บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. **<u>ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ</u>**

ไข่ไก่ซีพีเกรด AAAAที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีน้ำหนักเฉลี่ยฟองละประมาณ 59 กรัม โดยเป็นไข่แดงประมาณร้อยละ 26 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า คอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด และ pH และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L a และ b ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

<u>รูปที่ 4.1</u> ลักษณะปรากฏของไข่แดง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและค่าสี (L, a และ b) ของไข่แดง

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1, 2]
ความชื้น (ร้อยละ)	49.76 ± 0.40
โปรตีน (ร้อยละ)	31.29 ± 0.23
ไขมัน (ร้อยละ)	63.63 ± 1.07
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	2.61 ± 0.10
เถ้า (ร้อยละ)	2.91 ± 0.04
คอเลสเทอรอล (mg/100g)	2480.57 ± 40.61
ฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	17220.68 ± 859.89
pH	6.03 ± 0.01
ค่าสี L	38.27 ± 0.02
a	48.78 ± 0.02
b	8.41 ± 0.02

[1] Mean ± SD ; n = 3

[2] ค่าที่แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง (% โดยน้ำหนักไขมันทั้งหมด)

กรดไขมัน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] (%)
Myristic acid (C14:0)	0.35 ± 0.01
Palmitic acid (C16:0)	27.69 ± 1.21
Palmitoleic acid (C16:1)	2.05 ± 0.11
Stearic acid (C18:0)	7.45 ± 0.73
Oleic acid (C18:1)	39.94 ± 1.29
Linoleic acid (C18:2)	17.93 ± 0.57
Linolenic acid (C18:3)	0.40 ± 0.01
Arachidonic acid (C20:4)	1.78 ± 0.10
Docosahexaenoic acid (C22:6)	1.27 ± 0.09

[1] Mean ± SD ; n = 3

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง (% โดยน้ำหนักไขมันทั้งหมด)

กรดไขมัน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] (%)
Palmitic acid (C16:0)	12.01 ± 0.04
Stearic acid (C18:0)	3.80 ± 0.02
Oleic acid (C18:1)	21.42 ± 0.03
Linoleic acid (C18:2)	53.72 ± 0.12
Linolenic acid (C18:3)	7.78 ± 0.04

[1] Mean ± SD ; n = 3

จากการทดลองพบว่าไข่แดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ มีความชื้นร้อยละ 49.76 โปรตีน ไขมัน ร้อยละ 31.29 , 63.63 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีคอเลสเทอรอล และฟอสโฟลิปิดอยู่ 2480.57 และ 17220.68 mg/100g โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไข่แดงมีปริมาณโปรตีนและฟอสโฟลิปิดค่อนข้างสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีคอเลสเทอรอลอยู่ในปริมาณสูงเช่นกัน ไข่แดงที่ใช้ในการทดลองมีค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เป็น 38.27 48.78 และ 8.41 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดงและน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าไข่แดงและน้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยกรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่มีอยู่มากในไข่แดง ในขณะที่กรดไลโนเลอิกและกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่มีอยู่มากในน้ำมันถั่วเหลือง

2. ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดง

วิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงได้แก่ ค่า emulsifying capacity และอุณหภูมิในการเกิด coagulation ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.9 และ ก.10 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าไข่แดงมีค่า emulsifying capacity และอุณหภูมิในการเกิด coagulation ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดง

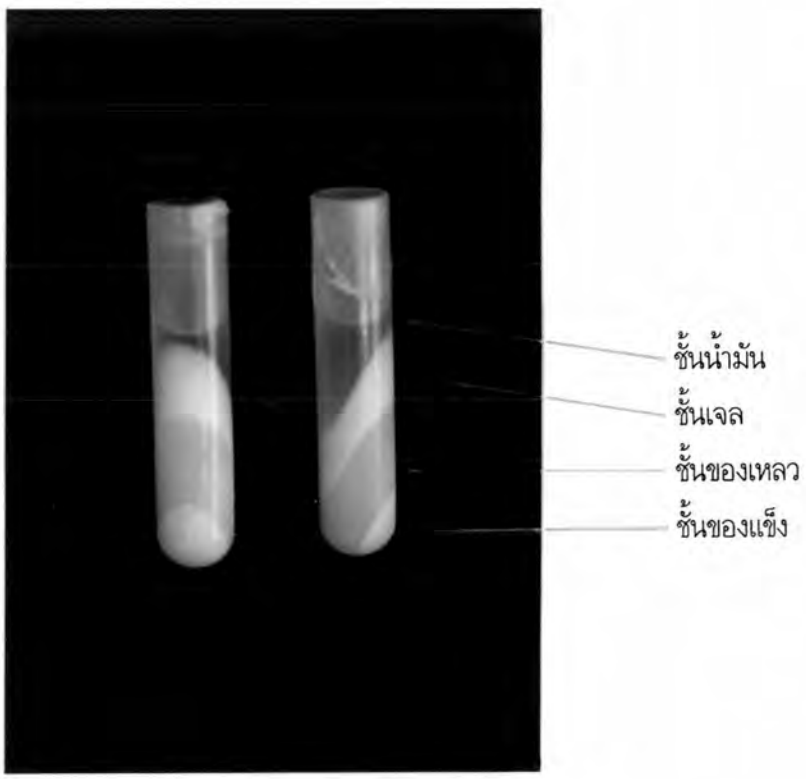
สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [1]
emulsifying capacity (ml oil emulsified/gm of sample)	36.5 ± 0.50
อุณหภูมิในการเกิด coagulation ($^{\circ}C$)	68.67 ± 0.29

[1] Mean ± SD ; n = 3

3. ศึกษา pH ชนิดและปริมาณของอิมัลซิฟายเออร์ในน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง

นำไข่แดงที่ถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่น มาหา pH ชนิด และปริมาณของอิมัลซิฟายเออร์ในน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง ตามวิธีสกัดดังรูป 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง โดยปรับpH ของไข่แดงที่ถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 4.5 ด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร และปรับpH เป็น 9.0 ด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล แปรชนิดของอิมัลซิฟายเออร์ 3 ชนิด ได้แก่ GMO SMO และ LC และแปรปริมาณของอิมัลซิฟายเออร์ในน้ำมันถั่วเหลืองเป็น 3 ระดับ คือ 8% 10% และ 12% ของน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง ได้ปริมาณแต่ละชั้นของตัวอย่างดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำตัวอย่างอิมัลชันที่มี pH 4.5 ไปปั่นแยก จะได้ชั้นตัวอย่าง 4 ชั้น คือ ชั้นน้ำมันอยู่บนสุด รองลงไปเป็นชั้นเจล ชั้นของเหลว และชั้นของแข็งซึ่งเป็นตะกอนอยู่ก้นหลอด ดังรูปที่ 4.2 ปริมาณของแต่ละชั้นของตัวอย่างที่ pH 4.5 หลังการปั่นแยก แสดงดังตารางที่ 4.5 ตัวอย่างอิมัลชันที่มี pH 9.0 ที่เตรียมโดยใช้ GMO เมื่อปั่นแยกจะได้ชั้นตัวอย่างแยกเป็น 4 ชั้น เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ pH 4.5 ในขณะที่ตัวอย่างที่ pH 9.0 ที่เตรียมโดยใช้ SMO และ LC จะได้ชั้นตัวอย่างหลังการปั่นแยกเพียง 3 ชั้น คือ ชั้นน้ำมัน ชั้นเจล และชั้นของเหลว ปริมาณของแต่ละชั้นของตัวอย่างที่ pH 9.0 หลังการปั่นแยก แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งปริมาณของชั้นตัวอย่างแต่ละชั้นจะแตกต่างกันไปเมื่อใช้อิมัลซิฟายเออร์ต่างชนิดกันและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ต่างกัน



รูปที่ 4.2 การแยกชั้นของอิมัลชันที่เตรียม หลังการปั่นแยก

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของแต่ละชั้นของตัวอย่างที่ pH 4.5 หลังการปั่นแยก

