

ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงและการใช้สแตร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ร่วมกับ
ไข่แดงที่ผ่านความร้อนสำหรับมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง



นายณัฐวี ธรรมเจษฎา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF HEAT ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF EGG YOLK AND UTILIZATION OF
OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE STARCH AND HEATED EGG YOLK FOR HEAT- AND
FREEZE-RESISTANT MAYONNAISE

Mr. Nutthawee Thamjedsada



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงและการใช้ สตาร์ชออกทิลิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ร่วมกับไข่แดงที่ผ่านความ ร้อนสำหรับมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง
โดย	นายณัฐวี ธรรมเจษฎา
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุุณศึกษิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวนิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภา คงเป็นสุข)

..... กรรมการ
(ดร.ตรีษ กวัคเพชญ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ เลิศวนวัฒนา)

ณัฐวี ธรรมเจษฎา : ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงและการใช้สตาร์ชออกทินิลซึกซินิกแอนไฮไดรด์ ร่วมกับไข่แดงที่ผ่านความร้อนสำหรับมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง (EFFECT OF HEAT ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF EGG YOLK AND UTILIZATION OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE STARCH AND HEATED EGG YOLK FOR HEAT- AND FREEZE-RESISTANT MAYONNAISE) อ.ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.พาสวดี ประทีปะเสน, อ.ที่ปรีกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงและการใช้สตาร์ชออกทินิลซึกซินิกแอนไฮไดรด์ (สตาร์ช OSA) ร่วมกับไข่แดงผ่านความร้อนเพื่อช่วยให้มายองเนสมีความเสถียรต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็ง โดยขั้นแรกเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงแล้วศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่ไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง โดยแปรอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนปัจจัยละ 3 ระดับได้แก่ 55, 60, 65 องศาเซลเซียส และ 3, 6, 9 นาที ตามลำดับ พบว่าไข่แดงสดมีองค์ประกอบในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก ดังนี้ ความชื้น 53.13 โปรตีน 14.73 ไขมัน 29.07 เถ้า 1.79 และคาร์โบไฮเดรต 1.28 อุณหภูมิและเวลาที่ให้สารละลายไข่แดงยิ่งเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดปรากฏ ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน และค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันสูงขึ้น แต่ค่าการละลายของโปรตีน ค่าแรงตึงระหว่างหน้า น้ำมันและน้ำลดลง ชั้นที่สองใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนในชั้นที่หนึ่งเป็นตัวกระทำอิมัลชันในมายองเนส ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนที่ให้ ที่มีต่อสมบัติ (ได้แก่ความหนืดปรากฏ ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร สมบัติการทนความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที การทนความร้อนในการอบแห้งเชิงความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง และการทนต่อการ แช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนส) และความเสถียรของมายองเนส พบว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที มีสมบัติดีกว่าและมีความเสถียรสูงกว่าการใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อนและได้รับความร้อนที่ภาวะอื่นๆ นอกจากนี้จากการประเมินทางสถิติพบว่าสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงที่ผ่านความร้อน ได้แก่ ความหนืดปรากฏ ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน สมบัติการละลายของโปรตีน คักซ์ซีตา และแรงตึงผิวระหว่างหน้า ยกเว้นค่าความเป็นกรดต่าง มีความสัมพันธ์กับความเสถียรของมายองเนส จากทุกสมบัติที่วิเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ชั้นที่สามนำไข่แดงที่ให้ความร้อนด้วยภาวะที่ทำให้มายองเนสเสถียรที่สุดจากผลที่ได้จากชั้นที่ 2 คือ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที มาศึกษาอิทธิพลของปริมาณไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส โดยแปรปริมาณการใช้ 5 ระดับ ได้แก่ร้อยละ 6, 8, 10, 12 และ 14 โดยน้ำหนัก พบว่าทุกระดับปริมาณการใช้ไข่แดงที่ให้ความร้อนให้สมบัติต่างๆ ดีกว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน ชั้นที่สี่วัดความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA และแรงตึงผิวระหว่างหน้า น้ำมันรำข้าวกับสารละลายสตาร์ช OSA ที่ความเข้มข้น 3 ระดับได้แก่ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ที่มีระดับแทนที่ของหมู่ OS ต่างกัน 2 ระดับคือร้อยละ 1.5 และ 3.0 พบว่าค่าความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ช OSA และระดับปริมาณของหมู่แทนที่ แต่ค่าแรงตึงระหว่างหน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากนั้นศึกษาผลของการใช้สตาร์ช OSA ทั้งสองชนิดเป็นสารให้ความคงตัวในมายองเนส โดยแปรปริมาณการใช้สตาร์ช OSA เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าภาวะที่ทำให้มายองเนสมีสมบัติดีกว่าและความเสถียรสูงกว่าภาวะอื่นๆ คือการใช้สตาร์ช OSA มีระดับปริมาณของหมู่แทนที่ร้อยละ 3.0 ด้วยปริมาณการใช้ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักเป็นสารให้ความคงตัวที่ร่วมกับสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที เป็นตัวกระทำอิมัลชัน ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA กับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง พบว่า สมบัติของสตาร์ช OSA ด้านความหนืดปรากฏมีความสัมพันธ์กับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งวิเคราะห์จากสมบัติการทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง ความหนืดปรากฏ ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร สมบัติการทนความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สมบัติการทนความร้อนในการอบแห้งเชิงความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง และสมบัติการทนต่อการแช่เยือกแข็ง- การละลายของมายองเนสที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับสมบัติค่าความคงตัวของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง ส่วนสมบัติของของสตาร์ช OSA ด้านค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าสัมพันธ์กับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็งทุกสมบัติที่วิเคราะห์ที่ระดับความ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาร่วม

5373932623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: EGG YOLK / HEATING / FUNCTIONAL PROPERTY / MAYONNAISE / HEAT-FREEZE RESISTANT / OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE STARCH

NUTTHAWEE THAMJEDSADA: EFFECT OF HEAT ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF EGG YOLK AND UTILIZATION OF OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE STARCH AND HEATED EGG YOLK FOR HEAT- AND FREEZE-RESISTANT MAYONNAISE. ADVISOR: ASST. PROF. PASAWADEE PRADIPASENA, Sc.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. CHIDPHONG PRADISTSUWANA, Ph.D., 108 pp.

This research was to study the effect of heat on functional properties of egg yolk and utilization of octenyl succinic anhydride starch (OSA starch) and heated egg yolk in order to increase heat-freeze resistant of mayonnaise. In the first step, the approximate analysis of egg yolk was studied. Then functional properties of the heated egg yolk dispersion at 55, 60 and 65°C for 3, 6 and 9 minute were determined. It was found that egg yolk had 53.13% moisture, 14.23% protein, 29.07% lipids, 1.79% ash and 1.28% carbohydrate. The higher temperature and heating time resulted in the higher apparent viscosity, emulsion capacity and emulsion stability index, but the lower protein solubility and interfacial tension. In the second step, mayonnaise was prepared using the heated egg yolk (in the first step). The properties (apparent viscosity, volume weighted mean diameter, heat stability at 100°C, 30 minute, baked stability in height and diameter, freeze-thaw stability) and stability of mayonnaise were determined. Mayonnaise emulsified with the heated egg yolk at 65°C for 9 minute gave the better properties and stability than the unheated egg yolk and the other heated egg yolks. It was also found that functional properties of the heated egg yolk (in terms of apparent viscosity, emulsion capacity, emulsion stability index, protein solubility, zeta potential and interfacial tension, except pH) had a correlation to mayonnaise stability (all properties) at the level 99% ($p \leq 0.01$). The third step was study of the effect of concentration (6, 8, 10, 12, and 14% w/w) of heated egg yolk dispersion, which gave the best results in the second step, on properties and stability mayonnaise. The results showed that mayonnaise emulsified with all concentration of the heated egg yolk dispersion exhibited the better properties than mayonnaise emulsified with an unheated egg yolk. In the fourth step, the apparent viscosity of OSA starch and interfacial tension between rice bran oil and OSA starch were studied at different starch concentration (1, 2, and 3% w/w) and different degree of substitution (DS of OS group of 1.5 and 3.0). It was found that apparent viscosity of OSA starch increased, along with starch concentration and DS, but the interfacial tension was found to be decreased significant difference ($p \leq 0.05$). Then with the heated egg yolk (65°C for 9 minute) used as emulsifier and OSA starches used as stabilizer, the effects concentration (1.0, 1.5, 2.0, and 2.5% w/w) and DS of OS group of OSA starches on properties and stability of mayonnaise were investigated. The best properties and stability of mayonnaise were obtained by using 2.5% w/w OSA starch with 3.0% OS group. In the final step, the correlations between properties of the heated egg yolk and heat-freeze resistant of mayonnaise as well as the correlations between properties of OSA starch and heat-and-freeze stability of mayonnaise. The results showed that the apparent viscosity of OSA starch solution had a correlation to mayonnaise stability (in terms of apparent viscosity, volume weighted mean diameter, heat stability (100°C, 30 minute), baked stability in height and diameter, and freeze-thaw stability, except emulsion stability) at the level 99% ($p \leq 0.01$). The interfacial tension of OSA starch had a correlation to mayonnaise stability for all properties at the level 99% ($p \leq 0.01$).

Department: Food Technology

Field of Study: Food Technology

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข อาจารย์ ดร. ดริช กวักเพฑูร์ย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาตรีบัณฑิต

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสถานที่ รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ระดับบัณฑิตศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ มูลนิธิหวังหลี ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนการศึกษาและ บริษัท สยามมอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด สำหรับอุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือและสถานที่วิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรวัฒน์ เลิศวนวัฒนา ผู้ที่เป็นทั้งหัวหน้าในสถานที่ทำงานและกรุณาให้เกียรติและสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ คุณงามความดีใดๆ ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบให้กับ บิดา มารดา คุณอาสุมานี คุณป้ายับปียิน ตลอดจนจนครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้และประสบการณ์จนทำให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในชีวิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มายองเนส.....	4
2.2 การเตรียมมายองเนสและกลไกการเกิดอิมัลชัน.....	8
2.3 ผลของความร้อนต่อสมบัติของไข่แดงและการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของอิมัลชันแบบ น้ำมันในน้ำ.....	10
2.4 ผลของเกลือ น้ำตาลและน้ำส้มสายชูต่อสมบัติของไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อนและลักษณะ ของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ.....	11
2.5 ผลิตกัณฑ์มายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง.....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติเชิง หน้าที่ของไข่แดงรวมทั้งประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง.....	16
3.2 ศึกษาผลของการใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติ (Property) และความเสถียร (Stability) ของมายองเนส.....	20
3.3 ศึกษาผลของปริมาณไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติและความเสถียรของ มายองเนส.....	25

3.4	ศึกษาสมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าและความหนืดปรากฏของสตาร์ชตัดแปร Octenyl Succinic Anhydride Starch (OSA starch) ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน.....	26
3.5	ศึกษาผลของระดับของหมู่แทนที่และปริมาณของสตาร์ชตัดแปร OSA ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง	27
3.6	ประเมินทางสถิติเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย	28
บทที่ 4	ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
4.1	องค์ประกอบทางเคมีและผลการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดง.....	29
4.2	ศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง	36
4.3	ผลของปริมาณสารละลายไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส	49
4.4	สมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าและความหนืดปรากฏของสตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (OSA starch) ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน	60
4.5	ผลของระดับการแทนที่และปริมาณ (OSA starch) ต่อสมบัติ ความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชตัดแปร OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่แข็ง	62
4.6	ประเมินทางสถิติเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย	75
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	77
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	77
5.2	ข้อเสนอแนะ	78
	รายการอ้างอิง	79
	ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	85
	ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความแปรปรวน	87

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลิตภัณฑ์มายองเนสทางการค้า.....	106
ภาคผนวก ง	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	108



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่พบในไข่แดง 100 กรัม ที่มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 51.8 โดยน้ำหนัก..... 6
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบของไข่แดง..... 7
ตารางที่ 3.1	สูตรการเตรียมมายองเนส..... 21
ตารางที่ 4.1	อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อค่าความหนืดปรากฏ ค่าการละลายของ โปรตีน ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน, ค่าดัชนีความเสถียรของ อิมัลชันของ สารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนเทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน 31
ตารางที่ 4.2	อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าศักย์ซีตา ค่าแรงดึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำของสารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนเทียบกับ สารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน..... 34
ตารางที่ 4.3	อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อสมบัติของมายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ย..... 37
ตารางที่ 4.4	อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของ มายองเนส (การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่ คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ) การทนต่อการแช่เยือก แข็ง-การละลาย)..... 41
ตารางที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของ มายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง 48
ตารางที่ 4.6	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนต่อสมบัติของ มายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ย แบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร) เทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน 50
ตารางที่ 4.7	อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนต่อสมบัติ ของมายองเนส (การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูง ที่คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ) การทนต่อการแช่เยือก แข็ง-การละลาย)..... 55
ตารางที่ 4.8	ค่าความหนืดปรากฏ ค่าแรงดึงระหว่างผิวหน้าของสารละลายสตาร์ช OSA..... 61

ตารางที่ 4.9	อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ขนาดอนุภาคน้ำมัน เกลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย).....	64
ตารางที่ 4.10	อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายองเนส (การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (คำนวณจากความสูงที่คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังอบ) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and thaw stability))	68
ตารางที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่.....	74
ตารางที่ ข.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	87
ตารางที่ ข.2	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดง	87
ตารางที่ ข.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการละลายของโปรตีนของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	87
ตารางที่ ข.4	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าการละลายโปรตีนของสารละลายไข่แดง.....	88
ตารางที่ ข.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	88
ตารางที่ ข.6	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันของสารละลายไข่แดง	88
ตารางที่ ข.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	88
ตารางที่ ข.8	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดง	89
ตารางที่ ข.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	89

ตารางที่ ข.10	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายไข่แดง	89
ตารางที่ ข.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าศักย์ซีตาของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	89
ตารางที่ ข.12	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าศักย์ซีตาของสารละลายไข่แดง	90
ตารางที่ ข.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	90
ตารางที่ ข.14	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าของสารละลายไข่แดง	90
ตารางที่ ข. 15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆมาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	90
ตารางที่ ข.16	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	91
ตารางที่ ข.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	91
ตารางที่ ข.18	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าความคงตัวของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	91
ตารางที่ ข.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	92
ตารางที่ ข.20	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	92

- ตารางที่ ข.21** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส 92
- ตารางที่ ข.22** การวิเคราะห์หัตถิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน 93
- ตารางที่ ข.23** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส 93
- ตารางที่ ข.24** การวิเคราะห์หัตถิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน 93
- ตารางที่ ข.25** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส 94
- ตารางที่ ข.26** การวิเคราะห์หัตถิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที)ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน 94
- ตารางที่ ข.27** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส 94
- ตารางที่ ข.28** การวิเคราะห์หัตถิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บ

- มายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วันของค่าความหนืดปรากฏ
ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน..... 95
- ตารางที่ ข.29** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้
สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำ
อิมัลชันในสูตรมายองเนส 95
- ตารางที่ ข.30** การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่
สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าความหนืด
ปรากฏของ มายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน 95
- ตารางที่ ข.31** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลาย
ไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตร
มายองเนส..... 96
- ตารางที่ ข.32** การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่
สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าความคง
ตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน..... 96
- ตารางที่ ข.33** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดย
ปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณ
ต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส..... 96
- ตารางที่ ข.34** การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่
สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าขนาด
อนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลาย
ไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน..... 97
- ตารางที่ ข.35** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100
องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความ
ร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส 97
- ตารางที่ ข.36** การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่
สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทน
ความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของ
มายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน..... 97

ตารางที่ ข.37	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	98
ตารางที่ ข.38	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน.....	98
ตารางที่ ข.39	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	98
ตารางที่ ข.40	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	99
ตารางที่ ข.41	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส	99
ตารางที่ ข.42	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	99
ตารางที่ ข.43	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน	100
ตารางที่ ข.44	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA.....	100

ตารางที่ ข.45	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงดึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าวของสารละลายสตาร์ช OSA ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน.....	100
ตารางที่ ข.46	การวิเคราะห์หีทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าแรงดึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าวของสารละลายสตาร์ช OSA.....	100
ตารางที่ ข.47	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส	101
ตารางที่ ข.48	การวิเคราะห์หีทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	101
ตารางที่ ข.49	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส	101
ตารางที่ ข.50	การวิเคราะห์หีทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	102
ตารางที่ ข.51	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส	102
ตารางที่ ข.52	การวิเคราะห์หีทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน.....	102
ตารางที่ ข.53	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส .	103

ตารางที่ ข.54	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	103
ตารางที่ ข.55	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส	103
ตารางที่ ข.56	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	104
ตารางที่ ข.57	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส	104
ตารางที่ ข.58	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	104
ตารางที่ ข.59	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย	105
ตารางที่ ข.60	การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน	105
ตารางที่ ค.1	ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างมายองเนสทางการค้าที่จำหน่ายในประเทศไทย	106
ตารางที่ ค.2	ความหนืดปรากฏของตัวอย่างมายองเนสทางการค้าที่จำหน่ายในประเทศไทย ...	106

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างสตาร์ชกับออกทีนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์และโครงสร้างของ OSA starch.....	8
รูปที่ 4.1	อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อความคงตัวของมายองเนสก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง	39
รูปที่ 4.2	อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ให้แก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของก้อนมายองเนสก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที.....	43
รูปที่ 4.3	อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของมายองเนสก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน	46
รูปที่ 4.4	อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนต่อสมบัติความคงตัวของมายองเนสก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง	52
รูปที่ 4.5	อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนต่อสมบัติของก้อนมายองเนสก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที	57
รูปที่ 4.6	อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อนและให้ความร้อน (65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที) ต่อสมบัติของมายองเนสก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลาย เมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน.....	59
รูปที่ 4.7	อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อความคงตัวของมายองเนสก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง	66
รูปที่ 4.8	อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของก้อนมายองเนสก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที.....	70
รูปที่ 4.9	อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายองเนสก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน	72

รูปที่ ง.1 ภาพ confocal laser scanning microscope แสดงชั้นฟิล์มของโปรตีนในระบบอิมัลชัน rice bran oil-in-water ที่झेไขแฉงที่ไมไ่และไ่รับควมร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชัน 107



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์มายองเนสนอกจากจะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในครีมสลัด หรือ สเปรด สำหรับขนมปังที่มีกนิยมบริโภคกันโดยทั่วไปแล้ว ปัจจุบันนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลายรูปแบบ เช่น นำไปใช้แต่งหน้าขนมปังอบหรือเป็นไส้ของอาหารชุบแป้งทอด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปผ่านความร้อนก่อนถึงมือผู้บริโภค นอกจากนี้ยังนำไปทำเป็นครีมปรุงรสใช้กับข้าวปั้นที่มีมีการนำไปแช่เยือกแข็งก่อนที่จะส่งไปยังแหล่งจำหน่ายสู่ผู้บริโภค มายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่มีปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทั้งของไทยและต่างประเทศจะต้องมีไข่แดงเป็นองค์ประกอบ โดยไข่แดงซึ่งมีทั้งโปรตีนและเลซิตินนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) ของผลิตภัณฑ์มายองเนส ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการใช้ความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการแยกชั้นของวัฏภาคน้ำมันออกจากวัฏภาคน้ำ ซึ่งจะทำให้เสียลักษณะของผลิตภัณฑ์ ความต้องการต่อสมบัติทนความร้อนของมายองเนสนั้นไม่เฉพาะสำหรับเพื่อการฆ่าเชื้อเท่านั้นแต่ยังเป็นสมบัติที่จำเป็นสำหรับมายองเนสที่นำไปใช้กับขนมอบหรืออาหารชุบแป้งทอดซึ่งเป็นอาหารสโตร์ที่จำเป็นต้องได้รับความนิยมนึ่งซึ่งจะมีการแต่งหน้าหรือใส่ไส้ด้วยมายองเนสก่อนการนำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไปอบหรือทอดเพื่อให้เกิดกลิ่นรส ลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ต้องการ นอกจากนี้มายองเนสที่มีทั้งสมบัติทนการแช่เยือกแข็งและทนความร้อนก็ยังเป็นที่ต้องการของตลาดอันเนื่องมาจากการขยายตัวของตลาดอาหารพร้อมบริโภคหรือกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ผู้บริโภคนำไปอุ่นหรือให้ความร้อนก่อนบริโภค

ในไข่แดงมีสารที่เรียกว่าเลซิตินซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ phospholipid ซึ่งมีสมบัติเป็น surface active agent ดังนั้นไข่แดงจึงเป็นตัวกระทำอิมัลชันธรรมชาติ (natural emulsifier) ที่ถูกนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์อิมัลชันโดยเฉพาะอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) เช่น น้ำสลัดและมายองเนส ปัจจุบันการใช้ไข่แดงสำหรับผลิตน้ำสลัดและมายองเนสในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องพาสเจอไรซ์ไข่แดงในช่วง 60 - 68 องศาเซลเซียส นาน 3.5 - 4.5 นาที เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อโรค โดยเฉพาะซาลโมเนลลา ถึงแม้ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่โปรตีนในไข่แดงได้แก่ low density lipoproteins และ livetin ซึ่งอยู่ในส่วน plasma เสียสภาพทางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสก็ตาม (Snyder, 1998; Yamamoto และคณะ, 1996) แต่อย่างไรก็ตาม Snyder (1998) และ Denmat และคณะ (1999) ได้รายงานว่าการพาสเจอไรซ์ที่ช่วงอุณหภูมิและเวลานี้ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพความเป็นตัวกระทำอิมัลชันของเลซิตินและโปรตีนไข่แดงอื่นๆ นอกจากนี้

Cotterill และคณะ (1976) ยังได้พบว่า ไข่แดงที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีความสามารถเป็นตัวกระทำอิมัลชันดีกว่าไข่แดงที่ไม่ได้พาสเจอไรซ์ เนื่องจากโปรตีนในไข่แดงได้คลายตัวและเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาเมื่อได้รับความร้อน และหมู่ที่ไม่ชอบน้ำเหล่านี้ชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันทำให้มี surface activity สูงขึ้น ดังนั้นเมื่ออยู่ในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำจึงเกิดเป็นชั้นฟิล์มโปรตีนล้อมรอบอนุภาคน้ำมันลดแรงตึงระหว่างหน้า (interfacial tension) ระหว่างน้ำมันและน้ำได้มากกว่าจึงป้องกัน coalescence ของอนุภาคน้ำมัน ส่งผลให้เพิ่มเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Denmat และคณะ, 1999; Hattat และคณะ, 1996; Mustapha และคณะ, 2012; Tsutsui, 1988) และมีงานวิจัยรายงานไว้ว่า เมื่อใช้ไข่แดงส่วนที่ตกตะกอน (egg yolk granules) และ ไข่แดงส่วนที่เป็นของเหลวใส (egg yolk plasma) ที่ได้รับความร้อน (65-75 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) เป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) ช่วยลดร้อยละของชั้นครีม (% creaming) ของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำดีกว่าการใช้ไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน (Ibanoglu และ Ercelebi, 2007; Kato และคณะ, 1983; Manoi และ Rizvi, 2009; Zayas, 1997)

นอกจากการนำไข่แดงมาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันเพื่อลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำ ในผลิตภัณฑ์มายองเนสแล้วยังมีงานวิจัยที่รายงานการประยุกต์ใช้สตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (OSA Starch) ซึ่งสตาร์ชตัดแปรชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าของน้ำกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนคือ Hexadecane ได้ (Shogren และ Biresaw, 2007) และการใช้สตาร์ช OSA ในปริมาณสูงตั้งแต่ร้อยละ 8-16 ช่วยลดขนาดอนุภาคน้ำมันและลดการแยกชั้นของอิมัลชันและเพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน (Dokic และคณะ, 2012)

