การผลิตเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันปาล์ม

นางสาวสิรินธร ทิพย์สุนทรศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-407-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20507306

PRODUCTION OF COCOA BUTTER SUBSTITUTES FROM PALM OILS

Miss. Sirinthorn Thipsunthornsak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year1996
ISBN 974-635-407-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันปาล์ม
โดย	นางสาวสิรินธร ทิพย์สุนทรศักดิ์
สาขาวิชา	หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ศุภศร พัฒนอักษร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ศุภศร พัฒนอักษร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สิรินธร ทิพย์สุนทรศักดิ์ : การผลิตเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันปาล์ม (PRODUCTION OF COCOA BUTTER SUBSTITUTES FROM PALM OILS) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ศุภศร พัฒนอักษร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. อมร เพชรสม, 115 หน้า. ISBN 974-635-407-8

งานวิจัยนี้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันปาล์มให้เป็นเนยโกโก้เทียม โดยการใช้น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริก โดยมีตัวทำละลายคือ เฮกเซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และตัวเร่งปฏิกิริยาคือ เอนไซม์ไลเปสที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์จากเชื้อ <u>Mucor miehei</u> ซึ่งตรึงอยู่บนซีไลท์ ปฏิกิริยาสามารถเพิ่มสัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ 1(3)-Palmitoyl-3(1)-Stearoyl-2-Monoolein (POSt) จาก 7.9 % ในน้ำมันปาล์มเป็น 41 % ในเนยโกโก้เทียมที่ได้จากปฏิกิริยา ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วน POSt ในเนยโกโก้จริง เนยโกโก้เทียมที่ได้มีช่วงของการหลอมเหลวใกล้เคียงกับช่วงการหลอมเหลวของเนยโกโก้จริง งานวิจัยนี้ได้ครอบคลุมถึงขั้นตอนการเตรียมเอนไซม์ไลเปสตรึงที่ใช้ในปฏิกิริยาด้วย

ภาควิชา .... - ....ลายมือชื่อนิสิต ....สิรินธร ทิพย์สุนทรศักดิ์........

สาขาวิชา ....หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ........ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....[signature]........

ปีการศึกษา ....2539........ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....[signature]........

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C727035 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD: COCOA BUTTER SUBSTITUTES/LIPASE/PALM OILS/TRANSESTERIFICATION

SIRINTHORN THIPSUNTHORNSAK : PRODUCTION OF COCOA BUTTER SUBSTITUTES FROM PALM OILS. THESIS ADVISOR : SUPASON PATTANAARGSON, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. AMORN PETSOM, Ph.D. 115 pp. ISBN 974-635-407-8.

The process of converting palm oil into cocoa butter (cocoa butter substitute) involves the reaction between palm oil and stearic acid in water-saturated hexane with cilite-immobilized 1,3-specific lipase. Analyzing the product of this reaction shows the increase in POSt content from 7.9 % in palm oil to 41 % in cocoa butter substitute. The resulting cocoa butter substitute also shows similar melting profile as that of natural cocoa butter. The process of preparing celite-immobilized 1,3-specific lipase from free lipase of *Mucor miehei* was also included.