ชนิดอิมัลซิ-ฟายเออร์	ปริมาณอิมัลซิ-ฟายเออร์ (%)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ปริมาณของชั้นตัวอย่าง (% โดยน้ำหนัก)			
		น้ำมัน	เจล	ของเหลว	ของแข็ง
Control	-	4.43 ± 0.44	44.87 ± 0.86	42.24 ± 1.37	8.28 ± 0.55
GMO	8	11.68 ± 0.75	48.91 ± 1.47	30.97 ± 1.62	8.44 ± 0.76
	10	29.78 ± 0.58	34.82 ± 1.13	27.32 ± 1.07	8.07 ± 0.50
	12	49.36 ± 2.00	2.75 ± 0.62	40.20 ± 1.32	7.69 ± 0.67
SMO	8	32.73 ± 0.94	29.93 ± 0.98	31.09 ± 0.79	6.25 ± 0.56
	10	40.76 ± 0.88	25.07 ± 0.93	28.07 ± 1.12	6.10 ± 0.38
	12	39.44 ± 0.83	24.64 ± 1.37	27.70 ± 2.28	6.83 ± 0.62
LC	8	49.32 ± 0.82	1.98 ± 0.13	40.14 ± 1.33	8.56 ± 0.77
	10	46.66 ± 1.14	14.36 ± 1.06	30.12 ± 1.58	8.86 ± 0.52
	12	35.28 ± 1.41	21.94 ± 1.50	29.42 ± 1.24	13.36 ± 0.88

[1] Mean ± SD ; n = 3

Control คือ ตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมโดยไม่มีการปรับ pH ของไข่แดง และไม่ใช้อิมัลซิฟายเออร์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของแต่ละชั้นของตัวอย่างที่ pH 9.0 หลังการปั่นแยก

ชนิดอิมัลซิ-ฟายเออร์	ปริมาณอิมัลซิ-ฟายเออร์ (%)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ปริมาณของชั้นตัวอย่าง (% โดยน้ำหนัก)			
		น้ำมัน	เจล	ของเหลว	ของแข็ง
Control	-	4.43 ± 0.44	44.87 ± 0.86	42.24 ± 1.37	8.28 ± 0.55
GMO	8	0.62 ± 0.06	55.55 ± 0.72	39.10 ± 0.53	4.73 ± 0.29
	10	0.49 ± 0.04	58.39 ± 0.50	33.41 ± 0.71	7.71 ± 0.39
	12	1.01 ± 0.04	60.06 ± 1.17	34.18 ± 0.38	4.75 ± 0.35
SMO	8	42.77 ± 0.48	19.07 ± 0.80	38.16 ± 0.54	-
	10	36.37 ± 1.00	34.22± 0.82	29.41 ± 0.64	-
	12	9.47 ± 0.44	52.02 + 0.98	38.51 ± 1.29	-
LC	8	1.47 ± 0.12	57.71 ± 0.63	40.82 ± 0.85	-
	10	6.64 ± 0.45	52.62 ± 1.10	40.74 ± 1.05	-
	12	23.85 ± 0.76	42.32 ± 1.17	33.83 ± 0.94	-

[1] Mean ± SD ; n = 3

Control คือ ตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมโดยไม่มีการปรับ pH ของไข่แดง และไม่ใช้อิมัลซิฟายเออร์

3.1 ศึกษา pH และปริมาณ GMO ที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง

แปร pH ของไข่แดงที่เจือน้ำเป็น 2 ค่า คือ 4.5 และ 9.0 และแปรปริมาณ GMO ที่ใช้เป็น 8% , 10% และ 12% โดยน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง

ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheim, 1989)

- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified Bartlett (วินัย ดะห์ลัน และคณะ, 2536)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

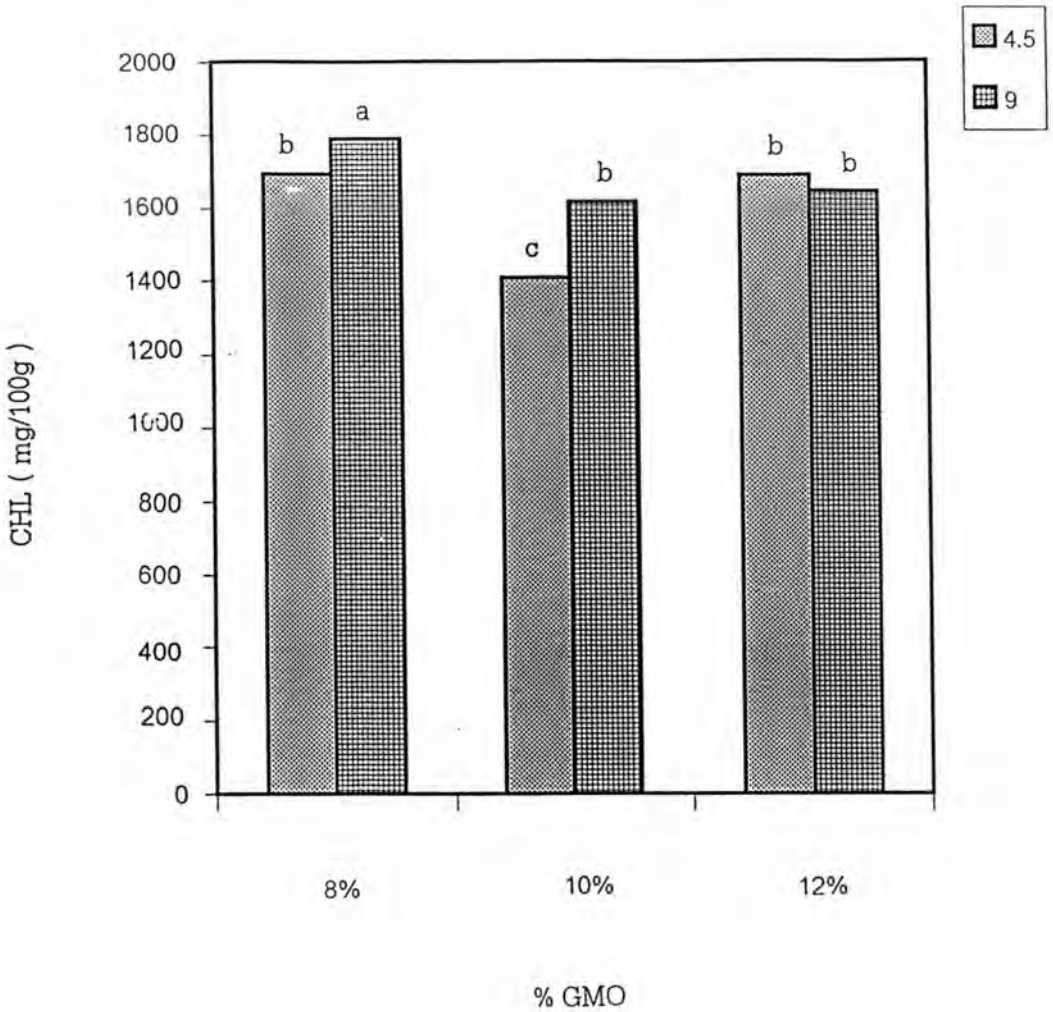
ตารางที่ 4.7 ความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้ GMO วัดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer DV I+ วัดโดยใช้ spindle เบอร์ 7 ความเร็วรอบ 50 rpm อุณหภูมิ 25°C

pH	ปริมาณ GMO (%)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ความหนืด (cP)
Control	-	291.33 ± 10.26
4.5	8	2153.33^{c} ± 94 52
	10	3120.00^{b} ± 105.83
	12	4153.33^{a} ± 70.24
9.0	8	2160.00^{c} ± 91.65
	10	3153.33^{b} ± 61.10
	12	4416.67^{a} ± 60.28

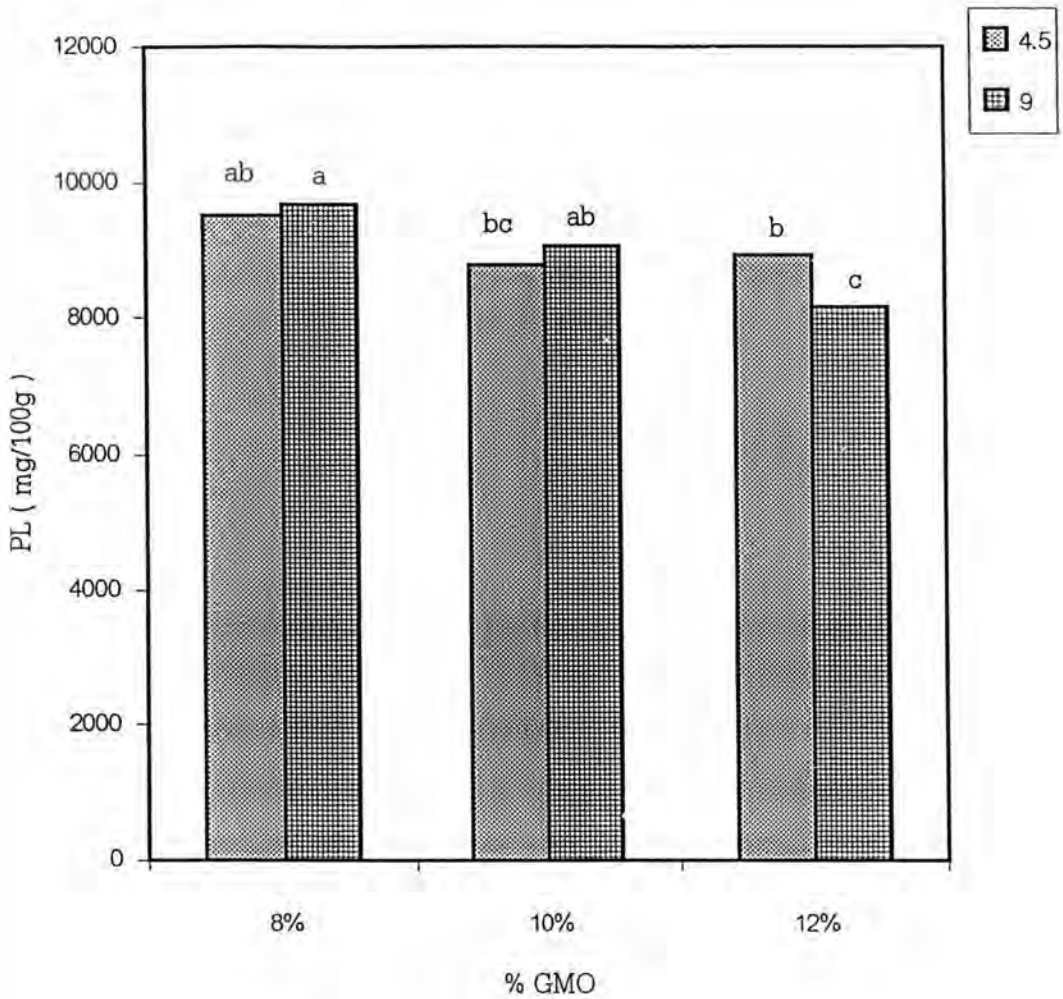
[1] Mean ± SD ; n = 3

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Control คือ ตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมโดยไม่มีการปรับ pH ของไข่แดง และไม่ใช้อิมัลซิฟายเออร์



รูปที่ 4.3 ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ GMO 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.1)



รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ GMO 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.1)

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ (ชั้นของแข็งและของเหลว) และความหนืดของตัวอย่างที่เตรียม เมื่อใช้ GMO 8% 10% และ 12% ที่ pH 4.5 และ 9.0

SOV	d.f.	MS		
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	ความหนืด (cP)
pH (A)	1	33920.6*	45904.5	46005.6*
ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (B)	2	81885.3*	1682900*	6808872*
AB	2	23258.8*	467140	29872.2*
Error	12	2064.717	153453	6805.556

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า pH ปริมาณ GMO ที่ใช้ และอิทธิพลร่วมของปริมาณ GMO และ pH มีผลต่อปริมาณคอเลสเทอรอลที่ลดลงในชั้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และปริมาณ GMO ที่ใช้มีผลต่อปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ pH และอิทธิพลร่วมของปริมาณ GMO และ pH ไม่มีผล ($p > 0.05$) โดยที่ pH 4.5 ที่ปริมาณการใช้ GMO 8% และ 10% จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยกว่าที่ pH 9.0 โดยเมื่อปริมาณ GMO ที่ใช้มากขึ้น ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์จะน้อยลง แต่เมื่อปริมาณ GMO ที่ใช้เพิ่มขึ้นเป็น 12% พบว่าที่ pH 4.5 ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์จะมากกว่าที่ปริมาณการใช้ GMO 10% ในขณะที่ pH 9.0 ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากที่ปริมาณการใช้ GMO 10% และพบว่าทั้ง pH 4.5 และ pH 9.0 เมื่อใช้ปริมาณ GMO มากขึ้นความหนืดของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ พบว่าที่ pH 4.5 ที่ปริมาณการใช้ GMO10% จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยที่สุด และมีปริมาณฟอสโฟลิปิดมาก ดังนั้นจึงเลือกภาวะการทดลองที่ใช้ GMO10% ที่ pH 4.5 มาใช้ศึกษาเพื่อเลือกชนิดของอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีที่สุดในขั้นต่อไป

3.2 ศึกษา pH และปริมาณ SMO ที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง

แปร pH ของไข่แดงที่เจือน้ำเป็น 2 ค่า คือ 4.5 และ 9.0 และแปรปริมาณ SMO ที่ใช้เป็น 8% , 10% และ 12% โดยน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง

ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheim , 1989)

- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified bartlett (วินัย ดะห์ล้น และคณะ , 2536)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

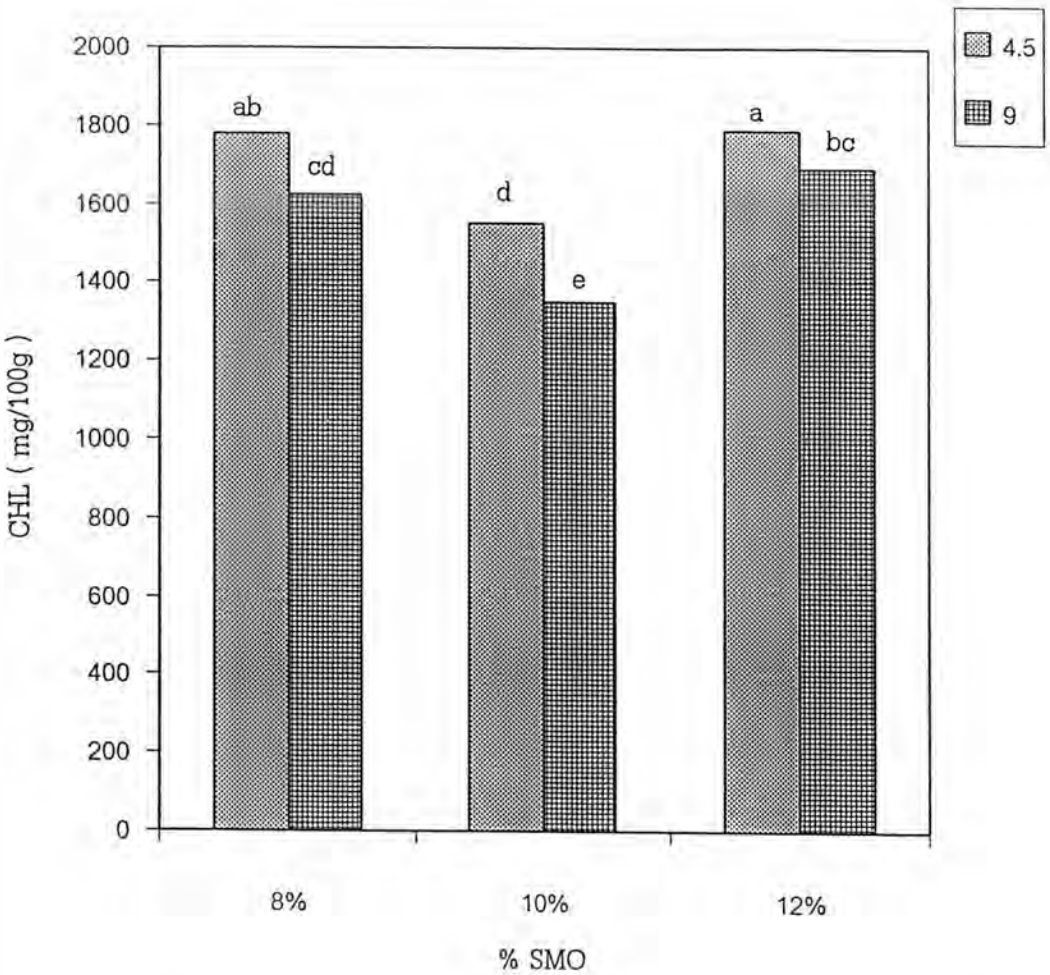
ตารางที่ 4.9 ความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้ SMO วัดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer DV I+ โดยใช้ spindle เบอร์ 7 ความเร็วรอบ 50 rpm อุณหภูมิ $25^{O}C$

pH	ปริมาณ SMO (%)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ความหนืด (cP)
Control	-	291.33 ± 10.26
4.5	8	1703.33^{e} ± 106.93
	10	2926.67^{c} ± 117.19
	12	4680.00^{a} ± 105.83
9.0	8	2413.33^{d} ± 41.63
	10	3673.33^{b} ± 160.42
	12	4726.67^{a} ± 110.15

