



การผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคปซูล

จินต์ศุภ พุทธนิมิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณิตศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2555

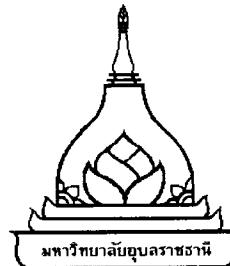
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



PRODUCTION OF ENCAPSULATED SESAME OIL POWDER

JINSUJEE PUTTHANIMON

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN FOOD TECHNOLOGY
FACULTY OF AGRICULTURE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2012
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY**



ในรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง การผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงเม็ดปั๊มเลท

ผู้วิจัย นางสาวจินตศุภิ พุทธนิมิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา ถึงห่อง)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วัสสิก)

กรรมการ

(ดร.ปัญจกรน์ ทัดพิชญางกูร)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกุล)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

ขอรบกวนพระคุณ ดร. เอกสิทธิ์ อ่อนสาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ทางวิชาการ วิธีดำเนินการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอรบกวนพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตร ลึงหัทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ทางวิชาการ ตลอดจนให้คำปรึกษาและช่วยแนะนำแก่ในวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอรบกวนพระคุณ รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ธรรมรัตน์ ว่าสิก ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอรบกวนพระคุณ ดร.ปัญจภรณ์ ทัดพิชญาภูร ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอรบกวนบุคลากรคณะเกษตรศาสตร์รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และช่วยแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี ขอรบกวนเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยด้วยดี เสมือนมาและขอรบกวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และคณะเภสัชศาสตร์ ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทดลองและเครื่องมือในการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอรบกวนพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำเนิด และเคยเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนพร้อมทั้งให้การสนับสนุนอย่างดีเสมอมา ขอรบกวนคุณ คุณตา คุณยาย ซึ่งท่านล่วงลับไปแล้ว และญาติพี่น้องทุกท่านที่ทำให้ตัวคุณได้มีโอกาสศึกษาต่อระดับปริญญาโทและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

(นางสาวจินต์ศุภ พุทธนิมิต)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคปซูลเลท
โดย : จินต์ศุภ พุทธนิมิต
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา : เทคโนโลยีการอาหาร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ดร. เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด

ศักยภาพสำคัญ : น้ำมันงา โปรดีนเวียเข้มข้น การทำแห้งแบบพ่นฟอย /mol โトイเด็กซ์คริน
อ่อนแคปซูลชัน

การศึกษาชนิดและปริมาณของмол โトイเด็กซ์ครินต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา ทำการเตรียมระบบอิมัลชันที่มีความคงตัวด้วยโปรดีนเวียเข้มข้น แคปปา-คาร์ราจีแนน และмол โトイเด็กซ์คริน (น้ำมันงา ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โปรดีนเวียเข้มข้น ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก แคปปา-คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก โซเดียมเออไซด์ ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก และмол โトイเด็กซ์คริน ที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส 10 และ 15 ร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก ในสารละลายน้ำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ที่ความเป็นกรด-ค่าง 7) โดยใช้โซโนโซลูชัน การเตรียมอิมัลชันแบบปฐมนิยม จากน้ำมันงา ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โปรดีนเวียเข้มข้น ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และโซเดียมเออไซด์ ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ในสารละลายน้ำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ที่ความเป็นกรด-ค่าง 7 และอิมัลชันแบบทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอล โトイเด็กซ์คริน เตรียมจากการนำอิมัลชันแบบปฐมนิยมเจือจางกับสารละลายน้ำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ประกอบด้วยน้ำมันงา ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โปรดีนเวียเข้มข้น ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก แคปปา-คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก โซเดียมเออไซด์ ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก และmol โトイเด็กซ์ครินที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส 10 และ 15 ร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก ในสารละลายน้ำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ที่ความเป็นกรด-ค่าง 7 จากการทดลองพบว่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันที่ไม่เติมและเติมนอล โトイเด็กซ์ครินที่ค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส 10 และ 15 ที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก ภายหลังเก็บรักภานาน 24 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งความหนืดของอิมัลชันจะสูงขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของmol โトイเด็กซ์ครินเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณmol โトイเด็กซ์ครินที่ค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส 10 ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

เป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้ในเตรียมอินัลชันแบบทุติยภูมิที่มีขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดเด็กและความหนืดค่า

การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม (เกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์ น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3-8 และอุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส) ต่อความคงตัวของอินัลชันที่มีความคงตัวด้วยโปรดีนเวเย่เข้มข้น แคปปา-คาร์ราจีแนน และมอลโตเด็กซ์คริน พบว่าอินัลชันแบบทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์คริน ค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส์ 10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีความคงตัวของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 มิลลิโนลาร์ น้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-8 และอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

การศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลท ทดสอบผลิตน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลโดยเตรียมอินัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์คริน ค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส์ 10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำแท่งแบบพ่นฟอย ผลการทดสอบพบว่าผลผลิตและการสูญเสียน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูล มีค่าร้อยละ 86.73 และร้อยละ 13.27 ตามลำดับ โดยน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลที่ผลิตได้มีความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ร้อยละ 3.19 และ 0.28 ตามลำดับ ลักษณะโครงสร้างภายนอกของน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลมีการห่อหุ้มเม็ดไขมันมีลักษณะค่อนข้างกลมและมีพื้นที่ผิวเรียบ ส่วนคุณลักษณะของน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูล เมื่อเก็บรักษา 3 stopwatch คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิ แช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีการละลายและการคืนกลับเป็นอินัลชันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในน้ำมันงานที่เก็บรักษาทั้ง 3 stopwatch ส่วนการเกิดออกซิเดชันโดยวัดค่ากรด ไทโอบาร์บิทูริกของน้ำมันงานมีค่าสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำมันงานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งมีค่ากรด ไทโอบาร์บิทูริกน้อยที่สุด ดังนั้นน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลจึงมีศักยภาพที่นำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเพิ่มคุณภาพทางประสานสัมผัสและเสริมสร้างสารอาหารต่อไป

ABSTRACT

TITLE : PRODUCTION OF ENCAPSULATED SESAME OIL POWDER
BY : JINSUJEE PUTTHANIMON
DEGREE : MASTER OF SCIENCE
MAJOR : FOOD TECHNOLOGY
CHAIR : EKASIT ONSAARD, Ph.D.

KEYWORDS : SESAME OIL / WHEY PROTEIN CONCENTRATE / SPRAY DRYING /
MALTODEXTRIN / ENCAPSULATION

This work was to investigate the influence of maltodextrin (MD) with different concentration and dextrose equivalent (DE) on stability of sesame oil-in-water emulsions. The emulsions containing anionic droplets stabilized by interfacial membranes comprising whey protein concentrate (WPC)/ κ -carrageenan/MD (15% sesame oil, 0.5% WPC, 0.2% κ -carrageenan, 0.02% sodium azide and 0-30% MD with DE of 10 and 15, 5 mM phosphate buffer, pH 7) were produced using a homogenizer. The primary emulsion (1°) containing WPC coated droplets was prepared by thoroughly homogenizing its components including 30% sesame oil, 1% WPC, 0.04% sodium azide, 5 mM phosphate buffer (pH7). The secondary emulsion (2°) containing WPC- κ -carrageenan in the absence or presence of MD was produced by mixing the 1° emulsion with an aqueous κ -carrageenan in the absence or presence of MD solution containing 15% sesame oil, 0.5% WPC, 0.2% κ -carrageenan, 0.02% sodium azide and 0-30% MD with DE of 10 and 15, 5 mM phosphate buffer (pH7). Experimental data showed that there were no significant changes in mean droplet diameter and ζ - potential of droplets at any MD concentration (0-30%) or DE (10 and 15) after 24 h storage ($p>0.05$). The apparent viscosity of emulsions increased when the MD concentration increased. The 2° emulsions containing 15% MD together with DE of 10 were used to prepare emulsions, because of their abilities to produce emulsions containing relatively small droplets and low viscosity.

Influence of environmental stresses (NaCl 0-500 mM, sucrose 0-20% pH 3-8 and temperature 30-90 °C) on stability of the emulsions containing droplets stabilized by WPC-

κ -carrageenan in the presence of MD was investigated. The results indicated that the 2° emulsion containing 15% MD with DE of 10 had the stability to aggregation at NaCl ≤ 300 mM, sucrose 0-20%, pH 6-8 and thermal treatment at 30-60 °C for 30 min.

Production and storage on characteristics of encapsulated sesame oil was studied. The 2° emulsions containing 15% MD with DE of 10 were used to prepare emulsions which subsequently were dried using the spray drying technique. The result showed that production yield and loss of encapsulated sesame oil were 86.73% and 13.27%, respectively. Moisture content and water activity of encapsulated sesame oil averagely were 3.19% and 0.28%, respectively. Morphology of microcapsules was found be nearly spherical with smooth surface. After 30 days storage ambient room temperature (26.86 ± 1.10 °C), chilling temperature (2.69 ± 1.58 °C) and freezing temperature (-18 ± 2 °C), no differences in solubility index and reconstituted emulsion were observed among samples studied ($p>0.05$). Lipid oxidation in the encapsulated sesame oil, as measured by thiobarbituric acid (TBA) assay, increased in relations to storage time and temperatures. The lowest TBA values were observed at the freezing condition. Overall the research findings importantly revealed that the sesame oil-in-water emulsion and its encapsulated form developed had potentials to be used as food ingredient to functionally enhance sensory qualities and fortify food nutrients.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปีญุหা	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3

2 การตรวจเอกสาร

2.1 ชา (sesame)	4
2.2 น้ำมันงา	5
2.2.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา	6
2.2.2 สารสำคัญในน้ำมันงา	7
2.2.3 ประโยชน์ด้านสุขภาพของน้ำมันงา	10
2.2.4 การใช้งานในด้านผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและในทางยา	11
2.3 อินลัชั่น	13
2.3.1 อินลัชั่นที่พบในอาหาร	13
2.3.2 กลไกการเกิดอินลัชั่น	14
2.3.3 ความคงตัวของอินลัชั่น	15
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอินลัชั่น	15
2.3.5 การทำลายอินลัชั่น	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 อินมัลซิไฟฟ์เออร์	21
2.4.1 ชนิดของสารอินมัลซิไฟฟ์เออร์	22
2.4.1.1 คาร์ราจีแนน (carageenan)	22
2.4.1.2 เบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β -Lactoglobulin)	24
2.4.1.3 โปรตีนเวย์เข้มข้น (Whey Protein Concentrate)	25
2.5 การเคลือบชั้นต่อชั้นของสารไบโอโพลิเมอร์	28
2.6 เทคนิคในการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารไบโอโพลิเมอร์	30
2.6.1 สารที่สามารถนำมาราบเป็นสารเคลือบที่นิยมใช้ใน วงการอุตสาหกรรมอาหารและยา	31
2.6.2 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอแคปซูล	33
2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถสกัดของสารให้กับลิ้นรสที่ผ่าน [†] การเออนแคปซูล	34
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัตถุคิบ วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี	37
3.1.1 วัตถุคิบ	37
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์	37
3.1.3 สารเคมี	39
3.2 วิธีการทดลอง	39
3.2.1 ศึกษาชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อความ คงตัวของอินมัลชันน้ำมันงา	39
3.2.2 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอินมัลชัน น้ำมันงา	42
3.2.3 การศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของ น้ำมันงาในรูปแบบเจอนแคปซูล	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	45
3.4 ระยะเวลาในการทำวิจัย	46
3.5 สถานที่ทำวิจัย	46
4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ทrin ต่อความคงตัว ของอิมัลชันน้ำมันงา	47
4.2 ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา	54
4.2.1 ผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความคงตัว ของอิมัลชันน้ำมันงา	54
4.2.2 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อความคงตัวของ อิมัลชันน้ำมันงา	61
4.2.3 ผลของความเป็นกรด-ค่างต่อความคงตัวของอิมัลชัน น้ำมันงา	65
4.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา	73
4.3 ผลของการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงา ในรูปแบบผงอ่อนแคปซูล	78
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารอ้างอิง	88
ประวัติผู้วิจัย	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา	6
2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิมตัวและไม่อิมตัวของน้ำมันงา	7
2.3 การใช้งานในค้านอุดสาหกรรม พลิตกัณฑ์เสริมอาหารและยา	12
2.4 การใช้งานเป็นสมุนไพรป้องกันโรคในประเทศต่างๆ	13
2.5 โปรตีนที่ใช้เป็นอินสูลินไฟเซอร์ในอาหาร	16
2.6 ความคงตัวของอินสูลันเมื่อมีการเติมไฮโดรคอโลอลซึ่นิดต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 30 และ 90 วัน	18
4.1 การผลิตและคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงeron และปูเลท	79

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดคงที่ตัดตามขวาง	5
2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารสำคัญในน้ำมันงา	8
2.3 โครงสร้างทางเคมีของวิตามินอีชนิดต่างๆ	9
2.4 ลักษณะของอิมัลชัน	14
2.5 ลักษณะของการแยกชั้นครีม	19
2.6 ชนิดของความไม่คงตัวของอิมัลชัน	20
2.7 การรวมตัวของหยดไขมันในเฟสน้ำ	21
2.8 หน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์	22
2.9 กลไกการเกิดเจลของสารร่าจีแน	24
2.10 โครงสร้างของเคลเซนไนเซลล์และไนเซลล์หน่วยย่อย	25
2.11 กระบวนการผลิตโปรดีติเนร์เข้มข้น	26
2.12 โครงสร้างของโปรดีตินที่เข้มข้นบนผิวน้ำมัน	27
2.13 โครงสร้างของโปรดีตินที่ผิวน้ำระหง่าน้ำกับน้ำมัน	27
2.14 โครงสร้างทางเคมีของมอลโตเด็กซ์ตرين	33
4.1 ขนาดของเดียนผ่านศูนย์กลางเม็ดไขมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูนภูมิ อิมัลชันทุคิภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตرين DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยหน้าหนัก	49
4.2 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน (particle distribution) ของอิมัลชันปูนภูมิ อิมัลชันทุคิภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยหน้าหนัก	49
4.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมัลชันปูนภูมิ อิมัลชันทุคิภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยหน้าหนัก	51
4.4 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไขมันของอิมัลชันปูนภูมิ อิมัลชันทุคิภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยหน้าหนัก	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 ค่าความหนืดของอิมัลชันปูรุณภูมิ อิมัลชันทุติยภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 ໂດຍນ້າหนัก	54
4.6 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูรุณภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์	56
4.7 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไบมัน (particle distribution) ของอิมัลชันปูรุณภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์	57
4.8 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมัลชันปูรุณและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์	59
4.9 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอิมัลชันปูรุณภูมิที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์	60
4.10 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์	61
4.11 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูรุณภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0-20 ໂດຍນ້າหนัก	63
4.12 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมัลชันปูรุณภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 ໂດຍນ້າหนัก ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0-20 ໂດຍນ້າหนัก	63
4.13 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอิมัลชันปูรุณภูมิที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0-20 ໂດຍນ້າหนัก	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 โครงสร้างทางชลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไบมันของอินัลชัน ทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8 ของน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0-20 โคลน้ำหนัก	65
4.15 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ด ไบมัน (droplet mean diameter) ของอินัลชัน ปฐมภูมิและอินัลชันทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8	67
4.16 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมัน (particle distribution) ของอินัลชัน ปฐมภูมิ และอินัลชันทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8	68
4.17 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอินัลชันปฐมภูมิและอินัลชันทุคิยูมิที่ เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8	70
4.18 โครงสร้างทางชลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไบมันของอินัลชัน ปฐมภูมิ และอินัลชันทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8	72
4.19 ดัชนีการแยกชั้นครีม (creaming index) ของอินัลชันปฐมภูมิและอินัลชัน ทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3-8	73
4.20 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ด ไบมัน (droplet mean diameter) ของอินัลชัน ปฐมภูมิ และอินัลชันทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส	74
4.21 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมัน (particle distribution) ของอินัลชัน ปฐมภูมิ และอินัลชันทุคิยูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมลชันปฐมภูมิและอิมลชันทุติภูมิที่เติมмол トイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส	76
4.23 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไนนันของอิมลชันปฐมภูมิที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส	77
4.24 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไนนันของอิมลชันทุติภูมิที่เติมмол トイเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส	78
4.25 โครงสร้างของน้ำมันงา彷ที่ผ่านการทำแท้แบบพ่นฟอยด์วายกล่องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	80
4.26 การละลายของน้ำมันงา彷ที่เก็บรักษา 3 stopwatch คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน	81
4.27 ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ด ไนนัน (droplet mean diameter) ภายหลังการคืนกลับเป็นอิมลชันของน้ำมันงา彷ที่เก็บรักษา 3 stopwatch คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน	82
4.28 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไนนัน (particle distribution) ภายหลังการคืนกลับเป็นอิมลชันของน้ำมันงา彷ที่เก็บรักษา 3 stopwatch คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน	83
4.29 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ภายหลังการคืนกลับเป็นอิมลชันของน้ำมันงา彷ที่เก็บรักษา 3 stopwatch คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.30 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ของน้ำมันงา彷ที่เก็บรักษา 3 สกวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน	85

ບັນທຶກ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัจจัยทาง

งา (*Sesamum indicum L.*) เป็นพืชนำมันชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยซึ่งในประเทศไทยนั้นมีพื้นที่ปลูกประมาณ 409,000 ไร่ มีผลผลิตรวม 43,000 ตัน โดยเมล็ดงาและน้ำมันงาส่วนใหญ่ ร้อยละ 55 ส่งออกไปต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าการส่งออกประมาณปีละ 700-900 ล้านบาท ส่วนผลผลิตที่เหลืออีก ร้อยละ 45 นั้นมีการนำมาใช้ภายในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ซึ่งความต้องการผลผลิตงานั้นเพิ่มมากขึ้นทุกปี เนื่องจากเมล็ดงาและน้ำมันงามีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ ในเมล็ดงามีน้ำมันงาประมาณ ร้อยละ 40-59 ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) รองลงมา คือ โปรตีน คาร์โนไซเครต แร่ธาตุ เช่น ไอและวิตามินอี (ไฟฟริต จันทร์วงศ์, 2530) ซึ่งสารสำคัญที่พบในน้ำมันงา ได้แก่ เซซาเมิน (sesamin) เซซาโมลิน (sesamolin) และวิตามินอี (γ -tocopherol) ส่วนสารให้กลิ่นในน้ำมันงาส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์พวงอัลกิลไพรอซีน (alkylpyrazine) จากการศึกษาพบว่า เซซาเมิน (sesamin) และเซซาโมลิน (sesamolin) มีคุณสมบัติในการด้านการเกิดปฏิกิริยาของเซลล์เช่นและช่วยเสริมฤทธิ์การทำงานของวิตามินอี ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง ช่วยชะลอความแก่ และลดคลอเลสเตอรอลอีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการนำน้ำมันงามใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหารเพื่อสุขภาพ เส้นหมี่สำเร็จรูป นม ซอส ยารักษาโรค และเครื่องสำอาง เป็นต้น (ศักดา คงสมบูรณ์เวช, 2547) แต่ย่างไรก็ตามการนำน้ำมันงา มาทำการแปรรูปนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น กลิ่นรส สารสำคัญ และความไม่คงตัวที่อาจเกิดจาก การสูญเสียเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปหรือปั้นจัมต่างๆ ที่มีผลต่อความคงตัว เช่น ความร้อน ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือ เป็นต้น

การทำเอนแคปซูลเป็นวิธีการห่อหุ้นอนุภาคด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ ในรูปแบบแคปซูล ซึ่งสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส สารสำคัญ และความไม่คงตัวของน้ำมันงา เมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปและสภาพที่ไม่เหมาะสม มีการนำกระบวนการเอนแคปซูลให้ในอาหาร เช่น น้ำมันทุน่าเพื่อรักษาโอมก้าสา漫 (ω-3) (Klinkesorn et al., 2005a) น้ำมันในนมผงเพื่อรักษาคุณลักษณะของนมผง (Fuchs et al., 2006) การรักษาคุณสมบัติและคุณลักษณะที่ดีของน้ำมันทุน่าโดยใช้อลตร้าโซนิก (Klaypradit et al., 2008) และการรักษานมผงด้วยโปรดตีนถ่วง (Gharsallaoui,

2010) เป็นศั้น อย่างไรก็ตามในการทำการสอนแคปซูลเดทในน้ำมันงาขังไม่มีข้อมูลมาก ดังนั้นจึงควรนี การศึกษาวิจัยการผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงeronแคปซูลเดท ซึ่งผลที่ได้นั้นจะเป็นพื้นฐานของความรู้ แล้วขังเป็นแนวทางนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 ศึกษานิคและปริมาณของmolトイเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
- 1.2.2 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
- 1.2.3 ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงeron-แคปซูลเดท

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 ชนิดและปริมาณของmolトイเด็กซ์ตринมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
- 1.3.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
- 1.3.3 สภาพการเก็บรักษามีผลต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงeronแคปซูลเดท

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษานิคและปริมาณของmolトイเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
molトイเด็กซ์ตринที่ใช้ในการทดลองจำนวน 2 ชนิด คือ DE 10 และ DE 15 ที่
ปริมาณความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 15 และ 30 โดยน้ำหนัก
- 1.4.2 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา
ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความ
เข้มข้นจำนวน 6 ระดับ คือ 0, 50, 100, 200, 300 และ 500 มิลลิโลลาร์ น้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น
จำนวน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง จำนวน 6 ระดับ คือ
3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และอุณหภูมิ จำนวน 7 ระดับ คือ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส
- 1.4.3 ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงeron-
แคปซูลเดท

สภาพการเก็บรักษาที่ใช้ในการทดลอง จำนวน 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงชนิดและปริมาณของสารเอนแคปซูลที่มีผลต่อกลุ่มตัวของอินพัชันน้ำมันงา

1.5.2 ทราบถึงสภาวะแวดล้อม เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลชูโรส ความเป็นกรด-ค้าง และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อกลุ่มตัวของอินพัชันน้ำมันงา

1.5.3 ทราบสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อกลุ่มตัวของน้ำมันงาผงในรูปแบบเอนแคปซูล

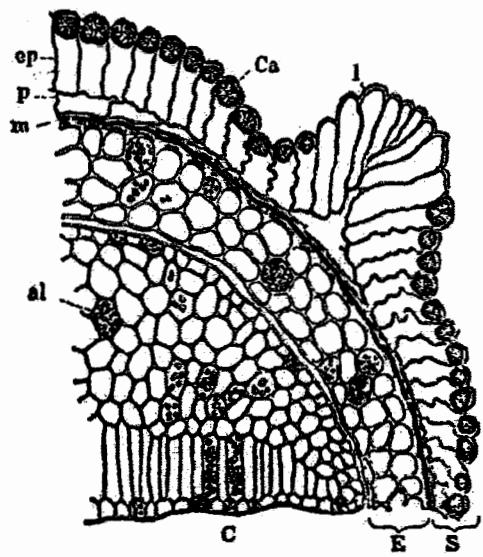
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ง 1 (sesame)

ง 1 (*Sesamum indicum L.*) อยู่ในวงศ์ Pediliacae เป็นพืชล้มลุกประเพกตไม้พุ่มเนื้ออ่อน จำแนกออกเป็น 4 ชนิดตามสีเปลือกของเมล็ด ได้แก่ ขาว ขาว ขาว แดง และขาวแดง มีการปลูกกระจายอยู่ทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากงานนับปีก็ยังง่าย ลงทุนน้อย ทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรนิยมปลูกงา ก่อนและหลังการทำนา หรือหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชหลัก การปลูกงามีทั้งในสภาพไร่และสภาพนา ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ของแต่ละท้องถิ่น จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ทำการสำรวจการปลูกงา ค่าปี 2550 พบว่ามีพื้นที่ทำการปลูกงาประมาณ 409,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 43,000 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 105 กิโลกรัม ราคาขายกิโลกรัมละ 23.99 บาท/กิโลกรัม และมีราคาขายทั้งหมดรวม 1,030 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550)

เมล็ดงามีการนำมานำรีโภคโดยตรงหรือสกัดน้ำมันจากเมล็ด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบอาหารและแปรรูป เช่น ซอส เนยเทียม หรือใช้ทำเครื่องสำอาง เช่น น้ำมันใส่ผนน สมุน้ำหอม และเวชภัณฑ์อีกหลายประเภท นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันงาเป็นส่วนประกอบในอุดสาหกรรมสีและยาฆ่าแมลงอีกด้วย (อภิชาติ ผลเกิด และคณะ, 2553) โครงสร้างของเมล็ดงาประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ส่วนสะสมอาหาร คือ ใบเดียว (cotyledon) และคัพภะ (embryo) จากการศึกษาโครงสร้างของเมล็ดงา (histological structure) โดยตัดเมล็ดตามขวาง (cross section) เพื่อศึกษาเนื้อเยื่อในส่วนต่างๆ ของเมล็ดงา และแคลเซียมออกซัลेट (calcium oxalate) พบว่าจากโครงสร้างของเมล็ดงาที่ตัดตามขวางประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ เปลือกหุ้มเมล็ด (spermoderm) ส่วนสะสมอาหาร (endosperm) และใบเดียว ซึ่งเป็นส่วนสะสมอาหาร เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 2.1 เมื่อเอื้องชั้นนอกสุด (outerepiderm) ของเปลือกหุ้มเมล็ด (spermoderm) ประกอบด้วยชั้นของเซลล์ palisade เป็นรูปปาย 1 ชั้น (single layer of radially-elongated palisade cells) ซึ่งมีผลึกของแคลเซียมออกซัลे�ตอยู่จำนวนมาก (mass of calcium oxalate crystals) ที่ปลายด้านนอกของเซลล์ สำหรับส่วนสะสมอาหาร ประกอบด้วยเซลล์ 2-5 ชั้น ที่มีผนังเซลล์หนา และแยกจากเปลือกหุ้มเมล็ด (spermoderm) โดยมีชั้นของเยื่อบางๆ กันอยู่ (Carter et al., 1961)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดงาที่ตัดตามขวาง (Carter et al., 1961)

2.2 น้ำมันงา

น้ำมันงาที่ใช้นี้ทั้งน้ำมันงาดิบ (crude sesame oil) และน้ำมันงาคั่ว ซึ่งกับวัตถุประสงค์ การใช้ Hawken and Rohe (2004) ได้แบ่งวิธีการสกัดน้ำมันงาออกเป็น 3 วิธีดังนี้

(1) แรงกดไฮดรอลิก (hydraulic press) เป็นวิธีที่ใช้กันมานานมาก น้ำมันงาที่ได้จากการ สกัดคั่วบวชหินนี้คุณสมบัติที่ดีที่สุด พิชที่นิยมใช้การสกัดแบบนี้ คือ มะกอก (olive) และงา หลักการ สำคัญสำหรับการสกัดแบบนี้ คือ ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในระหว่างการทำการสกัด ซึ่งการสกัดแบบ นี้เรียกว่า cold press โดยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการสกัดแบบนี้มีกลิ่น รสชาติ และคุณค่าทาง โภชนาการอาหาร ใกล้เคียงกับน้ำมันธรรมชาติในเมล็ดมากที่สุด

(2) วิธีอ็อกเพลเลอร์ (expeller method) เป็นวิธีการสกัดโดยใช้เกลียวหมุนบีบอัด (screw press) ทำให้น้ำมันออกมากอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิระหว่างการทำงานนั้นค่อนข้างสูง ส่งผลทำให้ คุณภาพของน้ำมันที่สกัดออกมากไม่ดีเท่าการสกัดแบบแรงกดไฮดรอลิก (hydraulic press) น้ำมันที่ สกัดคั่วบวชหินนี้จะเรียกว่า expeller pressed oil

(3) การสกัดคั่วด้วยทำละลาย (solvent extraction) เป็นการสกัดโดยใช้สารเคมีในการทำ การสกัด เช่น เพนเทน (pentane) เอปเทน (heptanes) เอกเซน (hexane) และออกเทน (octane) สารเคมีที่เป็นตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดนี้มาจากปิโตรเลียม (petroleum base) ส่วนตัวทำละลายอีกชนิด ที่ใช้เป็นสารสังเคราะห์ คือ ไตรโคลเอทธิลีน (trichlorethylene) การสกัดน้ำมันงานนี้สารตัวทำละลาย ที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ เอกเซน เมล็ดพืชที่สกัดคั่วบวชหิน การนี้ต้องบดเมล็ดก่อนและนำไปปั่นคั่วข ไอร้อน (steam cooking) หลังจากนั้นจึงใส่สารตัวทำละลาย ซึ่งจะละลายน้ำมันออกมาระหว่างกา

แห้งของเมล็ดไว้ ตัวทำละลายถูกแยกออกจากน้ำมัน ซึ่งน้ำมันที่ได้จากวิธีการนี้เรียกว่า dissolved oil โดยวิธีนี้ใช้โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตน้ำมันพืชขนาดใหญ่ เนื่องจากการดูรีวและเสียค่าใช้จ่ายน้อย

2.2.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา

คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา พบว่ามีค่าไออกีดีน (iodine value) ร้อยละ 103-118 ค่าความเป็นกรด (acid value) ร้อยละ 1-3 ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (saponification value) ร้อยละ 186-195 ค่าอันสปอนนิฟิเคชั่น (unsaponifiable value) ร้อยละ 1.5-2.5 ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ร้อยละ 0.914-0.921 ค่าดัชนีการหักเห (refractive index) ร้อยละ 1.471-1.474 และค่าสี (colour) ร้อยละ 20Y:3R (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา (ไฟจาริต จันทร์วงศ์, 2530)

ลักษณะทางเคมี-กายภาพของน้ำมันงา	ร้อยละ
Iodine Value	103-118
Acid Value	1-3
Saponification Value	186-195
Unsaponifiable Value	1.5-2.5
Specific gravity (25/25°C)	0.914-0.921
Refractive index	1.471-1.474
Colour (Lovibond)*	20Y:3R

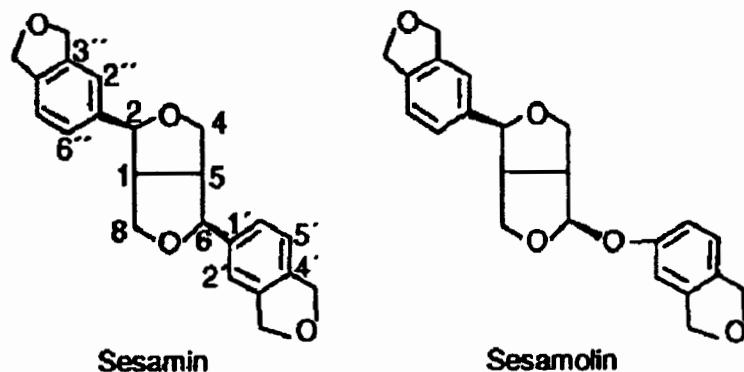
นอกจากนี้น้ำมันงาขังมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพที่สำคัญ คือ ไม่แข็งตัวหรือมีลักษณะชุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันงามีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (unsaturated fatty acid) ร้อยละ 83.4 ประกอบด้วยกรดโอลีอิค (oleic acid) ร้อยละ 38.2 กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) ร้อยละ 45.2 และกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ร้อยละ 16.6 ซึ่งประกอบด้วยกรดปาล์มิติก (palmitic acid) ร้อยละ 10.6 กรดสเตียริก (stearic acid) ร้อยละ 6 (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของคราไบมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของน้ำมันงา (ไฟบริต จันทร์วงศ์, 2530)

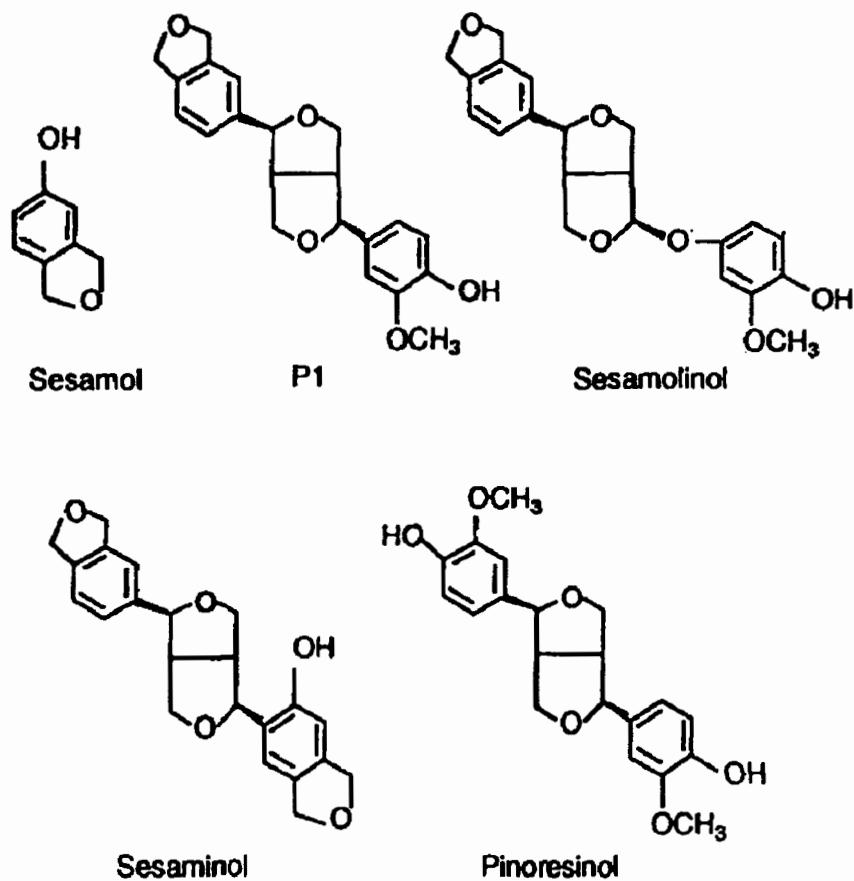
องค์ประกอบของคราไบมัน	ร้อยละ
saturated fatty acid	
palmitic acid	10.6
stearic acid	6.0
unsaturated fatty acid	
oleic acid	38.2
linoleic acid	45.2

2.2.2 สารสำคัญในน้ำมันงา

น้ำมันงาเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง มีความคงทนต่อการเหม็นหืน เนื่องจากมีสารต้านอนุยล้อสระ (antioxidants) ซึ่งเป็นสารพ梧กติกแนน (lignan) ได้แก่ เชซาamin (sesamin) เชซาโนลิน (sesamolin) เชซาโนล (sesamol) เชซาaminol (sesaminol) เชซาโนลินอล (sesamolinol) และไฟโนเรชินอล (pinoresinol) (ภาพที่ 2.2) และวิตามินอี (tocopherol) โดยสารพ梧กติกแนนเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เกิดจากการ oxidative coupling ของ (p-hydroxyphenyl) propane ซึ่งสารกลุ่มติกแนนเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในน้ำมันงา โดยเชซาamin เป็นสารกลุ่มติกแนนที่มีปริมาณมากที่สุด ในน้ำมันงาและสามารถพบได้ในน้ำมันอื่นเช่นเดียวกัน แต่เชซาโนลินเป็นสารที่พบได้ในน้ำมันงาเท่านั้น (Namiki, 1995) ทั้งเชซาamin และเชซาโนลินเป็นสารลิกแนนกลุ่มหลักที่พบในน้ำมันงา (Kamal-Eldin, 1995; Moazzami, 2006) โดยในน้ำมันงาดิบมีปริมาณเชซาaminอยู่สูงสุด ประมาณ 474 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ เชซาโนลิน ประมาณ 159 มิลลิกรัมต่อลิตร และเชซาโนลมีปริมาณน้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในน้ำมันงาคั่วจะมีปริมาณเชซาโนลสูงกว่า น้ำมันดิบ ประมาณ 36 มิลลิกรัมต่อลิตร (Choe and Min, 2006)



