร์ออกไซด์
เมื่อแปรอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (A) และอุณหภูมิลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง (B)
ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	0.024	3	7.955E-003	4.70	0.0180
A	2.187E-003	1	2.187E-003	1.29	0.2749
B	0.015	1	0.015	8.93	0.0098
AB	6.555E-003	1	6.555E-003	3.87	0.0693
Residual	0.024	14	1.694E-003		
Lack of Fit	0.011	5	2.189E-003	1.54	0.2690
Error	0.013	9	1.418E-003		
Cor. total	0.048	17			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของความแตกต่างในการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียตัวอย่างควบคุมกับไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียที่ผ่านการเก็บที่ภาวะต่างๆ โดยการแปรคุณภูมิ (A) ภาวะการบรรจุ (B) และระยะเวลา (C) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Source	SS	DF	MS	F-value	Sig.
Model	67.216	53	1.268	1.951	0.000
Intercept	809.000	1	809.000	1.244E3	0.000
A	13.188	2	6.594	10.142	0.000
B	0.008	1	0.008	0.012	0.913
C	43.514	8	5.439	8.366	0.000
AB	0.047	2	0.023	0.036	0.965
AC	6.057	16	0.379	0.582	0.899
BC	0.606	8	0.076	0.117	0.999
ABC	3.798	16	0.237	0.365	0.989
Error	491.533	0.756	0.650		
Total	1367.750	0.810			
Cor.Total	558.750	0.809			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิดา มหาเมฆทัศน์ีย์ เกิดเมื่อวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เมื่อปีการศึกษา 2547 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

ธิดา มหาเมฆทัศน์ีย์, กัลยา เลาสงคราม และสายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. 2552. การทำไมโครแคปซูลน้ำมันแมคาเดเมียโดยการทำแห้งแบบพ่น ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 (ภาคบรรยาย). วันที่ 10-11 กันยายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย