

東海大學畜產與生物科技學系

Department of Animal Science and Biotechnology Tunghai
University

碩士論文

Master Thesis

指導教授：姜樹興博士

Advisor: Dr. Shu-Hsing Chiang

飼糧中添加卵磷脂及不同含量油效能對產蛋雞產蛋性能、

蛋品質及營養分消化率之影響

Effect of Dietary Supplementation of Lecithin and Different
Levels of Emupack on Laying Performance, Egg Quality and
Nutrient Digestibility of Laying Hens

研究生：謝宜道

Graduate Student: Yi-Tao Hsieh

中華民國一百零六年十一月

November, 2017

致謝

本論文能順利完成，全賴恩師 姜樹興 博士不厭其煩的悉心指導與策勵，並在待人處事及學習上有多方啟發，且老師對學問上之嚴謹更是我輩學習之典範，使我精進所學，完成碩士學位，僅此致上萬分敬意及感謝。

論文口試期間，承蒙中興大學動物科學系 余碧 博士、農委會畜產試驗所 李恆夫 博士及財團法人動物科技研究院 林傳順 博士，詳細審閱，並遠道而來給予寶貴意見及指導，使本論文更加完備，特此敬申謝忱。

試驗進行期間，非常感謝實驗室學長 黃正耀、何重志、同學 郭桓禎 及學妹 陳容均、林雅品，協助我完成實驗。也非常感謝農牧場 劉嘉祐 組長教導木工技巧、架設水線、組裝雞籠及現場管理，使本試驗可以順利進行。感謝 傳順 及 丁二 學長在我有蛋雞疑問時適時伸出援手，也感謝中美嘉吉 詹建良、洪文興 學長在供應飼料上的支援。乳加廠 美慧 姐在賣雞蛋上的協助。

研究所求學期間，感謝系上各個老師及助教們的悉心教導及關心。感謝 佩儀 助教在各方面的支援指導，Goday 學長在課業上的指導外還會做甜點給我吃還教導我生活智慧王的知識，正耀 學長在我需要幫忙的時候雖然刀子嘴但是豆腐心還是會兩肋插刀鼎力相助。最感謝 R.C 學長在學問知識上、實驗研究上的幫助以及課餘時間打發時間的相伴。桓禎 跟我的的相互勉勵以及陪我在壓力大的時候吃吃喝喝玩樂釋放壓力。小咪 及 雅品 學妹在實驗上的諸多幫忙。另外感謝 順琳 幫忙拆解及搬運雞籠以及一些實驗前處理的準備，以及 宗縈、育穎、紹恩、昱帆、培容、培祖 幫忙清理好多個月的雞糞，減輕我的負擔。除此之外，畜產系研究生們在研究所這段苦悶中有你們的陪伴，使漫長的研究時光增添了許多歡笑以及回憶。感謝系排學弟常常打打鬧鬧、且把我捧上天讓我感受無上的光榮，這也是我努力

向上的精神支持，由衷感謝。

最後感謝我的家人在背後默默地支持著我，謝謝爸爸總是給予我鼓勵、並時常提點我，也謝謝姊姊三不五時的噓寒問暖，宜達的策勵以及始終在我心中給予我精神支持的媽媽。

一路走來要感謝的人太多了，雖然研究所的結束表示學生生涯告一段落了，但是我們的故事不會就此劃下句點，相信在未來的我們仍會在各自的天空畫出美麗的彩虹，讓人生活得多采多姿。

目次

目次.....	I
表次.....	VIII
圖次.....	IX
摘要.....	1
前言.....	3
文獻檢討.....	4
一、 乳化劑.....	4
(一) 乳化劑簡介.....	4
(二) 乳化劑作用機制.....	5
(三) 乳化劑分類.....	6
1. 陰離子型界面活性劑.....	6
2. 陽離子型界面活性劑.....	6
3. 兩性離子型界面活性劑.....	7
4. 非離子型界面活性劑.....	7
(四) 多元醇脂肪酸酯類界面活性劑.....	8
(五) 乳化劑作用.....	10

1. 乳化作用.....	10
2. 增溶作用.....	10
3. 分散及凝集作用.....	11
(六) HLB 值.....	12
(七) 乳化劑在飼糧中之應用.....	14
1. 卵磷脂.....	14
2. 脫脂酸卵磷脂.....	16
(八) 乳化劑促進脂肪消化吸收及其機制.....	18
(九) 乳化劑促進蛋白質消化吸收及其機制.....	18
二、雞蛋.....	21
(一) 雞蛋形成.....	21
(二) 成分.....	22
1. 營養成分.....	22
(1) 磷脂.....	22
(2) 膽固醇.....	27
2. 影響蛋黃中磷脂含量之因素.....	27
3. 影響蛋黃中膽固醇含量之因素.....	28

(1) 遺傳育種.....	28
(2) 飼糧中膽固醇.....	28
(3) 脂肪種類及飽和度.....	29
(4) 卵磷脂.....	29
4. 磷脂影響膽固醇吸收機制.....	30
材料與方法.....	32
一、 試驗一飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞產蛋性能、蛋品質 及營養分消化率之影響.....	32
(一) 試驗設計.....	32
(二) 試驗飼糧.....	32
(三) 雞隻飼養管理及採樣.....	32
(四) 樣品分析.....	35
1. 飼料、糞便及全蛋內容物分析.....	35
(1) 粗蛋白質測定.....	35
(2) 脂肪酸組成測定.....	35
(3) 蛋黃中膽固醇含量測定.....	35
(4) 卵磷脂組成測定.....	36

(5)	二氧化鈦濃度測定.....	36
2.	蛋品質分析.....	37
(1)	蛋殼強度測定.....	37
(2)	蛋殼厚度測定.....	37
(3)	蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測 定.....	37
(4)	蛋黃顏色評級.....	37
(五)	數據計算.....	38
1.	脂肪酸消化率.....	38
2.	蛋白質蓄積率.....	38
(六)	統計分析.....	38
二、	試驗二飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞產蛋性 能、蛋品質及營養分消化之影響.....	39
(一)	試驗設計.....	39
(二)	試驗飼糧.....	39
(三)	雞隻飼養管理及採樣.....	39
(四)	樣品分析.....	41

1. 飼料、糞便及全蛋內容物分析.....	41
(1) 粗蛋白質測定.....	41
(2) 脂肪酸組成測定.....	41
(3) 蛋黃中膽固醇含量測定.....	41
(4) 二氧化鈦濃度測定.....	41
2. 蛋品質分析.....	41
(1) 蛋殼強度測定.....	41
(2) 蛋殼厚度測定.....	41
(3) 蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測 定.....	41
(4) 蛋黃顏色評級.....	42
(五) 數據計算.....	42
1. 脂肪酸消化率.....	42
2. 蛋白質消化率及蓄積率.....	42
(六) 統計分析.....	42
結果.....	43
一、 試驗一.....	43

(一)	產蛋性能.....	43
(二)	蛋品質.....	43
(三)	蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率.....	43
(四)	蛋內容物粗蛋白質、蛋黃中膽固醇及脂肪酸含 量.....	58
二、	試驗二.....	60
(一)	產蛋性能.....	60
(二)	蛋品質.....	60
(三)	蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率.....	60
(四)	蛋內容物粗蛋白質、蛋黃中膽固醇及脂肪酸含 量.....	60
	討論.....	76
一、	試驗一.....	76
二、	試驗二.....	81
	結論.....	84
	參考文獻.....	85
	附錄一蛋黃中膽固醇含量測定.....	94

附錄二卵磷脂組成測定.....	95
英文摘要.....	96

表次

表 1 常用非離子型乳化劑及其 HLB 值.....	9
表 2 乳化劑之 HLB 值對用途之影響及在水中之狀態.....	13
表 3 蛋黃組成及其脂質組成.....	24
表 4 蛋中磷脂之典型組成.....	26
表 5 試驗飼糧組成 (試驗一).....	34
表 6 試驗飼糧組成 (試驗二).....	40
表 7 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞產蛋性能之影響 (試驗一).....	44
表 8 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞蛋品質之影響 (試驗一)	50
表 9 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率之影響 (試驗一).....	57
表 10 飼糧中添加卵磷脂對蛋內容物粗蛋白質含量、蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響 (試驗一).....	59
表 11 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞產蛋性能之影響 (試驗二).....	61
表 12 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋品質之影響	

(試驗二).....67

表 13 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋白質蓄積率及
脂肪酸消化率之影響 (試驗二).....74

表 14 飼糧中添加不同含量油效能對蛋內容物粗蛋白質含量、
蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響 (試驗二).....75

圖次

圖 1. 雞蛋之構造.....	21
圖 2. 磷脂之結構.....	25
圖 3. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (試驗一) (Week 24-37)	45
圖 4. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (試驗一) (Week 24-37)	46
圖 5. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋量之影響 (試驗一) (Week 24-37)	47
圖 6. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (試驗一) (Week 24-37)	48
圖 7. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞飼料利用效率之影響 (試驗一) (Week 24-37)	49
圖 8. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋殼厚度之影響 (試驗一)(Week 30-36).....	51
圖 9. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋殼強度之影響 (試驗一) (Week 32-36).....	52

圖 10. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋白高度之影響 (試驗一) (Week 30-36).....	53
圖 11. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋黃高度之影響 (試驗一) (Week 30-36).....	54
圖 12. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋黃顏色之影響 (試驗一) (Week 30-36)	55
圖 13. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞豪氏單位之影響 (試驗一) (Week 30-36).....	56
圖 14. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (試驗二) (Week 24-41).....	62
圖 15. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (試驗二) (Week 24-41).....	63
圖 16. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋量之影響 (試驗二) (Week 24-41).....	64
圖 17. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (試驗二) (Week 24-41).....	65

圖 18. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞飼料 換蛋率之影響 (試驗二) (Week 24-41).....	66
圖 19. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋殼 厚度之影響 (試驗二) (Week 30-40).....	68
圖 20. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋殼 強度之影響 (試驗二) (Week 32-40).....	69
圖 21. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋白 高度之影響 (試驗二) (Week 30-40).....	70
圖 22. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋黃 高度之影響 (試驗二) (Week 30-40).....	71
圖 23. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋黃 顏色之影響 (試驗二) (Week 30-40).....	72
圖 24. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞豪氏 單位之影響 (試驗二) (Week 30-40).....	73

摘要

本研究以兩個試驗分別探討，飼糧中添加卵磷脂及添加不同含量油效能（非離子型乳化劑），對產蛋雞產蛋性能、蛋品質及營養分消化率之影響。試驗一，64 隻 24 週齡 Hy-line W36 蛋雞，依體重分配至兩個處理組，每個處理組 8 重複，每重複 4 隻雞，分別飼予 (1) 不添加或添加 (2) 2% 大豆卵磷脂之試驗飼糧，為期 14 週。結果顯示，飼糧中添加卵磷脂對飼料採食量及破蛋率無影響，但在數字上提高蛋重及產蛋率，並顯著提高蛋量，改善飼料換蛋率及降低髒蛋率 ($P=0.05$)。飼糧中添加卵磷脂顯著提高蛋黃顏色 ($P<0.01$)，但對其他蛋品質無影響。飼糧中添加卵磷脂對蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率無影響。飼糧中添加卵磷脂降低蛋內容物粗蛋白質含量 ($P<0.01$)，但對蛋黃中膽固醇含量無影響。飼糧中添加卵磷脂顯著提高蛋黃中 C18:2 及 C18:3 含量 ($P<0.01$)，但降低蛋黃中 C16:1 及 C18:1 含量 ($P<0.05$)。試驗二，128 隻 24 週齡 Hy-line W36 蛋雞，依體重分配至四個處理組，每個處理組 8 重複，每重複 4 隻雞，分別飼予 (1) 不添加或添加 (2) 0.05% (3) 0.1% (4) 0.2% 油效能 (Emupack) 之試驗飼糧，為期 18 週。結果顯示，飼糧中添加不同含量油效能對產蛋率、蛋重、蛋量、破蛋率、飼料採食量及飼料換蛋率無顯著影響，添加 0.2% 油效能顯著降低髒蛋率 ($P<0.05$)。飼糧中添加不同含量油效能不影響蛋品質、蛋白質蓄積率、蛋內容物粗蛋白質、蛋黃膽固醇、蛋黃脂肪酸含量、C16:0、C18:0、C18:1、C18:2、不飽和脂肪酸及總脂肪酸消化率。飼糧中添加 0.2% 油效能降低 C18:3 及飽和脂肪酸全腸道消化率 ($P<0.05$)。綜

合上述結果，於飼糧中添加卵磷脂，可改善飼料換蛋率，並增加蛋量、蛋黃顏色及蛋黃中必需脂肪酸含量。飼糧中添加不同含量油效能則對產蛋雞產蛋性能及蛋品質無影響。

關鍵語：乳化劑、產蛋性能、蛋品質、消化率、蛋雞

前言

飼糧中添加動物脂肪或植物油，以額外提供能量。脂肪在腸道中被水解，釋出脂肪酸及單酸甘油酯後，與膽鹽及磷脂乳化形成微膠粒後，才可使脂肪與腸道中水互溶，以利吸收，提供能量。

乳化劑為具雙親性 (amphipathic) 之化合物，應可促進腸道中脂肪與水互溶，而提高脂肪吸收。其中卵磷脂為離子型乳化劑，多為大豆榨油後之副產物，其乳化能力易受到腸腔內 pH 值及鹽類濃度之影響；而非離子型乳化劑於水溶液中不解離，因而不帶電，故不受腸腔內 pH 值及鹽類濃度之影響 (Hui, 1995)。研究指出，飼糧中添加卵磷脂 (陳及姜, 1998) 提高脂肪消化率之效果，在幼年雞隻大於年長者，在動物脂肪大於植物油者。飼糧中添加卵磷脂提高肉雞脂肪酸消化率 (Polin, 1980)，增加產蛋雞增重、蛋重、蛋量、產蛋率及改善飼料利用效率 (Emmert *et al.*, 1996; Attia *et. al.*, 2009)。Mandalawi *et al.* (2015) 提出，添加 4% 卵磷脂顯著增加蛋重、蛋量且改善飼料換蛋率，但對飼料採食量、髒蛋率、破蛋率及產蛋率無影響。

本試驗室先前於肉雞飼糧中添加非離子型乳化劑-油效能，提高肉雞蛋白質消化率，但對脂肪消化率並無影響 (陳, 2012)；張及姜 (2016) 則指出，聚氧乙烯油酸酯降低蛋白質全腸道消化率，但對脂肪酸消化率及蛋白質迴腸消化率無影響。不同乳化劑對蛋白質消化率影響不同。而目前尚無飼糧中添加乳化劑對蛋雞蛋白質消化率或蓄積率之影響的報告。

本研究分別探討產蛋雞飼糧中添加卵磷脂及不同含量油效能 (非離子型乳化劑)，對產蛋性能、蛋品質及營養分消化率之影響。

文獻檢討

一、乳化劑

(一) 乳化劑簡介

乳化劑 (emulsifier) 又稱為界面活性劑 (surfactant)，為一種具雙親性 (amphipathic) 的化合物，具有可使水與油混合在一起的特性。親水基端 (hydrophilic group) 為可溶於水之極性基團，親水端分子包含 $-\text{OH}$ 、 $-\text{PO}_4$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{SO}_3\text{H}$ 、 $-\text{ONa}$ 、 $-\text{OSO}_3\text{Na}$ 等，另一端則為不溶於水之非極性長鏈烷基，稱為親油性基 (lipophilic group)，又稱為疏水性基 (hydrophobic group)。由於雙親性之結構，其在水中及油中之溶解度都不會很大，因此容易在溶液表面或水相油相界面做較大密度之吸附，造成表面張力之減少，使溶液之表面或界面活性化，因而乳化劑具有許多不同特性，包括潤濕性、滲透性、分散性、乳化性、起泡性及清潔性等不同特性，而為了使界面活性劑展現其特殊功能，必須具備三個條件：(1) 界面活性劑的巨大分子必須可以同時溶於水及油中；(2) 溶於水中或油中之界面活性劑必須吸附於水相或油相之表面（氣液相界面）或兩相界面（液液相界面）後顯示其界面活性化。因此界面活性劑應使原本難以互溶之兩相產生均一混合相。例如：於水與油之混合液中加入肥皂液可使油、水混合，且靜置後不產生分離現象；(3) 親水基與親油基的兩者強度須有適當平衡，才容易吸附於液體表面或水相油相間之介面，降低表面張力。

(二) 乳化劑作用機制

當溶液中乳化劑濃度很低時，乳化劑分子吸附於液體表面，使表面張力下降，此時在溶液中的乳化劑分子大多以單體存在。但當乳化劑濃度提高至介面吸附量達飽和時，多餘之介面活性劑分子將無法再吸附到界面而只能存於溶液中，並當到達一定數量時，由於同極性部分之親和力較大之原理，將以數十至數百個分子相互聚集形成微膠粒 (micelle) 分散在水中 (或油中)。而微膠粒形成時所需之濃度稱為臨界微膠粒濃度 (critical micelle concentration; CMC)。界面活性劑溶液中的臨界微膠粒濃度高低，常因界面活性劑之分子結構型態 (碳鏈長短、直鏈、支鏈及其他取代基)、溶液溫度、溶液中存在的電解質和有機物等因素所影響 (周等, 2008)。乳化劑安定性較好表示微膠粒在腸道中較穩定，易在水環境中與小腸細胞接觸而提高脂肪酸被吸收。臨界微膠粒濃度較低表示較低的乳化劑濃度便可形成微膠粒，而促進脂肪的吸收 (張, 2014)。乳化劑安定性試驗中，陰離子型乳化劑十二烷基硫酸鈉 (SLS)，其乳化安定性較差，臨界微膠粒濃度僅低於疏水性之聚氧乙烯烷基醚 (PAEL)，但其 HLB 值 (hydrophilic lipophilic balance) 高達 40。於非離子型乳化劑聚氧乙烯脂肪酸酯型中，以聚氧乙烯油酸酯 (PEO) 較聚氧乙烯雙油酸酯 (PEDO) 有較好乳化安定性及較低之臨界微膠粒濃度；聚氧乙烯烷基醚型中，以親水性之聚氧乙烯烷基醚 (PAEH) 較親油性之 PAEL 有較好之乳化安定性及較低臨界微膠粒濃度 (張, 2014)。

(三) 乳化劑分類

根據乳化劑於溶液中之溶解特性可分為兩種，凡是能溶解於水溶液之乳化劑均稱為水溶性乳化劑；反之，能溶解於油脂之乳化劑稱之為油溶性乳化劑。而又可依照乳化劑溶於水後是否解離分為離子型界面活性劑 (ionic surfactant) 及非離子型界面活性劑 (nonionic surfactant)；其中離子型界面活性劑又依照解離後親水端在水中帶負電荷者稱為陰離子型界面活性劑 (anionic surfactant)、帶正電荷者稱為陽離子型界面活性劑 (cationic surfactant) 及同時帶有正電荷及負電荷者稱為兩性離子型界面活性劑 (amphoteric surfactant) (趙及張，2016)。

1. 陰離子型界面活性劑

陰離子型界面活性劑於溶液中解離後，其親水端帶負電荷。其特點為清潔、去污能力強，在化妝品之應用主要為清潔洗滌作用。為目前應用最廣之界面活性劑，分別有羧酸鹽類 (carboxylic acid salts)、磺酸鹽類 (sulfonic acid salts)、硫酸酯鹽類 (sulfuric acid ester salts) 及磷酸酯鹽類 (phosphoric acid ester salts) 四大類。

2. 陽離子型界面活性劑

陽離子型界面活性劑於溶液中解離後，其親水端帶正電荷。其特點為起泡性強、對細菌或黴菌細胞膜具有特殊之吸附破壞作用，但去污效果較差且對皮膚刺激性強，與肥皂作用相反，故稱為逆性肥皂或陽性肥皂。若與陰離子型界面活性劑同時使用則會兩者相互結合而失去作用。主要作為殺菌劑、織物軟化劑、高效抗靜電劑及乳化劑。常見的可分為胺鹽 (amine salt) 及四級銨鹽 (quaternary ammonium salt)

兩大類。

3. 兩性離子型界面活性劑

兩性離子型界面活性劑，親水基端同時帶有正電荷及負電荷。其特點為可與其他類型之界面活性劑自由混合，但對水之溶解度較小，且可依環境 pH 值的不同呈現陽離子或陰離子的功能。在酸性條件下呈現陽離子型界面活性劑的功能；在鹼性條件下呈現陰離子型界面活性劑的功能。對 pH 值敏感的兩性離子常見的有胺基酸系 (amino acid)、甜菜鹼系 (betaine)、咪唑啉 (imidazolidine) 及氧化胺系 (amine oxide)；對 pH 值不敏感的兩性離子常見的有牛磺酸系 (taurine)。

4. 非離子型界面活性劑

非離子型界面活性劑於水溶液中不解離。分子中之親油基團與各種離子型界面活性劑大致相同，而親水基團主要由具有一定數量之含氧基團所構成。其特點為刺激性及毒性最低又安全所以可以應用於化妝品、醫藥、食品及紡織等等；在各種溶劑中皆具有良好之溶解性；在溶液中不以離子狀態存在，故穩定性高；不受電解質影響且可以與其他類型界面活性劑混合使用。常見的種類依親水基種類可分為醚系及酯系。

(四) 多元醇脂肪酸酯類界面活性劑

此類界面活性劑是指由含有多個羥基的多元醇與脂肪酸進行酯化而生成的產物，以及含有 $-NH_2$ 或 $-NH$ 的胺基醇和帶有 $-CHO$ 之醣類進行酯化反應所製得之非離子型界面活性劑。其特性為具有良好之乳化性能及濕潤性能。常用於化妝品及飼料產業之乳化劑。例如，山梨醇脂肪酸酯。山梨醇脂肪酸單酯和去水山梨醇脂肪酸單酯皆是以脂肪酸與醇進行酯化反應後所製得之產品，以脂肪酸與山梨醇（六碳糖）在鹼性條件下加熱（ $190^\circ C$ ）進行酯化反應而製得單酯和雙酯混和物。當反應溫度上升至 $230\sim 250^\circ C$ 時，在酯化反應進行的同時山梨醇會發生脫水現象而形成去水山梨醇脂肪酸單酯，例如去水山梨醇月桂酸酯（sorbitan laurate）便是在反應產物後脫去部分2莫耳水的單酯。去水山梨醇脂肪酸酯（sorbitol ester）之商品名為 Span，依其製備時所使用的脂肪酸種類有一系列產物如表 1 所示，其特性為不溶於水但可溶於有機溶劑。若與其他水溶性官能基複合，例如進行聚氧乙烯化後即可得到聚氧乙烯山梨醇月桂酸酯 [POE (20) sorbitan monolaurate] 或稱為 polysorbate 20，此型為親水性良好的非離子型界面活性劑。此類聚氧乙烯山梨醇脂肪酸酯也可歸類為醚酯系產品，其商品名為 Tween (周等，2008)。其中的 Tween 80，或稱聚氧乙烯山梨醇油酸酯 (polyoxyethylene sorbitan monooleate)，為去水山梨醇油酸酯進行聚氧乙烯化後製成。其特性為親水性高但親油性則較低、刺激性低、有良好之乳化特性。可用作化妝品及藥品之乳化劑、分散劑、潤滑劑及抗靜電劑，HLB 值為 15。

表 1. 常用非離子型乳化劑及其 HLB 值

化學名稱	商品名	HLB 值
去水山梨醇單月桂酸酯 (Sorbitan Monolaurate)	Span 20	8.6
去水山梨醇硬脂酸酯 (Sorbitan Monostearate)	Span 60	4.7
去水山梨醇油酸酯 (Sorbitan Monooleate)	Span 80	4.3
聚氧乙烯山梨醇月桂酸酯 (Polyoxyethylene Sorbitan Monolaurate)	Tween 20	16.7
聚氧乙烯山梨醇硬脂酸酯 (Polyoxyethylene Sorbitan Monostearate)	Tween 60	14.9
聚氧乙烯山梨醇油酸酯 (Polyoxyethylene Sorbitan Monooleate)	Tween 80	15.0

王等，2001。

(五) 乳化劑作用

1. 乳化作用

非水溶液物質於水中均勻乳化形成乳狀液之現象，稱為乳化作用 (emulsion)。乳化劑之親油基端溶入油相，親水基端溶入水相，吸附在油及水的介面間，因降低油與水之間表面張力，達到乳化效果。乳狀液為一種含有兩種不互溶之液體 (油及水)，其中一種液體成液滴狀分散於另一種液體中，對乳化劑溶解度較大之一相，而包裹於外圍之液體則稱為外相或連續相；相反地，對乳化劑溶解度較小之一相稱之為內相或分散相。乳化可依連續相之不同主要可分為兩種，水為連續相之水包油型乳化液 (oil in water; O/W) 及油為連續相之油包水型乳化液 (water in oil; W/O)，除此之外還存在 W/O/W 或 O/W/O 型之多重乳化液 (multiple emulsion)。蛋黃中所含的兩種乳化劑，卵磷脂屬於 O/W 型，膽固醇則屬於 W/O 型 (周等，2008)。乳化劑之極性基 (親水基) 與非極性基 (親油基) 強度之間的平衡，攸關乳化之效果，以親水性與親油性平衡 (hydrophilic lipophilic balance; HLB 值) 來表示 (趙及張，2016)。

2. 增溶作用

使微溶性或不溶性物質增大溶解度的現象稱為增溶作用。將界面活性劑加於水中時，水的界面張力初則急劇下降，繼而形成活性劑分子聚集的微膠粒。形成微膠粒時的界面活性劑濃度稱為臨界微膠粒濃度 (critical micelle concentration, CMC)。當界面活性劑的濃度達到臨界微膠粒濃度時，微膠粒能把油或固體微粒吸聚在親油基的一端，因