ภาควิชา ....-............ ลายมือชื่อนิสิต สิรินธร ทิพย์สุนทรศักดิ์

สาขาวิชา หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. ศุภศร พัฒนอักษร ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำ รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำอันมีคุณค่ายิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตุศาสตร์ และรองศาสตราจารย์ ดร. นลิน นิลอุบล ที่กรุณาให้คำแนะนำและแนวคิดอันมีค่ายิ่งต่อการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท มรกต (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาน้ำมันปาล์มสำหรับทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท สยามโกโก้โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาเนยโกโก้สำหรับทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท อี๊สต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาเอนไซม์สำหรับทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณณรงค์ หอมจันทร์ และคุณปรีดา ไชยฤทธิ์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายช่างเทคนิคที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนอำนวยความสะดวกในระหว่างการหำวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย และน้องชาย ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ เงินทอง ตลอดจนเป็นกำลังใจจนมีวันนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ Biotech ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี คุณนงลักษณ์ ธนูถนัด และน้องอังสุมาริน อนุบูรณะวรรณ ที่ช่วยพิมพ์และแก้ไขวิทยานิพนธ์ คุณธนาวัฒน์ พุทธวิริยะ ที่ให้ยืมเครื่องคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณ คุณศุภากร แสนอ่อน คุณอัจฉรา มาดิยา คุณสุมาลี เฟื่องฟู และเพื่อนๆ Biotech มศว. ที่ให้ความช่วยเหลือ และช่วยเติมกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณกัลยารัตน์ เครือสาร ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์และเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาที่เริ่มศึกษาปริญญาโทจนถึงวันนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ต้นโกโก้ที่นิยมปลูกในเชิงการค้า	3
2.2 เนยโกโก้	5
2.3 องค์ประกอบของเนยโกโก้	6
2.4 น้ำมันปาล์ม	7
2.5 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม	13
2.6 เอนไซม์ไลเปส	15
2.7 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้เอนไซม์ในตัวทำละลายอินทรีย์	20
2.8 การแปรรูปน้ำมันปาล์มไปเป็นเนยโกโก้	24
2.9 การศึกษาที่เกี่ยวกับการแปรรูปน้ำมันไปเป็นเนยโกโก้	26
2.10 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของน้ำมัน	28
2.11 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย
3.1 การหากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม เนยโกโก้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยวิธี GC 34
3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้...................................35
3.3 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน...37
3.4 การแยกส่วนผลิกภัณฑ์จากปฏิกิริยาด้วยการตกตะกอน...............................40
3.5 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันปริมาณกรดสเตียริก........44
3.6 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันอุณหภูมิ ในการทำปฏิกิริยา..45
3.7 การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันระยะ เวลาในการทำปฏิกิริยา...48
3.8 การหาค่าคงที่ต่าง ๆ ของไขมัน..50
3.9 การนำเอนไซม์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่...52
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1 การวิเคราะห์กรดไขมันของน้ำมันปาล์ม และเนยโกโก้ ด้วยวิธี GC.............53
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้.............................58
4.3 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ไลเปสอิสระ..67
4.4 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ไลเปสตรึง..69
4.5 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยการแปรผันปริมาณเอนไซม์ตรึง ที่เตรียมที่ 0°ซ และเตรียมที่อุณหภูมิห้อง โดยการอบแห้ง แบบสูญญากาศ...74
4.6 การแยกส่วนผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาด้วยการตกตะกอน...............................77
4.7 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันปริมาณกรดสเตียริก...............................80
4.8 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา......................83
4.9 ทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยแปรผันระยะในการทำปฏิกิริยา...........................87
4.10 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของไขมัน/น้ำมัน...90
4.11 การนำเอนไซม์ตรึงที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่..92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 สรุปผลการทดลอง..110
รายการอ้างอิง..102
ภาคผนวก..105
ประวัติผู้เขียน..115