งานวิจัยเกี่ยวกับการนำไข่แดงที่ผ่านความร้อนมาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในผลิตภัณฑ์มายองเนสมีจำกัด โดยส่วนมากเป็นการรายงานการใช้ไข่แดงสดอย่างเดียวหรือใช้ไข่แดงร่วมกับสารให้ความคงตัวชนิดอื่น ดังมีรายงานและสิทธิบัตรต่างๆดังต่อไปนี้ Colarow และคณะ (1996) ใช้ fluid lysolecithin เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับเพคตินซึ่งให้อิมัลชันที่สามารถทนต่อการให้ความร้อนด้วย Microwave ที่กำลัง 600 วัตต์ นาน 120 วินาที ต่อมา Campbell และ Trueck (1998) ใช้ตัวทำอิมัลชันที่ใช้ไข่แดงร่วมกับ Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM) ร่วมกับโปรตีน (skim milk หรือ caseinate หรือ soya protein) พบว่าอิมัลชันทนความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปี 1995 เริ่มมีการพัฒนามายองเนสที่ทนได้ทั้งความร้อนและการแช่เยือกแข็ง โดย Yoshiaki และคณะ (1995) โดยใช้เคซีนผสมกับ Arabic gum และ Polyglycerol fatty acid ester พบว่ารูปร่างของมายองเนสที่ได้ยังคงตัวหลังการแช่เยือกแข็งที่ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน หรือหลังการอบที่ 210 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และในปี 1996 Fumiko และคณะ (1996) มีการใช้โปรตีน Lactalbumin ร่วมกับไข่แดงตัดแปรด้วย

เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin modified egg yolk) ทำให้มายองเนสมีความคงตัวดีทั้งหลังการแช่เยือกแข็งที่ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน และหลัง sterilization ที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งงานวิจัยและพัฒนาข้างต้นเหล่านี้ส่วนมากเป็นงานวิจัยที่นำไปจดสิทธิบัตร ซึ่งสถานะที่รายงานอาจกว้างกว่าความเป็นจริงและข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่รายงานก็จำกัด เนื่องจากข้อมูลที่ได้รวบรวมมาข้างต้นทำให้สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าสมบัติของตัวกระทำอิมัลชันและสารให้ความคงตัวจะส่งผลกระทบต่อความเสถียรของอิมัลชันที่มีต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติของไข่แดงซึ่งเป็นตัวกระทำอิมัลชันในระบบอิมัลชันจำลอง และศึกษาการใช้ไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆในมายองเนสที่มีต่อสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะสมบัติทนความร้อนและการแช่เยือกแข็งของมายองเนสที่ได้ พร้อมทั้งศึกษาการใช้สารให้ความคงตัวได้แก่สตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ ร่วมกับไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนต่อสมบัติความเสถียรต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็งของมายองเนส โดยสตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ที่เลือกใช้เป็นสตาร์ชที่ตัดแปรจากสตาร์ชมันสำปะหลังที่มีระดับการแทนที่ต่างกัน 2 ชนิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของ

1. อุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่ไข่แดงต่อสมบัติการเป็นตัวกระทำอิมัลชันของไข่แดง
2. อุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่ไข่แดงต่อสมบัติ ความเสถียรต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็งของมายองเนส
3. ปริมาณไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติ ความเสถียรต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็งของมายองเนส
4. ระดับการแทนที่และปริมาณสตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (OCTENYL SUCCINIC ANHYDRIDE STARCH: OSA) ต่อสมบัติ ความเสถียรต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็งของมายองเนสที่มีไข่แดงที่ได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชัน
5. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็งและความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA กับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มายองเนส

มายองเนส(Mayonnaise) คือ อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยมีอนุภาคน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำซึ่งเป็นส่วนวัฏภาคต่อเนื่อง ส่วนผสมของมายองเนส ประกอบด้วย น้ำมันปรีโกลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 น้ำไม่เกินร้อยละ 30 โดยมีไข่แดงทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลว ผงหรือไข่แห้งแข็งและมีสารประกอบที่ให้รสชาติคือ น้ำส้มสายชูไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2.5 เกลือร้อยละ1-2 น้ำตาลร้อยละ 1-2.5 ผงมีสตาร์ด เครื่องเทศ นอกจากนี้ยังมีสารให้ความคงตัว (stabilizer) สารแต่งกลิ่นรส สารจับโลหะ (sequestrant) เช่น Ethylenediaminetetraacetate (EDTA) เพื่อกำจัดโลหะที่ปนเปื้อน เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน (Codex Standard, 1989; Food and Drug Administration, 2003; Weiss, 1983)

2.1.1 น้ำมัน

น้ำมันเป็นวัตถุดิบสำคัญซึ่งทำให้มายองเนสข้นหนืดและช่วยให้มีความรู้สึกในปากลิ้น น้ำมันที่ใช้เตรียมมายองเนสได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันฝ้าย น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันรำข้าว ที่ผ่านกระบวนการวินเทอร์ไรเซชัน (winterization) ซึ่งเป็นกรรมวิธีแยกไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่หลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงออกจากน้ำมันโดยการแช่เย็น ทำให้ได้น้ำมันที่ใส ไม่เกิดปัญหาการแตกตัวของมายองเนสเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 5-10 องศาเซลเซียส (Weiss, 1970) ปัจจุบันน้ำมันที่นิยมนำมาผลิตมายองเนสคือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน เนื่องจากมีบทบาทลดคอเลสเตอรอลประเภทไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำในเลือด (Low Density Lipoprotein Cholesterol: LDL-C) นอกจากนี้มีน้ำมันสองชนิดข้างต้น น้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันที่น่าสนใจเนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีสารสเตอรอลที่เรียกว่า โอไรซานอล (Oryzanol) รวมทั้งโทโคฟีรอล (Tocopherol) และโทโคไตรอินอลส์ (Tocotrienols) ซึ่งมีสมบัติต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Ghosh, 2007) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้น้ำมันรำข้าว ซึ่งนอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการแล้วยังเป็นผลผลิตภายในประเทศ

2.1.2 ไข่แดง

ไข่แดงเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งประมาณร้อยละ 51 โดยองค์ประกอบหลักในไข่แดงคือไขมันร้อยละ 31 และโปรตีนร้อยละ 16 โดยไขมันแยกออกเป็น Triglyceride ร้อยละ 19.9, Phosphatidylcholine ร้อยละ 8, Phosphatidylethanolamine ร้อยละ 1.2, Lysophosphatidylcholine ร้อยละ 0.2, cholesterol ร้อยละ 1.2, Sphingomyelin ร้อยละ 0.2 ซึ่งไขมันทั้งหมดอยู่ในรูป protein-lipid complexes โดยแยกออกเป็น Low-Density Lipoproteins (LDLs) และ High-Density Lipoproteins (HDLs) ส่วนโปรตีนแยกออกเป็น Apolipoproteins in LDLs ร้อยละ 6, Lipoprotein in HDLs ร้อยละ 6.4, Livetins ซึ่งเป็น Glycoprotein ร้อยละ 2.1% และ Phosvitin ซึ่งเป็น Phosphoprotein ร้อยละ 2.1 (Anton, 2013; Mine และ Zhang, 2013) โดยชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่พบในไข่แดงแสดงดังตารางที่ 2.1 เมื่อนำไข่แดงไปแยกองค์ประกอบต่างๆ ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงสามารถแยกไข่แดงออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของเหลวใส (plasma) ร้อยละ 78 และส่วนที่ตกตะกอน (granule) พบประมาณร้อยละ 22 โดยองค์ประกอบต่างๆ ภายใน plasma และ granule แสดงดังตารางที่ 2.2 ไข่แดงมี LDLs ร้อยละ 34 และ HDLs ร้อยละ 8 ซึ่งในไข่แดงมีสารที่เรียกว่า Lecithin ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ Phospholipid โดยประกอบด้วย Phosphatidylcholine, Phosphatidylethanolamine, Lysophosphatidylcholine ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีโครงสร้างเป็น amphiphile ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) แยกออกจากกันอย่างชัดเจนทำให้มีสมบัติเป็น surface active agent (Palacios และ Wang, 2005) ดังนั้น จึงนำไข่แดงมาใช้เป็น natural emulsifier ในผลิตภัณฑ์อิมัลชันโดยเฉพาะอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ เช่น น้ำสลัดและมายองเนส กลไกการทำงานของสารที่มีโครงสร้างเป็น amphiphile เกิดจากโมเลกุลของสารนี้ชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันโดยจัดเรียงส่วนที่เป็น hydrophobic group ของโมเลกุลอยู่ในส่วนของน้ำมันและส่วนที่เป็น hydrophilic group ของโมเลกุลอยู่ในส่วนของน้ำ โดยทำให้ surface activity สูงขึ้น ดังนั้นเมื่ออยู่ในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำจึงเกิดเป็นชั้นฟิล์มล้อมรอบอนุภาคน้ำมันลด interfacial tension ระหว่างน้ำมันและน้ำ ได้มากกว่าจึงป้องกัน coalescence ของอนุภาคน้ำมัน ส่งผลให้เพิ่มเสถียรภาพของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Denmat และคณะ, 1999; McClenments และ Decker, 2008; Mustapha และคณะ, 2012; Tsutsui, 1988; Yamamoto และคณะ, 1996)

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่พบในไข่แดง 100 กรัม ที่มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 51.8 โดยน้ำหนัก

Type		Amino acid	%
Hydrophilic amino acid	Positive charge	Histidine	0.41
		Lysine	1.17
	Negative charge	Glutamic acid	1.94
	Uncharged	Cystine	0.27
		Serine	1.36
		Threonine	0.85
		Tyrosine	0.73
Hydrophobic amino acid		Glycine	0.49
		Isoleucine	0.87
		Leucine	1.39
		Methionine	0.39
		Phenylalanine	0.69
		Proline	0.65
		Tryptophan	0.24
		Valine	0.96

ที่มา: Stadelman และ Cotterill (1995)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของไข่แดง

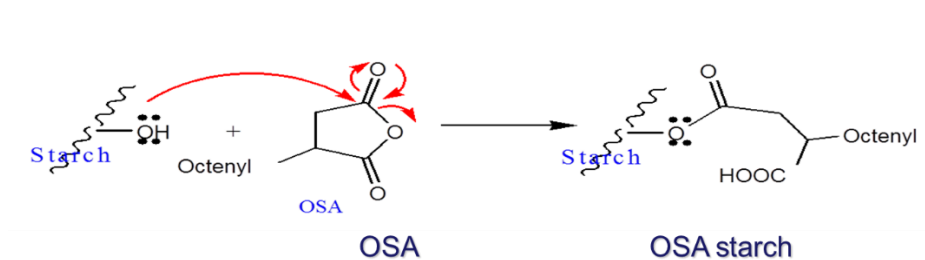
ไข่แดง		ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ) (100)
Plasma		(78)
	LDLs	34
	Livetins	5
	Others	1
Granule		(22)
	HDLs	8
	Phosvitin	2
	LDLs	1

ที่มา: Huopalahti และคณะ (2007)

2.1.3 สารให้ความคงตัว

นอกจากตัวกระทำอิมัลชันซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ สารให้ความคงตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเช่นกันเพื่อใช้เพื่อเพิ่มความข้นหนืด ความเสถียร ป้องกันการแยกชั้นของวฏภาคน้ำกับน้ำมัน ได้แก่สารประเภทโปรตีน เช่น โปรตีนหางนม เคซีน โปรตีนถั่วเหลือง หรือสารประเภทคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ กัม แป้งดิบ สตาร์ชตัดแปร (Weiss, 1983) งานวิจัยนี้เลือกใช้สตาร์ชตัดแปรชนิดออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (OSA Starch) เป็นสารให้ความคงตัว

OSA Starch เป็นสตาร์ชที่เกิดจากกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Octenyl Succinic Anhydride: OSA) ในสภาวะต่าง โดยการแทนที่ของกลุ่มของออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ของโมเลกุลของกลูโคส ณ คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 โดยปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดขึ้นบริเวณอสัณฐานของสตาร์ช (amorphous) จากโครงสร้างของ OSA starch ดังแสดงในรูปที่ 2.1 บ่งว่า OSA starch เป็นสารประเภท amphiphile คือมีทั้งส่วนที่เป็น hydrophobic และ hydrophilic (Shogren และ Biresaw, 2007) ซึ่งทำให้มีสมบัติเป็นตัวทำอิมัลชันได้ด้วยนอกเหนือจากการเป็นสารให้ความคงตัว OSA starch จึงนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ โดยที่ Joint FAO/WHO Expert Committee และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535) อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 3



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างสตาร์ชกับออกทีนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์และโครงสร้างของ OSA starch

2.2 การเตรียมมายองเนสและกลไกการเกิดอิมัลชัน

วิธีการเตรียมมายองเนสไว้ 3 แบบ (Hamilton และ Bhati, 1980; Weiss, 1970) คือ

แบบที่ 1 ผสมกรดกับไข่แดงและเครื่องเทศให้เข้ากันแล้วค่อยๆ ใส่น้ำมันและตีผสมเข้าด้วยกัน วิธีการนี้ทำให้เกิดอิมัลชันอย่างรวดเร็ว แต่อุภาคน้ำมันมีขนาดใหญ่เนื่องจากกรดทำให้น้ำมันรวมตัวกัน

แบบที่ 2 เตรียมไข่ผสมกับส่วนผสมแห้งเข้าด้วยกันแล้วสลับเทส่วนผสมที่เป็นกรดกับน้ำมันลงในส่วนผสมข้างต้น มายองเนสที่ได้มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหลว

แบบที่ 3 ตีผสมน้ำมันกับไข่แดงและส่วนผสมอื่นๆ แล้วเติมกรดในขั้นตอนสุดท้าย ทำให้ได้มายองเนสมีเนื้อสัมผัสข้นหนืดมากกว่า 2 แบบแรก

กลไกการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์มายองเนส (Kare และ Stig, 1990)

การทำไข่ของเหลว 2 ชนิดซึ่งไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในกรณีมายองเนส ของเหลวสองชนิด ได้แก่ น้ำมันกับน้ำรวมตัวโดยที่ของเหลวชนิดหนึ่ง (น้ำมัน) กระจายเป็นอนุภาคเล็กๆ ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง (น้ำ) เกิดเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ อาศัยกลไก 2 อย่างคือ

1. การกระจายตัวของอนุภาคขนาดเล็ก (dispersion of droplets)

เมื่อนำน้ำมันและน้ำมาเขย่าให้เข้ากัน ของผสมทั้งสองสามารถรวมตัวเข้ากันได้ชั่วคราว เนื่องจากการเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันและน้ำ แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเกิดการแยกชั้นของน้ำมันและน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำ (interfacial tension) จะทำให้อนุภาคของน้ำมันหรือน้ำรวมตัวเข้าหากันและแยกตัวออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่งเพื่อทำให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด

2. การทำให้อนุภาคขนาดเล็กมีความคงตัว (stabilization of droplets)

สามารถทำได้โดยการเติมตัวกระทำอิมัลชัน เพื่อลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำ โดยตัวกระทำอิมัลชันสามารถลดแรงตึงผิวข้างต้นโดยเคลื่อนที่ไปบริเวณรอยต่อของอนุภาคน้ำมันและน้ำ รวมทั้งทำให้เกิดฟิล์มล้อมรอบอนุภาคน้ำมันช่วยป้องกันการหลอมรวม (coalescence)

อย่างไรก็ตามมายองเนสจัดเป็นระบบอิมัลชันที่ไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิก เพราะระบบต้องการพลังงานอิสระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำมันและน้ำ โดยเมื่อเวลาผ่านไปอิมัลชันเกิดการแยกชั้นน้ำมันด้านบนซึ่งมีความหนาแน่นต่ำและชั้นน้ำด้านล่างซึ่งมีความหนาแน่นสูง (Coupland และ McClements, 1996)

ความไม่คงตัวของมายองเนสเกิดขึ้นโดยในขั้นแรกเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคน้ำมันในลักษณะที่เรียกว่า aggregation หรือ flocculation ต่อมาฟิล์มที่อยู่รอบอนุภาคน้ำมันเสียสภาพ ทำให้อนุภาครวมตัวกันเป็นอนุภาคเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่เรียกว่า coalescence และสุดท้ายอนุภาคขนาดน้ำมันขนาดใหญ่รวมตัวกันแยกตัวจากวัฏภาคต่อเนื่อง (น้ำ) เรียกว่า phase separation (McClements และ Decker, 2008)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของมายองเนสขึ้นกับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อม เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ (ความร้อน ความเย็น) การกวน และสภาวะการเก็บ

1. อุณหภูมิสูง ความร้อนสูงทำลายเสถียรภาพของมายองเนส (Sherman, 1968)

2. อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เมื่อนำมายองเนสแช่แข็ง เกิดปรากฏการณ์แยกชั้นน้ำมันเมื่อนำมายองเนสมาละลายน้ำแข็ง เนื่องจากน้ำบางส่วนในมายองเนสเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งและทำให้อนุภาคน้ำมันรวมกัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของอิมัลชันในระบบสูงขึ้นประจุนอนุภาคน้ำมันลดลง น้ำบางส่วนจึงมีความเย็นตัวยิ่งยวดสูงขึ้น เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่จะผลึกอนุภาคน้ำมันให้มีลักษณะตามลักษณะผลึกน้ำแข็ง รวมทั้งทำให้ตัวกระทำอิมัลชันหลุดออกจากผิวอนุภาคน้ำมัน ส่งผลให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันและแยกชั้นน้ำมันให้เห็นเมื่อมีการละลายน้ำแข็ง (Ghosh และ Coupland, 2008; Sherman, 1968)

การป้องกันความไม่คงตัวของมายองเนส (McClements, 1999)

1. เติมพอลิแซคคาไรด์หรือโปรตีนเพื่อเพิ่มความข้นหนืดให้วัฏภาคต่อเนื่องทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่มาเจอกันช้า ป้องกันการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันและเพิ่มความคงตัวของมายองเนส
2. ปรับลดขนาดอนุภาคน้ำมันให้มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ
3. ทำให้ฟิล์มของตัวกระทำอิมัลชันที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันมีความหนา

2.3 ผลของความร้อนต่อสมบัติของไข่แดงและการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ

โดยทั่วไปการใช้ไข่แดงสำหรับผลิต salad dressing และ mayonnaise ในระดับอุตสาหกรรม นอกจากที่จำเป็นต้องพาสเชอร์ไข่แดงในช่วง 60 - 68 องศาเซลเซียส นาน 3.5 - 4.5 นาที ซึ่งไม่เพียงพอเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อโรค โดยเฉพาะ ซาโมเนลลา อย่างไรก็ตาม พบว่าการพาสเชอร์ไข่ในช่วงอุณหภูมิและเวลานี้ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพความเป็นตัวกระทำอิมัลชันของ lecithin และ egg yolk proteins (Denmat และคณะ, 1999; Snyder, 1998) แต่ยังคงพบว่าการนำไข่แดงไปผ่านการพาสเชอร์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีความสามารถเป็นตัวกระทำอิมัลชันดีกว่าไข่แดงที่ไม่ได้พาสเชอร์ (Cotterill และคณะ, 1976) เนื่องจากโปรตีนคลายตัวและเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมา และชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันทำให้ surface activity สูงขึ้น ดังนั้นเมื่ออยู่ในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำจึงเกิดเป็นชั้นฟิล์มโปรตีนล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ลด interfacial tension ระหว่างน้ำมันและน้ำได้มากกว่าจึงป้องกัน coalescence ของอนุภาคน้ำมัน ส่งผลให้เพิ่มเสถียรภาพของ oil-in-water products (Denmat และคณะ, 1999; Hatta และคณะ, 1996; Mustapha และคณะ, 2012; Tsutsui, 1988) นอกจากการวิเคราะห์ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าทีลดลงเพื่อยืนยันว่าหมู่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนออกมาที่ผิวแล้ว การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง surface hydrophobicity และ zeta potential ก็สามารถยืนยันปรากฏการณ์ข้างต้นได้อีกทางหนึ่ง (Kato และคณะ, 1983; Zhong และคณะ, 2013) ต่อมา มีงานวิจัยรายงานว่า เมื่อใช้ egg yolk granules และ egg yolk plasma ที่ให้ความร้อน (65-75 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) เป็นตัวกระทำอิมัลชันช่วยลด %creaming ของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำดีกว่าการใช้ไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน (Ibanoglu และ Ercelebi, 2007; Kato และคณะ, 1983; Manoi และ Rizvi, 2009; Zayas, 1997) นอกจากนี้ Guilmineau และ Kulozik (2006) ศึกษาผลของความร้อนที่ 74 องศาเซลเซียส นาน 12 นาที ในระบบอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ 0.15 และ 0.52 โมลาร์ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 4.0 และ 6.5 ต่อสมบัติการเป็นตัวกระทำอิมัลชันของไข่แดงในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ และพบว่าอิมัลชันที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคไขมันมากกว่าที่ทุกสภาวะ ทำให้เกิดฟิล์มหนากว่า ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อิมัลชันเสถียรต่อการรวมกลุ่มของอนุภาคน้ำมันและการแยกชั้นได้ดีกว่าไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อนโดยทำให้ flocculation และ initial creaming rate ของอิมัลชันต่ำกว่า ต่อมา Guilmineau และ Kulozik (2007) ศึกษาผลของความร้อนต่อสมบัติการเป็นตัวกระทำอิมัลชันของไข่แดงในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ และพบว่าไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อน 68 องศาเซลเซียส นาน 1-11 นาที ให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้า (Interfacial tension) ระหว่างน้ำกับน้ำมันดอกทานตะวันต่ำกว่าไข่แดงที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน

เมื่อเปรียบเทียบอิมัลชันที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนกับที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนพบว่าอิมัลชันที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนทำให้ขนาดอนุภาคน้ำมันใหญ่กว่า แต่การแยกชั้นน้อยกว่า เนื่องจาก ความร้อนทำลายโครงสร้างระดับทุติยภูมิและตติยภูมิของโปรตีนทำให้โปรตีนคลายตัวเมื่อโปรตีนที่คลายตัวนี้ไปล้อมรอบอนุภาคน้ำมันให้ชั้นฟิล์มที่หนา เป็นผลทำให้ขนาดโดยรวมของอนุภาคน้ำมันเพิ่มขึ้น และชั้นฟิล์มโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันที่หนานี้ต้านการหลอมรวมกันของอนุภาคน้ำมันจึงทำให้การแยกชั้นน้อย

2.4 ผลของเกลือ น้ำตาลและน้ำส้มสายชูต่อสมบัติของไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อนและลักษณะของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ

นอกจากอิทธิพลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่แดงในด้านแรงตึงผิวระหว่างหน้าข้างต้นในผลิตภัณฑ์มายองเนสแล้ว ส่วนผสมที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เหล่านี้คือ เกลือ น้ำตาลและน้ำส้มสายชูซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน จึงมีผลต่อ emulsifying property ของไข่แดงเมื่อใช้ whole egg yolk เป็นตัวกระทำอิมัลชันในระบบที่มีเกลือ น้ำตาลหรือน้ำส้มสายชู หรือใช้ egg yolk lipoproteins เป็นตัวกระทำอิมัลชัน ในระบบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.5-3.9 ร่วมกับการเติมเกลือ น้ำตาลหรือเกลือพร้อมน้ำตาล พบว่า ค่า interfacial tension ระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลง เพราะเกลือ disrupts egg yolk granules ทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำและหมู่ active sites ภายในโครงสร้างโปรตีนถูกเผยออก (Depree และ Savage, 2001; Taiwo และคณะ, 1997) น้ำตาลเพิ่ม hydrophobicity ของโปรตีนไข่แดงจึงเพิ่ม protein surface activity (Antipova และคณะ, 1999) ส่วนน้ำส้มสายชูเพิ่มความหนาแน่นของประจุบวกบนสายโปรตีนไข่แดงทำให้เกิดแรง intramolecular electrostatic repulsion ระหว่างสายโปรตีนส่งผลให้โปรตีนคลายตัว นอกจากนี้ น้ำส้มสายชูทำให้โปรตีนอยู่ในรูป molten globule ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ compact (Kiosseoglou และ Sherman, 1983; Martinez และคณะ, 2007) ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงเป็นเหตุให้ส่วนผสมข้างต้นลดค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำ ดังนั้น จึงเพิ่มความเสถียรของระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ นอกจากนี้ Guilmineau และ Kulozik (2006) มีการศึกษาผลของเกลือและ/หรือน้ำส้มสายชูต่อ ค่า zeta potential ของโปรตีนไข่แดง เนื่องจากค่า zeta potential สะท้อนถึง surface charge density บนผิวโปรตีนและ surface charge density นี้มีผลต่อความเสถียรของ O/W emulsion โดยที่ surface charge ชนิดเดียวกันแต่มี surface charge density สูงกว่ามีผลทำให้ stability of O/W emulsion สูงขึ้น เนื่องจากทำให้ charge particle ผลักกันได้มากขึ้นป้องกัน flocculation ของอนุภาคน้ำมัน

2.5 ผลลัพธ์มายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

จากการขยายตัวของตลาดอาหารพร้อมบริโภคหรือกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ผู้บริโภคนำไปอุ่นหรือให้ความร้อนก่อนบริโภค มายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกหนึ่งต้องการสมบัติทนการแช่เยือกแข็งและทนความร้อนของตลาดทำให้มีการมุ่งเน้นการพัฒนามายองเนสที่คงรักษาเสถียรภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชันภายใต้ภาวะข้างต้น

การวิจัยเพื่อพัฒนามายองเนสที่ทนความร้อนเริ่มในปี ค.ศ. 1978 โดย D.J. Butler ใช้ไข่แดงตัดแปรด้วยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอ (Phospholipase A modified egg yolk) เพื่อรักษาความคงตัวอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่ต้องการฆ่าเชื้อ sterilization ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แต่การตัดแปรไข่แดงด้วยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอมีจุดด้อยคือต้องใช้ความร้อนสูงสำหรับการหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ และไข่แดงตัดแปรด้วยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอให้รสขม มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื้อสัมผัสและรูปร่างไม่ดี จึงมีการปรับปรุงต่อไปดังนี้ Campbell และ Trueck (1998) ใช้ตัวทำอิมัลชันที่ไม่ใช่ไข่แดงหรือไข่แดงตัดแปร ได้แก่ Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM) ร่วมกับโปรตีน (skim milk หรือ caseinate หรือ soya protein) พบว่าอิมัลชันทนความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ส่วน Colarow และคณะ (1996) ใช้ fluid lysolecithin เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับเพคตินซึ่งให้อิมัลชันที่สามารถทนต่อการให้ความร้อนด้วย microwave ที่กำลัง 600 วัตต์ นาน 120 วินาที ต่อมา Kunihiko และ Masahiko (2000) ศึกษาการใช้ไข่แดงตัดแปรด้วยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอ ร่วมกับ gelatinized starch พบว่ามายองเนสที่ได้มีเนื้อสัมผัสเป็นครีม กลิ่นรสดีและการเกาะติดดีหลังจากการนำมายองเนสนี้ไปให้ความร้อนใน Retort ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 20 นาที ส่วน Mayumi และคณะ (1991 และ 1992) พบว่า การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับโคโคซานทำให้มายองเนสที่ได้มีเนื้อสัมผัสเป็นเจลแข็ง ไม่เป็นครีม หลังการอบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส 5 นาที จึงได้ทำการปรับปรุงโดยใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 55-64 องศาเซลเซียส มากกว่า 2 นาที แทน พบว่ามายองเนสที่ได้มีความคงตัว เนื้อสัมผัสไม่เป็นเจลแข็ง ภายหลังอบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส 10 นาที ต่อมา Hiroshi และ Mitsuo (1999) ศึกษาการใช้ Methylcellulose ผสมกับ xanthan gum เป็นสารให้ความคงตัว และใช้ pea protein เป็นตัวทำอิมัลชัน พบว่าผลลัพธ์น้ำสลัดที่ได้มีความเสถียรหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในปี 1995 เริ่มมีการพัฒนามายองเนสที่ทนได้ทั้งความร้อนและการแช่เยือกแข็ง โดย Yoshiaki และคณะ (1995) ใช้เคซีนผสมกับ Arabic gum และ Polyglycerol fatty acid ester พบว่ารูปร่างของมายองเนสที่ได้ยังคงตัวหลังการแช่เยือกแข็งที่ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน หรือหลังการอบที่ 210 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที การใช้โปรตีน Lactalbumin ร่วมกับไข่แดงตัดแปรด้วยเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin modified egg yolk) ทำให้มายองเนสมีความคงตัวดีทั้งหลังการแช่

เยือกแข็งที่ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน และหลัง sterilization ที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (Fumikoและคณะ, 1996) ส่วน Shogren และ Biresaw (2007) ศึกษาความสามารถในการลดค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้ากับ Hexadecane ของสตาร์ชตัดแปรรูป 2 ชนิด คือ OSA สตาร์ช กับ acetate ที่ ความเข้มข้น 0-40 กรัมต่อมิลลิเมตร พบว่า สตาร์ช OSA ลดแรงตึงผิวระหว่างหน้ากับ Hexadecane ได้มากกว่า Yusoff และ Murray (2011) เปรียบเทียบแรงตึงผิวระหว่างหน้ากับ Tetradecane เมื่อใช้สตาร์ชตัดแปรรูป 2 ชนิดดังกล่าวข้างต้น ที่ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 0.01-1 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน สตาร์ช OSA ให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้า (interfacial tension) ต่ำกว่า รวมทั้งให้ขนาดอนุภาคของ Tetradecane เล็กกว่าสตาร์ชตัดแปรรูปที่ไม่มีหมู่ OS ต่อมา Annica (2011) รายงานว่าการใช้สตาร์ช OSA ทำให้มีฟิล์มชั้นบนน้ำมันในน้ำทั้งภาวะ ความ เป็นกรดต่าง 3.5 และ 6.5 มีความคงตัวหลังการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ต่อมา Dokicและคณะ (2012) พบว่าที่ความเข้มข้นสตาร์ช OSA ระหว่างร้อยละ 8-16 โดย น้ำหนัก อนุภาคน้ำมันและการแยกชั้นลดลงเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น

จากงานวิจัยมายองเนสทนความร้อนและแช่เยือกแข็งข้างต้นส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยที่นำไข่แดง มาตัดแปรรูปด้วยเอนไซม์ต่างๆ และ/หรือ ใช้ไข่แดงตัดแปรรูปดังกล่าวร่วมกับโปรตีนนมรวมทั้งสารประเภท กัม สตาร์ชต่างๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชัน แต่พบว่ามิงงานวิจัยที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อน เป็นตัวกระทำอิมัลชันมีจำกัด ประกอบกับมายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกกำหนดให้ไข่แดงเป็นตัวทำ อิมัลชันโดยคณะกรรมการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (Codex Alimentarius Commission) ขณะที่การใช้ไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน ของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคทางเดินอาหารโดยเฉพาะซาลโมเนลลา ซึ่งมีผลเสียต่อผู้บริโภคและทำให้อายุ การเก็บสั้น ดังนั้น การให้ความร้อนเพื่อพาสเจอไรส์ไข่แดงก่อนนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ นอกจากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสุขลักษณะที่ดีขึ้นแล้ว การให้ความร้อนแก่ไข่แดงยังมีผลทำให้โปรตีน ไข่แดงคลายตัวและเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมา ซึ่งมีรายงานว่าทำให้ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันของ ไข่แดงเพิ่มขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความ ร้อนแก่ไข่แดงต่อความเสถียรของมายองเนส นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้สตาร์ช OSA เป็นสารให้ความ คงตัวต่อความเสถียรของมายองเนสเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีความเสถียรต่อความร้อน และการแช่เยือกแข็ง

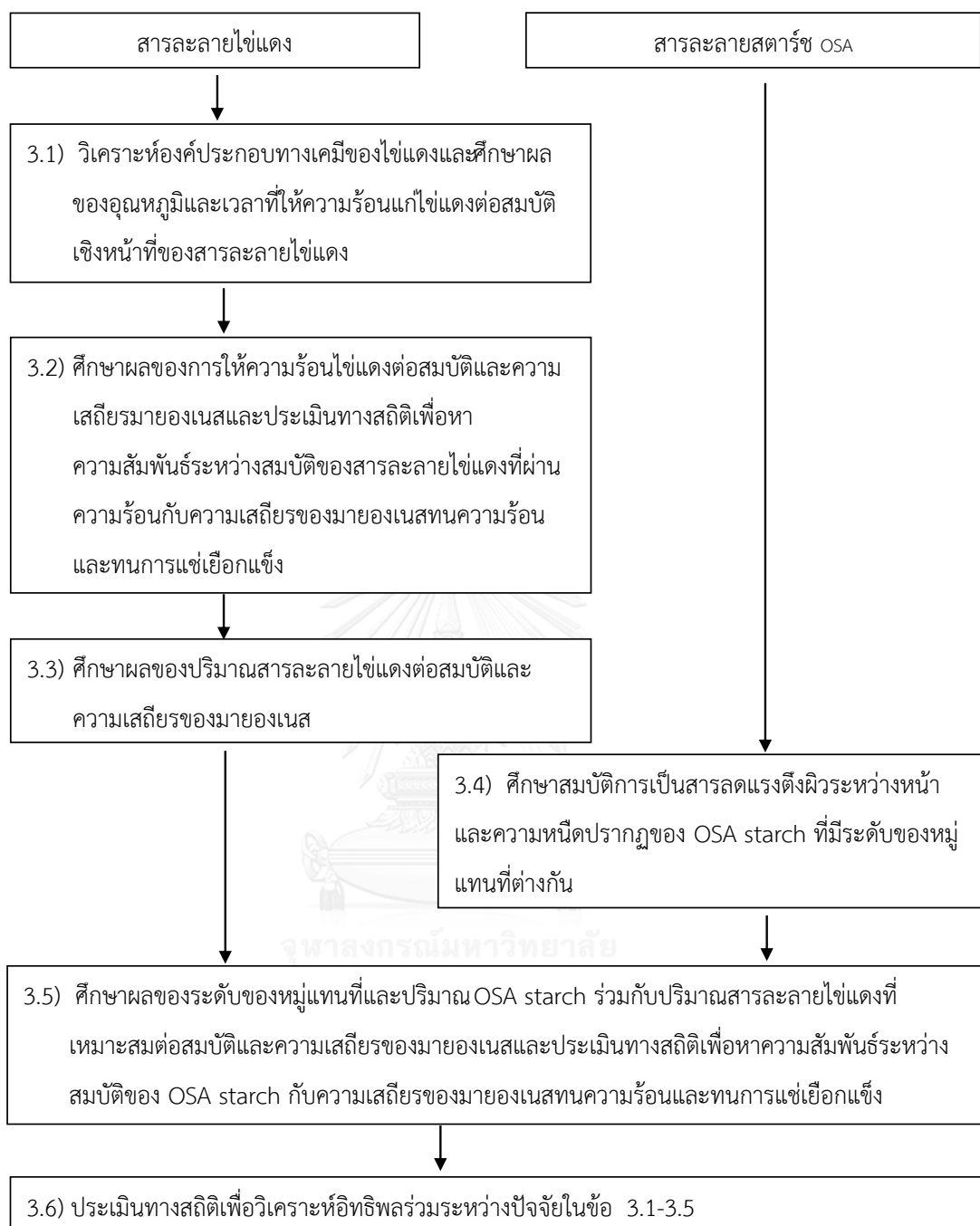
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 6 ส่วนได้แก่

- 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงและศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนแก่ไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดงและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง
- 2) ศึกษาผลของการใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อ สมบัติและความเสถียรของมายองเนส
- 3) ศึกษาผลของปริมาณไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส
- 4) ศึกษาสมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าและความหนืดปรากฏของสตาร์ชออกทิลซึกซินิกแอนไฮไดรต์ (OSA starch) ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน
- 5) ศึกษาผลของระดับการแทนที่และปริมาณ OSA starch ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของ OSA starch กับความเสถียรของมายองเนสทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง
- 6) ประเมินทางสถิติเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในข้อ 1-5 ขั้นตอนการวิจัยสามารถแสดงได้โดยสังเขปได้ดังแผนผังซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงและการใช้สตาร์ชออกทิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ร่วมกับไข่แดงที่ผ่านความร้อนสำหรับมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงรวมทั้งประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

3.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดง

ตัวอย่างที่นำมาใช้วิเคราะห์ ได้แก่ ไข่แดงที่แยกไข่ขาวออกจากไข่ไก่สด (บริษัท เกษมชัยฟาร์มกรุ๊ป จำกัด นครปฐม) องค์ประกอบของไข่แดงที่วิเคราะห์มีดังนี้

ก. ความชื้น ด้วยเครื่อง Hot air oven ตามวิธี AOAC.925.30 (2005) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก1

ข. โปรตีน ด้วยเครื่อง Nitrogen/Protein determinator ตามวิธี AOAC 954.01 (2005) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก2

ค. ไขมัน ด้วยเครื่อง Soxtherm extraction ตามวิธี AOAC 2003.06 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก3

ง. เถ้า ด้วยเครื่อง Furnace ตามวิธีของ AOAC 920.153 (2005) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก4

จ. คาร์โบไฮเดรต โดยคำนวณจาก 100 – ผลรวมขององค์ประกอบอื่นๆ

3.1.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดง

3.1.2.1 การเตรียมสารละลายไข่แดง

เตรียมสารละลายไข่แดงโดยนำไข่แดงจากไข่ไก่สด (บริษัท เกษมชัยฟาร์มกรุ๊ป จำกัด นครปฐม) มาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Sartorius, Mettler Toledo, Thailand) ให้ได้ปริมาณ 400 กรัมแล้วเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Merck, Germany) ใน น้ำกลั่นซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 100 กรัมในบีกเกอร์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร และนำสารละลายไข่แดงที่ได้ไปให้ความร้อน โดยนำบีกเกอร์ไปแช่ใน Water bath (LCB-22D, Daihan Labtech Co., Ltd, Korea) ที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 3 ระดับ ได้แก่ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส และแปรระยะเวลาให้ความร้อน 3 ระดับ ได้แก่ 3, 6 และ 9 นาที ในระหว่างที่ให้ความร้อน กวนสารละลายไข่แดงอย่างต่อเนื่องด้วย Stirrer (RW 20, IKA Works Sdn. Bhd., Malaysia) ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที

จัดสิ่งทดลองแบบ 3x3 Factorial พร้อมตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน) เมื่อให้ความร้อนตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำปีกเกอร์ไปแช่ในอ่างน้ำเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20±2 องศาเซลเซียส เพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายไข่แดงให้เหลือ 28±2 องศาเซลเซียส จากนั้นเทบรรจุสารละลายไข่แดงใส่ในขวดพลาสติกพร้อมฝาปิดขนาด 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปเก็บในตู้เย็น (EKO 42 CLC, IARP Asia, Thailand) ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความหนืดปรากฏ ค่าการละลายของโปรตีน ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าศักย์ซิตา ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS 17.0

3.1.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง

ก. ค่าความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดง (Apparent Viscosity)

นำสารละลายไข่แดงที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.1.2.1 ไปวัดความหนืดปรากฏด้วย Brookfield viscometer (DVII, Brookfield Engineering Laboratories, USA) หัวเข็มเบอร์ 2 ที่ 24 องศาเซลเซียส 12 รอบต่อนาที อัตราเฉือน 2.54 ต่อวินาที

ข. ค่าการละลายของโปรตีน (Protein Solubility)

ปิเปตสารละลายไข่แดงที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.1.2.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 24 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลายไข่แดงความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง (30 mL Sarstedt, Germany) นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (BR 4, Jouan SA, France) ด้วยแรงหนีศูนย์กลาง 7826xg (10,000 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Denmat และคณะ (1999) เก็บส่วนใสเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี The Lowry method ใช้ Bovine Serum Albumin (Sigma Chemical Company, USA) เป็นโปรตีนมาตรฐาน คำนวณค่าการละลายของโปรตีนดังสมการ

$$\% \text{ Protein Solubility} = \frac{\text{mg protein in supernatant}}{\text{mg protein in initial dilution}} \times 100 \text{ --- (1)}$$

ค. ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying Capacity)

ผสมสารละลายไขแดงจากหัวข้อ 3.1.2.1 กับน้ำส้มสายชูและน้ำมันรำข้าวในอัตราส่วน 4:80:200 ตามลำดับโดยน้ำหนักในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร โดยให้ได้น้ำหนักรวมเป็น 284 กรัม จากนั้นนำไปปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง High shear mixer (Silverson L5M, Silverson, UK) ที่ความเร็วรอบ 8,500 รอบต่อนาที นาน 3 นาที แบ่งสารผสมที่ได้ซึ่งใส่หลอดปั่นเหวี่ยงปริมาณ 20 กรัม นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง 5,654xg (ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักน้ำที่แยกชั้น น้ำหนักของผสมที่เหลือและน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Young และคณะ (1983), Cui และคณะ (1993) คำนวณค่า % Emulsifying Capacity ดังสมการ

$$\% \text{ Emulsifying Capacity} = \frac{(A + B - C) - A}{(A + B - C)} \times 100 \text{ --- (2)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักน้ำที่แยกชั้น (กรัม)

B = น้ำหนักของผสมที่เหลือรวมน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง (กรัม)

C = น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า (กรัม)

ง. ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsifying Stability

Index: ESI)

เตรียมสารละลายไขแดงจากหัวข้อ 3.1.2.1 ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.17 โมลาร์ โดยผสมสารละลายไขแดงกับน้ำมันรำข้าวในอัตราส่วน (70:210) โดยน้ำหนัก ในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ได้ปริมาณรวม 280 กรัม ทำการปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง High shear mixer ด้วยความเร็วรอบ 7,500 รอบต่อนาที นาน 2 นาที เก็บของผสมจากการปั่นปริมาตร 50 ไมโครลิตรที่เวลา 0 นาที เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตรด้วย UV-Visible Spectrophotometer (Cintra 1010, GBC, Scientific Equipment, Australia) ให้เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 0 นาที (A_0) และหลังจากการทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที นำของผสมนี้เจือจางด้วยสารละลาย Sodium dodecyl sulfate (Sigma Chemical Company, USA) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตรด้วย UV-Visible Spectrophotometer วิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Pearce และ Kinsella (1978) คำนวณค่า ESI ดังสมการ

$$ESI \text{ (min)} = \frac{A_0 \times 10}{(A_0 - A_{10})} \text{ --- --- (3)}$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 0 นาที

A_{10} = ค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 10 นาที

จ. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

นำสารละลายไข่แดงที่เตรียมไว้จากหัวข้อ 3.1.2.1 ไปวัดค่าความเป็นกรด-ต่างที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ด้วย pH meter (B 417, HANNA instruments, USA) ซึ่งสอบเทียบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 4 และ 7

ฉ. ค่าศักย์ซีตาของสารละลายไข่แดง (Zeta Potential)

เจือจางสารละลายไข่แดงที่เตรียมไว้จากหัวข้อ 3.1.2.1 ด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ในสัดส่วน (1:1,000 ปริมาตรต่อปริมาตร) และนำไปวัดค่าศักย์ซีตาด้วยเครื่อง Malvern Zetasizer (3000 HAS, Malvern Instruments Inc., UK) ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Guilmineau และ Kulozik (2006) โดยใช้กระบอกเข็มฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดสารที่ต้องการวัดและฉีดไปช่องฉีดตัวอย่าง ซึ่งภายในประกอบด้วย Electrophoresis cell ที่มีอิเล็กโทรดขนาดทั้งสองด้าน สารตัวอย่างจะเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า ดังนั้นสารที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าและประจุบนผิวจะสัมพันธ์กับค่าศักย์ซีตาของอนุภาค

ช. ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำ (Interfacial Tension)

ของสารละลายไข่แดง

นำสารละลายไข่แดงที่เตรียมไว้จากหัวข้อ 3.1.2.1 ไปวัดค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าของคู่สารระหว่างน้ำกับน้ำมันรำข้าว (บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด กรุงเทพฯ) ที่อุณหภูมิ 24 ± 2 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี pendant drop shape ด้วยเครื่อง Goniometer (FTA-200, First Ten Angstroms, USA) ตามวิธีของ Shogren และ Biresaw (2007) โดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 3 มิลลิลิตร (Becton, Dickinson and Company, USA) ที่ต่อกับ Dispensing Needles เบอร์ 22, เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.711 มิลลิเมตร (First Ten Angstroms, USA) ดูดสารละลายไข่แดงที่ต้องการวัด และนำไปติดตั้งบนฐานเครื่องวัดที่มีควอเตอร์แก้วซึ่งภายในบรรจุน้ำมันรำข้าว กดก้านสูบใน

กระบอกฉีดยาโดยควบคุมอัตราเร็วในการกดให้ได้อัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตรต่อวินาที ให้สารละลายไขแดงลงสู่น้ำมันรำข้าวที่อยู่ในคิวเวตต์ บันทึกรูปหยดของสารละลายไขแดงในน้ำมันรำข้าวผ่านกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งกับเครื่อง Goniometer คำนวณค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าของรูปการหยดของแต่ละตัวอย่างโดยอาศัยโปรแกรม fta32 V2.0

3.2 ศึกษาผลของการใช้ไขแดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติ (Property) และความเสถียร (Stability) ของมายองเนส

3.2.1 การเตรียมสารละลายไขแดง

เตรียมสารละลายไขแดงที่ผ่านความร้อนโดยใช้วิธีเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายไขแดงจากหัวข้อ 3.1.2.1 เป็นตัวกระทำอิมัลชันในการเตรียมมายองเนส

3.2.2 การเตรียมมายองเนส

มายองเนสที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้สารละลายไขแดงร้อยละ 10 เป็นตัวกระทำอิมัลชันซึ่งค่านี้ได้จากการสำรวจผลิตภัณฑ์มายองเนสทางการค้าที่จำหน่ายในประเทศไทย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) ส่วนผสมของมายองเนสประกอบด้วย น้ำมันรำข้าว น้ำตาลทราย (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด กาฬสินธุ์) สารละลายไขแดง น้ำส้มสายชู (บริษัท กิ่วไป จำกัด ราชบุรี) เกลือ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด กรุงเทพฯ) และน้ำ RO ในการเตรียมมายองเนส ปริมาณ 100 กรัม นั้นแสดงปริมาณที่เตรียมโดยน้ำหนักและร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมต่างๆ ข้างต้นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรการเตรียมมายองเนส

ส่วนผสม	ปริมาณโดยน้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)
น้ำมันรำข้าว	195	65
สารละลายไข่แดง	30	10
น้ำตาลทราย	30	10
น้ำส้มสายชู	21	7
เกลือ	3	1
น้ำ	21	7
รวม	300	100

ขั้นตอนการเตรียมเริ่มจากละลายน้ำตาล เกลือในน้ำ จากนั้นเติมน้ำส้มสายชูและสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อน (หรือสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน ในกรณีเป็นตัวอย่งควบคุม) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปกวนด้วยเครื่อง High shear mixer ที่ความเร็วรอบต่ำที่ 3,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที ค่อยๆ เติมน้ำมันรำข้าวขณะกวนผสม แล้วเพิ่มความเร็วรอบเป็น 7,500 รอบต่อนาที กวนผสมต่อเป็นเวลา 3 นาที ได้เป็นตัวอย่งมายองเนส จากนั้นนำมาบรรจุขวดพลาสติกขนาด 150 มิลลิลิตรและเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติและความเสถียรของมายองเนส โดยแปรอุณหภูมิที่ให้แก่สารละลายไข่แดง 3 ระดับ ได้แก่ 55, 60, 65 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ให้ความร้อน 3 ระดับ ได้แก่ 3, 6 และ 9 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ 3x3 Factorial พร้อมตัวอย่งควบคุม (ตัวอย่งสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS 17.0

3.2.3 การวิเคราะห์สมบัติและความเสถียรของมายองเนส

ก. ความหนืดปรากฏของมายองเนส (Apparent Viscosity)

นำตัวอย่างมายองเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ที่หลังเตรียมทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ไปวัดความหนืดปรากฏด้วย Brookfield viscometer (DV2) หัวเข็มเบอร์ 4 ที่ 24 องศาเซลเซียส 12 รอบต่อนาที อัตราเฉือน 12.54 ต่อวินาที

ข. ความคงตัวของมายองเนส (Emulsion Stability)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมายองเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ปริมาณ 20 กรัมใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 6,339xg ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที ชั่งน้ำหนักน้ำที่แยกชั้น น้ำหนักมายองเนสที่เหลือจากน้ำที่แยกชั้น น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า ซึ่งเป็นวิธีดัดแปลงจากวิธีการของ Cui และคณะ (1993) และ Chun และคณะ (1997), คำนวณค่า % ความคงตัว ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ Emulsion Stability} = \frac{(A + B - C) - A}{(A + B - C)} \times 100 \text{ --- (4)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักน้ำที่แยกชั้น (กรัม)

B = น้ำหนักมายองเนสที่เหลือรวมน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง (กรัม)

C = น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า (กรัม)

ค. ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3])

นำตัวอย่างมายองเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ที่เตรียมทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงมาเจือจางด้วยสารละลาย Sodium dodecyl sulfate ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในสัดส่วน (1:100; กรัมต่อกรัม) ให้ได้ปริมาณรวมเท่ากับ 100 กรัม กวนผสมให้ละลายเข้ากันด้วย Magnetic stirrer (C-MAX HS 7, IKA Works Sdn. Bhd., Malaysia) ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวัดขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3]) ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Guilmineau และ Kulozik (2007) ด้วยเครื่อง Laser diffraction particle size analyzer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Inc., UK) โดยกำหนดค่า Refractive index สำหรับน้ำและน้ำมันรำข้าวเป็น 1.33, 1.47 (Rossell, 1991) ตามลำดับ ทดลอง 3 ซ้ำทุกตัวอย่าง