此增大微溶物或不溶物的溶解度。而乳化劑之親油基越長，增容量越大。

3. 分散及凝集作用

使非水溶性物質在水中形成微粒均勻分散狀態的現象稱為分散作用。分散過程中，界面活性劑分子的親水端伸在水中，親油端吸附在固體粒子表面，在固體的表面形成親水性吸附層。活性劑的濕潤作用破壞了固體微粒間的內聚力，使活性劑分子進入固體微粒中，變成小質點分散於水中。而相互凝結形成大粒子之過程稱為凝集作用，此兩者為物理變化之相反兩面。例如，無機顏料由於粉體粒子上帶電量不足，在水中之濕潤性佳但分散性差，所以需要於粉體上增加電荷才能增加在水中之分散性，故含多電荷之陽離子以防止凝集並且增加分散性。若再利用陰離子型界面活性劑處理，電性中和後會再產生凝集狀態，此時非極性基會向外；再用非離子型界面活性劑做第二層吸附，使不帶電之極性基向外，因而具有親水性後再次分散，如此一來可以穩定分散系統。但是若非離子型界面活性劑上具有親水性較強或水溶性較大之取代基如聚氧乙烯 (polyoxyethylene)，會使界面活性劑無法被吸附在粉體上做第二層吸附，因此非離子型界面活性劑則不適用。

(六) HLB值 (Hydrophilic lipophilic balance)

界面活性劑分子結構中具有親水性基及親油性基，可利用親水性的極性基和親油性的非極性基的強度之間的平衡，進行乳化作用。親水性和親油性的平衡值是以HLB值來表示。HLB值計算公式，為 $HLB=20 \times (M_H/(M_H+M_L))$ ，其中 M_H 為親水基之重量， M_L 為親油基之重量。HLB值越高，表示乳化劑親水性強，水溶性佳；反之，HLB值越低，表示乳化劑親油性強，水溶性較低。而HLB值對乳化劑特性之影響息息相關，表2 說明不同HLB值對乳化劑用途之影響 (趙及張，2016)。

表 2. 乳化劑之 HLB 值對用途之影響及在水中之狀態

HLB值範圍	水中狀態	用途
1.5~3	油、水分離，且不可能達到分散目的	消泡劑
3.5~6	粗粒子分散，久置後仍油水分離	W/O乳化劑
7~9	激烈攪拌後可能呈乳白色分散	潤濕劑
8~18	8~10：呈穩定之乳白色分散，10~13：呈 幾乎透明分散，13以上：呈完全透明分 散	O/W乳化劑
13~15	呈完全透明分散	洗滌劑
15~18	呈完全透明分散	可溶化劑

趙及張，2016。

(七) 乳化劑在飼糧中之應用

動物之消化系統為水的環境。脂質為非水溶性化合物，經酵素水解生成脂肪酸，藉由乳化劑促使脂肪酸形成可溶於水溶液之微膠粒 (micelle)，提高脂質在小腸被吸收。而動物體本身具有膽酸及磷脂等乳化劑，但可能受到動物年齡、生理條件及飼糧脂質含量與品質之影響，導致不足。所以於飼糧中添加乳化劑可能增加動物對脂肪消化率，提高能量供生產所需。飼糧中常用之乳化劑有膽酸、卵磷脂及脫脂酸卵磷脂 (張，2014)。

1. 卵磷脂 (Lecithin)

卵磷脂 (lecithin) 為磷脂的一種，其化學名為磷脂醯膽鹼 (phosphatidyl choline)。存在於大豆、蛋黃及動物之肝臟，其磷酸根及膽鹼為親水端，甘油及脂肪酸酯化為親油端，屬雙親性 (amphipathic) 分子，為天然乳化劑，屬於離子型乳化劑，可以幫助脂肪乳化形成微膠粒，增加脂質在小腸中被吸收，並增加飼糧中磷脂含量。故在禽畜飼糧中添加卵磷脂，增加脂肪消化率、改善生長性能。

在家禽生長性能或產蛋性能方面，Emmert *et al.* (1996) 提出，於 10% 大豆油飼糧中添加不同濃度卵磷脂 (0, 0.875 及 1.75%) 顯著增加肉雞飼料採食量，且隨著提高添加卵磷脂之濃度，增重呈線性上升。Cantor *et al.* (1997) 以大豆卵磷脂取代肉雞飼糧中部分動物與植物混合油，添加 2.5% 及 5% 卵磷脂組對體重、飼料採食量及飼料換肉率無影響。Azman and Ciftci (2004) 於肉雞試驗中以卵磷脂替換飼糧中

大豆油或牛油對肉雞生長表現無影響。Polin (1980) 於肉雞飼糧中添加 4% 牛油並且添加 2% 之大豆卵磷脂時，牛油的吸收率顯著增加，數值從 70% 增加至 83%。但是 Azman and Ciftci (2004) 提出，當卵磷脂添加量達 2% 時，則對肉雞生長表現產生負面影響。Huang *et al.* (2007) 也提出，於 2% 大豆油飼糧中，逐漸以卵磷脂取代大豆油 (0, 0.5, 1, 2%)，添加 0.5 及 1% 之卵磷脂時，飼料利用效率及平均日增重無影響，但是添加 2% 卵磷脂時平均日增重及飼料利用效率降低。Attia *et al.* (2009) 表示，於植物脂飼糧中添加 3 或 6% 卵磷脂皆能增加體增重、蛋重、產蛋率、蛋量及改善飼料換蛋率，而在添加 6% 卵磷脂時顯著增加蛋黃顏色；在同一能量飼糧情形下，添加卵磷脂不影響豪氏單位，然而額外添加卵磷脂作為能量來源時，添加 3% 卵磷脂對豪氏單位無影響，但是添加 6% 卵磷脂時豪氏單位增加。Mandalawi *et al.* (2015) 也提出，添加 4% 卵磷脂顯著增加蛋重、蛋量且改善飼料換蛋率及使蛋黃顏色增加，但對飼料採食量、髒蛋率、破蛋率、產蛋率、蛋殼厚度、蛋殼強度及豪氏單位無影響。

在豬隻生長性能方面，Jones *et al.* (1990) 指出，仔豬飼糧中使用 10% 大豆油、牛油、豬油及椰子油，並添加 10% 卵磷脂及脫脂酸卵磷脂，提高蛋白質、總能及脂肪消化率，而添加卵磷脂組比脫脂酸卵磷脂組有更好的營養分消化率。Qverland *et al.* (1993a, 1993b) 於仔豬飼糧中添加卵磷脂增加大豆油利用率及生長表現；生長肥育豬飼糧中添加卵磷脂對大豆油利用率及生長表現無影響。Overland and Sundstol (1994) 表示，在離乳 0-14 天仔豬飼糧中添加卵磷脂增加飼料

換肉率及飼料換能率 (gain/ME)。然而在離乳14-35天卻對仔豬生長表現無影響。Kim *et al.* (2008) 於肥育豬飼糧中以0, 2.5及5% 之卵磷脂替換牛油，平均日增重及飼料利用效率顯著增加，且降低血清中膽固醇含量。

2. 脫脂酸卵磷脂 (Lysophosphatidylcholine)

脫脂酸卵磷脂主要是大豆卵磷脂被磷解脂酶 A₂ (phospholipase A₂) 水解後之產物，因為其臨界微膠粒濃度為 0.02-0.2 mM/L，所以可以自發性地形成微膠粒。這表示脫脂酸卵磷脂比卵磷脂及膽酸有更好的乳化能力以及形成微膠粒之能力，因此可以作為良好之外源性乳化劑。

在家禽生長、產蛋性能及消化率方面，Han *et al.* (2010 a) 於蛋雞飼糧中添加 0、0.05、0.1 及 0.2% 脫脂酸卵磷脂，提高蛋重、飼料採食量及蛋黃中膽固醇含量，並改善飼料換蛋率及增加氮、能量及胺基酸之消化率，但對產蛋率、破蛋率、髒蛋率、豪氏單位及蛋黃顏色無影響；同一作者Han *et al.* (2010 b) 另一篇論文的結果則顯示，於蛋雞飼糧中添加0.1% 脫脂酸卵磷脂對蛋重、飼料採食量及飼料換蛋率無影響。Zhang *et al.* (2011) 使用3% 大豆油、牛油及家禽脂肪作為肉雞飼料原料，並於飼糧中添加 0.05% 脫脂酸卵磷脂，於1-21日齡時，體增重受脂肪種類及是否添加脫脂酸卵磷脂之影響，餵飼大豆油組最高，其次依序為家禽脂肪組及牛油組，而有添加脫脂酸卵磷脂皆有顯著增加體增重，但對飼料採食量及飼料利用效率無影響。但是綜觀整個實驗1-42日齡，雞隻餵飼脫脂酸卵磷脂對生長性能無影響，但脂肪

種類對體增重及飼料利用效率有顯著差異，餵飼牛油組最差。

Khonyoung *et al.* (2015) 於肉雞飼糧中添加脫脂酸卵磷脂，對體增重及飼料採食量無影響，但改善7-21日齡時的飼料利用效率。Bootiam *et al.* (2017) 指出，於肉雞飼糧中添加脫脂酸卵磷脂，增加體增重、飼料採食量及改善飼料利用效率，除此之外，也提高粗蛋白質及脂肪之消化率。Raju *et al.* (2011) 指出，於肉雞飼糧中添加 0、0.25、0.5% 米糠脫脂酸卵磷脂 (rice bran lysolecithin, RBL)，對雛雞 (0-21日齡) 之生長性能無影響；而在22-42日齡時，添加 0.5% RBL顯著增加體增重、飼料採食量及改善飼料利用效率。在消化率方面，添加RBL顯著增加脂肪消化率。而Jansen *et al.* (2015) 在肉雞飼糧中添加大豆脫脂酸卵磷脂 (soybean lysolecithin, SL) 及菜籽脫脂酸卵磷脂 (rapeseed lysolecithin, RL)，添加 SL 對飼料採食量無影響，但是添加 RL 顯著降低飼料採食量；而消化率方面，無論添加SL或RL皆顯著增加乾物質及粗蛋白質之消化率，但對粗脂肪消化率則無影響。由此可知，不同來源之脫脂酸卵磷脂及脂肪對生長性能及消化率有不同之影響。

在豬之生長性能及消化率方面，Xing *et al.* (2004) 指出，於離乳仔豬含 5% 豬油飼糧中添加 0、0.02 及 0.1% 脫脂酸卵磷脂，於離乳 0-14 天時體增重無影響，但是在 15-35 天及全期體增重顯著增加，但是飼料採食量及飼料利用效率在任一時期皆無影響。除此之外作者也指出，添加脫脂酸卵磷脂降低乾物質、粗蛋白、總能及磷之消化率。Gatlin *et al.* (2005) 於飼糧中添加 0.1% 脫脂酸卵磷脂，對脂肪消化率無影響。Zhao *et al.* (2015) 於減能仔豬飼糧中添加 0.05% 及 0.1% 脫

脂酸卵磷脂，與正常飼糧組相比添加脫脂酸卵磷脂組對生長性能及血液中膽固醇含量無顯著影響，但皆顯著增加乾物質、粗蛋白質、粗脂肪及總能之消化率。

(八) 乳化劑促進脂肪消化吸收及其機制

動物消化系統為水的環境，而脂質為不溶於水之物質，在消化過程中需經酵素水解為脂肪酸及單酸甘油酯，並藉由內源性乳化劑，如膽酸、磷脂及膽固醇以及外源性乳化劑，如飼料中卵磷脂，形成親水端朝外，親油端朝內之微膠粒 (micelle)，微膠粒可以與腸道內水之環境相溶，並在接觸腸細胞之刷狀緣時以滲透方式被吸收。

Polin (1980) 於肉雞飼糧中添加4% 牛油，並且添加2% 之大豆卵磷脂時，牛油的吸收率顯著增加，數值從70% 增加至83%。Haung *et al.* (2007) 亦提出，飼糧中添加1.5% 大豆油及0.5% 卵磷脂，可提高肉雞脂質消化率且顯著提高飽和脂肪酸消化率。Jones *et al.* (1990) 指出仔豬飼糧中使用10% 大豆油、牛油、豬油及椰子油，並添加10% 卵磷脂及脫脂酸卵磷脂，提高蛋白質、總能及脂肪消化率。Bootiam *et al.* (2017) 指出，於肉雞飼糧中添加米糠脫脂酸卵磷脂 (rice bran lysolecithin, RBL) 脂肪消化率增加。

(九) 乳化劑促進蛋白質消化吸收及其機制

蛋白質之表面活性及乳化活性 (emulsifying activity) 受到胺基酸組成、蛋白質結構 (一級、二級、三級、四級)、結構穩定性、分子電荷、大小及極性非極性平衡之影響。而乳化劑可以與蛋白酶合作

藉由誘導蛋白質降解、改變蛋白質結構或藉由乳化劑分子與蛋白質結合而改變其極性及電荷，使蛋白質特性受到改變 (Jones, 1996)。Wang *et al.* (2008) 指出，由於多數蛋白質於溶液中其結構穩定性較低，若加入Tween系列之非離子型乳化劑，會影響蛋白質結構之穩定性，使其結構鬆散。例如Tween80會佔據蛋白質表面疏水區域，導致蛋白質疏水區域減少，使蛋白質內疏水相互作用降低，導致結構鬆散。

蛋白質在消化系統中，直至經過胃後，因胃中酸性環境下 (pH=2~3)，使蛋白質變性，變得鬆散展開以利胃蛋白酶作用。被胃蛋白酶進行初步水解後，進入小腸再被胰臟產生之各種蛋白酶水解為小分子生肽及胺基酸後，被小腸細胞以主動運輸之方式吸收 (姜, 2014)。而Otzen (2011) 指出，蛋白質與乳化劑相互作用使蛋白質解纏繞或改變其結構使蛋白酶更易與其作用，使蛋白質被水解之機會增加；除此之外，帶電荷之胺基酸鏈也影響表面活性，而在電荷呈電中性 (isoelectric point) 時吸收效率最高。Kamande *et al.* (2000) 指出，添加非離子型乳化劑能夠增加蛋白酶之活性，且乳化劑濃度增加會增加蛋白質的吸附能力。

乳化劑可能可以使蛋白質變性、降解、增加接觸表面積、減少蛋白質疏水性及提高蛋白酶活性，因此飼糧中添加乳化劑可能會提高動物對蛋白質消化率。目前此方面之研究甚少，值得探討。

Kamande *et al.* (2000) 使用牛瘤胃中的微生物酶與酪蛋白及 Tween60 與 Tween80 進行培養，測定非離子型乳化劑對蛋白酶活性之影響；並且使用 0、0.05、0.1、0.25、0.5% 不同濃度之 Tween80 測

定蛋白質吸附於纖維素基質（大麥稈）之速率及程度。結果顯示，Tween60 及 Tween80 皆顯著增加瘤胃微生物蛋白酶及纖維素酶之活性，而提升 Tween80 濃度可以增加微生物蛋白酶吸附於大麥稈之速度及程度。Wang *et al.* (2008) 指出，於白介素第二因子 (Interleukin-2; IL-2) 突變蛋白質中添加 0.1% Tween80，降低搖晃導致的蛋白質聚集，但是在蛋白質儲存穩定性方面，若儲存於 40°C 時，Tween80 則會促進蛋白質聚集；若儲存於 5°C 時，Tween80 不會促進蛋白質聚集，但會提高蛋白質氧化速度。陳 (2012) 發現，於 4% 牛脂飼糧中添加 0.08% 非離子型乳化劑，提高肉雞蛋白質迴腸及糞便消化率；而 4% 牛脂飼糧中添加不同濃度之非離子型乳化劑對蛋白質蓄積率及可消化蛋白質蓄積率無影響。張及姜 (2016) 發現，於牛脂飼糧中添加 0.01% 聚氧乙烯油酸酯 (PEO)，顯著降低肉雞蛋白質全腸道消化率，而添加 0.01% 之十二烷基硫酸鈉 (SLS)、親水性聚氧乙烯烷基醚 (PAEH) 及複方乳化劑 (Blend) 則對肉雞蛋白質蓄積率及全腸道消化率無影響。然而，添加 0.01% SLS 顯著提高蛋白質迴腸消化率，但添加 0.01% PEO、PAEH 及 Blend 對蛋白質迴腸消化率無影響。而不同乳化劑對肉雞可消化蛋白質蓄積率有影響趨勢。除此之外，張 (2014) 還發現，於泌乳母豬飼糧中添加 0.15% 非離子型乳化劑顯著增加蛋白質表相全腸道消化率。

二、雞蛋

(一) 雞蛋形成

蛋之構造分為卵黃、卵白及蛋殼三部分，其體積分別約佔全蛋的30%、60% 及10%。卵黃為卵巢內之成熟濾泡，而後經輸卵管最前部之漏斗部 (funnel)，接受由卵巢排出之卵黃並於其外層形成周圍膜，再經膨大部，於卵黃周圍增加濃厚卵白，並形成繫帶，再經峽部，卵進入峽部後蛋殼膜自前端開始蓄積形成兩層之殼膜 (Stadelman and Cotterill, 1973)。而後到達子宮，子宮或稱蛋殼腺部，雞血液中之鈣在子宮以碳酸鈣之形式沉積而形成蛋殼 (張，1986; Ha *et al.*, 2007)。其構造如圖 1 所示 (林，1983)。

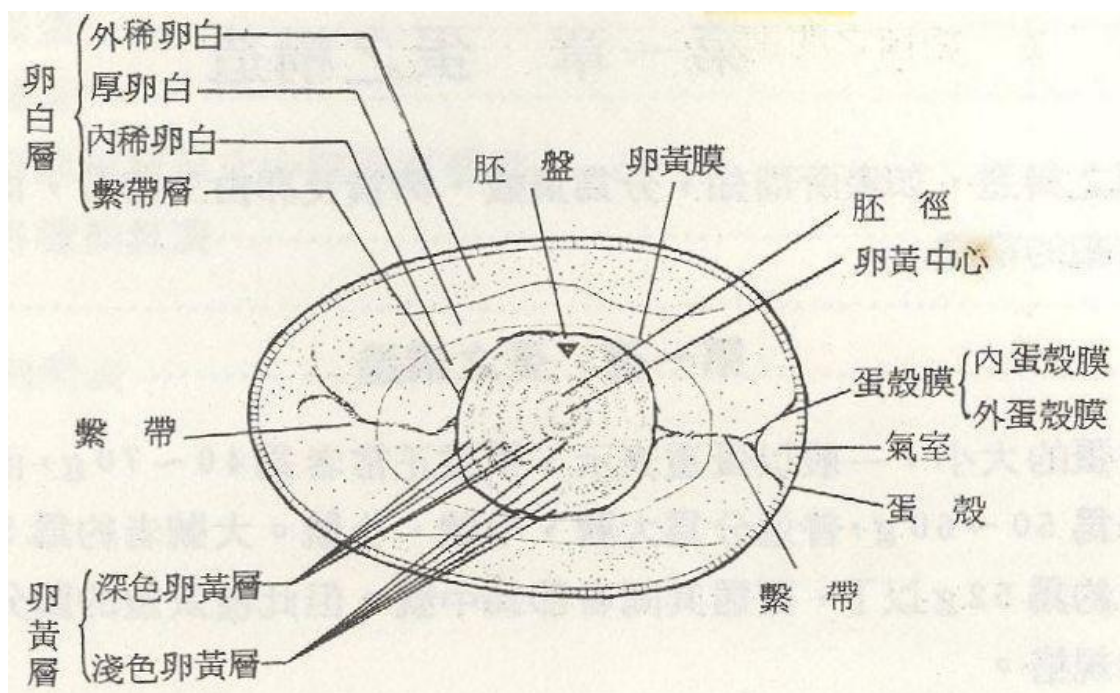


圖 1. 雞蛋之構造。

Fig 1. Structure of egg.

林，1983。

(二) 成分

1. 營養成分

依照化學組成成分分析，一顆雞蛋中約65% 為水分，約12% 為蛋白質，約11% 為脂質，其餘為灰分及維生素。蛋黃大約佔蛋重之30%，而蛋黃中約含有30% 之脂質，而雞蛋中磷脂含量約佔總脂質之30%，其餘63% 為三酸甘油酯 (TG)，5% 為膽固醇。表 3 顯示蛋黃中脂質組成 (Noble, 1987)。

(1) 磷脂

磷脂在自然界分布廣泛，所有細胞中皆含有磷脂，為生物膜之基本組成。磷脂在種籽中相當豐富，例如，大豆、棉籽、花生及向日葵。在蛋黃中亦大量存在。磷脂依化學結構主要可分為兩類，甘油磷脂 (glycerophospholipid) 及神經鞘磷脂 (sphingomyelin) 兩類。甘油磷脂由兩個脂肪酸、甘油，磷酸基及極性有機分子 (膽鹼，絲氨酸，肌醇或乙醇胺) 組成，磷脂醯膽鹼俗稱之卵磷脂、磷脂醯乙醇胺、脫脂酸卵磷脂及肌醇磷脂皆屬於這一類；神經鞘磷脂不含甘油基團，為神經醯胺 (ceramide) 與磷酸直接相連，再與膽鹼或乙醇胺連接而成之酯，圖 2 顯示磷脂之結構式 (安等, 2006; Blesso, 2015; Liu and Ma, 2011)。雞蛋中主要的磷脂種類為磷脂醯膽鹼 (PC)，神經鞘磷脂 (SM)，磷脂醯乙醇胺 (PE)，磷脂醯肌醇 (PI)。表 4 顯示典型蛋中磷脂組成 (Blesso, 2015)，其中磷脂醯膽鹼為其中含量最多者，佔所有磷脂的75% 左右 (Schreiner *et al.*, 2004; Ramstedt *et al.*, 1999; Zhao *et al.*,

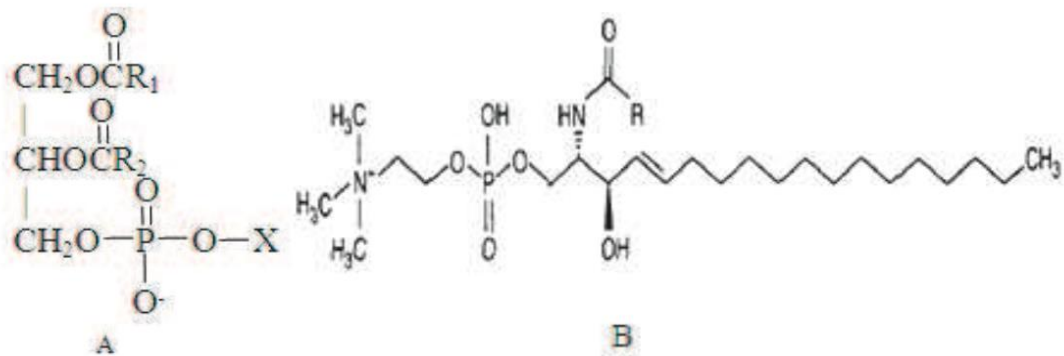
2011)。磷脂醯膽鹼為飼糧中供應膽鹼主要之來源，為肝臟及腦維持功能正常之重要營養分，同時也涉及脂肪代謝、運輸及細胞膜訊號傳遞及細胞組成與修復 (Justice and Curtis, 2017)。

表 3. 蛋黃組成及其脂質組成

Table 3. Composition of yolk and lipids in yolk

Category	%
Water	65.0
Protein	12.0
Fat	11.0
Others	12.0
Lipid category	%
Cholesterol esters	1.3
Triacylglycerols	63.0
Free fatty acid	0.9
Free cholesterol	5.0
Phospholipids	29.7

Noble, 1987.



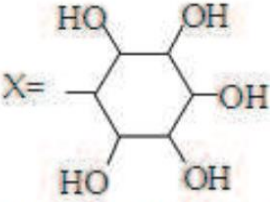
$X = -CH_2CH_2N^+(CH_3)_3$	Phosphatidylcholine PC
$X = -CH_2CH_2N^+H_3$	Phosphatidylethanolamine PE
	Phosphatidylinositol PI
$X = -CH_2CH(NH_2)COOH$	Phosphatidylserine PS
$X = -H$	Phosphatidic acid PA

圖 2. 磷脂之結構

Fig 2. Structure of phospholipids; A: glycerol phosphatides structure; B: sphingomyelin; R1, R2, R: hydrocarbon chain; Point 'X' is likely composed of structures noted in the box.

Liu and Ma, 2011.

表 4. 蛋中磷脂之典型組成

Table 4. Typical composition of egg phospholipids

Egg yolk	Concentration (mg/100g yolk)	Percentage of total phospholipid (%)
Phosphatidylcholine	5840	71.0
Phosphatidylethanolamine	1500	18.3
Lysophosphatidylcholine	270	3.3
Sphingomyelin	190	2.3
Lysophosphatidylethanolamine	90	1.1
Phosphatidylinositol	330	4.0

Blesso, 2015.