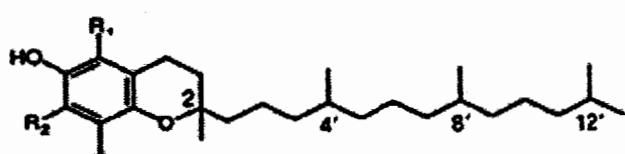
Related Antioxidants



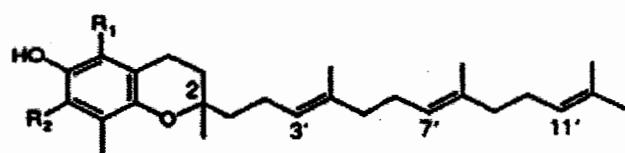
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารสำคัญในน้ำมันงา (Kamal-Eldin, 1995)

โดยทั่วไปวิตามินอีมี 8 รูปแบบ คือ แอลฟ่า เบต้า เคลต้า และแกมน่า-โทโคเฟอรอล (α , β , δ , γ -tocopherol) และแอลฟ่า เบต้า เคลต้า และแกมน่า-โทโคไตรอีนอล (α , β , δ , γ -tocotrienol) (Pyka and Sliwiok, 2001; Reiter, 2007) (ภาพที่ 2.3) น้ำมันงาเป็นน้ำมันที่มีปริมาณ

วิตามินอีสูง โดยมีการศึกษาปริมาณวิตามินอีชนิดต่างๆ ในน้ำมันงา พบร่วมปริมาณแอลฟ่า-โทโคเฟอรอล เท่ากับ 10 ± 8 ไมโครกรัมต่อกรัม เมต้า-โทโคเฟอรอล และ เดคลตา-โทโคเฟอรอล น้อยกว่า 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคนนา-โทโคเฟอรอล เท่ากับ 517 ± 24 ไมโครกรัมต่อกรัม (Namiki, 1995) ซึ่งเห็นได้ว่าแอลฟ่า-โทโคเฟอรอลและแคนนา-โทโคเฟอรอล เป็นวิตามินอีคุณหลักเนื่องจากมีปริมาณสูง โดยเฉพาะแคนนา-โทโคเฟอรอล มีปริมาณถึงร้อยละ 98 (Hemalatha and Ghaffourunissa, 2004) โดยในการศึกษาปริมาณวิตามินอีในน้ำมันงาบางครั้งนิยมบอกเป็นปริมาณวิตามินอีรวม (total tocopherol) (Mohamed, 1998)



R^1	R^2	
CH ₃	CH ₃	α -Tocopherol
CH ₃	H	β -Tocopherol
H	CH ₃	γ -Tocopherol
H	H	δ -Tocopherol



R^1	R^2	
CH ₃	CH ₃	α -Tocotrienol
CH ₃	H	β -Tocotrienol
H	CH ₃	γ -Tocotrienol
H	H	δ -Tocotrienol

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของวิตามินอีชนิดต่างๆ (เพพิน จันทร์มหะสีรี, 2552)

นอกจากนี้ยังมีสารไฟโทสเตียรอย (phytosterol) กรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดไขเดอิก และกรดคลิโนเดอิก และสารให้กลิ่นในน้ำมันงา (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2547) โดยส่วนใหญ่สารให้กลิ่นในน้ำมันงาจะเป็นอนุพันธ์พากอัลคลิไฟราเซิน (alkylpyrazine) แต่ Soliman et al. (1975) ได้มีการระบุว่าเป็น α -octanol และ 2-furfuryl alcohol และจะมีกลิ่นแตกต่างกันเมื่อใช้อุณหภูมิในการคั่วแตกต่างกัน ซึ่งสารให้กลิ่นในน้ำมันงานั้นมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลและมีขั้วที่แตกต่างกัน เช่น อัลเคน (alkanes) อัลคีน (alkenes) แอลกานาลด (alkanals) แอลคีนาลด (alkenals) และแอลคาไดอีน (alkadienals) เป็นต้น โดยคุณสมบัติของสารให้กลิ่นเหล่านี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันงาเป็นส่วนประกอบนั้นมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งจะไม่เหมือนกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ (Shahidi et al., 1997) จากสารทั้งหมดที่กล่าวมานี้ช่วยให้น้ำมันงามีความคงคาวสูง ไม่เหม็นหืนง่ายน้ำมันงาจึงได้รับฉายาว่า “ราชินีแห่งน้ำมัน” (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2547)

2.2.3 ประโยชน์ด้านสุขภาพของน้ำมันงา

น้ำมันงาเป็นแหล่งของสารต้านการเกิดการออกซิเดชันหลาย ทำให้น้ำมันมีความคงตัว ไม่เหม็นหืนง่ายเหมือนน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ โดยสารพอกลิกแนน ได้แก่ เช扎มิน เชชาโนลิน เชซานอล เชซามินอล เชชาโนลินอล เป็นสารที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชันที่ดี ซึ่งในบางงานวิจัยรายงานว่า สารเชซามินไม่มีฤทธิ์ในการต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่มีความเป็นไปได้ว่าสารเมตาโน ไลท์ของเชซามินมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันในสิ่งมีชีวิตได้ (*in vivo*) เนื่องจากในสิ่งมีชีวิตมีเอนไซม์ในไนโตรโซม (microsome) ที่สามารถmeta โน ไลท์หนูเมธิลีน ไดออกซี (methylenedioxy) ในโครงสร้างของเชซามินและเชชาโนลินได้ (Ghafoorunissa, 2004; Kamal-Eldin et al., 1995) สารเชซามินและเชชาโนลินมีประโยชน์ทางการรักษาอย่างมาก เช่น ต้านการอักเสบ โดยการขับยึงเอนไซม์ 5-desaturase ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Suja et al., 2004) โดยการลดการทำงานของเอนไซม์ 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A (HMG-CoA) reductase ลดระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือด โดยการเพิ่มการเมตา โน ไลท์ของ exogenous-free fatty acid จากการกระตุ้นการเกิดคีโตเจนชีส (ketogenesis) เพิ่มระดับวิตามินอีในร่างกาย โดยการขับยึงเอนไซม์ที่เมตา โน ไลท์วิตามินอี (Kamal-Eldin et al., 1995) ช่วยป้องกันเซลล์ประสาท (neuroprotective effect) โดยการขับยึงการเกิดในตริกออกไซด์จากเอนไซม์ nitric oxide synthase และลดการเกิดไฮโพอกซียา (hypoxia) โดยลดการเกิดอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species: ROS) (Jeng and Hou, 2005) สารเชซามอลเกิดจากการบ่ยสลาย (hydrolysis) ของสารเชชาโนลินในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมัน เช่น การให้ความร้อนและการฟอกสี เชซานอลและเชซามินอลเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าเชซามินและเชชาโนลิน นอกจากนี้สารกรดอ่อนลิกแนนยังสามารถเสริมฤทธิ์แบบ synergistic antioxidant activity กับแ去买มา-โท โคเฟอรอล ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenging) ได้ดีกว่าแอลฟ่า-โท โคเฟอรอล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน (Choe and Min, 2006) วิตามินอีโดยเฉพาะแกรมมา-โท โคเฟอรอล มีประโยชน์ในการช่วยให้การทำงานของกระบวนการทางชีวภาพบางอย่างทำงานได้ดี ป้องกันการเกิด occlusive thrombus formation ยับยั้งการเกิดมะเร็งและขับยึงการอักเสบ (Campbell et al, 2003; Frank, 2005; Reiter et al, 2007; Sangeun, 2007) นอกจากนี้ในน้ำมันงาขั้นมีสารไฟโทสเตียรอยด์ ช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล โดยสารไฟโทสเตียรอยด์ตัวกับคอเลสเตอรอลชนิด LDL (low-density lipoprotein) เป็นไมเซลล์ได้ เช่นเดียวกับคอเลสเตอรอล แต่ว่าเป็นไมเซลล์ที่ร่างกายไม่สามารถใช้เป็นพลังงานหรือนำไปใช้งานอื่นได้ ทำให้ถูกขับออกจากร่างกายโดยเร็ว (คิติษ บศสมบัติ, 2554) และคราไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดโอลิอิก และกรดลิโนเลอิก จะเปลี่ยนเป็นคอเลสเตอรอลชนิด LDL ได้น้อยกว่าไขมันชนิดอื่นตัว

ทำให้ส่วนเหลือของ LDL ตกค้างในร่างกายได้น้อยกว่า ซึ่งคอเลสเตอรอลชนิด LDL นั้นทำให้เกิดการสะสมของไขมันในผนังของหลอดเลือดแดงทั้งร่างกาย เช่น สมอง หัวใจ (เกิดโรคหัวใจขาดเลือด) และไต (เกิดไตวาย) เป็นต้น (วสนา วงศ์ไหญ์, 2548)

2.2.4 การใช้งานด้านผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและในทางยา (nutraceutical and pharmaceutical)

จานี้การนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ทางยาและการเสริมสุขภาพน้ำนม (ตารางที่ 2.3) โดยในทางยานี้มีการใช้น้ำนมงานเป็นสารละลายน้ำสำหรับฉีดเข้ากล้ามเนื้อ เนื่องจากน้ำนมนมีความเสถียรสูง สามารถใช้เป็นตัวพาระบกนประเทก estrogenic เจ้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพและน้ำนมงานยังมีคุณสมบัติในการให้ความชุ่มชื้น เป็นยาระบาย รักษาโรคตามัว เวียนศีรษะและปวดศีรษะ ซึ่งคนจนใช้เป็นยาแก้ปวดพิษและรักษาโรคแห่งอกมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 4 ส่วนชาวอินเดียใช้เป็นน้ำยาบ้วนปาก거나 เชื้อแบคทีเรีย ลดอาการวิตกกังวลและนอนไม่หลับ นอกจากนี้ในงานวิจัยพบว่าน้ำนมนมีผลในการรักษาเยื่อหุ้มโพรงนูกลแห้งในหน้าหูนาไวดีกว่าน้ำเกลือ และน้ำนมงานยังมีปริมาณลิโนเลอทินสูงในต่ำๆ ไตรกลีเซอไรค์สูง ซึ่งช่วยในการขับยิ่ง malignant melanoma growth (ศักข์ คงสมบูรณ์เวช, 2547) นอกจากนี้นักวิจัยพบว่ามีสารเชซามินและเชซามิโนลินสูง (Sirato-Yasumoto et al., 2001) ซึ่งสารทั้งสองชนิดมีข้อมูลทางการวิจัยรายงานว่า นักวิจัยพบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระในชาช่วยป้องกันดัน ป้องกันมะเร็ง ลดความดันโลหิต ป้องกันหัวใจ (Cooney et al., 2001) และหลอดเลือดจากการมีไขมันสูงกว่าปกติ ดังนี้จึงมีการนำงานมาเป็นสนับสนุนเพื่อในการรักษาโรคต่างๆ มากมาย เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ ห้องผูก เป็นต้น (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.3 การใช้งานค้านอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและยา (ศัลยฯ คงสมบูรณ์เวช,
2547)

ชนิด	สารที่ให้ผล
อุตสาหกรรม	
ต้านเชื้อรา	คลอโรเซซามิโนน
ต้านแบคทีเรียและเชื้อแมลง	เซซามิน เซซามิโนลิน
เครื่องสำอาง	กรดไนโตริก
สารละลาย/สบู่	กรดไนโตริก
ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	
สารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันตับ	เลซิติน
ป้องกันมะเร็ง	กรดไนโตริก
ป้องกันมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ	ไขอาหาร
ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน	เซซามิน เซซามิโนลิน
สารต้านอนุมูลอิสระ	
ป้องกันโรคหัวใจ	น้ำมันงา
ทำให้ผิวนังนุ่มนวล	น้ำมันงา
ทางค้านเภสัชวิทยา	
Drug vehicle และยาрабาย	น้ำมันงา
ฤทธิ์ในการลดน้ำตาลในเลือด	สารเพลโวนอยด์
ขับยั่ง malignant melanoma	ลิโนเดอทินรูป ไครกลีเซอไรค์

ตารางที่ 2.4 การใช้งานเป็นสมุนไพรป้องกันโรคในประเทศไทย (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2547)

โรค	ประเทศไทยใช้
มะเร็ง	เยอรมันนี
หวัด	สาธารณรัฐคอมมิวนิแกน
ปอดท้อง	ไฮติ
ห้องผูก ศีรษะเข็น หย่อนสมรรถภาพทางเพศ	จีน
ยาระบาย มาลาเรีย บำรุงกำลัง	
ป้องกันหวัด มะเร็ง ห้องเสีย หูด การโรค	
ไอ	เวเนซูเอลา
ห้องเดิน ยาระบาย	ตุรกี
ยาระบาย	เม็กซิโก
บำรุงกำลัง	มาลากา
เนื้องอก	อินเดีย

2.3 อิมัลชัน

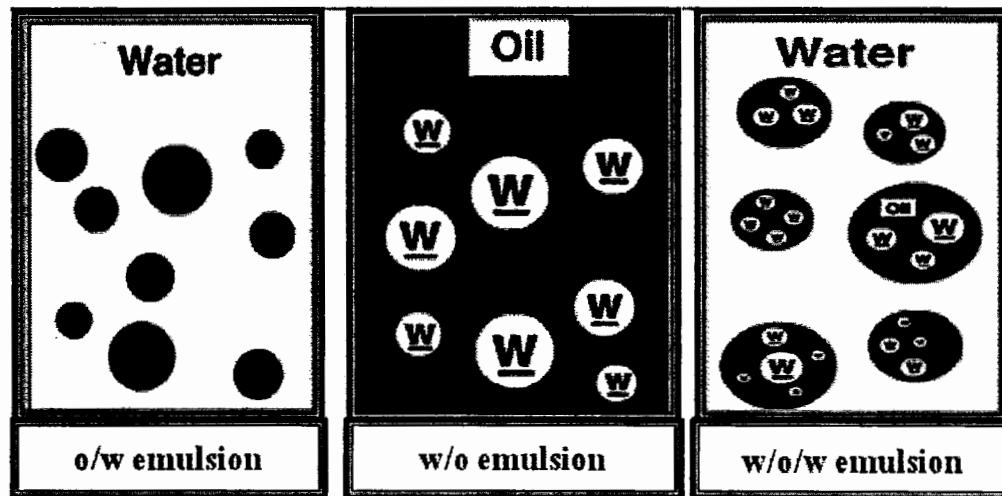
อิมัลชันเป็นระบบการกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิดซึ่งปกติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำกับน้ำมัน เป็นต้น โดยที่ของเหลวชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งเรียก ของเหลวที่กระจายตัวนี้ว่า วัฏภากภัยใน (internal phase) หรือวัฏภากไม่ต่อเนื่อง (discontinuous phase) ส่วนของเหลวที่ทำให้เกิดการกระจาย เรียกว่า ตัวกลางที่ทำให้เกิดการกระจาย (continuous phase) โดยมีตัวที่ทำให้หน้าที่เรื่อมระหว่าง 2 วัฏภายนี้ คือ อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ซึ่งทำให้ ระบบอิมัลชันมีความคงค้างดีขึ้น ไม่เกิดการแยกชั้นเมื่อวางทิ้งไว้ (พรียา โชคดีอน, 2542)

2.3.1 อิมัลชันที่พบในอาหาร

2.3.1.1 น้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion: W/O emulsion) อิมัลชันชนิดนี้ อนุภาคกลอตอยด์เป็นน้ำ และมีตัวกลางเป็นน้ำมัน สามารถพบอิมัลชันประเภทนี้ในผลิตภัณฑ์ เช่น เนย และนมาร์ค เป็นต้น

2.3.1.2 น้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion: O/W emulsion) อิมัลชันชนิดนี้ อนุภาคกลอตอยด์เป็นน้ำมัน และมีตัวกลางเป็นน้ำ สามารถพบอิมัลชันประเภทนี้ในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำสต็อก น้ำนม และนมายองเนส เป็นต้น

2.3.1.3 อิมลัชันเชิงซ้อน (water in oil in water emulsion, oil in water in oil emulsion: W/O/W, O/W/O) อิมลัชันที่มีวัฏกากภายในช้อนกันอยู่ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน อิมลัชันเชิงซ้อนนี้สามารถถอกลับกล้ายเป็นอิมลัชันชนิดธรรมด้าได้ เช่น น้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W) ซึ่งน้ำเป็นวัฏกากภายใน เป็นน้ำมันจะมีหยดเล็กๆ ของเหลวที่ช้อนอยู่ เมื่อกลับกล้ายเป็นอิมลัชันธรรมด้าจะกล้ายเป็นชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W) พนอิมลัชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมสัมภาน้ำ ซึ่งเป็นอิมลัชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (O/W/O) เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของอิมลัชัน (นิธิยา รัตนานปันท์, 2545)

2.3.2 กลไกการเกิดอิมลัชัน

การทำอิมลัชันต้องทำให้ของเหลวที่เป็นคอลลอยด์แตกตัวเป็นหยดเล็กๆ กระจายอยู่ในตัวกลางของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากัน ถ้าทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กมากจะมีพื้นที่ผิวมาก แต่ถ้าขนาดของอนุภาคใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อย เช่น การเขย่าน้ำมันในน้ำ น้ำมันจะแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง อนุภาคน้ำมันจะก่อข่าย รวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และแยกออกจากน้ำ ทำให้อิมลัชันลายไป การเกิดอิมลัชันชั่วระยะเวลาสั้นๆ นี้ เรียกว่า อิมลัชันชั่วคราว (temporary emulsion) การทำให้เกิดอิมลัชันที่มีความคงตัว ทำได้โดยการเติมอิมลัชไฟเออร์ลงไปเป็นการป้องกันให้กับอนุภาคน้ำมัน โดยอิมลัชไฟเออร์ จะแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคและตัวกลางอนุภาคคอลลอยด์จะไม่สามารถรวมตัวกันได้ ทำให้ได้อิมลัชันที่มีความคงตัว เรียกว่า อิมลัชันถาวร (permanent emulsion) (นิธิยา รัตนานปันท์, 2545)



2.3.3 ความคงตัวของอิมัลชัน

การรักษาความคงตัวของอิมัลชัน โดยโนเลกุลที่ผิวร่วมเกิดขึ้นได้ เนื่องจากสารประกอบที่มีส่วนของโนเลกุลที่ละลายได้ทั้งในวัฏภาคที่กระจายตัวและวัฏภาคที่ต่อเนื่องมีขนาดโนเลกุลใหญ่เพียงพอที่จะกีดขวางการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เช่น โปรตีนซึ่งมีโนเลกุลค่อนข้างใหญ่จะถูกคุกคับหรือละลายได้ในวัฏภาคของน้ำมัน และมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในวัฏภาคของน้ำ ดังนั้นที่ผิวร่วมระหว่างน้ำมันกับน้ำ (oil-water interface) จึงเกิดโครงสร้าง ซึ่งสามารถทำหน้าที่ขัดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน เพราะโปรตีนมีโนเลกุลขนาดใหญ่ พอที่จะไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะกลุ่มกันได้ (ปริษัตร ทรงส์ประภัส, 2545)

อิมัลชันที่มีความคงตัวจะเริ่มสูญเสียความคงตัวจากการที่อ่อน化ในวัฏภาคที่กระจายตัวมาเกาะกลุ่มกัน (flocculation) เมื่อจากการเคลื่อนที่แบบบรรวนเนียน (brownian movement) ซึ่งเกิดขึ้นตามปกติในธรรมชาติ ทำให้อนุภาคมีโอกาสชนกัน การเกาะกลุ่มนี้จะถูกเร่งให้เร็วขึ้น หากมีการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานให้แก่ระบบอนุภาคต่างๆ ภายในระบบทำให้เกิดการเคลื่อนที่และมีโอกาสชนกันมากขึ้นหรือการทำให้วัฏภาคต่อเนื่องมีคุณสมบัติใหม่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของอนุภาคคอลลอยด์ ส่งผลทำให้เกิดความไม่คงตัวของอิมัลชัน ดังนั้น จึงต้องมีสารที่ช่วยในการทำให้อนุภาคคอลloyd สามารถกระจายตัวและคงอยู่ในตัวกล่องได้ เพราะในของเหลวทุกชนิดจะมีแรงดึงดูดต่อตัวเอง เมื่อนำของเหลว 2 ชนิดที่ไม่สามารถผสมกันมาทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน แรงดึงดูดจะทำให้อนุภาคของของเหลวรวมตัวกันและทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ที่นี่ที่ผิวของอนุภาคจึงลดลง การกระจายตัวจึงลดลงเกิดเป็นอิมัลชันที่ไม่คงตัว ดังนี้จึงต้องอาศัยสารเจ้าพวกริมัลซิไฟเออร์ หรือสารลดแรงดึงดูด (surface active agent) เพื่อมาทำให้อนุภาคคอลลอยด์กระจายและคงตัวอยู่ได้ (นิธิยา รัตนานปนท., 2545)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน

2.3.4.1 โปรตีน มีโปรตีนหลายชนิดที่นิยมใช้ในอิมัลชันนิกน้ำมันในน้ำ เช่น โปรตีนหางนม (เคซีน เคเซินเนต โปรตีนเวร์) โปรตีนไอก (โปรตีนไอกแคร์และโปรตีนไอกขาว) โปรตีนจากสัตว์ (พลาスマและเลาติน) และ โปรตีนพืช เช่น โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีและให้ความคงตัวแก่อิมัลชันในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ฟอสวิติน (phosvitin) และลิโพโปรตีนในไอกแคร์ ได้แก่ ไดโลวิเทลเลนิน (lipovitelins) และลิเวติน (livetins) โปรตีนเคซีน เคเซิน โปรตีนเวร์ โปรตีนไอกขาว ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 โปรตีนที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร (ปริจัตร หงส์ประภาส, 2545)

อิมัลชัน	ชนิดอิมัลชัน	โปรตีน	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต้องการ
วิปทีอปปิง	O/W	โซเดียม酇ินเคนต	อิมัลซิไฟเออร์ เพิ่มความคงตัวของฟองอากาศ
ครีมเทียน	O/W	โซเดียม酇ินเคนต	อิมัลซิไฟเออร์
ไอศกรีม	O/W	ทางนมผง	ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสให้ความหนืดและความคงตัว ลดขนาดของผลึกน้ำแข็ง ให้กลิ่นรส
แพนเค้ก	O/W	โปรตีนไบบรีอ โปรตีนเวร์ + ทางนมผง	ให้เนื้อสัมผัสและรสชาติ
มาข่องเนสต์	O/W	โปรตีนไบ์ಡง	อิมัลซิไฟเออร์ ให้รสชาติและสี
น้ำสต็อก	O/W	ทางนมผงหรือ酇ีน 酇หรือโปรตีนเวร์	อิมัลซิไฟเออร์ เป็นบัฟเฟอร์

2.3.4.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ ที่มีไม้เลกุลขนาดเล็ก จะแข่งขันกับโปรตีนในการดูดซับที่ผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำ และทำให้มีความหนาแน่นของโปรตีนที่ผิวรวมลดลง ประสิทธิภาพของโปรตีนในการเป็นสิ่งกีดขวางที่ผิวรวมจึงลดลง สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีไม้เลกุลขนาดเล็ก เช่น เลซิทิน ในโนนและไดก็อกไซไรด์ ส่วนใหญ่มาใช้ในผลิตภัณฑ์อิมัลชัน เพื่อลดแรงตึงผิวของเม็ดไขมันในระหว่างไขมันในส์

2.3.4.3 พอลิแซ็คคาไรด์ (polysaccharide) โดยทั่วไปแล้วสารประกอบพอลิแซ็คคาไรด์ไม่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากไม่มีหมู่ไนโมีช้า (non-polar) เพียงพอที่จะดูดซับที่ผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ แต่สารประกอบพอลิแซ็คคาไรด์สามารถเพิ่มหรือลดความคงตัวของอิมัลชันได้โดยการ

1) เพิ่มความหนืดหรือทำให้วัฏภาพต่อเนื่องซึ่งเป็นวัฏภาพของน้ำเปลี่ยนเป็นเจล กลไกนี้จะช่วยลดการเคลื่อนที่และการชนกันของเม็ดไขมันเป็นการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน

2) พอลิแซ็คไราค์บังชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนและเพิ่มความหนาของชั้นกีดขวางที่ผิวร่วน พอลิแซ็คไราค์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ไฮโคลอคอลลอยด์ที่มีประจุลบ (anionic hydrocolloids) ซึ่งสามารถเกิดพันธะเชิงไออกอนกับโปรตีนที่มีประจุบวก หากโปรตีนที่มีประจุลบการรักษาความคงตัวของอินมัลชันกีดขัดขึ้นได้ เมื่ออาหารมีไออกอนที่มีเวลาเดินชีนากว่าหนึ่งชั่วโมงพอดีจะเกิดพันธะเชิงไออกอนกับประจุของโปรตีนที่มีผิวร่วนระหว่างน้ำมันกับน้ำและประจุลบของไฮโคลอคอลloyd ในวัյภากของน้ำ

2.3.4.4 สถานะที่ใช้ในการแปรรูปและการเก็บรักษา ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีน-โปรตีน โปรตีน-สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีขนาดเล็กและโปรตีน-พอลิแซ็คไราค์ที่ผิวร่วนระหว่างน้ำมันกับน้ำ สามารถควบคุมได้โดยการปรับเปลี่ยนสภาพการผลิตให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และระดับความคงตัวที่ต้องการเพราะ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ค้าง ชนิดและความเข้มข้นของไออกอนตลอดจนความดันของเครื่องโซโนจีโนเซอร์จะทำให้คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของโปรตีน สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีขนาดเล็ก และพอลิแซ็คไราค์เปลี่ยนไป เช่น ทำให้ประจุรวมลดลงเนื่องจากการเติมไออกอนหรือการปรับความเป็นกรด-ค้างให้ใกล้จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point: pI) การทำให้มีค่าไขมันรวมตัวและอยู่ในสภาพหลอมเหลวรวมตัวบางส่วน โดยการลดอุณหภูมิเพื่ออุ่นฟองอากาศ เป็นต้น

2.3.4.5 ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ ระบบอิมัลชันที่มีการเติมไฮโคลอคอลลอยด์ต่างชนิดกันและความเข้มข้นต่างกันจะส่งผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันต่างกัน Huang et al. (2001) รายงานว่าไฮโคลอคอลลอยด์และกัมตัวอ่อนๆ ที่ไม่ใช่เพกติน เช่น กัมอะราบิก เมื่อความเข้มข้นจากร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ความคงตัวของระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรักษาเป็นเวลาถึง 90 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการเติมไฮโคลอคอลลอยด์ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในวัյภากค่อนข้างที่ต้องรอเม็ดไขมัน ทำให้แรงตึงผิวของเม็ดไขมันลดลง โดยเฉพาะกัมจาก fenugreek ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ระบบอิมัลชันคงตัวมากที่สุด (ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก) และที่ความเข้มข้นของเมทธิลเซลลูโลส แซนแทก กัมจากไอซ์ และโพร์พิลิน ไกลคอลแอลจิเนต ที่ระดับร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ทำให้ระบบอิมัลชันคงตัวเป็นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน ส่วนอิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำที่สุด คือ ระบบอิมัลชันที่มีการเติมโลกัสบีนกัม flaxseed และเพกติน ดังตารางที่ 2.6 (ปาริษัตร วงศ์ประภาส, 2545)

ตารางที่ 2.6 ความคงตัวของอิมัลชันเมื่อมีการเติมไฮโดรคออลลอยด์ชนิดต่างๆและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 30 และ 90 วัน (Huang et al., 2001)

Emulsion stability									
Concentration									
	0.50%		1.00%			1.50%			
storage time (day)									
Hydrocolloid	1	30	90	1	30	90	1	30	90
Fenugreek	100	91	82	100	100	100	100	100	100
PG alginate	94	69	70	100	96	95	100	100	100
Methylcellulose	93	69	70	100	93	76	100	100	100
Xanthan	100	88	79	100	90	65	100	100	81
Oat gum	69	72	74	95	86	85	100	100	100
Guar	65	57	58	100	67	66	100	92	85

2.3.5 การทำลายอิมัลชัน (breaking of emulsion)

การทำลายอิมัลชันเป็นวิธีแยกเอาอิมัลชิไฟเออร์ออกไปหรือทำลายพิล์มที่อนุภาคคอลลอยด์คุณภาพไว้หรือทำให้ประจุที่อยู่บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์หนดไป วิธีทำแบ่งออกได้เป็นดังนี้

2.3.5.1 วิธีทางกายภาพ (physical methods) การปั่นในเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) การกรอง การลดความหนืดด้วยความร้อน การกำจัดเอาน้ำออก การคนหรือกวน การทำให้เย็นจัด การเติมให้มีอนุภาคคอลลอยด์มากเกินพอยหรือเติมของเหลวชนิดที่สามารถไปซึ่งของเหลวที่เติมลงไปนั้นต้องมีสมบัติสามารถรวมตัวหรือละลายอนุภาคคอลloyด์หรือตัวกลางได้

2.3.5.2 วิธีทางเคมี (chemical methods) การเติมอิเล็กโทรไลต์หรือเติมคอลลอยด์ที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ในระบบแรกหรือเติมสารเคมีลงไปให้ทำปฏิกิริยากับอิมัลชิไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบชนิดใหม่หรือเติมอิมัลชิไฟเออร์ที่ใช้กับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำลงไปในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน และในทางตรงกันข้ามเติมอิมัลชิไฟเออร์ที่ใช้กับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันลงไปในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ จะทำให้ความคงตัวของอิมัลชันระบบแรกเสียไป

1) การเกาเกลุ่ม (flocculation) และการแยกชั้นครีม (creaming) โดยการเกาเกลุ่ม คือ การจับกกลุ่มของหยดเล็กเกิดเป็นกลุ่มของหยดน้ำใหญ่ (flocs) ส่วนการแยกชั้นครีม คือ การเคลื่อนที่ของหยดเล็กๆ หรือกลุ่มของหยดเล็ก ทำให้เกิดเป็นชั้นเข้มข้นอยู่ที่ด้านบน หรือด้านล่างของอิมัลชัน เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นของวัตถุภายนอกในกับวัตถุภายนอก ดังภาพที่ 2.5 นิสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าร้อยละดัชนีการแยกชั้นครีม (% creaming index) ดังนี้

$$\text{ร้อยละดัชนีการแยกชั้นครีม} = (x/y) \times 100$$

โดยที่ $x = \text{ความสูงของชั้นอิมัลชันที่เจือาง}$

$y = \text{ความสูงของอิมัลชัน}$



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างของการแยกชั้นครีม (McClements, 2005)

โดยที่ค่า x ยิ่งมีค่ามากๆ ชั้นครีมจะขึ้นมาก ถ้าครีมนี้ความขึ้นมากดัชนีการแยกชั้นครีม (%) ก็จะมากตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดความไม่คงตัวในอิมัลชัน ในการแยกชั้นครีมจะเร็วหรือช้า พิจารณาได้จาก Stoke's Law ดังนี้

$$v = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\eta}$$

v = อัตราการเกิด creaming

ρ_1 = ความหนาแน่นของ internal phase

d^2 = เส้นผ่านศูนย์กลางหยดเล็ก

ρ_2 = ความหนาแน่นของ external phase

g = ค่าคงที่ความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วง

η = ความหนืดของ external phase (poise)

ในการแยกชั้นครีมจะเกิดการสูญเสียแบบผันกลับได้ (reversible) เพราะพิล์มนของอิมัลชันไฟโออร์ยังไม่ถูกทำลาย เพราะฉะนั้นเวลาเขย่าจึงสามารถกลับมาเหมือนเดิมได้

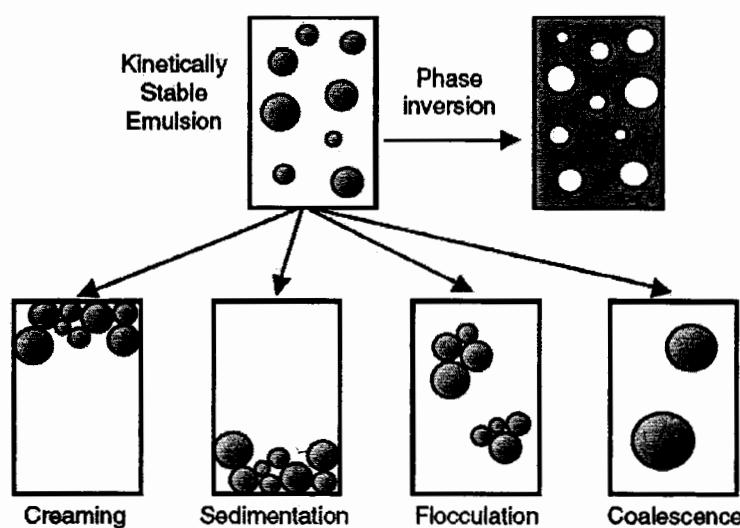
2) การรวมตัว (coalescence) และการแตกตัว (breaking) โดยการรวมตัวคือ การรวมตัวกันของหยดเล็กเป็นหยดใหญ่ (ภาพที่ 2.6) เนื่องจากพิล์มนของอิมัลชันไฟโออร์ บางส่วนถูกทำลาย ส่วนมากการเกิดการแตกตัว จัดเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) เพราะพิล์มนถูกทำลายหมด ทำให้เกิดการแยกเป็นของเหลว 2 ชั้นชัดเจน เมื่อมีการเขย่าไม่สามารถกลับมาเป็นเหมือนเดิมได้ สาเหตุของการเกิดการแตกตัว คือ

- การเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ โดยอนุภาคเม็ดไขมันพยาบานรวมตัวกัน เพื่อลดค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ

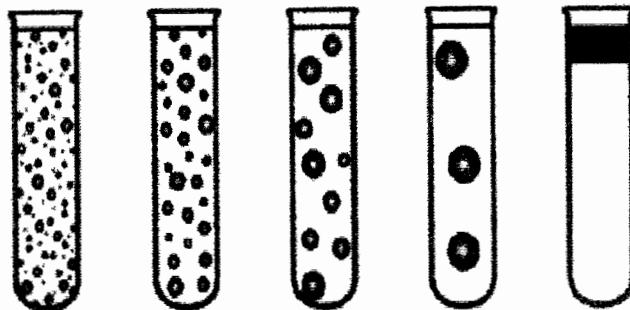
- ความเข้มข้นของอิมัลชันไฟโออร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยสารทำอิมัลชันที่คีควรทำให้เกิดพิล์มนอย่างรวดเร็ว ไม่การเกิดอนุภาคเม็ดไขมันและลดแรงตึงระหว่างพิว (interfacial tension) และการใช้สารทำอิมัลชันปริมาณน้อยที่สุดที่ทำให้อิมัลชันคงตัวที่สุด

- ปริมาณส่วนพัธรของน้ำมันและน้ำในอิมัลชัน (phase volume ratio) จุดวิกฤติ (critical point) หมายถึง ความเข้มข้นสูงสุดของเฟสภายในที่อิมัลชันไฟโออร์ สามารถทำให้เกิดอิมัลชันที่คงตัวตามที่ต้องการได้

- การเปลี่ยนแปลงอนุภาคเม็ดไขมันที่มีการเคลื่อนชั้นต่อชั้น โดยค่าความต่างศักยไฟฟ้า (ζ -potential) สูงๆ ระบบจะคงตัวดี และการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ลงในอิมัลชันอาจทำให้หยดเล็กมีโอกาสใกล้กันและรวมตัวกันเกิดการแยกชั้นครีมได้ (นิธยา รัตนานปนท., 2545)



ภาพที่ 2.6 ชนิดของความไม่คงตัวของอิมัลชัน (McClements, 2005)

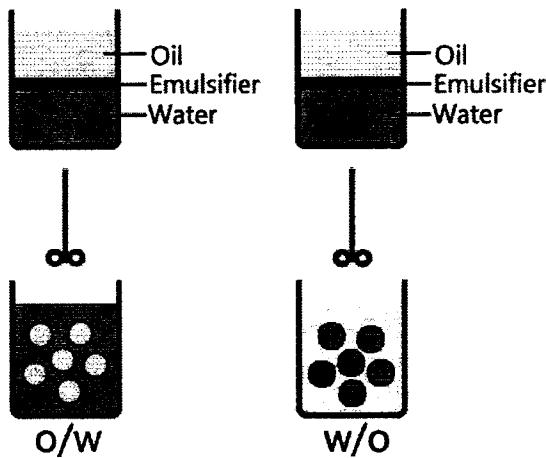


ภาพที่ 2.7 การรวมตัวของหยดไขมันในน้ำ (McClements, 2005)

2.4 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์หรืออิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ เป็นตัวช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวของน้ำกับของเหลวอินทรีย์ที่ไม่รวมกันน้ำ โดยลดแรงตึงผิวลงจาก 30-50 ไดน์ต่อเซนติเมตร เป็น 0.10 ไดน์ต่อเซนติเมตร ดังภาพที่ 2.8 ในไมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์มี 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขี้ว สามารถถabilize ได้ในน้ำและอิกส่วนไม่มีขี้ว สามารถถabilize ได้ในอนุภาคน้ำมัน ทำให้ไมเลกุลหักเหและถูกคุณชัน แทรกตัวอยู่ระหว่างผิวของน้ำกับอนุภาคของน้ำมัน เพื่อลดแรงตึงผิวของอนุภาคน้ำมัน ลักษณะการหันเหของอิมัลซิไฟเออร์จะผันแปรไปตามชนิดของอิมัลชัน เช่น สารโซเดียมสเตียเรต ($C_{15}H_{33}COONa$) เมื่อถabilize น้ำจะแตกตัวออกเป็น $C_{15}H_{33}COO^-$ ส่วนที่เป็นโพลาร์ ($-COO^-$) ถabilize ได้ในน้ำจะยึดอกรمانอกผิวของอนุภาคน้ำมัน เพื่อถabilize อยู่ในน้ำ ส่วนหมู่สเตียเรต ($C_{15}H_{33}$) ซึ่งไม่มีขี้วถabilize อยู่ในอนุภาคน้ำมัน

อิมัลซิไฟเออร์ แบบมีขี้วแบ่งออกเป็นแบบอิโอนิก (ionic emulsifier) และแบบอน-อิโอนิก (non ionic emulsifier) โดยแบบอิโอนิกมีเพียง 1 แบบ แต่ละชนิดมีความไวต่อปฏิกิริยาที่ผิวในช่วงความเป็นกรด-ค้างหนึ่ง เนื่องจากความแตกต่างของการแตกตัวในช่วงความเป็นกรด-ค้างค่างๆ แบบประจุบจะ ไวต่อปฏิกิริยาในสารที่เป็นกลางจนถึงค้าง แบบประจุบวกจะ ไวต่อปฏิกิริยาในสารถabilize ที่เป็นกรด สำหรับแบบที่เป็นได้ทั้งบวกและลบจะมีช่วงให้อิเล็กตริก ซึ่งไม่เกิดการแตกตัวให้อ่อน เพราะประจุบันไมเลกุลจะสมดุลกัน



ภาพที่ 2.8 หน้าที่ของอิมลชีไฟเออร์ (นิรนาม, ม.ป.ป.)