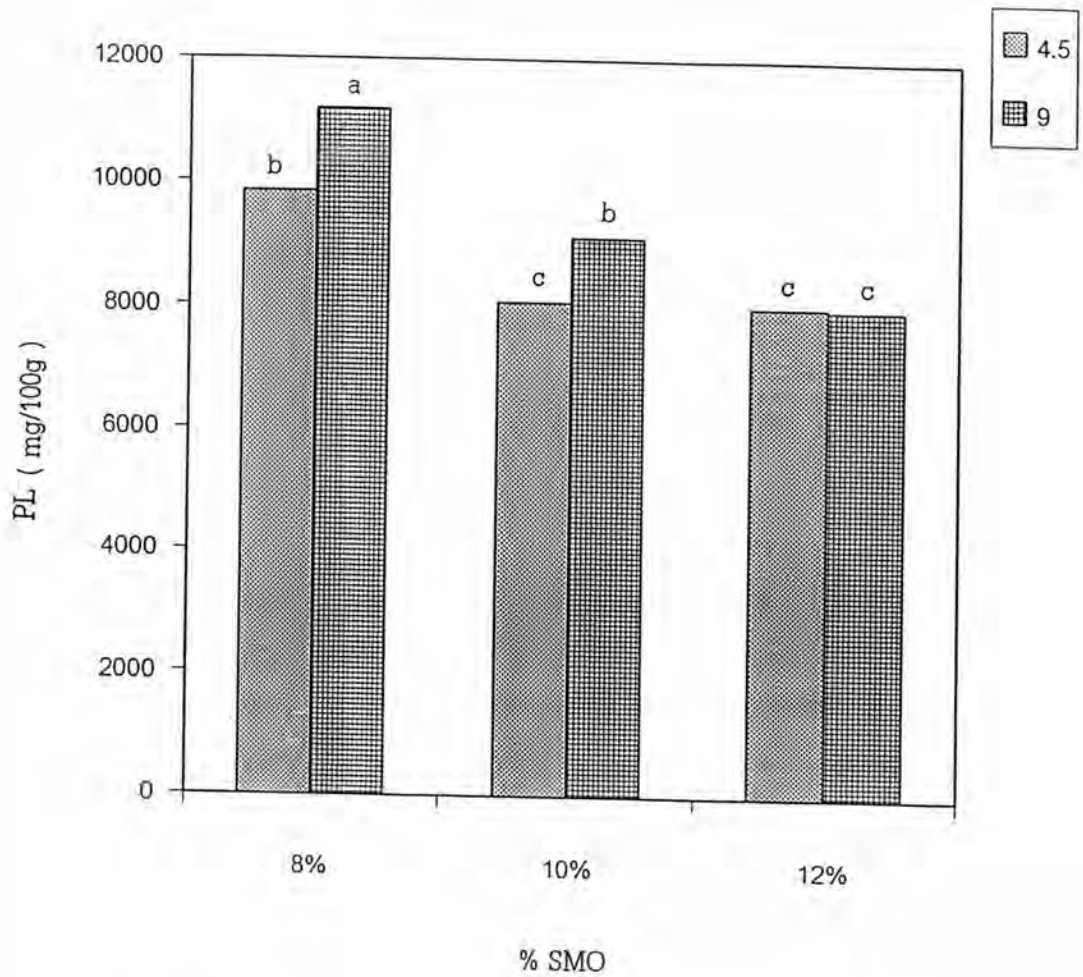
[1] Mean ± SD ; n = 3

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Control คือ ตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมโดยไม่มีการปรับ pH ของไข่แดง และไม่ใช้อิมัลซิฟายเออร์



รูปที่ 4.5 ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ SMO 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.2)



รูปที่ 4.6 ปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ SMO 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.2)

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ (ชั้นของแข็งและของเหลว) และความหนืดของตัวอย่างที่เตรียม เมื่อใช้ SMO 8% 10% และ 12% ที่ pH 4.5 และ 9.0

SOV	d.f.	MS		
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	ความหนืด (cP)
pH (A)	1	101054*	2838749*	1130006*
ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (B)	2	146636*	1×10^{7}*	1.1×10^{7}*
AB	2	4038.151	757225*	232839*
Error	12	2505.278	172377	12661.1

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า pH และปริมาณ SMO ที่ใช้มีผลต่อปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ pH ปริมาณ SMO และอิทธิพลร่วมของ pH และปริมาณ SMO มีผลต่อปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ pH 9.0 จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยกว่าที่ pH 4.5 และเมื่อปริมาณ SMO ที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 8% เป็น 10% พบว่าปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์จะลดลง แต่เมื่อปริมาณ SMO ที่ใช้เพิ่มเป็น 12% พบว่าปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ pH 9.0 ที่ปริมาณ SMO 8% จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณฟอสโฟลิปิดอยู่มากที่สุด โดยเมื่อปริมาณ SMO ที่ใช้เพิ่มขึ้นปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จะน้อยลง นอกจากนั้นที่ pH 9.0 ที่ปริมาณการใช้ SMO 8% และ 10% พบว่าปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงจะมากกว่าที่ pH 4.5 ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างที่ระดับการใช้ SMO 12% และพบว่าทั้งที่ pH 4.5 และ pH 9.0 เมื่อปริมาณ SMO ที่ใช้เพิ่มขึ้นความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมจะเพิ่มขึ้น โดยที่ pH 9.0 จะมากกว่าที่ pH 4.5 เมื่อปริมาณ SMO เป็น 8% และ 10% แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อปริมาณ SMO ที่ใช้เป็น 12% ($P > 0.05$)

จากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง พบว่าที่ pH 9.0 ที่ปริมาณการใช้ SMO 10% จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยที่สุดและมีปริมาณฟอสโฟลิปิดอยู่มากพอสมควร ดังนั้นจึงเลือกภาวะการทดลองที่ใช้ SMO 10% ที่ pH 9.0 มาใช้ศึกษาเพื่อเลือกชนิดของอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีที่สุดในขั้นต่อไป

3.3 หา pH และปริมาณ LC ที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง

แปร pH ของไข่แดงที่เจือน้ำเป็น 2 ค่า คือ 4.5 และ 9.0 และแปรปริมาณ LC ที่ใช้เป็น 8% 10% และ 12% โดยน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลือง สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง

ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheim , 1989)

- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified bartlett (วินัย ดะห์ลัน และคณะ , 2536)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