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันประเภทต่าง ๆ และไตรกลีเซอไรด์ประเภทต่าง ๆ ในเนยโกโก้....6
2.2 สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของเนยโกโก้....7
2.3 ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากเนื้อปาล์มหุ้มเมล็ด (Palm oil) และ น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม....8
2.4 สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ของเนื้อหุ้มปาล์ม(Palm oil) และ น้ำมันจากเมล็ดหุ้มเมล็ด (Palm kernal oil)....9
2.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม....13
2.6 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์ม....13
2.7 คาร์บอนนัมเบอร์ในน้ำมันปาล์ม....14
3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หากรดไขมันมาตรฐานโดยเครื่อง GC....35
3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน โดยเครื่อง HPLC....36
3.3 ปริมาณสารต่าง ๆ และเอนไซม์ไลเปสอิสระ....37
3.4 ปริมาณสารต่าง ๆ และเอนไซม์ตรึง เมื่อมีการเติมเลซิทิน....39
3.5 ปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อแปรผันปริมาณเอนไซม์ตรึงที่ใช้ในการทดลอง....40
3.6 ปริมาณสารต่าง ๆ และเอนไซม์ตรึง เมื่อแปรผันปริมาณกรดสเตียริก....45
3.7 ปริมาณสารต่าง ๆ และเอนไซม์ตรึง เมื่อแปรผันอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา....46
3.8 ปริมาณสารต่าง ๆ เอนไซม์ตรึง อุณหภูมิ เมื่อแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา....49
4.1 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการหากรดไขมันมาตรฐานโดยวิธี GC 54
4.2 ค่ารีเทนชันไทม์ของเมธิลเอสเทอร์กรดไขมันมาตรฐาน....57
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์มาตรฐานโดยวิธี HPLC....58
4.4 ค่ารีเทนชันไทม์ของไตรกลีเซอไรด์มาตรฐานที่วิเคราะห์โดยวิธี HPLC....61
4.5 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ในน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้ (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้ไลเปสอิสระเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา20 ชม.(คำนวณจากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....67
4.7 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้ไลเปสอิสระเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา20 ชม.(คำนวณจากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....68
4.8 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้เอนไซม์ตรึงแบบระเหิดแห้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม.(คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....71
4.9 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้เอนไซม์ตรึงที่เตรียมที่ 0°ซ และอบแห้งแบบสูญญากาศ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม. (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....72
4.10 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้เอนไซม์ตรึงที่เตรียมที่อุณหภูมิห้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และอบแห้งแบบสูญญากาศ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม. (คำนวณได้จากพื้นที่ใตพีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....73
4.11 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยการแปรผันปริมาณเอนไซม์ตรึงที่อบแห้งแบบสูญญากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม.(คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....75
4.12 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก การแปรผันกรดสเตียริก ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม. (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจากHPLC)....81
4.14 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก การแปรผันอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชม. (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....84
4.15 จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อผ่านคอลัมน์ซิลิกาเจล โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC....86
4.16 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt ของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °ซ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....88
4.17 จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 23 ชม. เมื่อผ่านคอลัมน์ซิลิกาเจล โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC....89
4.18 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของน้ำมัน/ไขมัน....90
4.19 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt จากสารผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์ตรึงและเอนไซม์ตรึงที่ใช้แล้ว ในการแปรผันอุณหภูมิ (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....94
4.20 สัดส่วนของไตรกลีเซอไรด์ POP POSt และ StOSt จากสารผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์ตรึงและเอนไซม์ตรึงที่ใช้แล้ว ในการแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมจาก HPLC)....97

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนต่าง ๆในกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยวิธี
ทางเคมีและวิธีทางกายภาพ....12

2.2 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์กรดไขมันออกจากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์....15

2.3 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์กรดไขมันออกจากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โดย
เอนไซม์ไลเปสที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1และ 3 ของโมเลกุล
ไตรกลีเซอไรด์....16

2.4 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์กรดไขมันออกจากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้
เอนไซม์ไลเปสที่ไม่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งของกรดไขมันบนกลีเซอรอล....17

2.5 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ของไลเปสในธรรมชาติ....17

2.6 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน....18

2.7 ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซีสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์
โมเลกุลใหญ่....18

2.8 ไดอะแกรมของปฏิกิริยาอะซิโดไลซีส....19

2.9 ไดอะแกรมของปฏิกิริยากลีเซอโรไลซีส....19

2.10 ไดอะแกรมของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน....20

2.11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันระหว่าง
1,3-dipalmitoyl-2-oleoyl glycerol (POP) กับกรดสเตียริก (St)
โดยใช้เอนไซม์1,3- specific lipase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา....26