ง. ค่าการทนความร้อน (Heat Stability) ที่ 100 องศาเซลเซียสนาน

30 นาที

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมาของเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ปริมาณ 20 กรัมใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงพลาสติกทนความร้อน นำไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2,116xg (ความเร็วรอบ 5,200 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่แยกชั้น น้ำหนักมาของเนสที่เหลือจากน้ำมันที่แยกชั้น น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า คำนวณค่าร้อยละการทนความร้อน ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{การทนความร้อน (\%)} = \frac{(A + B - C) - A}{(A + B - C)} \times 100 \text{ --- (5)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักน้ำมันที่แยกชั้น (กรัม)

B = น้ำหนักมาของเนสที่เหลือรวมน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง (กรัม)

C = น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงเปล่า (กรัม)

จ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked Stability in Height)

(ความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที)

ประเมินจากความสูงของมาของเนสที่หยอดบนแผ่นขนมปังที่เปลี่ยนแปลงไปหลังอบ ซึ่งหาได้โดยการบรรจุตัวอย่างมาของเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ในหลอดฉีดยาพลาสติกขนาดปริมาตร 30 มิลลิลิตร บีบตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตรบนแผ่นขนมปัง แล้วใช้ไม้จิ้มฟันวัดความสูงของก้อนมาของเนสที่อยู่บนแผ่นขนมปังก่อนอบ จากนั้นนำแผ่นขนมปังไปอบใน Convection oven (SD-306, Sheng Shang Industrial, Taiwan) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำมาวัดความสูงของมาของเนสบนแผ่นขนมปังหลังอบด้วยไม้จิ้มฟัน วัดความสูงของมาของเนสจากรอยที่ติดไม้จิ้มฟันด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ตัดแปลงจากของวิธีของ (Mayumi และคณะ, 1992) คำนวณค่า % การทนความร้อนในการอบ ดังสมการ

$$\text{การทนความร้อนในการอบ (\% Height)} = \frac{B}{A} \times 100 \text{ --- (6)}$$

เมื่อ A = ความสูงของตัวอย่างมาของเนสก่อนอบ

B = ความสูงของตัวอย่างมาของเนสหลังอบ

ฉ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked Stability in Diameter) (ขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที)

ประเมินจากรูปร่างของมายองเนสบนขนมปังที่เปลี่ยนแปลงหลังผ่านการอบ ซึ่งหาได้โดยการบรรจุตัวอย่างมายองเนสที่ได้จากข้อ 3.2.2 ในหลอดฉีดยาพลาสติกขนาดปริมาตร 30 มิลลิลิตร (Terumo Medical Corporation, USA) บีบตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตรบนแผ่นขนมปัง (บริษัท เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ) แล้วนำไปวางคู่กับแผ่นกระดาษที่มีขนาดมาตรฐาน (1.5x2 นิ้ว) ถ่ายรูปตัวอย่างมายองเนสบนขนมปังคู่กับแผ่นกระดาษมาตรฐาน จากนั้นนำแผ่นขนมปังดังกล่าวไปอบใน Convection oven (SD-306, Sheng Shang Industrial, Taiwan) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำไปถ่ายรูปคู่กับแผ่นกระดาษมาตรฐานข้างต้น ตัดภาพถ่ายตามขนาดภาพของกระดาษมาตรฐานและขนาดมายองเนสบนขนมปังที่ถ่ายได้ทั้งก่อนอบและหลังอบ นำกระดาษของภาพถ่ายที่ตัดได้ทั้ง 4 ส่วนมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาใช้คำนวณหาค่าร้อยละการทนความร้อนในการอบ ดังสมการต่อไปนี้ วิธีนี้เป็นวิธีดัดแปลงจากของวิธีของ (Mayumiและคณะ, 1992)

$$\text{การทนความร้อนในการอบ (\% Diameter)} = 100 - \frac{[(D/B) - (C/A)]}{(C/A)} \times 100 \text{ --- (7)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักภาพถ่ายกระดาษมาตรฐานก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักภาพถ่ายกระดาษมาตรฐานหลังอบ (กรัม)

C = น้ำหนักภาพถ่ายกระดาษรูปมายองเนสก่อนอบ (กรัม)

D = น้ำหนักภาพถ่ายกระดาษรูปมายองเนสหลังอบ (กรัม)

ข. การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and Thaw Stability)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมายองเนส 20 กรัมใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง นำไปแช่เยือกแข็งในตู้ Air Blast (Mercatus Y2-5, Sincold, Germany) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน นำออกมาคลายสภาพแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2,116xg (ความเร็ว 5,200 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่แยกชั้น น้ำหนักมายองเนสที่เหลือจากการแยกน้ำมันที่แยกชั้น น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงที่ปราศจากมายองเนส เป็นวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Yoshiakiและคณะ (1995) และวิธีของ Fumikoและคณะ (1996) คำนวณค่า % การทนต่อการ แช่เยือกแข็ง-การละลาย ดังสมการ

$$\text{ความคงตัว (\%)} = \frac{(A + B - C) - A}{(A + B - C)} \times 100 \text{ --- (8)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักน้ำมันที่แยกชั้น (กรัม)

B = น้ำหนักมายองเนสที่เหลือจากการแยกน้ำมันที่แยกชั้น (กรัม)

C = น้ำหนักหลอดปั่นหิวียงที่ปราศจากมายองเนส (กรัม)

3.2.4 ประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อน (จากผลการทดลองในข้อ

3.1.2.2) กับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง (จากผลการทดลองในข้อ 3.2.3) ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0

3.3 ศึกษาผลของปริมาณไข่แดงที่ผ่านความร้อนต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

เตรียมมายองเนสเช่นเดียวกับวิธีที่ใช้ในข้อ 3.2 แต่คัดเลือกไข่แดงที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2 เป็นตัวกระทำอิ้มัลชัน โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเฉพาะค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันของสารละลายไข่แดง ค่าร้อยละการเกิดอิ้มัลชัน, ค่าดัชนีความเสถียรของอิ้มัลชัน ค่าความคงตัวของมายองเนส ขนาดอนุภาคน้ำมัน การทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง เป็นดัชนีการคัดเลือก แปรความเข้มข้นของไข่แดง 5 ระดับคือ ร้อยละ 6, 8, 10, 12, 14 จัดตั้งการทดลองแบบ 2x5 Factorial พร้อมตัวอย่างควบคุม (ตัวอย่างสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์สมบัติและความเสถียรของมายองเนส เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS 17.0

3.4 ศึกษาสมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าและความหนืดปรากฏของสตาร์ชดัดแปร Octenyl Succinic Anhydride Starch (OSA starch) ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน

3.4.1 การเตรียมสารละลายสตาร์ช

สตาร์ชดัดแปรที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นสตาร์ชดัดแปร OSA มีการแทนที่ของหมู่ OS ที่แตกต่างกัน 2 ระดับได้แก่ สตาร์ช FA 1513 ซึ่งมี ระดับการแทนที่ของหมู่ OS ที่ 1.5% (Siam Modified Starch Co.Ltd, Thailand) และ สตาร์ช EMULTEC 908 ซึ่งมีระดับการแทนที่ของหมู่ OS ที่ 3.0% (Siam Modified Starch Co.Ltd, Thailand) โดยแปรความเข้มข้นของสตาร์ชดัดแปร OSA ทั้งสองนี้ 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 % w/v เตรียมสารละลายแบ่งปริมาณ 500 กรัม โดยนำสตาร์ช OSA มาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ให้ได้ความเข้มข้นที่กำหนดบนกระดาษพอยล์ จากนั้นค่อยๆ เทลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำกลั่นตามปริมาณที่คำนวณกับความเข้มข้นสตาร์ช OSA ในระหว่างที่เท กวนสารละลายสตาร์ชอย่างต่อเนื่องด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ความหนืดปรากฏและความเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าดังข้อ 3.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ ข: ความหนืดปรากฏ และ ง: ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้า น้ำกับน้ำมันรำข้าว จัดทำการทดลองแบบ 2x3 Factorial ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS 17.0

3.4.2 การวิเคราะห์ความหนืดปรากฏของสตาร์ชดัดแปร OSA และค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้า น้ำกับน้ำมันรำข้าวของสตาร์ชดัดแปร OSA

ก. ความหนืดปรากฏของสตาร์ชดัดแปร OSA

นำสารละลายสตาร์ชที่เตรียมไว้จากข้อ 3.4.1 ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 24 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ไปวัดความหนืดปรากฏของสารละลายด้วย Brookfield viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ที่ 24 องศาเซลเซียส 12 รอบต่อนาที อัตราเฉือน 2.54 ต่อวินาที

ข. ค่าแรงดึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าวของสตาร์ชตัดแปร OSA

นำสารละลายสตาร์ชที่เตรียมไว้ตามข้อ 3.4.1 ซึ่งทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงไปวัดค่าแรงดึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าว ตามวิธีเช่นเดียวกับ 3.1.2.2 ง

3.5 ศึกษาผลของระดับของหมู่แทนที่และปริมาณของสตาร์ชตัดแปร OSA ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

3.5.1 ศึกษาผลของระดับของหมู่แทนที่และปริมาณของสตาร์ชตัดแปร OSA ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

เตรียมมายองเนส เช่นเดียวกับวิธีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 3.2.2 แต่มีการเติมสตาร์ชตัดแปร OSA ที่มีหมู่การแทนที่ของหมู่ OS แตกต่างกัน 2 ระดับเช่นเดียวกับสตาร์ชตัดแปรที่ใช้ใน 3.4.1 คือ FA 1513 ที่มีระดับแทนที่หมู่ OS เท่ากับ 1.5% (Siam Modified Starch Co.Ltd, Thailand) และ EMULTEC 908 ที่มีระดับแทนที่หมู่ OS เท่ากับ 3.0% (Siam Modified Starch Co.Ltd, Thailand) โดยแปรความเข้มข้นของสตาร์ชตัดแปร OSA 4 ระดับ คือ 1, 1.5, 2.0 และ 2.5 % ซึ่งสตาร์ชตัดแปรนี้ใช้เป็นสารให้ความคงตัว โดยได้ลดน้ำหนักน้ำที่ใช้ในสูตรทำมายองเนสตามขั้นตอน 3.2.2 ลงเท่ากับน้ำหนักสตาร์ชตัดแปรที่เติมเข้าไป และเลือกใช้ปริมาณ ไข่แดงที่ผ่านความร้อนเหมาะสม ซึ่งคัดเลือกจากขั้นตอน 3.3 เป็นตัวกระทำอิมัลชัน จัดทำการทดลองแบบ 2x4 Factorial ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์สมบัติและความเสถียรของตัวอย่าง มายองเนสที่ได้ตั้งข้อ 3.2.3 โดยตัวอย่างควบคุมเป็นตัวอย่างที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันและไม่ใช้สตาร์ชตัดแปร OSA วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS 17.0

3.5.2 ประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชตัดแปร OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชตัดแปร OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0

3.6 ประเมินทางสถิติเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

อิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างปัจจัยของสิ่งทดลองในข้อ 3.1-3.5 ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ANOVA และ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0



บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและผลการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดง

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงสดที่ใช้ในการทดลอง

ไข่แดงสดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักดังนี้ ความชื้น 53.13 ± 0.75 โปรตีน 14.73 ± 0.22 ไขมัน 29.07 ± 0.55 เกล็ด 1.79 ± 0.11 และคาร์โบไฮเดรต 1.28 ± 0.36 Stadelman และ Cotterill (1995) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงประกอบด้วย โปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 15.7-16.6 ไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 31.8-35.5 เกล็ดร้อยละ 1.1 และคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-1.0 ซึ่งผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า ขณะที่ปริมาณไขมันต่ำกว่าจากรายงานของ Stadelman และ Cotterill (1995) แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยนี้และรายงานของ Stadelman และ Cotterill (1995) บ่งว่านอกจากน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักเกินกึ่งหนึ่งแล้ว องค์ประกอบสำคัญต่อมาคือไขมันและโปรตีน โดยที่ไขมันมีปริมาณเป็น 2 เท่าของโปรตีน

4.1.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง

อิทธิพลของความร้อนที่ให้แก่สารละลายไข่แดงที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียสและระยะเวลาให้ความร้อนที่ 3, 6 และ 9 นาทีที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง ได้แก่ ความหนืดปรากฏ, ค่าการละลายของโปรตีน, ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน, ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน, ค่าความเป็นกรดต่าง, ค่าศักย์ซิตา, ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าไขมันกับน้ำมีดังต่อไปนี้

ก. ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของสารละลายไข่แดง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงทำให้ความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดงมีค่าสูงขึ้นกว่าสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจะทำให้สารละลายไข่แดงมีความหนืดปรากฏสูงขึ้นไปกว่าค่าที่ได้จากสารละลายไข่แดงซึ่งได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระดับระยะเวลาให้ความร้อนที่เท่ากัน สำหรับอิทธิพลของเวลาในการให้ความร้อนนั้น พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ให้ความร้อนมีอิทธิพลต่อความหนืดปรากฏจะปรากฏให้เห็นชัดเจนมากขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดของสารละลายไข่แดงที่ได้

หลังผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 3, 6 และ 9 นาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่เมื่อไข่แดงได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ให้ความร้อนที่ 9 นาทีจะทำให้ความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้นกว่าที่ระยะเวลาให้ความร้อนที่ 3 และ 6 นาทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่อุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดปรากฏจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้นกว่าค่าที่ได้เมื่อให้ความร้อนในระยะเวลาที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้นนี้ จากการวิเคราะห์ด้วย laser diffraction particle analyzer พบว่าค่า $D[4,3]$ ของโปรตีนไข่แดงหลังให้ความร้อนที่ 68 องศาเซลเซียสสูงกว่าค่า $D[4,3]$ ของโปรตีนไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อนแสดงว่าโปรตีนไข่แดงมีขนาดใหญ่ขึ้นหลังให้ความร้อน (Guilmineau และ Kulozik, 2006) การที่ขนาดของโปรตีนไข่แดงหลังให้ความร้อนมีขนาดใหญ่กว่าก็ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายโปรตีนไข่แดงหลังให้ความร้อนสูงกว่าด้วย (Guilmineau และ Kulozik, 2007; Tsutsui, 1988; Yang และ Cotterill, 1989) โดยที่ Mine และ Zhang (2013) ได้ระบุว่าที่อุณหภูมิ 64-65 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ทำให้สารละลายโปรตีนไข่แดงมีความหนืดสูงขึ้นกว่าสารละลายโปรตีนไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อค่าความหนืดปรากฏ ค่าการละลายของโปรตีน ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน, ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนเทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน

Egg yolk used	Heating at		Apparent viscosity (mPa.s)	Protein solubility (%)	Emulsion capacity (%)	Emulsion stability index (min)
	Temperature (°C)	Time (min)				
Unheated	-	-	61.37 ^f ± 1.31	21.65 ^b ± 0.29	77.51 ^e ± 0.27	16.36 ^f ± 0.43
Heated	55	3	74.90 ^e ± 0.36	22.40 ^a ± 0.14	79.26 ^c ± 0.60	17.32 ^{ef} ± 0.18
		6	75.60 ^e ± 0.36	21.62 ^b ± 0.12	78.49 ^d ± 0.11	18.47 ^{de} ± 0.56
		9	77.37 ^e ± 0.42	21.02 ^c ± 0.25	79.45 ^c ± 0.40	18.68 ^{de} ± 0.19
	60	3	77.83 ^{de} ± 0.70	21.09 ^c ± 0.12	79.24 ^c ± 0.28	18.82 ^d ± 0.31
		6	79.83 ^{de} ± 0.35	20.83 ^{cd} ± 0.09	79.43 ^c ± 0.35	20.38 ^c ± 0.88
		9	83.63 ^d ± 1.18	20.57 ^d ± 0.16	79.26 ^c ± 0.27	20.52 ^c ± 0.99
65	3	143.67 ^c ± 3.79	20.07 ^e ± 0.05	79.66 ^c ± 0.14	21.10 ^{bc} ± 0.75	
	6	341.67 ^b ± 3.51	19.90 ^e ± 0.12	80.59 ^b ± 0.66	22.15 ^b ± 0.79	
	9	1551.67 ^a ± 8.54	18.38 ^f ± 0.16	81.78 ^a ± 0.42	24.85 ^a ± 0.70	

a,b,c,... คือตัวอักษรที่ต่างกันโดยสิ้นเชิงกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าการละลายของโปรตีน (Protein solubility)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนจะทำให้ค่าการละลายของโปรตีนต่ำกว่าค่าที่ได้จากสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าคือ 55 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาให้ความร้อนที่ 3 นาทีจะได้ค่าการละลายของโปรตีนนี้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะอุณหภูมิคงที่ทั้ง 3 อุณหภูมินี้ เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้นจะทำให้ค่าการละลายของโปรตีนนี้ต่ำลง และที่ระยะเวลาให้ความร้อนที่เท่ากันอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการละลายของโปรตีนนี้ต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจาก low-density lipoproteins และ livetins ที่มีอยู่ในไข่แดงจะเริ่มสูญเสียสภาพทางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า (Tsutsui, 1988) และโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โปรตีนจะเกิดการคลายตัวและเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาภายนอกผิวโปรตีนจึงทำให้ค่าการละลายของโปรตีนในน้ำลดลงอย่างเด่นชัด (Denmatและคณะ, 2000; Denmatและคณะ, 1999; Tsutsui, 1988)

ค. ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) และค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsion capacity index)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55, 60 หรือ 65 องศาเซลเซียสทำให้ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันสูงกว่าค่าที่ได้จากสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส และที่เวลาที่ต่างกัน ไม่ได้ทำให้ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่เมื่อให้อุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระยะเวลาให้ความร้อนมีอิทธิพลทำให้สมบัตินี้ของสารละลายไข่แดงมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากการให้ความร้อนที่ระยะเวลาที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันนั้น จะเห็นได้ว่า นอกเหนือจากกรณีที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 นาทีแล้วการให้ความร้อนที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับและที่ระยะเวลาให้ความร้อนต่างๆจะทำให้ค่า Emulsion Stability Index นี้สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่เวลาให้ความร้อนที่เท่ากัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่อุณหภูมิเดียวกันจะทำให้ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน มีค่าสูงขึ้น แต่การสูงขึ้นของค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน

ดังกล่าวนี้ มีทั้งที่สูงขึ้นอย่างไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และอย่างที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สมบัติของสารละลายไขแดงเมื่อผ่านการให้ความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการเป็นตัวกระทำอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชันสูงขึ้น สามารถอธิบายได้จากการคลายตัวของโปรตีนไขแดงเมื่อได้รับความร้อนแล้วเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาและหมู่ที่ไม่ชอบน้ำนี้จะไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของผิวหน้าน้ำมันและน้ำ ซึ่งทำให้ค่าแรงตึงระหว่างหน้าน้ำและน้ำมันลดต่ำลง surface activity จึงสูงขึ้น ดังนั้นความสามารถในการจับอนุภาคน้ำมันรวมทั้งเสถียรภาพของอิมัลชัน จึงดีกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายไขแดงที่ไม่ผ่านความร้อน (Mustaphaและคณะ, 2012; Tsutsui, 1988; Yamamotoและคณะ, 1996) กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ไขแดงเป็นตัวกระทำอิมัลชันที่ดีขึ้น

ง. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อมีความร้อนให้แก่สารละลายไขแดงในทุกๆระดับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทดลองจะทำให้ได้ค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้รับความร้อน แต่ไม่พบอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างระดับอุณหภูมิที่ให้และระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ยกเว้นในกรณีของอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาทีที่ทำให้สารละลายไขแดงมีค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากกรณีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าศักย์ซีตา ค่าแรงตึงผิว ระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำของสารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนเทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน

Egg yolk used	Heating at		pH	Zeta potential (mV)	Interfacial tension (mN/m)
	Temperature (°C)	Time (min)			
Unheated	-	-	6.22 ^c ± 0.01	-9.65 ^d ± 0.07	9.38 ^a ± 0.02
Heated	55	3	6.26 ^b ± 0.01	-10.45 ^{cd} ± 0.21	9.31 ^b ± 0.01
		6	6.25 ^b ± 0.01	-10.65 ^{bcd} ± 0.64	9.30 ^{bc} ± 0.00
		9	6.25 ^b ± 0.01	-10.70 ^{bcd} ± 0.28	9.24 ^{cd} ± 0.04
	60	3	6.26 ^b ± 0.01	-10.70 ^{bcd} ± 0.42	9.31 ^b ± 0.02
		6	6.26 ^b ± 0.01	-10.80 ^{bcd} ± 0.14	9.18 ^d ± 0.03
		9	6.26 ^b ± 0.01	-11.45 ^{bc} ± 0.78	9.09 ^e ± 0.02
	65	3	6.25 ^b ± 0.00	-11.05 ^{bc} ± 0.64	9.02 ^f ± 0.00
		6	6.26 ^b ± 0.00	-11.65 ^b ± 0.35	8.87 ^g ± 0.04
		9	6.29 ^a ± 0.01	-12.90 ^a ± 0.71	8.62 ^h ± 0.02

a,b,c... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จ. ค่าศักย์ซีตา (Zeta potential)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่อุณหภูมิ 3 ระดับที่ใช้ในการทดลองด้วยระยะเวลาต่างๆจะทำให้ค่าศักย์ซีตาดำลงเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากสารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้ค่าศักย์ซีตานี้ต่ำลงอย่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน จะเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาเวลานาน 9 นาทีและที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสในทุกๆระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง โดยที่อุณหภูมิให้ความร้อน 65 องศาเซลเซียส

นาน 9 นาทีจะทำให้ค่านี้ต่ำสุด (-12.90 ± 0.71 mV) และมีความแตกต่างจากอุณหภูมิอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเดียวกัน การเพิ่มอุณหภูมิไม่ทำให้ค่านี้ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นกรณีที่ให้ความร้อนที่ระยะเวลาคงที่ที่ 9 นาที การเพิ่มอุณหภูมิจาก 60 เป็น 65 องศาเซลเซียส อิทธิพลของความร้อนต่อค่าศักย์ซีตานิ สามารถอธิบายได้จากเหตุผลที่ว่าความหนาแน่นของประจุบนผิวโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายโปรตีนได้รับความร้อนเพราะความร้อนจะทำให้โปรตีนในสารละลายไปแตกตัวและเผยหมู่ต่างๆ ทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุออกมาส่งผลให้ค่าศักย์ซีตานิมีค่าเปลี่ยนแปลง (Benitez และ Lozano, 2006; Kojima และ Nakamura, 1985)

ฉ. ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำ (Interfacial tension)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน การให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ ที่ใช้ทดลอง ทำให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำลดลงต่ำกว่าค่าที่ได้จากตัวอย่างสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้ให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลาให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่านี้ลดลงต่ำกว่าค่าที่ได้จากระยะเวลาให้ความร้อนที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำสุดในการทดลองคือ 55 องศาเซลเซียส อิทธิพลของระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ทำให้ค่าแรงตึงผิวนี้นลดลงไม่ได้ปรากฏให้เห็นได้ชัดเจนดังเช่นที่ปรากฏกับอุณหภูมิที่สูงกว่า ซึ่งอิทธิพลของความร้อนที่มีต่อการลดลงของค่าแรงตึงผิวนี้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่ได้ให้ไว้กับผลกระทบของความร้อนที่มีต่อค่า emulsion capacity และ ค่า emulsion stability index กล่าวคือความร้อนทำให้โปรตีนคลายตัวและเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาและชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมัน ทำให้ค่าแรงตึงระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำลดต่ำลง ส่งผลให้ surface activity สูงขึ้น (Denmatและคณะ, 2000; Mustaphaและคณะ, 2012; Tsutsui, 1988; Yamamotoและคณะ, 1996)

4.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสและประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

4.2.1 ศึกษาผลของการให้ความร้อนไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

ไข่ไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3, 6 และ 9 นาทีเป็นตัวกระทำอิ้มัลชันสำหรับตัวอย่างมายองเนส ในการทดลองนำมายองเนสที่ได้มาศึกษาสมบัติและความเสถียร ได้แก่ ความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัวของมายองเนส ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร การทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที การทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked stability in height) คือความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที การทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked stability in diameter) คือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย ได้ผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3-4.4 และรูปที่ 4.1-4.3