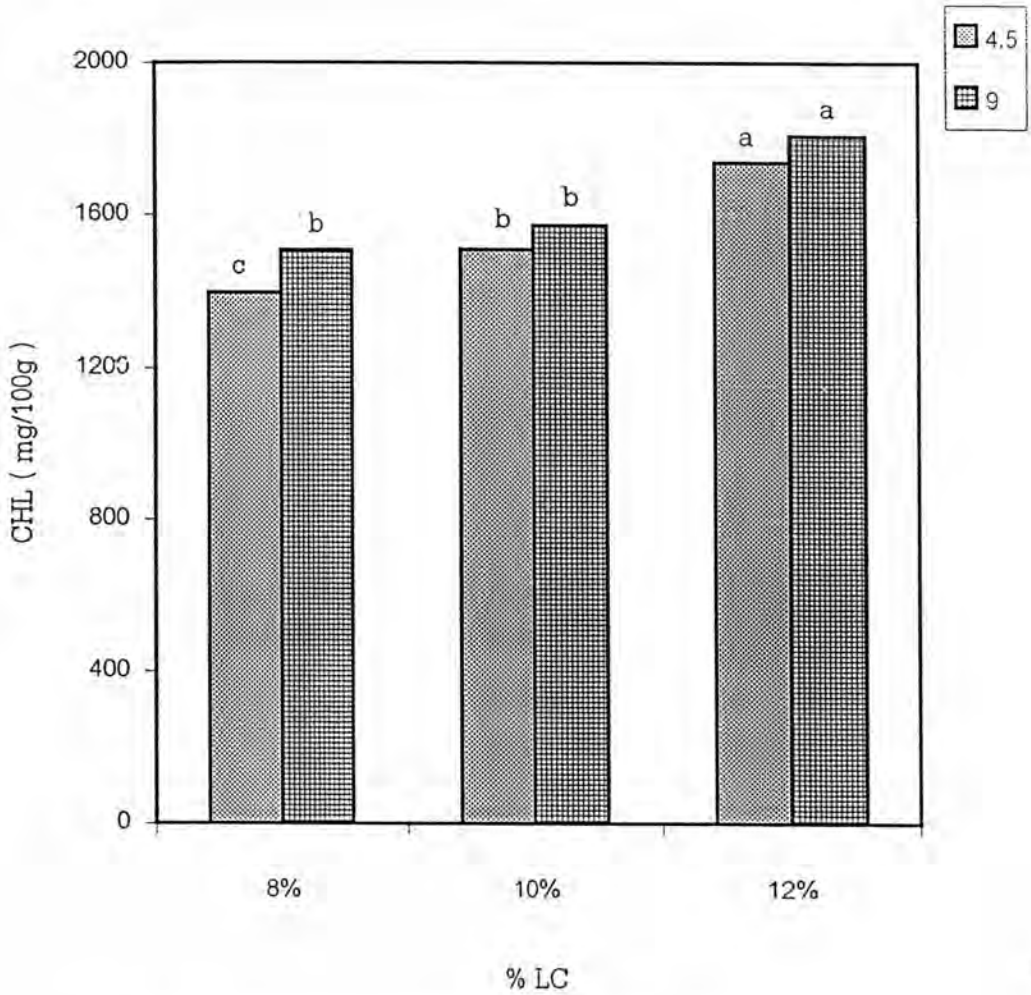
ตารางที่ 4.11 ความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้ LC วัดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer DV I+ วัดโดยใช้ spindle เบอร์ 7 ความเร็วรอบ 50 rpm อุณหภูมิ 25°C

pH	ปริมาณ LC (%)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ความหนืด (cP)
Control	-	291.33 ± 10.26
4.5	8	3906.67^{f} ± 80.83
	10	5160.00^{d} ± 91.65
	12	6156.67^{b} ± 80.21
9.0	8	4546.67^{e} ± 83.27
	10	5616.67^{c} ± 86.22
	12	6553.33^{a} ± 130.13

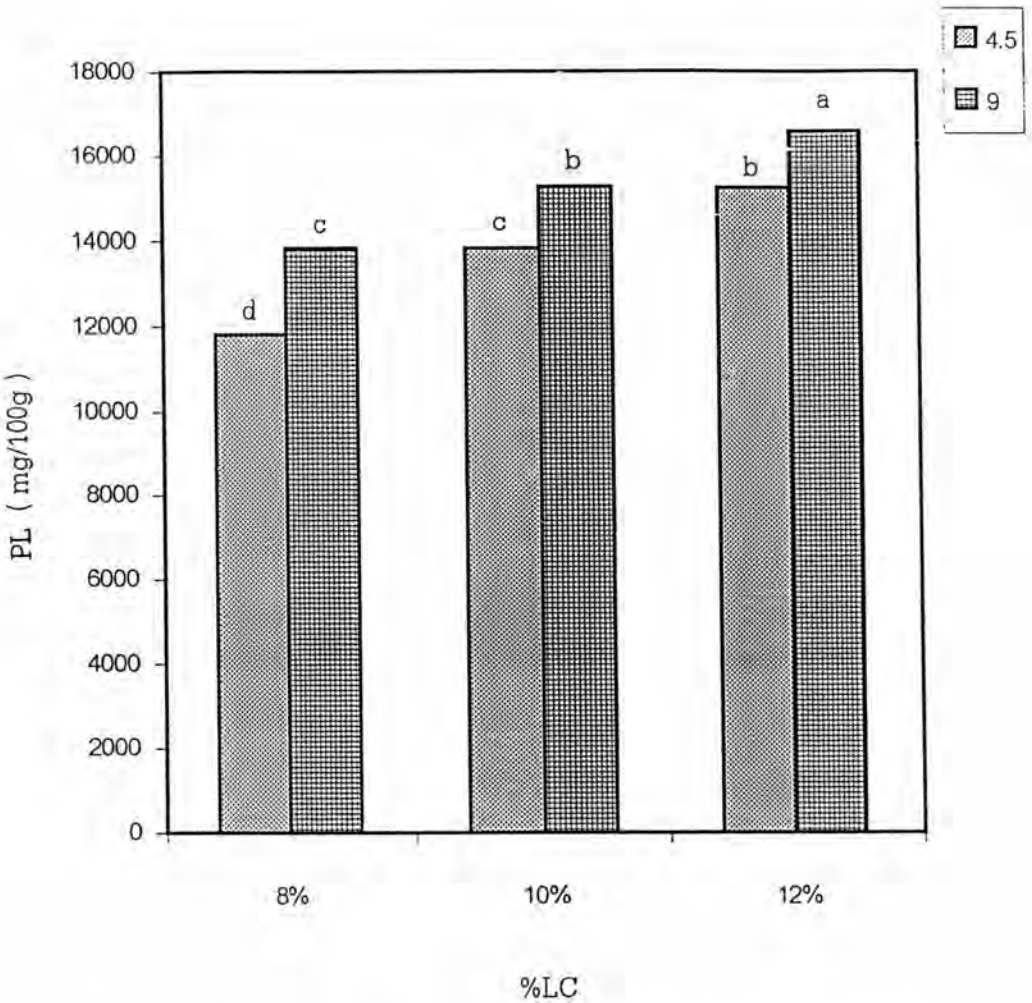
[1] Mean ± SD ; n = 3

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Control คือ ตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมโดยไม่มีการปรับ pH ของไข่แดง และไม่ใช้อิมัลซิฟายเออร์



รูปที่ 4.7 ปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ LC 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.3)



รูปที่ 4.8 ปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง (ชั้นของแข็งและของเหลว) ที่ pH 4.5 และ 9.0 เมื่อใช้ LC 8% 10% และ 12% (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.3)

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ และความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมเมื่อใช้ LC 8% 10% และ 12% ที่ pH 4.5 และ 9.0

SOV	d.f.	MS		
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	ความหนืด (cP)
pH (A)	1	29720.033*	11510002.170*	1115022.222*
ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (B)	2	165269.946*	14379623.094*	6813716.667*
AB	2	1091.330	230538.274	24105.556
Error	12	2231.301	205979.865	8777.778

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า pH และปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (LC) มีผลต่อความหนืดของตัวอย่างที่เตรียม ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ pH 4.5 จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดน้อยกว่าที่ pH 9.0 โดยเมื่อปริมาณ LC ที่ใช้มากขึ้น ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นและความหนืดของตัวอย่างที่ pH 9.0 จะมีค่ามากกว่าที่ pH 4.5 ที่ทุกระดับการใช้ LC โดยเมื่อปริมาณ LC ที่ใช้มากขึ้น ความหนืดของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง พบว่าที่pH 4.5 ที่ระดับการใช้ LC 8% จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยที่สุดและมีปริมาณฟอสโฟลิปิดอยู่มากพอสมควร ดังนั้นจึงเลือกภาวะการทดลองที่ใช้ LC 8% ที่ pH 4.5 มาใช้ศึกษาเพื่อเลือกชนิดของอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีที่สุดในขั้นต่อไป

3.4 <u>ศึกษา pH ชนิดและปริมาณของอิมัลซิฟายเออร์ที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง</u>

สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง ตามภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกได้จากข้อ 3.1 3.2 และ 3.3 เพื่อเลือก pH ชนิดและปริมาณของอิมัลซิฟายเออร์ที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง โดยสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง

ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheim , 1989)
- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified bartlett (วินัย ดะห์ลัน และคณะ , 2536)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง ดังตารางที่ 4.13

<u>ตารางที่ 4.13</u> ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) และปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ GMO 10% ที่ pH 4.5 SMO 10% ที่ pH 9.0 และ LC 8% ที่ pH 4.5

ชนิดอิมัลซิ-ฟายเออร์	ปริมาณอิมัลซิ-ฟายเออร์ (%)	pH	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1,2]	
			ปริมาณคอเลสเทอรอล[ns] (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)
GMO	10	4.5	1418.45 ± 41.82	8743.31^{b} ± 222.18
SMO	10	9.0	1365.80 ± 55.71	9010.25^{b} ± 278.54
LC	8	4.5	1406.42 ± 39.10	11556.50^{a} ± 381.43

[1] Mean ± SD ; n = 4

[2] ค่าที่แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่าง ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) และปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ GMO 10% ที่ pH 4.5 SMO 10% ที่ pH 9.0 และ LC 8% ที่ pH 4.5

SOV	d.f.	MS	
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)
Treatment	2	3044.5805	9645779.068*
Error	9	2127.1353	90814.9358

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ การใช้ GMO 10% ที่ pH 4.5, SMO 10% ที่ pH 9.0 และ LC 8% ที่ pH 4.5 มีผลต่อปริมาณคอเลสเทอรอลในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงใช้ปริมาณฟอสโฟลิปิดในการเลือกภาวะที่จะใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป โดยไข่แดงที่ได้จากการใช้ LC 8% ที่ pH 4.5 จะมีปริมาณฟอสโฟลิปิดมากกว่าไข่แดงที่ได้จากการใช้ SMO และ GMO ดังนั้นจากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จึงเลือกใช้ LC 8% ที่ pH 4.5 เพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

4 ศึกษาปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง

สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง ตามภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกได้จากข้อ 3.4 โดยแปรปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้เป็น 3 ระดับ คือ 2 , 3 และ 4 เท่าของน้ำหนักไข่แดง สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 แต่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ แล้วนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดง

ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณไขมัน วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณแป้ง วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheim , 1989)

- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified bartlett (วินัย ดะห์ล้น และคณะ , 2536)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณแต่ละชั้นของตัวอย่างหลังการเซนตริฟิวจ์ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณชั้นแต่ละชั้นของตัวอย่างหลังการเซนตริฟิวจ์ เมื่อใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (เท่า)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ปริมาณของชั้นตัวอย่าง (% โดยน้ำหนัก)			
	น้ำมัน	เจล	ของเหลว	ของแข็ง
2	50.20 ± 0.11	7.66 ± 0.06	33.29 ± 0.14	8.85 ± 0.08
3	60.80 ± 0.24	7.20 ± 0.06	24.85 ± 0.19	7.15 ± 0.07
4	68.50 ± 0.07	6.36 ± 0.09	18.85 ± 0.06	6.30 ± 0.04

[1] Mean ± SD ; n = 4

ตารางที่ 4.16 ปริมาณโปรตีน (%) ไขมัน (%) คาร์โบไฮเดรต (%) และเถ้า (%) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

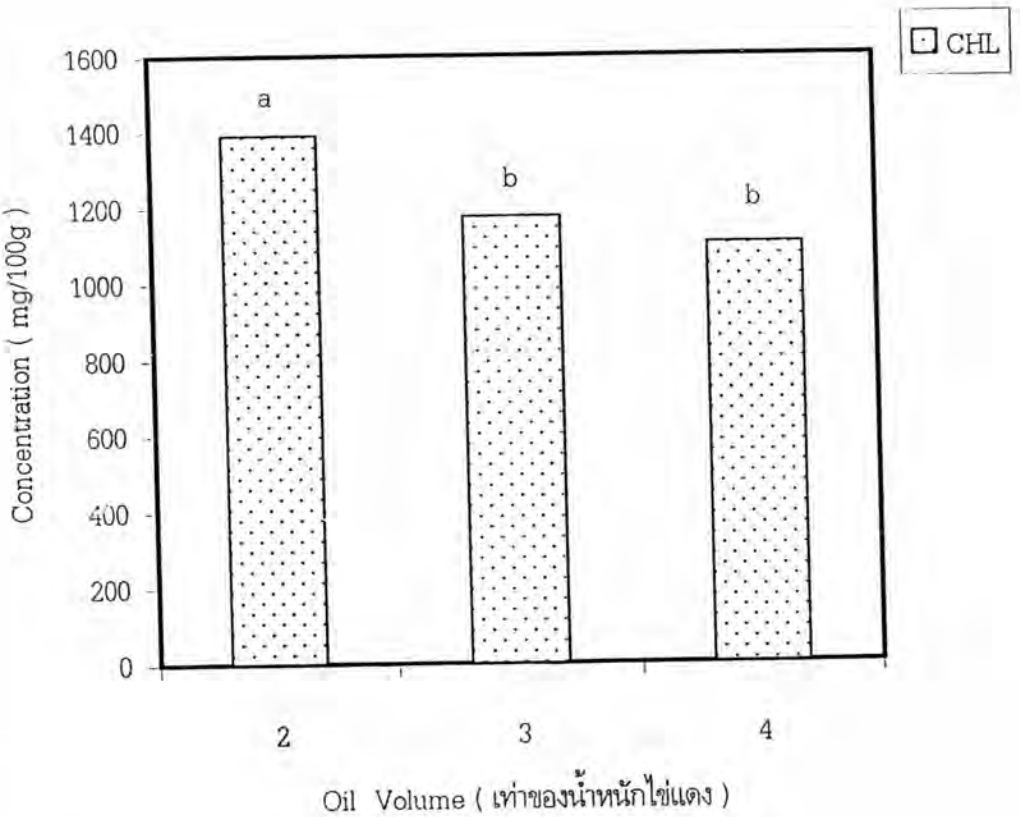
ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (เท่า)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1,2]			
	โปรตีน (%)	ไขมัน[ns] (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า (%)
2	$27.93^{a} \pm 0.39$	52.03 ± 1.08	$0.51^{a} \pm 0.01$	$3.88^{a} \pm 0.02$
3	$26.81^{a} \pm 1.02$	52.69 ± 0.64	$0.50^{ab} \pm 0.02$	$3.78^{a} \pm 0.12$
4	$25.45^{b} \pm 0.85$	53.24 ± 0.25	$0.48^{b} \pm 0.01$	$3.16^{b} \pm 0.10$

[1] Mean ± SD ; n = 4

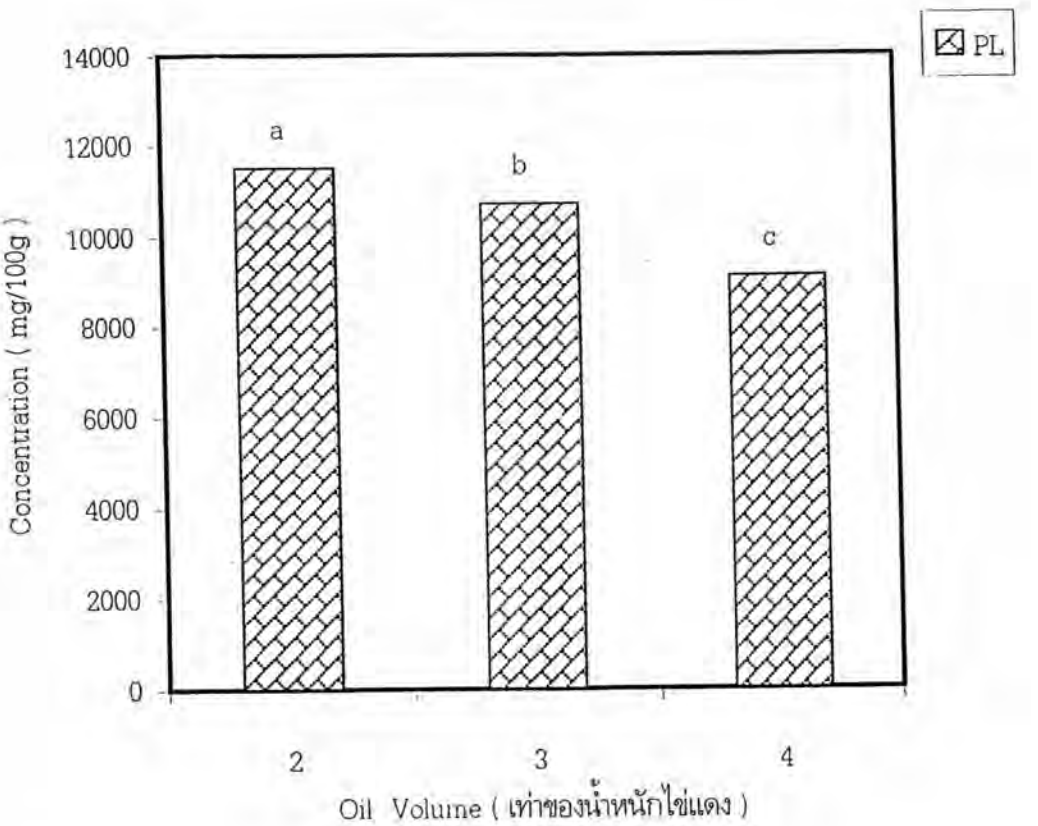
[2] ค่าที่แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.9 ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% pH 4.5 โดยการแปรปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.4)