2.4.1 ชนิดของสารอิมลชีไฟเออร์

2.4.1.1 คาร์ราจีแนน (carrageenan)

คาร์ราจีแนนเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (*Rhodophyceae*)

ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็น กากแล็กโทส (galactose) เชื่อมตอกันด้วยพันธะไกโลโกลโคไซดิก (glycosidic linkage) และเป็นชัลเฟต พอลิแซ็กคาโรค (sulphated polysaccharides) ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตาม จำนวนและตำแหน่งของกลุ่มอะสเตโรชัลเฟต (ester sulphate) และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ แคปปา ไอโอตา และ แอลมา ซึ่งคาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้าง ของพอลิแซ็กคาโรคหลักที่ซ้ำๆ กันหลายหน่วย

แคปปา-คาร์ราจีแนน (κ -carrageenan) ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่มชัลเฟต (sulphate group) ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6 AG) โดยมีสารตั้งต้นเป็น mu-carrageenan ถ้ามีปริมาณแอนไฮไดรค (anhydride) จากการปีดวง เป็น 3,6 anhydride มากถึงร้อยละ 28-35 จะมีผลทำให้ต่อไปแตกต่างกันในเรื่องความสามารถในการ เกิดเจล ถึงแม้จะมีการคัดแปลงให้มี 3,6-AG สูงที่สุด แต่อาจจะมีความแตกต่างกันที่จำนวนของกลุ่ม ชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 ใน 1,3-linked galactoside และกลุ่มชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 6 ใน 1,4-linked galactoside จะทำให้คาร์ราจีแนนชนิดแคปปามีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

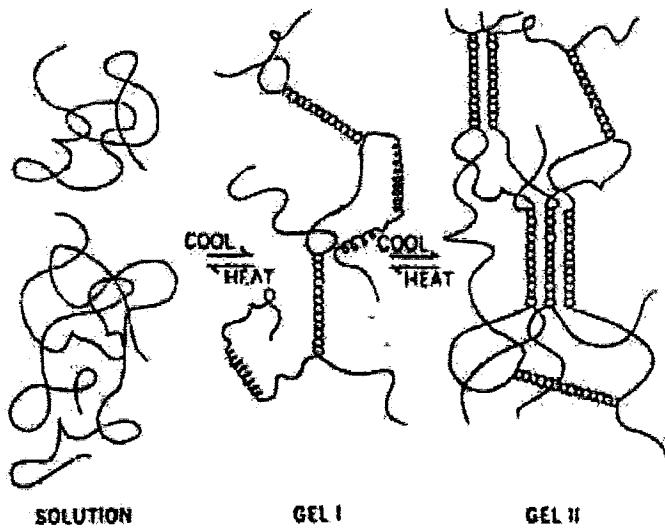
ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (ι -carrageenan) ประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่มชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่มชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น nu-carrageenan ความแตกต่างระหว่างแอนไฮไดรคในคาร์ราจีแนนชนิดแคปปามากกว่า ไอโอตา คือ

จำนวนกوليชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 1,4-linked galactoside ของไอโอดาจะมีมากกว่าแคปปา ประมาณร้อยละ 25-50 ความไวต่อไปแพตสเซิลคลอง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดเจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้ามีกوليชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มากถึงร้อยละ 80 จะไวต่อแคลเซียม

แอลมูต้า-คาร์ราจีแนน (γ -carrageenan) ประกอบด้วย 1,3-linked galactose ซึ่งมีกوليชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณร้อยละ 70 และ 1,4-linked galactose มีกوليชัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งการร้าจีแนนชนิดนี้จะไม่เกิดการปีดวงเป็น 3,6-AG จึงมีผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

การร้าจีแนนทุกชนิดคละลายได้ในน้ำร้อน ถ้าเป็นเกลือโซเดียมของ การร้าจีแนนชนิดแคปปาและไอโอดาสามารถคละลายได้ในน้ำเย็น ในขณะที่เกลือของอิօอนชนิดอื่นๆ เช่น ไปแพตสเซิลหรือแคลเซียม ไม่สามารถคละลายได้อ่างสมบูรณ์ ส่วนการร้าจีแนนชนิดแอลมูต้าคละลายได้ในน้ำเย็น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของไอօอน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการคละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการร้าจีแนนและไอօอนที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่การร้าจีแนนชนิดแคปปาและไอโอดา ต้องใช้อุณหภูมิในการคละลายมากกว่า 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การร้าจีแนนทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีร์ แต่สามารถคละลายในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (water miscible solvent) เช่น แอลกอฮอล์ และ โพร์ไพลีน ไกลคอล (propylene glycol)

การร้าจีแนนชนิดแคปปาและไอโอดา มีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารคละลายของการร้าจีแนนเย็นตัวลงเกิดเจลขึ้น ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็นเจลที่ผันกลับด้วยความร้อนได้ (thermo reversible gel) คือ สามารถที่จะคละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อยืนตัวลง Rees and Wight (1969) ได้กล่าวว่า เมื่อการร้าจีแนนคละลายน้ำจะเกิดเจล เนื่องจากเกิดรูปร่างเป็นเกลียวคู่ (double helix) ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนสามารถทำให้เกลียว (helix) เกิดการคลายตัวเป็นเกลียวที่ไม่เป็นระเบียบ (random coil) เมื่อยืนตัวลงจะเกิดเป็นตาข่ายพอดิเมอร์ 3 มิติ แต่ละสายของพอดิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล ดังภาพที่ 2.9 การเติมไอโอดาจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น แคปปา-คาร์ราจีแนน เมื่อเติมอิօอนของไปแพตสเซิล (K^+) จะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น ถ้าเติมอิօอนของแคลเซียม (Ca^{2+}) จะเกิดเจลที่มีลักษณะแข็ง ตัววนไอโอดา-คาร์ราจีแนน เมื่อเติมอิօอนของแคลเซียม (Ca^{2+}) จะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น ถ้าผสมการร้าจีแนนชนิดแคปปาและไอโอดาเข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและเกิดชีวนิริชิสน้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น dessert gels, whipped topping และผลิตภัณฑ์นม (นิธิยา รัตนานปัณฑ์, 2545)

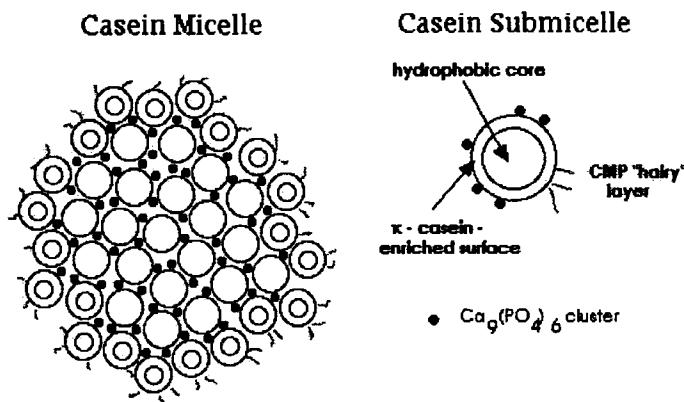


ภาพที่ 2.9 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนร้าเจน (นิธิยา รัตนานปันท์, 2551)

2.4.1.2 เบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β -Lactoglobulin)

โปรตีนจากน้ำนม น้ำนมเป็นอาหารที่ใช้บริโภคกันมากทั่วไปเด็กและผู้ใหญ่ เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการสูงมากเมื่อเปรียบเทียบอาหารอื่นๆ น้ำนมเป็นอาหารที่สมบูรณ์ที่สร้างขึ้นในธรรมชาติซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลแลคโตส วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ นอกจากน้ำรวมเรียกว่า ของแข็งในน้ำนม ความปกติในน้ำนมจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 3.5 แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เคชินและโปรตีนเวย์

เคชินเป็นโปรตีนหลักและมีมากที่สุดในน้ำนม คือ มีประมาณร้อยละ 77-80 ของโปรตีนในน้ำนม เคชิน มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นตัวที่ทำให้น้ำนมมีลักษณะเป็นสีขาวและมีกพนอยู่กับแลคเตชิน เคชินอยู่ในน้ำนมในรูปของสารแขวนลอย เคชินที่สำคัญคือ แอลฟ่า เบต้า และแคนนา คุณสมบัติที่สำคัญของเคชิน คือตักษะกอนที่ความเป็นกรด-ค้าง 4.6 หรือตักษะกอนด้วยน้ำเย็นแทน เคชินบริสุทธิ์จะไม่ตักษะกอนด้วยความร้อน แต่ในน้ำนมสคถ้าให้ความร้อนสูงถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้นภายใต้ความดันจะทำให้เคชินตักษะกอน ดังภาพที่ 2.10

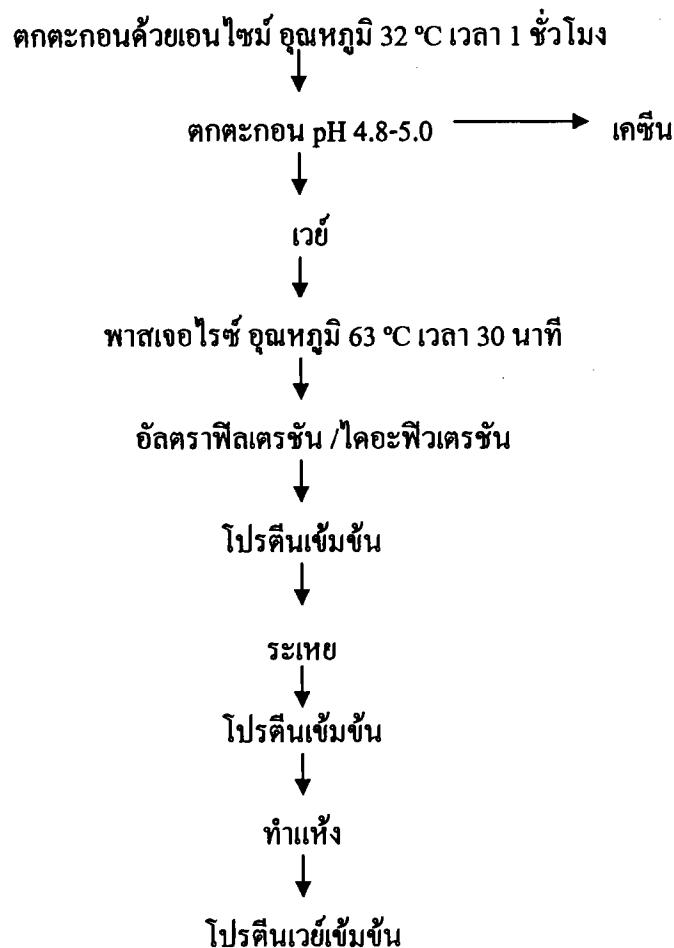


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของเคซีน ไมเซลล์และ ไมเซลล์หน่วยย่อย (Horne, 1998)

ในผลิตภัณฑ์นมเมื่อมีการบีบแยกเอาครีมออกจากน้ำนม ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปครีม เคซีนจะอยู่ในส่วนของหางนม แต่ในการผลิตเนยแข็งเมื่อน้ำนมแตกตะกอนด้วยเรนเนท ส่วนใหญ่จะตกตะกอนอยู่ในเนยแข็ง นอกนั้นจะอยู่ในหางเนยแข็ง โปรตีนเวย์เป็นโปรตีนที่ได้จากการแยกเอาเคซีนออกไปจากน้ำนมแล้วส่วนที่เหลือจะเรียกว่า เวอร์ โดยในโปรตีนเวย์นั้นจะมีเบต้า-แคล็คโตโกลบูลิน เป็นส่วนประกอบหลัก มีอยู่ประมาณ ร้อยละ 50 ของโปรตีนเวย์ทั้งหมด

2.4.1.3 โปรตีนเวย์เข้มข้น (Whey Protein Concentrate: WPC)

โดยทั่วไปหลังจากกระบวนการผลิตเนยแข็ง หางนมส่วนที่เหลือถูกแยกออกจากส่วนที่เป็นเนยแข็ง เรียกว่า เวอร์ นำส่วนที่เป็นเวย์ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ทำการลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 40 องศาเซลเซียส นำเวย์เข้าสู่กระบวนการอัลตราฟิลเตอร์ หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการการทำแท่งเป็น โปรตีนเวย์เข้มข้น (Lim et al., 2008) ดังภาพที่ 2.11 ซึ่ง โปรตีนเวย์เข้มข้นที่ได้มีองค์ประกอบประมาณร้อยละ 85 ของโปรตีนทั้งหมด (Singh et al., 2002)

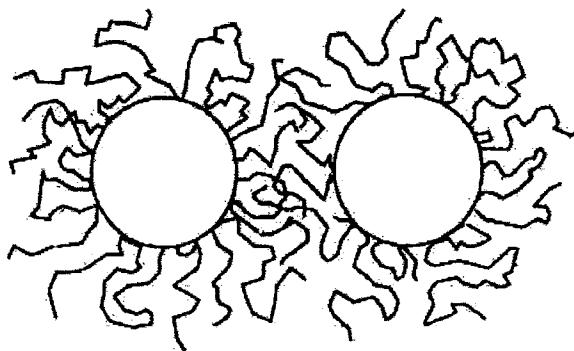


ภาพที่ 2.11 กระบวนการผลิตโปรดีนเวย์เข้มข้น (Modler, 1999)

1) คุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน

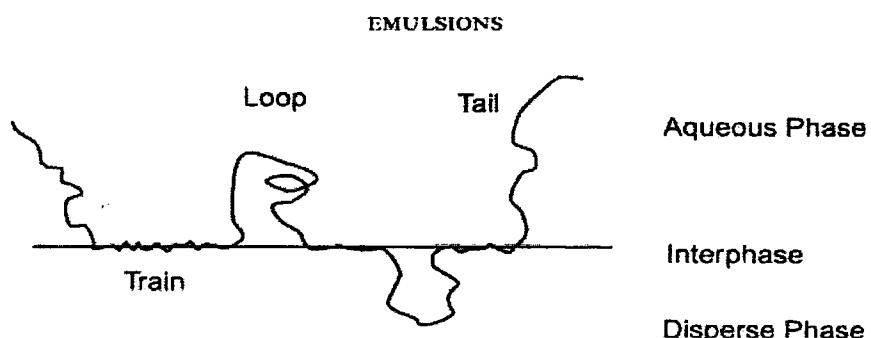
โปรดีนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความคงตัวของอาหารประเภทอิมัลชัน ซึ่งมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวจะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น น้ำสลัดที่เกิดการแยกชั้น เนื่องจากความไม่คงตัวของอิมัลชันหรือไส้กรอกอิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่หยาบ และเมื่อทำการผสมน้ำ น้ำมันและโปรดีนให้เป็นเนื้อดีบากัน สายของโปรดีนจะเกิดการคลายตัวและแทรกไปปอยู่ที่ผิวระหว่างอนุภาคของน้ำมันและน้ำ ซึ่งบางส่วนของโปรดีนจะเข้าไปปูดชั้นอยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไขมัน ส่งผลให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำลดลง และเกิดการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำมันได้ดีขึ้น โดยโครงสร้างของโปรดีนจะป้องกันไม่ให้ออนุภาคของน้ำมันเกิดการรวมตัวกัน ดัง

ภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของโปรตีนที่ซึ่งขั้นบนผิวน้ำภาคนำ้มัน (Friberg, 1997)

สายโปรตีนบริเวณส่วนหางที่เป็นปลายโนเมเลกุลค้านหมู่อะมิโนและปลายโนเมเลกุลค้านหมู่คาร์บอซิลทำหน้าที่กระจายตัวหรือละลายในน้ำ บางส่วนของสายที่มีลักษณะเป็นห่วงทำหน้าที่ละลายน้ำและป้องกันไม่ให้ออนุภาคของไขมันรวมตัวกันและส่วนของโปรตีนที่เป็นสายยาวทำหน้าที่กระจายตัวหรือละลายในน้ำมัน ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของโปรตีนที่ผิวน้ำระหว่างน้ำกับน้ำมัน (Friberg, 1997)

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอิมัลชันของโปรตีน

- ความเป็นกรด-ค้าง (pH) ความสามารถในการละลายของโปรตีนขึ้นกับระดับความเป็นกรด-ค้างของสารละลาย โดยที่จุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนมีประจุรวมเป็นศูนย์ โปรตีนจะละลายน้ำได้น้อย เพราะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีน-โปรตีนมากกว่าโปรตีน-น้ำ ในระดับความเป็นกรด-ค้างสูงหรือต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนจะมีประจุรวมเป็นลบและบวกตามลำดับ ทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น

- อุณหภูมิ โดยปกติตัวถูกละลายส่วนใหญ่สามารถละลายได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่สำหรับโปรตีนซึ่งเป็นสารใบโอลอเลิเมอร์นั้น ความสามารถในการละลายจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากความร้อนจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและเกิดการคลายเหลว ส่วนที่ไม่ขอบน้ำที่อยู่ภายใน โปรตีนเกิดการเผยแพร่องศาดาและอาจเกิดการจับตัวกันทำให้เกิดการตกตะกอน

- ชนิดของอิօ่อนและความเข้มข้นของอิօ่อน การเปลี่ยนชนิดและความเข้มข้นของอิօ่อนทำให้สมดุลระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลายเปลี่ยนไป เช่น การเพิ่มการละลายหรือการตกตะกอนของโปรตีน การใช้ความเข้มข้นของอิօ่อนต่ำๆ จะทำให้โปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือหรืออิօ่อนที่มากเกินไปจะทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลงหรืออาจตกตะกอน (สุปรานี มนูรักษ์ชินกร และคณะ, ม.ป.ป.)

2.5 การเคลือบชั้นต่อชั้นของสารใบโอลอเลิเมอร์

การเคลือบชั้นต่อชั้นของสารใบโอลอเลิเมอร์ หมายถึง การใช้สารใบโอลอเลิเมอร์พอกไชโครคอลอยด์หรือโปรตีน เป็นสารช่วยในการลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ ทำให้น้ำและน้ำมันสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรภาพมากขึ้น โดยการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารใบโอลอเลิเมอร์นี้เป็นการสะสมของประจุไฟฟ้าของสารใบโอลอเลิเมอร์ ที่ผิวของหยดไขมัน ทำให้เกิดชั้นที่หนาขึ้นล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน โดยเทคนิคนี้จะมีการใช้สารใบโอลอเลิเมอร์ 2 หรือ 3 ชนิด ในการทำการเคลือบชั้นต่อชั้น เพื่อรักษาความคงตัวของอิมัลชัน ซึ่งการเคลือบชั้นต่อชั้นจะเป็นการปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันให้ดีขึ้น เนื่องจากเกิดแรงผลักดันระหว่างเม็ดไขมันขึ้นและสามารถป้องกันเม็ดไขมันจากสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิในกระบวนการแปรรูป วัฏจักรการแช่เยือกแข็งและละลาย การเกิดออกซิเดชัน และความแรงของประจุสูง โดยที่เทคนิคนี้มีความคงตัวมากกว่าการเคลือบชั้นแบบเดียว ซึ่งความแตกต่างที่ส่งผลให้อิมัลชันมีความคงตัวที่ดีขึ้น คือ คุณลักษณะของหยดไขมัน เช่น ความหนา ประจุไฟฟ้า และการห่อหุ้มของสารพวกไชโครคอลอยด์หรือโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน (Gu et al., 2007)

ชนิดของสารใบโอลอเลิเมอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่ขึ้นกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพอกไชโครคอลอยด์และพอกโปรตีน เช่น โปรตีนเวhey (whey protein) เจลาติน (gelatin) ไคโตไซาน (chitosan) คาร์ราจีแนน เพ็กติน (pectin) และเบต้า-แลคโตโกลบูลิน เป็นต้น

การเคลือบชั้นต่อชั้นของสารใบโอลอเลิเมอร์นี้ ได้มีการทำการศึกษาจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น Moreau et al. (2003) ศึกษาการใช้เทคนิคการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันน้ำมันข้าวโพด ร้อยละ 10 โดยนำหนัก ด้วยเบต้า-แลคโตโกลบูลิน ร้อยละ 1 โดยนำหนัก

และเพกติน ร้อยละ 0-0.22 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค่า 3 พบร่วมกับความเข้มข้นของเพกตินต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้สีน้ำผ่านศูนย์กลางของเม็ดไบมันมีขนาดเล็ก ($d_{32} < 1$ ในเมตร) เมื่อความเข้มข้นของเพกตินเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก) ก็จะมีผลทำให้สีน้ำผ่านศูนย์กลางของเม็ดไบมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ($d_{32} \approx 13$ ในเมตร) และความเข้มข้นของเกลือ (<500 มิลลิโนลาร์) และที่ความเป็นกรด-ค่าต่ำจะทำให้อุณหภูมิไบมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์เคลือบชั้นต่อชั้นในอิมัลชันจึงเป็นเทคนิคที่ปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชัน

Guzey and McClements (2006) ศึกษาการใช้เทคนิคการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันเข้าว่าโพล ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นตัว-แอล蔻โกลบูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เพกติน ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก และไคโตราน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค่า 4 โดยศึกษาสภาวะต่างๆ คือ อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ค่า 3-7 และเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0-500 มิลลิโนลาร์ พบร่วมกับอุณหภูมิความเป็นกรด-ค่าและปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันปฐมภูมิ ส่วนในอิมัลชันทุติยภูมิที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ค่า 3-5 และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโนลาร์ ไม่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันและในอิมัลชันทุติยภูมิที่อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ค่า 3-6 และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโนลาร์ ไม่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน

Gu et al. (2007) ศึกษาการใช้เทคนิคการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารอิมัลซิไฟเออร์ด้วยเป็นตัว-แอล蔻โกลบูลิน ไอโอดา-คาร์บอเจน และเจลาติน ที่ความเป็นกรด-ค่า 6 ในอิมัลชันน้ำมันเข้าว่าโพลโดยมีการเติมน้ำตาลชูไครส ร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปผ่านการแช่เยือกแข็งและการละลาย พบร่วมกับอิมัลชันปฐมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิของน้ำมันเข้าว่าโพลที่ไม่น้ำตาลชูไครสจะไม่คงตัว แต่อิมัลชันทุติยภูมิจะมีความคงตัว ส่วนอิมัลชันที่มีการเติมน้ำตาลชูไครส ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะมีความคงตัวของอิมัลชันที่มีการเคลือบชั้นทั้งสามแบบ เช่นเดียวกับการเกิดความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันปาล์มที่มีการเคลือบชั้นด้วยโซเดียมโอดีซิลซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulfate: SDS) ไคโตราน และเพกตินที่ความเป็นกรด-ค่า 3

ปิติภานต์ ตัดพันธ์ และสุคนธ์ชื่น ศรีงาม (2551) ศึกษาอิทธิพลของอิมัลซิไฟเออร์และสเทบิไอลเซอร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ในน้ำหลังการให้ความร้อนซึ่งเป็นระบบโนเดลของน้ำกะทิ โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสมระหว่าง Tween 60 กับ Span 80 ที่ค่า HLB 5.3-14.9 พบร่วมกับค่า HLB และค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้นที่ค่า HLB ในช่วง 10.0-14.9 และความเข้มข้น ร้อยละ 0.3-0.5 โดยน้ำหนัก อิมัลชันเกิดการแยกตัวของน้ำมันน้อยกว่าร้อยละ 0.85 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ขนาดอนุภาคที่

ทำให้เกิดความคงตัว คือ 1.40-2.75 ในโครเมตร การใช้สเตบิไลเซอร์ 3 ชนิด ร่วมกับอินดักซิไฟเออร์ Span 80 ทำให้การแยกชั้นน้ำมันลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอินดักซิไฟเออร์และสเตบิไลเซอร์ ซึ่งการ์บอกรีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose: CMC) ให้ค่าความหนืดสูงสุด จึงไม่เกิดการแยกตัวของน้ำมัน เมื่อใช้ปริมาณร้อยละ 0.3-0.5 โดยน้ำหนัก ร่วมกับสารอินดักซิไฟเออร์ร้อยละ 0.2-0.5 โดยน้ำหนัก แต่มีการแยกชั้นครีมเกิดขึ้น เมื่อใช้ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก ร่วมกับอาคาเซียร้อยละ 0.2-0.4 โดยน้ำหนัก ให้ความความหนืดต่ำและปริมาณที่ใช้ไม่มีผลต่อความหนืด ส่วนคราร์ราจีแนนให้เจลสีเหลืองและความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นทั้งอาคาเซียและคราร์ราจีแนนในอินมัลชัน ทำให้อินมัลชันไม่เกิดการแยกชั้นครีม และน้ำมันไม่เกิดการแยกตัวเมื่อใช้ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

Kovacova et al. (2009) ศึกษาการใช้เทคนิคการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารอินดักซิไฟเออร์ในอินมัลชันน้ำมันถ้วนเหลือง ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ด้วยเบตา-แลกโตกอลอบบุลินและเพกติน พนวณว่า การใช้โปรตีน-โปรตีนทำใหอนุภาคเม็ดไบมันมีขนาดใหญ่ (2,000-2,500 นาโนเมตร) เมื่อใช้เทคนิคการเคลือบชั้นตัวโดยเพกตินชนิด high esterified และ low esterified พนวณอนุภาคเม็ดไบมันมีขนาดลดลง 350 และ 1,000 นาโนเมตร ตามลำดับ เนื่องจากเพกตินทั้งชนิด high esterified และ low esterified จะช่วยในการเคลือบที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้ำมันและน้ำให้ช้าลง โดยสามารถแสดงค่าประจุไฟฟ้าที่พื้นที่ผิวของไบมัน เมื่อมีการเติมเพกตินทั้งชนิด high esterified และ low esterified ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า พนวณว่าเพกตินชนิด high esterified จะมีค่าเป็นลบมากกว่าเพกตินชนิด low esterified ดังนั้นการใช้สารอินดักซิไฟเออร์เคลือบชั้นต่อชั้นในอินมัลชันด้วยการใช้เพกตินชนิด high esterified จึงเป็นเทคนิคที่ปรับปรุงความคงตัวของอินมัลชัน

2.6 เทคนิคไม่โครเอนแคปซูลเลชัน

กระบวนการที่ของเหลวหรือนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไม่โครแคปซูล ซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน โดยชั้นพอลิเมอร์จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในอุกมាកามความต้องการ ซึ่งชั้นตอนทางเทคนิคไม่โครเอนแคปซูลเดชันที่สำคัญคือ ทำให้เกิดฟิล์มนางๆ รอบอนุภาคหรือทำให้เกิดเป็นอินมัลชัน ทำให้ฟิล์มแข็งแรงและแยกแคปซูลด้วยการทำแห้ง โดยไม่โครแคปซูลนั้นมีลักษณะเป็นทรงกลม อยู่ในรูปทรงแห้งที่สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ ซึ่งสารสำคัญที่อยู่ภายในไม่โครแคปซูลจะเรียกว่าสารที่ถูกเคลือบ (core) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะเรียกว่า สารเคลือบ (wall)

สารเคลือบนั้นเป็นตัวที่สำคัญของเทคนิคไม่โครเอนแคปซูลเลชัน ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นสารเคลือบจำเป็นที่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อสารสำคัญและสภาพแวดล้อมที่ต้องการใช้

ในบางครั้งอาจต้องทำการเคลือบ 2 ชั้น โดยที่สารเคลือบชั้นในนั้นทำหน้าที่เพื่อป้องกันสารที่ถูกเคลือบ และสารเคลือบชั้นนอกนั้นทำหน้าที่คุณวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ลักษณะของสารเคลือบที่ดีควรมีลักษณะดังนี้ คือ มีความสามารถแผ่เป็นแผ่นพิล์มบางๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง เพียงพอที่จะห่อหุ้มสารสำคัญ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการซึมซับกับสารที่ถูกเคลือบ ได้ดีและไม่ทำปฏิกิริยากับ มีความหนืดตัวเมื่อยืดในสถานะของแข็งและไม่ชื้นง่าย และมีความคงตัวสูง เพื่อจะป้องกันสารที่ถูกเคลือบจากสภาพแวดล้อมต่างๆ และปลดปล่อยสารที่ถูกเคลือบได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2.6.1 สารที่สามารถนำมาทำเป็นสารเคลือบที่นิยมใช้ในการอุดตากรรนอาหารและยา

2.6.1.1 โอเอสเออเจ็น (OSAN) เป็นแป้งดัดแปร (modified starch) ชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกทางเคมีว่า n-octenyl succinic anhydride-substituted starches นิยมใช้กับกระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฟอย ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและราคาไม่แพง แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้สารละลายที่ได้มีความเป็นกรด-ค้าง (pH 3.0) เนื่องจากผลของ n-octenyl succinic acid ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กับคอร์ทีไવต์อกรด

2.6.1.2 กัมอารบิก (gum arabic) หรือกัมอะกาเซีย (acacia gum) เป็นไซโตรคอลลอยด์กัมที่มีคุณสมบัติของอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก มีความหนืดตัว และเมื่อเป็นผงแห้งก็ไม่จับตัวเป็นก้อน เหมาะสำหรับคอร์ทีชื้นง่าย

2.6.1.3 โซเดียมอลจิโนต (sodium alginate) ละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดตัว ใช้ปริมาณน้อย ราคาไม่แพง แต่พิล์มที่ได้จะไม่ค่อยแข็งแรง ต้องเสริมคัวยเกลือแคดเซียน นักใช้กับกระบวนการโภชนาการโภชนาการ

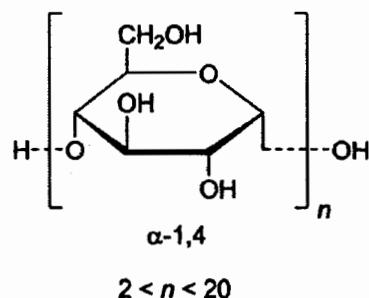
2.6.1.4 นอลโตเด็กซ์ตرين (maltodextrin) เป็นสารที่ผ่านการย่อยสลายบางส่วน ตัวกรดหรือเอนไซม์ ประกอบด้วย α-(1,4) linked D-glucose oligomers และ/หรือ polymers (ผันตรา พูนศิริ, ม.ป.ป.) โดยนอลโตเด็กซ์ตринมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (dextrose equivalent: DE) น้อยกว่า 20 และค่าสมมูลเด็กซ์โทรส คือ ค่า reducing power ของพอดิแท็กคาโรลด์หรือโอลิโก-แซ็คคาไรด์ที่ได้จากสารซึ่งเปรียบเทียบกับ D-glucose โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งนอลโตเด็กซ์ตринที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสแตกต่างกันจะมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิแข็งเยือกแข็งและความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามนอลโตเด็กซ์ตرينที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส เหมือนกันอาจจะมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพแตกต่างกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับวิธีการย่อยสลาย แหล่งของสารซึ่งและอัตราส่วนของอะไรมอลต์ต่ออะไรมอลเพกติน (Klinkesorn et al., 2004) โดยนอลโตเด็กซ์ตринสามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใส่หรือบุ่นขึ้นกับ

ชนิดของ/mol โトイเด็กซ์ตринที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อและมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ โดยเฉพาะพวกรที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรสต่ำๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ชูก นม น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Fuwa, 1972) เมื่อเทียบ/mol โトイเด็กซ์ตрин จะให้คลองอย่างอิสระ ไม่เกาะติดกัน มนุษย์สามารถรับประทาน/mol โトイเด็กซ์ตринอย่างปลอดภัย เพราะเอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์จะย่อย/mol โトイเด็กซ์ตринให้เป็น D-glucose เช่นเดียวกับการใบไไซเดรต/mol โトイเด็กซ์ตринที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรสูงจะมีความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ค่าการละลาย ความ insolubility และความหวานสูงกว่า/mol โトイเด็กซ์ตринที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรต่ำ แต่จะมีความหนืดต่ำกว่า (Macrae et al, 1993) ความสามารถในการละลายของ/mol โトイเด็กซ์ตринขึ้นอยู่กับค่าสมมูลเด็กซ์ไทร การละลายเพิ่มขึ้น เมื่อค่าสมมูลเด็กซ์ไทรมากขึ้นจากค่าสมมูลเด็กซ์ไทร 5 เป็น 18 จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงพบว่าความหนืดของสารละลายจะลดลง เมื่อค่าสมมูลเด็กซ์ไทรสูงขึ้น และความหนืดยังขึ้นกับปริมาณ/mol โトイเด็กซ์ตринในสารละลายนั้นๆ ด้วย หากมีปริมาณสูงความหนืดของสารละลายที่ได้ถูกสูงตามไปด้วย/mol โトイเด็กซ์ตринเป็นโมเลกุลใหญ่ที่สามารถถูกเอนไซม์กลุ่มอะไมเดส (amylase) ย่อยแล้วให้น้ำตาล/mol โトイเด็กซ์ตринเป็น โมเลกุลใหญ่ที่สามารถถูกเอนไซม์กลุ่มอะไมเดส (maltotriose) และ/mol โトイเด็กซ์ตринเป็นต้น การผลิต/mol โトイเด็กซ์ตринนี้มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบขึ้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอน ดังนี้