ก. ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิ้มัลชันในทุกๆอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองจะทำให้ได้มายองเนสที่มีค่าความหนืดสูงชันกว่ามายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 3 นาที ซึ่งค่าความหนืดสูงชันแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และพบว่า ที่อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่นานขึ้นไม่ได้มีผลทำให้ค่าความหนืดสูงชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเมื่อให้ความร้อนนาน 9 นาทีจะได้ค่าความหนืดปรากฏที่สูงชันกว่าค่าที่ได้จากการที่ให้ความร้อนที่เวลาน้อยกว่า (3 และ 6 นาที) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะเวลาการให้ความร้อนที่เท่ากัน อุณหภูมิที่ใช้กับไข่แดงที่สูงชันทำให้ค่าความหนืดปรากฏสูงชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกๆเวลาที่ใช้ในการทดลอง อิทธิพลของความร้อนที่มีต่อความหนืดของมายองเนสเป็นไปเช่นเดียวกับอิทธิพลของความร้อนที่มีต่อความหนืดของสารละลายไข่แดง (4.1.2 ก) ดังที่ได้อธิบายเหตุผลไว้ว่าความร้อนทำให้โปรตีนในไข่แดงคลายตัวส่งผลให้โปรตีนมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดที่แปรผันกับขนาดโปรตีนจึงมีค่าสูงชัน

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของความร้อนและเวลาต่อสมบัติของมายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ย โดยปริมาตร เมื่อใช้สารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนเทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน

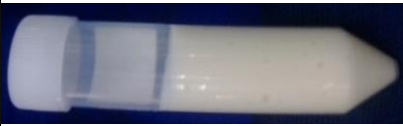

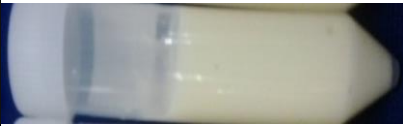

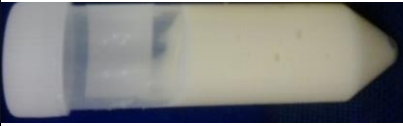


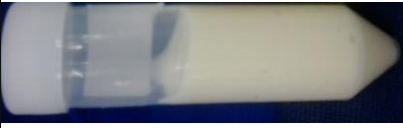












Egg yolk used	Heating at		Apparent viscosity (mPa.s)	Emulsion stability (%)	D[4,3] (µm)
	Temperature (°C)	Time (min)			
Unheated	-	-	7653 ^s ± 92	87.36 ^e ± 0.31	7.83 ⁱ ± 0.02
Heated	55	3	7776 ^{fs} ± 61	89.12 ^c ± 0.42	8.55 ^h ± 0.04
		6	7896 ^{ef} ± 70	88.40 ^d ± 0.06	9.73 ^s ± 0.04
		9	7880 ^{ef} ± 90	89.33 ^c ± 0.24	10.43 ^f ± 0.08
	60	3	7956 ^{de} ± 70	89.14 ^c ± 0.37	10.47 ^f ± 0.15
		6	8076 ^{cd} ± 94	89.48 ^c ± 0.34	10.76 ^e ± 0.17
		9	8046 ^{cd} ± 97	89.32 ^c ± 0.29	12.31 ^c ± 0.06
	65	3	8146 ^{bc} ± 60	89.68 ^c ± 0.07	11.63 ^d ± 0.07
		6	8236 ^b ± 45	90.61 ^b ± 0.66	13.47 ^b ± 0.22
		9	8406 ^a ± 37	91.88 ^a ± 0.43	14.79 ^a ± 0.03

a,b,c,... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)

ข. ค่าความคงตัว (Emulsion stability)

จากรูปที่ 4.1 แสดงได้อย่างชัดเจนว่าตัวอย่างมายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อนหลังการปั่นเหวี่ยงจะมีชั้นน้ำที่แยกชั้นออกมาอยู่ที่ก้นหลอดปั่นเหวี่ยงในปริมาณที่มากกว่า ตัวอย่างมายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อน ค่าความคงตัวของมายองเนสได้คำนวณจากน้ำหนักของชั้นที่แยกตัวนี้ตามสมการ 4 และแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนจะทำให้ค่าความคงตัวนี้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) จากค่าความคงตัวของมายองเนสนี้บ่งว่าสารละลายไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นตัวกระทำอิทธิพลชั้นที่ดีกว่าสารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และจากตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ใช้ในการทดลองคือ 65 องศาเซลเซียส การแปรระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนมีผลทำให้ค่านี้สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากระยะเวลาที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่การเพิ่มระยะเวลาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าไม่ได้มีผลทำให้ค่าความคงตัวนี้เปลี่ยนแปลงจากค่าที่ได้จากการให้ความร้อนที่ระยะเวลาที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อิทธิพลของความร้อนที่ให้ต่อสารละลายไข่แดงที่มีผลต่อค่าความคงตัวของมายองเนสนี้เนื่องมาจากความร้อนทำให้โปรตีนในสารละลายไข่แดงเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมา และหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่ชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันทำให้เกิดโปรตีนฟิล์มที่หนาขึ้น ซึ่งโปรตีนฟิล์มนี้จะมีสมบัติเป็นตัวกระทำอิทธิพลชั้นทำหน้าที่ลดค่าแรงตึงระหว่างผิวน้ำน้ำมันและน้ำ และยังช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์การหลอมรวมของอนุภาคน้ำมัน (coalescence) จึงส่งผลให้ค่าความคงตัวของมายองเนสสูงขึ้น (Ibanoglu และ Ercelebi, 2007; Manoi และ Rizvi, 2009; Zayas, 1997) และประกอบกับสารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนมีความหนืดที่สูงขึ้นดังผลการทดลองที่ปรากฏในหัวข้อ 4.2 ก จึงทำให้ความหนืดของระบบมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนมีค่าสูงขึ้น และความหนืดที่สูงขึ้นนี้จะเพิ่มความต้านต่อการเคลื่อนที่เข้ารวมตัวของอนุภาคน้ำมันได้มากยิ่งขึ้น

รูปที่ 4.1 อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อความคงตัวของมายองเนสก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง

Before centrifuge										
After centrifuge										
Egg yolk used	Unheated	Heated at 55 °C, 3 min	Heated at 55 °C, 6 min	Heated at 55 °C, 9 min	Heated at 60 °C, 3 min	Heated at 60 °C, 6 min	Heated at 60 °C, 9 min	Heated at 65 °C, 3 min	Heated at 65 °C, 6 min	Heated at 65 °C, 9 min

ค. ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3])

จากตารางที่ 4.3 พบว่ามายองเนสที่มีตัวกระทำอิมัลชันเป็นสารละลายไข่แดงที่ได้รับ ความร้อนในทุกๆระดับอุณหภูมิและระยะเวลาให้ความร้อนมีค่า D[4,3] สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันและ พบว่าค่า (D[4,3]) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนนี้มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามอุณหภูมิและระยะเวลาให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค น้ำมันใช้หลักการ laser diffraction ซึ่งเป็นการวัดขนาดอนุภาคน้ำมันที่รวมถึงชั้นฟิล์มของโปรตีน ไข่แดงที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันด้วย ดังนั้นค่า D[4,3] ที่สูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่าน ความร้อนตามผลการทดลองที่ได้นี้ จึงน่าจะมีเหตุผลตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2 ข กล่าวคือ ชั้น ฟิล์มที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันที่ได้จากการผสมที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนใน ไข่แดงจะหนาขึ้นเมื่อสารละลายไข่แดงได้รับความร้อนมากขึ้นจึงส่งผลให้ค่า D[4,3] ที่วัดได้มีขนาด ใหญ่ขึ้น ซึ่งพบจากผลการวิเคราะห์ด้วย confocal laser scanning microscope ในระบบอิมัลชัน rice bran oil-in-water ดังรูปที่แสดงในภาคผนวก ง1

ง. ค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่ระดับ 55 และ 60 องศาเซลเซียสจาก 3 นาทีถึง 9 นาที ไม่ได้มีอิทธิพลอย่างชัดเจนที่จะทำให้ค่าการทนความร้อนนี้ เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน แต่ที่ ภาวะการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่สูงขึ้นได้แก่ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ทั้งอิทธิพลของ อุณหภูมิ และ ระยะเวลาที่ให้ความร้อน ทำให้สมบัติการทนความร้อนของมายองเนสนี้มีค่าสูงขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่สมบัติดังกล่าวนี้สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสนี้เนื่องมาจากความหนืดของระบบมายองเนสที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสดังผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 ก ซึ่ง จะลดโอกาสการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมันในระบบมายองเนส ทำให้อนุภาคน้ำมันไม่มาเกาะกันเป็น กลุ่ม (flocculation) นอกจากนี้ความหนาของชั้นโปรตีนฟิล์มของไข่แดงที่ได้รับความร้อนยังป้องกันการ หลอมรวมกันของอนุภาคน้ำมัน (coalescence) เป็นอนุภาคใหญ่ทำให้อิมัลชันเสถียรกว่า จึงทำให้ ค่าการทนความร้อนของมายองเนสสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของมายองเนส (การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย)

Egg yolk used	Heating at		Heat stability (%)	Baked stability		Freeze and thaw stability (%)
	Temperature (°C)	Time (min)		% Height	% Diameter	
Unheated	-	-	69.49 ^d ± 0.13	58.92 ^{ef} ± 1.28	86.40 ^e ± 0.28	34.90 ^h ± 0.04
Heated	55	3	70.50 ^c ± 0.81	57.90 ^f ± 0.65	88.76 ^d ± 1.30	35.12 ^h ± 0.20
		6	69.63 ^d ± 0.23	61.39 ^{de} ± 1.82	89.90 ^{cd} ± 0.67	37.14 ^g ± 0.54
		9	70.56 ^c ± 0.60	62.61 ^{cd} ± 1.56	89.82 ^{cd} ± 1.40	43.74 ^d ± 0.38
	60	3	70.32 ^{cd} ± 0.38	64.44 ^{bcd} ± 1.21	89.46 ^d ± 1.47	39.52 ^f ± 0.30
		6	70.29 ^{cd} ± 0.37	63.72 ^{cd} ± 2.68	91.26 ^{bc} ± 1.15	41.73 ^e ± 0.38
		9	70.06 ^{cd} ± 0.26	67.43 ^{ab} ± 1.91	93.19 ^a ± 0.67	47.46 ^b ± 0.26
	65	3	70.71 ^c ± 0.29	65.83 ^{ab} ± 2.12	91.80 ^{ab} ± 0.45	46.12 ^c ± 0.44
		6	71.54 ^b ± 0.67	68.16 ^a ± 1.61	92.45 ^{ab} ± 0.54	47.92 ^b ± 0.53
		9	72.78 ^a ± 0.42	67.94 ^a ± 2.09	93.47 ^a ± 0.77	51.71 ^a ± 0.39




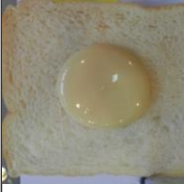







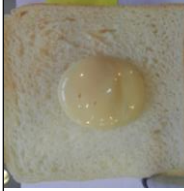
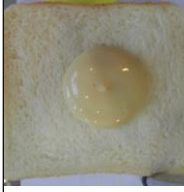
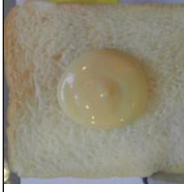



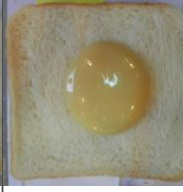


a,b,c... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked stability in height)

รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นลักษณะก่อนมายองเนสก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ซึ่งในการทดลองนี้ได้วัดความสูงของก่อนมายองเนสก่อนและหลังการอบ ค่าการทนความร้อนในการอบซึ่งแสดงด้วยค่าร้อยละของความสูงที่คงอยู่ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชันหลังการอบด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 จะพบว่าการใช้สารละลายไข่แดงที่รับความร้อนที่นอกเหนือไปจากภาวะที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 6 นาทีจะทำให้ค่านี้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อน อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้สมบัตินี้มีค่าที่สูงขึ้นโดย มายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส นานกว่า 6 นาทีเป็นตัวกระทำอิมัลชัน ทำให้สมบัติการทนความร้อนในการอบที่มีต่อความคงตัวของสัณฐานความสูงมีค่าอยู่ในระดับที่สูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับเหตุผลที่ใช้ อธิบายค่าทนความร้อนในข้อที่ 4.2 ง



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ให้แก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของก้อนมาเยองเนสก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

Before baking						
After baking (200 °C, 5 min)						Heated at 60 °C for 3 min
Egg yolk used	Unheated	Heated at 55 °C for 3 min	Heated at 55 °C for 6 min	Heated at 55 °C for 9 min	Heated at 60 °C for 3 min	Heated at 60 °C for 6 min
Before baking						
After baking (200 °C, 5 min)						Heated at 65 °C for 3 min
Egg yolk used	Heated at 60 °C for 6 min	Heated at 60 °C for 9 min	Heated at 65 °C for 3 min	Heated at 65 °C for 6 min	Heated at 65 °C for 9 min	Heated at 65 °C for 9 min

ฉ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked stability in diameter)

ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลางคำนวณได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนมายองเนสในรูปที่ 4.2 ตามสมการที่ 7 และแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนทำให้ค่านี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อน และพบว่ามายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ได้รับความร้อนด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าและระยะเวลาที่นานกว่าจะให้สมบัติทนความร้อนนี้มีค่าสูงขึ้น เหตุผลมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงผ่านความร้อนให้ค่าการทนความร้อนในการอบดีกว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงไม่ผ่านความร้อน อธิบายได้ในหลักการเดียวกับค่าความคงตัวที่สูงกว่าและขนาดอนุภาคน้ำมันที่ใหญ่กว่า ผลการทดลอง พบว่าค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูงและการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลางของมายองเนสเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่เป็นตัวทำอิมัลชัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันและค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดงที่เป็นตัวทำอิมัลชันเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ได้รับความร้อน (จากผลการทดลองในข้อที่ 4.1 ค และตารางที่ 4.1) ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับเหตุผลที่ใช้อธิบายค่าทนความร้อนในข้อที่ 4.2 ง


















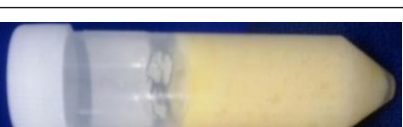
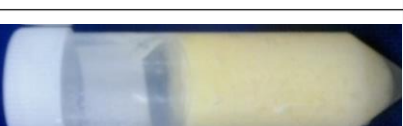
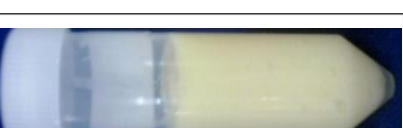
ข. การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and thaw stability)

จากค่าการการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสของสารละลายไข่แดงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 พบว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนทำให้ค่านี้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อน ยกเว้นภาวะที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และพบว่าสมบัติดังกล่าวนี้จะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นของการให้ความร้อนกับสารละลายไข่แดง เนื่องจากสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่สูงขึ้นและเวลาที่นานขึ้นทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มที่หนาและแข็งแรงขึ้นช่วยต้านทานการทำลายของผลึกน้ำแข็งได้ดีกว่าจึงลดการแตกตัวของอนุภาคน้ำมันและการแยกชั้นของอิมัลชัน เป็นผลทำให้ระบบอิมัลชันเสถียรต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายได้ดีกว่า

จากการประเมินสมบัติความคงตัวร่วมกับสมบัติการทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง-การละลายที่ได้จากระบบมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาให้ความร้อนต่างๆเป็นตัวกระทำอิมัลชันพบว่า การให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาที แก่ไข่แดงจะทำให้ได้สมบัติดังกล่าวดีที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนต่อไป จึงได้เลือกใช้ภาวะดังกล่าวเป็นภาวะที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.3 อิทธิพลของความร้อนและเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัติของมายองเนสก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

Before FT										
After FT (-20 °C, 3 days)										
Egg yolk used	Unheated	Heated at 55 °C, 3 min	Heated at 55 °C, 6 min	Heated at 55 °C, 9 min	Heated at 60 °C, 3 min	Heated at 60 °C, 6 min	Heated at 60 °C, 9 min	Heated at 65 °C, 3 min	Heated at 65 °C, 6 min	Heated at 65 °C, 9 min

4.2.2 ประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไขแดงที่ผ่านความร้อนกับ ความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่เยือกแข็ง

จากตารางที่ 4.5 พบว่า สมบัติของไขแดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมายองเนสในแต่ละลักษณะและสมบัติมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ทั้งที่เป็นความสัมพันธ์ไปในทางบวก ได้แก่ ความหนืดปรากฏ, ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน, ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน ค่าความเป็นกรดต่าง และทางลบ ได้แก่ ค่าการละลายของโปรตีน, ค่าศักย์ซีตา, ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำ จากความสัมพันธ์ข้างต้นหมายความว่าเมื่อสมบัติของไขแดงที่ผ่านความร้อนเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความเสถียรของมายองเนสเปลี่ยนไปด้วย ค่าความเสถียรของมายองเนสที่เปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นตามสมบัติเชิงหน้าที่นี้อธิบายด้วยเหตุผลเดียวกับที่อธิบายในข้อ 4.1 และ 4.2 กล่าวคือความร้อนทำให้โปรตีนในสารละลายไขแดงเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาและหมู่ที่ไม่ชอบน้ำนี้ชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันทำให้เกิดโปรตีนฟิล์มที่หนาขึ้น ซึ่งโปรตีนฟิล์มนี้จะมีสมบัติเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำหน้าที่ลดค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวน้ำมันและน้ำ และยังช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์การหลอมรวมของอนุภาคน้ำมัน (coalescence) จึงส่งผลให้ค่าความเสถียรของมายองเนสสูงขึ้น (Ibanoglu และ Ercelebi, 2007; Manoi และ Rizvi, 2009; Zayas, 1997) และประกอบกับสารละลายไขแดงที่ผ่านความร้อนมีความหนืดที่สูงขึ้น จึงทำให้ความหนืดของระบบมายองเนสที่ใช้สารละลายไขแดงที่ผ่านความร้อนมีค่าสูงขึ้น และความหนืดที่สูงขึ้นนี้จะเพิ่มความต้านต่อการเคลื่อนที่เข้ารวมตัวของอนุภาคน้ำมันได้มากยิ่งขึ้น ขณะที่ความสัมพันธ์ในสมบัติของไขแดงที่ผ่านความร้อนด้านความเป็นกรดต่างกับความเสถียรของมายองเนส ด้านค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูงและค่าการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ 99

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อนกับความเสถียรของมาयोगเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง

ความเสถียรของมาयोगเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง	สมบัติของไข่แดงที่ผ่านความร้อน							
	Apparent viscosity (mPa.s)	Protein solubility (%)	Emulsion capacity (%)	Emulsion Stability Index (min)	pH	Zeta potential (mV)	Interfacial Tension (mN/m)	
Apparent Viscosity (mPa.S)	0.735**	-0.916**	0.780**	0.905**	0.620**	-0.777**	-0.931**	
Emulsion stability (%)	0.845**	-0.844**	0.987**	0.842**	0.712**	-0.795**	-0.883**	
D[4,3] (µm)	0.755**	-0.955**	0.796**	0.925**	0.590**	-0.835**	-0.937**	
Heat stability (%)	0.823**	-0.747**	0.981**	0.732**	0.653**	-0.753**	-0.809**	
Baked stability in height (%)	0.437**	-0.778**	0.566**	0.693**	0.351	-0.577**	-0.702**	
Baked stability in diameter (%)	0.519**	-0.751**	0.587**	0.741**	0.401	-0.690**	-0.763**	
Freeze-thaw stability (%)	0.645**	-0.928**	0.733**	0.863**	0.486*	-0.766**	-0.887**	

*แสดงว่าความสัมพันธ์ (Correlation) มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

**แสดงว่าความสัมพันธ์ (Correlation) มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

4.3 ผลของปริมาณสารละลายไขแดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

ผลการทดลองศึกษาผลของการให้ความร้อนไขแดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสในหัวข้อ 4.2 พบว่าการใช้สารละลายไขแดงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาทีเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้ค่าความคงตัวของมายองเนส ขนาดอนุภาคน้ำมัน การทนความร้อนและการแช่เยือกแข็งสูงกว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายไขแดงที่สภาวะอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองต่อไปนี้จะเลือกใช้สารละลายไขแดงที่ผ่านภาวะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาทีมาแปรปริมาณที่ใช้ผสมลงในมายองเนสเพื่อศึกษาอิทธิพลต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส ปริมาณสารละลายไขแดงที่แปรได้แก่ ร้อยละ 6, 8, 10, 12 และ 14 และมีปัจจัยที่ได้ศึกษาได้แก่ ความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัวของมายองเนส ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (ขนาดและความสูงที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย โดยทำการเปรียบเทียบกับสารละลายไขแดงที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ได้ผลการทดลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6-4.7 และรูปที่ 4.4-4.6

ก. ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไขแดงไม่ว่าจะเป็นสารละลายไขแดงที่ไม่ได้รับหรือได้รับความร้อน ส่งผลให้ค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่าที่ปริมาณการใช้สารละลายไขแดงที่เท่ากันในทุกระดับปริมาณการใช้ที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8 ไขแดงที่ผ่านการให้ความร้อนจะให้ค่าความหนืดปรากฏที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะที่ปริมาณการใช้ที่ร้อยละ 14 เมื่อไขแดงที่ได้รับความร้อนจะทำให้ค่าความหนืดของระบบมายองเนสสูงขึ้นอย่างมากสูงกว่าค่าความหนืดของมายองเนสที่ใช้ไขแดงสดเป็น 2 เท่า เนื่องจากความร้อนทำให้ขนาดโปรตีนใหญ่ขึ้นซึ่งส่งผลแปรผันโดยตรงกับค่าความหนืดปรากฏของระบบสารละลาย ดังที่ได้กล่าวไว้ใน 4.1.2 ก และปริมาณสารละลายไขแดงที่มากขึ้นทำให้ระบบมีปริมาณของแข็งมากขึ้นร่วมกับปริมาณน้ำที่ลดลงจึงทำให้อัตราการถ่ายโอนโมเมนตัมของวัฏภาคต่อเนื่องต่ำลง ค่าความหนืดของระบบจึงสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อมีโปรตีนไขแดงซึ่งเป็นตัวกระทำอิมัลชันในปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้การกระจายของอนุภาคน้ำมันในวัฏภาคต่อเนื่อง (น้ำ) ดีขึ้น อิมัลชันมีความหนืดสูงขึ้นและเสถียรขึ้น (Guilmineau, 2008)

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนต่อสมบัติของมายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร) เทียบกับสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อน











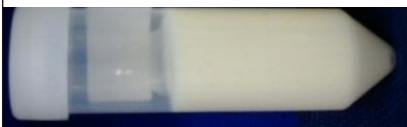






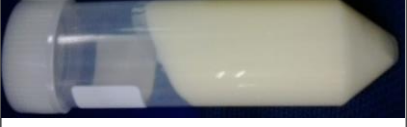


Egg yolk used	%	Apparent Viscosity (mPa.s)	Emulsion stability (%)	D[4,3] (μm)
Unheated	6	5277 ⁱ ± 61	80.76 ^h ± 0.30	9.00 ^{ef} ± 0.19
	8	6273 ^h ± 32	86.40 ^s ± 0.12	8.39 ^f ± 0.22
	10	7640 ^f ± 182	87.91 ^f ± 0.18	8.10 ^f ± 0.16
	12	13953 ^d ± 186	94.47 ^d ± 0.18	10.59 ^d ± 0.53
	14	17707 ^b ± 210	96.58 ^b ± 0.06	11.68 ^c ± 0.68
Heated at 65°C, 9 min	6	5317 ⁱ ± 71	79.98 ⁱ ± 0.14	10.44 ^d ± 0.69
	8	6983 ^s ± 150	88.15 ^f ± 0.12	9.47 ^e ± 0.46
	10	8910 ^e ± 213	90.74 ^e ± 0.11	12.66 ^b ± 0.29
	12	15600 ^c ± 200	95.99 ^c ± 0.09	13.45 ^b ± 0.31
	14	37067 ^a ± 153	98.47 ^a ± 0.09	15.32 ^a ± 1.11

a,b,c... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าความคงตัว (Emulsion stability)