รูปที่ 4.10 ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% pH 4.5 โดยการแปรปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.4)

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

SOV	d.f.	MS	
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)
Treatment	2	64956.2192*	6046177.130*
Error	9	905.4820	107772.0052

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโปรตีน (%) ไขมัน (%) คาร์โบไฮเดรต (%) และเถ้า (%) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

SOV	d.f	MS			
		โปรตีน (%)	ไขมัน^{ns} (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า (%)
Treatment	2	6.1824 *	1.4681	0.0009	1.6953 *
Error	9	0.6407	0.5462	0.0003	0.0084

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองมีผลต่อปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน ($p > 0.05$) โดยปริมาณคอเลสเทอรอลในผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จะลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 2 เท่าเป็น 3 เท่า ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณโปรตีนและเถ้าของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองเพิ่มเป็น 4 เท่า พบว่าปริมาณฟอสโฟลิปิด โปรตีน และเถ้าในผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จะลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณคอเลสเทอรอล ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ($p > 0.05$)

จากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด โปรตีน และไขมันของผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ พบว่าที่ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง 3 เท่าของน้ำหนักไข่แดง จะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยที่สุด และมีปริมาณฟอสโฟลิปิดและโปรตีนอยู่สูง ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง 3 เท่าของน้ำหนักไข่แดง ในการศึกษาขั้นต่อไป

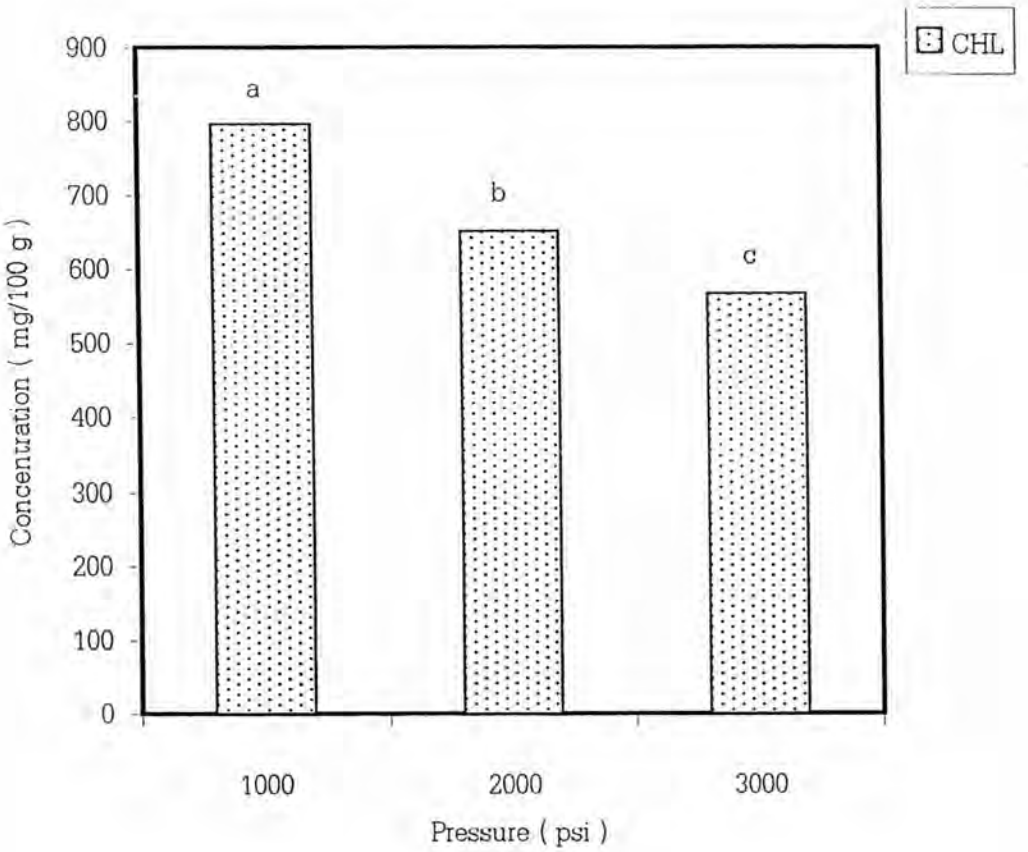
5. <u>ศึกษาความดันในการโฮโมจิไนซ์ ที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง</u>

เลือกภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณคอเลสเทอรอลในไข่แดงจากข้อ 4.3 มาใช้สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดง โดยแปรความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์เป็น 1000 , 2000 และ 3000 psi สกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1

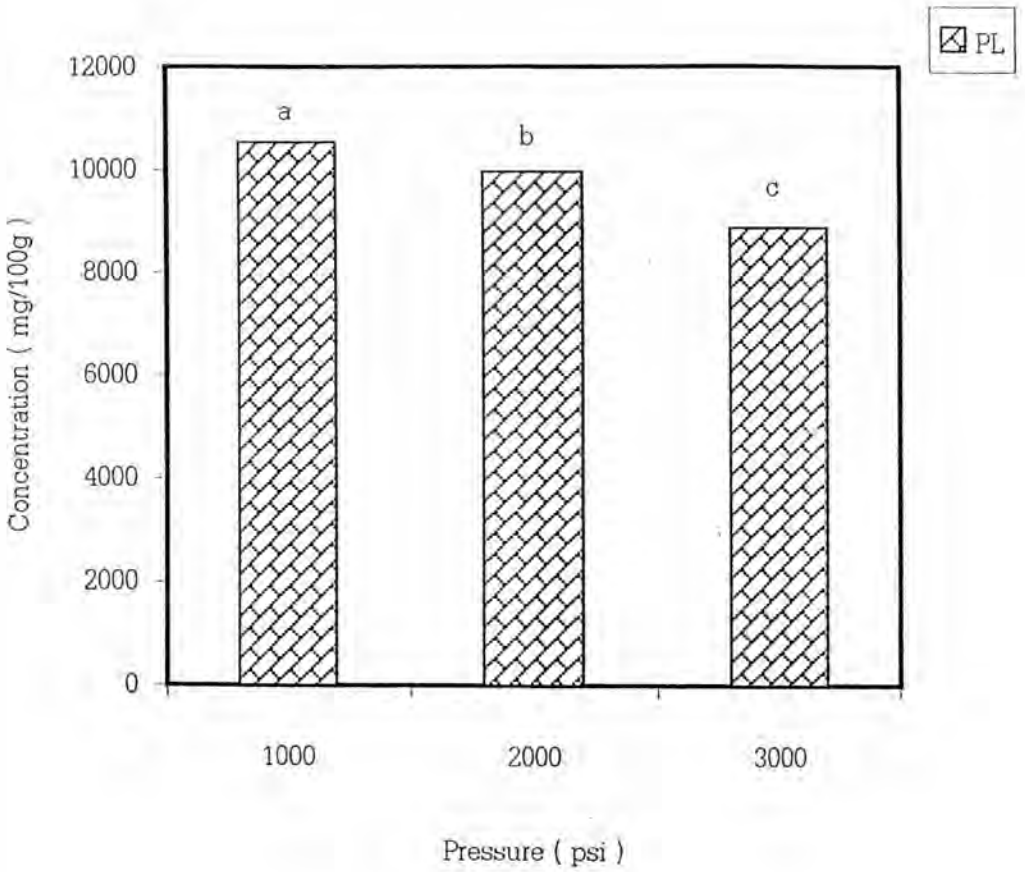
ประเมินคุณภาพของไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงดังนี้

- ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณไขมัน วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณเถ้า วิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C. (1990)
- ปริมาณคอเลสเทอรอล วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric (Boehringer-manneheirn , 1989)
- ปริมาณฟอสโฟลิปิด วิเคราะห์ตามวิธี Modified bartlett (วินัย ดะห์ลัน และคณะ , 2536)
- หาขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันในอิมัลชัน โดยวิธี Light Scattering (Gaulin , 1982)

จากการทดลองพบว่าได้ปริมาณคอเลสเทอรอลและปริมาณฟอสโฟลิปิดในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% pH 4.5 โดยการแปรความดันในการโฮโมจีไนซ์
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.5)



รูปที่ 4.12 ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อใช้ LC 8% pH 4.5 โดยการแปรความดันในการโฮโมจีไนซ์
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาคผนวก จ.5)

ตารางที่ 4.19 ปริมาณโปรตีน (%) ไขมัน (%) เถ้า (%) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) และขนาดอนุภาคของหยดน้ำมัน (μm) ในตัวอย่างที่เตรียม เมื่อแปรความดัน โดยใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

ความดัน (psi)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1, 2]			
	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ขนาดอนุภาคของหยดน้ำมัน (μm)
1000	$74.96^{a} \pm 0.52$	$22.59^{a} \pm 0.40$	$2.66^{a} \pm 0.28$	$0.750^{a} \pm 0.008$
2000	$72.03^{b} \pm 0.30$	$21.47^{b} \pm 0.37$	$2.47^{b} \pm 0.09$	$0.540^{b} \pm 0.004$
3000	$67.85^{c} \pm 0.46$	$21.18^{b} \pm 0.27$	$2.39^{b} \pm 0.20$	$0.416^{c} \pm 0.002$

[1] Mean ± SD ; n = 4

[2] ค่าที่แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g) ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) และขนาดอนุภาคของหยดน้ำมัน (μm) ในตัวอย่างที่เตรียม เมื่อแปรความดัน โดยใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

SOV	d.f.	MS		
		ปริมาณคอเลสเทอรอล (mg/100g)	ปริมาณฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	ขนาดอนุภาคของหยดน้ำมัน (μm)
Treatment	2	54130.2577*	22745916.19*	0.1142*
Error	9	1956.5255	308862.1302	0.0000

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีน (%) ไขมัน (%) และเถ้า (%) ในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดง (ชั้นของแข็งและของเหลว) เมื่อแปรความดัน โดยใช้ LC 8% ที่ pH 4.5

SOV	d.f.	MS		
		โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)
Treatment	2	23.5351*	2.2150*	0.6600*
Error	9	0.1889	0.1260	0.0448

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์มีผลต่อขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันในตัวอย่างที่เตรียม และมีผลต่อปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด โปรตีน ไขมัน และเถ้าในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจาก 1000 psi เป็น 2000 psi ขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันในตัวอย่างที่เตรียมจะเล็กลง รวมทั้งปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด โปรตีน ไขมัน และเถ้าในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จะลดลงด้วย แต่เมื่อเพิ่มความดันเป็น 3000 psi พบว่าปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด และโปรตีนในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ และขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันในตัวอย่างที่เตรียมจะลดลง ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณไขมันและเถ้าในชั้นผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ ($p > 0.05$)

จากข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเทอรอล ฟอสโฟลิปิด และโปรตีน ของผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้ พบว่าเมื่อใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์เป็น 2000 psi ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จะมีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อย (650.90 mg/100g) รองจากผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่ได้จากการใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์ 3000 psi (566.43 mg/100g) มีปริมาณฟอสโฟลิปิดและโปรตีนมาก และมีไขมันต่ำ ดังนั้นการใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์ 2000 psi โดยใช้ Lecithin 8% ที่ pH 4.5 ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 3 เท่าของปริมาณไข่แดง เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณคอเลสเทอรอลในไข่แดง เนื่องจากจะได้ผลิตภัณฑ์ไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลอยู่น้อย มีปริมาณฟอสโฟลิปิด และโปรตีนอยู่มาก และมีไขมันต่ำ

6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง

จากการทดลองพบว่าไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลงมีลักษณะปรากฏดังรูปที่ 4.13 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบของกรดไขมัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

รูปที่ 4.12 ลักษณะปรากฏของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง

ตารางที่ 4.22 องค์ประกอบทางเคมีและค่าสี (L, a และ b) ของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน [1, 2]
ความชื้น (ร้อยละ)	55.76 ± 0.42
โปรตีน (ร้อยละ)	72.03 ± 0.30
ไขมัน (ร้อยละ)	21.47 ± 0.37
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	4.05 ± 0.35
เถ้า (ร้อยละ)	2.47 ± 0.09
คอเลสเทอรอล (mg/100g)	650.90 ± 30.85
ฟอสโฟลิปิด (mg/100g)	9969.94 ± 290.68
pH	5.16 ± 0.01
ค่าสี L	66.27 ± 0.12
a	-4.93 ± 0.01
b	13.45 ± 0.03

[1] Mean ± SD ; n = 3

[2] ค่าที่แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.23 องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง (% โดยน้ำหนักไขมันทั้งหมด)

กรดไขมัน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน[1] (%)
Myristic acid (C14:0)	0.32 ± 0.01
Palmitic acid (C16:0)	24.59 ± 0.94
Palmitoleic acid (C16:1)	0.87 ± 0.25
Stearic acid (C18:0)	7.78 ± 0.03
Oleic acid (C18:1)	25.17 ± 0.20
Linoleic acid (C18:2)	34.90 ± 0.16
Linolenic acid (C18:3)	3.42 ± 0.06
Arachidonic acid (C20:4)	1.58 ± 0.04
Docosahexaenoic acid (C22:6)	1.24 ± 0.12

[1] Mean ± SD ; n = 3

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง (ตารางที่ 4.22) พบว่ามีความชื้นร้อยละ 55.76 โปรตีน ไขมัน ร้อยละ 72.03 21.47 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณคอเลสเทอรอล และฟอสโฟลิปิดอยู่ 650.90 และ 9969.94 mg/100g โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เป็น 66.27 -4.93 13.45 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไข่แดงที่ได้มีค่าความสว่างมากขึ้น แสดงว่าไข่แดงที่ได้มีสีอ่อนลง ส่วนค่าสี a เป็นลบ แสดงว่ามีสีค่อนไปทางสีเขียวเล็กน้อย สีของไข่แดงที่ได้จึงมีสีขาวขุ่น และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง พบว่าไข่แดงที่ได้ประกอบด้วย Myristic acid (C14:0) 0.32% Palmitic acid (C16:0) 24.59% Palmitoleic acid (C16:1) 0.87% Stearic acid (C18:0) 7.78% Oleic acid (C18:1) 25.17% Linoleic acid (C18:2) 34.90% Linolenic acid (C18:3) 3.42% Arachidonic acid (C20:4) 1.58% Docosahexaenoic acid (C22:6) 1.24% จะเห็นได้ว่า Linoleic acid เป็นกรดไขมันที่มีอยู่มากในไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง ซึ่งเป็นผลจากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง

7. ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง

วิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง ได้แก่ ค่า emulsifying capacity และอุณหภูมิในการเกิด coagulation ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.9 และ ก.10 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลงมีค่า emulsifying capacity และอุณหภูมิในการเกิด coagulation ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 สมบัติเชิงหน้าที่ของไข่แดงที่ลดปริมาณคอเลสเทอรอลลง

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [1]
emulsifying capacity (ml oil emulsified/gm of sample)	20.27 ± 0.25
อุณหภูมิในการเกิด coagulation (^{O}C)	64.83 ± 0.29

[1] Mean ± SD ; n = 3