1) การผลิตแบบขั้นตอนเดียว เป็นการย่อยเป็นโดยกรดที่อุณหภูมิมากกว่า 105 องศาเซลเซียส หรือเอนไซม์อะไมเดสที่อุณหภูมิ 82-105 องศาเซลเซียส แล้วหุดปฏิกิริยา โดยปรับความเป็นกรด-ค่างหลังให้ความร้อน ทำการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลิ่นสีโดยการบ่อนแยกแยะกรองอีกรึ้ง จากนั้นต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นแล้วทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฟอย

2) การผลิตแบบสองขั้นตอน เป็นการย่อยเป็นคัวยเอนไซม์อะไมเดสที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และหุดปฏิกิริยาโดยความร้อน 110-180 องศาเซลเซียส ขนาดของค่าสมมูลเด็กซ์ไทรจะได้ปริมาณ 2-5 จากนั้นนำไปเอนไซม์อะไมเดสอีกรึ้งหนึ่ง หรืออีกชนิดหนึ่งที่ 85 องศาเซลเซียส จนได้ค่าสมมูลเด็กซ์ไทร 5-20 จึงหุดปฏิกิริยาโดยการปรับความเป็นกรด-ค่าง หรือความร้อน จากนั้นทำการกรองแบบสุญญากาศ โดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลิ่นสีของผงคราบอนแล้วกรอง จากนั้นทำการต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฟอย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อภูล ปีบะจอมขวัญ, 2543)

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในหลายหน้าที่ เช่น ใช้ในน้ำสลัด (salad dressing) เพื่อแทนการใช้น้ำมันใช้มอลโตเด็กซ์ตรินควบคู่กับเซลลูโลสกัม (cellulose gum) เพื่อป้องกันการเกิดผลึกขนาดใหญ่ เมื่อทำการแข็งเยือกแข็งผลิตภัณฑ์ ใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าเครื่องทำแห้ง และขังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถไหลได้โดยสะดวก (Chronakis, 1988) บริษัท Grain Processing Corporation (1994) ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตมอลโตเด็กซ์ตริน ทราบมอลทริน (maltrin) แนะนำให้ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าสมนูญเด็กซ์โทรส 9-12 เป็นตัวพานในการทำแห้งแบบพ่นฟอยของน้ำผลไม้และไชรับ ในช่วงค่าสมนูญเด็กซ์โทรสนี้ มอลโตเด็กซ์ตรินมีความสามารถในการละลายสูงที่สุดประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง และสารละลายที่ได้มีความชื้นหนึ่งคับประมาณ 60 เชนดิพอยส์



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของมอลโตเด็กซ์ตริน (Wikipedia, 2012)

2.6.2 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตในโครแคปซูล มีทั้งวิธีการภาค และการเคลือบ

2.6.2.1 การเคลือบโดยการพ่นฉีด (spray coating) แยกออกได้เป็นแพนโคททิง (pan coating) ซึ่งใช้เคลือบอนุภาคน้ำที่เป็นของแข็งและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ นักใช้อุตสาหกรรมยา เตรียมได้โดยเคลือบตัวยาบนอนุภาคนองกลม แล้วนำไปเคลือบซ้ำอีกซึ้นคั่วยอดิเมอร์พร้อมทั้งเปลี่ยนลดเวลา ส่วนฟลูอิดไซด์เบด โคททิง (fluidize bed coating) ใช้หลักการเดียวกับแพนโคททิง แต่อาศัยหัวสเปรย์พ่นสารเคลือบลงไปบนอนุภาคน้ำที่มีการเคลือบที่ด้วยแรงลมเป่าจากด้านล่างเป็นวงจรต่อเนื่อง จนกระทั่งได้ชั้นความหนาของสารเคลือบตามต้องการ

2.6.2.2 การทำแห้งแบบพ่นฟอย (spray drying) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การเรอบแคปซูลกัลล์รัต ซึ่งกัลล์รัตที่ละลายในไขมันจะถูก

อิมัลชีไฟค์สารละลายน้ำกับสารเคลือบ แล้วทำให้แห้งโดยการพ่นผ่านหัวสเปรย์กระแทกกับลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ได้ขนาดอนุภาคประมาณ 10-150 ไมครอน

2.6.2.3 สเปรย์คูลลิ่ง (spray cooling) ใช้หลักการคล้ายกับการทำแห้งแบบพ่นฟอร์ม คือ นำอนุภาคไปกระจายตัวในสารเคลือบที่อยู่ในสภาพะหลอมเหลว แล้วนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์กระแทกกับลมเย็น สารเคลือบที่ใช้ต้องเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น แวร์กซ์ กรดไขมัน และ พอลิเมอร์ เป็นต้น

2.6.2.4 มัลติเอ็กทรูชัน (multi extrusion) วิธีการนี้ต้องใช้สกรูเอ็กทรูเดอร์ (screw extruder) เข้ามาช่วย โดยใช้สารจำพวกครา์บไบแคปซูล สารที่เป็นของเหลวหรือน้ำยาเข้มข้นเคลือบ ซึ่งสารเคลือบจะถูกทำให้หลอมเหลวตัวย่นแล้วมีการเติมกลิ่นรสลงไป จากนั้นทำการป้อนกลับเข้าไปในเอ็กทรูเดอร์ โดยของผสมจะถูกแรงดันขัด拼命เข้าด้วยกัน แล้วถูกดันผ่านพินพ์ให้ได้รูปร่างของมาเป็นแผ่นหรือเส้นตามความต้องการ ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมกลิ่นรสที่ต้องการอนุภาคขนาดใหญ่ พบรูปในผลิตภัณฑ์ ประเภทถุงกวาด

2.6.2.5 คอมเพล็กซ์โคเอเซอร์เวชัน (complex coacervation) เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทำงานเคมี มีประโยชน์สำหรับอนแทปชูล เสาร์ที่เป็นของเหลวหรือน้ำยาเข้มข้นเคลือบ มีลักษณะเป็นน้ำมันในน้ำ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ นำอนุภาคที่จะเคลือบไปกระจายตัวในสารละลายน้ำพอลิเมอร์ แยกเฟสของพอลิเมอร์ออกจากตัวทำละลาย เพื่อไปจุดชั้นอยู่บนผิวดอกของอนุภาคและการทำให้ชั้นของสารเคลือบแข็งแรงขึ้น โดยอาศัยอุณหภูมิหรือสารที่เสริมความแข็งแรงให้แก่พื้น เช่น สารประกอนแคลเซียม เป็นต้น

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการอบแห้งแคปชูล

2.6.3.1 คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรส ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี ความนิ่ว ข้าว และ ความสามารถในการระเหย

2.6.3.2 คุณสมบัติของสารเคลือบ

2.6.3.3 สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการอบแห้งแคปชูล (ฉบับรา พุนศิริ, ม.ป.ป)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Klinkesorn et al. (2005a) ศึกษาการทำอบแห้งแคปชูลในอิมัลชันน้ำมันทูน่า ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ในอะซิเตทบัฟเฟอร์ 100 มิลลิโนลาร์ ที่ความเป็นกรด-ค่า 3.0 โดยวิธีการเคลือบชั้นต่อชั้นของสารเลซิตินหรือเลซิตินและไคโอลชาน ในการผลิตสารละลายน้ำมันแคปชูล ซึ่งในการทำการเคลือบชั้นต่อชั้นนั้นทำการเติมไคโอลชานที่มีประจุบวกไปยังกับเลซิตินที่มีประจุลบที่จับอยู่กับเม็ดไขมัน ทำให้เกิดความเสถียรของเม็ดไขมันเพิ่มมากขึ้น จากนั้นทำการเติมน้ำตาลจากข้าวโพดหรือผง

คอร์นไซรับ (corn syrup solids) แล้วศึกษาสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อความเสถียรของอิมลัชันน้ำมันทุน่า ทั้งอุณหภูมิ (30-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที) การแช่เยือกแข็ง และการคลาย (-18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง/30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สูง (200 มิลลิโนมาร์) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-drying) พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำตาลจากข้าวโพดหรือผงคอร์นไซรับ (corn syrup solids) ลดลง ทำให้ความเสถียรภาพในอิมลัชันปูนภูมิลดลง แต่ในอิมลัชันทุติยภูมินักลับเพิ่มขึ้น

Shaw et al. (2007) ศึกษาการทำแห้งของอิมลัชันโอมก้าสาม (ω -3 Fatty acids) ที่มีการทำเคลือบชั้นต่อชั้นในระบบอาหาร ซึ่งการทำการเคลือบชั้นต่อชั้น ทำให้รั้นของโอมก้าสามหนาขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขยับยังการเกิดออกซิเดชันในผงโอมก้าสาม โดยอิมลัชันปูนภูมิจะใช้เลเชินและในอิมลัชันทุติยภูมิจะใช้เลเชินและไคโตชาน และมีการเติมน้ำตาลจากข้าวโพดหรือผงคอร์นไซรับ ร้อยละ 1-20 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำแห้งแบบพ่นฟอย พนว่าปริมาณขั้นต่ำสุดของน้ำตาลจากข้าวโพดหรือผงคอร์นไซรับ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่ใช้ในการทำไม่ควร超過 ชุดของอิมลัชันของอิมลัชันทุติยภูมิทำให้เกิดความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันของผงโอมก้าสาม

Jafari et al. (2008) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฟอย ซึ่งใช้ Microfluidization และ Ultrasonication ในการเตรียมสารละลายเอนแคปซูล โดยใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร่วมกับสารใบโอะพอลิโนร์ (modified starch หรือ whey protein concentrate) ที่อัตรา 3:1 พนว่า วิธีการเตรียมสารละลายเอนแคปซูล ด้วย Microfluidization มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูล化ผงน้ำมันปลาได้ดีกว่า Ultrasonication เนื่องจากการใช้ Microfluidization ในการเตรียมสารละลายเอนแคปซูลมีน้ำมันปลาที่ต่ำกว่า พบว่า เหลือน้ำมันปลาที่ไม่สามารถทำการเอนแคปซูล化ได้น้อย ต่งผลทำให้การใช้ Microfluidization สามารถลดลงน้ำมันปลาในระดับ nano ได้ดีที่สุด

Choi et al. (2010) มีการศึกษาการใช้เบต้า-ไซโคเดกซ์ตริน (β -cyclodextrin: β -CD) ในการทำเอนแคปซูลน้ำมันปลา โดยมีการเติมน้ำมันปลาที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-dried fish oil: FO) จากนั้นทำการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาต่ออัตราการปลดปล่อยของน้ำมันปลาและทำการศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันปลาในน้ำบริสุทธิ์ สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำปลา พนว่าในการศึกนาน้ำมันปลาที่มีการผสมระหว่าง β -CD กับ FO ที่อัตรา 10:20 มีประสิทธิภาพของการทำเอนแคปซูล化 ร้อยละ 84.1 โดยน้ำหนัก fish oil loading ร้อยละ 62.7 โดยน้ำหนัก การรั่วไหลของน้ำมันปลาหลังจากแช่แข็งแห้ง ร้อยละ 11.0 โดยน้ำหนักและ eicosapentaenoic acid (EPA) encapsulation efficiency ร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากการศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันปลา พนว่าน้ำมันปลาที่เติม β -CD มีการปลดปล่อยช้ากว่าน้ำมันปลาที่มีการ

ทดสอบกันระหว่าง β-CD กับ FO ทั้งในน้ำปลา น้ำบริสุทธิ์และสารละลายน้ำมันปลาที่มีการทดสอบระหว่าง β-CD กับ FO ที่อัตรา 10:20 พบว่าผงน้ำมันปลา มีความเสถียรต่อการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 97 เป็นเวลา 3 วัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุคืน วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 วัตถุคืน

3.1.1.1 น้ำมันงา จากศูนย์การเรียนรู้และพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมเกษตรครัวเรือนแบบยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.1.1.2 โปรตีน whey เข้มข้น ชื่อ SIAM WHEY ประเทศไทย

3.1.1.3 แคปปา-คาร์ราจีแนน ชื่อ SIGMA ALDRICH ประเทศไทย สหรัฐอเมริกา

3.1.1.4 นอลโดเต็กซ์ตระนิ ทำสมูลเต็กซ์ไทรัส 10 และ 15 (Maltodextrin DE 10 และ DE 15) ชื่อ SAHASINWATTANA STARCH DERIVATIVE ประเทศไทย และชื่อ ZHUCHENG DONGXIAO BIOTECHNOLOGY ประเทศไทย สาธารณรัฐประชาชนจีน

3.1.1.5 น้ำตาลชูไครส์ ชื่อ SIGMA ALDRICH ประเทศไทย สหรัฐอเมริกา

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

3.1.2.1 บีกเกอร์

3.1.2.2 หลอดทดลองฝ่าแกลิลิ (15x125 มิลลิเมตร)

3.1.2.3 ขวดปรับปริมาตร

3.1.2.4 ขวดปูชมน้ำ

3.1.2.5 แท่งแก้วคนสาร

3.1.2.6 ข้อต่อตักสาร

3.1.2.7 ปีเป็ต

3.1.2.8 กระบอกดูด

3.1.2.9 ช่องลามิเนต

3.1.2.10 ขวดตัวอย่างสีชา

3.1.2.11 ถุงซิปล็อก

3.1.2.12 ถ้วยละลูมิเนียมวิเคราะห์ความชื้น (Moisture can)

3.1.2.13 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.2.14 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.2.15 นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ CITIZEN รุ่น QT9017-A

3.1.2.16 ชุดกรองสารตัวอย่าง

3.1.2.17 Magnetic bar

3.1.2.18 ชุด ไทด์เรท

3.1.2.19 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FED240-M

ประเทศไทยรัฐอเมริกา

3.1.2.20 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410L ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.1.2.21 เครื่องวิเคราะห์น้ำอิสระในอาหาร (Water activity) ยี่ห้อ Novasina รุ่น PS200 S/N 9809020 ประเทศไทยรัฐอเมริกา

3.1.2.22 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ยี่ห้อ memmert รุ่น GFL 1083

ประเทศไทยรัฐอเมริกา

3.1.2.23 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอย (Spray dryer) ยี่ห้อ Niro รุ่น A/S ประเทศไทย
เดนมาร์ก

3.1.2.24 เครื่องซั่งทศนิยม 2 คำแห่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS2202S ประเทศไทย
เยอรมัน

3.1.2.25 เครื่องซั่งทศนิยม 4 คำแห่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP2215 ประเทศไทย
เยอรมัน

3.1.2.26 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น MIKRO 200/200R/220R
ประเทศไทยรัฐอเมริกา

3.1.2.27 เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ยี่ห้อ VORTEX-2GENIE รุ่น
G56OE ประเทศไทยไทย

3.1.2.28 เครื่องวัดความเป็นกรด-ค้าง (pH meter) ยี่ห้อ SEVEN EASY รุ่น
METTLER TOLEDO ประเทศไทย

3.1.2.29 เครื่องโซโนมิไนเซอร์ (Homogenizer) ยี่ห้อ DIDACTA รุ่น TA 18/D
ประเทศไทยอิตาลี

3.1.2.30 เครื่องปั่นแบบมือถือ (Hand blender) ยี่ห้อ Philips รุ่น HR1357 ประเทศไทย
ไทย

3.1.2.31 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) และ stage micrometer ยี่ห้อ Nikon
รุ่น ECLIPSE E400 ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.1.2.32 เครื่อง Zetasizer Nano ZS ยี่ห้อ Malvern รุ่น ZS ประเภทอัจฉริยะ

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 Dibasic sodium phosphate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.3.2 Dihydrogen phosphate ($\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.3.3 Sodium azide (NaN_3) ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.3.4 Hydrochloric (HCl) ความเข้มข้น 4 โมลาร์ ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.3.5 Sodium chloride (NaCl) ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.3.6 Sodium hydroxide (NaOH) ยี่ห้อ Univar ประเทศอสเตรเลีย

3.1.3.7 1-Octanol 99% ยี่ห้อ Panreac ประเทศสเปน

3.1.3.8 2-Thiobarbituric acid ยี่ห้อ SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 วิธีการทดลอง

การศึกษาการผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูล เทพ ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษานิคและปริมาณของмол โตเด็กซ์ตرينต่อความคงตัวของอินสูลินน้ำมันงา โดยทำการตรวจสอบความคงตัวของอินสูลิน เมื่อทราบชนิดและปริมาณของmol โตเด็กซ์ตринที่เหมาะสมเพื่อนำไปศึกษาขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอินสูลินน้ำมันงา และขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูล เพื่อให้วิทยานิพนธ์บรรลุถ้วนประสงค์ จึงได้มีการดำเนินการทดลองดังนี้

3.2.1 ศึกษานิคและปริมาณของmol โตเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอินสูลินน้ำมันงา

การศึกษานิคและปริมาณของmol โตเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอินสูลินน้ำมันงา ทดลองชนิดmol โตเด็กซ์ตрин (maltodextrin: MD) จำนวน 2 ชนิด คือ ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (dextrose equivalent: DE) 10 และ 15 ที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 15 และ 30 โดยนำหนัก

3.2.1.1 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลาย โปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate solution) เตรียมจากโปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate: WPC) ร้อยละ 1 โดยนำหนัก และโซเดียมเอไไซด์ (NaN_3) ร้อยละ 0.04 โดยนำหนัก ละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (5 mM

phosphate buffer) ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH 7 และการเตรียมสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan solution) เตรียมจากแคปปา-คาร์ราจีแนน (κ-carrageenan) ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก คล้ายในสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan solution) นำไปใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.2.1.2 การเตรียมอิมัลชัน

การเตรียมอิมัลชันแบบปฐมนิยม (primary emulsion: 1°) เตรียมจากน้ำมันงา (sesame oil) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โปรตีนเวียเข้มข้น ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และโซเดียมเอไซค์ ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก นำมาละลายในสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan solution) ที่ความเป็นกรด-ด่าง 7 ทำการบีบผสานนาน 1 นาที แล้วนำเข้าเครื่องไฮโนจีโนเซอร์ ยี่ห้อ DIDACTA รุ่น TA 18/D ที่ความดัน 1,200 psi จำนวน 3 รอบ เพื่อลดขนาดเม็ด ใบมัน

การเตรียมอิมัลชันแบบทุดนิยม (secondary emulsion: 2°) เตรียมจากการนำอิมัลชันปฐมนิยมมาเจือจางกับสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan) โดยเตรียมให้อิมัลชันทุดนิยมสุกท้าขึ้น มีความเข้มข้นของน้ำมันงา ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โปรตีนเวียเข้มข้น ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก แคปปา-คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และโซเดียมเอไซค์ ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก ในสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan solution) ที่ความเป็นกรด-ด่าง 7 ทำการบีบผสานนาน 1 นาที นำเข้าเครื่องไฮโนจีโนเซอร์ ยี่ห้อ DIDACTA รุ่น TA 18/D ที่ความดัน 1,200 psi จำนวน 3 รอบ เพื่อลดขนาดเม็ด ใบมันและทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

นำอิมัลชันทุดนิยมที่เตรียมได้มาผสานกับน้ำมันน้ำนม โถเด็กซ์ตرين ค่าสมูตต์เด็กซ์โทรส 10 และ 15 ที่ความเข้มข้นจำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 15 และ 30 โดยน้ำหนัก ทำการบีบผสานนาน 1 นาที นำเข้าเครื่องไฮโนจีโนเซอร์ ยี่ห้อ DIDACTA รุ่น TA 18/D ที่ความดัน 1,200 psi จำนวน 3 รอบ เพื่อลดขนาดเม็ด ใบมัน ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชันต่อไป

3.2.1.3 การตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน

1) ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ใบมัน

นำตัวอย่างอิมัลชันมาทำการเจือจางด้วยสารละลายน้ำมันน้ำนม (κ-carrageenan solution) ที่ความเป็นกรด-ด่าง 7 ให้ได้อิมัลชันที่มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก และทำการวัดด้วยเครื่อง Zetasizer ยี่ห้อ Malvern รุ่น ZS ซึ่งเครื่องจะทำการวัดโดยอาศัยการกระจายแสงของลำแสงเลเซอร์ที่ส่องไปตกกระทบสารตัวอย่าง จากนั้นเครื่องจะทำการคำนวณความเข้มแสงที่

กระจายแสงกลับออกมາ เพื่อแปลงค่าให้อู๊ดในรูปของขนาดอนุภาคและการกระจายขั้วของอนุภาคได้ (Dybowska et al., 2008)

2) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

นำตัวอย่างอิมัลชันมาทำการเจือจางด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ค่าง 7 ให้ได้อิมัลชันที่มีความเข้มข้นประมาณ ร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก และทำการวัดด้วยเครื่อง Zetasizer ยี่ห้อ Malvern รุ่น ZS เครื่องวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่อทำให้อู๊ดภายในรูปของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Surh et al., 2006)

3) โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไขมันต่อความคงค้างของอิมัลชัน

นำตัวอย่างอิมัลชันหยดบนสไลด์ ปิดทับด้วยกระบอกปิดสไลด์ (slide cover) นำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ (microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น ECLIPSE E400 ที่กำลังขยาย 100 เท่า (Surh et al., 2006)

4) ค่าดัชนีการแยกชั้นครีม (creaming index)

นำตัวอย่างอิมัลชันบรรจุในหลอดทดลอง ขนาด 15x125 มิลลิลิตร หลอดละ 10 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เวลา 1 คืน ตรวจสอบการแยกชั้นของอิมัลชัน โดยทำการวัดความสูงของชั้นครีมที่เกิดขึ้นกับความสูงของตัวอย่างอิมัลชันทั้งหมด นำค่าที่ได้คำนวณคังสมการ (Surh et al., 2006)

$$\text{ร้อยละดัชนีการแยกชั้นครีม (\% Creaming Index)} = \left(\frac{H_s}{H_E} \right) \times 100$$

โดย H_s คือ ความสูงของการแยกชั้นของอิมัลชัน

H_E คือ ความสูงของระบบอิมัลชันเริ่มต้น

5) ค่าความหนืด (viscosity)

นำตัวอย่างอิมัลชันใส่ลงในบิกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร มาวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-II+ ที่อุณหภูมิห้อง (เข็น เบอร์ 1 และความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที)

จากการทดลองข้อ 3.2.1 เลือกชนิดและปริมาณอลโตเด็กซ์ครินที่เติมในอิมัลชัน ทุติยภูมิที่มีคุณลักษณะและความคงคัวที่ดีที่สุดมาใช้ในการเตรียมอิมัลชันข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 ต่อไป

3.2.2 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงาน

เลือกชนิดและปริมาณของนอล โトイเด็กซ์ตรินที่เติมในอิมัลชันทุติบภูมิที่มีคุณลักษณะและความคงตัวที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.2.1 มาใช้ในการเตรียมอิมัลชัน โดยเบริยนเทียบระหว่างอิมัลชันปฐมนิเทศ (1°) และอิมัลชันทุติบภูมิ (2°) ที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน (MD) โดยศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม 4 ปัจจัย คือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0-500 มิลลิโนลาร์ น้ำตาลซูโครส (sucrose) ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ค้าง (pH) 3-8 และอุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส โดยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.2.1 เกลือโซเดียมคลอไรด์

เตรียมอิมัลชันปฐมนิเทศและอิมัลชันทุติบภูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตรินผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 6 ระดับ คือ 0, 50, 100, 200, 300 และ 500 มิลลิโนลาร์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการตรวจสอบตามวิธีในข้อ 3.2.1.3

3.2.2.2 น้ำตาลซูโครส

เตรียมอิมัลชันปฐมนิเทศและอิมัลชันทุติบภูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตรินผสมกับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการตรวจสอบตามวิธีในข้อ 3.2.1.3

3.2.2.3 ความเป็นกรด-ค้าง

เตรียมอิมัลชันปฐมนิเทศและอิมัลชันทุติบภูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน ทำการปรับปริมาณความเป็นกรด-ค้าง 6 ระดับ คือ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ด้วย 1N HCl และ 0.1M NaOH และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการตรวจสอบตามวิธีในข้อ 3.2.1.3

3.2.2.4 อุณหภูมิ

เตรียมอิมัลชันปฐมนิเทศและอิมัลชันทุติบภูมิที่เติมนอล โトイเด็กซ์ตริน ทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 7 ระดับ คือ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีด้วยการแช่ในน้ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ก่อนทำการตรวจสอบตามวิธีในข้อ 3.2.1.3

3.2.3 ศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลท

3.2.3.1 การเตรียมน้ำมันงานในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลท

การเตรียมอิมัลชันปฐมนิเทศ อิมัลชันทุติบภูมิ และอิมัลชันทุติบภูมิที่เลือกชนิดและปริมาณความเข้มข้นของนอล โトイเด็กซ์ตริน แสดงรายละเอียดดังการทดลองข้อ 3.2.1 นำอิมัลชันทุติบภูมิที่เตรียมได้มาทำแห้งแบบพ่นฟอยด์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยด์ห้อ Niro รุ่น A/S

ประเทศไทยมาร์ก ที่อัตราการป้อน 17-18 มิลลิลิตรต่อน้ำที่ อุณหภูมิขาเข้า 200 ± 2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกอยู่ระหว่าง 80-100 องศาเซลเซียส คำนวณผลผลิตที่ได้และการสูญเสียของน้ำมันจากการหลังจากการทำแห้ง และโครงสร้างของน้ำมันงาพง (รายละเอียดแสดงในข้อ 3.2.3.3) บรรจุน้ำมันงาพงในซองตามนิยมและเก็บรักษาที่ 3 สภาพ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแข็งเย็น และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง เป็นเวลา 30 วัน เพื่อรอการตรวจสอบคุณลักษณะอื่นต่อไป

3.2.3.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคบปั๊กเลท

นำน้ำมันงาพงที่เตรียมได้มาบรรจุในซองตามนิยม ปริมาณของละ 50 กรัม เก็บรักษาที่ 3 สภาพ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วัน ทำการตรวจสอบการละลายของน้ำมันงาพง การคืนกลับเป็นอิมัลชัน และค่ากรด-堿 ในการรับประทานต่อไป

3.2.3.3 การตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคบปั๊กเลท

1) ผลผลิตที่ได้และการสูญเสียของน้ำมันงาภายหลังจากการทำแห้ง

นำน้ำมันงาพงที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.3.1 ไปรีชั่งน้ำหนักและทำการรีชั่งอิมัลชันทุกคืนที่เดินทางโดยเด็กซ์ตรินก่อนการทำแห้งแบบพ่นฟอย เพื่อนำมาคำนวณหาผลผลิตที่ได้และการสูญเสียของน้ำมันงาภายหลังจากการทำแห้ง ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำแห้ง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทำแห้ง}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำแห้ง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละสูญเสีย} = 100 - \text{ร้อยละผลผลิต}$$

2) โครงสร้างภายนอกของน้ำมันงาพง

นำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งติดตามแนวตั้งบน รสนิยม และนำมาเคลือบตัวของประมาณ 2 นาที นำตัวอย่างเข้าเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง粒光 (Scanning Electron Microscopy: SEM) โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าเร่ง 10 กิโลโวัลต์ และใช้กำลังกำลังขยายในการศึกษาลักษณะของน้ำมันงาพงเท่ากับ $2,000x$ และ $3,500x$

3) ค่าการละลายของน้ำมันงาพง (Solubility index: SI)

การตรวจสอบค่าการละลายของน้ำมันงาพง ด้วยเปล่งวิธีการตรวจสอบจาก Mandala and Bayas (2004) โดยนำตัวอย่างน้ำมันงาพง 5 กรัม ใส่ในหลอดเชิงตระหง่าน และเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ค่า 7 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วทำ

การปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ยี่ห้อ Hettich รุ่น MIKRO 200/200R/220R ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที โดยแยกสารละลายส่วนใส่ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักของสารละลายส่วนใส่แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Binder รุ่น FED240-M ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Shittu and Lawal, 2007) หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้อบแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูความชื้นและนำตัวอย่างไปรังน้ำหนัก เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการละลายของน้ำมันงา ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการละลาย (\%SI)} = \frac{W_s}{W_0} \times 100$$

โดย W_s คือ สารละลายส่วนใส่ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง (supernatant) (กรัม)
 W_0 คือ มวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)

4) การคืนกลับเป็นอิมัลชัน

การตรวจสอบการคืนกลับเป็นอิมัลชัน คัดแบ่งวิธีการตรวจสอบจาก Klinkesorn et al. (2006) โดยนำตัวอย่างน้ำมันงา 0.66 กรัม ผสมกับสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ค้าง 7 ปริมาตร 1.34 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อกำวลคงตัวของอิมัลชัน ตามวิธีในข้อ 3.2.1.3

5) ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid: TBA)

นำตัวอย่างน้ำมันงา 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1-2 นาที ถ่ายตัวอย่างลงในขวดกลั่น ใช้น้ำกลั่น ปริมาตร 47.5 มิลลิลิตร ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างแล้วทลงขวดกลั่น เติมไฮโดรคลอริก (4N HCl) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (pH ควรเป็น 1.5) และเติมสูกแก้ว และสารป้องกันการเกิดฟอง (antifoam) กลั่นให้ได้ของเหลว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ภายในเวลา 10 นาที คุณภาพที่กลั่นได้มาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีจุกปิด เติมสาร TBA reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เบ่าและให้ความร้อนด้วยน้ำเดือด เป็นเวลา 35 นาที ทำ blank โดยวิธีการเดียวกัน โดยใช้น้ำกลั่น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อน เป็นเวลา 35 นาที จากนั้นนำตัวอย่างและ blank ทิ้งให้เย็นและวัดค่าการคุดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยการทดสอบกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA test) มีกลไกจากการที่ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิมัตัว จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกทำให้เกิดสี ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นกับมาโนอลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งจะทำให้เกิดสีซันพูแดงเมื่อผ่านการให้ความร้อน

ในสภาพกรด โดยแสดงค่า TBA ในหน่วยมิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อ เนื้อ 1 กิโลกรัม (Egan et al., 1981) คำนวณหาค่า TBA ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA)} (\text{mg malonaldehyde/kg sample}) = 7.8 \times A$$

โดยที่ A = ค่าการคูคูกลีนแสงของตัวอย่างที่หักค่า blank แล้ว

3.3 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานิคและปริมาณของนอล トイเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอินลัชันน้ำมันงา ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตกลอต (Completely Randomized Design: CRD) ซึ่งประกอบด้วยสิ่งทดลอง 8 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ชุด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลจากข้อ 3.2.1 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Statistic Packing for the Social Science for Window 11.0 (SPSS) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่ม โดยใช้ t-test แบบ independent ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอินลัชันน้ำมันงา ทำการวางแผนการทดลองของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลชูโครส ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ แบบสุ่มตกลอต (Completely Randomized Design: CRD) ซึ่งเกลือโซเดียม-คลอไรด์ ประกอบด้วย 12 สิ่งทดลอง น้ำตาลชูโครส 8 สิ่งทดลอง ค่าความเป็นกรด-ด่าง 12 สิ่งทดลอง และอุณหภูมิ 14 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ชุด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยโปรแกรม Statistic Packing for the Social Science for Window 11.0 (SPSS) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

การศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบพ่องอนแคบชูเลท ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตกลอต (Completely Randomized Design: CRD) ซึ่งประกอบด้วยสิ่งทดลอง 3 สิ่งทดลอง จำนวน 3 ชุด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2.3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยโปรแกรม Statistic Packing for the Social Science for Window 11.0 (SPSS) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

3.4 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือน สิงหาคม 2554

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

โรงงานต้นแบบแปรรูปอุดสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ และคณะเภสัชศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 4

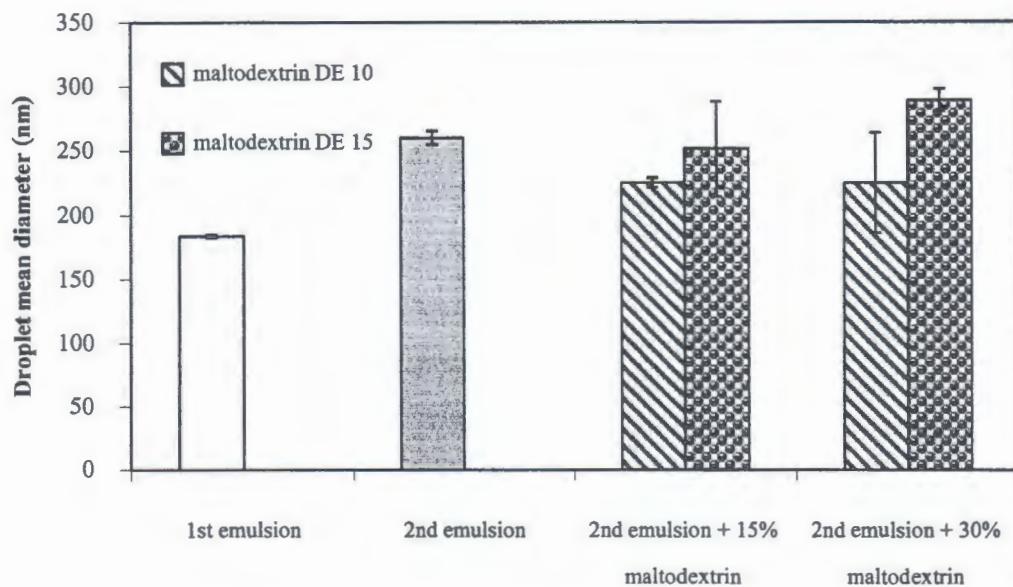
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันเจ้า

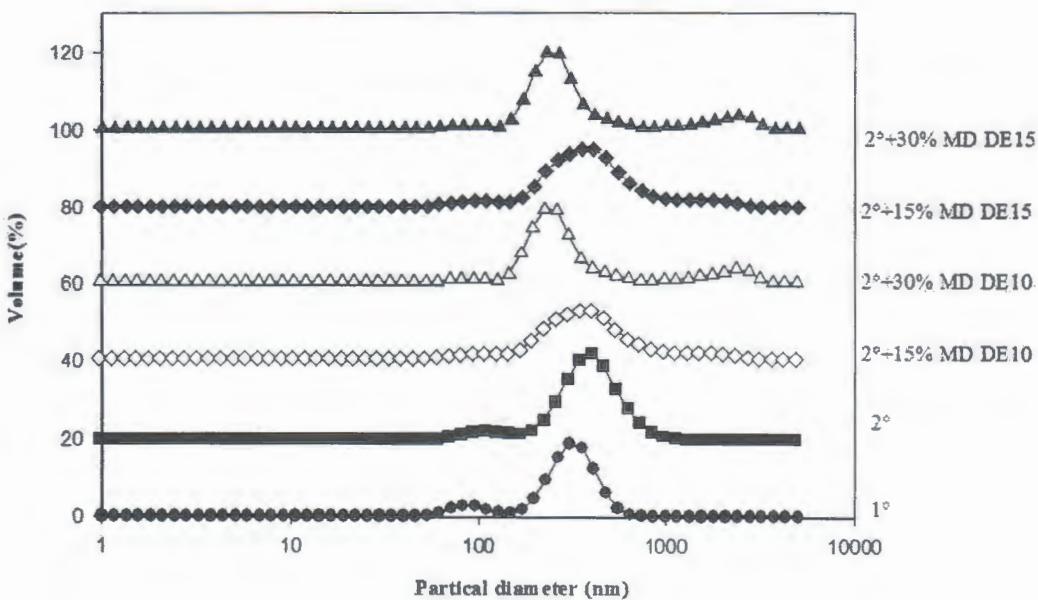
จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตринต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันเจ้า ทดสอบความคงตัวของอิมัลชันปฐมภูมิ อิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตринจำนวน 2 ชนิด คือ ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (DE) 10 และ 15 ที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก โดยตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมัน ค่าความต่างศักยไฟฟ้า โครงสร้างทางชุลภาพของเม็ดไขมันและค่าค้นนีกการแยกชั้นคริม แสดงดังภาพที่ 4.1-4.5