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชันให้แก่มายองเนสไม่ว่าสารละลายไข่แดงนั้นจะไม่ผ่านหรือผ่านความร้อนก็ตามจะทำให้ค่าความคงตัวของมายองเนสเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่ปริมาณสารละลายไข่แดงที่เท่ากันในทุกระดับที่ใช้ในการทดลองนอกเหนือจากการใช้ที่ปริมาณร้อยละ 6 การใช้สารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อน (ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที) เป็นตัวกระทำอิมัลชันจะทำให้สมบัติการคงตัวของมายองเนสที่ได้สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากสารละลายไข่แดงที่ไม่รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การที่ความร้อนทำให้สารละลายไข่แดงที่ปริมาณต่างๆ ให้สมบัติการคงตัวของมายองเนสที่สูงขึ้นนี้เป็นเพราะโปรตีนจะเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำสร้างฟิล์มที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันบนผิวหน้าน้ำมันดังได้อธิบายเหตุผลไว้ใน 4.2 ข และ การที่ปริมาณสารละลายไข่แดงที่เพิ่มขึ้นได้ส่งเสริมให้สมบัติการคงตัวที่สูงขึ้นนั้นเนื่องมาจากปริมาณสารละลายไข่แดงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าลดลง ส่งผลให้หมู่ไม่ชอบน้ำเคลื่อนไปบริเวณฟิล์มรอบอนุภาคน้ำมันมากขึ้น (Taiwo และคณะ, 1997) และประกอบกับทำให้ความหนืดปรากฏของมายองเนสมีค่าสูงขึ้นดังที่ปรากฏในผลการทดลองใน 4.3 ก จึงทำให้ลดโอกาสที่อนุภาคน้ำมันจะเคลื่อนที่มารวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ยังผลให้สมบัติการคงตัวของมายองเนสสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณสารละลายไข่แดงที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.4 อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับการปรับความเข้มข้นก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง

Before centrifuge											Egg yolk concentration used
After centrifuge											14% Heated 65°C, 9 min
											12% Heated 65°C, 9 min
											10% Heated 65°C, 9 min
											8% Heated 65°C, 9 min
											6% Heated 65°C, 9 min
											14% Unheated
											12% Unheated
											10% Unheated
											8% Unheated
											6% Unheated

ค. ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร D[4,3]

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการใช้สารละลายไขแดงไม่ผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันในระดับปริมาณที่ต่ำ (ไม่สูงกว่าร้อยละ 10) ไม่ทำให้ค่า D[4,3] ของมายองเนสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่การใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12 ทำให้ค่า D[4,3] สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่การเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไขแดงผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้ค่า D[4,3] ของมายองเนสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นการใช้สารละลายไขแดงในปริมาณร้อยละ 8 ทำให้ค่า D[4,3] ต่ำลง การเพิ่มปริมาณไขแดงแต่ไม่ทำให้ค่า D[4,3] อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของไขแดงที่เพิ่มลงไปนั้นไปอยู่รอบอนุภาคไขมันในช่องว่างของชั้นไขแดงที่มีอยู่เดิมจนกระทั่งที่ว่างในชั้นนั้นถูกเติมเต็มแล้ว ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณไขแดงลงไปอีกโมเลกุลของไขแดงก็ไปอยู่รอบอนุภาคไขมันโดยไปเพิ่มชั้นไขแดงจากชั้นที่มีอยู่เดิมทำให้ค่า D[4,3] ที่ปริมาณสารละลายไขแดงที่เท่ากันในทุกระดับที่ใช้ในการทดลอง การใช้สารละลายไขแดงที่ให้ความร้อน (ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที) เป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้ค่า D[4,3] ของมายองเนสที่ได้สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากสารละลายไขแดงที่ไม่ได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ขนาดของอนุภาคน้ำมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการใช้สารละลายไขแดงที่ไม่ผ่านความร้อนระหว่างร้อยละ 6 ถึง 10 และเมื่อเพิ่มระดับการใช้ไขแดงที่ได้รับความร้อนจากร้อยละ 6 เป็น 8 แต่อนุภาคน้ำมันในมายองเนสจะกลับมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณการใช้สารละลายไขแดงเพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้คาดได้ว่าน่าจะมีปริมาณสารละลายไขแดงที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้อนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กที่สุด จากผลการทดลองสามารถพิจารณาได้ว่าในกรณีของสารละลายไขแดงที่ไม่ผ่านความร้อน ปริมาณดังกล่าวคาดว่าน่าจะอยู่ในช่วงร้อยละ 6 ถึง 12 และในกรณีไขแดงที่ได้รับความร้อนคาดว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6 ถึง 10 แต่ดังที่ได้กล่าวไว้ใน 4.2 ค การวัดขนาดอนุภาคน้ำมันเป็นการวัดที่รวมความหนาของชั้นฟิล์มโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันด้วย ดังนั้นการมีอยู่ของสารละลายไขแดงที่มากขึ้นจึงทำให้ชั้นฟิล์มที่ได้หนาขึ้นอนุภาคน้ำมันที่วัดได้จึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและพบว่าที่ปริมาณการใช้ที่เท่ากันการให้ความร้อนแก่ไขแดงที่ใช้กับมายองเนสจะทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ใน 4.2 ข ที่กล่าวว่าเมื่อโปรตีนในสารละลายไขแดงได้รับความร้อนจะเผยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำออกมาและหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่ชอบที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวของน้ำและน้ำมันทำให้เกิดฟิล์มที่หนาขึ้นกว่าในกรณีที่เกิดขึ้นกับสารละลายไขแดงที่ไม่ผ่านความร้อน ส่งผลให้อนุภาคน้ำมันที่วัดได้มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับเหตุผลในข้อ 4.2 ค และยืนยันจากผลการวิเคราะห์ด้วย confocal laser scanning microscope ในระบบอิมัลชัน rice bran oil in water ดังรูปที่แสดงในภาคผนวก ง1 (Ibanoglu และ Ercelebi, 2007; Manoi และ Rizvi, 2009; Zayas, 1997)

ง. ค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงไม่ผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้สมบัติทนความร้อนของมายองเนสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกระดับที่เพิ่มปริมาณการใช้ในการทดลองนี้ แตกต่างกับกรณีของการใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้มายองเนสที่ได้มีค่าการทนความร้อนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการใช้สารละลายไข่แดงที่เพิ่มสูงขึ้น และในทุกระดับปริมาณการใช้ไข่แดงที่เท่ากัน ไข่แดงที่ผ่านความร้อนจะเป็นตัวกระทำอิมัลชันที่ให้ค่าการทนความร้อนที่สูงกว่าไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนแล้วทำให้สมบัติค่าการทนความร้อนนี้สูงขึ้นนั้นเนื่องจากความหนืดของระบบที่สูงขึ้นและชั้นฟิล์มโปรตีนไข่แดงที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันหนาขึ้นเช่นเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 4.2 ง และ 4.3 ค



ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนต่อสมบัติของมายองเนส (การทนความร้อน การทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย)

Egg yolk used	%	Heat stability (%)	Baked stability		Freeze and thaw stability (%)
			% Height	% Diameter	
Unheated	6	69.90 ^s ± 0.18	58.20 ^f ± 1.61	82.15 ^f ± 1.66	30.88 ^h ± 0.63
	8	71.28 ^f ± 0.76	58.71 ^f ± 1.36	88.11 ^d ± 1.15	34.18 ^s ± 0.76
	10	71.75 ^f ± 0.13	59.71 ^{ef} ± 1.08	88.58 ^d ± 0.92	36.36 ^f ± 0.41
	12	74.24 ^d ± 0.33	66.66 ^d ± 3.91	91.45 ^c ± 1.34	53.39 ^{bc} ± 0.31
	14	75.27 ^c ± 0.05	69.83 ^{bc} ± 0.13	94.31 ^{ab} ± 1.60	54.11 ^b ± 0.64
Heated at 65°C, 9 min	6	71.73 ^f ± 0.12	57.63 ^f ± 2.24	85.71 ^e ± 1.13	41.52 ^e ± 0.76
	8	73.47 ^e ± 0.34	62.47 ^e ± 1.36	88.53 ^d ± 1.21	49.99 ^d ± 0.22
	10	74.92 ^c ± 0.17	67.66 ^{cd} ± 0.85	91.22 ^c ± 0.18	52.66 ^c ± 0.21
	12	76.20 ^b ± 0.64	71.32 ^{ab} ± 1.53	92.30 ^{bc} ± 0.67	54.08 ^b ± 0.32
	14	77.44 ^a ± 0.40	73.00 ^a ± 0.13	95.62 ^a ± 1.35	56.68 ^a ± 0.45



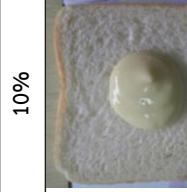
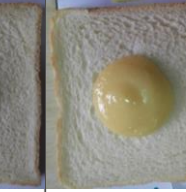
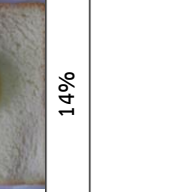




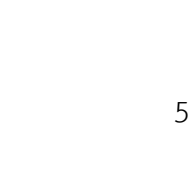


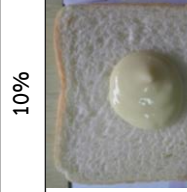
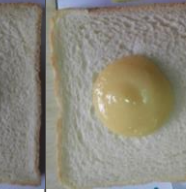
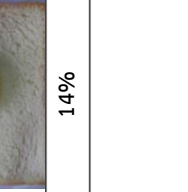




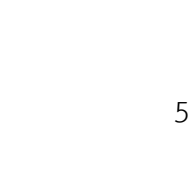
a,b,c... คือตัวอักษรที่ต่างกันเมื่อคำนวณได้ยากันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)

จ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked stability in height)

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงไม่ผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้สมบัติการทนความร้อนในการอบต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของมายองเนสมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกระดับที่เพิ่มปริมาณการใช้ในการทดลองนี้ ในขณะที่การใช้สารละลายไข่แดงผ่านความร้อนทำให้มายองเนสที่ได้มีสมบัติการทนความร้อนในการอบนี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าที่ปริมาณสารละลายไข่แดงที่เท่ากันสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนจะทำให้ได้มายองเนสที่มีสมบัติการทนความร้อนที่สูงขึ้นกว่าการใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เหตุผลที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายไข่แดงที่ผ่านความร้อนในสูตรมายองเนสทำให้ค่าการทนความร้อนในการอบนี้สูงขึ้นเป็นเช่นเดียวกับข้อ 4.2 ง และ 4.3 ค



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้ความร้อนต่อสมบัติของก้อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

Before baking										
After baking (200 °C, 5 min)										
Concentration of unheated EY used						6%	8%	10%	12%	14%
Before baking										
After baking (200 °C, 5 min)										
Concentration of heated EY (65°C,9 min) used						6%	8%	10%	12%	14%





















ข. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked stability in diameter)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันในมายองเนสทำให้ค่าแสดงสมบัติการทนความร้อนในการอบที่มีต่อขนาดที่เปลี่ยนแปลงแนวโน้มเพิ่ม เนื่องจากเหตุผลดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ใน 4.2 ง และ 4.3 ค แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณการใช้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12 ไม่ปรากฏอิทธิพลผลของความร้อนที่ให้แก่สารละลายไข่แดงต่อสมบัตินี้อย่างชัดเจน

ข. การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and thaw stability)

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงไม่ผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้สมบัติการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสมีแนวโน้มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การใช้สารละลาย ไข่แดงผ่านความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้ค่านี้ของมายองเนสที่ได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกระดับปริมาณการใช้ในระดับปริมาณสารละลายไข่แดงที่เท่ากัน การใช้สารละลายไข่แดงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาทีเป็นตัวกระทำอิมัลชันสำหรับมายองเนสทำให้ได้สมบัติการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นที่ระดับการใช้ที่ร้อยละ 12 ซึ่งค่านี้สูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เหตุผลของปริมาณสารละลายไข่แดงที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการทนความร้อนสูงขึ้นเช่นเดียวกับข้อ 4.2 ข

รูปที่ 4.6 อิทธิพลของปริมาณของสารละลายไข่แดงที่ไม่ให้ความร้อนและให้ความร้อน (65 องศาเซลเซียส นาน 9 นาที) ต่อสมบัติของมายองเนส ก่อน และหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลาย เมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

Before FT										
After FT (-20 °C, 3 days)										
Concentration of egg yolk used	6% Unheated	8% Unheated	10% Unheated	12% Unheated	14% Unheated	6% Heated 65°C,9 min	8% Heated 65°C,9 min	10% Heated 65°C,9 min	12% Heated 65°C,9 min	14% Heated 65°C,9 min

4.4 สมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างหน้าและความหนืดปรากฏของสตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรต์ (OSA starch) ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน

ค่าความหนืดปรากฏ และค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำมันกับน้ำในระบบอิมัลชันจำลองระหว่างน้ำกับรำข้าวของสารละลายในน้ำของสตาร์ชออกทินิลซัคซินิกแอนไฮไดรต์ (สตาร์ช OSA) ที่มีระดับการแทนที่ของหมู่ OS ต่างกัน 2 ระดับ (ระดับของการแทนที่ร้อยละ 1.5 และ 3.0) ที่ได้แปรระดับความเข้มข้นของสตาร์ชในสารละลายน้ำต่างกัน 3 ระดับ (ร้อยละ 1, 2 และ 3) แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ก. ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของสตาร์ชตัดแปร OSA

ค่าความหนืดปรากฏสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองกรณีของการใช้สตาร์ชที่มีระดับการแทนที่ของหมู่ OS และที่ความเข้มข้นของสตาร์ชที่เท่ากัน สตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ที่สูงกว่าจะทำให้ได้ค่าความหนืดปรากฏที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้สตาร์ชที่มีระดับการแทนที่ที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่านอกจากผลของความเข้มข้นที่ส่งผลทำให้ความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ชเพิ่มขึ้นแล้ว การที่สตาร์ช OSA มีสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิกโมเลกุล (amphiphilic molecule) คือมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำมัน (hydrophobic part) และส่วนที่ละลายได้ดีในน้ำ (hydrophilic part) เนื่องจากมีสายโซ่ข้าง (side chain) ซึ่งมีประจุลบเพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดการผลักรันภายในสายโซ่ทำให้สายโซ่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของสตาร์ชจึงทำให้ความหนืดของสารละลายสตาร์ชเพิ่มขึ้น (Zhongและคณะ, 2013)

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดปรากฏ ค่าแรงตึงระหว่างผิวหน้าของสารละลายสตาร์ช OSA

OSA starch used	% Starch	Apparent viscosity (mPa·S)	Interfacial tension (mN/M)
FA1513 (1.5% OS)	1.0	5.07 ^f ± 0.21	13.29 ^a ± 0.17
	2.0	10.27 ^d ± 0.25	12.42 ^b ± 0.14
	3.0	40.10 ^b ± 0.50	11.61 ^c ± 0.24
EMULTEC 908 (3.0% OS)	1.0	6.50 ^e ± 0.26	12.48 ^b ± 0.19
	2.0	17.73 ^c ± 0.32	11.44 ^c ± 0.24
	3.0	45.90 ^a ± 0.30	10.48 ^d ± 0.39

a,b,c... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันรำข้าว (Interfacial tension) ของสตาร์ช

ดัดแปร OSA

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณของหมู่ไฮโดรโฟบิกออกทีนิลและหมู่ไฮโดรฟิลิกคาร์บอกซิลที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้และระดับการแทนที่ของหมู่ดังกล่าวในสตาร์ชทำให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันรำข้าวและน้ำจะลดลงตามระดับการแทนที่ของหมู่ดังกล่าวในสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.5 ผลของระดับการแทนที่และปริมาณ (OSA starch) ต่อสมบัติ ความเสถียรของมายองเนส และประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชตัดแปร OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่แข็ง

4.5.1 ผลของระดับการแทนที่และปริมาณ (OSA starch) ต่อสมบัติความเสถียรของมายองเนส

จากผลการทดลองที่ได้ศึกษาผลของปริมาณสารละลายไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนสในหัวข้อ 4.3 พบว่าการใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาทีที่ปริมาณร้อยละ 14 เป็นตัวกระทำอิมัลชันในระบบ มายองเนสทำให้ค่าสมบัติความคงตัว ขนาดอนุภาคน้ำมัน สมบัติการทนความร้อนและการแช่เยือกแข็งสูงกว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงที่สภาวะอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองในหัวข้อนี้จึงเลือกใช้สารละลายไข่แดงที่ผ่านภาวะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 9 นาทีที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 14 มาเป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 และรูปที่ 4.7 - 4.9 พร้อมข้อมูลเปรียบเทียบที่เป็นมายองเนสควบคุมที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 14 โดยปราศจากการใช้สารเพิ่มความเสถียรใดๆ โดยแปรสตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ OS แตกต่างกันจำนวน 2 ชนิด และแปรปริมาณที่ใช้ 4 ระดับได้แก่ ร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

ก. ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสจากสูตรที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนและสตาร์ช OSA ในทุกระดับหมู่แทนที่และปริมาณที่ใช้สูงกว่าค่าที่ได้จากมายองเนสสูตรควบคุม (สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนร้อยละ 14) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นมายองเนสสูตรที่ใช้ไข่แดงได้รับความร้อนร่วมสตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ร้อยละ 1.5 ปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ค่าความหนืดปรากฏต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมายองเนสสูตรที่ใช้ไข่แดงได้รับความร้อนร่วมสตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ร้อยละ 3.0 ปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ค่าความหนืดปรากฏสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าสำหรับตัวอย่างที่ใช้สตาร์ช OSA ซึ่งมีระดับหมู่แทนที่เดียวกันเมื่อปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่ระดับการใช้ที่เท่ากัน ระดับการแทนที่ที่สูงกว่าจะทำให้ได้ค่าความหนืดปรากฏสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับผลที่ได้จาก

การใช้สตาร์ช OSA ในระบบอิมัลชันจำลองในหัวข้อ 4.4 ก การใช้สารละลายไข่แดงความเข้มข้นร้อยละ 14 ร่วมกับสตาร์ช OSA พบว่าการใช้ปริมาณสตาร์ช OSA ที่ความเข้มข้นต่ำ สตาร์ชมีประจุลบเข้าไปเป็นตัวกระทำอิมัลชันด้วยขณะเดียวกันอาจไปทำปฏิกิริยากับประจุบวกที่มีอยู่บนผิวโปรตีนในไข่แดงทำให้ไข่แดงมีความหนาแน่นของประจุลบสุทธิ (net negative charge density) สูงขึ้น ทำให้เกิด bridge flocculation ของโปรตีนไข่แดงได้น้อยลง ซึ่งในกรณีนี้ bridge flocculation จะเป็นกลไกหนึ่งซึ่งทำให้ความหนืดปรากฏสูงและอิมัลชันเสถียร ดังนั้นเมื่อมีการเกิด bridge flocculation น้อยลง ความหนืดและความเสถียรจะต่ำลง แต่เมื่อใช้ปริมาณสตาร์ชสูงขึ้น สตาร์ชส่วนใหญ่อยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องและทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดปรากฏของวัฏภาคต่อเนื่องและระบบอิมัลชันสูง เป็นผลทำให้อิมัลชันเสถียร ในกรณีที่มีสตาร์ชในปริมาณที่เพียงพอเช่นนี้ จะไปลดบทบาทของ bridge flocculation ที่มีต่อการเพิ่มความหนืดและความเสถียรของอิมัลชัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนืดที่ได้จากการแปรสตาร์ชทั้ง 2 ชนิดและความเข้มข้นที่ใช้ทั้ง 4 ระดับอยู่ในช่วง 7,367-925,000 mPa.s ซึ่งเป็นค่าความหนืดที่อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับมายองเนสที่ขายอยู่ในท้องตลาดซึ่งมีค่าความหนืดปรากฏอยู่ในช่วง 6,800-822,000 mPa.s ความหนืดปรากฏที่อยู่ในช่วงนี้มีลักษณะที่สามารถตักได้ (spoonable) ซึ่งจัดเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญของผลิตภัณฑ์มายองเนส

ตารางที่ 4.9 อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายองเนส (ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัว ขนาดอนุภาคไขมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร การทนความร้อนในการอบ การทนความร้อนในการอบ การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย)


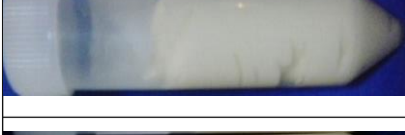


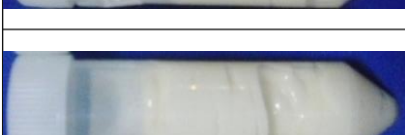


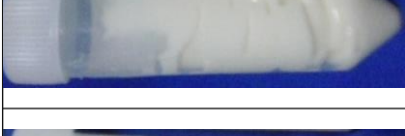

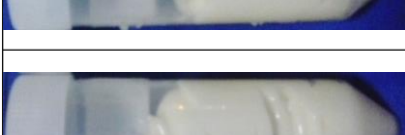

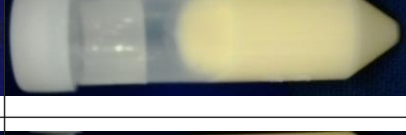
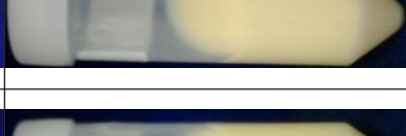

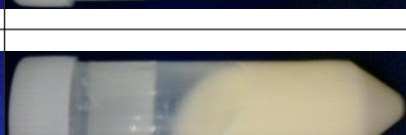


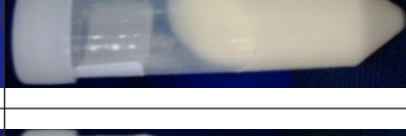
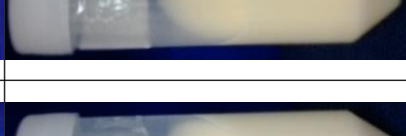
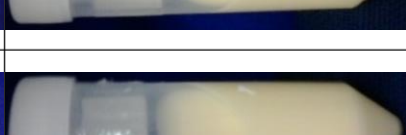
Egg yolk used	% Starch		Apparent viscosity (mPa.s)	Emulsion stability (%)	D[4,3] (μm)
14% heated	-	0	37067 ^s \pm 153	98.47 ^e \pm 0.09	15.32 ^a \pm 1.11
14% Heated	FA 1513 (1.5%OS group)	1.0	17367 ^h \pm 150	97.43 ^f \pm 0.39	10.60 ^b \pm 0.64
		1.5	93467 ^f \pm 32	99.11 ^c \pm 0.51	9.06 ^c \pm 0.71
		2.0	184500 ^d \pm 182	99.28 ^{bc} \pm 0.63	7.51 ^d \pm 0.32
		2.5	345333 ^c \pm 186	99.95 ^{ab} \pm 0.08	6.14 ^f \pm 0.38
14% Heated	EMULTEC 908 (3.0%OS group)	1.0	41800 ^s \pm 210	99.73 ^{abc} \pm 0.27	9.78 ^{bc} \pm 0.36
		1.5	176167 ^e \pm 71	99.75 ^{abc} \pm 0.44	7.55 ^d \pm 0.15
		2.0	780667 ^b \pm 150	99.80 ^{abc} \pm 0.35	6.66 ^{de} \pm 0.46
		2.5	925000 ^a \pm 150	100.00 ^a \pm 0.00	5.83 ^f \pm 0.25

a,b,c,... คือตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ข. ค่าความคงตัว (Stability)

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนร่วมกับสตาร์ช OSA ในทุกระดับหมู่แทนที่และปริมาณที่ใช้ให้ค่าความคงตัวที่สูงกว่ามายองเนสสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นมายองเนสสูตรที่ใช้ไข่แดงที่ได้รับความร้อนร่วมกับสตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ซึ่งมีค่าความคงตัวต่ำกว่ามายองเนสสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และที่ระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสตาร์ชที่ใช้จะทำให้ค่าความคงตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่ระดับหมู่แทนที่ที่ร้อยละ 3 ปริมาณการใช้สตาร์ชที่สูงขึ้นไม่ได้ทำให้ค่าความคงตัวนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการใช้สตาร์ช OSA ที่หมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.5 และที่หมู่แทนที่ร้อยละ 3 ที่ความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1 จะทำให้ได้ค่าความคงตัวสูงกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากสมบัติของสตาร์ช OSA ที่ช่วยเพิ่มความหนืดแก่วัสดุภาคต่อเนื่องผ่านกลไก steric และ electrostatic stabilization (Nilsson และ Bergenstahl, 2005; Tesch และคณะ, 2002) และค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สตาร์ช OSA มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ให้ความเสถียรที่ต่ำกว่ามายองเนสสูตรควบคุมเนื่องมาจากการใช้สตาร์ช OSA ชนิดนี้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ให้ค่าความหนืดปรากฏที่ต่ำกว่าชุดควบคุม ดังผลการทดลองในหัวข้อ 4.5 ก จึงเป็นผลให้โอกาสที่อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่มาเกาะกัน (flocculation) หลอมรวมกัน (coalescence) และเกิดการแยกชั้นได้มากกว่า