(2) 膽固醇

膽固醇為類固醇之一種，為性內泌素、膽酸及維生素 D₃ 之先成物，也是生物膜中雙層膜之組成。具有重要之生理功能，例如可以於肝臟中合成膽酸幫助脂質乳化及吸收，於腎上腺皮部合成皮質激素 (adrenocortical hormones) 促進葡萄糖新成作用及合成醛固酮 (aldosterone) 以維持體液滲透壓及酸鹼平衡，於卵巢合成雌激素及助孕素，於睪丸合成睪固酮。動物體內膽固醇主要有兩個來源，分別為外源性及內源性者，且兩者可互相調節。蛋雞主要合成膽固醇之器官為肝臟，而雞蛋中之膽固醇主要由肝臟製造，並以脂蛋白之形式藉由血液運輸至發育中之濾泡沈積。

2. 影響蛋黃中磷脂含量之因素

磷脂是組成生物膜的重要成分，也影響許多生理功能。磷脂含量在食物中各有不同，而蛋黃、大豆及肝臟皆含有豐富的磷脂，其中磷脂醯膽鹼為主要成分，在腸道中超過90% 被吸收，因此飼糧中添加不同種類磷脂可能會增加蛋黃中磷脂含量。雞隻年齡會影響雞蛋大小，因而影響其中組成分之含量。French and Tullet (1991) 指出，不同品系的雞隻蛋中脂質含量也不一樣。An *et al.* (1997) 提到，添加5% 紅花磷脂不影響肝臟及蛋黃中磷脂含量，但顯著降低磷脂中磷脂醯膽鹼比例。故推測雞隻年齡、品系及營養皆可能影響蛋黃中磷脂含量，而飼糧中添加不同種類磷脂可能影響磷脂組成比例，但目前對於影響磷脂含量之論文很少，因此仍需要進一步研究證實。

3. 影響蛋黃中膽固醇含量之因素

許多研究顯示，蛋黃中膽固醇含量受到蛋雞品系、飼養方式、營養、藥物抑制劑及年齡之影響 (Hargis, 1988; Elkin, 2006; Elkin, 2007)。Wood *et al.*, (1961) 也指出，雞隻膽固醇代謝在不同性別及年齡皆有所不同；一般血漿中膽固醇含量母雞高於公雞；性別相同時，一週齡小雞之血漿中膽固醇含量高於成熟者。

(1) 遺傳育種

Cunningham *et al.* (1974) 指出，蛋黃膽固醇含量不同之兩種白色來亨雞子系以膽固醇分歧選拔膽固醇之含量，其有 5.3% 之顯著差異。而 Marks and Washburn (1977) 及 Becker *et al.* (1977) 之研究皆指出，在蛋黃膽固醇之上限及下限中做選拔，確實對蛋黃膽固醇之含量有效果，但是只會有上升之影響。蛋黃膽固醇之濃度是有下限的，因為發育中之胚胎需要大量且多種之固醇類。Ansah *et al.* (1985) 成功地經過三代的選拔，選出膽固醇較低的蛋，第三代之雞蛋膽固醇降低 9 mg/egg，但是在統計上卻無顯著；除此之外作者更指出，經過三代選拔後，蛋黃膽固醇與蛋黃重及產蛋率呈負相關，此結果與其他論文相符 (Bartov *et al.*, 1971; Marks and Washburn, 1977)。

(2) 飼糧中膽固醇

Sutton *et al.* (1984) 指出，飼糧中之膽固醇顯著增加蛋黃中膽固醇濃度。Wood *et al.* (1961) 指出，於蛋雞飼糧中添加 1% 膽固醇顯著增加蛋黃中膽固醇濃度。Sim *et al.* (1980) 於蛋雞飼糧中餵飼 2% 大豆固醇時，內源性膽固醇排泄增加，然而表面吸收率卻無影響。而 Hargis (1988) 中也提到，植物固醇調節膽固醇代謝是藉由增加膽固醇

轉換率及膽汁排泄，而非影響膽固醇之吸收。Bartov *et al.* (1971) 在研究中表示，血漿中之膽固醇濃度與蛋黃中膽固醇之濃度無密切相關。但是Sim *et al.* (1980) 於蛋雞飼糧中添加高含量之膽固醇，蛋黃中膽固醇含量上升。作者表示蛋雞為了使體內血液中膽固醇維持正常，所以增加膽固醇排出至蛋中，除此之外，由乙酸合成之內源性膽固醇也減少，且糞便中固醇含量增加。

(3) 脂肪種類及飽和度

Bartov *et al.* (1971) 及Lall and Slinger (1973) 皆指出，飼糧中添加含高不飽和脂肪酸之植物油，蛋黃中膽固醇含量增加；相反地，Weiss *et al.* (1967) 指出，飼糧中添加含高飽和脂肪酸之動物油對蛋黃膽固醇含量無影響。而作者也提到，蛋雞餵飼不飽和脂肪，使肝臟減少脂肪生成並增加膽固醇生成。然而Hirata *et al.* (1986) 指出，於蛋雞飼糧中添加大豆油、椰子油、豬油或牛油皆對蛋黃中膽固醇含量無影響，但是蛋黃中脂肪酸組成卻因脂肪不同而有顯著影響。

(4) 卵磷脂

Cohn *et al.* (2010) 有關飽和磷源（如雞蛋）的研究顯示，完整的磷脂透過分子相互作用影響脂質吸收。目前已知飲食中加入大量磷脂可抑制膽固醇的吸收。動物研究顯示，蛋黃中磷脂（卵磷脂和鞘磷脂）可以藉由影響微膠粒的移動來降低膽固醇和脂肪酸之吸收。雖然膽汁中的卵磷脂是脂質的關鍵乳化劑，有助於胃腸道消化和吸收，但多餘的腸道內卵磷脂會抑制脂質吸收。Jiang *et al.* (2001) 指出，於淋巴管插管大鼠之十二指腸注入蛋黃卵磷脂顯著降低大鼠膽固醇吸收約

20%，而卵磷脂中對膽固醇吸收之重要因素為脂肪酸飽和度，作者指出較飽和之蛋黃卵磷脂抑制膽固醇吸收進入淋巴管中的量，較不飽和之大豆卵磷脂要多。與沒有注入卵磷脂之對照組相比，注入大豆卵磷脂組實際上增加膽固醇和脂肪酸之吸收。此外，蛋黃中卵磷脂被氫化後對膽固醇及三酸甘油酯吸收影響更大。已知飽和的卵磷脂在sn-1位置為胰腺磷脂解脂酶(phospholipase A₂, PLA₂)水解之不良基質。因此，相較於較不穩定之大豆卵磷脂，蛋黃中飽和卵磷脂抑制膽固醇之吸收更有效。

4. 磷脂影響膽固醇吸收之機制

Cohn *et al.* (2010) 提出三個磷脂可能影響膽固醇吸收之機制。第一，過量之磷脂能有效干擾微膠粒磷脂 (micellar phospholipids) 水解。PLA₂為吸收飼糧中膽固醇之重要介質，而Mackay *et al.* (1997) 指出，Anti PLA₂抗體可以促進Caco-2細胞膽固醇攝取能力。Richmond *et al.* (2001) 也發現，PLA₂抑制劑能阻止大鼠吸收膽固醇，因此抑制磷脂水解能夠降低膽固醇攝取，故可以推測增加飼糧中磷脂可以阻止微膠粒磷脂的水解達到降低膽固醇吸收之作用。第二，磷脂可以改變微膠粒之理化特性 (大小、組成及生物特性)。Hernell *et al.* (1990) 指出，過量之磷脂可以誘導膽固醇分子從微膠粒狀態轉變成囊狀 (vesicular phase)，因此降低膽固醇吸收。Cohen and Carey (1991) 指出，飼糧中添加不同種類的磷脂，較飽和之磷脂會降低微膠粒中膽固醇之溶解度，因此阻礙膽固醇運送至小腸黏膜細胞，而降低膽固醇吸收。第三，磷脂作用於腸細胞膜之特性或直接影響膽固醇運輸蛋白，調節腸道膽固醇攝取。磷脂為細胞膜之組成成分，Dowhan and Bogdanov (2009) 指

出，膜蛋白的活性會直接受到細胞膜磷脂之影響，An *et al.* (1997) 也提到，磷脂降膽固醇的影響可能因為肝臟減少分泌膽固醇或增加HDL進入肝臟中。因此可以推測磷脂可以降低膽固醇吸收。

材料與方法

一、 試驗一飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞產蛋性能、蛋品質及營養 分消化率之影響

(一) 試驗設計

64 隻 13 週齡 Hy-line W36 蛋雞依體重分配至兩個處理組，每個處理組 8 重複，每重複 4 隻雞 (雞隻個別籠飼)。雞隻 24 週齡時試驗開始，直至 37 週齡時試驗結束。

(二) 試驗飼糧

試驗飼糧主要由玉米及去殼大豆粕配成 (表 5)，營養分含量參照海藍蛋雞生長手冊 (2014) 及 NRC (1994) 蛋雞飼養標準。兩種試驗飼糧分別為於基礎飼糧中不添加或添加 2% 大豆卵磷脂。試驗用大豆卵磷脂購買自中聯油脂 (台中，清水區)，產品名為大豆磷脂質。經分析，內含 79% 卵磷脂及 21% 大豆油。添加大豆卵磷脂時，以大豆卵磷脂取代基礎飼糧中等量之玉米澱粉，充分混勻。卵磷脂之組成如表 6 所示。

(三) 雞隻飼養管理及採樣

雞隻個別飼養於雞籠 (33 cm × 20 cm × 40 cm) 中，光照計畫使用 Hy-line lighting program (使用鎢絲燈泡，光照強度 10 lux)。13-17 週齡維持光照 12 小時，18 週齡時增加光照時間至 13 小時，並且逐週增加光照 15 分鐘，直至 30 週齡時光照時間達 16 小時後不再增加 (光照採用 16L:8D)。因白冠病之緣故，以磺胺劑肌肉注射治癒後，試驗於雞隻 24 週時正式開始，直至雞隻 37 週時試驗結束。為期 14 週。試驗期間飼料及飲水任食 (每籠皆有個別飼料槽及乳頭式飲水器)。

於試驗開始及結束時測定雞隻體重，並於每日記錄每隻雞產蛋數、破蛋數及髒蛋數；每 2 週最後兩天收蛋測定蛋殼強度、蛋殼厚度、蛋白高度、蛋黃高度、蛋黃顏色評級及豪氏單位。試驗第 4、8 及 12 週最後兩天每重複收 4 顆蛋後，取蛋黃後合併混勻，於-20°C 冷凍保存，以備測定蛋黃膽固醇及蛋黃脂肪酸含量。另於 4、8 及 12 週最後兩天分別於每重複收 2 顆蛋，取蛋內容物均質後，-20°C 冷凍保存，以備測定蛋中蛋白質含量。雞隻 34 週齡時，於飼糧中添 0.5% TiO₂ 作為消化率測定之指示劑。經一週後，收糞 3-5 天，糞便冷凍保存，以備測定脂肪酸消化率及蛋白質蓄積率。

表 5. 試驗飼糧組成 (試驗一)

Table 5. Composition of experimental diet (trial 1)

Lecithin added, %	0	2
Ingredient, %		
Yellow corn grain	53.50	53.50
Soybean meal dehulled, (47% CP)	27.10	27.10
Soybean oil	3.00	3.00
CaCO ₃	11.00	11.00
Monocalcium phosphate	2.20	2.20
DL-Methionine	0.30	0.30
Salt	0.30	0.30
Vitamin premix ¹	0.05	0.05
Mineral premix ²	0.05	0.05
NaHCO ₃	0.50	0.50
Corn starch	2.00	0.00
Lecithin	-	2.00
Calculated values		
Metabolizable energy ³ , kcal/kg	2744.62	2806.54
Crude protein, %	16.33	16.33
Crude fat, %	5.34	5.74
Calcium, %	4.67	4.67
Available phosphorus, %	0.56	0.56
Methionine + cysteine, %	0.86	0.86
Analyzed value, %		
Crude protein	15.42	15.24
Total fatty acid	5.12	6.11
C16: 0	0.68	0.83
C18: 0	0.17	0.21
C18: 1	1.33	1.43
C18: 2	2.68	3.30
C18: 3	0.26	0.34
SFA	0.85	1.04
USFA	4.27	5.07

¹Supplied per kg diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D₃, 1,200 IU; vitamin E, 45 IU; vitamin K₃, 3.0 mg; vitamin B₁, 3.0 mg; biotin, 0.2 mg; folacin, 2.0 mg.

²Supplied per kg diet: Fe, 60 mg; Mn, 40 mg; Zn, 50 mg; Cu, 5 mg; I, 0.05 mg; Co, 0.05 mg.

³Metabolisable energy of lecithin was 6746 kcal/kg, calculated based on 6147 kcal/kg of pure lecithin (陳及姜 · 1994) and 9000 kcal/kg of soybean oil. Lecithin contained 79% of pure lecithin and 21% of soybean oil.

(四) 樣品分析

1. 飼料、糞便及蛋內容物

(1) 粗蛋白質測定

飼料經磨細後；糞便解凍後經 60°C, 24 小時乾燥 (UFE, Memmert Company, Germany) 及磨細；蛋內容物解凍及均質後，分別測定其中粗蛋白質含量 (AOAC, 1984)。秤取適量樣品，以 Kjeldahl 法經硫酸水解後，再以凱氏氮蒸餾裝置 (Kjeltec system-8100, Foss Tector, Sweden) 蒸餾滴定後，測定樣品中總氮含量，並推算粗蛋白質百分比 ($N\% \times 6.25$)。

(2) 脂肪酸組成測定

依照 Sukhija and Palmquist (1988) 之方法，取適量之材料，糞便及蛋黃，添加 pentadecanoic acid (C15:0) (Matreya, Inc., U.S.A) 作為內標 (internal standard)，使用 benzene, methanolic HCl 及 K_2CO_3 將樣品中脂肪酸甲基化，再以氣相層析儀 (Trace GC ultra, Thermo, Finland) 定量樣品中脂肪酸。樣品注入分離管柱毛細管 (Rtx-2330, Restek, USA) (長 30 m, ID 0.32 mm)，oven、injector 及 detector 溫度分別為 160-200°C (3°C/min)、250°C 及 260°C，移動相氣體為 N_2 流速為 3 ml/min、split ratio 10:1，藉由與已知量 C15:0 之比例，計算總脂肪酸及個別脂肪酸含量。

(3) 蛋黃中膽固醇含量測定

以膽固醇分析套組進行分析。取些 1g 黃加入 2% NaCl 9 mL 後，振盪，取 10 μ L 加入 90 μ L 2% NaCl。之後取 10 μ L，加入 1 mL 酵素反應液，混合均勻，於 37°C 培養 5 分鐘，以分光光度計 (Hitachi U-2000,

Tokyo, Japan) 測定吸光值。

(4) 卵磷脂組成測定

卵磷脂組成測定參考 Cairns and Peters (1983) 所述之方法。取 10 mg 之卵磷脂置入 15 mL 玻璃離心管，並加入 1 mL 氯仿，均勻混合。將 TLC 板 (TLC silica gel-60 F₂₅₄, Merck Chemical Co., Darmstadt, Germany) 置於 102 °C 烘箱中，活化 30 分鐘。以毛細管吸取標準品或樣品 20 μ L，點樣於 TLC 板上，將 TLC 板置於展開槽中。待展開液前緣展開至預定位置，將 TLC 板自展開槽中取出，置於抽氣櫃中，使用氮氣吹乾。於 UV 燈 254 nm 下以鉛筆圈出斑點，並與標準品對照。刮取斑點至 15 mL 拋棄式玻璃離心管中。再分別測定其中脂肪酸含量，推算卵磷脂組成。

(5) 二氧化鈦濃度測定

飼料及糞便中鈦濃度之分析依 Short *et al.* (1996) 所述之方法。取約 0.2 g 樣品置於坩鍋中，於 580°C 灰化 13 小時。冷卻後，加入 10 mL 7.4 M 硫酸至坩鍋內，緩緩加熱至沸騰後繼續加熱直到液體澄清（從室溫到澄清，視情況約為 60-100 分鐘）。冷卻後，倒入含約 25 mL 去離子水的燒杯中，過濾至 100 mL 定量瓶，再加入 20 mL 30% 過氧化氫，並將溶液以去離子水定量至 100 mL。以分光光度計 (Hitachi U-2000, Tokyo, Japan) 於波長 410 nm 下測定吸光度，以檢量線回推二氧化鈦濃度。

2. 蛋品質分析

(1) 蛋殼強度測定

蛋殼強度使用電子式拉力機量測 (Model-HI-8116, Hung-Ta Co., Taichung, Taiwan) 蛋樣品尖端朝下鈍端朝上固定好後，探頭以 50 mm/min 速度下降，以測定蛋殼最大瞬間破裂強度。

(2) 蛋殼厚度測定

蛋樣品以鐵製刮勺擊破蛋殼三端分別為，頂端、赤道端及鈍端。並分別以蛋殼厚度測定儀 (Model- ID-C1012EXBS, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan) 測定三端之蛋殼厚度，將三個數值平均，即可求得蛋殼厚度。

(3) 蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測定

將蛋內容物置於蛋質測定台上 (Model-NFN382, Fujihira, Tokyo, Japan) 以蛋質測定儀 (Model-NFN381, Fujihira, Tokyo, Japan) 測量其濃厚蛋白中間點及蛋黃最高點，即可得到蛋白高度及蛋黃高度。

豪氏單位為 $100 \times \log[\text{蛋白高度 (mm)} - 1.7 \times \text{蛋重 (g)}^{0.37} + 7.6]$

(4) 蛋黃顏色評級

蛋黃在測定台上以比色扇 (Yolk Colour Chart, Robotmation Co., Tokyo, Japan) 判定蛋黃顏色，1~15 分，1 為黃色最淺色，15 為橘紅色最深色。

(五) 數據計算

1. 脂肪酸消化率

依飼糧及糞便中脂肪酸濃度及鈦濃度之比例，求出脂肪酸全腸道消化率：

脂肪酸全腸道消化率 (%) =

$$100 - 100 \times \frac{\text{飼料鈦濃度}(\%) \times \text{糞便脂肪酸濃度}(\%)}{\text{糞便鈦濃度}(\%) \times \text{飼料脂肪酸濃度}(\%)}$$

2. 蛋白質蓄積率

依飼糧及糞便中蛋白質濃度及鈦濃度之比例，求出蛋白質蓄積率：

蛋白質蓄積率 (%) =

$$100 - 100 \times \frac{\text{飼料鈦濃度}(\%) \times \text{糞便蛋白質}(\%)}{\text{糞便鈦濃度}(\%) \times \text{飼料蛋白質濃度}(\%)}$$

(六) 統計分析

生產性能、蛋品質、蛋內容物粗蛋白質、脂肪酸消化率、蛋白質蓄積率及蛋黃成分，利用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS, 2016) 套裝軟體以 t-test 法進行統計分析，測定兩處理間差異。

二、 試驗二，飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞產蛋性能、蛋品質及營養分消化率之影響

(一) 試驗設計

128 隻 13 週齡 Hy-line W36 蛋雞，逢機分配至四個處理組，每個處理組 8 重複，每重複 4 隻雞 (雞隻個別籠飼)。雞隻 24 週齡時試驗開始，直至 41 週齡時試驗結束，為期 19 週。

(二) 試驗飼糧

試驗飼糧主要由玉米及去殼大豆粕配成 (表 6)，營養分含量參照海藍蛋雞生長手冊 (2014) 及 NRC (1994) 蛋雞飼養標準。四種試驗飼糧分別為於基礎飼糧中 (1) 不添加或添加 (2) 0.05% (3) 0.1% (4) 0.2% 油效能 (Emupack)。油效能內含 20% 非離子型乳化劑，添加油效能時，以油效能取代基礎飼糧中等量之玉米澱粉，充分混勻。

(三) 雞隻飼養管理及採樣

雞隻飼養管理及光照計畫如試驗一者。於試驗開始及試驗結束時測定雞隻體重，並於每日記錄每隻雞產蛋數、破蛋數及髒蛋數。每 2 週最後兩天收蛋測定蛋殼強度、蛋殼厚度、蛋白高度、蛋黃高度、蛋黃顏色評級及豪氏單位。每 4 週最後兩天每重複收 4 顆蛋，共收集 4 次後，取蛋黃後合併混勻，於 -20°C 冷凍保存，以備測定蛋黃膽固醇及蛋黃脂肪酸含量。另於 4、8、12 及 16 週最後兩天分別於每重複收 2 顆蛋，取蛋內容物均質後，-20°C 冷凍保存，以備測定蛋中蛋白質含量。並於雞隻 38 週齡時，於飼糧中添加 0.5% TiO₂ 作為消化率測定之指示劑。經一週後，收糞 3-5 天，糞便冷凍保存，以備測定脂肪酸消化率及蛋白質蓄積率。

表 6. 試驗飼糧組成(試驗二)

Table 6. Composition of experimental diet (trial 2)

Emupack added, %	0	0.05	0.1	0.2
Ingredient, %				
Yellow corn grain	53.50	53.50	53.50	53.50
Soybean meal (dehulled 47% CP)	27.10	27.10	27.10	27.10
Soybean oil	3.00	3.00	3.00	3.00
CaCO ₃	11.00	11.00	11.00	11.00
Monocalcium phosphate	2.20	2.20	2.20	2.20
DL-Methionine	0.30	0.30	0.30	0.30
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30
Vitamin premix ¹	0.05	0.05	0.05	0.05
Mineral premix ²	0.05	0.05	0.05	0.05
NaHCO ₃	0.50	0.50	0.50	0.50
Corn starch	2.00	1.95	1.90	1.80
Emupack	-	0.05	0.10	0.20
Calculated values				
Metabolizable energy, kcal/kg	2744.62	2742.80	2740.97	2737.32
Crude protein, %	16.33	16.33	16.33	16.33
Crude fat, %	5.34	5.34	5.34	5.34
Calcium, %	4.67	4.67	4.67	4.67
Available phosphorus, %	0.56	0.56	0.56	0.56
Methionine + cysteine, %	0.86	0.86	0.86	0.86
Analyzed value, %				
Crude protein	15.42	15.51	16.13	15.98
Total fatty acid	5.48	4.88	5.16	4.98
C16: 0	0.73	0.65	0.69	0.65
C18: 0	0.18	0.16	0.18	0.17
C18: 1	1.48	1.25	1.31	1.27
C18: 2	2.83	2.56	2.70	2.62
C18: 3	0.26	0.25	0.27	0.26
SFA	0.91	0.81	0.87	0.82
USFA	4.57	4.07	4.29	4.16

¹ Supplied per kg diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D₃, 1,200 IU; vitamin E, 45 IU; vitamin K₃, 3.0 mg; vitamin B₁, 3.0 mg; biotin, 0.2 mg; folacin, 2.0 mg.

² Supplied per kg diet: Fe, 60 mg; Mn, 40 mg; Zn, 50 mg; Cu, 5 mg; I, 0.05 mg; Co, 0.05 mg.

(四) 樣品分析

1. 飼料、糞便及蛋內容物分析

(1) 粗蛋白質測定

與試驗一者同。

(2) 脂肪酸組成測定

與試驗一者同。

(3) 蛋黃中膽固醇含量測定

與試驗一者同。

(4) 二氧化鈦濃度測定

與試驗一者同。

2. 蛋品質分析

(1) 蛋殼強度測定

與試驗一者同。

(2) 蛋殼厚度測定

與試驗一者同。

(3) 蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測定

與試驗一者同。

(4) 蛋黃顏色評級

與試驗一者同。

(五) 數據計算

1. 脂肪酸消化率

與試驗一者同。

2. 蛋白質蓄積率

與試驗一者同。

(六) 統計分析

生產性能、蛋品質及蛋內容物粗蛋白質以混合程序 (MIXED) 利用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS, 2016) 套裝軟體進行統計分析，選用複合對稱結構 (compound symmetry, CS)，無結構 (unstructured, UN) 及一階自動回歸結構 (autoregressive order one, AR) 方式定義，並選取擬合統計量 BIC (Schwartz's Bayesian criterion) 絕對值最低者為準 (李等, 2012)。統計模式為處理效應，時間效應及兩者交互作用。如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以 Tukey 法，測定個處理間差異。

脂肪酸消化率、蛋白質蓄積率及蛋黃成分以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行統計分析。如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以 Tukey 法，測定個處理間差異。

結果

一、 試驗一

(一) 產蛋性能

飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞產蛋性能之影響如表 7 及圖 3-7 所示。飼糧中添加卵磷脂對飼料採食量及破蛋率無顯著影響，但在數字上提高產蛋率及蛋重。飼糧中添加卵磷脂顯著提高蛋量、改善飼料換蛋率 ($P=0.05$) 及降低髒蛋率 ($P=0.05$)。

週齡對產蛋性能皆具顯著影響 ($P<0.05$)。產蛋率至 26 週齡時達高峰，持續至 33 週齡，其後逐漸降低。蛋重隨週齡之增加而較重。蛋量則至 26 週齡時達高峰，持續至 36 週齡，其後降低，而飼糧添加卵磷脂顯著提高 24 及 25 週齡蛋量 ($P<0.05$)。

(二) 蛋品質

飼糧中添加卵磷脂對蛋雞蛋品質之影響如表 8 及圖 8-13 所示。飼糧中添加卵磷脂對蛋殼厚度、蛋殼強度、蛋白高度、蛋黃高度及豪氏單位無顯著影響。飼糧中添加卵磷脂顯著提高蛋黃顏色 ($P<0.01$)。

週齡對蛋殼強度之外，其餘蛋品質皆具顯著影響 ($P<0.01$)。飼糧添加卵磷脂顯著提高 34 週齡蛋黃顏色，但顯著降低 36 週齡蛋黃高度 ($P<0.05$)。

(三) 蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率

飼糧中添加卵磷脂對蛋雞蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率之影響如表 9 所示。飼糧中添加卵磷脂對蛋白質蓄積率，C16:0，C18:0，C18:1，C18:2，C18:3，飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸及總脂肪酸全腸道消化率皆無顯著影響。

表 7. 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞產蛋性能之影響 (試驗一)

Table 7. Effect of dietary supplementation of lecithin on laying performance of laying hens (trial 1)

Lecithin added, %	0	2	SEM	P-value
Body weight, kg				
Initial	1.31	1.33	0.02	0.65
Final	1.49	1.52	0.02	0.47
Laying performance				
Egg production, %	90.85	93.02	0.94	0.15
Egg weight, g	56.83	57.79	0.53	0.24
Egg mass, g	51.63	53.74	0.62	0.05
Feed intake, g	89.52	89.28	0.94	0.86
FCR ¹	1.75	1.67	0.02	0.05
Dirty egg, %	6.08	3.16	0.88	0.05
Cracked egg, %	0.89	0.58	0.21	0.34

¹ FCR: Feed conversion ratio (feed intake, g/egg mass, g).

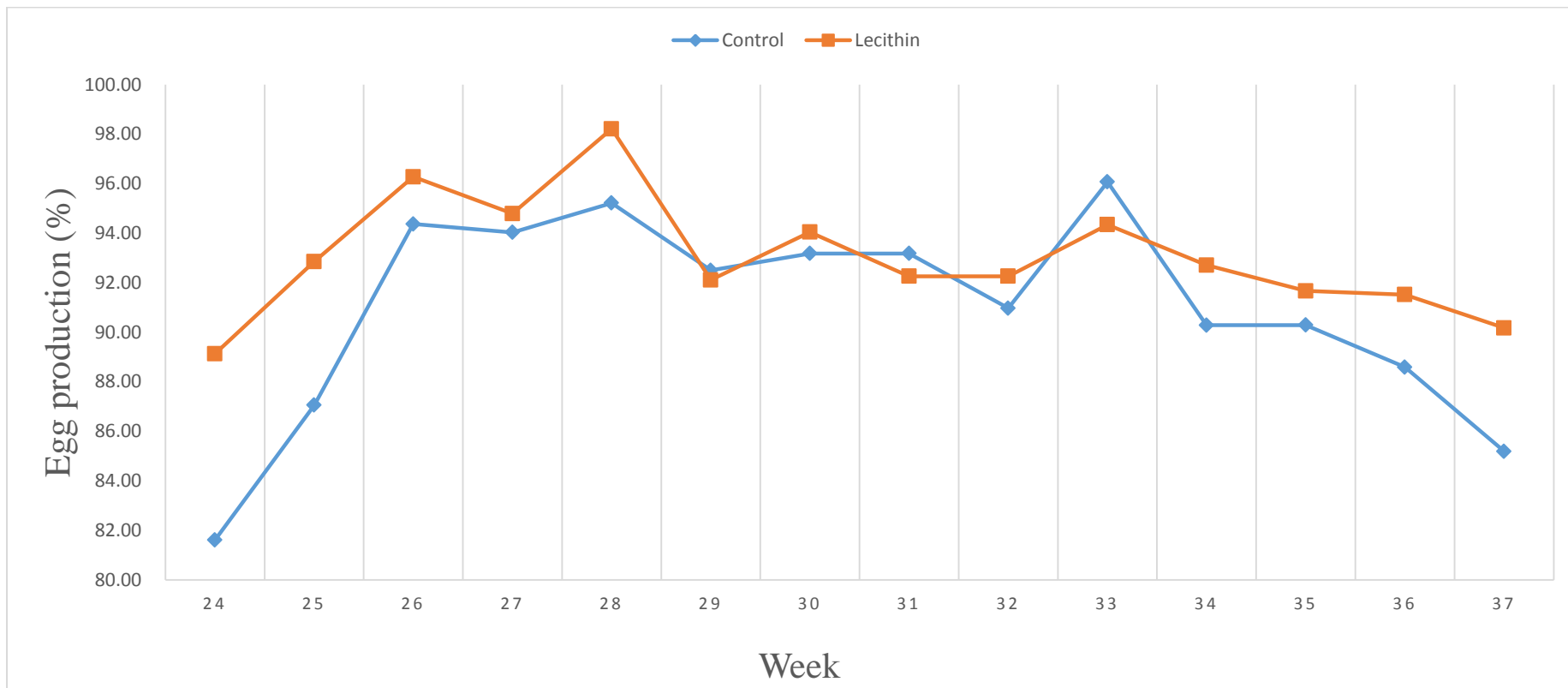


圖 3. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (試驗一) (Week 24-37)。

Figure 3. Effect of dietary supplementation of lecithin on egg production at different age of laying hens (trial 1) (Week 24-37).

Treatment effect: $P < 0.15$ (SEM=0.94); week effect: $P < 0.05$ (SEM=1.71); treatment \times week effect: $P < 0.83$ (SEM=2.42).

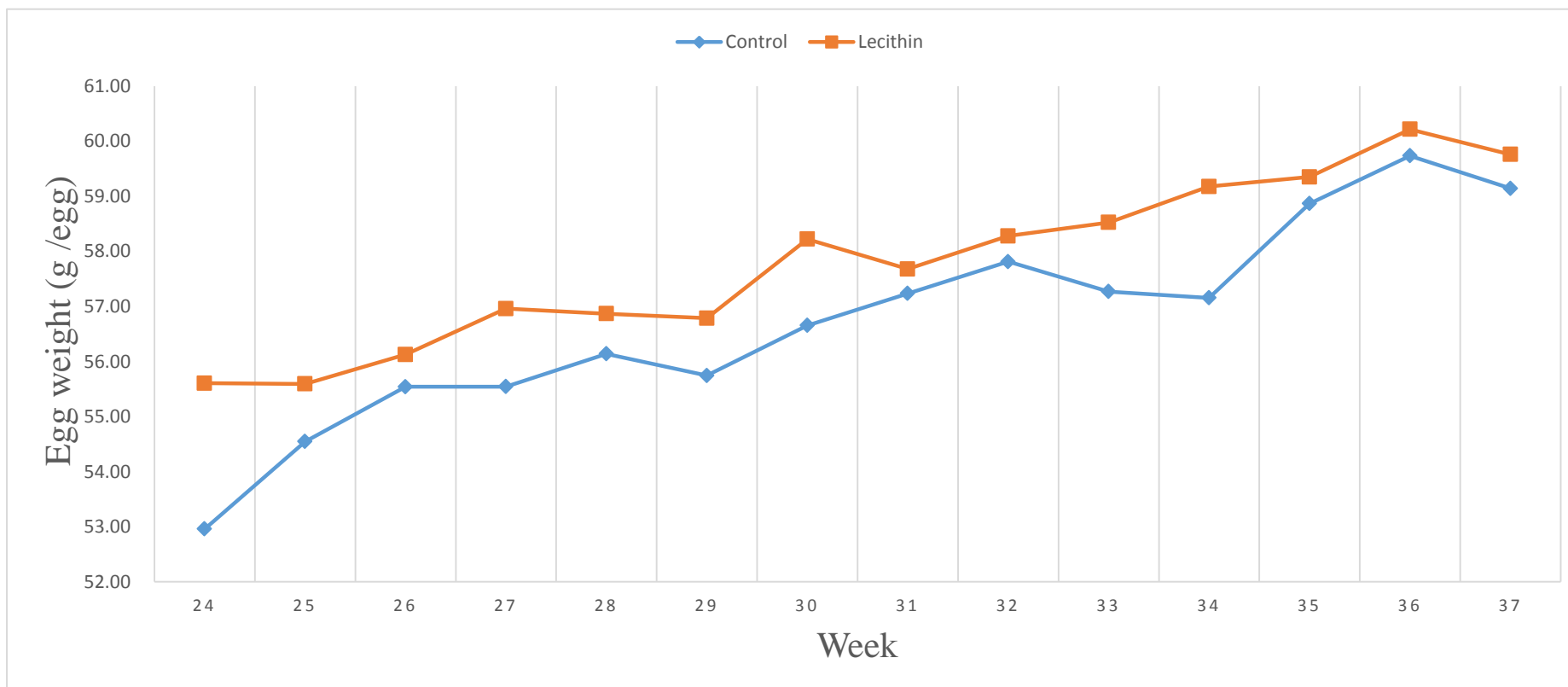


圖 4. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (試驗一) (Week 24-37)。

Figure 4. Effect of dietary supplementation of lecithin on egg weight at different age of laying hens (trial 1) (Week 24-37).

Treatment effect: $P < 0.24$ (SEM=0.53); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.45); treatment \times week effect: $P = 0.07$ (SEM=0.63).

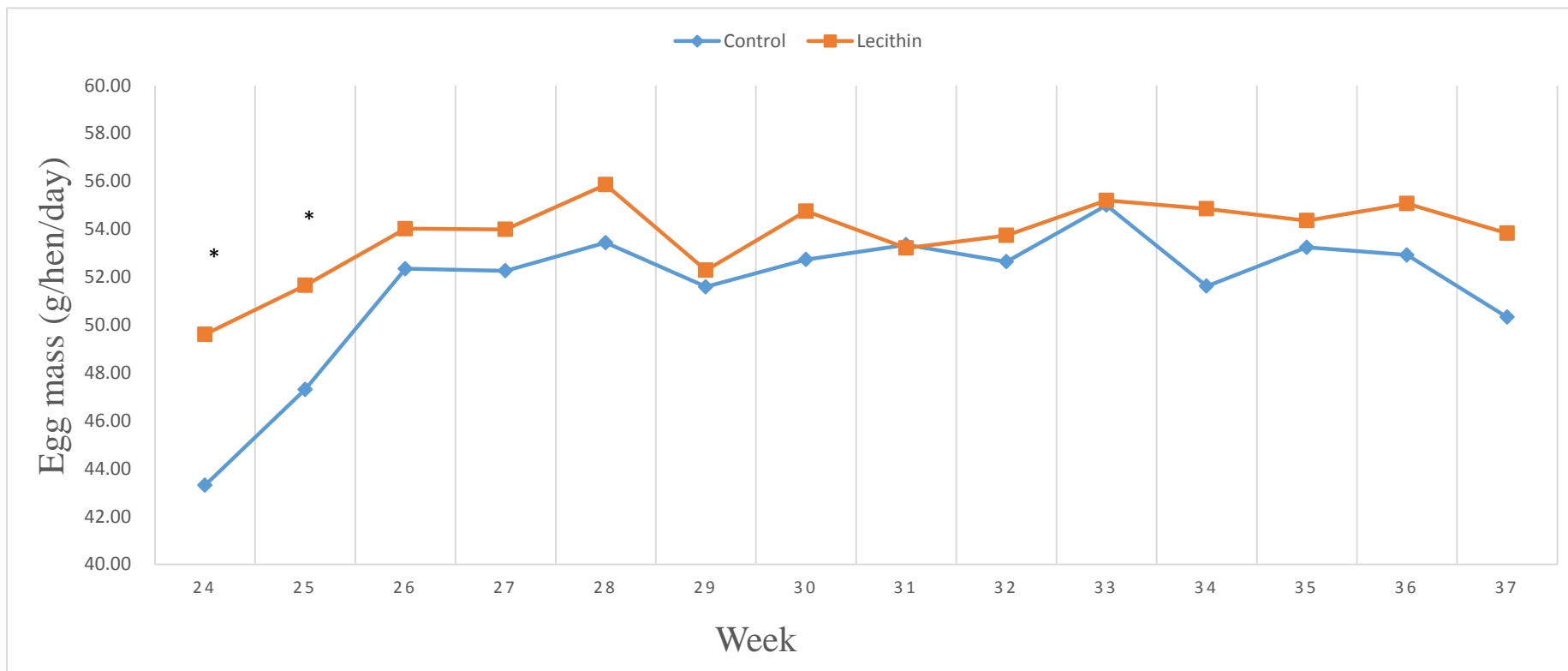


圖 5.飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋量之影響 (試驗一) (Week 24-37)。

Figure 5. Effect of dietary supplementation of lecithin on egg mass at different age of laying hens (trial 1) (Week 24-37).

Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.62); week effect: $P < 0.05$ (SEM=1.02); treatment \times week effect: $P < 0.64$ (SEM=1.22).

*Control vs. lecithin group: $P < 0.05$.

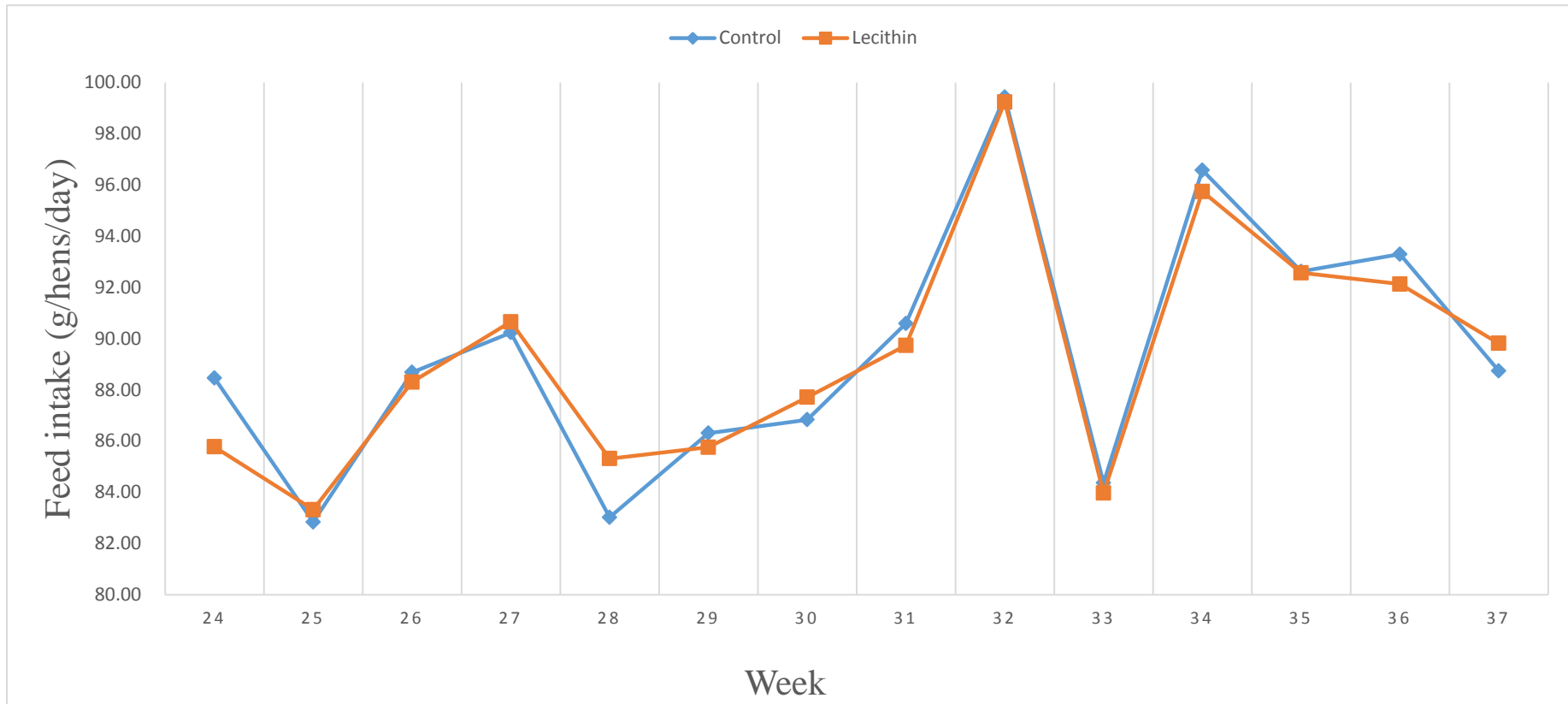


圖 6. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (試驗一) (Week 24-37)。

Figure 6. Effect of dietary supplementation of lecithin on feed intake at different age of laying hens (trial 1) (Week 24-37).

Treatment effect: $P < 0.86$ (SEM=0.94); week effect: $P < 0.05$ (SEM=1.22); treatment \times week effect: $P < 0.99$ (SEM=1.72).

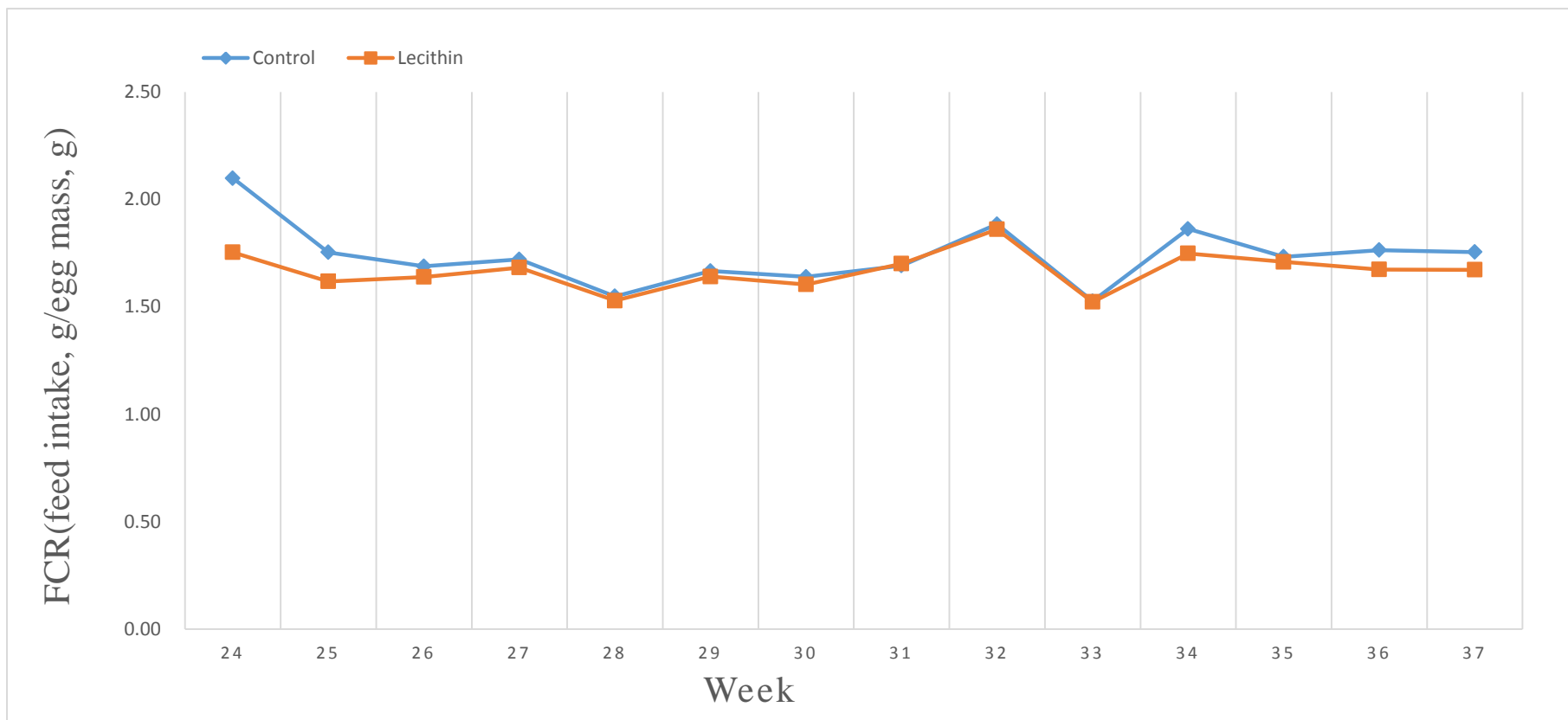


圖 7. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞飼料換蛋率之影響 (試驗一) (Week24-37)。

Figure 7. Effect of dietary supplementation of lecithin on feed conversion ratio at different age of laying hens (trial 1) (Week 24-37).

Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.02); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.04); treatment \times week effect: $P < 0.20$ (SEM=0.05).

表 8. 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞蛋品質之影響 (試驗一)

Table 8. Effect of dietary supplementation of lecithin on egg quality of laying hens (trial 1)

Lecithin added, %	0	2	SEM	P-value
Eggshell thickness, $\times 10^{-2}$ mm	32.69	32.48	0.01	0.69
Eggshell strength, kg/cm ²	2.11	2.21	0.09	0.47
Albumin height, mm	7.59	7.66	0.11	0.69
Yolk height, mm	17.46	17.48	0.10	0.85
Yolk color	4.27	4.61	0.06	<0.01
Haugh unit	87.31	87.77	0.64	0.61

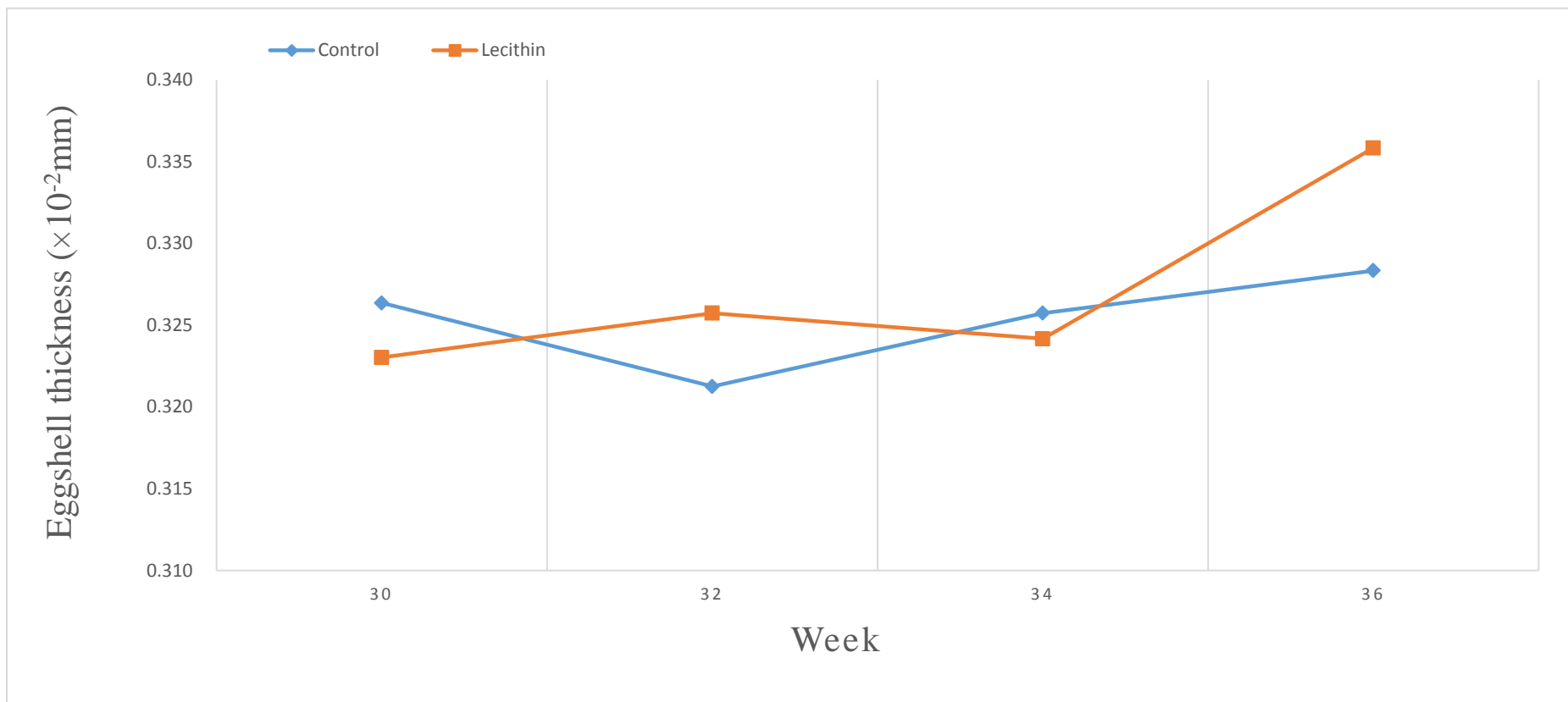


圖 8. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋殼厚度之影響 (試驗一) (Week 30-36)。

Figure 8. Effect of dietary supplementation of lecithin on eggshell thickness at different age of laying hens (trial 1) (Week 30-36).

Treatment effect: $P < 0.69$ (SEM=0.01); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.01); treatment \times week effect: $P < 0.29$ (SEM=0.01).

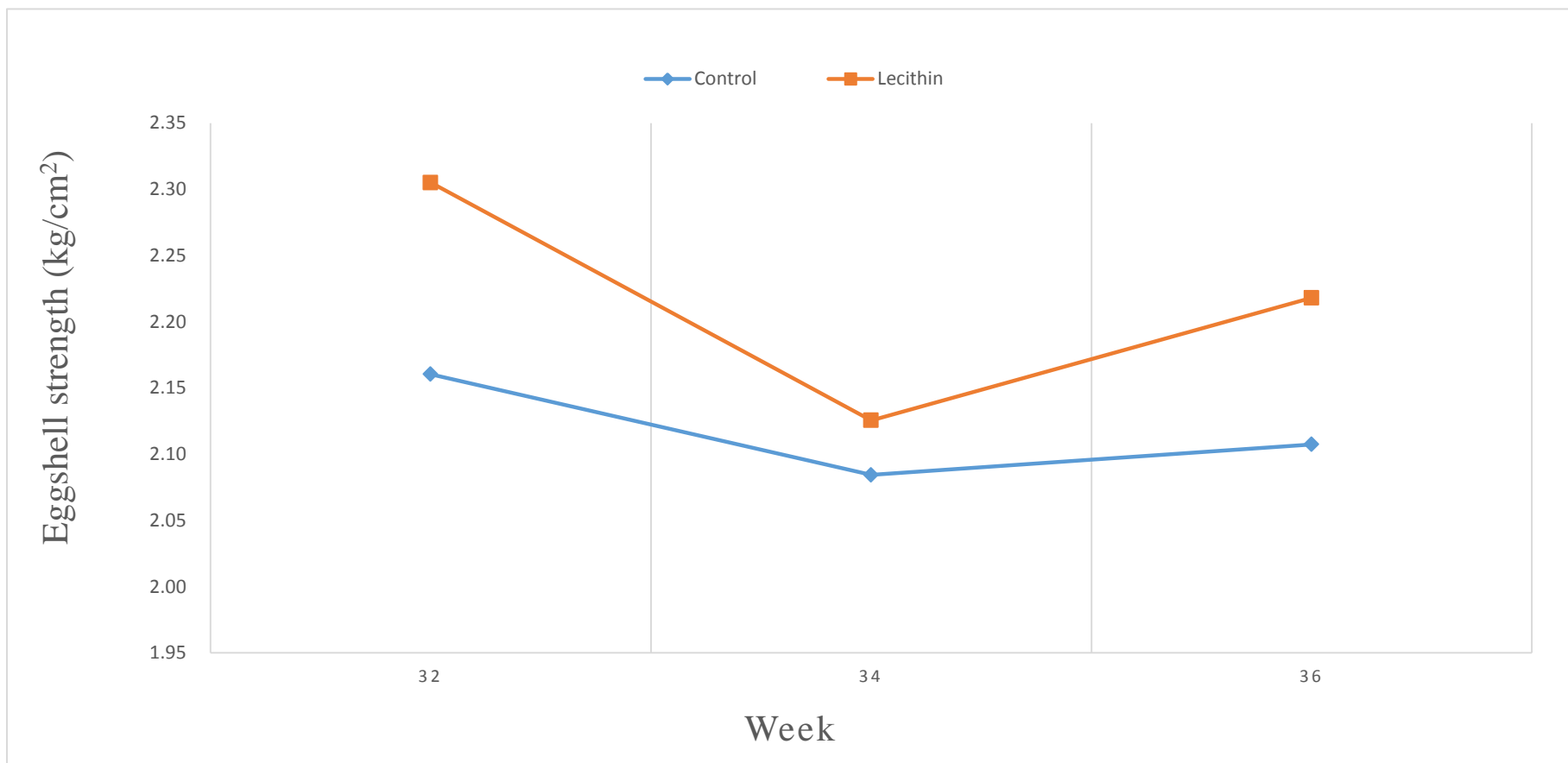


圖 9. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋殼強度之影響 (試驗一) (Week 32-36)。

Figure 9. Effect of dietary supplementation of lecithin on eggshell strength at different age of laying hens (trial 1) (Week 32-36).

Treatment effect: $P < 0.47$ (SEM=0.09); week effect: $P < 0.30$ (SEM=0.08); treatment \times week effect: $P < 0.80$ (SEM=0.12).

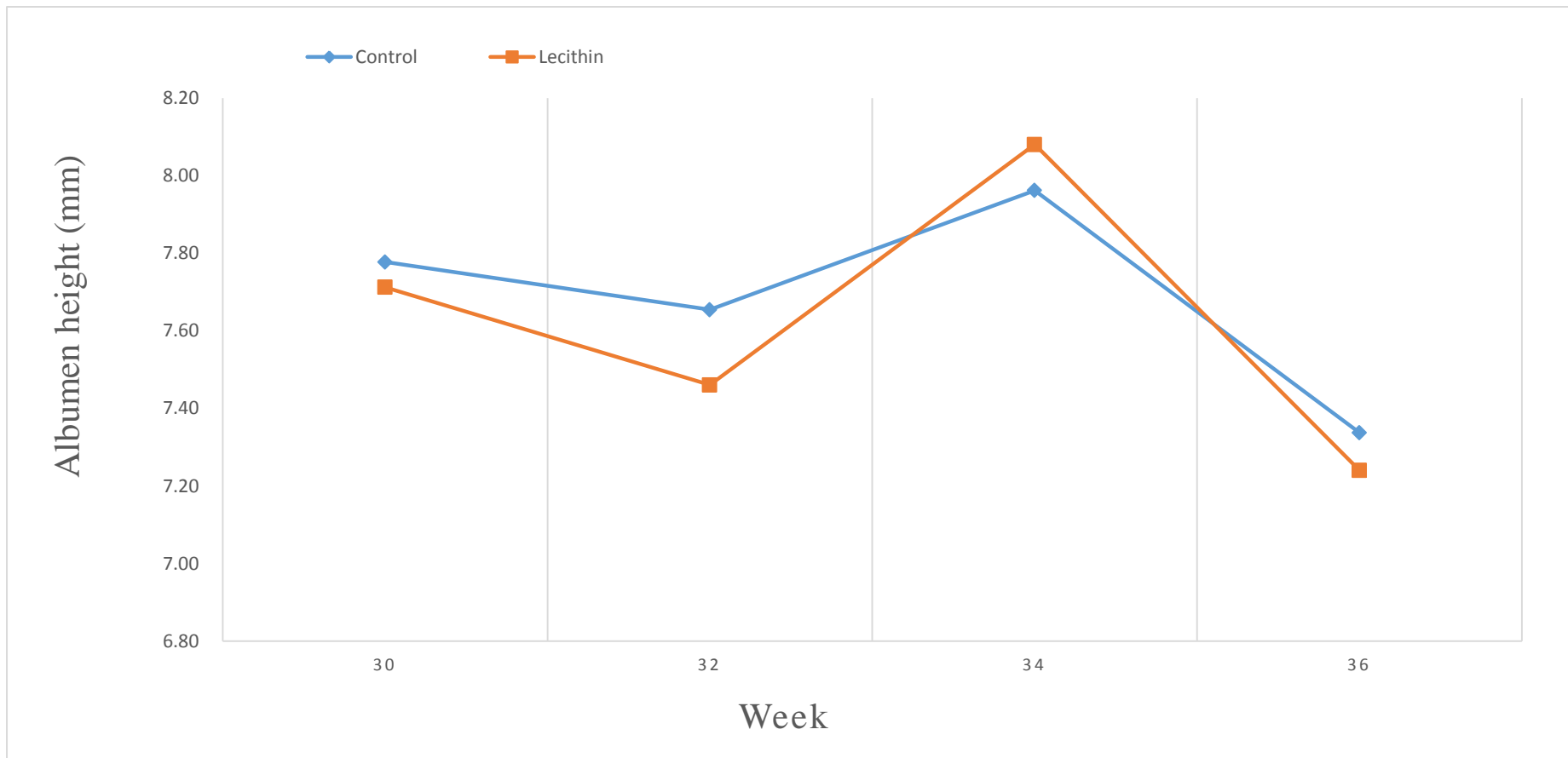


圖 10. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋白高度之影響 (試驗一) (Week 30-36)。

Figure 10. Effect of dietary supplementation of lecithin on albumen height at different age of laying hens (trial 1) (Week 30-36).

Treatment effect: $P < 0.69$ (SEM=0.11); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.13); treatment \times week effect: $P < 0.52$ (SEM=0.18).

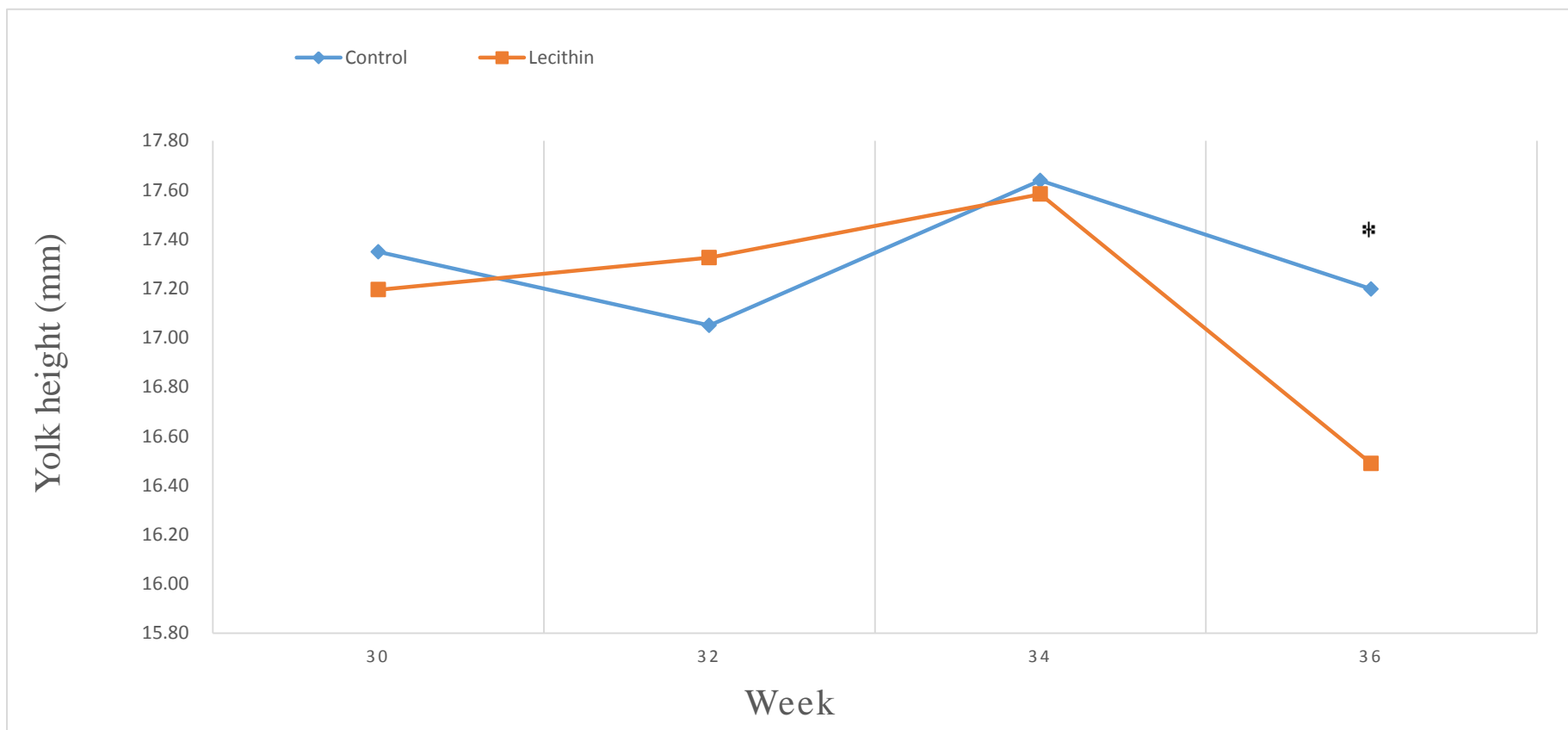


圖 11. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋黃高度之影響 (試驗一) (Week 30-36)。

Fig 11. Effect of dietary supplementation of lecithin on yolk height at different age of laying hens (trial 1) (Week 30-36).

Treatment effect: $P < 0.85$ (SEM=0.10); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.13); treatment \times week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.19).

*Control vs. lecithin group: $P < 0.05$.

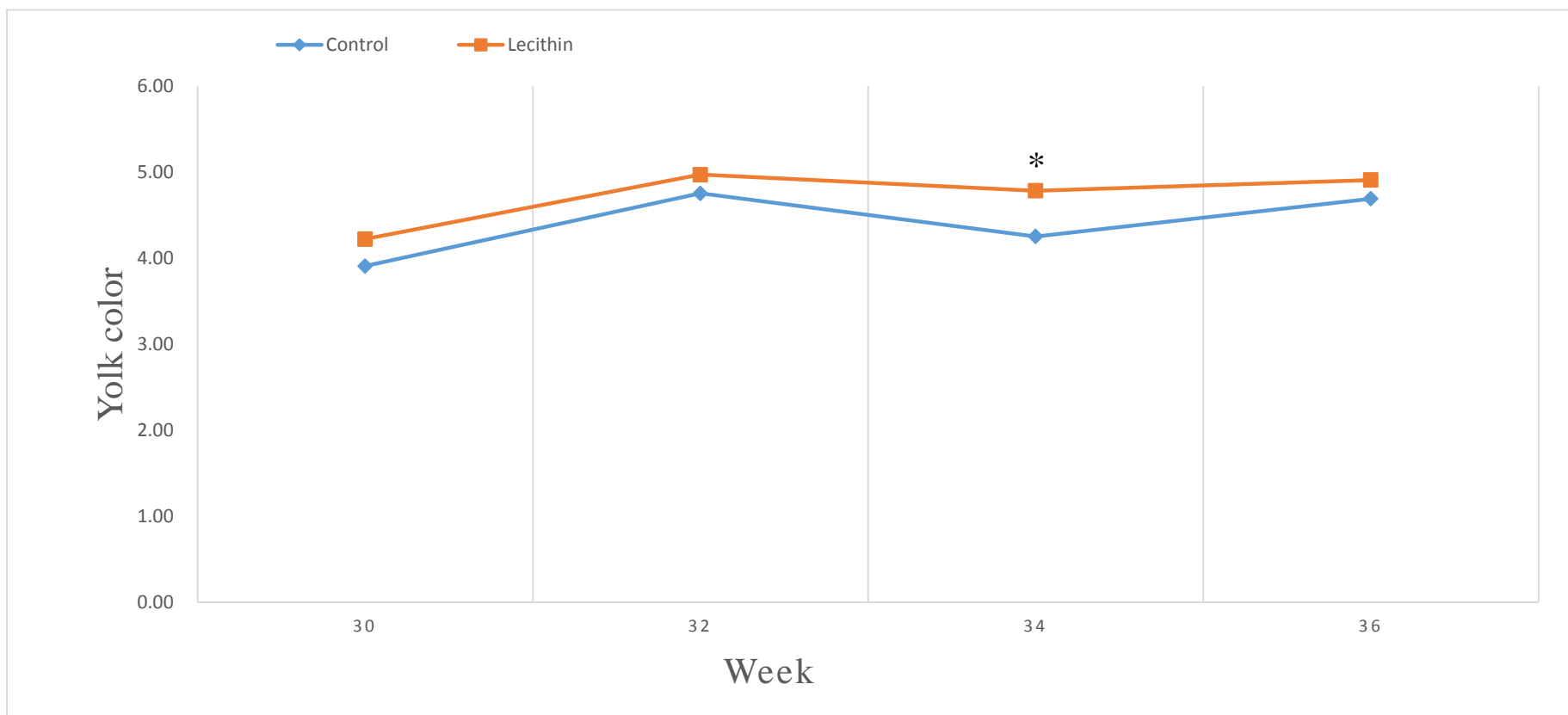


圖 12. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞蛋黃顏色之影響 (試驗一) (Week 30-36)。

Figure 12. Effect of dietary supplementation of lecithin on yolk color at different age of laying hens (trial 1) (Week 30-36).

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.06); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.09); treatment \times week effect: $P < 0.03$ (SEM=0.13).

*Control vs. lecithin group: $P < 0.05$.

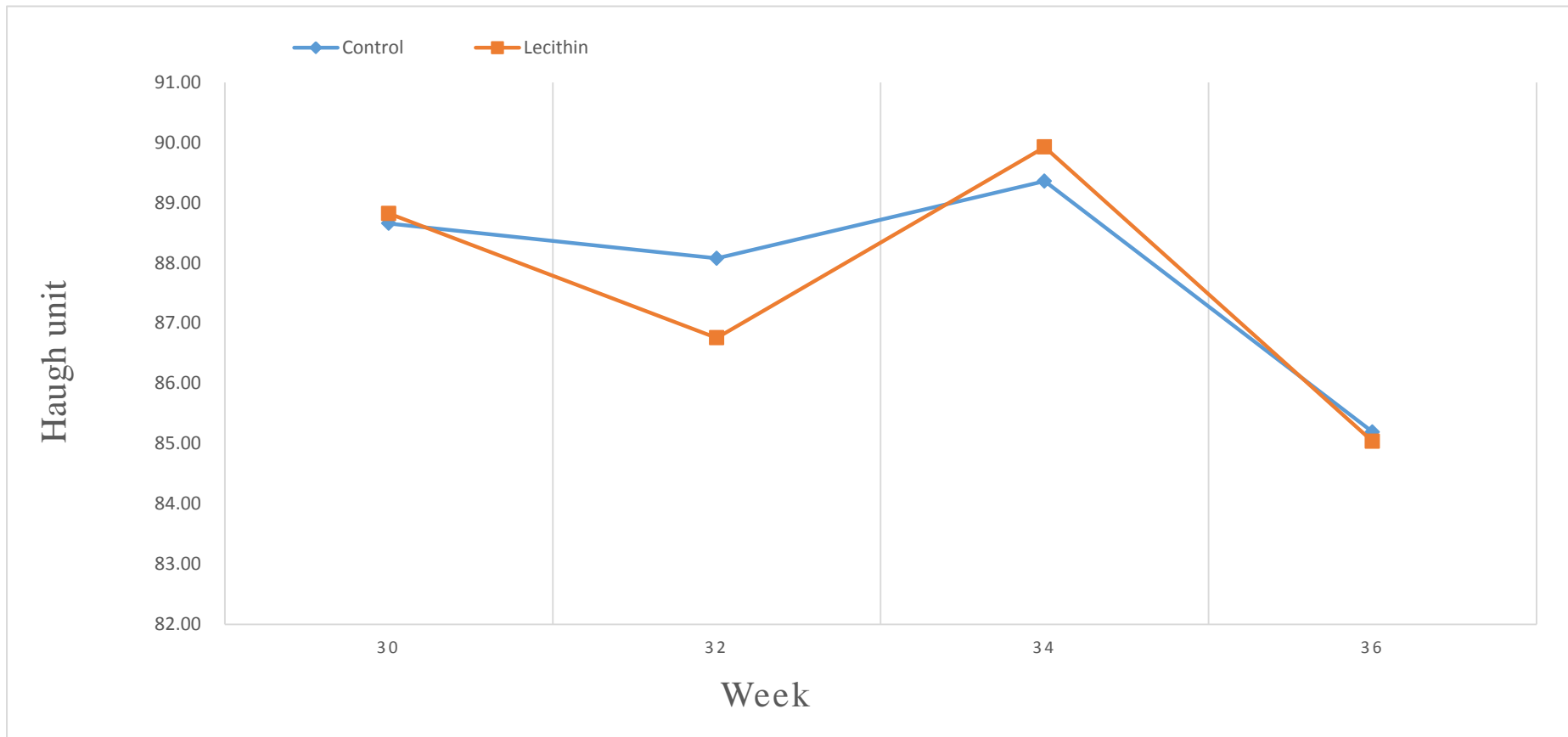


圖 13. 飼糧中添加卵磷脂對不同週齡產蛋雞豪氏單位之影響 (試驗一) (Week 30-36)。

Figure 13. Effect of dietary supplementation of lecithin on Haugh unit at different age of laying hens (trial 1) (Week 30-36).

Treatment effect: $P < 0.61$ (SEM=0.64); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.77); treatment \times week effect: $P < 0.67$ (SEM=1.10).

表 9. 飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率之影響 (試驗一)

Table 9. Effect of dietary supplementation of lecithin on protein retention and fatty acids digestibility of laying hens (trial 1)

Lecithin added, %	0	2	SEM	P-value
Protein retention, %	49.04	49.83	1.17	0.64
Fatty acids digestibility, %				
C16:0	91.49	91.92	0.37	0.44
C18:0	91.72	92.10	0.60	0.67
C18:1	93.04	92.78	0.35	0.62
C18:2	93.46	93.37	0.43	0.88
C18:3	95.40	95.03	0.27	0.36
SFA ¹	91.54	91.96	0.40	0.49
USFA ²	93.45	93.32	0.39	0.82
Total fatty acid	93.13	93.09	0.39	0.94

¹SFA: saturated fatty acids (C14: 0+C16: 0+C18: 0).

²USFA: unsaturated fatty acids (C16: 1+C18: 1+C18: 2+C18: 3+C20: 4).

(四) 蛋內容物粗蛋白質及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量

飼糧中添加卵磷脂對蛋內容物粗蛋白質及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響如表 10 所示。飼糧中添加卵磷脂降低蛋內容物粗蛋白質含量 ($P<0.01$)。飼糧中添加卵磷脂對蛋黃中 C14:0, C16:0, C18:0, C20:4, 飽和脂肪酸, 不飽和脂肪酸及總脂肪酸含量無顯著影響, 但降低蛋黃中 C16:1 及 C18:1 ($P<0.05$), 提高 C18:2 及 C18:3 含量 ($P<0.01$)。飼糧中添加卵磷脂對蛋黃中膽固醇含量無顯著影響。

表 10. 飼糧中添加卵磷脂對蛋內容物粗蛋白質含量、蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響 (試驗一)

Table 10. Effect of dietary supplementation of lecithin on egg protein content, yolk cholesterol content and yolk fatty acids content (%) (trial 1)

Lecithin added, %	0	2	SEM	P-value
Egg protein, %	12.89	12.62	0.61	<0.01
Yolk cholesterol, mg/g	16.73	16.46	0.46	0.69
Yolk fatty acid, %				
C14:0	0.09	0.09	0.01	0.44
C16:0	7.21	7.23	0.13	0.93
C16:1	0.77	0.64	0.03	0.02
C18:0	2.47	2.53	0.05	0.48
C18:1	9.96	9.30	0.17	0.03
C18:2	5.08	6.08	0.10	<0.01
C18:3	0.25	0.34	0.01	<0.01
C20:4	0.58	0.57	0.01	0.57
SFA ¹	9.77	9.84	0.16	0.78
USFA ²	16.64	16.93	0.25	0.45
Total fatty acid	26.42	26.99	0.39	0.34

¹SFA: saturated fatty acids (C14: 0+C16: 0+C18: 0).

²USFA: unsaturated fatty acids (C16: 1+C18: 1+C18: 2+C18: 3+C20: 4).

二、 試驗二

(一) 產蛋性能

飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞產蛋性能之影響如表 11 及圖 14-18 所示。飼糧中添加不同含量油效能對產蛋率、蛋重、蛋量、破蛋率、飼料採食量及飼料換蛋率無顯著影響，但添加 0.2% 油效能顯著降低髒蛋率 ($P < 0.05$)。而週齡對產蛋性能皆具顯著影響 ($P < 0.05$)。產蛋率至 26 週齡時達高峰，持續至 33 週齡，其後逐漸降低。蛋重隨週齡增加而持續增加。

(二) 蛋品質

飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋品質之影響如表 12 及 19-24 所示。飼糧中添加不同含量油效能對蛋殼厚度、蛋殼強度、蛋白高度、蛋黃高度、蛋黃顏色及豪氏單位無顯著影響。

週齡對蛋殼強度之外，其餘蛋品質皆具顯著影響 ($P < 0.01$)。

(三) 蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率

飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率之影響如表 13 所示。飼糧中添加不同含量油效能對蛋白質蓄積率無顯著影響。飼糧中添加不同含量油效能對 C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, 不飽和脂肪酸及總脂肪酸全腸道消化率無顯著影響。飼糧中添加 0.2% 油效能降低 C18:3 及飽和脂肪酸全腸道消化率 ($P < 0.05$)。

(四) 蛋內容物粗蛋白質及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量

飼糧中添加不同含量油效能對蛋內容物蛋白質含量及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響如表 14 所示。飼糧中添加不同含量油效能對蛋內容物粗蛋白質及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量無顯著影響。

表 11. 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞生產性能之影響 (試驗二)

Table 11. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on laying performance of laying hens (trial 2)

Emupack added, %	0	0.05	0.1	0.2	SEM	P-value
Body weight, kg						
Initial	1.31	1.30	1.32	1.27	0.02	0.43
Final	1.49	1.48	1.47	1.41	0.02	0.13
Laying performance						
Egg production, %	90.61	92.62	92.32	91.11	1.13	0.55
Egg weight, g	57.53	57.82	57.77	57.09	0.55	0.77
Egg mass, g	52.13	53.59	53.31	52.02	0.96	0.56
Feed intake, g	90.49	89.00	91.80	89.39	1.02	0.22
FCR ¹	1.75	1.66	1.73	1.72	0.02	0.23
Dirty egg, %	6.08 ^a	3.92 ^{ab}	4.00 ^{ab}	2.11 ^b	0.78	0.01
Cracked egg, %	0.89	1.03	1.18	0.76	0.26	0.70

¹ FCR: Feed conversion ratio (feed intake, g/egg mass, g).

^{ab} Data in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

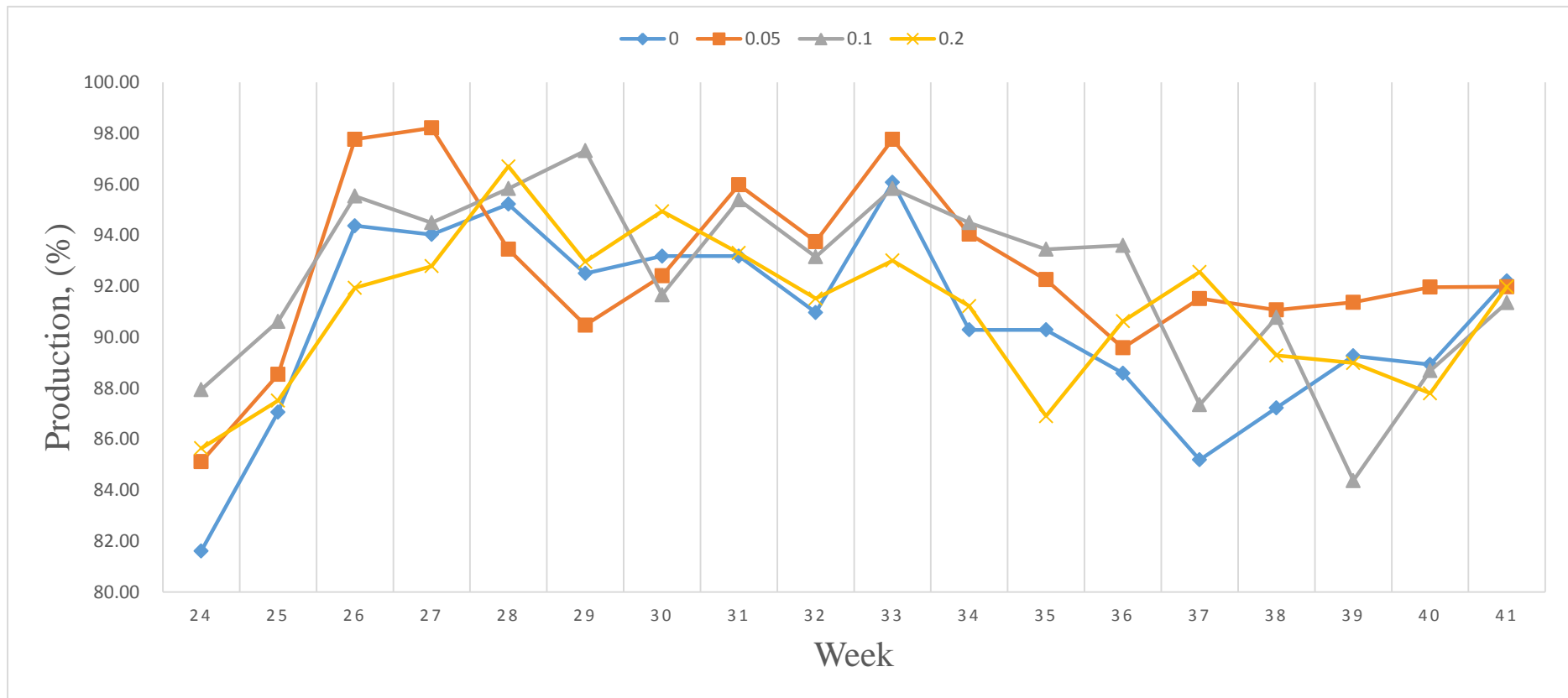


圖 14. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (試驗二) (Week 24-41)。

Figure 14. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on egg production at different age of laying hens (trial 2) (Week 24-41).

Treatment effect: $P < 0.55$ (SEM=1.13); week effect: $P < 0.05$ (SEM=1.27); treatment \times week effect: $P < 0.91$ (SEM=2.54).