ผลการทดลองพบว่าขนาดของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันปฐมภูมิเล็กกว่า อิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин โดยขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันปฐมภูมิ มีค่า 184.02 ± 1.26 นาโนเมตร ส่วนขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин มีค่า 259.79 ± 5.36 นาโนเมตร และ 224.67 ถึง 289.14 นาโนเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1) ส่วนการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันปฐมภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมัน ไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดอนุภาคเม็ด ไขมันเฉลี่ยระหว่าง 45 ถึง 3,219 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.2) โดยอิมัลชันปฐมภูมิ จะมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมันแบบสองกลุ่ม (bimodal) และมีขนาดอนุภาคเม็ด ไขมัน เฉลี่ยระหว่าง 45 ถึง 860 นาโนเมตร ส่วนอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตрин มีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมันแบบหลายกลุ่ม (multimodal) และมีขนาดอนุภาคเม็ด ไขมันเฉลี่ยระหว่าง 39 ถึง 3,219 นาโนเมตร เนื่องจากอิมัลชันปฐมภูมิ โปรตีนเวย์เข้มข้นจะดูดซับที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ด ไขมัน ทำให้แรงตึงผิว (surface tension) ของอนุภาคเม็ด ไขมันลดลง (นิติยา รัตนานปนท์, 2551) จึงสามารถช่วยป้องกันการรวมตัวกัน (coalescence) ของอนุภาคเม็ด ไขมัน เนื่องจากมีแรงผลักกันระหว่างอนุภาคเม็ด ไขมัน เช่น แรงผลักแบบสเตรอริก (steric repulsion) และแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) (McClements, 2005) ทำให้ขนาดของอนุภาคเม็ด ไขมันมีขนาดเล็ก ส่วนอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมนอลโตเด็กซ์ตринจะเกิดการเกาะกลุ่มกัน (flocculation) ของอนุภาคเม็ด ไขมัน เนื่องจากประจุของโมเลกุลพอลิแซ็คคาโริด (polysaccharide) จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ดูดซับที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ด ไขมันสองอนุภาคหรือมากกว่านั้น ทำให้ออนุภาคเม็ด ไขมันเกิดการ

จับตัวกันหรือเกิดการเกาะกลุ่มกันขนาดของอนุภาคเม็ดไนมันจึงใหญ่ขึ้น (Dickinson and Pawlowsky, 1998) แต่อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตรินจะมีขนาดของอนุภาคเม็ดไนมันขนาดเล็กกว่าอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน เนื่องจากนอลโตเด็กซ์ตรินมีผลกระแทกต่อการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ชั้นต่อชั้น (multilayer) และผลกระทบอื่น เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนืดภายในระบบ ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของพลศาสตร์การชนกันระหว่างเม็ดไนมัน (droplet-droplet collision kinetics) และของพลศาสตร์การคุกซับ (adsorption kinetics) และนอลโตเด็กซ์ตรินอาจสร้างความเครียดอสโนมติก (osmotic stress) ภายในระบบ เช่นเดียวกัน ทำให้ออนุภาคเม็ดไนมันมีการเคลื่อนที่แบบบรานี (brownian movement) ลดลงและเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคเม็ดไนมันน้อยลง แต่นอนอลโตเด็กซ์ตรินจะไม่สามารถคุกซับที่พื้นที่ผิว (non-absorbed) ของอนุภาคเม็ดไนมันและไม่สามารถเกิดอันตรารริยาไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) ที่ผิวของอนุภาคเม็ดไนมันได้ (Klinkesorn et al., 2004) ส่วนอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก พบร่วมกับอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 และ 15 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีขนาดของอนุภาคเม็ดไนมันเล็กกว่าอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 และ 15 ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากอนุภาคเม็ดไนมันในระบบอิมัลชันที่มีการเกาะกลุ่มกันและรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไนมัน (Kabalnov, 1998) หรือความเข้มข้นของนอลโตเด็กซ์ตรินที่สูง ทำให้ออนุภาคเม็ดไนมันมีการเคลื่อนที่ໄกส์เคิบกันจึงเกิดแรงอสโนมติก (osmotic force) ระหว่างเม็ดไนมันขึ้น (Ye et al., 2004) แต่อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก จะมีขนาดของอนุภาคเม็ดไนมันเล็กกว่าอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 จะมีความเข้มข้นวิกฤติที่เกิดการเกาะกลุ่มกัน (critical flocculation concentration: CFC) ต่ำกว่านอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นเดียวกันอนุภาคเม็ดไนมันในระบบอิมัลชันที่มีการเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 จะเกิดแรงอสโนมติกระหว่างเม็ดไนมันขึ้นมากกว่าระบบอิมัลชันที่มีการเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 (Klinkesorn et al., 2004)



ภาพที่ 4.1 ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูรุนภูมิ อิมัลชันทุกชนิดที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตرين DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก



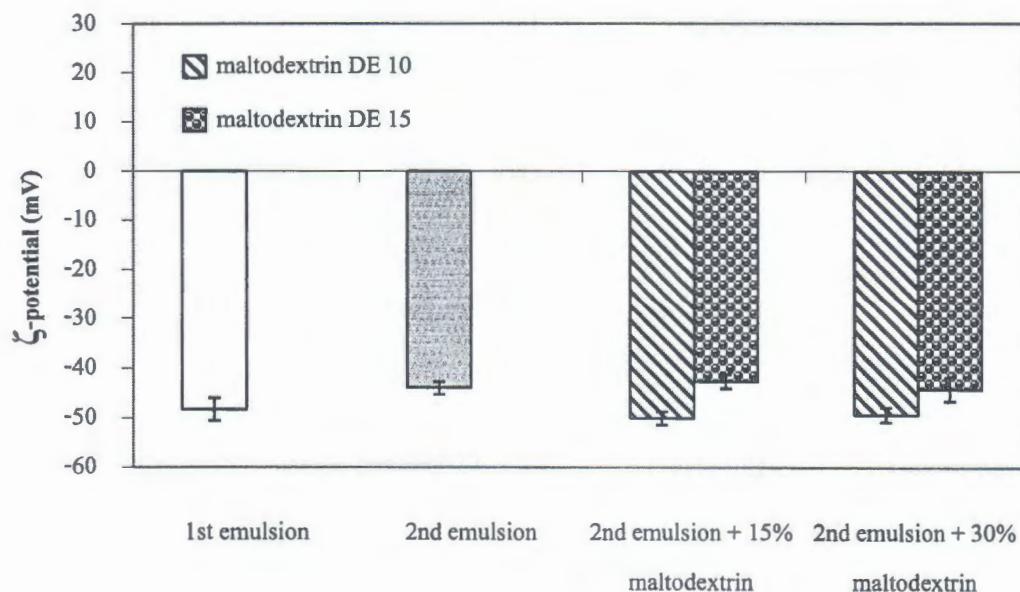
ภาพที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไบมัน (particle distribution) ของอิมัลชันปูรุนภูมิ อิมัลชันทุกชนิดที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตرين DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของระบบอิมัลชันปูนภูมิและอิมัลชันทุติภูมิที่ไม่เติมนอลโตเดิคซ์ตริน มีค่า -48.31 ± 0.75 มิลลิโวลต์ และ -43.96 ± 0.82 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) โดยทั่วไปค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคเม็ดไบมันจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ค่างของระบบอิมัลชัน ถ้าความเป็นกรด-ค่างของระบบอิมัลชันมีค่าสูงกว่าจุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโปรตองระหว่างหมู่คาร์บอเนต (-COOH⁻) กับหมู่อะมิโน (-NH₃⁺) ในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้มีประจุลบเพิ่มขึ้นและประจุบวกลดลง (นิตยา รัตนานปนท, 2551) โดยที่จุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนเวีย มีค่าประมาณ 4.0 ถึง 5.2 (Damodaran, 1996; Hunt and Dalgleish, 1994; Swaisgood, 1996) ซึ่งได้มีงานวิจัยของ Surh et al. (2006) ศึกษาความสามารถของโปรตีนเวีย เข้มข้นธรรมชาติกับโปรตีนเวีย เข้มข้นดัดแปลงในการรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชัน พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 7 โปรตีนเวีย เข้มข้นธรรมชาติกับโปรตีนเวีย เข้มข้นดัดแปลง มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า -39 มิลลิโวลต์ และ -33 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ อาจจะเกิดเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ค่างของส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำได้ (aqueous phase) และค่าสัมประสิทธิ์ของการแตกตัวของกรด (pK_a) (Kulmyrzaev and Schubert, 2004; McClements, 2004a)

ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันทุติภูมิที่ไม่มีการเติมนอลโตเดิคซ์ตรินมีประจุลบลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอิมัลชันปูนภูมิ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการเติมแคนปป้า-คาร์ราจีแนนลงในระบบอิมัลชันปูนภูมิ ทำให้หมู่ชัลเฟต (SO_4^{2-}) ในโมเลกุลของแคนปป้า-คาร์ราจีแนนทำปฏิกิริยา กับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน ถึงแม้ว่าทั้งแคนปป้า-คาร์ราจีแนนและโปรตีนเวีย เข้มข้นจะมีประจุลบที่ความเป็นกรด-ค่าง 7 โดยประจุลบของแคนปป้า-คาร์ราจีแนนอาจจะดูดซับที่พื้นที่ผิวของประจุบวกของโปรตีนเวีย เข้มข้น ทำให้ประจุลบที่อนุภาคเม็ดไบมันลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้มีรายงานเกี่ยวกับการเกิดไฟฟ้าสถิต (electrostatic) ระหว่างโปรตีนและพอลิแด็กคาร์บอเดกซ์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างชัลเฟตเดกซ์แทรน (dextran) กับบอวินเซรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin: BSA) และโมเลกุลของเคซีนेट (caseinate) กับไอโซต้า-คาร์ราจีแนน เป็นต้น (Dickinson and McClements, 1995; Dickinson and Pawlowsky, 1997; Keogh et al., 1996)

ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันทุติภูมิที่มีการเติมนอลโตเดิคซ์ตริน ทั้ง 2 ชนิด กือ DE10 และ 15 ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ กือ ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเดิคซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่า -50.01 ± 1.31 มิลลิโวลต์ และ -49.32 ± 1.51 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และอิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเดิคซ์ตริน DE15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่า $-42.59.01 \pm 1.39$ มิลลิโวลต์ และ -44.13 ± 2.46 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการที่โมเลกุลของนอลโต-

เด็กซ์ตรินอาจไม่คุ้นเคยกับประจุที่ผิวของอนุภาคจึงไม่ทำให้เกิดแรงดึงดันระหว่างอนุภาค (electrostatic interaction) ทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอนุภาคเมื่อไขมันในอิมัลชันทุติบกูมิที่ไม่เติมและไม่มีการเติมนอลโตเด็กซ์ตรินไม่แตกต่างกัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิมัลชันทุติบกูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 และ 30 โคลน้ำหนัก และอิมัลชันทุติบกูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 ร้อยละ 15 และ 30 โคลน้ำหนัก พบว่ามีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่อิมัลชันทุติบกูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามากกว่าอิมัลชันทุติบกูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 เนื่องจากอาจจะเกิดการรวมตัวกันของกลุ่มทาง (tail groups) ที่ไม่มีข้อของสารลดแรงตึงผิวเข้าไปในเกลียว (helical coil) ของสายอลโตเด็กซ์ตริน โดยสารลดแรงตึงผิวที่เป็นประจุลบจะสามารถจับกับนอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าสมมูลเด็กซ์ไทรอลลดลง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดกับนอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรอลมากกว่า 10 (Wangsakan et al., 2003) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าไม่เกิดขวงนอลโตเด็กซ์ตรินจะขับกับประจุลบที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเมื่อไขมัน จึงทำให้อนุภาคเมื่อไขมันมีประจุลบลดลง



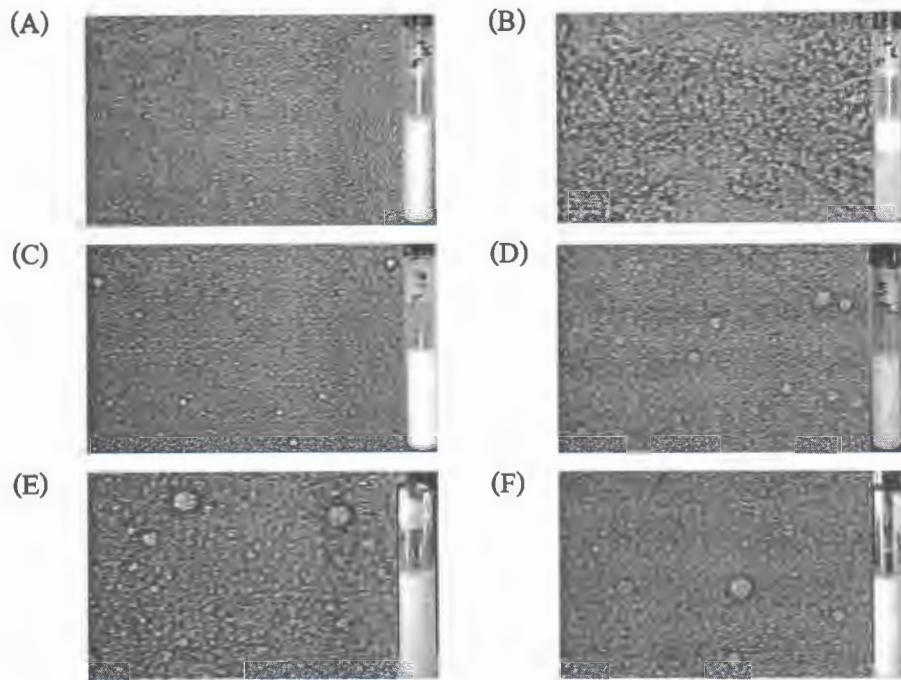
ภาพที่ 4.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมัลชันปูนกูมิ อิมัลชันทุติบกูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โคลน้ำหนัก

โครงสร้างทางชลภายนอกของอนุภาคเม็ดไขมันของอิมัลชันปูนกูมิ อิมัลชันทุติบกูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตริน แสดงดังภาพที่ 4.4 พนับว่าโครงสร้างทางชลภายนอกของอนุภาค

เม็ด ไไขมันในระบบอินัลชันปฐมนภูมิ มีการกระจายตัวของอนุภาคขนาดเล็กที่เรียกว่า “โอลอยอญ” ในระบบ อินัลชัน ทำให้ระบบอินัลชันปฐมนภูมิมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้นของอินัลชัน แต่ยังคงมี เม็ด ไไขมันบางส่วนเกิดการเกาะกลุ่มกันและการรวมตัวกัน ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเม็ด ไไขมันบางส่วน มีขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไไขมัน (ภาพที่ 4.2) ที่เห็น ได้ว่าภายในระบบอินัลชันมีการกระจายตัวของอนุภาค ไไขมันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน

ส่วน โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ด ไไขมันในระบบอินัลชันทุคิยภูมิที่ไม่เติม мол โอลเด็กซ์ตริน พบร่วมกับเมื่อเติมแคปปา-คาร์ราจีแนลงในระบบอินัลชันปฐมนภูมิจะเห็นได้ว่าเกิด การเกาะกลุ่มกันและการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไไขมัน ส่งผลให้ระบบอินัลชันสูญเสียความคงตัว และเกิดการแยกชั้นคริมของอินัลชัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเซ็กทาริคที่พื้นที่ผิวของ เม็ด ไไขมัน ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างเม็ด ไไขมัน (Ji et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ขนาดอนุภาคของเม็ด ไไขมัน (ภาพที่ 4.1) และการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไไขมัน (ภาพที่ 4.2)

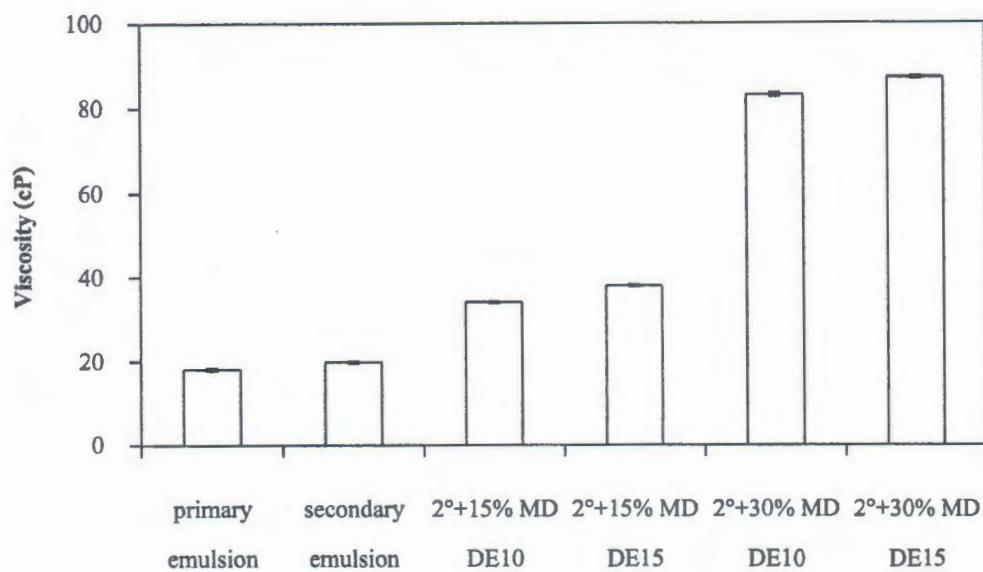
ส่วน โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ด ไไขมันในระบบอินัลชันทุคิยภูมิที่เติม mol โอลเด็กซ์ตริน (ภาพที่ 4.4C-4.4F) พบร่วมกับระบบอินัลชันมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้นของอินัลชัน แต่ยังมีเม็ด ไไขมันบางส่วนที่เกิดการเกาะกลุ่มกันและรวมตัวกัน ทำให้ออนุภาคเม็ด ไไขมันภายในระบบ อินัลชันที่เติม mol โอลเด็กซ์ตริน มีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไไขมันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ปะปนกัน ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากการเติม mol โอลเด็กซ์ตรินจะไปช่วยเพิ่มความหนืดให้ระบบอินัลชัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคเม็ด ไไขมันช้าลงและการเคลื่อนที่แบบบรรวน์คล่อง มีผลทำให้ ระบบอนุภาคของเม็ด ไไขมันไกล์ชิกกัน และอาจมีผลทำให้โมเลกุลของ mol โอลเด็กซ์ตรินเกิดความ เครียกออกโน้มติกภายในระบบด้วย ซึ่งได้อธิบายมา ก่อนหน้านี้ (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.4 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอิมัลชันปูรูนภูมิ อิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก

- (A) อิมัลชันปูรูนภูมิ (B) อิมัลชันทุติยภูมิ
- (C) อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
- (D) อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- (E) อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และ
- (F) อิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE15 ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

ค่าความหนืดของอิมัลชันปูรูนภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิทึ้งที่ไม่เติมและเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตรินมีความหนืดสูงกว่าอิมัลชันปูรูนภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่ไม่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่เติมลงในระบบอิมัลชัน มีส่วนช่วยเพิ่มความหนืดในส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำได้ ทำให้ความหนืดในส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำได้ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคเม็ดไบมันช้าลง อาจเกิดหั้งการไม่เกาะกลุ่มกัน ($c < \text{critical flocculation concentration: CFC}$) และเกาะกลุ่มกัน ($c > \text{CFC}$) (McClements, 2000)



ภาพที่ 4.5 ค่าความหนืดของอิมัลชันปูนภูมิ อิมัลชันทุติภูมิ และอิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลトイเด็กซ์คริน DE10 และ 15 ร้อยละ 15 และ 30 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษานิดและปริมาณของนอลトイเด็กซ์ครินต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา พนว่าอิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้คุณลักษณะและความคงตัวของอิมัลชันที่ดี ดังนี้นึ่งเลือกมาใช้ในการเตรียมอิมัลชันในการทดลองต่อไป

4.2 ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา

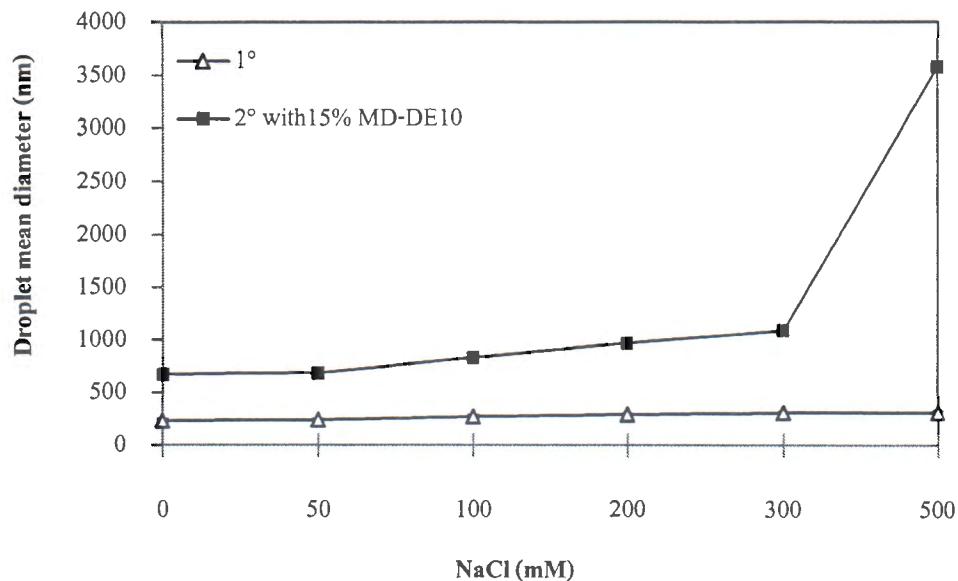
การศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา เพื่อทำการจำลอง สภาวะแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมี สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาล ซูโครัส ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ

4.2.1 ผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา

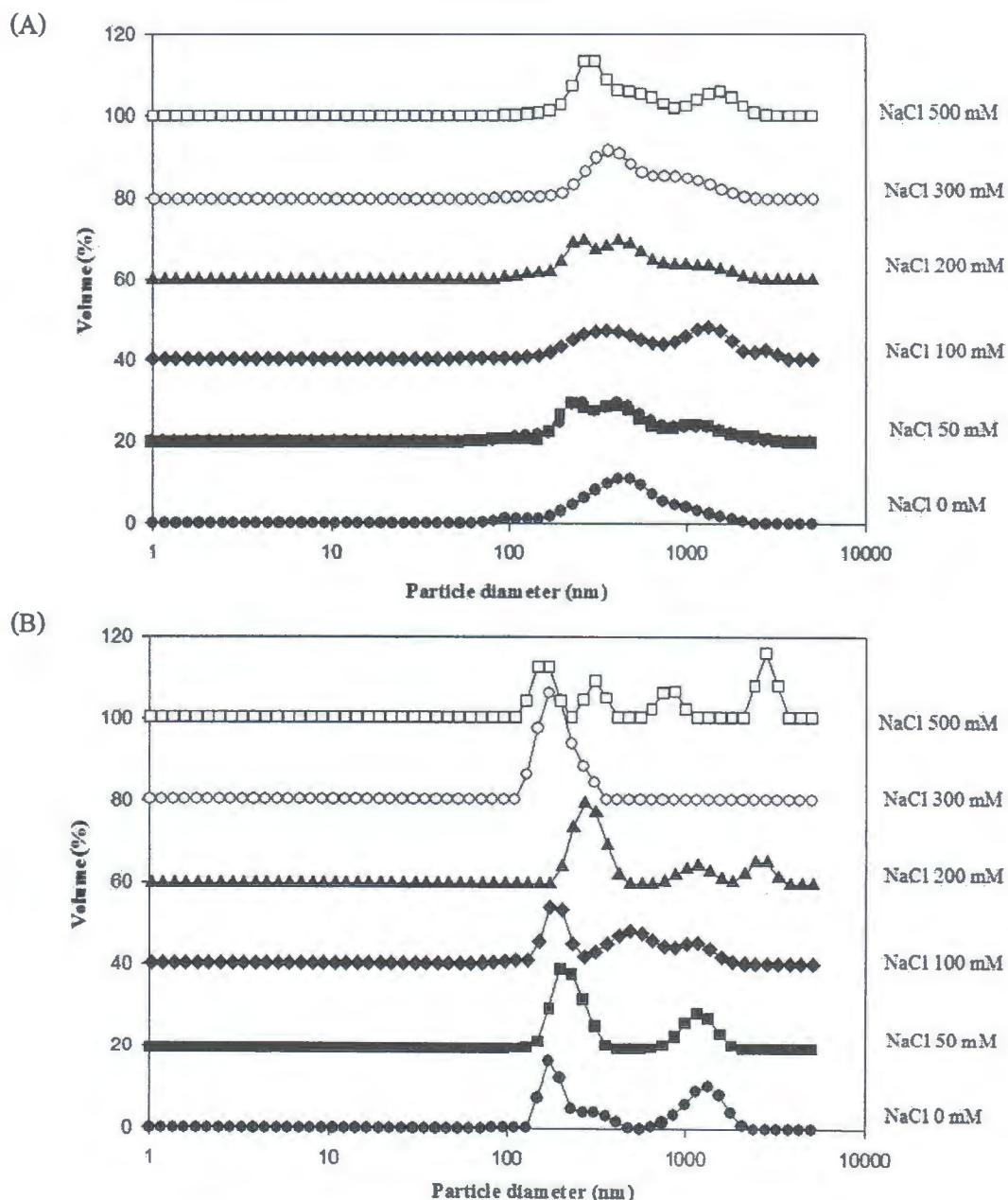
จากการศึกษาผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงาที่เตรียมอิมัลชันแบบชั้นต่อชั้น ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6 ระดับ คือ 0.50 100 200 300 และ 500 มิลลิโนลาร์ ตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไบมัน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดไบมันและค่าดัชนีการแยกชั้นครึ่ง แสดงดังภาพที่ 4.6-4.10

ผลการทดลองพบว่าอิมลัชันปูรุณภูมิที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีความคงตัวของระบบอิมลัชัน ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมันแบบกลุ่มเดียว (monomodal) (ภาพที่ 4.6 และ 4.7) เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 ถึง 500 มิลลิโนลาร์ พบร่วมกับอิมลัชันปูรุณภูมิยังมีความคงตัวของระบบอิมลัชัน ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันมีขนาดใหญ่ขึ้นเพียงเล็กน้อย มีค่าประมาณ 232 ถึง 311 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวแบบหลายกลุ่ม (multimodal) ส่วนอิมลัชันทุกคุณสมบัติเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์จะมีความคงตัวของระบบอิมลัชัน ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันมีขนาดเฉลี่ย 673 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวแบบสองกลุ่ม (bimodal) เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 ถึง 300 มิลลิโนลาร์ ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันมีการเปลี่ยนแปลงไม่นานนัก แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงกว่า 300 มิลลิโนลาร์ ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันจะมีการเกาะกลุ่มของอนุภาคเม็ด ไบมัน ทำให้ขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันมีขนาดใหญ่ (1090-3578 นาโนเมตร) และมีการกระจายตัวแบบหลายกลุ่ม (multimodal)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิมลัชันปูรุณภูมิจะมีความคงตัวที่ทุกรอบด้วยความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และอิมลัชันทุกคุณสมบัติเติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีความคงตัวที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 300 มิลลิโนลาร์ โดยทั่วไปแล้วที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (≤ 50 มิลลิโนลาร์) อนุภาคเม็ด ไบมันจะมีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเม็ด ไบมันเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไบมัน อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูง (> 50 มิลลิโนลาร์) จะเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมันลดลง ทำให้เกิดแรงดึงดูด (attractive forces) ระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมัน เช่น แรงแวนเดอร์วัลส์ (van der Waals) และแรงไฮdrophobic (hydrophobic) ส่งผลให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไบมันในระบบอิมลัชัน (Gu et al., 2005b; McClenents, 2004a; Onsaard et al., 2005) ซึ่งการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ยังมีผลต่อแรงดึงดูดระหว่างพอลิแซ็คคาไรด์และโปรตีนที่เคลือบที่พื้นที่ผิวของเม็ด ไบมัน ทำให้ไม่เกิดข้อต่อของพอลิแซ็คคาไรด์บางส่วนหรือทั้งหมด ไม่สามารถดูดซับที่พื้นที่ผิวของเม็ด ไบมัน ได้ (Harnsilawat et al., 2006) นอกจากนี้การเติมสารราจีแนยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงแวนเดอร์วัลส์ ระหว่างเม็ด ไบมันด้วย (McClements, 2004a) ดังนั้นระบบอิมลัชันปูรุณภูมิจึงมีขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดเล็กและมีความคงตัวมากกว่า เนื่องจากโปรตีนที่เคลือบที่พื้นที่ผิวของเม็ด ไบมันจะเกิดแรงผลักแบบสเตอโริกระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมันเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไบมัน (Surh et al., 2006)



ภาพที่ 4.6 ขนาดของสีนผ่านศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปฐมภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์



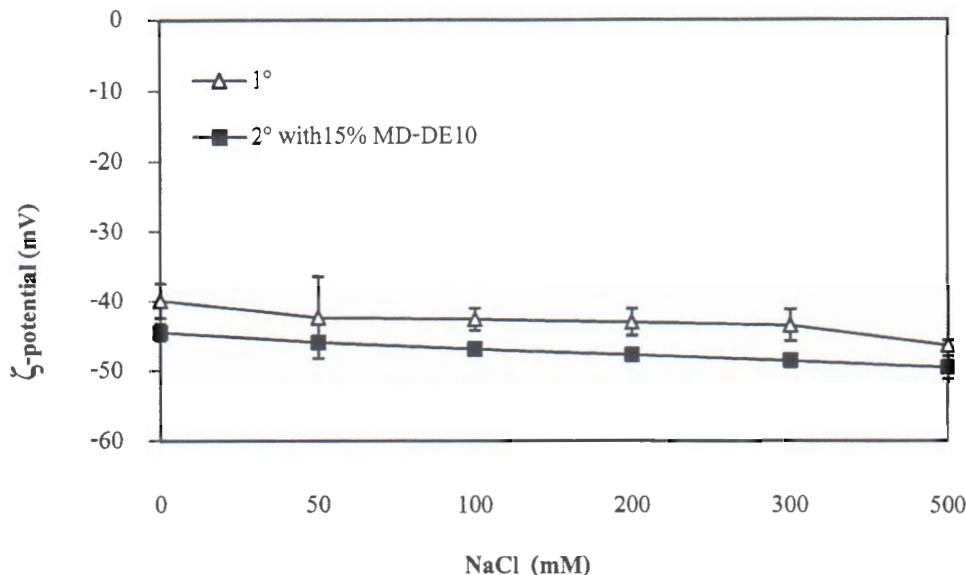
ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมัน (particle distribution) ของอิมัลชันปูนภูมิและ อิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโมลาร์

(A) อิมัลชันปูนภูมิ

(B) อิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

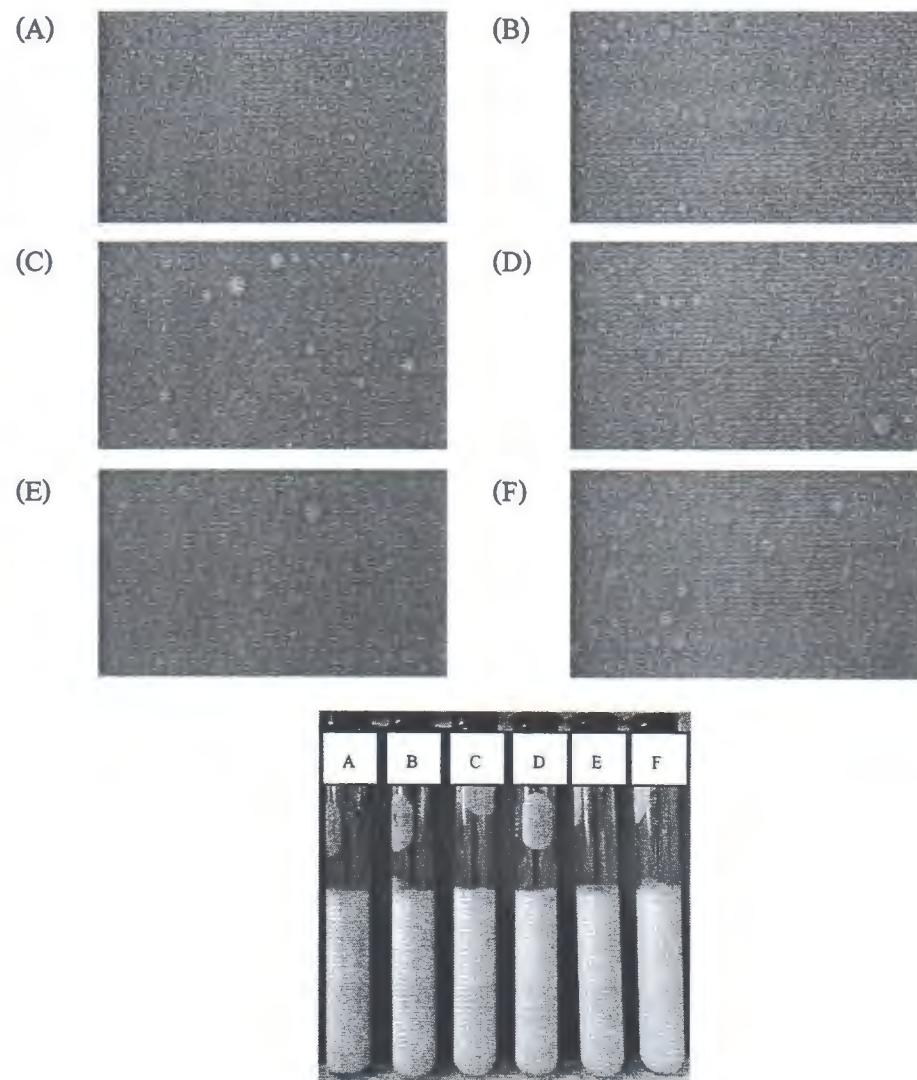
ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบอิมัลชันปฐมภูมิที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0 ถึง 500 มิลลิโมลาร์ มีค่า -39.92 ถึง -46.35 มิลลิโวลต์ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0 ถึง 500 มิลลิโมลาร์ มีค่า -44.47 ถึง -49.53 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.8)

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของห้องอิมัลชันปฐมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบร่วมกับว่าจะมีค่าความเป็นประจุบมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมในระบบอิมัลชันมีผลต่อแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างประจุลบของอนุภาคเม็ดไบมันและประจุลบของโนเลกุลการ์ราจีแนนซ์สามารถช่วยในการคัดซับของสารใบโพลิเมอร์ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ดไบมัน นอกจากนี้การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ยังมีผลต่อแรงดึงดูดระหว่างโนเลกุลการ์ราจีแนนและพื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ดไบมัน ทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงระหว่างเม็ดไบมัน (droplet-droplet interactions) ที่แข็งแรงขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงบางส่วนของโนเลกุลการ์ราจีแนนอาจจะหลุดออกจากการพื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ดไบมัน เนื่องจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrostatic attraction) ระหว่างประจุลบของโนเลกุลการ์ราจีแนนและประจุบวกของโนเลกุลโปรตีนที่ถูกคัดซับมีความแรงน้อยลง (Gu et al., 2005) เมื่อเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันปฐมภูมิกับอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบร่วมกับความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าอิมัลชันปฐมภูมิ เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์นีผลต่ออันตรายไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) ระหว่างพอลิเมอร์ที่ถูกคัดซับสองอนุภาคหรือมากกว่านั้น (repulsive) หรือระหว่างพอลิเมอร์ที่ถูกคัดซับและโปรตีน (attractive) (Harnsilawat et al., 2006)