รูปที่ 4.7 อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อความคงตัวของมาเยนส์ก่อนและหลังการปั่นเหวี่ยง

Before centrifuge																																
After centrifuge																																
Egg yolk used / OSA starch used	<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="1185 1630 1257 1765">14% Heated</td> <td data-bbox="1185 1496 1257 1630">14%Heated / 1.0%</td> <td data-bbox="1185 1361 1257 1496">14%Heated / 1.5%</td> <td data-bbox="1185 1227 1257 1361">14%Heated / 2.0%</td> <td data-bbox="1185 1093 1257 1227">14%Heated / 2.5%</td> <td data-bbox="1185 958 1257 1093">14%Heated / 1.0%</td> <td data-bbox="1185 824 1257 958">14%Heated / 1.5%</td> <td data-bbox="1185 689 1257 824">14%Heated / 2.0%</td> <td data-bbox="1185 555 1257 689">14%Heated / 2.5%</td> <td data-bbox="1185 421 1257 555">14%Heated / 2.0%</td> <td data-bbox="1185 309 1257 421">14%Heated / 2.5%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1257 1630 1311 1765"></td> <td data-bbox="1257 1496 1311 1630">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 1361 1311 1496">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 1227 1311 1361">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 1093 1311 1227">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 958 1311 1093">of 3.0% OS</td> <td data-bbox="1257 824 1311 958">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 689 1311 824">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 555 1311 689">of 1.5% OS</td> <td data-bbox="1257 421 1311 555">of 3.0% OS</td> <td data-bbox="1257 309 1311 421">of 3.0% OS</td> </tr> </tbody> </table>										14% Heated	14%Heated / 1.0%	14%Heated / 1.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%	14%Heated / 1.0%	14%Heated / 1.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%		of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 3.0% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 3.0% OS	of 3.0% OS
14% Heated	14%Heated / 1.0%	14%Heated / 1.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%	14%Heated / 1.0%	14%Heated / 1.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%	14%Heated / 2.0%	14%Heated / 2.5%																						
	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 3.0% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 3.0% OS	of 3.0% OS																						

ค. ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร (D[4,3])

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่า D[4,3] ของมายองเนสจากสูตรที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนร่วมกับสตาร์ช OSA ในทุกระดับหมู่แทนที่และปริมาณที่ใช้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากมายองเนสสูตรควบคุม (สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนร้อยละ 14) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมสตาร์ช OSA ในมายองเนสร่วมกับสารละลายไข่แดงทำให้ค่า D[4,3] เล็กลงนั้นเนื่องจากสตาร์ช OSA มีโครงสร้างของสตาร์ชดังแสดงในรูปที่ 2.1 บ่งว่าสตาร์ช OSA เป็นสารประเภท amphiphile ซึ่งทำให้มีสมบัติเป็นตัวทำอิมัลชันได้ด้วยนอกเหนือจากการเป็นสารให้ความคงตัว จึงทำให้แรงดึงระหว่างผิวหน้าน้ำมันและน้ำลดลงส่งผลให้อนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กลง

ง. ค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

จากตารางที่ 4.10 พบว่า การใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ที่ร้อยละ 1.5 ในระดับปริมาณที่ต่ำ (ไม่สูงกว่าร้อยละ 2.0) ไม่สามารถเพิ่มสมบัติการทนต่อความร้อนได้เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แต่ใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2 ทำให้ได้ค่าการทนต่อความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากสูตรควบคุมแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสตาร์ชที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 3 เมื่อใช้ในปริมาณที่ต่ำ (ไม่สูงกว่า ร้อยละ 1.5) จะไม่สามารถเพิ่มสมบัติการทนต่อความร้อนได้เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แต่เมื่อปริมาณที่ใช้สูงขึ้น (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2) จะทำให้ได้ค่าการทนต่อความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเพื่อที่ให้สมบัติการทนความร้อนที่สูงขึ้นนี้ก็เช่นเดียวกับสมบัติด้านความคงตัว (4.5 ข) จำเป็นต้องใช้สตาร์ชในปริมาณที่เพียงพอที่จะทำให้สมบัติให้ความคงตัวของสตาร์ชมีอิทธิพลเหนืออิทธิพลของความหนาแน่นของประจุลบสุทธิ (net negative charge density) ที่สูงขึ้นเมื่อมีสตาร์ชเข้ามาในระบบ นอกจากนี้พบว่าระดับปริมาณการใช้สตาร์ช OSA ทั้ง 2 ชนิดที่สูงขึ้นจะทำให้สมบัตินี้มีค่าสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากระดับปริมาณการใช้ที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นตัวอย่างที่ใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ที่ระดับการใช้ที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.5 ไป 2.0 ที่ค่าดังกล่าวสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และยังเห็นได้ว่าระดับการแทนที่ที่มากกว่าจะให้สมบัติการ คงตัวต่อความร้อนแก่มายองเนสสูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาณที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระดับหมู่แทนที่ OS และปริมาณของสตาร์ช OSA ที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการทนความร้อนสูงขึ้นเหตุผลเช่นเดียวกับเหตุผลที่อธิบายไว้ในข้อ 4.5 ข, ค

ตารางที่ 4.10 อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายเนส (การทนความร้อน การทนความชื้นในการอบ (คำนวณจากความสูงที่คงอยู่หลังการอบหรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังอบ) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and thaw stability))

Egg yolk used	% Starch	Heat stability (%)	Bake stability		Freeze stability (%)
			% Height	% Diameter	
14% Heated	-	77.44 ^c ± 0.40	73.00 ^a ± 0.13	95.62 ^a ± 1.35	56.68 ^{de} ± 0.45
14% Heated FA 1513 (1.5%OS group)	0	77.44 ^c ± 0.40	73.00 ^a ± 0.13	95.62 ^a ± 1.35	56.68 ^{de} ± 0.45
	1.0	70.15 ^f ± 0.39	68.09 ^{de} ± 0.57	84.49 ^d ± 1.03	47.88 ^f ± 0.89
	1.5	71.88 ^e ± 0.74	69.22 ^{cd} ± 0.22	87.21 ^c ± 1.10	55.64 ^e ± 0.74
	2.0	73.13 ^{de} ± 0.48	70.67 ^{bc} ± 0.58	90.44 ^b ± 1.09	56.86 ^{de} ± 0.49
	2.5	78.11 ^c ± 0.79	71.35 ^b ± 0.67	91.52 ^b ± 0.21	67.29 ^c ± 0.81
EMULTEC 908 (3.0%OS group)	1.0	74.17 ^d ± 1.13	66.96 ^e ± 1.20	85.94 ^{cd} ± 0.23	48.25 ^f ± 1.15
	1.5	77.61 ^c ± 0.98	69.98 ^{bc} ± 1.53	90.50 ^b ± 0.58	57.98 ^d ± 1.03
	2.0	82.32 ^b ± 0.98	71.24 ^b ± 1.15	91.83 ^b ± 0.32	71.48 ^b ± 1.07
	2.5	86.13 ^a ± 0.50	74.47 ^a ± 1.30	94.83 ^a ± 0.97	80.30 ^a ± 0.51

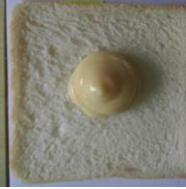


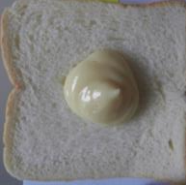





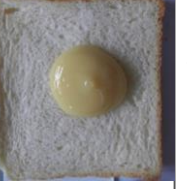



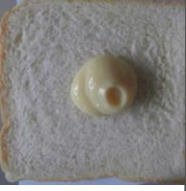
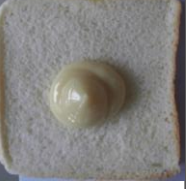
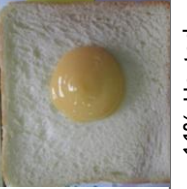
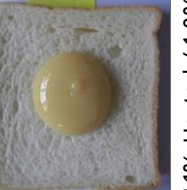
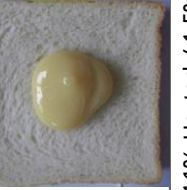
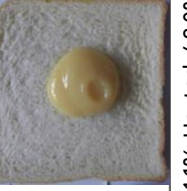
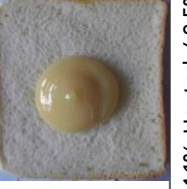
a,b,c,... คือตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)

จ. ค่าการทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked stability in height) (ความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที)

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความคงตัวของมายองเนสต่อการอบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของมายองเนสที่ใช้ไข่แดงที่ผ่านความร้อนและสตาร์ช OSA ในทุกระดับหมู่แทนที่และปริมาณที่ใช้ให้ค่าความคงตัวนี้ต่ำกว่ามายองเนสสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นมายองเนสสูตรที่ใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 3 ปริมาณร้อยละ 2.5 ค่าการทนความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากสูตรควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้ก็ได้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องมีปริมาณของสารให้ความคงตัวที่เพียงพอจึงจะสามารถทำให้ได้สมบัติทนความร้อนนี้สูงขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับเหตุผลในข้อ 4.5 ง และพบว่าการใช้สตาร์ช OSA ในทุกระดับหมู่แทนที่ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ได้ค่านี้สูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสมบัติของสตาร์ช OSA ตามที่ได้อธิบายในข้อ 4.5 ข, ค



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของก้อนมายองเนสก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

Before baking					
After baking (200 °C, 5 min)					
Egg yolk used / 1.5% OS group used	14% Heated	14% Heated / 1.0% starch	14% Heated / 1.5% starch	14% Heated / 2.0% starch	14% Heated / 2.5% starch
Before baking					
After baking (200 °C, 5 min)					
Egg yolk used / 3.0% OS group used	14% Heated	14% Heated / 1.0% starch	14% Heated / 1.5% starch	14% Heated / 2.0% starch	14% Heated / 2.5% starch







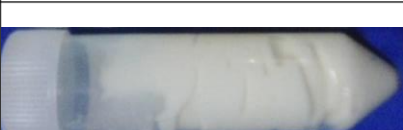
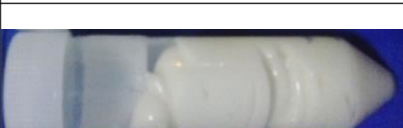









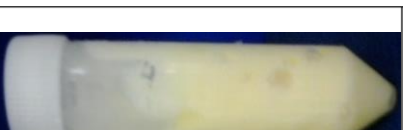
ฉ. ค่าการทนความร้อนในการอบแข็งเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked stability in Diameter) (ขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที)

จากตารางที่ 4.10 พบว่า การใช้สตาร์ช OSA ทุกระดับการแทนที่ของหมู่ OS และทุกระดับการใช้ในสูตรมายองเนสไม่สามารถเพิ่มสมบัติการทนความร้อนในการอบได้เมื่อเทียบกับมายองเนสสูตรควบคุม ยกเว้นการใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 3 ปริมาณการใช้ 2.5 ในมายองเนสทำให้ค่าการทนความร้อนไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม โดยผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับเหตุผลในข้อ 4.5 ง

ช. การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (Freeze and thaw stability)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าการใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 1.5 ในระดับปริมาณที่ต่ำ (ไม่สูงกว่าร้อยละ 2) ไม่สามารถเพิ่มสมบัติการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายของมายองเนส แต่การใช้สตาร์ช OSA ในปริมาณที่สูงขึ้น (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2.5) ทำให้ค่านี้สูงกว่าค่าที่ได้จากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่สำหรับสตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่ร้อยละ 3 ปริมาณการใช้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.5 ทำให้ได้ค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และในทุกระดับการใช้สตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่านี้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นการเพิ่มปริมาณการใช้จากร้อยละ 1.5 ไป 2.0 ของการใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ร้อยละ 1.5 ที่ทำให้สมบัติของมายองเนสดีขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ค่าการทนการแช่เยือกแข็งของมายองเนสดีขึ้นเมื่อใช้สตาร์ช OSA ที่มีระดับหมู่แทนที่และปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมายองเนสสูตรที่ไม่ได้ใช้สตาร์ช OSA เนื่องจากการเติมสตาร์ช OSA และการเพิ่มปริมาณที่เพียงพอของสตาร์ช OSA ในวัตถุดิบทำให้การเกิดผลึกน้ำแข็งในวัตถุดิบน้อยลงและขัดขวางการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งจึงส่งผลให้การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายสูงขึ้น (Annica, 2011)

รูปที่ 4.9 อิทธิพลของระดับหมู่แทนที่และปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของมายองเนสก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

<p>Before FT</p>										
	<p>After FT (-20 °C, 3 days)</p>									
		Egg yolk used / OSA starch used	14% Heated / 1.0%	14% Heated / 1.5%	14% Heated / 1.5%	14% Heated / 2.0%	14% Heated / 2.5%	14% Heated / 3.0%	14% Heated / 3.0%	14% Heated / 3.0%
			of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 1.5% OS	of 3.0% OS	of 3.0% OS	of 3.0% OS

4.5.2 ประเมินทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชตัดแปรร OSA กับ ความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA ด้านความหนืดปรากฏกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็งเป็นไปในทางบวกที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ได้แก่ ความหนืดปรากฏ การทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที การทนความร้อนในการอบเชิงความสูง (Baked stability in height) (ความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) การทนความร้อนในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Baked stability in diameter) (ขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมสตาร์ช OSA และการเพิ่มปริมาณที่เพียงพอของสตาร์ช OSA ในวิญญาคน้ำทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในวิญญาคน้ำน้อยลงและขัดขวางการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งจึงส่งผลให้การทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายสูงขึ้น (Annica, 2011) ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA ด้านความหนืดปรากฏกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็งเป็นไปในทางลบ พบเฉพาะค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร หมายความว่าถ้าความหนืดปรากฏของของสตาร์ชตัดแปรร OSA สูงขึ้นค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรจะมีค่าต่ำ ส่วนที่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA ด้านความหนืดปรากฏกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง ได้แก่ ค่าความคงตัวของมายองเนส สำหรับสมบัติของของสตาร์ช OSA ด้านค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมัน รำข้าวกับความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและการแช่เยือกแข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์กันทุกลักษณะในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ความเสถียรของมายองเนสที่สูงขึ้นตามสมบัติด้านแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำของสารละลายสตาร์ช OSA สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับที่อธิบายในข้อ 4.5

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ช OSA กับความเสถียรของมายองเนสที่
ทนความร้อนและทนการแช่แข็ง

ความเสถียรของมายองเนสที่ทนความร้อนและทนการแช่แข็ง	สมบัติของสตาร์ช OSA	
	Apparent Viscosity (mPa.s)	Interfacial Tension (mN/M)
Apparent Viscosity (mPa.S)	0.814**	-0.846**
Emulsion stability (%)	0.410	-0.607**
D[4,3] (µm)	-0.848**	0.920**
Heat stability (%)	0.656**	-0.870**
Baked stability in height (%)	0.779**	-0.669**
Baked stability in diameter (%)	0.849**	-0.917**
Freeze-thaw stability (%)	0.836**	-0.900**

*แสดงว่าความสัมพันธ์ (Correlation) มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

**แสดงว่าความสัมพันธ์ (Correlation) มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

4.6 ประเมินทางสถิติเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

4.6.1 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ให้ความร้อน

ก. ต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง

จากตารางที่ ข 2, 4, 6, 8 และ 14 ในภาคผนวก ข พบว่าความร้อนกับเวลาที่ให้แก่สารละลายไข่แดงมีอิทธิพลร่วมกันต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารละลายไข่แดง ได้แก่ ความหนืดปรากฏ ค่าการละลายของโปรตีน ค่าร้อยละการเกิดอิมัลชัน ค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชัน และค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้ากับน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่อิทธิพลร่วมดังกล่าวไม่ได้มีผลต่อสมบัติค่าความเป็นกรดต่างและค่าศักย์ซีตาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังที่แสดงในตารางที่ ข 10 และ 12 ซึ่งผลการประเมินทางสถิตินี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้รายงานในหัวข้อ 4.1 และตาราง 4.1-4.2

ข. ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

จากตารางที่ ข 18, 20, 22 และ 28 ในภาคผนวก ข พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างความร้อนกับเวลาที่ให้แก่สารละลายไข่แดงมีผลต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส ได้แก่ ความคงตัวของมายองเนส ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร ค่าการทน ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่อิทธิพลร่วมดังกล่าวไม่ได้มีผลต่อสมบัติค่าความหนืดปรากฏและค่าการทนความร้อนที่อุณหภูมิในการอบเชิงความสูงและเชิงเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังที่แสดงในตารางที่ ข 16, 24 และ 26 ซึ่งผลการประเมินทางสถิตินี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้รายงานในหัวข้อ 4.2 และตาราง 4.3-4.4

4.6.2 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับ

ปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

จากตารางที่ ข 30, 32, 34, 38, และ 42 ในภาคผนวก ข พบว่า ปัจจัยทั้งสองนี้มีอิทธิพลร่วมต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส ได้แก่ ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัวของมายองเนส ค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร ค่าการทนความร้อนที่อุณหภูมิในการอบเชิงความสูง และ ค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ตารางที่ ข 36 และ 40 แสดงให้เห็นว่าไม่มีอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวนี้

ต่อสมบัติค่าการทนความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีและค่าการทนความร้อนที่อุณหภูมิในการอบเชิงเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งผลการประเมินทางสถิตินี้ดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองที่รายงานในหัวข้อ 4.3 และตาราง 4.6-4.7

4.6.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับหมู่แทนที่ของสตาร์ช OSA กับปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติของสารละลายสตาร์ช OSA

จากตารางที่ ข 44 ในภาคผนวก ข พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระดับหมู่แทนที่ของสตาร์ช OSA กับปริมาณสตาร์ช OSA มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่จากตารางที่ ข 46 ในภาคผนวก ข ไม่พบอิทธิพลร่วมต่อสมบัติด้านแรงตึงผิวระหว่างหน้ากับน้ำมันรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.6.4 อิทธิพลร่วมระหว่างระดับหมู่แทนที่ของสตาร์ช OSA กับปริมาณสตาร์ช OSA ต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส

จากตารางที่ ข 48, 50, 54, 56, 58 และ 60 ในภาคผนวก ข พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระดับหมู่แทนที่ของสตาร์ช OSA กับปริมาณสตาร์ช OSA มีผลต่อสมบัติและความเสถียรของมายองเนส ได้แก่ ค่าความหนืดปรากฏ ค่าความคงตัวของมายองเนส ค่าการทนความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ค่าการทนความร้อนที่อุณหภูมิในการอบเชิงความสูงและเชิงเส้นผ่านศูนย์กลาง และ ค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมปัจจัยทั้งสองดังกล่าวนี้ต่อสมบัติค่า $D[4,3]$ ดังแสดงในตารางที่ ข 52 ในภาคผนวก ข ซึ่งผลการประเมินทางสถิตินี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่รายงานในหัวข้อ 4.5 และตาราง 4.8-4.9

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองพิสูจน์สมมุติฐานที่ตั้งว่า สมบัติของตัวกระทำอิมัลชันและสารให้ความคงตัวจะส่งผลกระทบต่อความเสถียรของอิมัลชันที่มีต่อความร้อนและการแช่เยือกแข็ง กล่าวคือมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA เป็นสารให้ความคงตัวที่มีสมบัติและความเสถียรสูงกว่ามายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงไม่ได้รับความร้อนและไม่ใส่สตาร์ช OSA และงานวิจัยนี้สามารถพัฒนามายองเนสที่ทนต่อความร้อนและการ แช่เยือกแข็งได้โดยใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA เป็นสารให้ความคงตัวในทุกๆ ระดับหมู่แทนที่และปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 นอกจากนี้โดยผลการทดลองอื่นๆสรุปได้ดังนี้

1. ไข่แดงสดมีองค์ประกอบ ดังนี้ ความชื้นร้อยละ 53.13 โปรตีนร้อยละ 14.73 ไขมันร้อยละ 29.07 เกลือร้อยละ 1.79 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.28

2. อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาที่นานขึ้นทำให้ไข่แดงมีความสามารถในการเป็นตัวกระทำอิมัลชันที่สูงขึ้นและเมื่อนำสารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนไปใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในมายองเนสจะทำให้สมบัติและความเสถียร ไม่ว่าจะเป็นค่าความหนืดปรากฏ ความคงตัว การทนความร้อน การทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายของมายองเนสสูงขึ้นกว่าสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้รับความร้อน

3. การใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนในปริมาณร้อยละ 14 เป็นตัวกระทำอิมัลชันทำให้สมบัติและความเสถียรของมายองเนสสูงกว่าการใช้สารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่ภาวะอื่นๆ

4. ที่ความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ช OSA เท่ากัน สตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ของหมู่ OS ร้อยละ 3 มีค่าสมบัติด้านความหนืดปรากฏสูงกว่าและแรงดึงระหว่างหน้าน้ำมันและน้ำต่ำกว่า สตาร์ช OSA ที่มีระดับการแทนที่ของหมู่ OS ร้อยละ 1.5

5. มายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA เป็นสารให้ความคงตัวในทุกๆ ระดับหมู่แทนที่และปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 มีสมบัติและความเสถียรสูงกว่ามายองเนสชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

6. อิทธิพลร่วมของความร้อนกับเวลา ปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลาย ไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดง และระดับหมู่แทนที่ของสตาร์ช OSA กับปริมาณ สตาร์ช OSA มีผลต่อค่าสมบัติความคงตัวและค่าความเสถียรต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายของ มายองเนสอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใส่สารจำพวก Nutritional หรือ Functional ingredients ในมายองเนสทนความร้อน และแช่เยือกแข็งทำให้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

2. ศึกษาผลอายุการเก็บรักษาทางจุลชีววิทยาและวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสของ มายองเนสทนความร้อนและแช่เยือกแข็ง



รายการอ้างอิง

- Annica, H. (2011). The freeze-thaw stability of mayonnaise and the effect of octenyl succinic anhydride modified starch as emulsifier. Dissertation. Linnaeus University, Kalmar, Sweden.
- Antipova, A., Semenova, M. G., and Belyakova, L. E. (1999). The effect of sucrose on the thermodynamic properties of ovalbumin and sodium caseinate in bulk solution and at air-water interface. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **12**, 261-270.
- Anton, M. (2013). Egg yolk: structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **93**, 2871-80.
- Association of Official Analytical Chemist (2005). Official Methods of Analysis. 11th. ed Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Benitez, E. I., and Lozano, J. E. (2006). Influence of the soluble solids on the zeta potential of a cloudy apple juice. *Latin American Applied Research* **36**, 163-168.
- Butler, D. J. (1978). Stabilized emulsions comprising phospholipo-protein. *GB. Patent*, 1,525,929.
- Campbell, L., and Trueck, H. U. (1998). Oil/water emulsion heat-stabilized with protein and DATEM. *US. Patent*, 5,837,308.
- Chun, J., Lim, S., Takeda, Y., and Shoki, M. (1997). Properties of high crystalline rice amyloextrins prepared in acid-alcohol media as fat replacers. *Cereal Food World* **42**, 813-819.
- Codex Standard (1989). Codex standard for mayonnaise. *Codex alimentarius*. **13**, 1-6.
- Colarow, L., Dalan, E., and Kusy, A. (1996). Protein-containing foods having stability to heat-treatment. *US. Patent*, 5,543,169.
- Cotterill, O. J., Glauert, J., and Bassett, H. J. (1976). Emulsifying properties of salted yolk after pasteurization and storage. *Poultry Science* **55**, 544-548.
- Coupland, J. N., and McClements, D. J. (1996). Lipid oxidation and food emulsions. *Trends in Food Science and Technology* **7**, 83-91.