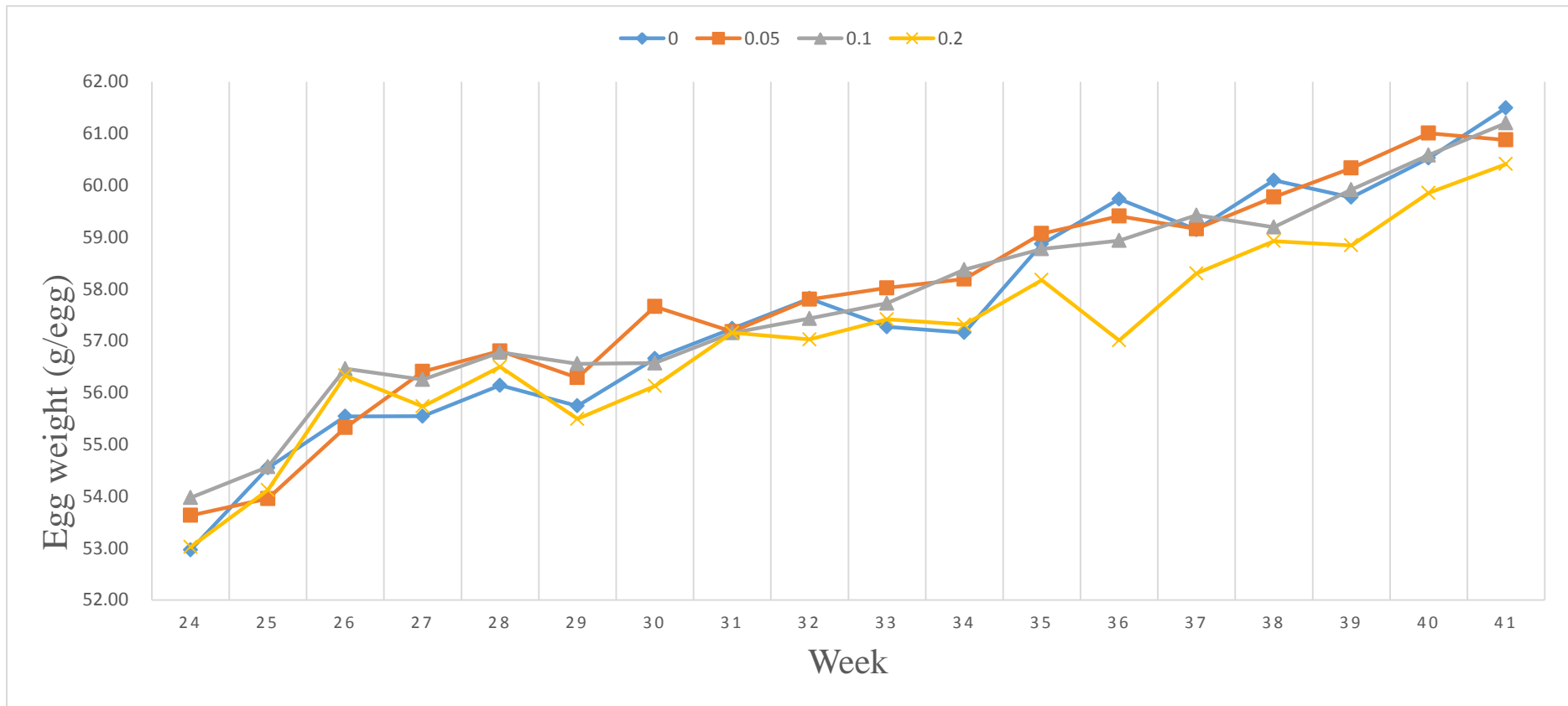


圖 15. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (試驗二) (Week 24-41)。

Figure 15. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on egg weight at different age of laying hens (trial 2) (Week 24-41).

Treatment effect: $P < 0.77$ (SEM=0.55); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.33); treatment \times week effect: $P < 0.19$ (SEM=0.67).

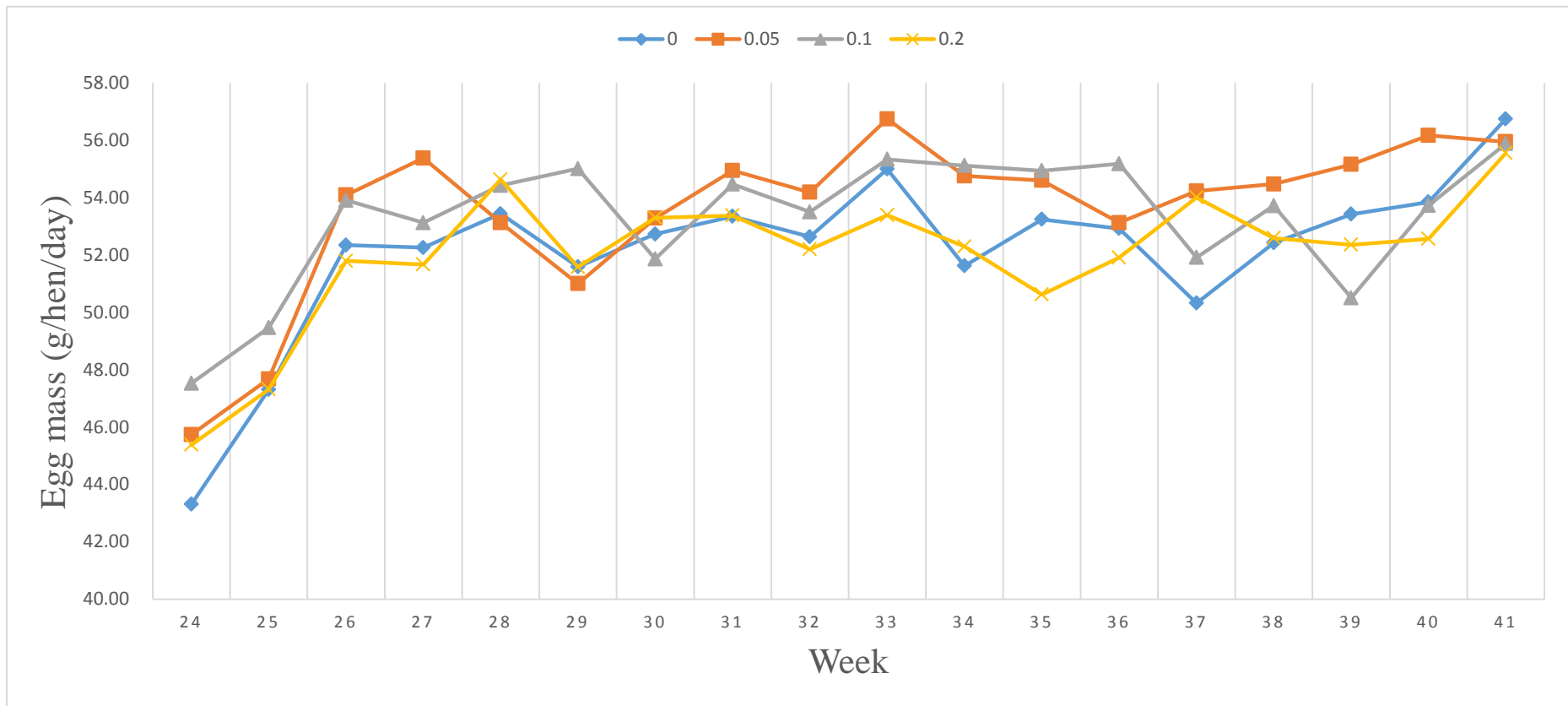


圖 16. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋量之影響 (試驗二) (Week 24-41)。

Figure 16. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on egg mass at different age of laying hens (trial 2) (Week 24-41).

Treatment effect: $P < 0.56$ (SEM=0.96); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.83); treatment \times week effect: $P < 0.91$ (SEM=1.66).

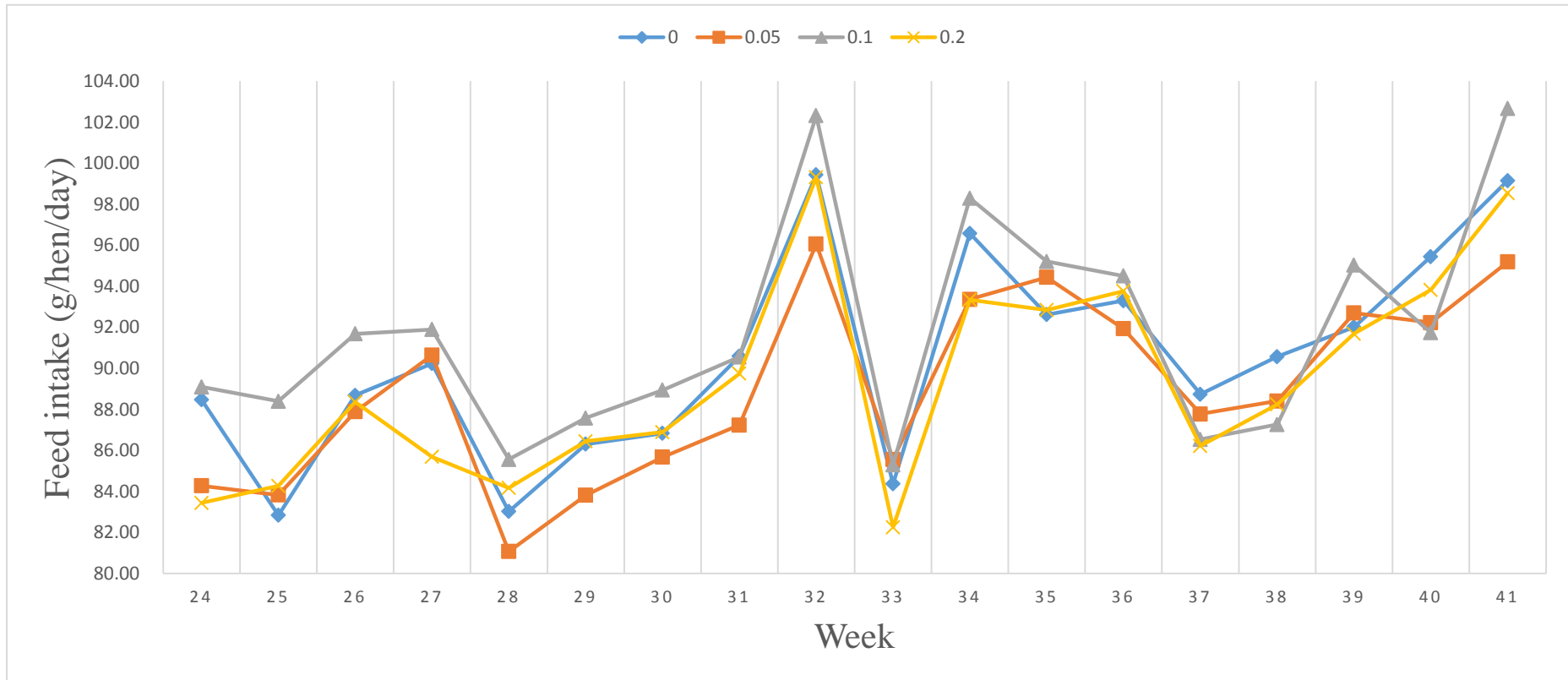


圖 17. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (試驗二) (Week 24-41)。

Figure 17. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on feed intake at different age of laying hens (trial 2) (Week 24-41).

Treatment effect: $P < 0.22$ (SEM=1.02); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.96); treatment \times week effect: $P < 0.72$ (SEM=1.92).

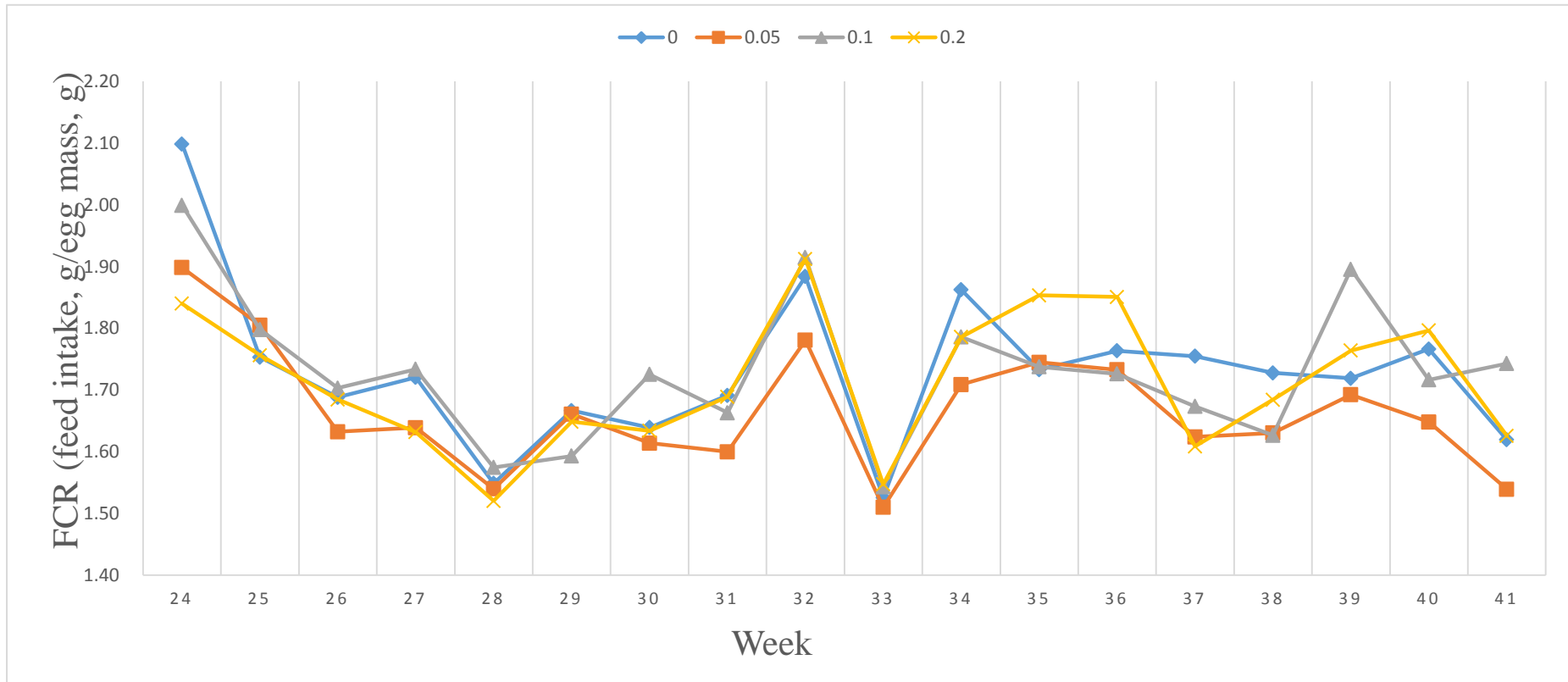


圖 18. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞飼料換蛋率之影響 (試驗二) (Week 24-41)。

Figure 18. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on feed conversion ratio at different age of laying hens (trial 2) (Week 24-41).

Treatment effect: $P < 0.23$ (SEM=1.13); week effect: $P < 0.05$ (SEM=1.27); treatment \times week effect: $P < 0.99$ (SEM=2.54).

表 12. 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋品質之影響 (試驗二)

Table 12. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on egg quality of laying hens (trial 2)

Emupack added, %	0	0.05	0.1	0.2	SEM	P-value
Eggshell thickness, $\times 10^{-2}$ mm	32.69	32.64	32.60	32.61	0.01	0.99
Eggshell strength, kg/cm ²	2.11	2.20	2.09	2.09	0.08	0.80
Albumin height, mm	7.59	7.86	7.70	7.36	0.18	0.30
Yolk height, mm	17.46	17.53	17.51	17.32	0.13	0.73
Yolk color	4.27	4.21	4.23	4.26	0.07	0.95
Haugh unit	87.31	88.61	87.86	86.00	1.03	0.35

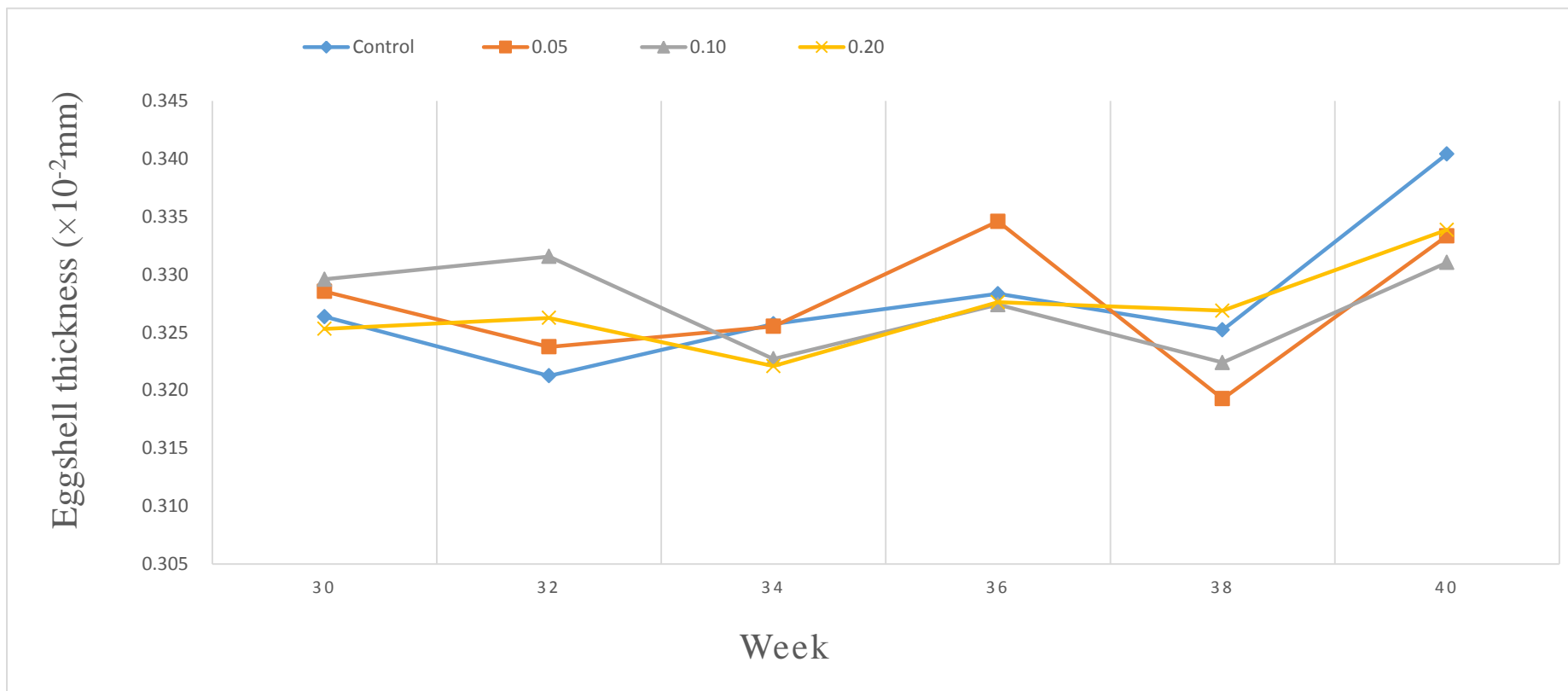


圖 19. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋殼厚度之影響 (試驗二) (Week 30-40)。

Figure 19. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on eggshell thickness at different age of laying hens (trial 2) (Week 30-40).

Treatment effect: $P < 0.99$ (SEM=0.01); week effect: $P < 0.05$ (SEM=0.01); treatment \times week effect: $P < 0.12$ (SEM=0.01).

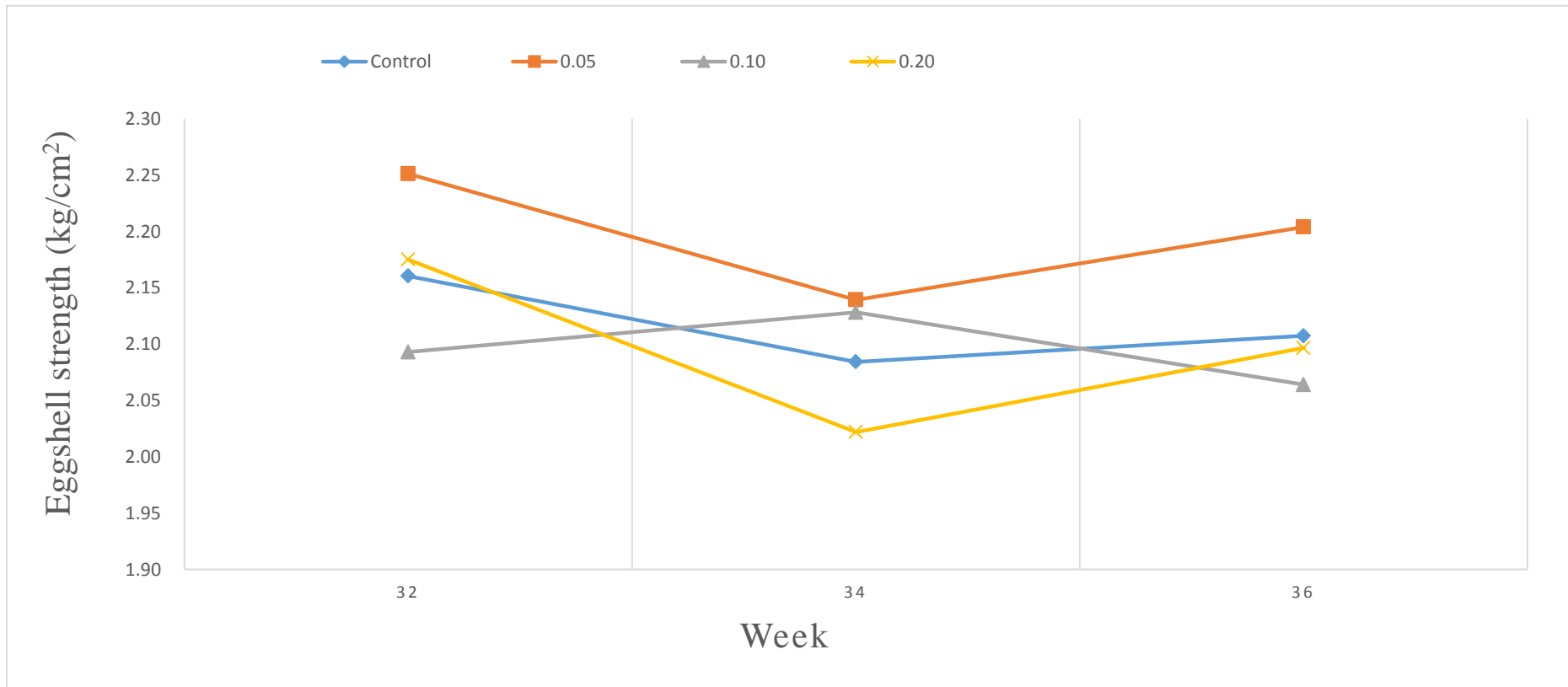


圖 20. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋殼強度之影響 (試驗二) (Week 32-40)。

Figure 20. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on eggshell strength at different age of laying hens (trial 2) (Week 32-40).

Treatment effect: $P < 0.80$ (SEM=0.08); week effect: $P < 0.52$ (SEM=0.05); treatment \times week effect: $P < 0.96$ (SEM=0.11).

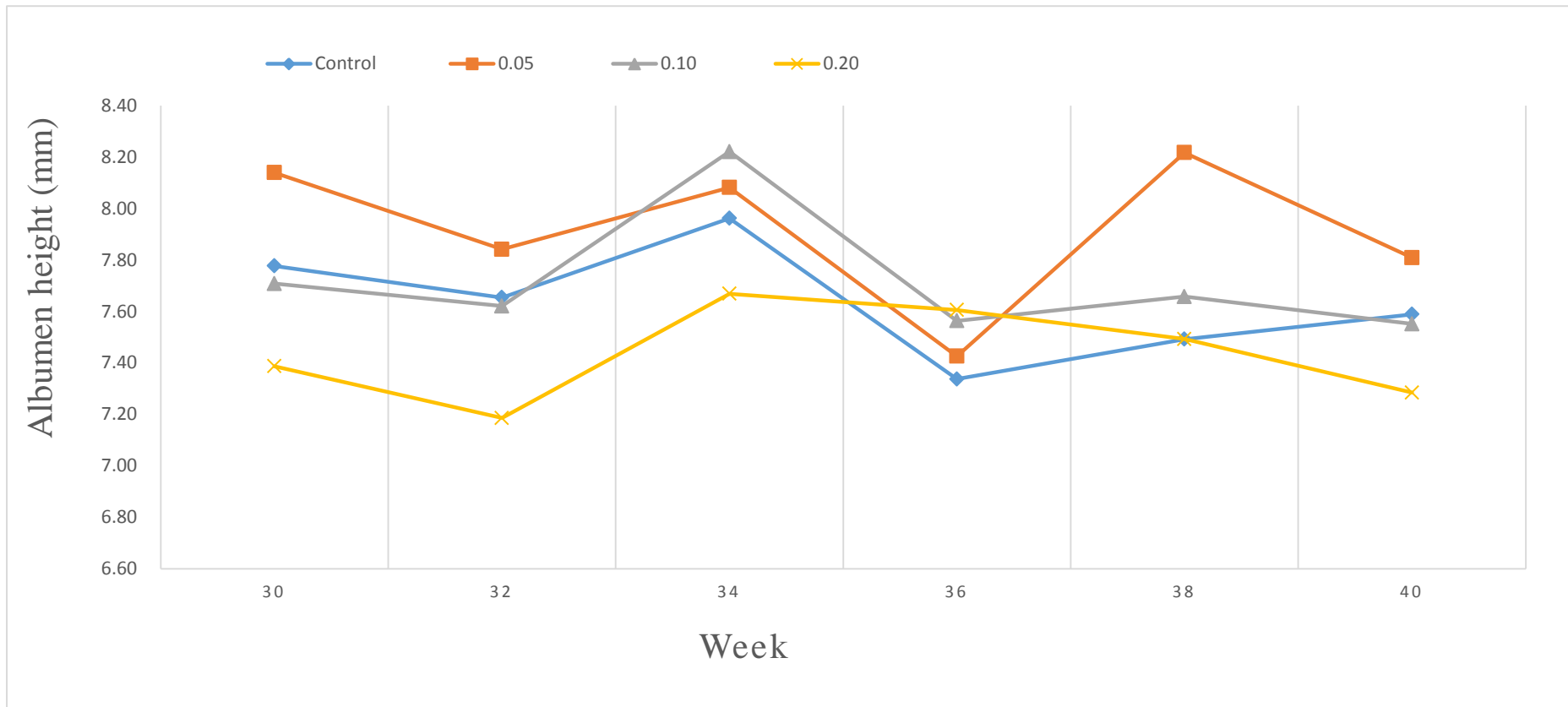


圖 21. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋白高度之影響 (試驗二) (Week 30-40)。

Figure 21. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on albumen height at different age of laying hens (trial 2) (Week 30-40).