4.1 GCโครมาโทแกรมแสดงการแยกของสารมาตรฐานเมธิลเอสเทอร์ของ
กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดสเตียริก ที่ความเข้มข้น 0.5 มก./มล.
ในเฮกเซน ปริมาตรในการวิเคราะห์ 0.5 ไมโครลิตร....55

4.2 GCโครมาโทแกรมแสดงการแยกของสารมาตรฐานเมธิลเอสเทอร์ของ
กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดสเตียริกผสมที่ความเข้มข้น 0.5 มก./มล.
ในเฮกเซน ปริมาตรในการวิเคราะห์ ไมโครลิตร....56

4.3 GCโครมาโทแกรมแสดงการแยกของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้
ที่ความเข้มข้น 1000 ppm. ในเฮกเซน ปริมาตรในการวิเคราะห์ 0.5 ไมโครลิตร....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 HPLC โครมาโทแกรมแสดงการแยกของไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน POP POSt และ StOSt แต่ละชนิดที่ความเข้มข้น100 มก./มล. ในเตตราไฮโดรฟูราน โดยใช้ปริมาตรในการวิเคราะห์ 20 ไมโครลิตร....59
4.5 HPLC โครมาโทแกรมแสดงการแยกของไตรกลีเซอไรด์มาตรฐานผสม POP POSt และ StOSt ที่ความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์แต่ละตัวเป็น 100 มก./มล. ในเตตราไฮโดรฟูราน โดยใช้ปริมาตรในการวิเคราะห์ 20 ไมโครลิตร....60
4.6 HPLC โครมาโทแกรมแสดงการแยกของไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน POP POSt และ StOSt ของน้ำมันปาล์มและเนยโกโก้ ที่ความเข้มข้น 100มก./มล. ในเตตราไฮโดรฟูราน โดยใช้ปริมาตรในการวิเคราะห์ 20 ไมโครลิตร....62
4.7 HPLC โครมาโทแกรมแสดงองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มที่เติมไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน POP POSt และ StOSt อย่างละ 5 ไมโครลิตร....63
4.8 HPLC โครมาโทแกรมแสดงองค์ประกอบของเนยโกโก้ที่เติมไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน POP POSt และ StOSt อย่างละ 5 ไมโครลิตร....64
4.9 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt ในสารผลิตภัณฑ์กับปริมาณเอนไซม์ตรึงที่ใช้ในปฏิกิริยา....76
4.10 สัดส่วนของไตรกลีเซอไรด์ POSt กับวิธีการตกตะกอนด้วยสารละลาย....77
4.11 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt ในสารผลิตภัณฑ์กับปริมาณกรดสเตียริก....82
4.12 สัดส่วนของไตรกลีเซอไรด์ POSt ในสารผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ทั้งผ่านและไม่ผ่านคอลัมน์ซิลิกาเจล....83
4.13 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt ในสารผลิตภัณฑ์จากการแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา....87
4.14 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt จากสารผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์ตรึงและเอนไซม์ตรึงที่ใช้แล้วในการแปรผันอุณหภูมิ....92
4.15 สัดส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt จากสารผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์ตรึงและเอนไซม์ตรึงที่ใช้แล้ว ในการแปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา....96

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

HPLC	= ไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี
GC	= แก๊สโครมาโทกราฟี
DSC	= ดิฟเฟอเร็นเชียลสแกนนิ่งแคลออริมิเตอร์
%	= เปอร์เซ็นต์
° ซ	= องศาเซลเซียส
v/v	= ปริมาตรโดยปริมาตร
w/v	= น้ำหนักโดยปริมาตร
µl	= ไมโครลิตร
ID	= เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
w/w	= น้ำหนักโดยน้ำหนัก
ppm.	= หนึ่งส่วนในล้านส่วน
มก./มล.	= มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
มล.	= มิลลิลิตร