- Cui, W., Eskin, N. A. M., and Biliaderis, C. G. (1993). Chemical and physical properties of yellow mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage. *Food Chemistry* **46**, 169-176.
- Denmat, M. L., Anton, M., and Beaumal, V. (2000). Characterisation of emulsion properties and of interface composition in O/W emulsions prepared with hen egg yolk, plasma and granules. *Food Hydrocolloids* **14**, 539-549.
- Denmat, M. L., Anton, M., and Gandemer, G. (1999). Protein denaturation and emulsifying properties of plasma and granules of egg yolk as related to heat treatment. *Journal of Food Science* **64**, 194-197.
- Depree, J. A., and Savage, G. P. (2001). Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends in Food Science and Technology* **12**, 157-163.
- Dokic, L., Krstonosic, V., and Nikolic, I. (2012). Physicochemical characteristics and stability of oil-in-water emulsions stabilized by OSA starch. *Food Hydrocolloids* **29**, 185-192.
- Food and Drug Administration (2003). Food and drug part 169-Food Dressings and Flavorings. Code of Federal Regulations. The Office of the Federal Register National Archives and Record. **21**, 547-548.
- Fumiko, I., Yasuo, O., Wataru, M., and Hiroshige, K. (1996). Heat-resistant freeze-resistant mayonnaise. *JP. Patent*, 08322505.
- Ghosh, M. (2007). Review on Recent Trends in Rice Bran Oil Processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **84**, 315-324.
- Ghosh, S., and Coupland, J. N. (2008). Factors affecting the freeze-thaw stability of emulsions. *Food Hydrocolloids* **22**, 105-111.
- Guilmineau, F. (2008). Impact of a thermal treatment on the physio-chemical and emulsifying properties of egg yolk. Dissertation. TU Munchen, Germany.
- Guilmineau, F., and Kulozik, U. (2006). Impact of a thermal treatment on the emulsifying properties of egg yolk. Part 2: Effect of the environmental conditions. *Food Hydrocolloids* **20**, 1114-1123.
- Guilmineau, F., and Kulozik, U. (2007). Influence of a thermal treatment on the functionality of hen's egg yolk in mayonnaise. *Journal of Food Engineering* **78**, 648-654.

- Hamilton, R. J., and Bhati, A. (1980). *Fats and oils chemistry and technology*, London: Applied Science Publishcation.
- Hatta, H., Hagi, T., and Hirano, K. (1996). Chemical and physicochemical properties of hen eggs and their application in foods. In Yamamoto, T., Juneja, L. R., Hatta, H., and Kim, M (eds.). *Hen Eggs Their Basic and Applied Science*, pp.117-133. CRC Press. New York. .
- Hiroshi, N., and Mitsuo, K. (1999). Composition for emulsion stabilizer and foods. *JP. Patent* , 11299435.
- Huopalahti, R., Lopez-Fandino, R., Anton, M., and Schade, R. (2007). *Bioactive Egg Compounds*, New York: Springer.
- Ibanoglu, E., and Ercelebi, E. A. (2007). Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums. *Food Chemistry* **101**, 626-633.
- Kare, L., and Stig, E. F. (1990). *Food Emulsions*, New York: Marcel Dekker. .
- Kato, A., Osako, Y., Matsudomi, N., and Kobayashi, K. (1983). Changes in the Emulsifying and Foaming Properties of Proteins during Heat Denaturation. *Agricultural and Biological Chemistry* **47**, 33-37.
- Kiosseoglou, V. D., and Sherman, P. (1983). The influence of egg yolk lipoproteins on the rheology and stability of O/W emulsions and mayonnaise. *Colloid and Polymer Science* **261**, 502-507.
- Kojima, E., and Nakamura, R. (1985). Heat gelling properties of hen's egg yolk low density lipoprotein (LDL) in the presence of other protein. *Journal of Food Science* **50**, 63-66.
- Kunihiko, H., and Masahiko, O. (2000). Heat-resistant mayonnaise. *JP. Patent*, 20316520A2.
- Manoi, K., and Rizvi, S. S. H. (2009). Emulsification mechanisms and characterizations of cold, gel-like emulsions produced from texturized whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids* **23**, 1837-1847.
- Martínez, I., Angustias Riscardo, M., and Franco, J. M. (2007). Effect of salt content on the rheological properties of salad dressing-type emulsions stabilized by emulsifier blends. *Journal of Food Engineering* **80**, 1272-1281.

- Mayumi, T., Kimie, K., and Tsuguaki, N. (1991). Mayonnaise sauce excellent in heat resistance and production thereof. *JP. Patent*, 04126050.
- Mayumi, T., Naoyuki, H., and Tsuguaki, N. (1992). Mayonnaise sauce having good heat resistance and production thereof. *JP. Patent*, 04053469.
- McClements, D. J. (1999). *Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques*, CRC Press LLC, Florida.
- McClements, D. J., and Decker, E. A. (2008). Lipids. In S. Damodaran, K. L. Parkin, and O. R. Fennema (eds.). *Fennema's Food Chemistry.*, pp.156-182. Boca Raton: CRC Press.
- Mine, Y., and Zhang, H. (2013). Egg components in food systems. In Michael Eskin, N. A., and Shahidi, F. (eds.). *Biochemistry of Food*, pp.215-241. California: Elsevier Inc.
- Mustapha, N. A., Ruttarattanamongkol, K., and Rizvi, S. S. H. (2012). The effects of supercritical fluid extrusion process on surface hydrophobicity of whey protein concentrate and its relation to storage and heat stability of concentrated emulsions. *Food Research International* **48**, 470-477.
- Nilsson, L., and Bergenstahl, B. (2005). Emulsification and adsorption properties of hydrophobically modified potato and barley starch. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **55**, 1469-1474.
- Palacios, L. E., and Wang, T. (2005). Egg-yolk lipid fractionation and lecithin characterization. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **82**, 571-578.
- Pearcae, K. N., and Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of protein evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **26**, 716-726.
- Rossell, J. B. (1991). Analysis and properties of oilseeds. In Rossell, J. B., and Pritchard, J. L. R. (eds.). *Analysis of Oilseeds, Fats and Fatty Foods*, pp.80-98. Elsevier Applied Science. New York.
- Sherman, P. (1968). *Emulsion Sciences*, London : Academic Press.
- Shogren, R., and Biresaw, G. (2007). Surface properties of water soluble maltodextrin, starch acetates and starch acetates/alkenylsuccinates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **298**, 170-176.

- Snyder, O. P. (1998). Assuring safety of egg yolk-based sauces and salad dressing. *Hospitality Institute of Technology and Management*, 1-13.
- Stadelman, W. J., and Cotterill, O. J. (1995). *Egg science and technology*. New York: The Haworth Press, Inc.
- Taiwo, K., Karbstein, H., and Schubert, H. (1997). Influence of temperature and additives on the adsorption kinetics of food emulsifiers. *Journal of Food Process Engineering* **20**, 1-16.
- Tesch, S., Gerhards, C., and Schubert, H. (2002). Stabilization of emulsions by OSA starches. *Journal of Food Engineering* **54**, 167-174.
- Tsutsui, T. (1988). Functional properties of heat-treated egg yolk low density lipoprotein. *Journal of Food Science* **53**, 1103-1106.
- Weiss, T. J. (1970). *Food oil and their uses*, Westport: The AVI Publishing.
- Weiss, T. J. (1983). *Food oil and their uses*, Westport: The AVI Publishing.
- Yamamoto, T., Juneja, L. R., Hatta, H., and Kim, M. (1996). *Hen Eggs Their Basic and Applied Science.*, CRC Press. New York.
- Yang, S. S., and Cotterill, O. J. (1989). Physical and functional properties of 10% salted egg yolk in mayonnaise. *Journal of Food Science* **54**, 210-213.
- Yoshiaki, S., Atsushi, O., and Takao, W. (1995). Mayonnaise-like emulsified food having freezing and thawing resistance and heat resistance. *JP. Patent*, 07194336.
- Young, L. L., Hamm, D., and Bankenship, L. C. (1983). Comparison of ova yolk with egg yolk. *Poultry Science* **62**, 392-394.
- Zayas, J. F. (1997). *Functionality of Proteins in Food*, New York: Springer.
- Zhong, Q., Wang, W., Hu, Z., and Ikeda, S. (2013). Sequential preheating and transglutaminase pretreatments improve stability of whey protein isolate at pH 7.0 during thermal sterilization. *Food Hydrocolloids* **31**, 306-316.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2535). "แป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร," สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ดัดแปลงจากวิธี AOAC.925.30 (2005)

อุปกรณ์

Hot air oven รุ่น NDO-600ND บริษัท Sithiporn Associates

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งไข่แดงสดประมาณ 2-3 กรัมให้ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้ง และชั่งน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 60 นาที
4. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างเข้าอบต่ออีกจนน้ำหนักคงที่ โดยให้มีความชื้นคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 0.2
6. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างอีกครั้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ดัดแปลงจากวิธี AOAC 954.01 (2005)

อุปกรณ์

Nitrogen/protein Determinator รุ่น FP 528 บริษัท Deco, USA

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งไข่แดงสดประมาณ 1 กรัมให้ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในภาชนะอลูมิเนียม
2. นำตัวอย่างใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง Nitrogen/Protein Determinator
3. ตัวอย่างจะถูกเผาในบรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยธาตุไนโตรเจน กลายเป็น NOx ทำปฏิกิริยากับทองแดงที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส คงเหลือก๊าซไนโตรเจน บริสุทธิ์ และถูกพาโดยก๊าซฮีเลียมเข้าไปตัววัดชนิด Thermal Conductivity Detector
4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมวลค่าร้อยละไนโตรเจนผ่านโปรแกรมเครื่องอัตโนมัติ จดบันทึกค่า ร้อยละไนโตรเจนผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ดัดแปลงจากวิธี AOAC 2003.06 (AOAC, 2005ad)

อุปกรณ์


Sohtherm บริษัท Sithiporn Associates

วิธีวิเคราะห์

1. อบขวดหาไขมันสำหรับหาไขมันซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven รุ่น NDO-600ND) ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษที่ทราบน้ำหนักประมาณ 5 กรัมห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
3. นำหลอดตัวอย่างวางในขวดหาไขมันและวางบนฐานที่วางของเครื่อง Sohtherm เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันปริมาณ 150 มิลลิลิตร
4. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อได้เวลาที่ตั้งไว้ นำหลอดตัวอย่างออกจากขวดหาไขมัน
5. นำขวดไขมันนี้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส
6. ทิ้งขวดหาไขมันในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาที อีกจนน้ำหนักคงที่นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณไขมัน โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ดัดแปลงจากวิธี AOAC.920.153 (2005) 

อุปกรณ์

Muffle Furnace บริษัท Sithiporn Associates

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างไข่แดงสดประมาณ 2 กรัม ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible) ที่เผาและชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาในตู้เผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสนาน 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน
3. นำออกจากตู้เผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาชั่งน้ำหนักจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเถ้า โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	641553.179	5.699E4	0.000
Error	18	11.258		

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ให้ความร้อนต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลายไข่แดง

Apparent viscosity		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	1082146.134	95371.281	0.000
	Time	586697	51706.608	0.000
Interaction	Temp*Time	577236	50872.754	0.000
Error		11.347		

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการละลายของโปรตีนของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	3.772	148.289	0.000
Error	18	0.025		

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าการละลาย โปรตีนของสารละลายไข่แดง

Protein solubility		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	22.803	530.758	0.000
	Time	6.659	154.993	0.000
Interaction	Temp*Time	1.785	20.778	0.000
Error		0.021		

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันของสารละลายไข่แดง ที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	3.854	25.611	0.000
Error	20	0.150		

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าร้อยละการเกิดอิมัลชันของสารละลายไข่แดง

Emulsion capacity		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	6.763	42.500	0.000
	Time	1.572	9.880	0.001
Interaction	Temp*Time	1.299	8.163	0.001
Error		0.159		

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดงที่ ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	18.498	30.247	0.000
Error	20	0.612		

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าดัชนีความเสถียรของอิมัลชันของสารละลายไข่แดง

Emulsion stability index		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	47.268	72.900	0.000
	Time	11.637	17.947	0.000
Interaction	Temp*Time	1.941	2.994	0.047
Error		0.648		

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	0.001	7.455	0.03
Error	9	8.056E5		

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายไข่แดง

pH		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	472.781	1596.575	0.000
	Time	0.555	1.873	0.196
Interaction	Temp*Time	0.544	1.838	0.201
Error		0.296		

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าศักยภาพซีตาของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	1.490	6.780	0.04
Error	9	0.220		

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าศักย์ซีตาของสารละลายไข่แดง

Zeta potential		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	2.532	6.989	0.010
	Time	1.934	5.339	0.039
Interaction	Temp*Time	0.191	0.526	0.604
Error		0.362		

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันของสารละลายไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

SOV	df	MS	F	Sig.
สารละลายไข่แดง	9	0.114	163.618	0.000
Error	9	0.001		

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนต่อค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าของสารละลายไข่แดง

Interfacial tension		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	0.388	69.456	0.000
	Time	0.130	26.692	0.000
Interaction	Temp*Time	0.022	4.560	0.034
Error		0.005		

ตารางที่ ข. 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆมาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	149126.296	26.677	0.000
Error	20	5590		

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลาย
ไข่แดงต่อค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำ
อิมัลชัน

Apparent viscosity		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	385137.037	73.334	0.000
	Time	54937.037	10.461	0.001
Interaction	Temp*Time	10870.370	2.070	0.127
Error		5251.852		

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดง
ที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตร
มายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	4,351	33.691	0.000
Error	20	0.129		

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลาย
ไข่แดงต่อค่าความคงตัวของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำ
อิมัลชัน

Emulsion stability		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	7.883	59.282	0.000
	Time	1.879	14.133	0.000
Interaction	Temp*Time	1.313	9.871	0.000
Error		0.133		

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดย
 ปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและ
 เวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	13.644	742.312	0.000
Error	20	0.018		

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ให้ความร้อนแก่สารละลาย
 ไข่แดงต่อค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสเมื่อใช้
 สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

D[4,3]		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	31.497	1547.643	0.000
	Time	11.873	583.385	0.000
Interaction	Temp*Time	0.674	33.129	0.000
Error		0.020		

ตารางที่ ข.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่
 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความ
 ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	2.766	12.883	0.000
Error	20	0.215		

ตารางที่ ข.22 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Heat stability		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	6.303	26.631	0.000
	Time	1.209	5.107	0.018
Interaction	Temp*Time	1.468	6.204	0.003
Error		0.237		

ตารางที่ ข.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	39.904	12.644	0.000
Error	20	3.156		

ตารางที่ ข.24 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in height		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	104.773	31.525	0.000
	Time	24.139	7.263	0.005
Interaction	Temp*Time	5.208	1.567	0.226
Error		3.323		

ตารางที่ ข.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	14.536	15.812	0.000
Error	20	0.919		

ตารางที่ ข.26 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in diameter		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	21.560	21.291	0.000
	Time	10.486	10.356	0.001
Interaction	Temp*Time	1.651	1.630	0.210
Error		1.013		

ตารางที่ ข.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	101.259	717.861	0.000
Error	20	0.141		

ตารางที่ ข.28 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วันของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสเมื่อใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Freeze-thaw stability		MS	F	Sig.
Main effect	Temperature(Temp)	222.937	1424.180	0.000
	Time	131.035	837.083	0.000
Interaction	Temp*Time	2.304	14.716	0.000
Error		0.157		

ตารางที่ ข.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	2.839E8	1.123E4	0.000
Error	20	25293.333		

ตารางที่ ข.30 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Apparent viscosity		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	1.591E8	6288.938	0.000
	Concentration(Conc)	4.965E8	19630.119	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	1.026E8	4056.319	0.000
Error		25293.333		

ตารางที่ ข.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดง ที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมีลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	125.981	5.384E3	0.000
Error	20	0.023		

ตารางที่ ข.32 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลาย ไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าความคงตัวของมายองเนส ที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมีลชัน

Emulsion stability		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	15.595	666.463	0.000
	Concentration(Conc)	276.884	11832.641	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	2.674	114.253	0.000
Error		0.023		

ตารางที่ ข.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดย ปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณ ต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมีลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	16.634	56.163	0.000
Error	20	0.296		

ตารางที่ ข.34 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

D[4,3]		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	55.515	187.442	0.000
	Concentration(Conc)	20.342	68.682	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	3.206	10.825	0.000
Error		0.296		

ตารางที่ ข.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	20.267	136.497	0.000
Error	20	0.148		

ตารางที่ ข.36 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Heat stability		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	45.485	306.341	0.000
	Concentration(Conc)	33.836	227.886	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	0.393	2.647	0.064
Error		0.148		

ตารางที่ ข.37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	103.150	36.782	0.000
Error	18	2.804		

ตารางที่ ข.38 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in height		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	108.186	34.693	0.000
	Concentration(Conc)	190.988	61.246	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	14.053	4.507	0.009
Error		3.118		

ตารางที่ ข.39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	48.774	34.010	0.000
Error	20	1.434		

ตารางที่ ข.40 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in diameter		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	23.214	16.187	0.001
	Concentration(Conc)	101.393	70.701	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	2.545	1.775	0.174
Error		1.434		

ตารางที่ ข.41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนคงที่ในปริมาณต่างๆ มาใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	9	280.005	1.070E3	0.000
Error	20	0.262		

ตารางที่ ข.42 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารละลายไข่แดงกับปัจจัยของปริมาณการใช้สารละลายไข่แดงต่อค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Freeze-thaw stability		MS	F	Sig.
Main effect	Egg yolk	635.168	2427.734	0.000
	Concentration(Conc)	391.394	1595.981	0.000
Interaction	Egg yolk*Conc	79.826	305.109	0.000
Error		0.262		

ตารางที่ ข.43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	5	944.801	9.144E3	0.000
Error	12	0.103		

ตารางที่ ข.44 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลายสตาร์ช OSA

Apparent viscosity		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	108.045	1045.597	0.000
	Concentration(conc)	2293.594	22196.070	0.000
Interaction	OS group*Conc	14.562	140.919	0.000
Error		0.103		

ตารางที่ ข.45 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าวของสารละลายสตาร์ช OSA ที่มีระดับของหมู่แทนที่ต่างกัน

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	5	2.895	49.923	0.000
Error	12	0.058		

ตารางที่ ข.46 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าแรงตึงผิวระหว่างหน้าน้ำกับน้ำมันรำข้าวของสารละลายสตาร์ช OSA

Interfacial tension		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	4.234	44359.614	0.000
	Concentration(conc)	5.081	73.022	0.000
Interaction	OS group*Conc	0.038	0.663	0.533
Error		0.058		

ตารางที่ ข.47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	3.411E11	26123.894	0.000
Error	18	1.306E7		

ตารางที่ ข.48 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความหนืดปรากฏของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Apparent viscosity		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	6.173E11	42020.813	0.000
	Concentration(conc)	4.888E11	33280.525	0.000
Interaction	OS group*Conc	1.437E11	9782.866	0.000
Error		1.469E7		

ตารางที่ ข.49 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	2.162	16.026	0.000
Error	18	0.135		

ตารางที่ ข.50 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าความคงตัวของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Emulsion stability		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	4.594	30.471	0.000
	Concentration(conc)	2.046	13.572	0.000
Interaction	OS group*Conc	1.451	9.622	0.001
Error		0.151		

ตารางที่ ข.51 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	26.279	84.127	0.000
Error	18	0.312		

ตารางที่ ข.52 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

D[4,3]		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	4.327	21.833	0.000
	Concentration(conc)	19.377	97.785	0.000
Interaction	OS group*Conc	0.369	1.864	0.176
Error		0.198		

ตารางที่ ข.53 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	78.404	136.306	0.000
Error	18	0.575		

ตารางที่ ข.54 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อน (Heat stability) ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Heat stability		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	272.363	433.950	0.000
	Concentration(conc)	109.751	174.864	0.000
Interaction	OS group*Conc	8.040	12.809	0.000
Error		0.628		

ตารางที่ ข.55 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	16.336	18.488	0.000
Error	18	0.884		

ตารางที่ ข.56 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณความสูงที่คงอยู่หลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in height		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	4.167	4.201	0.057
	Concentration(conc)	30.854	31.105	0.000
Interaction	OS group*Conc	4.568	4.606	0.017
Error		0.992		

ตารางที่ ข.57 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิมัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	43.169	57.573	0.000
Error	18	0.750		

ตารางที่ ข.58 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนความร้อนในการอบ (คำนวณขนาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที) ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

Baked stability in diameter		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	33.512	54.433	0.000
	Concentration(conc)	69.882	113.508	0.000
Interaction	OS group*Conc	1.762	2.862	0.000
Error		0.616		

ตารางที่ ข.59 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ที่ใช้สารละลายไข่แดงที่ได้รับความร้อนและเวลาคงที่เป็นตัวกระทำอิ้มัลชันร่วมกับสตาร์ช OSA ในสูตรมายองเนส

SOV	df	MS	F	Sig.
Mayonnaise	8	347.062	502.627	0.000
Error	18	0.690		

ตารางที่ ข.60 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างระดับการแทนที่ของหมู่ OS กับปริมาณของสตาร์ช OSA ต่อค่าการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายของมายองเนสเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ของมายองเนสที่ใช้สารละลายไข่แดงเป็นตัวกระทำอิ้มัลชัน

Baked stability in diameter		MS	F	Sig.
Main effect	OS group	344.966	459.156	0.000
	Concentration(conc)	716.744	954.000	0.000
Interaction	OS group*Conc	79.322	105.579	0.000
Error		0.751		

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลิตภัณฑ์มายองเนสทางการค้า

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างมายองเนสทางการค้าที่จำหน่ายในประเทศไทย

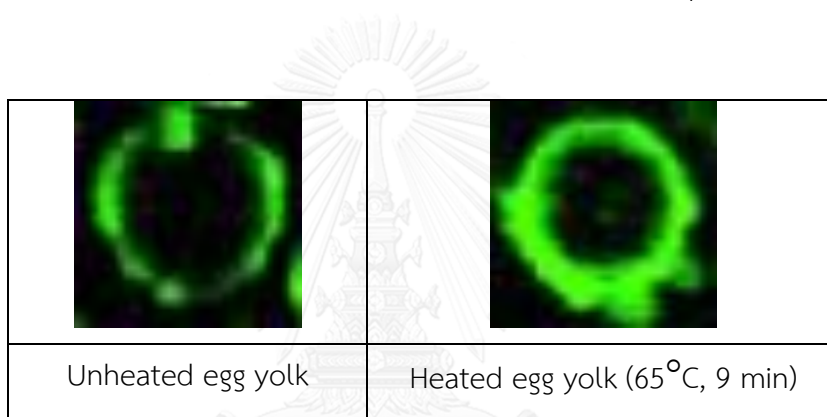
ส่วนประกอบ (ร้อยละ)	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C	ยี่ห้อ D
สารละลายไข่แดง	77	76	78	85
ไข่แดง	11	12	11	5
น้ำส้มสายชู	5	5	4	4
น้ำตาล	1	1	1	-
เกลือ	2	6	-	2

ตารางที่ ค.2 ความหนืดปรากฏของตัวอย่างมายองเนสทางการค้าที่จำหน่ายในประเทศไทย

สมบัติของมายองเนส	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C	ยี่ห้อ D
ความหนืดปรากฏ (mPa.s)	6,830	8,470	41,700	822,000

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ระบบระบบอิมัลชัน rice bran oil-in-water ที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชัน ด้วย confocal laser scanning microscope (CLSM; Olympus Fluoview FV1000, Tokyo, Japan) ที่ excited wavelengths 473 nm และ 635 nm ใช้ objective lens 60X กำลังขยาย 2.2 เท่า โดยใช้ Nile Blue (0.01% w/w in water) เป็นสีย้อมไข่แดง ภาพที่แสดงมีความละเอียด 512x512 pixel โดยใช้ Olympus FV10-ASW 3.0 viewer software (Olympus Corporation, Japan) สีเขียวในภาพแสดงชั้นของฟิล์มไข่แดงที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันรำข้าว



รูปที่ ง.1 ภาพ confocal laser scanning microscope แสดงชั้นฟิล์มของโปรตีนในระบบอิมัลชัน rice bran oil-in-water ที่ใช้ไข่แดงที่ไม่ได้และได้รับความร้อนเป็นตัวกระทำอิมัลชัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฏฐวี ธรรมเจษฎา เกิดเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดยะลา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมีและปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541 และ 2544 ตามลำดับ

ประสบการณ์การทำงาน

ภายหลังการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตในปี 2544 ได้เริ่มทำงานที่ บริษัท สยามมอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด ตำแหน่งนักวิจัย โดยรับผิดชอบทั้งงานวิจัยและงานสนับสนุนการขาย โดยเฉพาะตลาดอุตสาหกรรมอาหาร จนกระทั่งปี 2553 ได้รับการสนับสนุนจาก ดร.วีรวัฒน์ เลิศวนวัฒนา และคุณพวงรัตน์ จิรวิฑิตานันท์ ให้ศึกษาต่อระดับปริญญาเอก ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์ด้านวิชาการ

นำเสนอผลงานวิจัยในงาน The Annual Conference on Engineering and Technology ณ โอชะกะ ประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 ในหัวข้อ Influence of Heating on Characteristics and Properties of Egg Yolk in the Presence of Salt, Sugar, and Vinegar.

ตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกับนักวิจัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในหัวข้อ Physicochemical and Rheological Characteristics of Commercial Chili Sauces as Thickened by Modified Starch or Modified Starch/Xanthan mixture. Journal of Food Engineering: 105 (July 2011): 233–240.