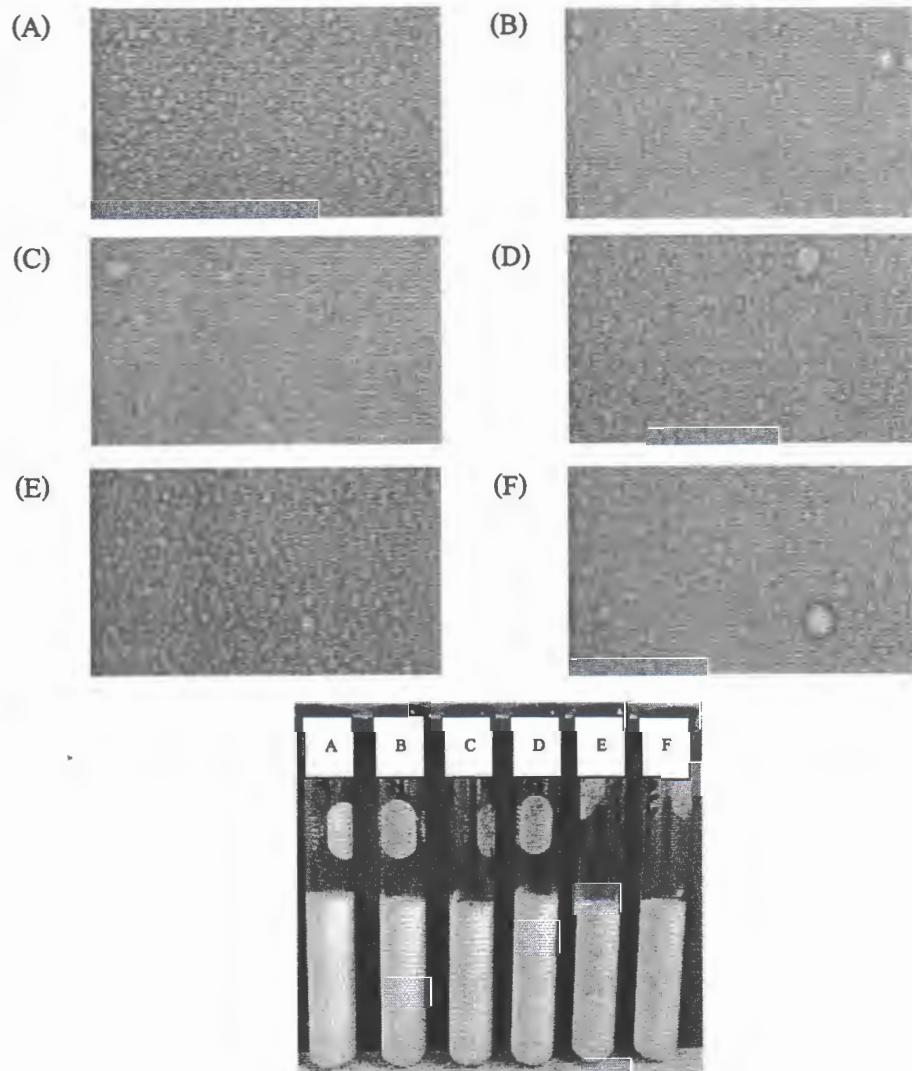
ภาพที่ 4.8 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมัลชันปูนและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโต-เด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยนำหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์

โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคมีค่าไนนันของอิมัลชันปูนภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยนำหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0 ถึง 500 มิลลิโนลาร์ แสดงดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าอิมัลชันปูนภูมิทุกระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีความคงตัว มีการกระจายตัวของอนุภาคมีค่าไนนันขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปะปนกัน ส่วนอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยนำหนัก ทุกระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ พนว่าอิมัลชันมีความคงตัว โครงสร้างทางจุลภาคของอิมัลชันมีการเกาะกลุ่มกันหรือการรวมตัวกันอยู่ภายในระบบอิมัลชันเมื่อระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอาจมีปริมาณความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงถึงความเข้มข้นเกลือวิกฤต (critical salt concentration) (McClements, 2004a) ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเม็ดไนนันและเกิดการรวมตัวของเม็ดไนนัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองขนาดอนุภาคมีค่าไนนัน (ภาพที่ 4.6) และการกระจายตัวของอนุภาคมีค่าไนนัน (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.9 โครงการสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันปูรูนภูมิที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโนลาร์

(A) 0 mM, (B) 50 mM, (C) 100 mM, (D) 200 mM, (E) 300 mM และ (F) 500 mM



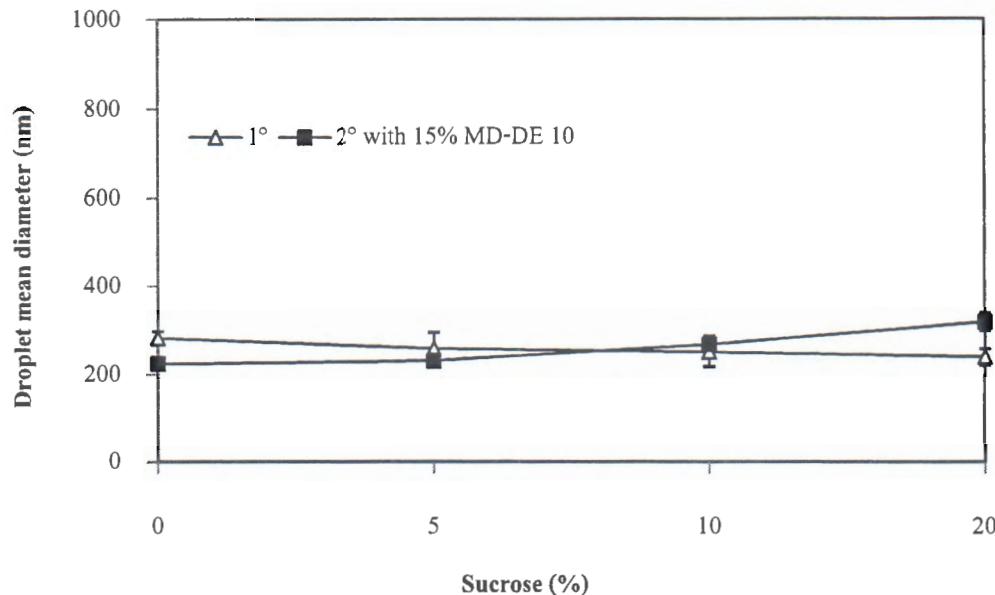
ภาพที่ 4.10 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอินัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0-500 มิลลิโมลาร์

(A) 0 mM, (B) 50 mM, (C) 100 mM, (D) 200 mM, (E) 300 mM และ (F) 500 mM

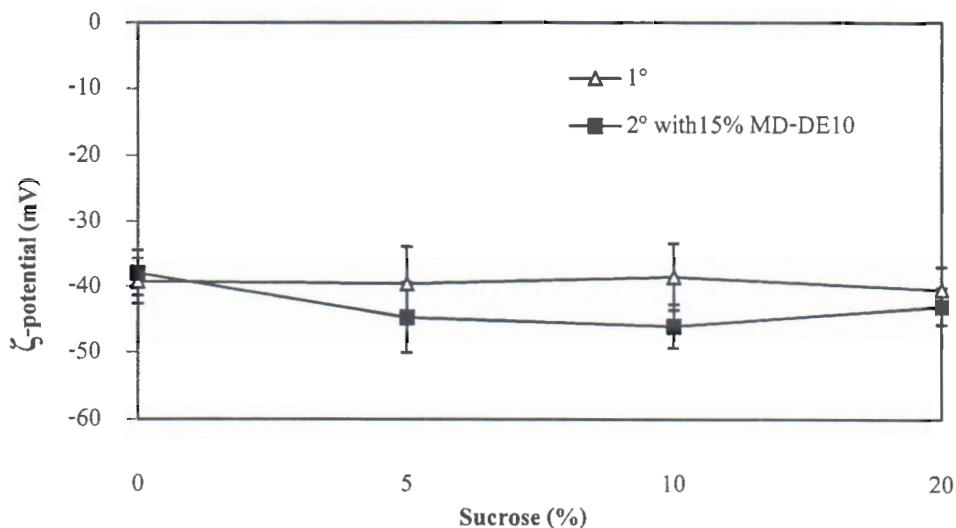
4.2.2 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อความคงตัวของอินัลชันน้ำมันเจ้า

จากการศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อความคงตัวของอินัลชันน้ำมันเจ้าที่เตรียมอินัลชันแบบชั้นต่อชั้น ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ตรวจสอบความคงตัวของอินัลชัน ได้แก่ ขนาดของอนุภาคเม็ดไบมัน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และโครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไบมัน แสดงดังภาพที่ 4.11-4.14

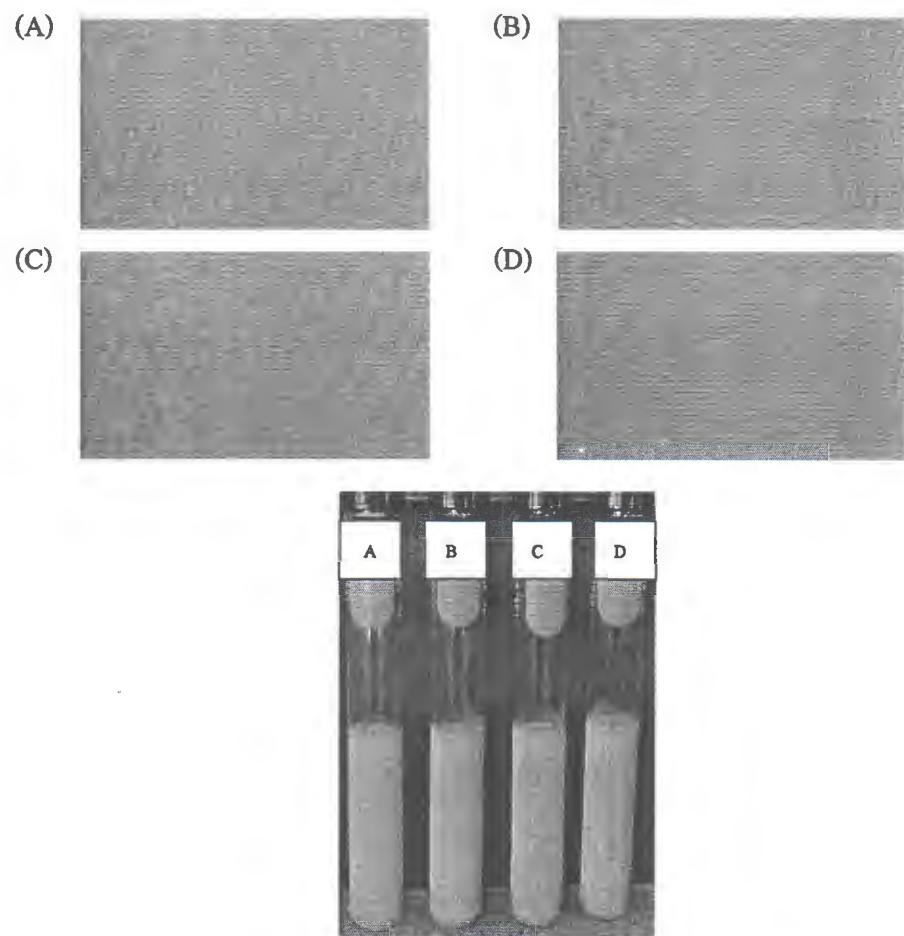
ผลการทดลองพบว่าขนาดของอนุภาคเม็ดไนนัน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และโครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไนนันของอิมัลชันบีรูนภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติม mol โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 5 ถึง 20 โดยน้ำหนัก โดยขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ดไนนันของอิมัลชันปฐมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอล โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่า 239.6 ถึง 282.65 นาโนเมตร และ 224.3 ถึง 318.55 นาโนเมตรตามลำดับ (ภาพที่ 4.11) ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมัลชันปฐมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอล โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่า -39.2 ถึง -40.45 มิลลิโวลต์ และ -37.95 ถึง -46.05 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.12) และโครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไนนันของอิมัลชันปฐมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอล โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีการการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไนนันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน (ภาพที่ 4.13-4.14) เนื่องจากน้ำตาลมีผลต่อความหนืดในตัวกลางที่ทำให้เกิดการกระจาย (continuous phase) ทำให้เกิดอัตราการชนกันระหว่างเม็ดไนนันลดลง (droplet-droplet collisions) และยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำได้ เช่น ความหนาแน่น (density) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ดัชนีหักเห (refractive index) และแรงดันอสโนมิก (osmotic pressure) เป็นต้น นอกจากนี้การเติมน้ำตาลในสภาพที่มีโปรตีน ทำให้เกิดแรงอสโนมิกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติช้าลง (McClements, 2004b) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสระดับความเข้มข้น ร้อยละ 5 ถึง 20 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงาที่เตรียมอิมัลชันแบบชั้นต่อชั้น صدقถือกับการทดลองของ Harnsilawat et al. (2006) ศึกษาแบบจำลองเครื่องคั่มในรูปแบบอิมัลชันของโปรตีนและพอลิแซ็คคาไรด์ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 0 หรือ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือไม่เกิดการแยกชั้นครีมทั้งในระบบอิมัลชันที่เติมและไม่เติมน้ำตาลซูโครส



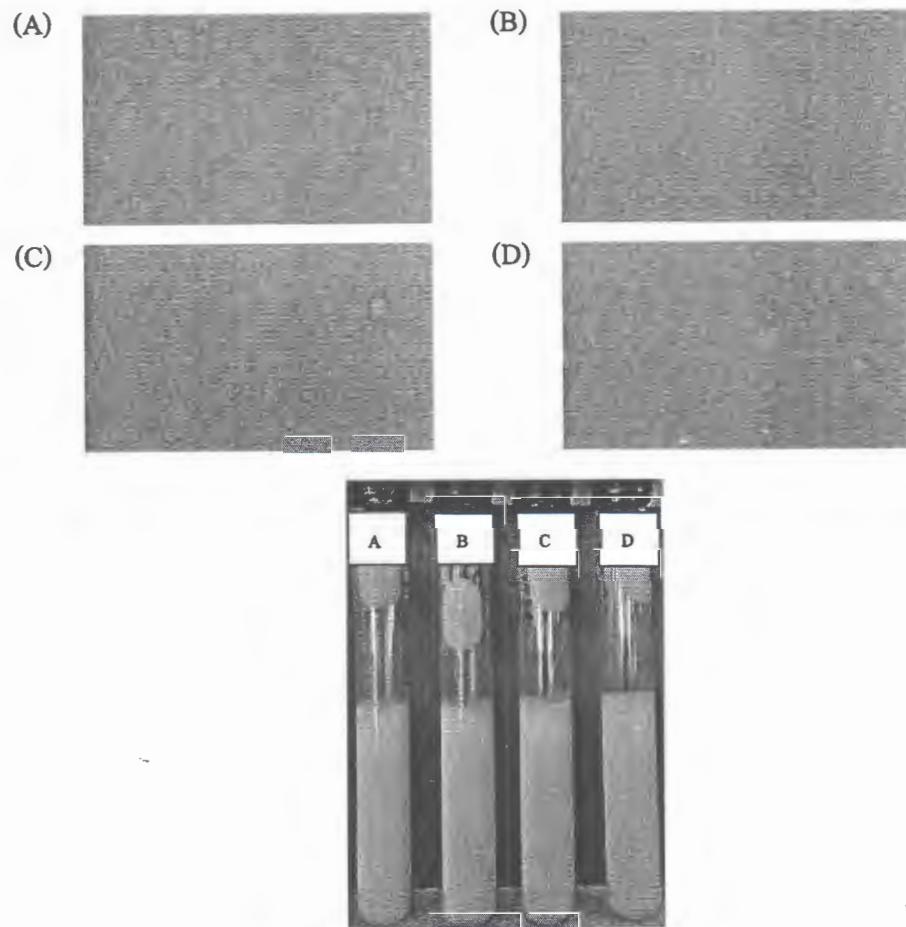
ภาพที่ 4.11 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมลชันปูนภูมิ และอิมลชันทุติยภูมิที่เติมмол โตเค็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูครส ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.12 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมลชันปูนภูมิและอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอล โตเค็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูครส ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.13 ไครงสรีางทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคนีค ไบมันของอินลชันปฐมนูนิ
ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโกรส ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก
(A) 0%wt, (B) 5%wt, (C) 10%wt, (D) 20%wt



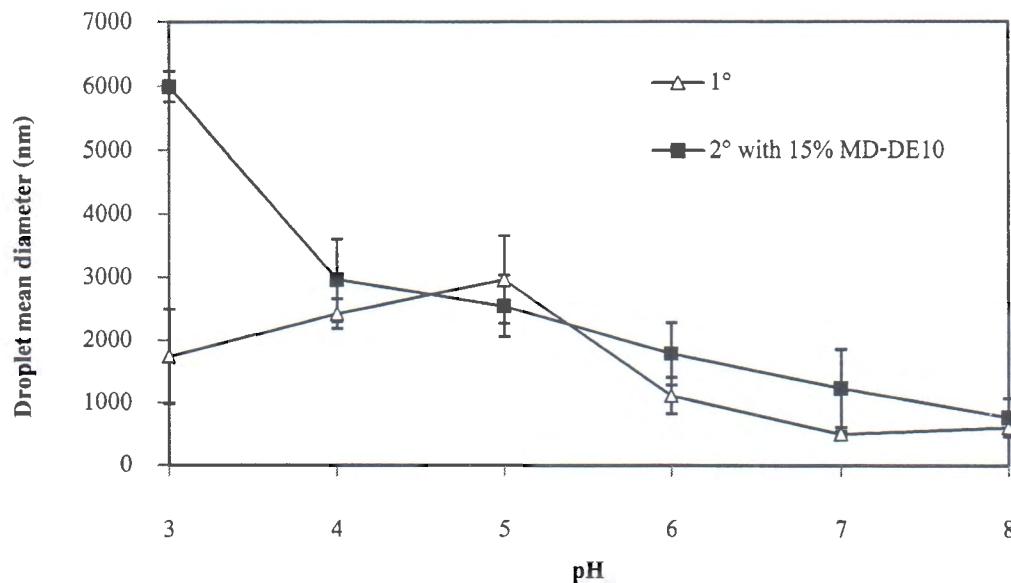
ภาพที่ 4.14 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไวน์ของอิมัลชันทุติกูนิ ที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นของน้ำยาลูโคโรส ร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก
(A) 0%wt, (B) 5%wt, (C) 10%wt, (D) 20%wt

4.2.3 ผลของการเป็นกรด-ค่างต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา

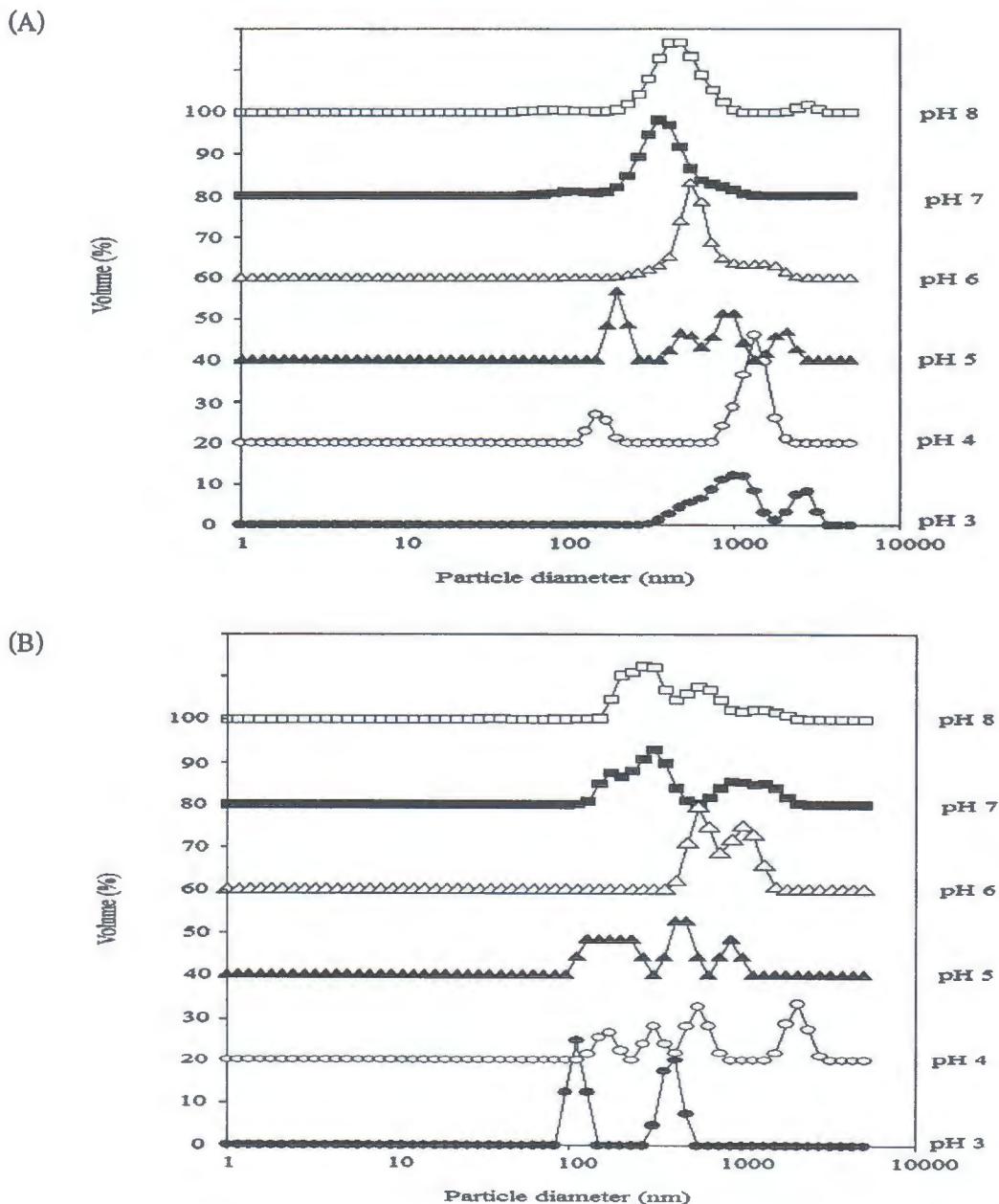
จากการศึกษาผลของการเป็นกรด-ค่างต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงาที่ เตรียมอิมัลชันแบบชั้นต่อชั้น ที่ความเป็นกรด-ค่าง 6 ระดับ คือ 3 4 5 6 7 และ 8 ตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไวน์ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไวน์และค่าดัชนีการแยกชั้นกรีน แสดงดังภาพที่ 4.15-4.19

ผลการทดลองขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันของอิมัลชันปูรูนภูมิ พบร่องขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ด ไบมันของอิมัลชันปูรูนภูมิ มีค่า $497.65 \pm 1,739.33$ นาโนเมตร ทุกค่าความเป็นกรด-ค่างยกเว้นที่ความเป็นกรด-ค่าง 4 ถึง 5 ขนาดของอนุภาคเม็ด ไบมันจะมีขนาดใหญ่ $2,428 \pm 2,964.33$ นาโนเมตร (ภาพที่ 4.15) การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมันทั้งแบบสองกลุ่ม (bimodal) และแบบหลายกลุ่ม (multimodal) (ภาพที่ 4.16) การเกิดการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไบมันที่ความเป็นกรด-ค่าง 4 ถึง 5 สามารถอธิบายจากค่าความเป็นกรด-ค่าง มีค่าเข้าใกล้จุดไอโซ-อะลีกทริกของโปรดตีน มีผลทำให้ความแรงของแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมันลดลง ทำให้ไม่เพียงพอที่จะป้องกันแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมัน เช่น แรงแวนเดอร์วัลส์และแรงไฮโครฟอบิก (Das and Kinsella, 1986; McClements, 1999; Moreau et al., 2003) ทำให้ออนุภาคเม็ด ไบมันสามารถรวมตัวกันได้ แต่ที่ค่าความเป็นกรด-ค่างมากกว่าหรือน้อยกว่า 4 ± 5 พบร่องขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ด ไบมันสามารถตัดกันได้ ซึ่งมาจากแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาคเม็ด ไบมันมีเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ด ไบมัน (McClements, 1999)

ส่วนอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตرين DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบร่องขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันจะมีขนาดเล็กลง เมื่อความเป็นกรด-ค่างเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8 มีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ด ไบมัน $758.34 \pm 5,994.95$ นาโนเมตร (ภาพที่ 4.15) และมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมันแบบสองกลุ่ม (bimodal) (ภาพที่ 4.16) ที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 3 ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มของอนุภาคเม็ด ไบมันมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่ด้วยกัน ซึ่งขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดเล็กในระบบอิมัลชัน อาจจะเกิดขึ้น เพราะว่าประจุลบของหมู่ชัลเฟตในโนเลกูลแคปภาคร้าวจันทร์ที่เคลือบที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ด ไบมันและขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดใหญ่อาจจะเกิด เพราะว่าสารประกอบเชิงชั้นระหว่างโปรดตีนและพอลิแซ็คคาไรค์ในระบบอิมัลชัน ส่วนที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 4 ถึง 5 มีการสูญเสียความคงตัวของระบบอิมัลชัน มีอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดใหญ่ มีค่า $2,546 \pm 2,954.67$ นาโนเมตร และมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมันแบบหลายกลุ่ม (multimodal) ส่วนที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 6-8 มีขนาดอนุภาคเม็ด ไบมันขนาดเล็ก มีค่า $758.34 \pm 1,778.5$ นาโนเมตร และมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมันแบบหลายกลุ่ม (multimodal) อาจจะเกิดเนื่องจากแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโนเลกูลพอลิแซ็คคาไรค์ที่เคลือบที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ด ไบมัน



ภาพที่ 4.15 ขนาดของสีนผ่านศูนย์กลางเม็ดไบมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูนภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตрин DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค้าง 3-8



ภาพที่ 4.16 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไบมัน (particle distribution) ของอิมลชันปูนภูมิ และอิมลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค้าง 3-8

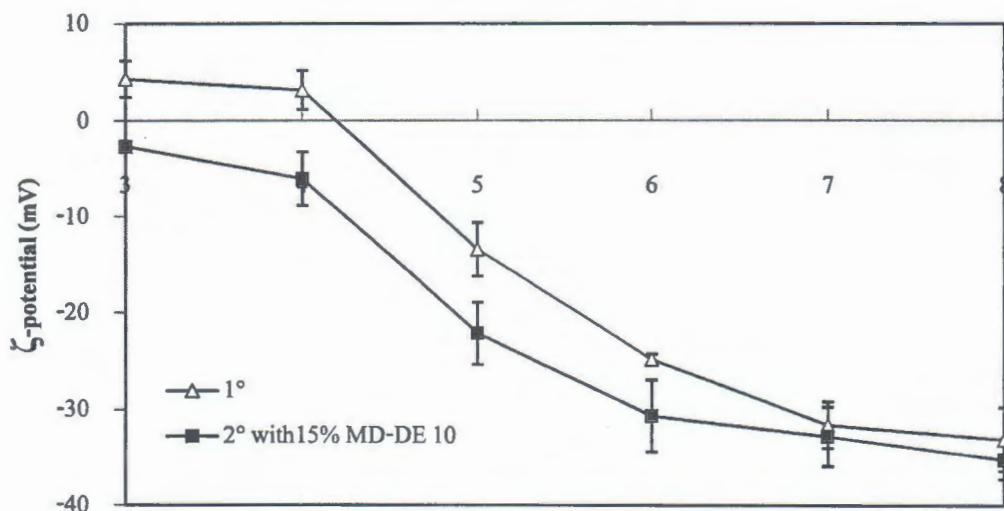
(A) อิมลชันปูนภูมิ

(B) อิมลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบอิมัลชันปูนภูมิมีค่าลดลงจาก 4.35 ถึง -33.02 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.17) เมื่อความเป็นกรด-ค่างเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8 และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อความเป็นกรด-ค่าง 4 ถึง 5 ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ค่าไอโซอิเล็กทริกของ โปรตีน (Marinova et al., 2009; Masson and Jost, 1986) โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นบวกที่ ความเป็นกรด-ค่างต่ำ เนื่องจากความเป็นกรด-ค่างมีค่าต่ำกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของ โปรตีน ($pH < pI$) ภายใต้สภาวะน้ำส่วนใหญ่หมู่อะมิโน แสดงค่าประจุเป็นบวก และหมู่คาร์บอออกซิล (-COOH) แสดงค่า ประจุเป็นกลาง แต่เมื่อความเป็นกรด-ค่างเพิ่มขึ้น ($pH > pI$) ค่าความเป็นประจุบวกจะลดลง บางครั้ง อาจเนื่องจากหมู่คาร์บอออกซิล แสดงค่าของประจุเป็นลบ (-COO⁻) และหมู่อะมิโน แสดงค่าของประจุ เป็นกลาง (-NH₂) (Kulmyrzaev et al., 2000) เมื่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคเม็ด ไขมันมีค่าเข้า ใกล้ศูนย์ แสดงจำนวนกลุ่มประจุบวกสมดุลกับกลุ่มประจุลบ และเมื่อค่าความเป็นกรด-ค่างเพิ่มขึ้น ทำ ให้ออนุภาคเม็ด ไขมันมีค่าประจุเป็นลบเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มประจุลบเพิ่มขึ้น แต่กลุ่มประจุ บวกลดลง (Chanamai and McClements, 2002) รูปแบบของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความเป็นกรด- ค่าง 3 ถึง 8 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Onsmaard et al. (2005) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติและความคง ตัวของอิมัลชันน้ำมันมะพร้าวด้วยโปรตีนทางนม และงานวิจัยของ Gu at el. (2005b) ที่ทำการศึกษา การผลิตและคุณลักษณะของความคงตัวในอิมัลชันน้ำมันข้าวโพด โดยการเคลือบชั้นต่อชั้นด้วย เบต้า-แอลกอไอลูน ไอโอตา-คาาร์ราจีแนนและเจลาติน พบร่วมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าลดลง (~60 ถึง ~70 มิลลิโวลต์ และ 60 ถึง -60 มิลลิโวลต์) เมื่อความเป็นกรด-ค่างเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8

เมื่อมีการเติมмол โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในอิมัลชันทุติยภูมิ พบร่วมค่าความเป็นประจุจะมีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 3 ถึง 8 (ภาพที่ 4.17) โดยประจุ ของอนุภาคเม็ด ไขมันในอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมмол โตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะมี ค่าแตกต่างจากอิมัลชันปูนภูมิ ทั้งนี้อาจเนื่องจากโมเลกุลพอลิแซ็คคาไรด์ (k-carrageenan และ maltodextrin) คุณซับที่พื้นที่ผิวของโมเลกุล โปรตีนเพียงเล็กน้อย ซึ่งอันตรกิริยาไฟฟ้าสถิตระหว่าง โปรตีนและพอลิแซ็คคาไรด์จะขึ้นอยู่กับเครื่องหมาย จำนวนและการกระจายตัวของหมู่ที่แตกตัว เป็นอิออนได้ (ionizable group) (Gu et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gu at el. (2004) ที่ ทำการศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ค่างและความเข้มข้นของไอโอตา-คาาร์ราจีแนนต่อ คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและความคงตัวของอิมัลชันที่เติมเบต้า-แอลกอไอลูน ไอโอตา- คาาร์ราจีแนนที่ความเป็นกรด-ค่างต่ำ เนื่องจากโมเลกุล ไอโอตา-คาาร์ราจีแนนอาจจะไม่จับกับพื้นที่ผิว ของอนุภาคเม็ด ไขมันหรืออาจจำกัดจากการเจือจางอิมัลชัน เมื่อทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จึง เกิดการจับตัวกันอ่อนแอ ทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำ ส่วนที่ค่าความเป็นกรด-ค่าง 5 ถึง 6 มี

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเพิ่มขึ้น มีค่า -22.12 ถึง -30.62 มิลลิโวลต์ เมื่อจากอาจเกิดอันตรกิริยาไฟฟ้าสถิตระหว่างโปรตีนและพอลิเซ็คคาไรค์ ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างประจุลบของโนเลกุลพอลิเซ็คคาไรค์กับประจุบวกของหมู่อะมิโนในโนเลกุลโปรตีนเบย์เข้มข้น ส่วนที่ความเป็นกรด-ค่า 7 ถึง 8 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่า -32.73 ถึง -35.1 มิลลิโวลต์ มีค่าใกล้เคียงกับอินัลชันปฐมภูมิ (-31.53 ถึง -33.02 มิลลิโวลต์) อาจเนื่องจากไม่เกิดแรงดึงดูดระหว่างโนเลกุลพอลิเซ็คคาไรค์และโปรตีนเบย์เข้มข้นที่เคลื่อนที่พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ดไบมัน สะกดล้องกับงานวิจัยของ Gu et al. (2005b) ที่ทำการศึกษาการผลิตและคุณลักษณะของความคงตัวในอินัลชันน้ำมันข้าวโพดโดยการเคลื่อนชันต่อชั้นด้วยเบต้า-แลคโตโกลบูลิน ไอโอตา-คาร์ราจีแนนและเจลาตินพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้น เมื่อความเป็นกรด-ค่าเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 8 (~30 ถึง ~60 มิลลิโวลต์)

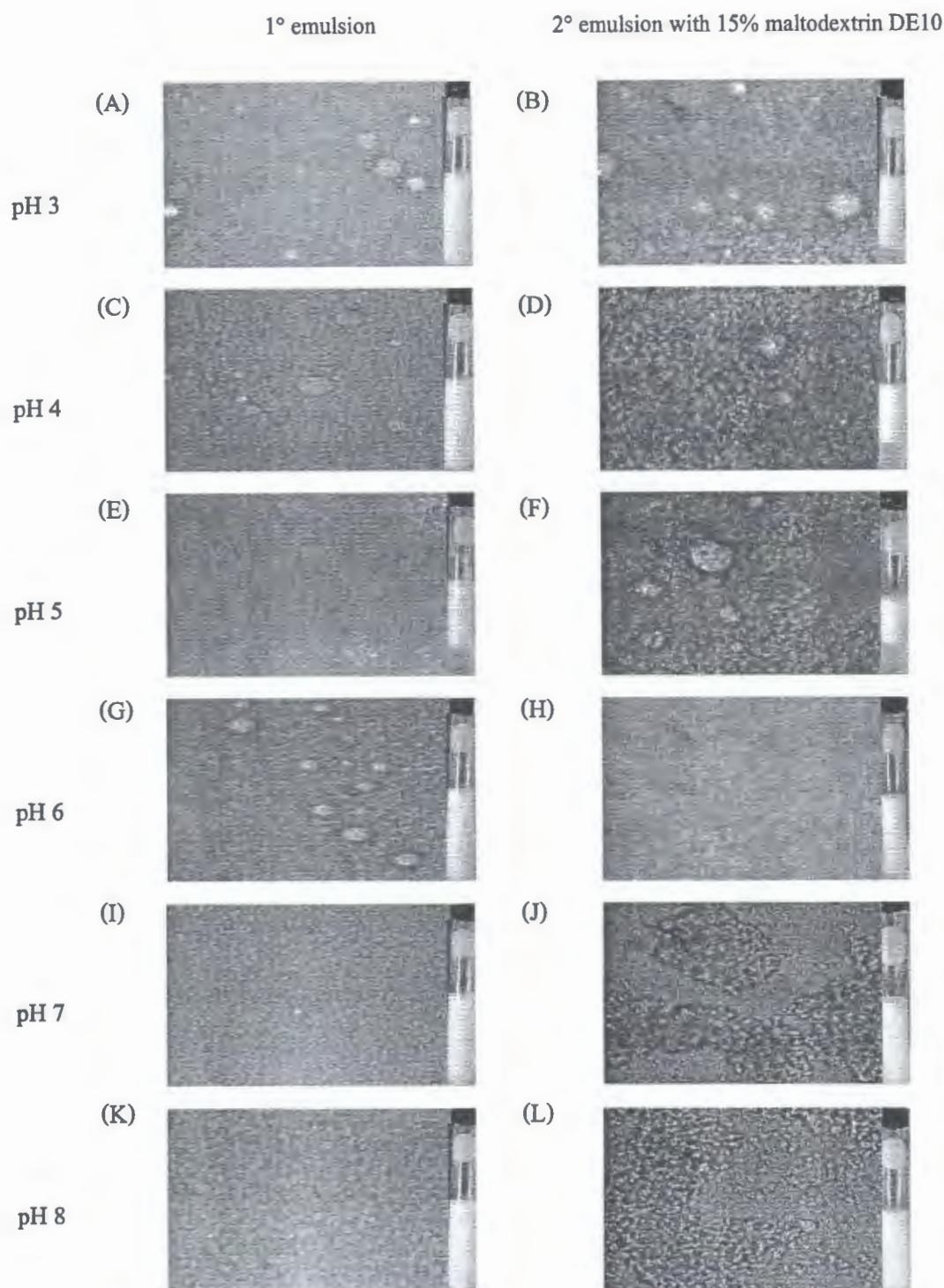


ภาพที่ 4.17 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอินัลชันปฐมภูมิและอินัลชันทุคิบภูมิที่เติมนอลโต เด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค่า 3-8