Treatment effect: $P < 0.30$ (SEM=0.18); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.12); treatment \times week effect: $P < 0.30$ (SEM=0.24).

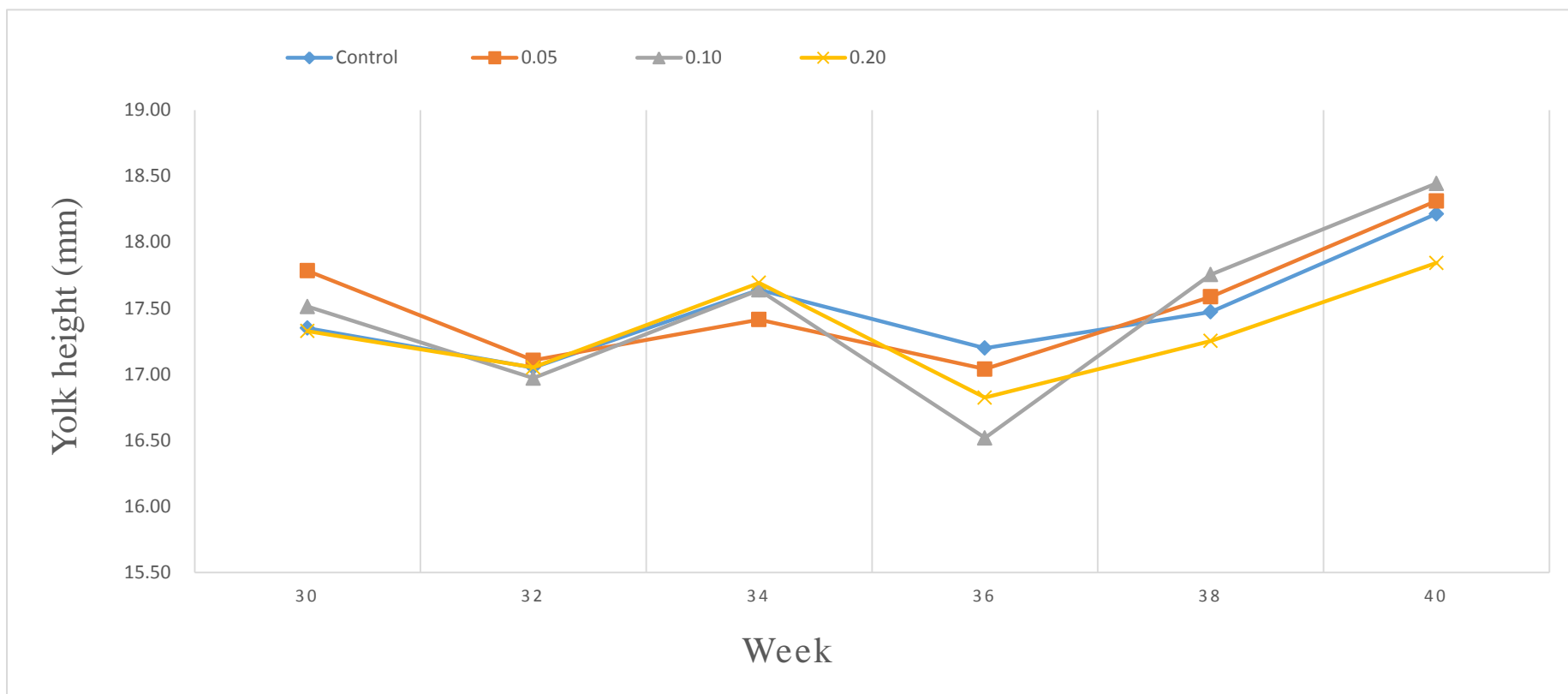


圖 22. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋黃高度之影響 (試驗二) (Week 30-40)。

Figure 22. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on yolk height at different age of laying hens (trial 2) (Week 30-40).

Treatment effect: $P < 0.73$ (SEM=0.13); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.11); treatment \times week effect: $P < 0.54$ (SEM=0.22).

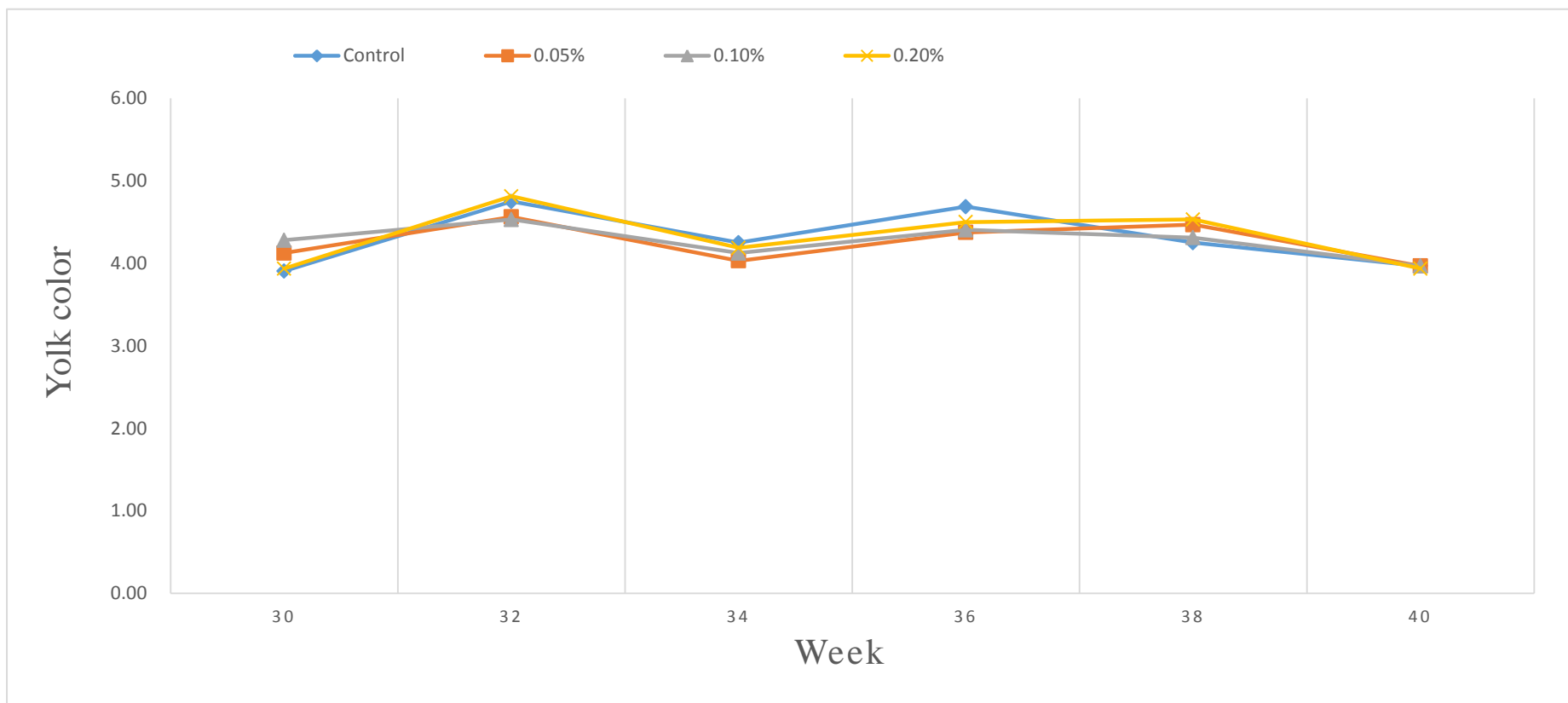


圖 23. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞蛋黃顏色之影響 (試驗二) (Week 30-40)。

Figure 23. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on yolk color at different age of laying hens (trial 2) (Week 30-40).

Treatment effect: $P < 0.95$ (SEM=0.07); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.06); treatment \times week effect: $P < 0.21$ (SEM=0.12).

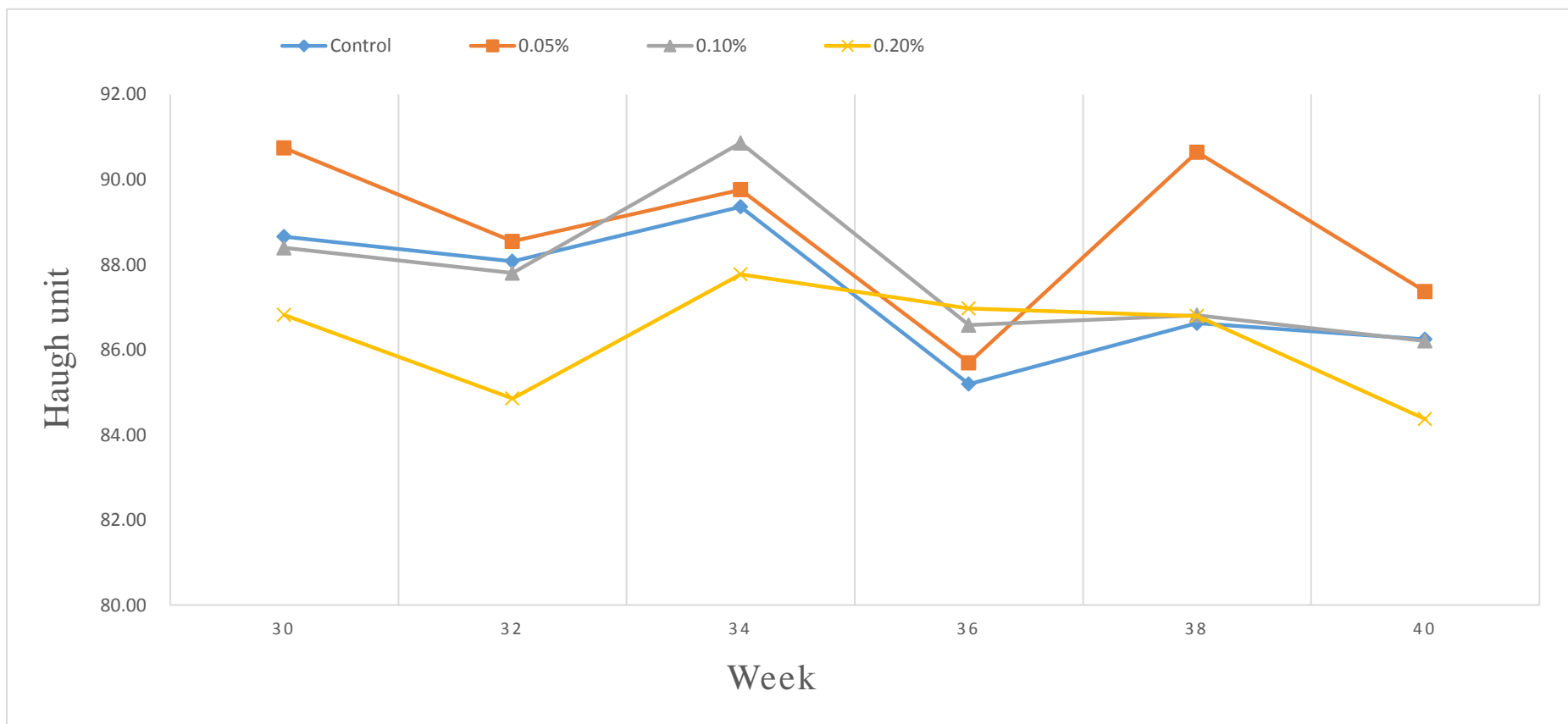


圖 24. 飼糧中添加不同含量油效能對不同週齡產蛋雞豪氏單位之影響 (試驗二) (Week 30-40)。

Figure 24. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on Haugh unit at different age of laying hens (trial 2) (Week 30-40).

Treatment effect: $P < 0.35$ (SEM=1.03); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.70); treatment \times week effect: $P < 0.28$ (SEM=1.40).

表 13. 飼糧中添加不同含量油效能對產蛋雞蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率之影響 (試驗二)

Table 13. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on protein retention and fatty acids digestibility of laying hens (trial 2)

Emupack added, %	0	0.05	0.1	0.2	SEM	P-value
Protein retention, %	49.04	50.82	51.25	52.76	1.63	0.46
Fatty acids digestibility, %						
C16:0	91.49	91.36	92.24	91.03	0.43	0.26
C18:0	91.72	92.58	93.24	91.21	0.59	0.10
C18:1	93.04	92.70	93.57	92.57	0.37	0.26
C18:2	93.46	92.75	93.63	92.32	0.43	0.13
C18:3	95.40 ^b	94.85 ^b	95.16 ^b	93.85 ^a	0.30	0.01
SFA ¹	91.54 ^b	91.61 ^b	92.61 ^b	90.90 ^a	0.42	0.05
USFA ²	93.45	92.87	93.70	92.49	0.40	0.15
Total fatty acid	93.13	92.66	93.52	92.23	0.39	0.13

¹SFA: saturated fatty acids (C14: 0+C16: 0+C18: 0).

²USFA: unsaturated fatty acids (C16: 1+C18: 1+C18: 2+C18: 3+C20: 4).

^{ab} Data in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

表 14. 飼糧中添加不同含量油效能對蛋內容物蛋白質含量及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響 (試驗二)

Table 14. Effect of dietary supplementation of different levels of Emupack on the egg protein content, yolk cholesterol content and yolk fatty acid content (%) (trial 2)

Emupack added, %	0	0.05	0.1	0.2	SEM	P-value
Egg protein, %	12.89	12.79	12.68	12.75	0.06	0.13
Yolk cholesterol, mg/g	16.73	16.23	16.01	16.40	0.49	0.76
Yolk fatty acid, %						
C14:0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.01	0.48
C16:0	7.21	7.46	7.24	7.30	0.12	0.48
C16:1	0.77	0.82	0.77	0.81	0.03	0.60
C18:0	2.47	2.45	2.47	2.44	0.05	0.97
C18:1	9.96	10.20	10.00	9.93	0.16	0.63
C18:2	5.08	5.09	5.06	5.19	0.15	0.92
C18:3	0.25	0.25	0.25	0.26	0.01	0.95
C20:4	0.58	0.60	0.58	0.59	0.01	0.78
SFA ¹	9.77	10.01	9.79	9.82	0.16	0.74
USFA ²	16.64	16.95	16.66	16.79	0.24	0.80
Total fatty acids	26.42	26.96	26.45	26.64	0.38	0.74

¹SFA: saturated fatty acids (C14: 0+C16: 0+C18: 0).

²USFA: unsaturated fatty acids (C16: 1+C18: 1+C18: 2+C18: 3+C20: 4).

三、討論

(一) 試驗一

本試驗於飼糧中添加卵磷脂主要提高產蛋雞蛋量 (egg mass) ($P=0.05$)。蛋量的提高主要因為產蛋率及蛋重在數字上有所提高所致。飼糧中添加卵磷脂也降低髒蛋率 ($P=0.05$)，並改善飼料換蛋率 ($P=0.05$)。飼糧中添加卵磷脂對產蛋雞體重、飼料採食量及破蛋率並無影響。

本試驗所使用的卵磷脂含 21% 大豆油，使得添加卵磷脂飼糧比對照組飼糧含較高的脂肪及代謝能，可能因而提高產蛋率、蛋重及蛋量，並改善飼料換蛋率。Sven *et al.* (2000) 指出，提高飼糧中大豆油顯著增加蛋量及蛋重。Attia *et al.* (2009) 於含植物油飼糧中添加卵磷脂，提高飼糧中脂肪含量及代謝能，而增加產蛋雞體增重、蛋重、產蛋率、蛋量及改善飼料換蛋率。不過 Mandalawi *et al.* (2015) 發現，以 4% 卵磷脂取代飼糧中動物油，可在降低飼糧脂肪含量及代謝能情況下，顯著增加蛋重、蛋量且改善飼料換蛋率。顯示卵磷脂可能透過其它原因提高產蛋雞之產蛋性能。卵磷脂可能提高脂肪及其它營養分之消化率，卵磷脂之抗氧化作用 (Lochmann and Brown, 1997) 及卵磷脂中的膽鹼 (choline) 及甲基 (methyl group) 具生理功能，可能對產蛋性能有所幫助。

本試驗於飼糧中添加卵磷脂顯著增加蛋黃顏色 ($P<0.01$)，但不影響蛋殼厚度、蛋殼強度、蛋白高度、蛋黃高度及豪氏單位。

Karunajeewa *et al.* (1984) 表示，蛋黃中之類胡蘿蔔素主要影響蛋黃顏色，蛋黃顏色受到遺傳以及產蛋率之影響較低。本試驗中卵磷脂

提高蛋黃顏色之原因可能在於卵磷脂中含葉黃素所致。

Mandalawi *et al.* (2015) 提出，以 4% 卵磷脂取代動物油顯著增加蛋黃顏色，Attia *et al.* (2009) 指出，於蛋雞 47 到 70 週齡時，額外添加 6% 卵磷脂顯著增加蛋黃顏色，Sven *et al.* (2000) 發現，蛋黃顏色因年齡增加及隨著大豆油添加量增加而上升。Mandalawi *et al.* (2015) 指出，相較於飽和脂肪酸，卵磷脂的不飽和脂肪酸可能增加葉黃素吸收及利用率。本試驗中，添加卵磷脂飼糧中含較高的脂肪及較高的不飽和脂肪酸，可能會增加葉黃素的吸收，而提高蛋黃顏色。

Attia *et al.* (2009) 表示，於飼糧中添加 3% 卵磷脂不影響蛋殼佔全蛋之比例及蛋殼強度，然而添加 6% 卵磷脂則會降低蛋殼佔全蛋之比例及蛋殼強度。另外 Attia *et al.* (2009) 也提到，在同一能量飼糧情形下，添加卵磷脂不影響豪氏單位，然而額外添加卵磷脂作為能量來源時，添加 3% 卵磷脂對豪氏單位無影響，但是添加 6% 卵磷脂時豪氏單位增加，目前認為可能之原因為卵磷脂增加蛋黃的堅固性及蛋黃膜之完整性，並且卵磷脂具有抗氧化作用 (Lochmann and Brown, 1997)。本試驗則並未發現此現象，其原因可能因卵磷脂添加量不高所致。

本試驗中飼糧添加卵磷脂對蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率皆無顯著影響。Attia *et al.* (2009) 表示，於產蛋雞飼糧中添加卵磷脂增加脂肪消化率，但是對蛋白質消化率無影響。Mandalawi *et al.* (2015) 提出，蛋雞飼糧中添加 2% 或 4% 卵磷脂會增加乾物質、有機物質、乙醚萃取物及總能的全腸道表相蓄積率，但是對氮的全腸道表相蓄積率無影響。陳 (1998) 指出，飼糧中添加 5% 卵磷脂顯著增加肉雞氮

蓄積率。已知卵磷脂是磷脂雙層膜的組成，透過調節脂質雙層膜的流動性和滲透性，直接影響細胞膜的穩定性。此過程使各種營養物質的流通量增加，並促進脂質和親脂性物質吸收進入腸細胞，因而提供生長及產肉足夠的營養分 (Lundbæk *et al.* 2010 ; Cohn *et al.* 2010)。

Sayed (2009) 表示，脂肪除了作為能量來源之外，同時也可以幫助降低食糜通過消化道之速率，延長食糜在消化道之時間，因此飼糧中脂肪含量增加，有效增加營養分之消化及吸收。Tan *et al.* (2016) 及

Huyghebaert (2003) 提出，於肉雞飼糧中添加乳化劑對脂肪消化率無影響，可能是因為其飼糧使用高含量之不飽和脂肪酸原料之緣故。

Summers and Leeson (1981) 及 Donaldson and Ward (1988) 表示，飼糧中添加卵磷脂增加動物性飽和脂肪酸利用率，但卻對植物性不飽和脂肪酸無影響。Upadhaya *et al.* (2017) 也提到，比起不飽和脂肪酸，飽和脂肪酸較不易被消化，而乳化劑能增加脂質利用效率，特別是動物脂肪。Attia *et al.* (2009) 便發現，以卵磷脂取代飼糧中植物油無法提高產蛋雞脂肪消化率。Mandalawi *et al.* (2015) 則發現，以卵磷脂取代飼糧中動物油則提高產蛋雞脂肪消化率。本試驗中，飼糧添加大豆油，較不飽和，且消化率高，可能使得卵磷脂無法進一步改善脂肪消化率。

本試驗飼糧中添加卵磷脂主要提高蛋黃中 C18:2 及 C18:3 含量，其原因在於大豆卵磷脂中之大豆油 C18:2 及 C18:3 之含量較高所致。飼糧中 C18:1 含量增加，但蛋黃中 C18:1 含量卻下降之原因不明，唯與 Omidi *et al.* (2015) 所得之結果一致。

Omidi *et al.* (2015)，Gao and Charter (2000) 及 King *et al.* (2012)

皆提出，飼糧使用不同種類的油脂對蛋黃中脂肪酸含量有顯著影響，其原因在於油脂中脂肪酸成分的不同會直接影響蛋黃中脂肪酸之組成。Baião and Lara (2005) 提到，在吸收及運輸過程中，脂肪酸組成沒有產生改變，因此雞隻體內脂肪沉積與其餵飼之飼糧脂肪息息相關，而蛋黃中脂肪酸組成也與此相關。Omid *et al.* (2015) 提到，雞隻具有合成飽和脂肪酸之能力，若飼糧中其比例較低，雞隻能夠自行補償缺乏之脂肪酸。Sven *et al.* (2000) 研究顯示，蛋雞飼糧中添加不同含量之大豆油對雞蛋中脂肪酸含量有顯著影響，蛋中脂肪酸組成明顯受到大豆油脂肪酸組成的影響。

本試驗飼糧中添加卵磷脂使蛋內容物粗蛋白質含量下降之原因不明。陳及姜 (1998) 指出，飼糧中添加 5% 卵磷脂，顯著增加肉雞氮蓄積率，表示留在體內之蛋白質含量提高，而可能使得蛋中蛋白質含量降低。目前此方面之研究缺乏，仍需加以證實。

本試驗飼糧中添加卵磷脂對蛋黃中膽固醇含量並無影響。Miller and Denton (1962) 於飼糧中添加 5% 乾燥蛋黃 (含約 1.3 g 膽固醇) 對血漿及蛋黃中膽固醇含量無影響，可能與蛋黃中含卵磷脂，故攝取蛋黃不影響體內膽固醇含量。Attia *et al.* (2009) 文中提到，蛋雞飼糧添加 3% 及 6% 卵磷脂，對蛋黃中膽固醇含量無影響。An *et al.* (1997) 於產蛋雞飼糧中添加粗紅花磷脂 (crude safflower phospholipid) 顯著降低肝臟中膽固醇，提高 HMG-CoA 還原酶 (3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase) 活性，但不影響蛋黃中膽固醇。

以上結果顯示，飼糧中添加 2% 大豆卵磷脂可提高產蛋雞蛋量、

蛋黃顏色及蛋黃不飽和脂肪酸含量，並改善飼料換蛋率，其原因可能在於大豆卵磷脂中含有脂肪、葉黃素、不飽和脂肪酸及較高的代謝能所致。

(二) 試驗二

本試驗於飼糧中添加不同含量油效能 (非離子型乳化劑) 不影響產蛋雞產蛋率、蛋重、蛋量、破蛋率、飼料採食量及飼料換蛋率。僅在添加 0.2% 時降低磷蛋率 ($P < 0.01$)。

Roy *et al.* (2010) 於肉雞前期飼糧中添加 0.035% 非離子型乳化劑-甘油聚乙二醇蓖麻油酸酯 (glycerol polyethylene glycol ricinoleate, GPGR), 對 1-20 日齡之肉雞生長性能皆無影響; 肉雞後期飼糧中添加 0.07% GPGR, 改善 21-39 日齡肉雞飼料利用效率, 且增加代謝能利用效率。Zosangpuii *et al.* (2015) 於肉鴨飼糧中添加大豆油及 0.04% GPGR, 對飼料利用效率及飼料採食量無影響。而 Tan *et al.* (2016) 於肉雞飼糧中添加 0.05% 聚乙二醇蓖麻油酸酯 (polyethylene glycol ricinoleate, PEGR), 增加飼料採食量及增加肉雞增重, 並改善肉雞 5 週齡時之飼料利用效率。

本試驗於飼糧中添加不同含量油效能對蛋殼厚度、蛋殼強度、蛋白高度、蛋黃高度、蛋黃顏色及豪氏單位皆無影響。目前沒有論文證實乳化劑對鈣質吸收有直接之影響。而 Karunajeewa *et al.* (1984) 表示, 蛋黃中之類胡蘿蔔素主要影響蛋黃顏色, 蛋黃顏色受到遺傳以及產蛋率之影響較低, 不同品系吸收及沉積類胡蘿蔔素之能力各有不同。除此之外脂肪種類及含量也會影響。Sven *et al.* (2000) 指出, 添加不同含量大豆油, 蛋黃顏色隨添加量上升而增加。而本試驗各處理組大豆油含量皆相同, 且添加非離子型乳化劑對蛋黃顏色無影響, 故可以推測非離子型乳化劑對類胡蘿蔔素吸收無影響。

本試驗飼糧中添加不同含量油效能對蛋白質蓄積率、C16:0、

C18:0、C18:1、C18:2、不飽和脂肪酸及總脂肪酸消化率無影響，但飼糧中添加 0.2% 油效能降低 C18:3 ($P<0.01$) 及飽和脂肪酸消化率 ($P<0.05$)。

Roy *et al.* (2010) 發現，添加非離子型乳化劑-甘油聚乙二醇蓖麻油酸酯，增加肉雞對蛋白質之吸收，也提高肉雞蛋白質表面迴腸及全腸道消化率。可能是因為乳化劑可以提高蛋白酶活性 (Kamande *et al.*, 2000)，又或者是乳化劑破壞蛋白質立體結構使之變性展開，更容易被蛋白酶水解 (Otzen, 2011)。但 Zosangpui *et al.* (2015) 則表示，添加非離子型乳化劑-甘油聚乙二醇蓖麻油酸酯對蛋白質消化率無影響。陳 (2012) 發現，於 4% 牛脂飼糧中添加不同濃度之非離子型乳化劑對蛋白質蓄積率及可消化蛋白質蓄積率無影響。張及姜 (2016) 發現，於牛脂飼糧中添加非離子型乳化劑 0.01% 聚氧乙烯油酸酯 (PEO)，顯著降低肉雞蛋白質全腸道消化率，但添加非離子型乳化劑-親水性聚氧乙烷基醚 (PAEH) 則對肉雞蛋白質蓄積率及全腸道消化率無影響。目前此類型論文甚少，仍需進一步研究乳化劑對蛋白質之影響。