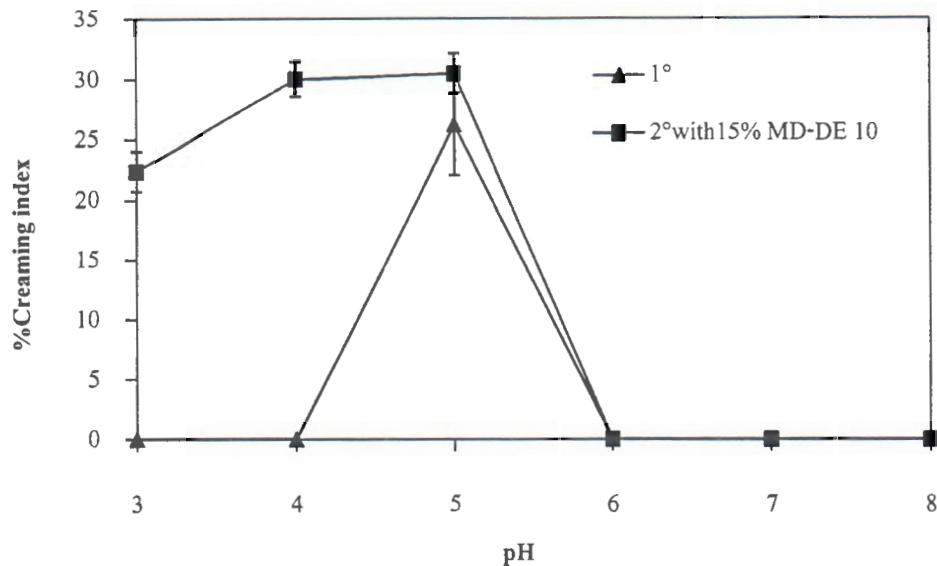
โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไบมันของอินัลชันปฐมภูมิและอินัลชันทุคิบภูมิที่เติมนอลโต เด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค่า 3 ถึง 8 และค่าดัชนีการแยกชั้นคริม แสดงดังภาพที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ พบร่วมกันปฐมภูมิที่มีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไบมันขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน แต่ที่ความเป็นกรด-ค่า 5 จะเกิดการเกาะกثุ่มกันและการแยกชั้นคริม ซึ่งมีค่าดัชนีการแยกชั้นคริม ประมาณ ร้อยละ 26.19 (ภาพที่ 4.19) เนื่องจากที่ความเป็นกรด-ค่า 5 เข้าใกล้ค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีน ส่งผลให้ประจุรวมของ

โปรตีนคล่องและแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเม็ดไขมันคล่องคัวยเช่นเดียวกัน (Das and Kinsella, 1986; McClements, 1999) ดังนั้นจึงเกิดแรงคึ่งคูคระหว่างเม็ดไขมัน เช่น แรงแวนเดอร์วัลส์และแรงไฮโตรโฟบิก (Moreau et al., 2003) นอกจากนี้การเกิดแยกชั้นครีม อาจเกิดเนื่องจากอิทธิพลของโปรตีนต่ออัตราการหัวงอนุภาคเม็ดไขมัน ซึ่งในระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนจะมีประจุไฟฟ้าเพียงพอที่จะป้องกันการเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมัน โดยค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนเวย์เข้มข้น มีค่าประมาณ 4.2 ซึ่งแตกต่างกับค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนเวย์ที่มีค่าประมาณ 4.8 (Demetriadis et al., 1997; Onsmaard et al., 2005) และที่ความเป็นกรด-ค้าง 6 ถึง 8 จะมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กลง ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนที่พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันมีทั้งประจุบวกและประจุลบและมีปริมาณเพียงพอที่เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลที่จะป้องกันการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน (aggregation) ซึ่งที่ค่าความเป็นกรด-ค้างมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีน โปรตีนจะมีประจุลบหรือประจุบวก ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าที่แข็งแรงระหว่างโมเลกุล จึงป้องกันการรวมตัวกันและเพิ่มการละลายโปรตีนมากขึ้นด้วย (Onsmaard et al., 2005)

ส่วนโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคเม็ดไขมันของอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตрин DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค้าง 3 ถึง 8 มีค่าดัชนีการแยกชั้นครีม ประมาณ ร้อยละ 22.38 ถึง 30.48 (ภาพที่ 4.19) โดยที่ความเป็นกรด-ค้าง 3 ถึง 5 อนุภาคเม็ดไขมันเกิดการเกาะกลุ่มหรือการรวมตัวกัน ซึ่งอาจจะเกิดจากในส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำมีโมเลกุลคาร์ราจีแนนที่ไม่สามารถคดดูบพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันและอาจจะเกิดการจับตัวกันของโมเลกุลไบโอดอลิเมอร์ (biopolymer molecules) ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเม็ดไขมันลดลง นอกจากนี้ที่ความกรด-ค้างมากกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีน ($\text{pH} > 5$) ประจุลบของโมเลกุลคาร์ราจีแนนจะไม่สามารถคดดูบพื้นที่ผิวของเม็ดไขมัน ทำให้โมเลกุลของคาร์ราจีแนนบางส่วนที่ไม่สามารถคดดูบพื้นที่ผิว เกิดการเกาะกลุ่มกันหรือจับตัวกัน (Gu et al., 2005a) แต่ประจุไฟฟ้าที่พื้นที่ผิวนมเม็ดไขมันมีเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมัน ทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้นครีม



ภาพที่ 4.18 โกรงสร้างทางชลภาพ (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไบมันของอิมัลชันปูนภูมิ และอิมัลชันทุติภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตرين DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค้าง 3-8



ภาพที่ 4.19 คัดชนิดการแยกชั้นครีม (creaming index) ของอิมัลชันปูรุณภูมิและอิมัลชันทุติบภูมิที่เติม mol โคลเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความเป็นกรด-ค่าง 3-8

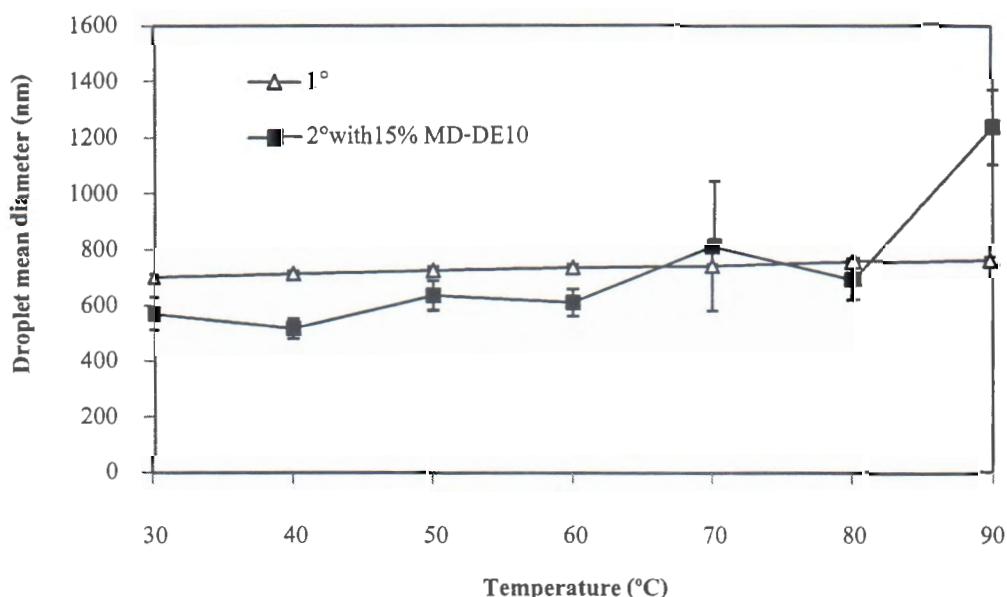
4.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันจาง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันจางที่เตรียม อิมัลชันแบบขึ้นต่อขึ้น ที่อุณหภูมิ 7 ระดับ คือ 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตรวจสอบ ความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมัน ค่าความต่าง สักย์ไฟฟ้า โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ด ไขมันและค่าดัชนีการแยกชั้นครีม แสดงดังภาพที่ 4.20-4.24

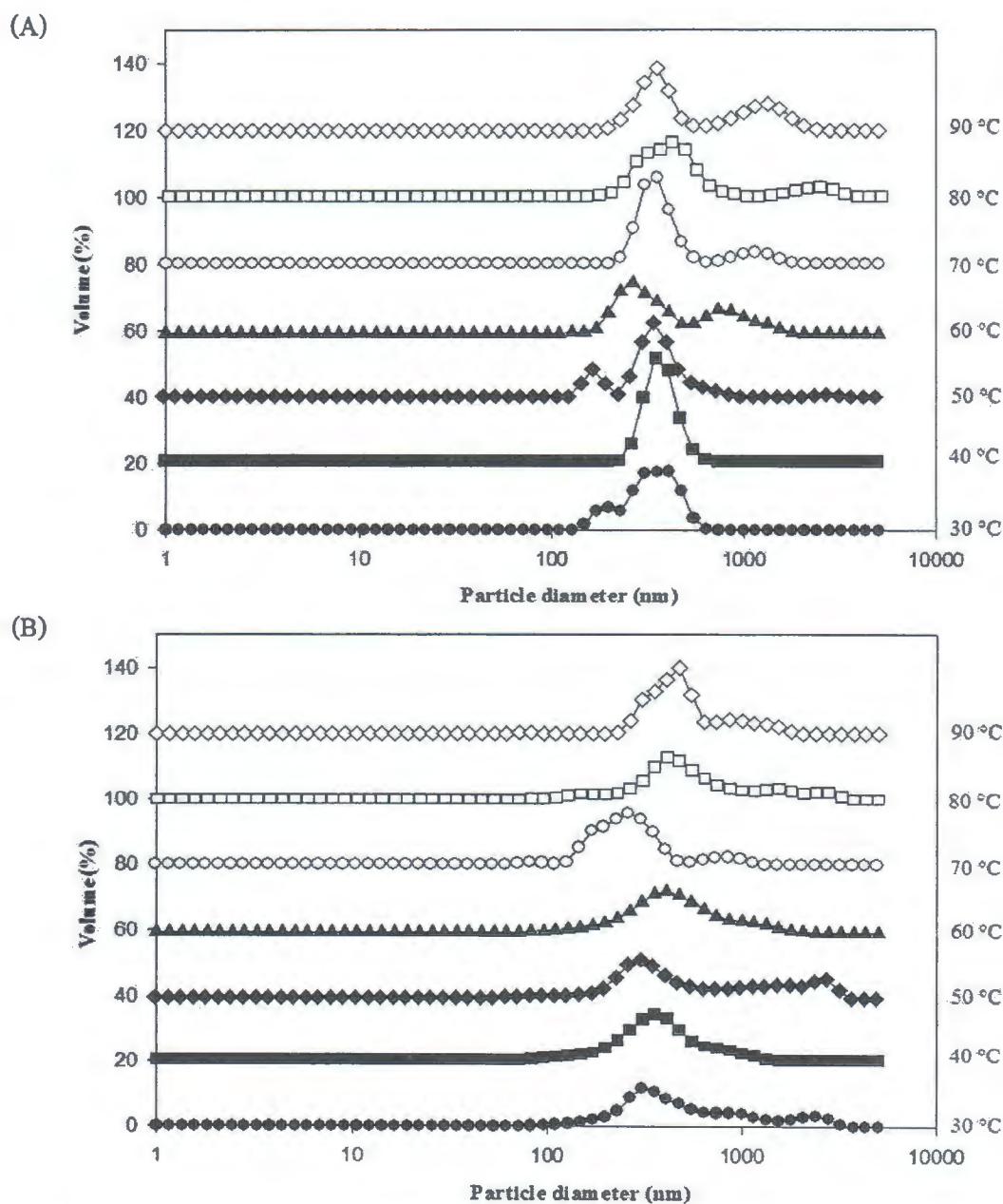
ผลการทดลองพบว่าอิมัลชันปูรุณภูมิมีความคงตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส ขนาดของอนุภาคเม็ด ไขมันมีขนาดเล็ก คือ 703.18 ถึง 766.42 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.20) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีการกระจายตัวของ อนุภาคเม็ด ไขมันทั้งแบบกลุ่มเดียว (monomodal) และแบบหลายกลุ่ม (multimodal) (ภาพที่ 4.21) ส่วนอิมัลชันทุติบภูมิที่เติมนอลโคลเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบร่วมน้ำของอนุภาค เม็ด ไขมันจะเพิ่มขึ้นเด่นอย่างมาก 517.79 ถึง 610.56 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส และขนาดของอนุภาคเม็ด ไขมันมีขนาดใหญ่ 811.48 ถึง 1,234.62 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส และมีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ด ไขมันแบบหลายกลุ่ม (multimodal) ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โปรตีนบางส่วนที่คุ้งซับบริเวณพื้นที่ผิวของเม็ด ไขมันจะเกิดการ เสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) ทำให้ความสามารถในการจับกับการร้าเจ้นลดลง มีผลให้

การร้าji เน้นที่คุณซับที่พื้นที่ผิวของเม็ดไนมันลดลงและปริมาณการร้าji เน้นอิสระในส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น (Gu et al., 2005b; Kim et al., 2002) นอกจากนี้อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเกลียว (helix) ไปเป็นเกลียวที่ไม่มีระเบียบ (random coil) จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 83 องศาเซลเซียส (Gu et al., 2005)

โดยทั่วไปแล้วการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนบริเวณพื้นที่ผิวของเม็ดไนมันจะมีผลต่อการเกิดอันตรายร้ายแรงคึ่งคุก (attractive interaction) ระหว่างเม็ดไนมันเพิ่มขึ้น เช่น กีดและคึ่งคุกไไฮโครฟอบิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเกิดการถลอกตัว (unfold) มีผลให้เกิดอันตรายร้ายในไมเลกุลระหว่างไมเลกุลโปรตีนที่ถูกคุณซับที่พื้นที่ผิวของเม็ดไนมันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงคึ่งคุกไไฮโครฟอบิกและเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไฮดรอลไดชัลเฟต (thiol-disulfide) จึงเกิดการรวมตัวของเม็ดไนมัน (Surh et al., 2006)



ภาพที่ 4.20 ขนาดของสีน้ำผ่านศูนย์กลางเม็ดไนมัน (droplet mean diameter) ของอิมัลชันปูนภูมิ และอิมัลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโคลีโคเจล์ตрин DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส

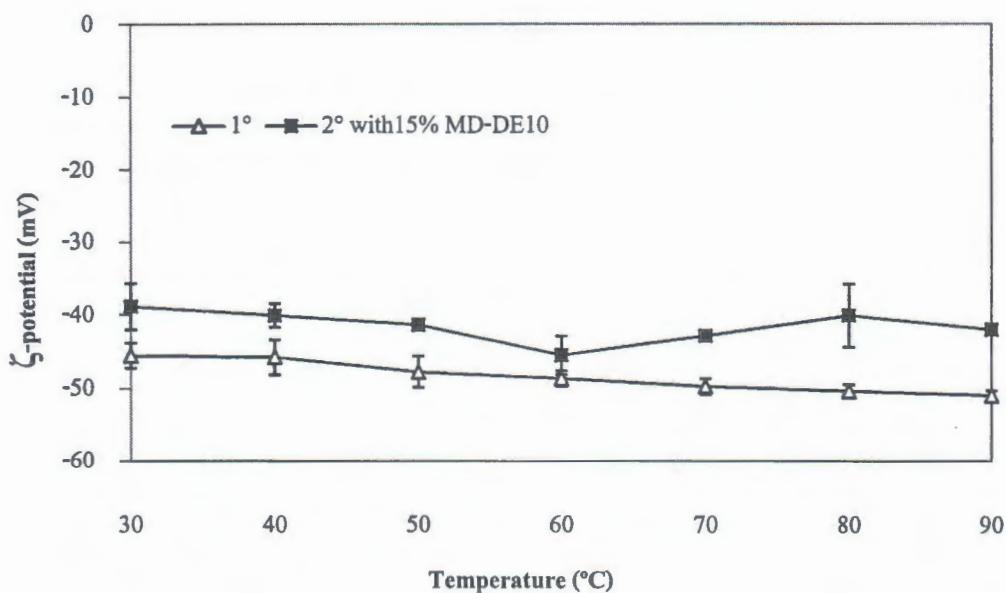


ภาพที่ 4.21 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน (particle distribution) ของอิมลชันปูนภูมิและ อิมลชันทุคิภูมิที่เติมนอลโടเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30- 90 องศาเซลเซียส

(A) อิมลชันปูนภูมิ

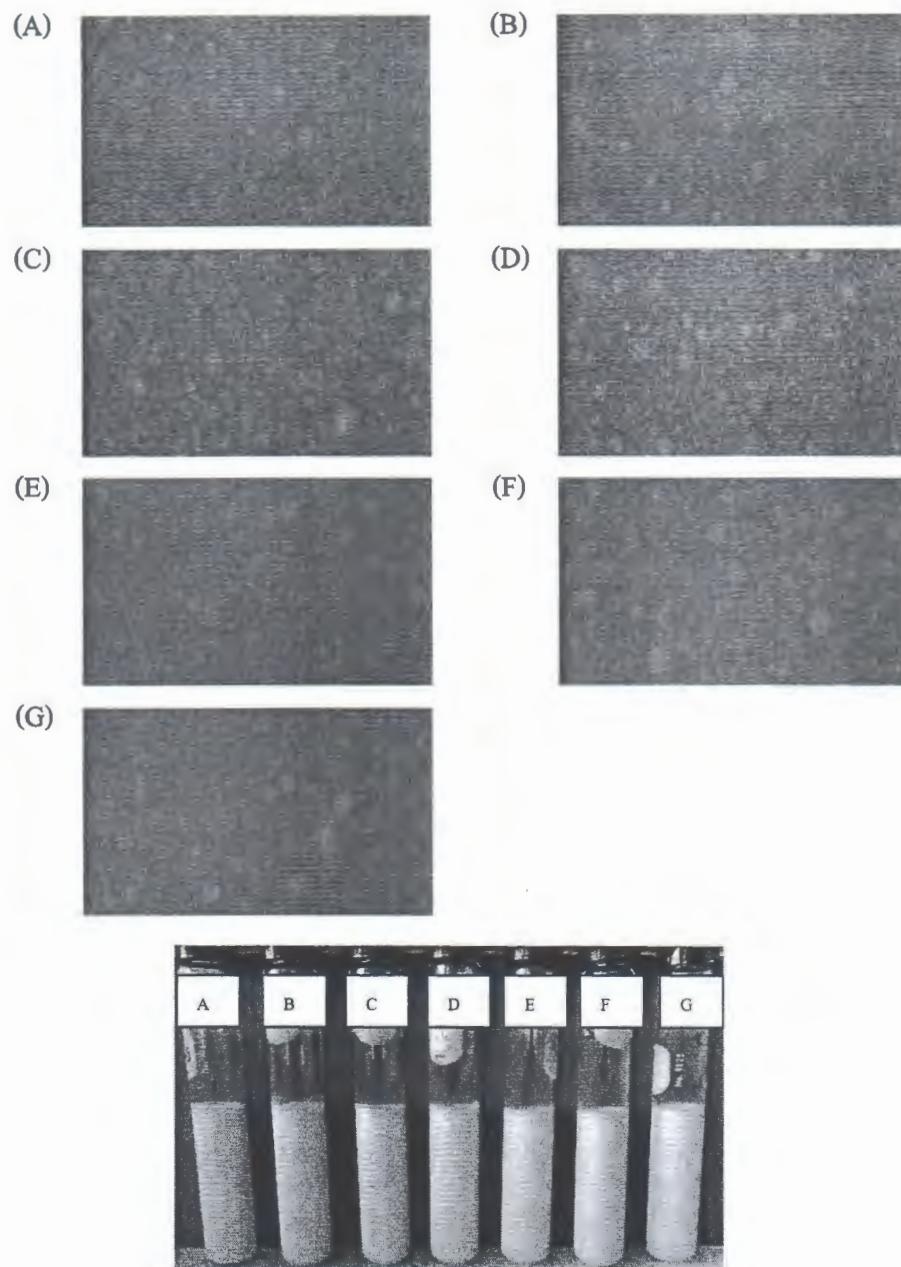
(B) อิมลชันทุคิภูมิที่เติมนอลโटเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของหั่งอิมลชันปูนภูมิและอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโต-เด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.22) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก (-38.84 ถึง -45.5 มิลลิโวลต์) น้อยกว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมลชันปูนภูมิ (-45.57 ถึง -50.87 มิลลิโวลต์) โดยสังเกตจากเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการคุณชันของ Carrageenan และมีการร้าวจเนนอิสระเพิ่มขึ้นในส่วนที่เป็นน้ำหรือสารที่ละลายในน้ำได้ สาเหตุของ Carrageenan ที่คุณชันที่พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันลดลงภายหลังจากการได้รับความร้อน โดยอธิบายไปก่อนหน้านี้

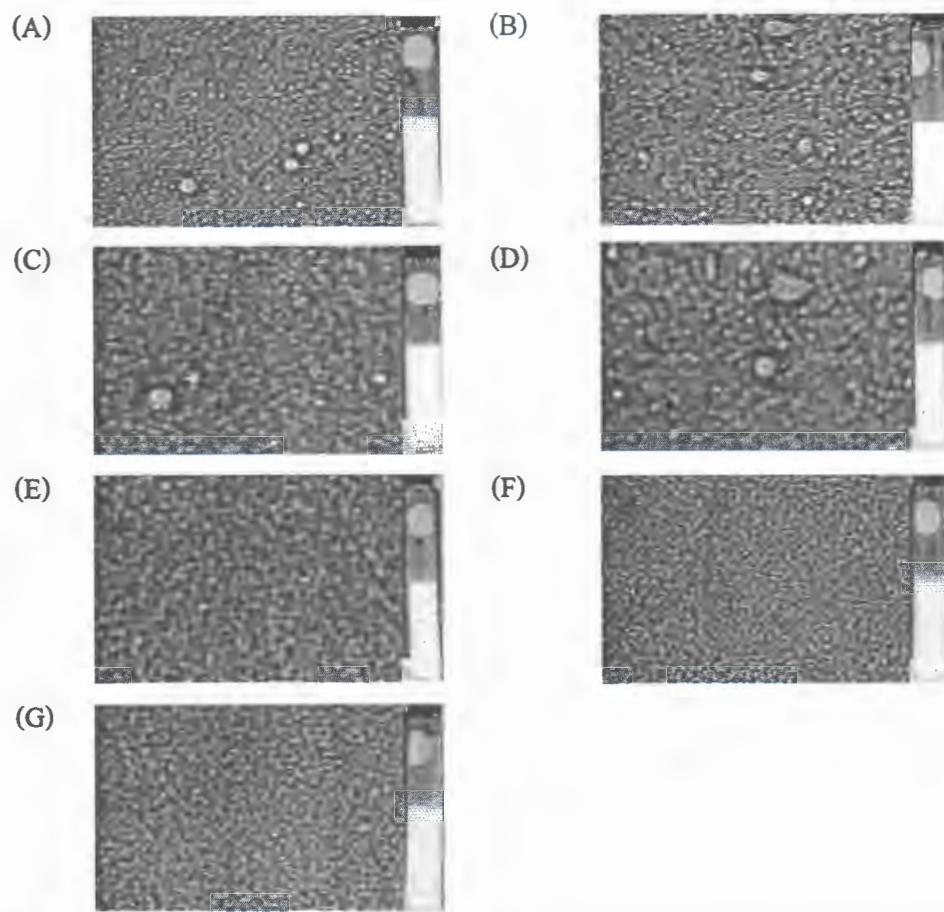


ภาพที่ 4.22 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ζ -potential) ของอิมลชันปูนภูมิและอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส

โครงสร้างทางจุลภาคของอนุภาคเม็ดไขมันของอิมลชันปูนภูมิและอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ยืนยันได้ว่าหั่งอิมลชันปูนภูมิและอิมลชันทุติยภูมิที่เติมนอลโตเด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีความคงตัวต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส แสดงคังภาพที่ 4.23 และ 4.24



ภาพที่ 4.23 โครงสร้างทางจุลภาค (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ดไนโตรของอินัลชันปูนภูมิที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส
 (A) 30°C , (B) 40°C , (C) 50°C , (D) 60°C , (E) 70°C , (F) 80°C และ (G) 90°C



ภาพที่ 4.24 โครงสร้างทางจุลทรรศน์ (optical micrographs) ของอนุภาคเม็ด ไขมันของอิมัลชันทุติยภูมิ ที่เติมนอลโต เด็กซ์ตริน DE10 ร้อยละ 15 โดยนำหันก ที่อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส
 (A) 30°C , (B) 40°C , (C) 50°C , (D) 60°C , (E) 70°C , (F) 80°C และ (G) 90°C

4.3 ผลของการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลท

การผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลท โดยการทำแท่งแบบพ่นฟอยและเก็บรักษาที่ 3 สภาพ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วัน คำนวณผลผลิตที่ผลิตได้ และการสูญเสียของน้ำมันงากายหลังจากการทำแท่ง ตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลทที่ผลิตได้ คือ ปริมาณความชื้น (moisture) ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity: a_w) และโครงสร้างของน้ำมันงาผง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง粒 (scanning electron microscopy: SEM) และตรวจสอบน้ำมันงาในรูปแบบผงเอนแคปซูลเลทภายหลังการเก็บรักษานาน 30 วัน คือ การคืนกลับ

เป็นอันลักษณ์ การละลายของน้ำมันงาพง และค่าไทโอบาร์บิทูริก แสดงคังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.25-4.30

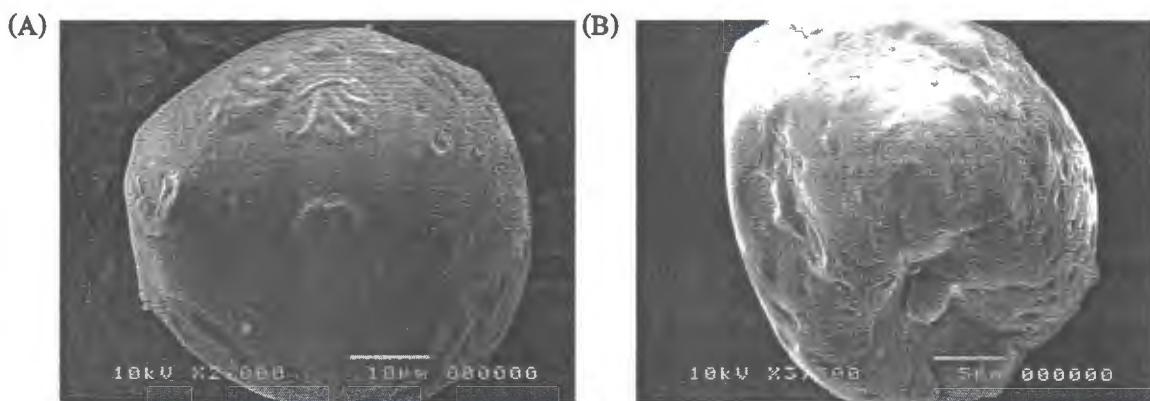
ผลการทดลองพบว่าผลผลิต และการสูญเสียของน้ำมันงาในรูปแบบผงเออนแคปซูลที่ผลิตได้มีค่า ร้อยละ 86.73 และร้อยละ 13.27 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) จะเห็นได้ว่าการผลิตน้ำมันงาในรูปแบบผงเออนแคปซูลที่ทดลองสามารถให้ผลผลิตที่สูงและการสูญเสียระหว่างการผลิตค่อนข้างต่ำ น้ำมันงาในรูปแบบผงเออนแคปซูลที่ผลิตได้มีค่าความชื้น ร้อยละ 3.19 ± 0.42 และปริมาณน้ำอิสระในอาหาร 0.28 ± 0.06 พบว่าค่าความชื้นและปริมาณอิสระในอาหาร มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเดียวกับอาหารแห้ง ซึ่งได้มีการกำหนดปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ประมาณ ร้อยละ 2 ถึง 5 และน้อยกว่า 0.6 ตามลำดับ (วิลาวัณย์ เจริญจิรประภุกุล, 2539 ; Celestino et al., 1997; Masters, 1991; Rstencl, 1999) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Turchiuli et al. (2005) ที่ทำการศึกษาการเออนแคปซูลเข้นน้ำมันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอยล์และวิธีการฟูอิดไชซ์เบด พบร่วมกับวิธีการทำแห้งแบบพ่นฟอยล์ (อุณหภูมิขาเข้า $200-220 \pm 2$ องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก $100-130$ องศาเซลเซียส) มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการฟูอิดไชซ์เบด เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฟอยล์สามารถห่อหุ้มน้ำมัน (ร้อยละ 4.7 ± 0.45) ได้มากกว่าวิธีการฟูอิดไชซ์เบด (ร้อยละ 4.4 ± 0.7) ปริมาณความชื้น (ร้อยละ 3.8 ± 0.9 และร้อยละ 6.0 ± 2) และปริมาณน้ำอิสระในอาหารต่ำกว่า (ร้อยละ 0.1 ± 0.03 และร้อยละ 0.16 ± 0.06)

ตารางที่ 4.1 การผลิตและคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงเออนแคปซูล

การผลิตและคุณลักษณะ	
ผลผลิต (ร้อยละ)	86.73
สูญเสีย (ร้อยละ)	13.27
ความชื้น (moisture) (ร้อยละ)	3.19 ± 0.42
น้ำอิสระในอาหาร (water activity: a_w)	0.28 ± 0.06

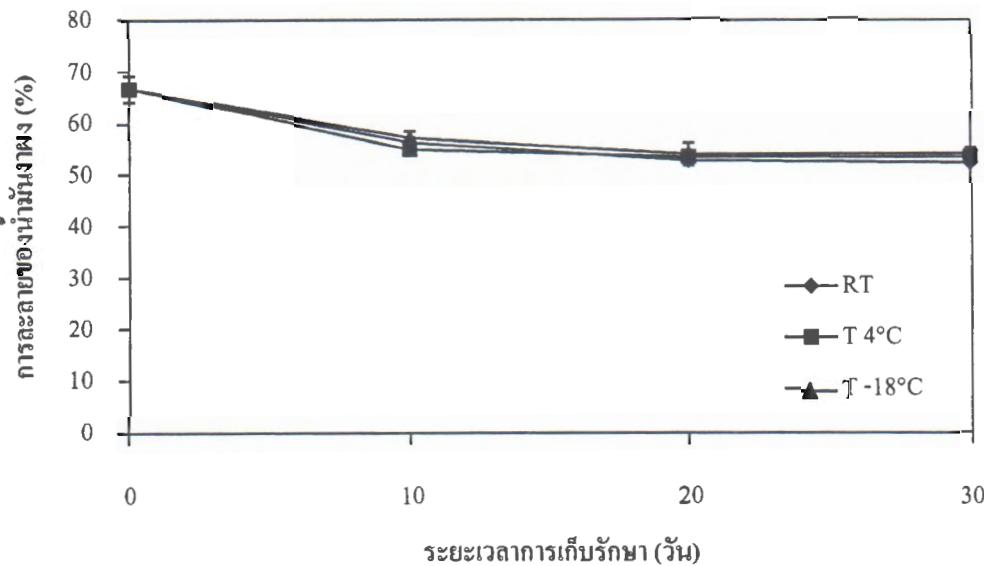
ลักษณะโครงสร้างภายนอกของน้ำมันงาในรูปแบบผงเออนแคปซูลที่ผลิตได้มีการห่อหุ้นของเม็ดไขมันค่อนข้างสมบูรณ์ ถังเกตจากเม็ดไขมันมีลักษณะค่อนข้างกลม พื้นที่ผิวเรียบ มีรอยหยักและรอยบุนท์ที่ผิวของน้ำมันงาบางส่วน (ภาพที่ 4.25) รอยหยักและรอยบุนทนบริเวณผิวของเม็ดไขมัน อาจเกิดจากเมื่อมีการให้ความร้อนพอลิแซ็คคาโรต์ อาจเกิดการคลายตัวของพันธะไฮโดรเจน ทำให้พอลิแซ็คคาโรต์เกิดการพองตัวและแตกตัวออก และเมื่อยืนหลังจะมีลักษณะขันหนีดหรือมีลักษณะเป็นเกล (นิธยา รัตนานันท์, 2545) หรืออาจเกิดจากการจับกันหรือเกาะกุ่มกันของพอลิแซ็คคาโรต์ด้วยกันเอง ซึ่งมีรอยบุนท์ที่ผิวของน้ำมันงาพง นอกจากนี้อาจเกิดอัตราการแข็งตัว

ของสารเคลือบช้าลงและอาจจะเกิดความยึดหยุ่นในระบบของสารเคลือบสูง (Jafari et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sheu and Rosenberg (1995; 1998) ที่ทำการศึกษาการทำเย็นแบบปั๊มเล็กของโปรตีนเวย์และคาร์โนไบเดรตด้วยวิธีการทำแท่งแบบพ่นฟอย พบร่วมสัดส่วนของโปรตีนเวย์-ไอโซเลตต์อนอลโตเดีกซ์ตรินเพิ่มขึ้น (1:19 จนถึง 3:1) ทำให้นุภาคของพจน์ผิวนิ่วเรียบ รอบหยักหรือรอยนูนคั่ลัง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยจำกัดการเกิดรอยหยักหรือรอยเยื้าที่พื้นที่ผิวของพังค์ด้วย เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.25 โครงสร้างของน้ำมันงาพงที่ผ่านการทำแท่งแบบพ่นฟอยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย (A) 2,000 และ (B) 3,500

การละลายของน้ำมันงาพงที่ทำการเก็บรักษาแตกต่างกันที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแข็งเย็น และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง เป็นระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าการละลายเริ่มต้นลดลงจาก ร้อยละ 66.58 เป็นร้อยละ 53.90 ถึง 55.17 (ภาพที่ 4.26) โดยการละลายที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษานีอยู่หลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเกิดผลึกน้ำแข็ง ความชื้นสูง และอุณหภูมิในการเก็บรักษา เป็นต้น (Kudo et al, 1990; van Mil and Jans, 1991) นอกจากนี้ธรรมชาติของตัวฤกษ์ละลายและตัวทำละลาย ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสมก็มีผลเช่นเดียวกัน (Rahman, 1995)