本試驗添加 2% 油效能降低 C18:3 及飽和脂肪酸消化率，可能與 Roy *et al.* (2010) 中提到之原因相似，作者提到比起卵磷脂，聚乙二醇蓖麻油酸酯更具親水性，可溶解不溶於微膠粒之游離脂肪酸，藉此提高飽和脂肪酸消化率。而飼糧中添加過多乳化劑可能導致脂肪酸大量釋出，過多的游離脂肪酸會干擾微膠粒形成，使腸道中吸收率下降。Tan *et al.* (2016) 指出飼糧中添加 0.05% 聚乙二醇蓖麻油酸酯，對肉雞脂肪消化率無影響。Roy *et al.* (2010) 飼糧中添加 1 及 2% 甘油聚

乙二醇蓖麻油酸酯，增加肉雞脂肪代謝率；相反地，Zosangpuii *et al.* (2015) 於飼糧中添加甘油聚乙二醇蓖麻油酸酯，對肉鴨脂肪代謝率無影響，作者表示可能是飼糧中脂肪含量較低之緣故，Roy *et al.* (2010) 及 Zosangpuii *et al.* (2015) 飼糧中脂肪含量分別為 3% 及 2%。陳 (2012) 及張 (2014) 皆指出飼糧中添加非離子型乳化劑對脂肪酸消化率無影響。

本試驗飼糧中添加不同含量油效能對蛋內容物粗蛋白質含量、蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量無影響。

陳 (2012)、張 (2014) 及 Zosangpuii *et al.* (2015) 皆表示，飼糧中添加非離子型乳化劑，對血清中膽固醇含量無影響；但 Roy *et al.* (2010) 則指出，飼糧中添加 1 及 2% 甘油聚乙二醇蓖麻油酸酯，血清中膽固醇含量呈線性下降，然而目前非離子型乳化劑影響蛋內容物粗蛋白質及蛋黃中膽固醇之文獻不足，故仍需進一步研究。

結論

飼糧中添加 2% 卵磷脂可改善飼料換蛋率，並提高蛋量、蛋黃顏色、蛋黃中 C18:2 及 C18:3 含量，但降低蛋內容物蛋白質含量。飼糧中添加卵磷脂對蛋黃中膽固醇含量、蛋白質蓄積率及脂肪酸消化率無影響。

飼糧中添加不同含量油效能對蛋品質及蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量無影響。飼糧中添加 0.2% 油效能降低 C18:3 及飽和脂肪酸消化率，故飼糧中添加 0.1% 油效能為宜。

參考文獻

- 林慶文。1983。蛋之化學與利用。華香園出版社。台北市。
- 張勝善。1986。蛋品加工學。華香園出版社。台北市。
- 陳敏修及姜樹興。1998。卵磷脂之代謝能值及影響其促進肉雞對脂肪消化率之因子－脂肪種類及年齡。中畜會誌 27:459-472。
- 王正芳、王惠珠、李嘉展、陳政雄、劉世詮、駱錫能、韓建國及蘇正德。2001。新編食品化學。華格納企業有限公司，台中市。
- 安紅、宋偉明及張宏波。2006。磷脂化學及應用技術。中國計量出版社，北京市。
- 周宗翰、張乃方、呂祖尚、陳玉芬、嚴嘉蕙及楊濟華。2008。界面化學。華格納企業，台中市。
- 李德南、呂効儒、陳保基及楊天樹。2012。比較不同 SAS 程序分析動物試驗重複測量資料之差異。中畜會誌 41:177-186。
- 陳可蓉。2012。飼糧中添加非離子型乳化劑對肉雞生長性能、屠體性狀及營養分消化率之影響。碩士論文。東海大學畜產與生物科技學系研究所。台中市。
- 姜樹興。2014。動物營養學原理。華香園出版社，台北市。
- 張勝博。2014。飼糧中添加乳化劑對肉雞及母豬生產性能及營養分消化率之影響。碩士論文。東海大學畜產與生物科技學系研究所。台中市。
- 海藍蛋雞生長手冊。海藍公司。2014。
- 張勝博及姜樹興。2016。飼糧中添加乳化劑對肉雞生長性能、屠體性狀及營養分消化率之影響。東海學報 56:1-12。
- 趙昆山及張效銘。2016。化妝品化學第二版。五南圖書出版股份有限公司，台北市。

- An, B. K., H. Nishiyama, K. Tanaka, S. Ohtani, T. Iwata, K. Tsutsumi, and M. Kasai. 1997. Dietary safflower phospholipid reduces liver lipids in laying hens. *Poult. Sci.* 76: 689-695.
- Ansah, G. A., C. W. Chan, S. P. Touchburn, and R. B. Buckland. 1985. Selection for low yolk cholesterol in Leghorn type chickens. *Poult. Sci.* 64:1-5.
- A.O.A.C. 1984. Official methods of analysis (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Attia, Y. A., A. S. Hussein, A. E. Tag El-Din, E. M. Qota, A. I. Abed El-Ghany, and A. M. El-Sundany. 2009. Improving productive and reproductive performance of dual-purpose crossbred hens in the tropics by lecithin supplementation. *Trop. Anim. Health Prod.* 41:461-475.
- Azman, M. A., and M. Ciftci. 2004. Effect of replacing dietary fat with lecithin on broiler chicken zootechnical performance. *Rev. Med. Vet.* 155: 445-448.
- Baião, N. C., and L. J. C. Lara. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Braz. J. Poult. Sci.* 7:129-141.
- Bartov, I., S. Bornstein, and P. Budowski. 1971. Variability of cholesterol concentration in plasma and egg yolk of hens and evaluation of the effects of some dietary oils. *Poult. Sci.* 50:1357-1364.
- Becker, W. A., J. V. Spencher, J. A. Verstrate, and L. W. Mirosh. 1977. Genetic analysis of chicken egg yolk cholesterol. *Poult. Sci.* 56:895-901.
- Blesso, C. N. 2015. Egg Phospholipids and Cardiovascular Health. *Nutrients* 7: 2731-2747.
- Boontiam, W., B. Jung, and Y. Y. Kim. 2017. Effect of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poult. Sci.* 96:593-601.
- Cairns, S. R., and T. J. Peters. 1983. Micromethods for quantitative lipid analysis of human liver needle biopsy specimens. *Clin. Chim. Acta.* 127:373-382.
- Cantor, A. H., R. Vargas, A. J. Pescafore, M. L. Straw, and M. J. Ford. 1997. Influence of crude soybean lecithin as a dietary energy source on growth performance and

- carcass yield of broilers. *Poult. Sci.* 76:109-118.
- Cohen, D. E., and M. C. Carey. 1991. Acyl chain unsaturation modulates distribution of lecithin molecular species between mixed micelles and vesicles in model bile. Implications for particle structure and metastable cholesterol solubility. *J. Lipid Res.* 32:1291-1302.
- Cohn, J. S., A. Kamili, E. Wat, R. W. Chung, and S. Tandy. 2010. Dietary phospholipids and intestinal cholesterol absorption. *Nutrients*2:116-127.
- Cunningham, D. L., W. F. Krueger, R. C. Fanguy, and J. W. Peabody. 1974. Preliminary results of bidirectional selection for yolk cholesterol level in laying hens. *Poult. Sci.* 53:384-391.
- Dowhan, W., and M. Bogdnov. 2009. Lipid-dependent membrane protein topogenesis. *Annu. Rev. Biochem.* 78:515-540.
- Donaldson, W. E., and J. B. Ward. 1988. Influence of soybean lecithin and corn lecithin additions to dietary fat on metabolizable energy content of chick diet. *Nutr. Rep. Int.* 38:691-695.
- Emmert, J. L., T. A. Garrow, and D. H. Baker. 1996. Development of an experimental diet for determine bioavailable choline concentration and its application in studies with soybean lecithin. *J. Anim. Sci.* 74:2738-2744.
- Elkin, R. G. 2006. Reducing shell egg cholesterol content. I. Overview, genetic approaches, and nutritional strategies. *World's Poult. Sci. J.* 62:665-687.
- Elkin, R. G. 2007. Reducing shell egg cholesterol content. II. Review of approaches utilizing non-nutritive dietary factors or pharmacological agents and an examination of emerging strategies. *World's Poult. Sci. J.* 63:5-31.
- French, N. A., and S. G. Tullet. 1991. Variation in the eggs of poultry species. Butterworth-Heinemann, London, UK.
- Gao, Y. C., and E. A. Charter. 2000. Nutritionally important fatty acids in hen egg yolks from different sources. *Poult. Sci.* 79:921-924.

- Gatlin, L. A., M. T. See, and J. Odle. 2005. Effect of chemical hydrogenation of supplemental fat on relative apparent lipid digestibility in finishing swine. *J. Anim. Sci.* 83:1890-1898.
- Ha, Y. W., M. J. Son, K. S. Yun, and Y. S. Kim. 2007. Relationship between eggshell strength and keratan sulfate of eggshell membranes. *Comp. Biochem. Physiol. A Physiol.* 147:1109-1115.
- Han, Y. K., Y. H. Jin, W. I. Lee, K. T. Lee, and P. A. Thacker. 2010a. Influence of lysolecithin on the performance of laying hens, interior and exterior egg quality as well as fat soluble vitamin and cholesterol content in the yolk. *J. Anim. Vet. Adv.* 9:2583-2588.
- Han, Y. K., Y. H. Jin, J. H. Kim, and P. A. Thacker. 2010b. Influence of enzyme and lysolecithin supplementation on performance egg quality and nutrient digestibility for laying hens. *Trends. Anim. Vet. Sci. J.* 1:28-35.
- Huang, J., D. Yang, S. Gao, and T. Wang. 2007. Effects of replacing soy oil with soy-lecithin on growth performance, nutrient utilization and serum parameters of broilers fed corn-based diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20:1880-1886.
- Hargis, P. S. 1988. Modifying egg yolk cholesterol- a review. *World's Poult. Sci. J.* 44:17-29.
- Hernell, O., J. E. Stammers, and M. C. Carey. 1990. Physical-chemical behavior of dietary and biliary lipids during intestinal digestion and absorption. 2. Phase analysis and aggregation states of luminal lipids during duodenal fat digestion in healthy adult human beings. *Biochemistry* 29:2041-2056.
- Hirata, A., M. Nishino, T. Kimura, and Y. Ohtake. 1986. Effects of dietary fats for laying hens in the fatty acid compositions and cholesterol contents of liver, abdominal adipose tissue, plasma and egg yolk lipids. *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.* 33:631-639.
- Hui, Y. H. 1995. Bailer's Industrial Oil and Fat Products: Products and Application Technology. Page 483-484 and 514-516 in *Emulsifiers for the Food Industry*. Staffer, C. E., ed. 5th ed. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

- Huyghebaert G. 2003. The nutritional evaluation of Volamel Extra in broiler diets supplemented with different lipid combinations. WPSA.
- Jansen, M., F. Nuyens, J. Buyse, S. Leleu, and L. Van Campenhout. 2015. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poult. Sci.* 94:2506-2515.
- Jiang, Y., S. K. Noh, and S. I. Koo. 2001. Egg phosphatidylcholine decreases the lymphatic absorption of cholesterol in rats. *J. Nutr.* 131:2358-236.
- Jones, D. B., J. D. Hancock, J. L. Nelssen, and R. H. Hines. 1990. Effect of lecithin and lysolecithin on the digestibility of fat sources in diets for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 68:79-86.
- Jones, M. N. 1996. Surface activity of proteins. Marcel Dekker, New York, USA.
- Justice, A., and J. M. Curtis. 2017. Enzymatic modification of egg lecithin to improve properties. *Food Chem.* 220:385-392.
- Kamande, G. M., J. Baah, K. J. Cheng, T. A. McAllister, and J. A. Shelford. 2000. Effects of Tween 60 and Tween 80 on Protease Activity, Thiol Group Reactivity, Protein Adsorption, and Cellulose Degradation by Rumen Microbial Enzymes. *J. Dairy Sci.* 83:536-542.
- Karunajeewa, H., R. J. Hughes, M. W. McDonald, and F. S. Shenstone 1984. A review of factors influencing pigmentation of egg yolks. *World's Poult. Sci. J.* 40:52-65.
- Khonyoung, D., K. Yamauchi, and K. Suzuki. 2015. Influence of dietary fat sources and lysolecithin on growth performance, visceral organ size, and histological intestinal alteration in broiler chickens. *Livest. Sci.* 176:111-120.
- Kim, W. T., P. Shinde, and B. J. Chae. 2008. Effect of lecithin with or without chitooligosaccharide on the growth performance, nutrient digestibility, blood metabolites and pork quality of finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 88:283-292.
- King, E. J., A. Hugo, F. H. de Witt, H. J. van der Merwe, and M. D. Fair. 2012. Effect of dietary fat source on fatty acid profile and lipid oxidation of eggs. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 42:503-506.
- Lall, S. P., and S. J. Slinger. 1973. Nutritional evaluation of rapeseed oils and

- rapeseed soapstocks for laying hens. *Poult. Sci.* 42:394-396.
- Liu, D., and F. Ma. 2011. Soybean phospholipids. In: Krezhova, D.(ed) *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*. InTech. Shanghai. pp 483-500.
- Lochmann, R., and R. Brown. 1997. Soybean-lecithin supplementation of practical diets for Juvenile goldfish (*Carassius auratus*). *J. Am. Oil Chem. Soc.* 74:149-152.
- Lundbæk, J. A., S. A. Collingwood, H. I. Ingo´lfsson, R. Kapoor, and O. S. Andersen. 2010. Lipid bilayer regulation of membrane protein function: Gramicidin channels as molecular force probes. *J. R. Soc. Interface* 7:373-395.
- Mackay, K., J. R. Starr, R. M. Lawn, and J. L. Ellsworth. 1997. Phosphatidylcholine hydrolysis is required for pancreatic cholesterol esterase and phospholipase A2 facilitated cholesterol uptake into intestinal Caco-2 cells. *J. Biol. Chem.* 272:13380-13389.
- Mandalawi, H. A., R. Lázaro, M. Redón, J. Herrera, D. Menoyo, and G. G. Mateos. 2015. Glycerin and lecithin inclusion in diets for brown egg-laying hens: Effects on egg production and nutrient digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:145-156.
- Marks, H. L., and K. W. Washburn. 1977. Divergent selection for yolk cholesterol in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 18:179-188.
- Miller, E. C., and C. A. Denton. 1962. Serum and egg yolk cholesterol of hens fed dried egg yolk. *Poult. Sci.* 41:335-337.
- Noble, R. C. 1987. *Egg lipids*. Poultry Science Symposium Number 20, Butterworths, London, UK.
- NRC, 1994. *Nutrient requirements of poultry*, 9th ed. National Research Council, National Academy of Science, Washington, DC, USA.
- Omidi, M., S. Rahimi, and M. A. K. Torshizi. 2015. Modification of egg yolk fatty acids profile by using different oil sources. *Vet. Res. Forum* 6:137-141.
- Otzen, D. 2011. Review: Protein surfactant interactions: A tale of many states. *Biochim. Biophys. Acta.* 1814:562-591.

- Overland, M., and F. Sundstol. 1994. Effects of lecithin on fat utilization by weanling pigs. *Livest. Prod. Sci.* 41:217-224.
- Pasin, G., G. M. Smith, and M. O'Mahony. 1998. Rapid determination of total cholesterol in egg yolk using commercial diagnostic cholesterol reagent. *Food Chem.* 61:255-259.
- Polin, D., T. Wing, P. Ki, and K. E. Pell. 1980. The effect of bile acids and lipase on absorption of tallow in young chicks. *Poult. Sci.* 59:2738-2743.
- Overland, M., M. D. Tokach, S. G. Cornelius, J. E. Pettigrew, and J. W. Rust. 1993a. Lecithin in swine diets: I. Weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 71:1187-1193.
- Overland, M., M. D. Tokach, S. G. Cornelius, J. E. Pettigrew, and J. W. Rust. 1993b. Lecithin in swine diets: II. Weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 71:1194-1197.
- Raju, M. V. L. N., S. V. R. Rao, P. P. Chakrabarti, B. V. S. K. Rao, A. K. Panda, B. L. A. P. Devi, V. Sujatha, J. R. C. Reddy, G. C. Sunder, and R. B. N. Prasad. 2011. Rice bran lysolecithin as a source of energy in broiler chicken diet. *Br. Poult. Sci.* 52:769-774.
- Ramstedt, B., P. Leppimäki, M. Axberg, and J. P. Slotte. 1999. Analysis of natural and synthetic sphingomyelins using high-performance thin-layer chromatography. *Eur. J. Biochem.* 266:997-1002.
- Richmond, B. L., A. C. Boileau, S. Zheng, K. W. Huggins, N. A. Granholm, P. Tso, and D. Y. Hui. 2001. Compensatory phospholipid digestion is required for cholesterol absorption in pancreatic phospholipase A2-deficient mice. *Gastroenterology* 120:1193-1202.
- Roy, A., S. Haldar, S. Mondal, and T. K. Ghosh. 2010. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Vet. Med. Int.* doi:10.4061/262604.
- Sayed, A. B. N. 2009. Effect of different dietary energy levels on the performance and nutrient digestibility of lambs. *Vet. World* 2:418-420.

- Schreiner, M., H. W. Hulan, E. Razzazi-Fazeli, J. Bohm, and C. Iben. 2004. Feeding laying hens seal blubber oil: Effects on egg yolk incorporation, stereospecific distribution of omega-3 fatty acids, and sensory aspects. *Poult. Sci.* 83:462-473.
- Short, F. J., P. Gorton, J. Wiseman, and K. N. Boorman. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Anim. Feed Sci. Tech.* 59:215-221.
- Sim, J. S., W. D. Kitts, and D. B. Bragg. 1980. Influence of dietary oil, cholesterol and soy-sterols on the fecal natural and acidic steroid excretion in laying hens. *Poult. Sci.* 59:325-327.
- Stadelman, W. J., and O. J. Cotterill. 1973. *Egg science and technology*, fourth edition. Food products press an imprint of the Haworth press, Inc. London, UK.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food. Chem.* 36:1202-1206.
- Summer, J. D., and S. Leeson. 1981. Influence of dietary lecithin on digestibility of fats in poultry diet. *Nutr. Rep. Int.* 23:969-974.
- Sutton, C. C., W. M. Muir, and G. E. Mitchell. 1984. Cholesterol metabolism in laying hen as influenced by dietary cholesterol, caloric intake and genotype. *Poult. Sci.* 63:972-980.
- Sven D., I. Halle, H. Jeroch, W. Böttcher, P. Ahrens, R. Zachmann, and S. Götze. 2000. Effect of soy oil supplementation and protein level in laying hen diets on praecaecal nutrient digestibility, performance, reproductive performance, fatty acid composition of yolk fat, and on other egg quality parameters. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 1:218-232
- Tan, H. S., I. Zulkifli, A. S. Farjam, Y. M. Goh, E. Croes, S. K. Partha, and A. K. Tee. 2016. Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility apparent metabolizable energy in broiler chickens. *JOBIMB* 1:7-10.
- Upadhaya, S. D., J. W. Park, J. H. Park, and I. H. Kim. 2017. Efficacy of

- 1,3-diacylglycerol as a fat emulsifier in low-density diet for broilers. *Poult. Sci.* 0:1-7.
- Wang, W., Y. J. Wang, and D. Q. Wang. 2008. Dual effects of Tween 80 on protein stability. *Int. J. Pharm.* 347:31-38.
- Weiss, J. F., E. C. Naber, and R. M. Johnson. 1967. Effect of dietary fat and cholesterol on the in vitro incorporation of acetate ¹⁴C into hen liver and ovarian lipids. *J. Nutr.* 93:142-152.
- Wood, J. D., J. Biely, and J. E. Toplife. 1961. The effect of diet, age, and sex on cholesterol metabolism in white Leghorn chicks. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 39:1705-1715.
- Xing, J. J., E. V. Heugten, D. F. Li, K. J. Touchette, J. A. Coalson, R. L. Odgaard, and J. Odle. 2004. Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.* 82:2061-2609.
- Zhang, B., L. Haitao, D. Zhao, Y. Guo, and A. Barri. 2011. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163:177-184.
- Zhao, P. Y., H. L. Li, M. M. Hossain, and I. H. Kim. 2015. Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 207:190-195.
- Zhao, Y. Y., Y. Xiong, and J. M. Curtis. 2011. Measurement of phospholipids by hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry: The determination of choline containing compounds in foods. *J. Chromatogr.* 1218:5470-5479.
- Zosangpuii, A. K. Patra, and G. Samanta. 2015. Inclusion of an emulsifier to the diets containing different sources of fats on performances of Khaki Campbell ducks. *Iran J. Vet. Res.* 16:156-160.

附錄一 蛋黃中膽固醇含量測定

以膽固醇分析套組進行分析。

1. 取 1 g 蛋黃置於 10 ml 塑膠離心管。
2. 加入 9 mL 2 % NaCl。
3. Vortex 混和，將管壁上蛋黃全部震盪洗入 NaCl 溶液中。
4. 以迴轉式振盪器 200rpm 振盪 2 小時。
5. 取塑膠離心管中之蛋黃混合液 10 μ L 置入微量離心管。
6. 加入 90 μ L 2% NaCl。
7. 取微量離心管中之蛋黃混合液 10 μ L。
8. 加入 1mL 酵素反應液混合均勻。
9. 於 37°C 培養 5 分鐘。
10. 全部倒入比色管。
11. 以分光光度計(Hitachi U-2000, Tokyo, Japan) 測定吸光值。

附錄二 卵磷脂組成測定

卵磷脂組成測定是參考 Cairns and Peters (1983) 所述之方法。

1. 取 10 mg 之卵磷脂置入 15 mL 玻璃離心管，加入 1 mL 氯仿，均勻混合
2. 將 TLC 板 (TLC silica gel-60 F₂₅₄, Merck Chemical Co., Darmstadt, Germany) 置於 102°C 烘箱中，活化 30 分鐘。
3. 展開液倒入展開槽中，內放置濾紙浸濕，並蓋上槽蓋 (塗抹凡士林)，平衡使槽中展開液呈飽和狀態，以減短展開時間。
4. 以鉛筆 TLC 板上作記號，起點線及終止線距板緣約各為 2.5 cm 及 1.5 cm。
5. 以毛細管吸取標準品或樣品 20 μ L，點樣於 TLC 板上，以氯仿再吸一遍後點樣。
6. 將 TLC 板置於展開槽中並蓋上槽蓋，待展開液前緣展開至預定位置。
7. 將 TLC 板自展開槽中取出，置於抽氣櫃中，使用氮氣吹乾。
8. 於 UV 燈 254 nm 下以鉛筆圈出斑點，並與標準品對照。
9. 刮取斑點至 15 mL 拋棄式玻璃離心管中。
10. 加入 50 μ l internal standard (C15:0)，2 mL 苯及 3 mL 新鮮之 methanolic HCL 至離心管中。
11. 旋緊蓋管後 vortex 混合，置於 70 °C 水浴 2 小時後，冷卻至室溫。
12. 加入 5 mL 6% K₂CO₃ 及 2 mL 苯，以 vortex 混合。
13. 以 3500 rpm 離心 5 分鐘。
14. 取 1 mL 上清液至 1.5 mL 之微量離心管，加入 1 g 無水硫酸鈉及活性炭。
15. 以 7000-8000 rpm 離心 5 分鐘，取上清液至 1.5 mL 之微量離心管中。
16. 以氣相層析儀定糧樣品中脂肪酸含量，推酸卵磷脂組成。

Effect of dietary supplementation of lecithin and different levels of Emupack on laying performance, egg quality, and nutrient digestibility of laying hens

Yi-Tao Hsieh

Abstract

Two trials were conducted to investigate the effects of dietary supplementation of lecithin and different levels of Emupack on laying performance, egg quality, and nutrient digestibility of laying hens. In trial 1, sixty-four 24-week-old, Hy-line W36 laying hens were allotted to 2 treatments, 8 replicates each treatment, 4 hens per replicate. Hens were fed diets (1) without or (2) with supplementation of 2% soybean lecithin for 14 weeks. Results showed that supplementing lecithin did not affect feed intake and broken egg rate. The supplementation of lecithin numerically increased egg weight and egg production, and significantly increased egg mass, improved feed conversion ratio and decreased dirty egg rate ($P=0.05$). There were no differences in egg quality except that lecithin increased yolk color ($P<0.01$). The supplementation of lecithin did not affect protein retention and fatty acid digestibility. Supplementing lecithin decreased egg protein content ($P<0.01$) but did not affect yolk cholesterol content. Supplementing lecithin increased C18:2 and C18:3

($P < 0.01$) fatty acid content in yolk but decreased C16:1 and C18:1 ($P < 0.05$) fatty acid content in yolk. In trial 2, one hundred and twenty-eight 24-week-old, Hy-line W36 laying hens were allotted to 4 treatments, 8 replicates per treatment, 4 hens per replicate. Hens were fed diets (1) without or with supplementation of (2) 0.05%, (3) 0.1%, (4) 0.2% Emupack for 18 weeks. Results show that supplementation of different levels of Emupack did not affect egg production, egg weight, egg mass, broken egg rate, feed conversion ratio and feed intake. Supplementation of 0.2% Emupack decreased dirty egg rate ($P < 0.05$). Supplementation of different levels of Emupack did not affect egg quality, protein retention, egg protein, yolk cholesterol, yolk fatty acid contents, and C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, unsaturated fatty acid and total fatty acid digestibility. Supplementation of 0.2% Emupack decreased C18:3 ($P < 0.01$) and saturated fatty acid digestibility ($P < 0.05$). In conclusion, dietary supplementation of lecithin improved feed conversion ratio, increased egg mass, yolk color and essential fatty acid contents in egg yolk. Dietary supplementation of different levels of Emupack did not affect laying performance and egg quality of laying hens.

Key words: Emulsifier, Laying performance, Egg quality, Digestibility, Hens