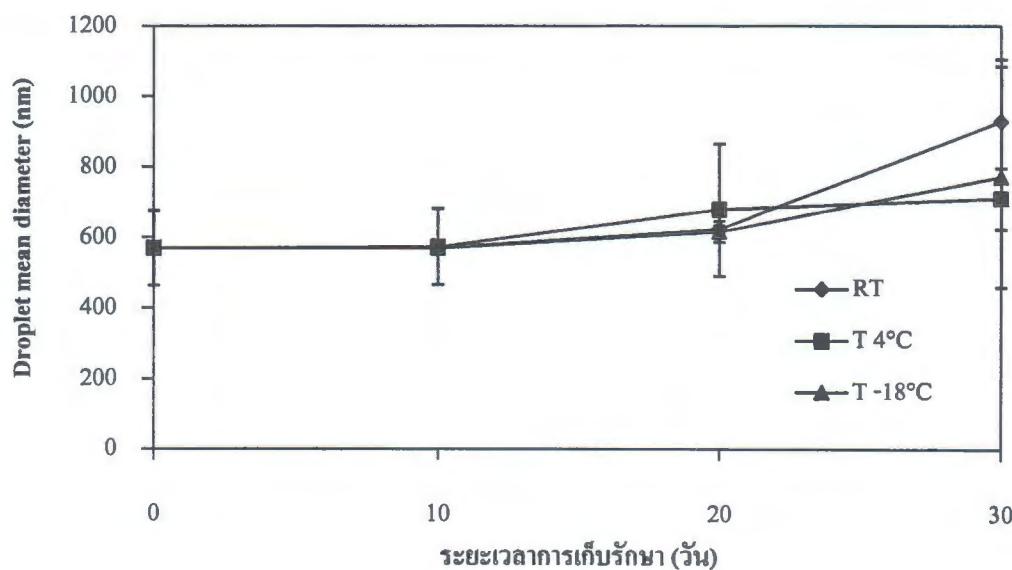


ภาพที่ 4.26 การคลายของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแข็งเย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน

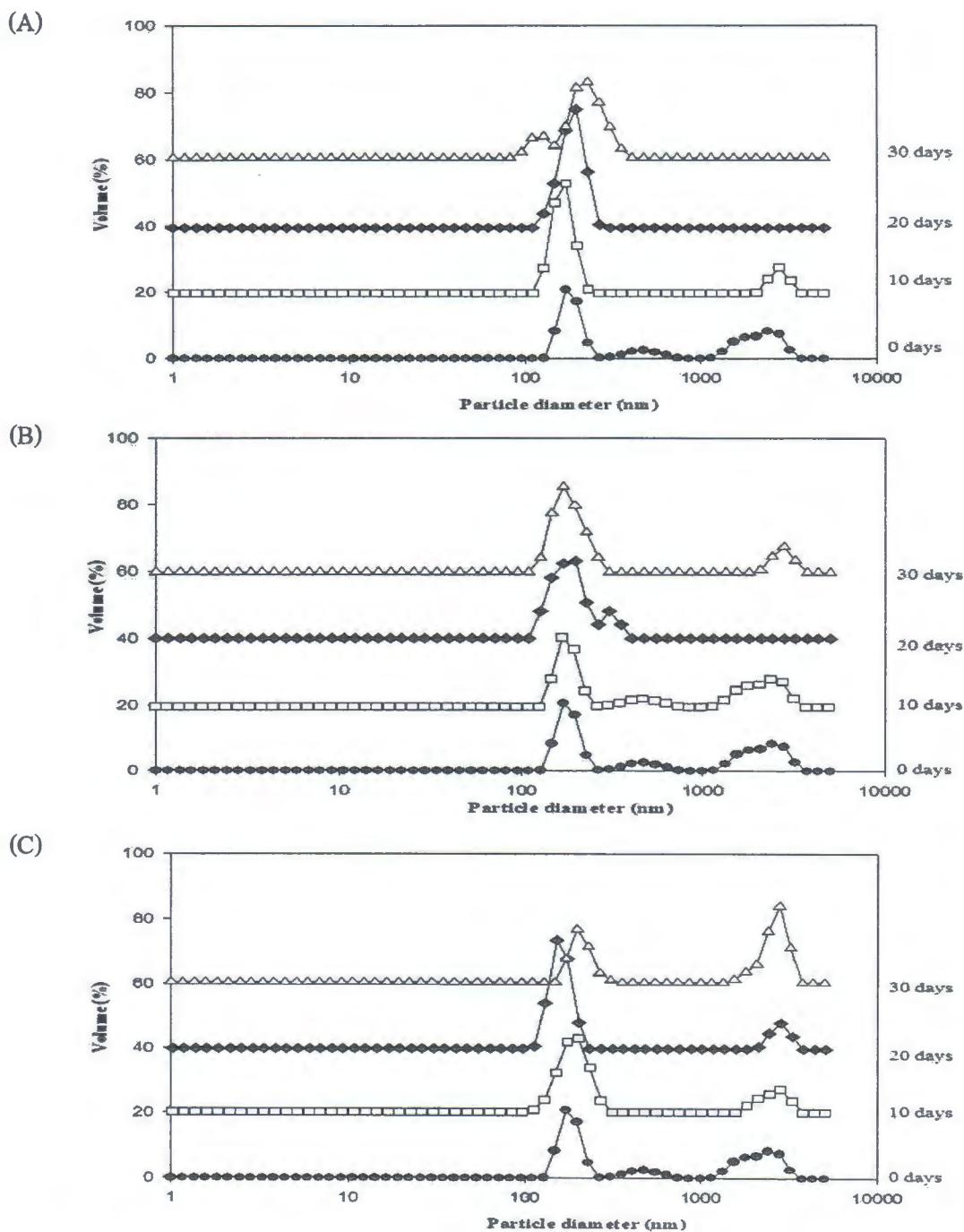
ตรวจสอบการคืนกลับเป็นอินทรีย์ของน้ำมันงาผงจากขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแข็งเย็น และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง เป็นระยะเวลา 30 วัน พบร่วมน้ำดอนุภาคเม็ดไขมันของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแข็งเย็น และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็ง มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น นิ่ง 569.33 ± 935.35 นาโนเมตร 569.33 ± 711.57 นาโนเมตร และ 569.33 ± 787.73 นาโนเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.27) แต่สภาวะการเก็บรักษาทั้ง 3 สภาวะ ไม่มีผลต่อความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ มีการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันไม่สม่ำเสมอทั้งแบบสองกัลุ่ม (bimodal) และแบบหลายกัลุ่ม (multimodal) โดยมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเฉลี่ยระหว่าง $95.07 \pm 3,219$ นาโนเมตร (ภาพที่ 4.28)

ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ พบร่วมกับเมื่อเก็บรักษาไวนาน 30 วัน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยน้ำมันงาผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าลดลงจาก -37.23 เป็น -25.81 มิลลิโวลต์ อุณหภูมิแข็งเย็นมีค่าลดลงจาก -37.23 เป็น -28.47 มิลลิโวลต์ และอุณหภูมิแข็งเยือกแข็งมีค่าลดลงจาก -37.33 เป็น -32.02 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 4.29) อาจเกิดเนื่องจากแรงผลักระหว่างเม็ดไขมันลดลงและเกิดแรงดึงดูดระหว่างเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น สร้างผลให้ขนาดอนุภาคของ

เม็ดไนมันเกิดการเกาะกลุ่มกันหรือการรวมตัวกัน (ภาพที่ 4.27 และ 4.28) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Klinkesorn et al. (2005b) ได้ทำการศึกษาความคงตัวของอินัลชันน้ำมันทูน่าในรูปแบบผงเย็นแครป-ชูเลทที่ทำการเคลือบชั้นค่อชั้นที่เก็บรักษา 2 สภาวะ คือ อุณหภูมิ 20 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่า การคืนกลับเป็นอินัลชันของน้ำมันทูน่าผงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง (มีขนาดอนุภาคเม็ดไนมันขนาดใหญ่) กว่าน้ำมันทูน่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อาจเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ทำให้เกิดสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) ระหว่างคาร์บอโนylecretและกลุ่มอะมีน (amine group) ที่พื้นที่ผิวของเม็ดไนมัน

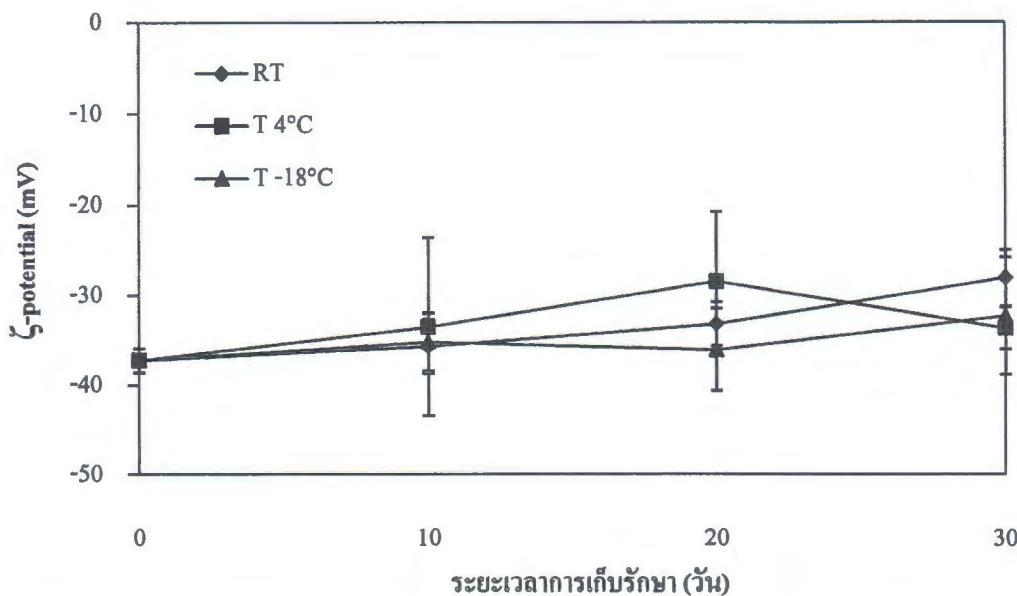


ภาพที่ 4.27 ขนาดของเด็นผ่านศูนย์กลางเม็ดไนมัน (droplet mean diameter) ภายหลังการคืนกลับเป็นอินัลชันของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 4.28 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน (particle distribution) ภายหลังการคืนกลับเป็นอิมัลชันของน้ำมันงาแดงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน

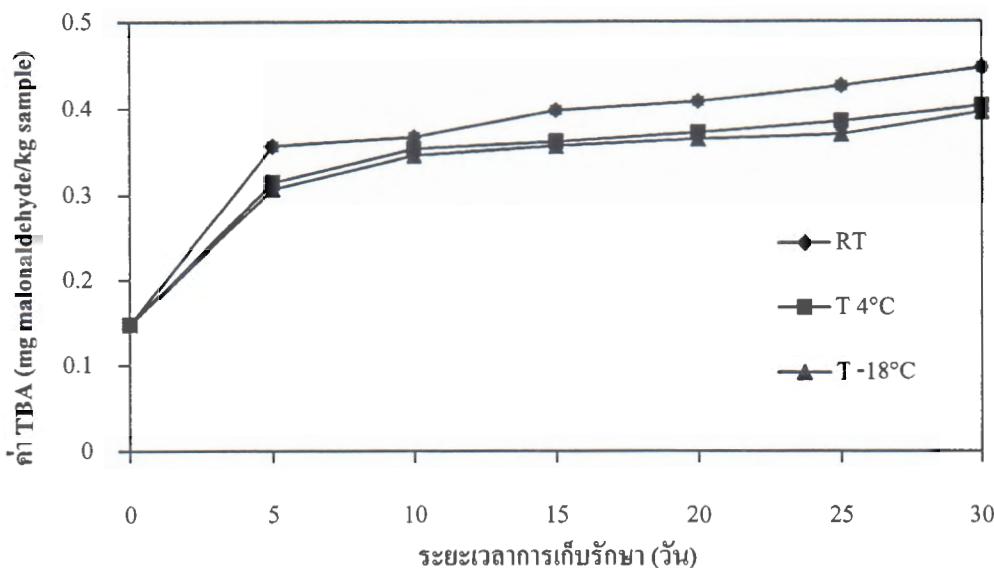
(A) อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) (B) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และ (C) อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 4.29 ความต่างศักยไฟฟ้า (ζ -potential) ภายหลังการคืนกลับเป็นอิมัลชันของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน

จากค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid: TBA) ของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยการทดสอบกรดไทโอบาร์บิทูริก มีกลไกจากการที่ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไทบาร์บิทูริกไม่มีอิมค์ จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกทำให้เกิดสี ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นกับมาโนโนลเดไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งจะทำให้เกิดสีชมพูแดง เมื่อผ่านการให้ความร้อนในสภาพกรด (Egan et al., 1981) พบว่าค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้น (ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกมีค่าเพิ่มน้ำหนักตัว 0.15 เป็นร้อยละ 0.37 ถึง 0.42) โดยค่าไทโอบาร์บิทูริกของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ร้อยละ 0.42) จะมีค่าสูงกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (ร้อยละ 0.38) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (ร้อยละ 0.37) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.30) แต่ค่ากรดบาร์บิทูริกในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มน้ำหนักตัว 0.15 ถึง 0.20 ร้อยละ ของกรดไทโอบาร์บิทูริกในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) อาจเนื่องจากเกิดเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันงาผงในระหว่างการเก็บรักษา เช่น สี ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระในอาหาร เป็นต้น (งานทิพย์ ภู่วรวงศ์, 2550; Klinkesorn et al., 2005b) นอกจากนี้ยังอาจเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรซे�ชัน (polymerization) ในสาร

อี่นๆ เช่น เอนีน กรดอะมิโน และสารต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน (Zamora and Hidalgo, 2005)



ภาพที่ 4.30 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ของน้ำมันงาผงที่เก็บรักษา 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง (26.86 ± 1.10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิแช่เย็น (2.69 ± 1.58 องศาเซลเซียส) และ อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 30 วัน

จากการศึกษาการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผง เอ็นแคปซูลเลข พบร่วมกับสารเคลือบ (โปรตีนเวย์เข้มข้น แคปปา-คาร์ราจีแนนและมอลโตเคิร์ฟิน) มี ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มน้ำมันงาที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอย และเมื่อทำการเก็บรักษา ที่ 3 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เป็นระยะเวลา 30 วัน พบร่วมกับน้ำมันงาในรูปแบบผงเอ็นแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง จะมี อัตราการการละลาย การคืนกลับเป็นอิมลัชันและเกิดออกซิเดชันต่ำกว่าน้ำมันงาในรูปแบบผงเอ็น แคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอยและการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิต่ำ (≤ 4 องศาเซลเซียส) จึงมีประสิทธิภาพและความสามารถที่จะผลิตและรักษาน้ำมันงาผง เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประพสมในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ชนิดและปริมาณของมอล โトイเด็กซ์ครินต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงาที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันแบบทุติยภูมิ (น้ำมันงา ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก โปรตีนเวย์เข้มข้น ร้อยละ 0.5 โคลน้ำหนัก และแคปปา-คาร์บารจีแนน ร้อยละ 0.2 โคลน้ำหนัก ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ค่า 7) คือ มอล โトイเด็กซ์ครินที่มีค่าสมมูลเด็กซ์ไทรส 10 ที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก เนื่องจากสามารถใช้ปริมาณน้อยในการเตรียมอิมัลชันทุติยภูมิที่มีขนาดอนุภาคเม็ดใหม้มันขนาดเล็กและมีความคงตัว

จากการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันงา ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาลซูโครส ความเป็นกรด-ค่า 7 และอุณหภูมิ พนวาน้ำมัลชันทุติยภูมิที่เดินมอล โトイเด็กซ์คริน DE10 ร้อยละ 15 โคลน้ำหนัก มีขนาดอนุภาคเม็ดใหม้มันขนาดเล็กและความคงตัวที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์น้อยกว่า 300 มิลลิโนลาร์ ปริมาณน้ำตาลซูโครสสูง ร้อยละ 0-20 โคลน้ำหนัก ความเป็นกรด-ค่าสูง 6-8 และอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

จากการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณลักษณะของน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคปซูลท พนวาน้ำมันงาที่เข้มข้น แคปปา-คาร์บารจีแนนและมอล โトイเด็กซ์ครินที่ใช้สามารถห่อหุ้มน้ำมันงาในระหว่างกระบวนการทำแท่งแบบพ่นฟอยด์ด้วยมีประสิทธิภาพ ซึ่งเห็นได้จากปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) ของน้ำมันงาผงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอาหารแท่ง เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 3 stagware คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิเช่นเข็มและอุณหภูมิเช่นเยือกแข็ง เป็นระยะเวลา 30 วัน พนว่าจะระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันงาผงนานที่สุด ประสิทธิภาพการละลายและการคืนกลับเป็นอิมัลชันของน้ำมันงาผงจะลดลง แต่การเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น โคลน้ำมันงาผงที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเช่นเข็มและอุณหภูมิเช่นเยือกแข็งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันงาในรูปแบบผงอ่อนแคปซูลไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ฯ และเครื่องสำอาง เช่น น้ำสบัด

สารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันตับ ป้องกันมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ ครีมทาผิว สนับสนุนยาสาระพูดและครีมนวดพูด เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการทำแท้แบบบรรเทิด เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทำแท้แบบพ่นฟอย

5.2.2 ควรมีการศึกษาทางด้านการคงสารสำคัญของน้ำมันงาหลังการทำแท้แบบพ่นฟอย

5.2.3 ควรมีการศึกษาการนำน้ำมันงาไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กล้ามวงศ์ ศรีรอด และเกื้อquist ปีชาอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีแบ่ง พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิติยศ ขสมบต. 2554. ไฟฟ้าสเตอรอลและผลต่อสุขภาพ. กรุงเทพมหานคร : คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

งามพิพัฒน์ ภู่วรวิทน. 2550. การบรรจุอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ เอส.พี.เอ็ม การพิมพ์ จำกัด.

ฉันทรา พุนศิริ. ม.ป.ป. เทคนิคในโครงเรือนแคปซูลเลท. ปทุมธานี : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

เทพิน จันทร์มหะสีรี. 2552. การพัฒนาโอลิมปิกน้ำมันงานในรูปแบบ nano อินิลชัน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนานปนท. 2545. คอลลอกอิค์. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. 2551. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์.

นิรนาน. ม.ป.ป. “อินิลชัน”, คอลลอกอิค์. <http://www.conial.go.th/html/index.htm>.
10 กุมภาพันธ์, 2553.

ประษัตร วงศ์ประภาส. 2545. เคมีภายในของอาหาร คอลลอกอิค์ อินิลชัน และเจล.

กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิติภานต์ ตดิพันธ์ และสุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2551. อิทธิพลของอินิลชันไฟฟ้อร์และสเคบิไลเซอร์ต่อความคงตัวของอินิลชันน้ำมันมะพร้าวในน้ำหลังการให้ความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิรยา ใจดินอน. 2542. การเพิ่มความคงตัวของอินิลชัน ไปมันดำดิ่งกัมชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ไฟจิตร จันทร์วงศ์. 2530. “คุณภาพใช้ประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพพืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด”, สายงานเคมีพืชน้ำมันและสารธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร : กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร.

วาสนา วงศ์ใหญ่. 2548. ชุดความรู้พันธุ์พืชไทย. ปทุมธานี : สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วิภาวดย์ เจริญจิระตะกุล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอดี้นสโตร์.
- ศักดา คงสมบูรณ์เวช. 2547. “เซซามินกับสุขภาพ”, วารสารโภชนาบำบัด. 15 (2): 98-105.
- สุปรานี มนูรักษ์ธนากร วิสาขะ อนันดรัช แคลทัง อริยะศิริ. ม.ป.ป. “โปรตีนในอาหาร”, โปรตีน. <http://158.108.88.131/courseware/supranee/food-protein/index.html>. 24 สิงหาคม, 2552.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. “สถิติการเกษตรประเทศไทย”, ๑. http://www.oae.go.th/oae_report/stat_agri/report_result_content.php. 18 สิงหาคม, 2553.
- อภิชาติ ผลเกิด วีไลกรณ์ ชนกน้ำซับ และกรรยา นำร่อง. ม.ป.ป. “การปลูกงา”, ๑. <http://www.doae.go.th/LIBRARY/html/detail/nga/index.htm>. 20 มีนาคม, 2553.
- Campbell, S. and et al. 2003. “Development of gamma (γ)-tocopherol as a colorectal cancer chemopreventive agent”, Critical Reviews in Oncology/Hematology. 47: 249-250.
- Carter, F. L., Cirino, V. O. and Allen, L. E. 1961. “Effect of processing on the composition of sesame seed and meal”, Journal of the American Oil Chemists' Society. 38: 148-150.
- Celestino, E. L., Iyer, M. and Roginski, H. 1997. “The effects of refrigerated storage of raw milk on the quality of whole milk powder stored for different periods”, International Dairy Journal. 7: 119-127.
- Chanamai, R. and McClements, D. J. 2002. “Comparison of gum arabic, modified starch, and whey protein isolate as emulsifiers: Influence of pH, CaCl_2 , and temperature”, Journal of Food Science. 67(1): 120-125.
- Choe, E. and Min, D. B. 2006. “Mechanism and factor for edible oil oxidation”, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5: 180-183.
- Choi, M. J. and et al. 2010. “Physical characteristics of fish oil encapsulated by β -cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion-diffusion method”, Food Chemistry. 119: 1694-1703.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Chronakis, I. S. 1988. "On the molecular characteristics, composition property, and structural functional mechanisms of maltodextrins : a review", Critical reviews in food science. 38: 599-637.
- Cooney, R. V. and et al. 2001. "Effect of dietary sesame seeds on plasma tocopherol levels", Nutrition and Cancer. 39: 66-71.
- Damodaran, S. 1996. "Amino acids, peptides and proteins", In Food Chemistry 3rd ed. New York: Marcel Dekker.
- Das, K. P. and Kinsella, J. E. 1986. "pH dependent emulsification of β -lactoglobulin", Journal of Dispersion Science and Technology. 10: 77-102.
- Demetriades, K., Coupland, J. N. and McClements, D. J. 1997. "Physical properties of whey protein stabilized emulsions as related to pH and NaCl", Journal of Food Science. 62(2): 342-347.
- Dickinson, E. and McClements, D. J. 1995. Advances in Food Colloids Glasgow. UK: Blakie.
- Dickinson, E. and Pawlowsky, K. 1997. "Effect of ι -carrageenan on flocculation, creaming, and rheology of a protein-stabilized emulsion", Journal of Agricultural & Food Chemistry. 45: 3799-3806.
- _____. 1998. "Influence of κ -carrageenan on the properties of a protein-stabilized emulsion", Food Hydrocolloids. 12: 417-423.
- Dybowska, B. E. 2008. "Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions", Journal of Food Engineering. 88: 507-513.
- Egan, H., Kirk, R. S. and Sawyer, R. 1981. Pearson's Chemical Analyses of Foods 8th. H. Egan, R. S. Kirk and R. Sawyer, ed. p.591. UK: Edition London.
- Frank, J. 2005. "Beyond vitamin E supplementation: An alternative strategy to improve vitamin E status", Journal of plant physiology. 162: 834-840.
- Friberg, S. E. 1997. Food Emulsions Food Science and Technology. New York: Marcel Dekker.
- Fuchs, M. and et al. 2006. "Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration", Journal of Food Engineering. 75: 27-35.
- Furia, T. E. 1972. Handbook of Food Additive 2nd. New York: AVI publishing.

ເອກສາຣ້ອງອິ່ງ (ຄ່ອ)

- Ghafoorunissa, Hemalatha, S. and Vishnu Vardhana Rao, M. 2004. "Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems", Molecular and Cellular Biochemistry. 262(1): 195-201.
- Gharsallaoui, A. and et al. 2010. "Utilisation of pectin coating to enhance spray-dry stability of pea protein-stabilised oil-in-water emulsions", Food Chemistry. 122: 447-454.
- Grain Processing Corporation. 1994. The Functional Edge : Maltodextrins and Corn syrup Solids. Iowa: Muscatine.
- Gu, Y. S., Decker, E. A. and McClements, D. J. 2004. "Influence of pH and ι -carrageenan concentration on physicochemical properties and stability of β -lactoglobulin-stabilized oil-in-water emulsions", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 3626-3632.
- _____. 2005a. "Influence of pH and carrageenan type on properties of β -lactoglobulin stabilized oil-in-water emulsions", Food Hydrocolloids. 19: 83-91.
- _____. 2005b. "Production and characterization of oil-in-water emulsions containing droplets stabilized by multilayer membranes consisting of β -lactoglobulin, ι -carrageenan and gelatin", Langmuir. 21: 5752-5760.
- _____. 2007. "Application of multi-component biopolymer layers to improve the freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions: β -lactoglobulin- ι -carrageenan-gelatin", Journal of Food Engineering. 80: 1246-1254.
- Gu, Y. S., Regnier, L. and McClements, D. J. 2005. "Influence of environmental stresses on stability of oil-in-water emulsions containing droplets stabilized by β -lactoglobulin- ι -carrageenan membranes", Journal of Colloid and Interface Science. 286: 551-558.
- Guzey, D. and McClements, D. J. 2006. "Influence of environmental stresses on o/w emulsions stabilized by β -lactoglobulin-pectin and β -lactoglobulin-pectin-chitosan membranes produced by the electrostatic layer-by-layer deposition technique", Food Hydrocolloids. 19: 209-220.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Harnsilawat, T., Pongsawatmanit, R. and McClements, D. J. 2006. "Stabilization of model beverage cloud emulsions using protein-polysaccharide electrostatic complexes formed at the oil-water interface", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 5540-5547.
- Hawken, P. and Rohe, F. 2004. "Vegetable Oils", The History of Vegetable Oil.
http://home.windstream.net/hughesnw/HealthDocs/vegetable_oil_history.htm.
 August, 2010.
- Hemalatha, S. and Ghafoorunissa. 2004. "Lignans and tocopherols in indian sesame cultivars", Journal of the American Oil Chemists' Society. 81(5): 467-470.
- Horne, D. S. 1998. "Casein interactions: casting light on the black boxes, the structure in dairy Products", Journal of Dairy Science. 81: 171-177.
- Huang, X., Kakuda, Y. and Cui, W. 2001. "Hydrocolloid in emulsion: particle size distribution and interfacial activity", Food hydrocolloid. 15: 533-542.
- Hunt, J.A. and Dalgleish, D.G. 1994. "Effect of pH on the stability and surface composition of emulsions made with whey protein isolate", Journal of Food Science. 42: 2131-2135.
- Jafari, S. M. and et al. 2008. "Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying", Food Research International. 41: 172-183.
- Jeng, K. C .G. and Hou, R. C. W. 2005. "Sesamin and sesamolin: Nature's Therapeutic Lignans", Current Enzyme Inhibition. 1: 11-20.
- Ji, S., Corredig, M. and Goff, H. D. 2008. "Aggregation of casein micelles and κ-carrageenan in reconstituted skim milk", Food Hydrocolloids. 22: 56-64.
- Kabalnov, A. 1998. "Thermodynamic and theoretical aspects of emulsions and their stability", Current Opinion in Colloid & Interface Science. 3: 270-275.
- Kamal-Eldin, A., Peterson, D. and Appelqvist, L. A. 1995. "Sesamin (a compound from sesame oil) Increases Tocopherol Levels in Rats Fed ad libitum", Lipids. 30(6): 499-503.
- Keogh, M. K., Laine, K. I. and O'Connor, J. F. 1996. "Rheology of sodium caseinate-carrageenan mixture", Journal of texture studies. 26(6): 635-652.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕອ)

- Kim, H. J., Decker, E. A. and McClements, D. J. 2002. "Impact of protein surface denaturation on droplet flocculation in hexadecane oil-in-water emulsions stabilized by β -lactoglobulin", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 7131-7137.
- Klaypradit, W. and Huang, Y. W. 2008. "Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic Atomizer", Food Science and Technology. 41: 1133–1139.
- Klinkesorn, U. and et al. 2004. "Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin", Food Research International. 37: 851-859.
- Klinkesorn, U. and et al. 2005a. "Encapsulation of emulsified tuna oil in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition", Food Hydrocolloids. 19: 1044-1053.
- _____. 2005b. "Stability of spray-dried tuna oil emulsions encapsulated with two-layered interfacial membranes", Food Research International. 53: 8365-8371.
- _____. 2006. "Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition", Food Research International. 39: 449-457.
- Kovacova, R., Synytsya, A. and Stetina, J. 2009. "Characterisation of whey proteins-pectin interaction in relation to emulsifying properties of whey proteins", Journal of Food Science. 27: 4-8.
- Kudo, N., Hols, G. and van Mil, P. J. J. M. 1990. "The insolubility index of moist skim milk powder: Influence of the temperature of the secondary drying air", Netherlands Milk and Dairy Journal. 44: 89-98.
- Kulmyrzaev, A. Chanamai, R. and McClements, D. J. 2000. "Influence of pH and CaCl_2 on the stability of dilute whey protein stabilized emulsions", Food Research International. 33: 15-20.
- Kulmyrzaev, A. A. and Schubert, H. 2004. "Influence of KCl on the physicochemical properties of whey protein stabilized emulsions", Food Hydrocolloids. 18: 13-19.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕອ)

- Lim, S. Y. and et al. 2008. "High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for improved body and texture of low fat ice cream", Journal of Dairy Science. 91: 1308-1316.
- Macrae, R., Robinson, R. K. and Sadler, M. J. 1993. Encyclopaedia of Food Science: Food Technology and Nutrition. London: Academic Press.
- Mandala, I.G. and Bayas, E. 2004. "Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions", Food Hydrocolloid. 18: 191-201.
- Marinova, K. G. and et al. 2009. "Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates", Food Hydrocolloids. 23: 1864-1876.
- Masson, G. and Jost, R. 1986. "A study of oil-in-water emulsions stabilized by whey proteins", Colloid & Polymer Science. 264(7): 631-638.
- Masters, K. 1991. Spray drying handbook 5th. New York: Wiley.
- McClements, D. J. 1999. Food emulsions: Principles, Practice and Techniques. Florida: CRC Press.
- _____. 2000. "Comments on viscosity enhancement and depletion flocculation by polysaccharides", Food Hydrocolloids. 14(2): 173-177.
- _____. 2004a. Food emulsions: Principles, Practice and Techniques. Florida: CRC Press.
- _____. 2004b. "Protein-stabilized emulsions", Current Opinion in Colloid & Interface Science. 9: 305-313.
- _____. 2005. Food emulsions: Principles, Practices, and Techniques handbook. New York: CRC Press.
- Moazzami, A. A., Andersson, R. E. and Kamal-Eldin, A. 2006. "HPLC analysis of sesaminol glucoside in sesame seeds", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 633-635.
- Modler, H.W. and Nakai, S. 1999. "Milk Processing", In Food Protein: Processing Application. p.1-75. New York: Wiley.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Mohamed, H. M. A. and Awatif, I. I. 1998. "The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant", Food Chemistry. 62(3): 271-273.
- Moreau, L. and et al. 2003. "Production and characterization of oil-in-water emulsions containing droplets stabilized by β -lactoglobulin-pectin membranes", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51: 6612-6617.
- Namiki, M. 1995. "The chemistry and physiological functions of sesame", Food Reviews International. 11(2): 281-329.
- Onsmaard, E. and et al. 2005 "Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by coconut skim milk proteins", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 5747-5753
- Pyka, A. and Sliwiok, J. 2001. "Chromatographic separation of tocopherols", Journal of Chromatography A. 935: 71-75.
- Rahman, M. S. 1995. Food properties handbook. New York: CRC Press.
- Rees, D. A. and Wight, N. J. 1969. "Molecular cohesion in plant cell walls. Methylation analysis of pectic polysaccharides from the cotyledons of white mustard", Biochemical Journal. 115: 431-439.
- Reiter, E., Jiang, Q. and Christen, S. 2007. "Anti-inflammatory properties of α -tocopherol and γ -tocopherol", Molecular Aspects of Medicine. 28: 668-691.
- Sangeun, L. 2007. Sesame Oil Increases Plasma γ -Tocopherol and Inhibits γ -Tocopherol Metabolism in Humans. Thesis Master of Science, Oregon State University.
- Shahidi, F. and et al. 1997. "Effect of processing on flavor precursor amino acids and volatiles of sesame paste (Tehina)", Journal of the American Oil Chemists' Society. 74: 667-678.
- Shaw, L. A., McClements, D. J. and Decker, E. A. 2007. "Spray-dried multilayered emulsions as a delivery method for ω -3 fatty acids into food systems", Food Chemistry. 55: 3112-3119.
- Sheu, T. Y. and Rosenberg, M. 1995. "Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey-protein and carbohydrate wall systems", Journal of Food Science. 60: 98-103.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- _____. 1998. "Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates", Journal of Food Science. 63: 491-494.
- Shittu, T. A. and Lawal, M. O. 2007. "Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages", Food Chemistry. 100: 91-98.
- Singh, H. and et al. 2002. "Process-induced changes in whey proteins during the manufacture of whey protein concentrates", International Dairy Journal. 12: 361-369.
- Sirato-Yasumoto, S. and et al. 2001. "Effect of sesame seeds rich in sesamin and sesamolin on fatty acid oxidation in rat liver", Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 2647-2651.
- Soliman, M. M., Kinoshita, S. and Yamanishi, T. 1975. "Aroma of roasted sesame seeds", Agricultural and Biological Chemistry. 39: 973-977.
- Štencl, J. 1999. "Water activity of skimmed milk powder in the temperature range of 20-45°C", Acta Veterinaria (Brno). 68: 209-215.
- Suja, K. P. and et al. 2004. "Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection", Food Chemistry. 84: 393-395.
- Surh, J., Decker, E. A. and McClements, D. J. 2006. "Influence of pH and pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions", Food Hydrocolloids. 20: 607-618.
- Surh, J., Ward, L. S. and McClements, D. J. 2006. "Ability of conventional and nutritionally-modified whey protein concentrates to stabilize oil-in-water emulsions", Food Research International. 39: 761-771.
- Swaisgood, H.E. 1996. "Characteristics of milk", In Food Chemistry. O.R. Fennema, ed. New York: Marcel Dekker.
- Turchiuli, C. and et al. 2005. "Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration", Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6: 29-35.
- van Mil, P. J. J. M. and Jans, J. A. 1991. "Storage stability of whole milk powder: Effects of process and storage conditions on product properties", Netherlands Milk and Dairy Journal. 45: 145-167.

ເອກສາຮ້ອງສິງ (ຕ່ອ)

- Wangsakan, A., Chinachoti, P. and McClements, D. J. 2003. "Effect of different dextrose equivalent of maltodextrin on the interactions with anionic surfactant in an isothermal titration calorimetry study", Journal of agricultural and food chemistry. 51(26): 7810-7814.
- Wikipedia. 2009. "Maltodextrin", <http://en.wikipedia.org/wiki/maltodextrin>. 12 May, 2012.
- Ye, A., Hemar, Y. and Singh, H. 2004. "Enhancement of coalescence by xanthan addition to oil-in-water emulsions formed with extensively hydrolysed whey proteins", Food Hydrocolloids. 18: 737-746.
- Zamora, R. and Hidalgo, F. J. 2005. "Coordinate contribution of lipid oxidation and maillard reaction to the nonenzymatic food browning", Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 45: 49-59.

ต้นฉบับไม่มีภาคผนวก



ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ นางสาวจินต์คุณ พุทธนิมนต์
ประวัติการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร)
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ.2552
- ผลงานทางวิชาการ 1. Jinsujee Putthanimon, Piruporn Jakchai and Ekasit Onsaard. Influence of pH and heat treatment on sesame oil emulsion stabilized by whey protein isolate-pectin membranes. Food Innovation Asia Conference 2010. BITECH Bangna, Bangkok, Thailand.
17 – 18 June, 2010.
2. Jinsujee Putthanimon, Paiboon Thammarutwasik, Jitra Singthong and Ekasit Onsaard. Properties and Stability of Sesame Oil Emulsion Containing Maltodextrin. The 12th ASEAN FOOD CONFERENCE 2011. BITECH Bangna, Bangkok, Thailand.
16 – 18 June, 2011.